



HAL
open science

Apport des changements enthésiques à l'identification des fonctions équines passées : Recherche exploratoire et application d'une nouvelle approche sur les chevaux associés à la tombe de Childéric Ier (Ve-VIe siècles, Tournai, Belgique).

Marion Bindé

► **To cite this version:**

Marion Bindé. Apport des changements enthésiques à l'identification des fonctions équines passées : Recherche exploratoire et application d'une nouvelle approche sur les chevaux associés à la tombe de Childéric Ier (Ve-VIe siècles, Tournai, Belgique).. Archéologie et Préhistoire. Université de Bordeaux, 2020. Français. NNT : 2020BORD0319 . tel-03506252

HAL Id: tel-03506252

<https://theses.hal.science/tel-03506252v1>

Submitted on 2 Jan 2022

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.

THÈSE PRÉSENTÉE
POUR OBTENIR LE GRADE DE

DOCTEUR DE
L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

ÉCOLE DOCTORALE SCIENCES ET ENVIRONNEMENT
SPÉCIALITÉ PRÉHISTOIRE

Par Marion BINDÉ

APPORT DES CHANGEMENTS ENTHÉSIIQUES À
L'IDENTIFICATION DES FONCTIONS ÉQUINES PASSÉES
Recherche exploratoire et application d'une nouvelle approche sur les
chevaux associés à la tombe de Childéric I^{er}
(V^e-VI^e siècles, Tournai, Belgique).

Sous la direction de : Christopher J. KNÜSEL
Et la co-direction de : David COCHARD

Soutenue le 10 décembre 2020

Membres du jury :

M. DUTOUR Olivier, Directeur d'Études, EPHE, Bordeaux	Président
Mme. BRIDAULT Anne, Directrice de Recherche au CNRS, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Université Paris Nanterre la Défense, UMR7041	Rapporteuse
Mme. GARDEISEN Armelle, Directrice de Recherche au CNRS, Université Paul-Valéry Montpellier 3, UMR5140	Rapporteuse
M. KNÜSEL Christopher J., Professeur, Université de Bordeaux, UMR 5199	Directeur
M. COCHARD David, Maître de conférences, Université de Bordeaux, UMR 5199	Co-directeur
M. BENDREY Robin, Senior Lecturer, University of Edinburgh	Examineur
M. GUINTARD Claude, Maître de conférences, École Nationale Vétérinaire de Nantes, ONIRIS	Examineur
M. NISKANEN Markku, Associate Professor, University of Oulu	Examineur

Remerciements

Je souhaite tout d'abord exprimer ma vive reconnaissance à mes directeurs, Christopher Knüsel et David Cochard. Je vous remercie de m'avoir accordé votre confiance, et ce, depuis le master 2. Ce projet n'aurait pu voir le jour sans votre soutien. J'ai beaucoup appris de nos nombreux échanges et vos conseils ont contribué à faire de cette thèse ce qu'elle est aujourd'hui. Un grand merci pour votre disponibilité, votre patience ainsi que le temps et l'énergie que vous avez investis pour m'encadrer.

Je tiens à adresser mes remerciements à l'ensemble des membres du jury qui m'ont fait l'honneur d'évaluer ce travail :

- Robin Bendrey, Senior Lecturer, Université d'Édimbourg (Écosse) ;
- Anne Bridault, Directrice de Recherche, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Université Paris-Ouest Nanterre la Défense, UMR7041, CNRS ;
- David Cochard, Maître de conférences, Université de Bordeaux, UMR5199 ;
- Olivier Dutour, Directeur d'études, EPHE, Bordeaux ;
- Armelle Gardeisen, Directrice de Recherche, Université Paul Valéry de Montpellier, UMR5140, CNRS ;
- Claude Guintard, Maître de conférences, École vétérinaire de Nantes, ONIRIS ;
- Christopher Knüsel, Professeur, Université de Bordeaux, UMR5199 ;
- Markku Niskanen, Associate Professor, Université d'Oulu (Finlande).

Je remercie tout particulièrement Robin Bendrey et Claude Guintard d'avoir accepté d'en être les rapporteurs.

Mes remerciements vont de même à Dominique Castex, Olivier Dutour, Armelle Gardeisen et Jean-Luc Guadelli, membres de mon comité de suivi de thèse, pour les discussions et les nombreux conseils qu'ils ont su me fournir.

Cette thèse n'aurait pu être menée sans l'obtention d'un contrat doctoral à l'Université de Bordeaux, financé par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Mes nombreuses missions en France et à l'étranger ainsi que mes participations à des conférences ont bénéficié de diverses sources de financements :

- Bourse de soutien à l'interdisciplinarité, Université de Bordeaux ;

- Aide à la mobilité internationale, École Doctorale 304 « Sciences et Environnements », Université de Bordeaux ;
- Laboratoire PACEA UMR5199, Université de Bordeaux.

Je remercie la direction de l'UMR5199 PACEA, Anne Delagne (directrice) et Christine Couture-Veschambre (directrice adjointe), de m'avoir accueillie au sein du laboratoire et fourni un environnement de travail. Je souhaite exprimer ma reconnaissance à Catherine Morel-Chevillet, Nathalie Kellay et Audrey Bapsalle du pôle gestion avec qui j'ai eu, à maintes reprises, l'occasion d'échanger pour mes nombreux déplacements en France et à l'étranger. Vos conseils et votre réactivité ont grandement facilité l'organisation de mes missions. Merci également à Régine Wortmann pour sa disponibilité et sa gentillesse.

Je tiens ensuite à remercier les chercheurs du laboratoire pour les discussions, liées à mon travail ou non, engagées au détour d'un couloir et qui ont contribué à rendre la « routine doctorale » moins monotone. Merci notamment à Véronique Laroulandie, Jean-Philippe Faivre, Mathieu Langlais, Jean-Luc Guadelli, Éric Pubert, Dominique Armand, Sylvain Ducasse, Arnaud Lenoble, Myriam Boudadi-Maligne et Jean-Baptiste Mallye.

J'adresse mes remerciements à Sébastien Villotte pour ses conseils avisés relatifs aux changements enthésiques.

Merci également à Antoine Souron pour sa bonne humeur et les nombreuses conversations que nous avons eues au sujet de la paléopathologie animale.

Un grand merci à Frédéric Santos pour son aide précieuse dans l'élaboration du traitement statistique. Je ne pense pas être la première (et ne serai pas la dernière !) à le dire mais ta patience, ton humour et ta pédagogie contribuent grandement à dé-diaboliser les statistiques.

Ce tour du laboratoire ne peut se terminer sans une petite pensée à l'ensemble de mes collègues doctorants, néo-docteurs, post-doctorants mais aussi techniciens/ingénieurs avec qui j'ai pu partager repas, réunions et/ou verres en terrasse. Merci à mes voisins de bureau Anthony Sécher, Tiphaine Maurin, Mathieu Bosq, Lysianna Ledoux et Camille Lesage, mes collègues préhistoriens Caroline Masset, Pauline Dugas, Monica Gala, Valentin Conche, Anaïs Luiza-Vignoles, Quentin Villeneuve, Aline Galland, Anna Rufà-Bonache, Armance Jouteau, et Erwan Vaissie ainsi que mes collègues anthropologues Marie Matu, Sélim Natahi, Claire-Élise Fischer, Caroline Partiot, Mathilde Samsel, Anthony Colombo, Maïté Rivollat, Laura Maréchal, Eliza Orellana-Gonzalez, Anna Arzelier, Flora Chauvet-Dumur et Dany Coutinho-

Nogueira. Puissent vos projets actuels et futurs, aussi bien personnels que professionnels, se concrétiser.

Ce travail m'a conduite à maintes reprises loin de Bordeaux. Durant ces quatre années, mes nombreuses escapades furent riches en rencontres. J'ai en effet eu l'occasion de faire la connaissance de nombreuses personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à ces recherches et m'ont beaucoup apporté tant professionnellement que personnellement.

Je tiens tout d'abord à exprimer ma profonde reconnaissance aux diverses institutions qui ont accepté de m'accueillir, souvent pour de longues périodes, et de me laisser l'accès aux collections ayant permis de constituer mon corpus de référence. Mes remerciements vont aux conservateurs, chercheurs et membres de ces différentes structures : Olivier Pauwels, Terry Welschaerts et Sébastien Bruaux (Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Bruxelles), Jacqueline Studer, Jean-Christophe Castel et Patricia Chiquet (Muséum d'Histoire Naturelle, Genève), Henriette Obermaier (*Institut für Paläoanatomie*, München), Christiane Funk, Steffen Bock et Anna Rosemann (*Museum für Naturkunde*, Berlin), Renate Schafberg (*Museum für Haustierkunde « Julius Kühn »*, Halle-Saale), Joséphine Lesur, Christine Lefèvre, Aurélie Verguin et Karyne Debue (Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris), Erich Pucher et Konstantina Saliari (*Naturhistorisches Museum*, Wien), Benoît Clavel (CRAVO, Compiègne), le Lieutenant-colonel Bertrand Philip de Laborie (Musée de la Cavalerie, Saumur) ainsi que Claude Guintard, Éric Betti, Claire Douart et Manuel Comte (ONIRIS, Nantes).

Enfin, je tiens également à remercier Hélène Roche et l'association TAKH pour leur accueil au Domaine du Villaret (Lozère) de m'avoir permis d'intégrer des chevaux de Przewalski ayant vécu en milieu naturel par la cession de quatre squelettes au laboratoire PACEA. Hélène, sache que j'ai eu beaucoup de plaisir à échanger avec toi sur nos travaux respectifs.

Je tiens ensuite à exprimer ma gratitude aux membres du Centre de Recherches d'Archéologie Nationale (CRAN) de l'Université Catholique de Louvain pour m'avoir accueillie et fait confiance pour l'étude des chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai. Merci à Laurent Verslype, Fabienne Vilvorder, Raymond Brulet, Anne-Michel Herinckx, Véronique Clarinval, Inès Leroy, Catherine Coquelet, Véronique Jonet, Erika Weinkauff, Lise Saussus et Alizé Van Brussel. Nos nombreuses discussions, ayant trait ou non aux chevaux de Tournai, m'ont beaucoup apporté et m'ont permis de me sentir pleinement intégrée à votre laboratoire.

Je vous remercie de plus de m'avoir permis de participer à la mise en place de l'exposition « Tumulus » au Musée L. Merci encore pour votre gentillesse.

Je tiens également à remercier Marianne Delcourt-Vlaeminck du Musée d'Archéologie de Tournai de m'avoir accordé l'accès au cheval exposé dans le musée.

Au cours de mes missions, j'ai croisé la route de nombreux chercheurs avec qui j'ai eu le plaisir de discuter de mes travaux. Mes remerciements s'adressent notamment à Pauline Hanot, Markku Niskanen, Sirpa Niinimäki, Anna-Kaisa Salmi, Ashleigh Haruda, Madeleine Geiger, Konstantina Saliari, Luc Janssen, William Berthon et William Taylor.

Mes remerciements à Steffen et Anna qui ont amplement contribué à ce que mon séjour à Berlin soit l'un des meilleurs souvenirs qui soit. Je m'estime chanceuse de vous avoir rencontré et espère avoir à nouveau l'occasion de vous revoir dans cette ville exceptionnelle...ou ailleurs. *Vielen Danke!*

Fabienne, Pierre, Julie et Caroline : mille mercis pour votre gentillesse et votre générosité. Lors de ma première visite à Louvain-la-Neuve, quelle ne fut pas ma surprise lorsque Fabienne m'a proposé de me joindre à vous pour le dîner sans que vous ne me connaissiez ! Depuis, vous êtes un peu comme une seconde famille. Merci pour tout.

Une petite pensée à Anaïs, Alban (Aaaaaahhhhhhhh !!!!), Alain, Sébastien, Roven, Alexis, Sandra, Johan et Bertrand. Les quelques moments passés ensemble m'ont tenue loin de mes « nonoss » (pour en citer certains). Merci à vous. Je tiens à profiter de ces quelques lignes pour vous faire un petit rappel : ne jamais dire « jamais »... Cette thèse en est la preuve.

À Victor, compagnon de bon nombre de mes escapades parisiennes. Merci d'avoir été présent et su me remonter le moral quand il le fallait. Que la voie que tu as choisie d'arpenter te permette de pleinement t'épanouir.

Aux amis bordelais (enfin, plus vraiment pour la plupart) : Anthony, Aurélien et Caroline, Laure, Marie et Maxime, Monica et enfin Sélim. À tous les moments de franches rigolades, les soirées jeux, les sorties, les apéros que nous avons vécus ensemble et qui ont rythmé ces quatre années de thèse. Merci pour tout, merci infiniment à vous tous.

À Clément V., pour les petits sms/messages reçus tout au long de ces quatre années et venant aux nouvelles de ma progression. Merci à toi de m'avoir accueillie à Nantes et fait

découvrir le centre historique de cette belle ville. Quelle chance d'avoir eu mon guide perso ! Je te souhaite que ta persévérance et ta passion pour l'archéologie te permettent d'atteindre les objectifs que tu souhaites.

Mes remerciements vont ensuite à Valentin et Samuel, compagnons de master, qui ont fait le choix, comme moi, de suivre la voie doctorale (mais en anthropologie biologique, la perfection a ses limites). Amis fidèles au poste, les nombreux moments passés ensemble, agrémentés de votre humour terrible, ont toujours su me redonner du pep's. Votre amitié m'est précieuse.

Ces dernières phrases sont adressées à ma famille.

Mes pensées vont tout d'abord à ma belle-famille, Philippe et Ghilou. Vos petits messages bienveillants ont fortement participé à adoucir certaines de mes journées. Merci à vous.

À mon cousin, Clément, que je considère comme un frère. Tu as été parmi les personnes qui, le temps d'un match de rugby (Allez Toulouse !), d'un concert ou d'une ballade, ont contribué à me faire oublier mes squelettes de chevaux (bon, pas totalement je l'avoue...), et ce, toujours dans la bonne humeur. Que d'aventures nous avons vécues depuis que nous sommes tous petits et celles-ci nous ont amenées à nous rejoindre à Bruxelles. J'ai hâte de vivre les prochaines ! Merci de continuer à être présent.

Un immense merci à mes parents ainsi qu'à Mathilde et Lucas, ma fratrie. Ces quatre années m'ont souvent tenue loin de vous mais vous n'avez jamais cessé d'être auprès de moi. Dans ce marathon qu'est la thèse, il est important de se sentir écouté et soutenu, dans les bons moments comme dans les instants difficiles. Ces quelques phrases sont l'occasion pour moi d'exprimer cette chance et ce travail n'aurait pas pu aboutir sans vos nombreux encouragements. Cette thèse est un peu la vôtre. Je vous aime.

Quentin, je n'aurai jamais assez de mots pour exprimer toute ma reconnaissance envers toi. Mille mercis pour le soutien et l'amour que tu m'apportes. J'admire la patience et le calme à toutes épreuves dont tu fais preuve (j'avoue être jalouse de ne pas avoir été dotée de telles capacités) et qui ont contribué à adoucir la tension de ces derniers mois. Si cette thèse a pu se terminer, c'est en partie grâce à toi.

Table des matières

REMERCIEMENTS	5
TABLE DES MATIÈRES.....	11
LISTE DES ABRÉVIATIONS	21
INTRODUCTION	27
1^{ÈRE} PARTIE : CHANGEMENTS ENTHÉSIOUES - ÉTAT DES LIEUX DES CONNAISSANCES	31
CHAPITRE I : L'ENTHÈSE ET SES ATTEINTES - DÉFINITIONS ANATOMIQUES ET CLINIQUES	33
I. ANATOMIE ET HISTOLOGIE DE L'ENTHÈSE	34
1. Les différents types d'enthèses	34
a. Les enthèses fibreuses	34
b. Les enthèses fibrocartilagineuses	35
2. La fonction du fibrocartilage	36
3. Le développement de l'enthèse	37
4. Le concept de l'« <i>enthesis organ</i> »	39
5. Aspects des enthèses sur l'os.....	39
II. LES ATTEINTES DE L'ENTHÈSE CHEZ LES ÉQUIDÉS	40
1. Données générales	40
2. Étiologies et types d'enthésopathies	42
a. Influence de l'âge	43
b. Influence du sexe.....	43
c. Masse et hauteur au garrot	44
d. Enthésopathie traumatiques	44
e. Génétique.....	45
f. Maladies systémiques	45
g. Fluoroquinolones et corticostéroïdes	46
h. Autres paramètres.....	46

CHAPITRE II : CHANGEMENTS ENTHÉSQUES ET RECONSTITUTION DES ACTIVITÉS PASSÉES	49
I. UN DOMAINE DE RECHERCHE ACTIF EN ANTHROPOLOGIE BIOLOGIQUE	50
1. Terminologie(s)	51
2. Trois décennies de développements méthodologiques	51
a. Les méthodes quantitatives	51
b. Les méthodes qualitatives	52
3. Explorations méthodologiques	56
4. Applications sur les collections fossiles	57
II. CHANGEMENTS ENTHÉSQUES ET ARCHÉOZOOLOGIE : UNE DISCIPLINE ENCORE JEUNE	58
1. Le cheval	58
a. Insertion du ligament interosseux entre les métapodiens (<i>ligamentum interosseum</i>)	59
b. Insertion du ligament nuchal (<i>ligamentum nuchae</i>)	60
2. Le renne	62
III. LIMITES D'INTERPRÉTATION	66
1. Limites méthodologiques et matérielles	66
2. Limites « biologiques »	67

2^{ÈME} PARTIE : EXPLORATION MÉTHODOLOGIQUE ET ÉTUDE DE RÉFÉRENTIELS MODERNES71

CHAPITRE III : PROPOSITION D'UNE NOUVELLE MÉTHODE DE COTATION	73
I. CRÉATION D'UNE NOUVELLE MÉTHODE	74
1. Élaboration de la méthode	75
a. Critères utilisés pour la sélection des enthèses	75
b. Collections utilisées	77
2. Proposition du système de cotation	77
a. Enthèses fibrocartilagineuses	81
Scapula	82
<i>M. biceps brachii</i> (origine, SBB)	82
Humérus	84
<i>M. subscapularis</i> (terminaison, HSC)	84
<i>M. infraspinatus</i> (terminaison, convexité du tubercule majeur, HIEc)	85

<i>M. infraspinatus</i> (terminaison, crête du tubercule majeur, HIE)	87
Ligament collatéral latéral du coude (origine, HCL)	88
<i>Mm. flexor digitorum superficialis/profundus</i> (origine, HFD)	90
<i>M. ulnaris lateralis</i> (origine, HUL)	91
Radio-ulna	92
<i>M. triceps brachii</i> (terminaison, UTB)	92
<i>M. biceps brachii</i> (terminaison, RBB)	93
Os coxal	95
<i>M. gluteus profundus</i> (origine, CFEP)	95
Fémur	97
<i>M. gluteus profundus</i> (terminaison, FFEP)	97
<i>M. gluteus accessorius</i> (terminaison, FFA)	99
<i>M. iliopsoas</i> (terminaison commune, FIP)	101
<i>M. gastrocnemius</i> , chef médial (origine, FGC)	102
Ligament patellaire latéral (terminaison, TPL)	103
Phalange proximale	105
Ligament collatéral de l'articulation interphalangienne proximale (origine, P ₁ CL)	105
Phalange intermédiaire	107
Ligament collatéral de l'articulation interphalangienne distale (origine, P ₂ CL)	107
Phalange distale	109
Ligament collatéral de l'articulation interphalangienne distale (terminaison, P ₃ CL)	109
b. Enthèses fibreuses	110
Humérus	111
<i>M. deltoideus</i> (terminaison, HDE)	111
<i>Mm. teres major/latissimus dorsi</i> (terminaison commune, HRD)	112
Fémur	114
<i>M. flexor digitorum superficialis</i> (origine, FFS)	114
Phalange proximale	115
Ligament palmaire/plantaire (terminaison, P ₁ PM)	115

	Ligament sésamoïdien distal oblique (terminaison, P ₁ SD) ..	116
	c. Enthèses non enregistrables et absentes	117
II.	REPRODUCTIBILITÉ ET RÉPÉTABILITÉ DE LA MÉTHODE	117
	1. Test intra-observateur	119
	a. Types de désaccord	119
	b. Stades A, B et C	120
	i. <i>Enthèses fibrocartilagineuses</i>	120
	ii. <i>Enthèses fibreuses</i>	121
	2. Test inter-observateur	121
	a. Déroulement.....	122
	b. Types de désaccord	122
	c. Stades A, B et C	123
	i. <i>Enthèses fibrocartilagineuses</i>	124
	ii. <i>Enthèses fibreuses</i>	125
	3. Commentaires.....	125
	CHAPITRE IV : PRÉSENTATION DES RÉFÉRENTIELS ACTUELS ET DES OUTILS STATISTIQUES.....	129
I.	CRÉATION D'UN CORPUS DE RÉFÉRENCE.....	129
	1. Caractérisation biologique des équidés composant le référentiel	129
	a. Estimation de l'âge au décès	129
	b. Détermination du sexe	132
	c. Estimation des proportions corporelles	133
	i. <i>Hauteur au garrot</i>	133
	ii. <i>Masse corporelle</i>	134
	2. Sélection des individus.....	135
II.	PRÉSENTATION DES ÉCHANTILLONS.....	137
	1. Équidés « Sans activité ».....	137
	2. Équidés « Activités »	141
III.	OUTILS STATISTIQUES ET ANALYSES DES DONNÉES.....	147
	1. Statistiques et étude des changements enthésiques	147
	a. Les tests non-paramétriques.....	147
	b. Les équations d'estimation généralisées (<i>Generalized Estimating Equations, GEEs</i>) et les modèles linéaires généralisés (<i>Generalized linear models, GLMs</i>)	148
	c. Mesure Moyenne des Divergences (<i>Mean Measure of Divergence, MMD</i>) 149	

2.	Choix statistiques et déroulé des analyses.....	149
a.	Paramètres non-liés à l'activité.....	149
i.	<i>Influence de l'âge au décès</i>	150
ii.	<i>Influence du dimorphisme sexuel</i>	150
iii.	<i>Influence du lieu de vie</i>	150
iv.	<i>Influence des proportions corporelles</i>	150
b.	Influence de l'activité.....	151
CHAPITRE V : ANALYSE DES RÉSULTATS.....		153
I.	CRÉATION D'UN CORPUS DE RÉFÉRENCE.....	153
1.	Enthèses fibrocartilagineuses.....	153
2.	Enthèses fibreuses.....	156
II.	INFLUENCE DES PARAMÈTRES NON LIÉS À L'ACTIVITÉ.....	158
1.	Influence de l'âge au décès.....	158
a.	Enthèses fibrocartilagineuses.....	158
b.	Enthèses fibreuses.....	151
2.	Influence du dimorphisme sexuel.....	163
a.	Enthèses fibrocartilagineuses.....	163
b.	Enthèses fibreuses.....	166
3.	Influence du type d'environnement de vie.....	167
a.	Enthèses fibrocartilagineuses.....	168
b.	Enthèses fibreuses.....	170
4.	Influence des proportions corporelles.....	172
a.	Enthèses fibrocartilagineuses.....	172
b.	Enthèses fibreuses.....	181
III.	INFLUENCE DU PARAMÈTRE « ACTIVITÉS ».....	187
1.	Distinction « Sans activité » vs « Activités » : cas des enthèses fibrocartilagineuses.....	187
a.	Analyse descriptive.....	188
i.	<i>Groupe « Sans activité »</i>	188
ii.	<i>Groupe « Monte »</i>	190
iii.	<i>Groupe « Traction »</i>	193
b.	Analyses statistiques.....	198
i.	<i>Comparaison « Sans activité » vs « Monte » vs « Traction »</i>	198
ii.	<i>Comparaison « Monte » vs « Traction »</i>	199
2.	Distinction « Sans activité » vs « Activités » : cas des enthèses fibreuses.....	200

a.	Analyse descriptive	201
i.	<i>Groupe « Sans activité »</i>	201
ii.	<i>Groupe « Monte »</i>	202
iii.	<i>Groupe « Traction »</i>	203
b.	Analyses statistiques.....	205
i.	<i>Comparaison « Sans activité » vs « Monte » vs « Traction »</i>	205
ii.	<i>Comparaison « Monte » vs « Traction »</i>	206
3.	La position des enthèses : un moyen de caractériser les différentes catégories ?.....	208
a.	Asymétrie gauche/droite.....	209
i.	<i>Enthèses fibrocartilagineuses</i>	209
ii.	<i>Enthèses fibreuses</i>	211
b.	Asymétrie latérale/médiale	213
i.	<i>Enthèses fibrocartilagineuses</i>	213
ii.	<i>Enthèses fibreuses</i>	213
c.	Asymétrie antérieure/postérieure	214
i.	<i>Enthèses fibrocartilagineuses</i>	214
ii.	<i>Enthèses fibreuses</i>	218
IV.	ESSAI DE CLASSIFICATION : ANALYSES PAR MESURE MOYENNE DES DIVERGENCES (<i>MEAN MEASURES OF DIVERGENCE, MMD</i>)	220
1.	Enthèses fibrocartilagineuses gauches	220
2.	Enthèses fibrocartilagineuses droites	223
CHAPITRE VI : DISCUSSION.....		227
I.	UNE PRISE EN COMPTE NÉCESSAIRE DES PARAMÈTRES BIOLOGIQUES	230
1.	L'âge au décès	230
2.	Le sexe	232
3.	Les proportions corporelles (ratio Masse/Taille).....	235
4.	Le lieu de vie	238
II.	LES CHANGEMENTS ENTHÉSIQUES : DES MARQUEURS D'ACTIVITÉ POUR LES ÉQUIDÉS ?	240
1.	Cheval exploité ou cheval sans activité ?.....	240
a.	Des fréquences d'atteintes variables	240
b.	Une question d'asymétrie(s) ?.....	241
i.	<i>Asymétrie gauche/droite</i>	242
ii.	<i>Asymétrie latérale/médiale</i>	243
iii.	<i>Asymétrie antérieure/postérieure</i>	244

c.	Essais de classification par les Mesures Moyennes de Divergence (ou MMD)	245
2.	Cheval monté ou cheval attelé ?	246
a.	Des enthèses de l'épaule sièges d'altérations chez les chevaux de monte...	247
b.	<i>Quid</i> des équidés de trait ?	249
i.	<i>Cas du membre antérieur</i>	249
ii.	<i>Cas du membre postérieur</i>	251
III.	REMARQUES ET PERSPECTIVES	252
1.	La constitution du référentiel	252
a.	La taille des échantillons	252
b.	Limites liées aux équidés « actifs »	253
c.	Des échantillons homogènes ?	255
2.	Approches statistiques	256
3.	Aspects méthodologiques	257
4.	Cavaliers, meneurs... : les grands absents de cette étude	257
	Conclusion de la 2^{ème} partie	259

3^{ÈME} PARTIE : IDENTIFICATION DES ACTIVITÉS ÉQUINES EN CONTEXTE ARCHÉOLOGIQUE.....261

CHAPITRE VII : LES CHEVAUX DU QUARTIER SAINT-BRICE DE TOURNAI (BELGIQUE, V^E-VI^E S.) - PRÉSENTATION DU SITE ET DESCRIPTION DES SPÉCIMENS265

I.	LE QUARTIER SAINT-BRICE DE TOURNAI	266
1.	La tombe de Childéric I ^{er} (436-481/482)	266
a.	Le « trésor royal »	267
b.	Éléments de connaissances relatifs à la tombe Childéric I ^{er}	268
2.	Les fouilles de la nécropole mérovingienne (2 ^{ème} moitié du V ^e s.- début du VII ^e s.)	269
II.	LES TOMBES DE CHEVAUX (secteurs A et B, 1984-1985)	271
1.	Présentation générale	271
a.	Les fosses	271
b.	Datation	273
2.	Caractérisation biologique de la population	274
a.	Âge, sexe et proportions corporelles	274
b.	Paléogénétique et morphométrie géométrique	280

III.	RÉFLEXIONS TAPHONOMIQUES.....	280
1.	Corrosion de la surface osseuse.....	281
2.	Altérations liées à la fouille.....	282
3.	État de conservation de la collection de Tournai.....	284
IV.	PRÉSENTATION DES CHEVAUX ET DESCRIPTION PALÉOPATHOLOGIQUE	285
1.	Tombe CV1	285
a.	Cheval 1.1.....	285
b.	Cheval 1.2.....	288
c.	Cheval 1.3.....	291
d.	Cheval 1.4.....	292
e.	Cheval 1.5.....	295
f.	Cheval 1.6.....	298
g.	Cheval 1.7.....	299
2.	Tombe CV2	299
a.	Cheval 2.1.....	299
b.	Cheval 2.2.....	300
c.	Cheval 2.3.....	301
d.	Cheval 2.4.....	302
3.	Tombe CV3	303
a.	Cheval 3.1.....	303
b.	Cheval 3.2.....	305
c.	Cheval 3.3.....	307
d.	Cheval 3.4.....	310
e.	Cheval 3.5.....	313
f.	Cheval 3.6.....	314
g.	Cheval 3.7.....	315
h.	Cheval 3.8.....	315
i.	Cheval 3.9.....	316
j.	Cheval 3.10.....	317

CHAPITRE VIII : OSTÉOBIOGRAPHIE DES CHEVAUX TOURNAISIENS - ÉTUDE DES CHANGEMENTS ENTHÉSIQUES 321

I.	GÉNÉRALITÉS.....	322
II.	ENTHÈSES FIBREUSES (stades A, B et C).....	325
1.	Observations générales	325

2.	Analyse de l'asymétrie.....	326
3.	Influence de l'âge au décès	328
4.	Comparaison avec les équidés actuels (catégories « Sans activité », « Monte », « Traction »)	329
III.	ENTHÈSES FIBROCARILAGINEUSES (stades A, B et C).....	332
1.	Observations générales	332
2.	Analyse de l'asymétrie.....	335
3.	Influence de l'âge au décès	337
4.	Comparaison avec les équidés actuels (catégories « Sans activité », « Monte », « Traction »)	339
5.	Comparaison des chevaux de Tournai avec les équidés actuels : analyses par mesure moyenne des divergences (<i>Mean Measures of Divergence, MMD</i>)	343
a.	Enthèses fibrocartilagineuses gauches.....	343
b.	Enthèses fibrocartilagineuses droites	345

CHAPITRE IX : OSTÉOBIOGRAPHIE DES CHEVAUX TOURNAISIENS - EXAMEN PALÉOPATHOLOGIQUE..... 349

I.	LES PATHOLOGIES VERTÉBRALES	350
1.	Spondylosis	350
2.	Conflits des processus épineux.....	355
3.	Arthrose des articulations vertébrales	357
4.	Exostose de l'atlas	358
5.	Une atteinte traumatique du corps vertébral.....	359
II.	PATHOLOGIES ORALES ET ANOMALIES DENTAIRES.....	361
1.	Les usures dentaires anormales	362
a.	L'usure en biseau des secondes prémolaires (P2)	362
b.	Autres usures anormales de la face occlusale et pathologies associées : le cas du cheval 3.4.....	363
2.	Caries	364
3.	Un cas de polyodontie.....	366
III.	LES ATTEINTES DU SQUELETTE APPENDICULAIRE	367
1.	L'arthrose	367
2.	L'ossification du <i>ligamentum interosseum</i> des métapodiens	370
3.	De rares exostoses du squelette appendiculaire.....	372
IV.	LES ATTEINTES TRAUMATIQUES.....	374
V.	LES RÉACTIONS PÉRIOSTÉES LOCALISÉES	376

CHAPITRE X : OSTÉOBIOGRAPHIE DES CHEVAUX TOURNAISIENS -	
DISCUSSION	379
I. DES CHEVAUX EN BONNE SANTÉ ?	379
II. DES CHEVAUX SACRIFIÉS ?	380
III. DES CHEVAUX UTILISÉS COMME MONTURES ?.....	381
1. Les changements enthésiques	382
a. Remarques liées à l'échantillon	382
b. Des paramètres non liés à l'activité sont-ils impliqués ?.....	384
c. Identification de la fonction des chevaux de Tournai.....	385
i. <i>Enthèses fibreuses</i>	385
ii. <i>Enthèses fibrocartilagineuses</i>	386
2. Apport de l'examen paléopathologique	390
Conclusion de la 3^{ème} partie	393
SYNTHÈSE GÉNÉRALE.....	397
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	401
LISTE DES FIGURES	425
LISTE DES TABLEAUX.....	431
LISTE DES ANNEXES.....	434
ANNEXES	437-552

Liste des abréviations

i.e. : *id est* (c'est-à-dire)

e.g. : *exempli gratia* (par exemple)

p. : page

Abréviations associées aux laboratoires, musées et institutions visitées au cours de la thèse

PACEA : De la Préhistoire à l'Actuel : Culture, Environnement et Anthropologie, Bordeaux

MNHN: Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris

CRAVO : Centre de Recherche Archéologique de la Vallée de l'Oise, Compiègne

ONIRIS : École vétérinaire de Nantes

IRSNB : Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Bruxelles

CRAN : Centre de Recherches d'Archéologie Nationale, Louvain-la-Neuve

MHN : Muséum d'Histoire Naturelle de Genève

IfP : *Institut für Paläoanatomie*, Munich

MfN : *Museum für Naturkunde*, Berlin

MfH : *Museum für Haustierrkunde "Julius Kühn"*, Halle

NHM : *Naturhistorisches Museum*, Vienne

Abréviations associées aux enthèses et changements enthésiques

M. : muscle

Lig. : ligament

FC : fibrocartilagineux(se)

F : fibreux(se)

G : gauche

D : droit(e)

Méd. : médial(e)

Lat. : latéral(e)

SBB : insertion du muscle biceps brachial, scapula

RBB : insertion du muscle biceps brachial, radius

HSC : insertion du muscle subscapulaire, humérus

HDE : insertion du muscle deltoïde, humérus

HRD : insertion des muscles grand rond et grand dorsal, humérus

HIE : insertion du muscle infra-épineux, humérus
HFD : insertion des muscles fléchisseurs du doigt, humérus
HUL : insertion du muscle ulnaire latéral, humérus
HCL : insertion du ligament collatéral latéral du coude, humérus
UTB : insertion du muscle triceps brachial, ulna

CFEP : insertion du muscle fessier profond, os coxal
FFEP : insertion du muscle fessier profond, fémur
FFA : insertion du muscle fessier accessoire, fémur
FIP : insertion du muscle ilio-psoas, fémur
FGC : insertion du muscle gastrocnémien, fémur
FFS : insertion du muscle fléchisseur superficiel du doigt, fémur
TPL : insertion du ligament patellaire latéral, tibia

P₁CLa/p : insertion du ligament collatéral de l'articulation interphalangienne proximale, phalange proximale (antérieure/postérieure)
P₁SDa/p : insertion du ligament sésamoïdien distal oblique, phalange proximale (antérieure/postérieure)
P₁PMa/p : insertion du ligament palmaire/plantaire de l'articulation interphalangienne proximale (phalange proximale antérieure/postérieure)
P₂CLa/p : insertion du ligament collatéral de l'articulation interphalangienne distale, phalange intermédiaire (antérieure/postérieure)
P₃CLa/p : insertion du ligament collatéral de l'articulation interphalangienne distale, phalange distale (antérieure/postérieure)

« Monter, atteler, élever un cheval ne sont pas seulement des actes techniques et encore moins des pratiques universelles ; inséparables d'habitudes et de représentations, leurs variantes contribuent à déterminer des cultures. Les chevaux en disent long sur les hommes. »

Jean-Pierre Digard, 1994

Introduction

Depuis sa domestication supposée dans les plaines eurasiennes (IV^e-III^e millénaires BC, culture Botai ; Bendrey, 2012; Levine, 2005), le cheval¹ a eu un impact économique, social et politique non négligeable sur les sociétés humaines. Monté, attelé ou bâti, celui-ci offre à l'Homme une nouvelle perception de son environnement. En effet, les groupes acquièrent par son biais un nouvel avantage tactique et militaire, une aide pour les travaux agricoles ou encore une mobilité accrue via un moyen de transport facilitant le déplacement des biens et des personnes sur de longues distances (voyage, commerce) (Arbogast et al., 2002 ou Clutton-Brock, 1992). Dans certaines sociétés, le cheval revêt un rôle symbolique fort en devenant, par exemple, le reflet d'un statut social (chevalerie du Moyen-Âge) ou en accompagnant le défunt dans la mort (*e.g.* Brulet, 1991; Müller-Wille & Vierck, 1972). En retour, ces rapports étroits établis avec les groupes humains n'ont pas été sans conséquence pour les populations équinées. Par le biais de multiples croisements et sélections, l'Homme a modelé le cheval afin de l'adapter au mieux aux diverses utilisations pour lesquelles il était employé conduisant au final à la naissance de races spécialisées (Digard, 2002, 2004). De nos jours, le cheval tend à se séparer de son rôle « utilitaire » pour revêtir le statut d'animal essentiellement de loisir voire de compagnie (Digard, 2004), certains chercheurs faisant même le parallèle avec les rapports qu'entretiennent l'Homme et le chien (Arbogast et al., 2002).

Comprendre les évolutions temporelle et géographique de la relation Homme-cheval a toujours suscité un vif intérêt chez les archéologues comme en témoignent les nombreux colloques (*e.g.* Gardeisen et al., 2010; Gardeisen & Chandezon, 2014; Lazaris, 2012; Lorans, 2017) ou ouvrages (*e.g.* Arbogast et al., 2002 ou Clutton-Brock, 1992) dédiés à cette question.

Le présent travail se propose d'explorer ces variations à travers le prisme des diverses utilisations auxquelles les équidés ont été employés par le passé (monte, traction, bâti) et des traces qu'elles peuvent laisser sur le squelette. Outre la mise en évidence de matériel lié aux pratiques équestres (mors, selle, étriers ; *e.g.* Baillif-Ducros & Yvinec, 2015) et/ou le contexte de découverte des spécimens, l'étude des pathologies dentaires et osseuses peut fournir des indications quant aux activités pratiquées par les populations équinées anciennes. L'abrasion de

¹ Bien que l'essentiel de notre propos soit axé sur le cheval, il est important de préciser que l'âne (ainsi que les hybrides issus du croisement des deux espèces) a de même été fortement impliqué dans le développement socio-économiques des sociétés des périodes anciennes (Mitchell, 2018). Mis au jour dans la Vallée du Nil, les indices les plus anciens de la domestication de cet animal remontent à 6000-5000 BC (Kimura et al., 2013; Mitchell, 2018; Rossel et al., 2008). L'âne a notamment été employé comme animal de transport (bâti, attelage).

la face mésiale ainsi que l'usure en biseau de la seconde prémolaire inférieure induite par le port du mors (Bendrey, 2007a; Brown & Anthony, 1998; Outram et al., 2009), les déformations de l'os nasal ou de la mandibule induites par le port d'un harnais (Bartosiewicz & Gál, 2013, p. 134; Taylor et al., 2015), les affections du squelette axial telles que la spondylose (Baron, 2018; Bartosiewicz & Bartosiewicz, 2002; Janeczek et al., 2014; Lignereux & Bouet, 2015) ou les fractures vertébrales (Levine, 2005) et les arthropathies (Bartosiewicz et al., 1997; Bartosiewicz & Bartosiewicz, 2002; Janeczek et al., 2017) sont autant d'éléments dont l'observation est généralement interprétée comme le résultat de l'utilisation du ou des spécimens étudiés.

Dans le cadre de nos investigations, on s'intéresse particulièrement à des marqueurs osseux encore délaissés par les archéozoologues : les changements enthésiques. Ils correspondent à des atteintes localisées au niveau des zones d'insertion tendineuses ou ligamentaires (ou enthèse) (Jurmain & Villotte, 2010) fréquemment utilisées en anthropologie biologique pour documenter les conditions de vie, les activités socio-économiques des populations humaines anciennes (Dutour, 1992; Jurmain et al., 2012; Villotte & Knüsel, 2013). Si cette démarche a fait ses preuves lors d'études de restes humains, l'intégration des modifications enthésiques dans les analyses de restes fauniques demeure malheureusement très minoritaire bien qu'elles fassent l'objet d'un intérêt croissant depuis une dizaine d'années pour documenter l'emploi des populations animales dans les sociétés passées (*e.g.* Bendrey, 2007b; Bindé et al., 2019 pour le cheval ou Salmi et al., 2020 pour le renne).

Ainsi, cette recherche s'inscrit dans la problématique générale qu'est de déterminer si les changements enthésiques peuvent être utilisés comme marqueurs d'activité chez les équidés et s'ils permettent d'apporter de nouvelles connaissances quant aux rapports entre l'Homme et ces animaux par le passé. L'intérêt relativement jeune porté aux changements enthésiques en archéozoologie et la quasi-absence de données exhaustives relatives à leur utilisation sur des restes d'équidés (Bendrey, 2007b; Taylor et al., 2015) font que ce travail revêt essentiellement un caractère exploratoire. De cette problématique globale découlent diverses interrogations :

- Est-il possible d'observer et de quantifier les changements enthésiques à partir des restes osseux d'équidés ?
- L'activité est-elle la seule étiologie à prendre en compte dans le cadre de notre démarche ? Quels sont les paramètres potentiellement impliqués dans le développement d'atteintes des zones d'insertions chez les équidés ?

- Dans quelles mesures les changements enthésiques peuvent-ils refléter les activités auxquelles étaient soumis les équidés d'une population archéologique donnée ?

Afin de répondre à ces diverses questions, ce travail s'organise en trois parties.

La première consistera en un état de l'art des connaissances sur les changements enthésiques. Le chapitre I introduira les principaux sujets de notre recherche que sont l'enthèse et les atteintes auxquelles elle peut être sujette. Il s'agira de les définir en regard des données anatomiques et cliniques dont nous disposons actuellement (médecines humaine et vétérinaire équine). Les paramètres potentiellement impliqués dans l'apparition et le développement de lésions enthésiques chez les équidés seront de même présentés. Le chapitre II s'intéressera à l'emploi des modifications enthésiques dans le cadre des études des populations humaines et animales passées. Nous nous attacherons dans un premier temps à présenter les principales méthodes utilisées par les anthropologues avant d'explicitier les objectifs de leurs études. Nous procéderons ensuite à une énumération des quelques publications s'intéressant aux changements enthésiques en archéozoologie. Nous aborderons enfin la question des limites interprétatives soulevées par l'utilisation des modifications de l'enthèse en tant que marqueurs d'activité.

La seconde partie de cette thèse sera dédiée aux aspects méthodologiques et exploratoires de nos investigations. À ce jour, il n'existe aucun protocole permettant d'évaluer plusieurs insertions du squelette appendiculaire des équidés. Nous exposerons dans un premier temps la méthode de cotation élaborée dans le cadre de ce travail (chapitre III). Cette présentation sera accompagnée d'une discussion quant à la fiabilité de notre protocole par le biais de comparaisons intra- et inter-observateurs.

Les chapitres suivants seront focalisés sur la constitution et l'étude de référentiels composés d'équidés modernes. Dans le chapitre IV, la composition de nos référentiels, les différentes catégories établies pour l'étude des changements enthésiques (« Sans activité », « Monte », « Traction ») seront exposées. Les choix statistiques y seront précisés. Le chapitre V rassemblera les résultats obtenus suite à nos observations conduites sur les équidés modernes. À cette occasion, on éprouvera les influences possibles de l'âge au décès, du dimorphisme sexuel, des conditions de vie, des proportions corporelles ainsi que de la pratique ou non d'une activité liée à l'Homme sur l'apparition et le développement de changements enthésiques. Le chapitre VI aura pour but d'interpréter et de discuter ces résultats.

L'application de notre méthode de cotation sur une première collection de chevaux mis au jour en contexte archéologique constituera la troisième et dernière partie de cette thèse.

Le site du quartier Saint-Brice de Tournai (Belgique, V^e-VI^e s.) et les 21 chevaux qui y ont été découverts seront présentés dans le chapitre VII. Leur identité biologique sera dépeinte (âge au décès, sexe, hauteur au garrot, masse corporelle) et accompagnée d'un relevé paléopathologique exhaustif pour chacun d'entre eux. Le chapitre VIII regroupera les résultats de l'analyse des changements enthésiques sur ces spécimens fossiles. Ils seront suivis dans le chapitre IX d'une interprétation des anomalies dentaires et osseuses identifiées dans ce groupe. Ces interprétations seront mises en perspectives avec les données archéologiques, biologiques et vétérinaires déjà existantes. Enfin, les résultats de ces deux chapitres seront discutés dans le chapitre X. Ils permettront de mieux cerner la place occupée par ces chevaux dans le groupe humain à l'origine de leur dépôt en nous interrogeant d'une part sur la ou les fonctions auxquelles ils étaient dédiés et, d'autre part, sur leur état sanitaire.

Enfin, une synthèse de nos principales conclusions viendra clôturer ce manuscrit. Celle-ci s'accompagnera d'une présentation des perspectives qu'ouvrent nos recherches.

1^{ÈRE} PARTIE

CHANGEMENTS ENTHÉSIIQUES ÉTAT DES LIEUX DES CONNAISSANCES

CHAPITRE I

L'ENTHÈSE ET SES ATTEINTES

Définitions anatomiques et cliniques

On désigne par « enthèses » (du grec *enthesis*) les sites d'insertion des tendons, ligaments et capsules articulaires au niveau de l'os. Présentes en nombre important dans le squelette, les enthèses sont de taille variable : leurs dimensions correspondent généralement à celles du tendon ou ligament qui leur est associé (Benjamin et al., 2002), leur épaisseur varie de quelques micromètres à quelques millimètres. Remplissant les fonctions d'interface entre les tissus mous et l'os, elles sont fortement impliquées dans la bonne transmission des forces contractiles produites par le muscle à travers son tendon, le maintien de la continuité articulaire via leur ligament ainsi que la dissipation des stress qui leur sont appliqués (Apostolakos et al., 2014). Appréhender les aspects histologiques, morpho-anatomiques de ces zones d'insertion ainsi que les facteurs impliqués dans leur altération constitue une étape non négligeable avant leur utilisation dans le cadre d'études de restes ostéologiques.

Ce chapitre s'articule en deux parties. La première dépeint anatomiquement et histologiquement l'enthèse. Les deux catégories définies dans la littérature ainsi que le rôle du fibrocartilage au niveau de la zone d'insertion seront présentés. Les processus développementaux de cette interface ainsi que la notion « d'*enthesis organ* » seront ensuite abordés. Des détails quant à l'aspect macroscopique des enthèses sur os sec clôtureront cette section. La seconde partie se focalise majoritairement sur les connaissances issues de la médecine vétérinaire équine. On fournira, dans un premier temps, un état de l'art des recherches vétérinaires les concernant avant de développer, dans un second temps, l'origine multifactorielle des altérations des enthèses et des structures qui leur sont rattachées.

I. ANATOMIE ET HISTOLOGIE DE L'ENTHÈSE.

L'enthèse est considérée comme une interface spécialisée permettant de lier les tendons et les ligaments à l'os. En 1986, M. Benjamin et collaborateurs définissent deux grandes catégories d'enthèses sur base de leur composition histologique : fibreuses et fibrocartilagineuses. Cette classification est depuis largement adoptée par les médecins et les pathologistes. Les nombreux travaux de recherche qui en découlent constituent une documentation précieuse pour comprendre l'aspect de ces insertions sur os sec ainsi que les causes et mécanismes de formation des altérations pouvant y prendre place.

1. Les différents types d'enthèses.

a. Les enthèses fibreuses (Benjamin et al., 2002).

L'enthèse fibreuse est caractéristique de l'attache des fibres tendineuses au niveau de la diaphyse ainsi que des métaphyses des os longs, du bloc crânio-facial et des épiphyses vertébrales (*e.g.* terminaisons des *M. deltoideus*, *teres major* et *latissimus dorsi* sur l'humérus, Benjamin et al., 1986 ; terminaisons des *Mm. flexor digitorum superficialis* et *profundus*, Webbon, 1973 ; terminaison du *M. extensor digitorum* sur la phalange distale, Otomo, 1973). Ces insertions peuvent être associées à certains des muscles les plus larges et puissants de l'appareil musculo-squelettique.

Deux sous-catégories d'enthèses fibreuses ont été identifiées :

- **Osseuses** (ou directes), c'est-à-dire caractérisées par l'absence de périoste. Le tendon pénètre directement dans l'os. La vascularisation tendineuse est alors en lien direct avec le réseau vasculaire osseux ;
- **Périostées** (ou indirectes). Cette catégorie regroupe les insertions musculaires formées de fibres courtes dites « charnues » ainsi que certaines zones de fixation des muscles masticateurs. Celles-ci s'insèrent de manière indirecte sur l'os par l'intermédiaire du périoste. L'enthèse périostée peut devenir osseuse avec l'âge, le périoste disparaissant progressivement de la zone d'insertion lors de la maturation squelettique.

À l'inverse de leurs homologues fibrocartilagineuses (voir ci-après), les informations relatives à la composition histologique ainsi qu'au développement des insertions fibreuses sont peu exhaustives. Si la présence de cartilage est attestée, celui-ci s'avère être en quantité bien moindre que dans les enthèses fibrocartilagineuses (Benjamin et al., 1986).

b. Les enthèses fibrocartilagineuses.

L'enthèse fibrocartilagineuse est typique des zones d'ossification secondaire des os longs (épiphyes), des os courts du carpe, du tarse ainsi que des vertèbres (*e.g.* terminaison du *M. biceps brachii* sur le radius, Oikawa & Narama, 1998 ; ligaments du genou, Cooper et al., 1970 ; terminaison du ligament patellaire sur le tibia, Dolgo-Saburoff, 1929 dans Otomo, 1973 ; insertion du *M. gastrocnemius* sur le calcaneus, Rufai et al., 1995). Cette catégorie bénéficie d'une littérature plus abondante que les enthèses fibreuses du fait d'une vulnérabilité plus élevée des insertions fibrocartilagineuses face aux blessures, notamment chez les sportifs (Benjamin et al., 2002).

La figure 1 et le tableau 1 montrent que l'enthèse fibrocartilagineuse est caractérisée par une succession de quatre zones tissulaires (Apostolakos et al., 2014; Benjamin et al., 1986, 2002):

- La terminaison du tendon ou du ligament (1) est composée de fibres collagènes, de quelques fibres élastiques éparses et de cellules allongées ;
- Le fibrocartilage non-calcifié (2), non vascularisé, assure la protection du tendon en empêchant la courbure des fibres lors de l'application de contraintes (Benjamin & Ralphs, 1998). Il expose des cellules organisées en rangées parallèles et entourées d'une petite quantité de matrice extracellulaire. Les fibres de collagènes se glissent entre ces rangées cellulaires et peuvent s'orienter selon les contraintes qui leur sont appliquées. Caractérisant les zones de tension du tendon, l'orientation des cellules de fibrocartilage est semblable à celle des fibroblastes du tendon ;
- Le fibrocartilage calcifié (3) est caractérisé par la présence d'une matrice extracellulaire minéralisée ainsi que des fibres collagènes perforantes ;
- L'os sous-chondral (4).

Cette subdivision est inégale sur l'ensemble du territoire enthésique. Ces quatre parties sont observables au centre de l'enthèse, zone dans laquelle le périoste est absent. Le fibrocartilage est bien plus rare à sa périphérie (Benjamin et al., 2002).

Chaque zone est délimitée sur le plan histologique :

- La transition entre les zones 1 et 2 est graduelle : l'arrangement des cellules ainsi que la proportion de fibres collagènes n'exposent pas de différences nettes ;
- La *tidemark*, ligne basophile située entre les zones 2 et 3, correspond à un front de calcification départageant les fibrocartilages calcifié et non calcifié. Nette et régulière, elle représente une zone de transition mécanique entre les tissus mous et l'os. La *tidemark* réduit les risques d'altérations du tendon au niveau de l'enthèse au cours du

mouvement (Apostolakos et al. 2014, Benjamin et al., 2002). Son apparition intervient lors du ralentissement de la croissance ;

- L'interface entre le fibrocartilage calcifié et l'os (zones 3 et 4) est très irrégulière. Certains chercheurs la présentent comme la limite anatomique entre le tendon (ou le ligament) et l'os sous-jacent. Elle se caractérise par de multiples enchevêtrements entre ces deux tissus, cette interdigitation permettant ainsi à l'os de résister aux forces mécaniques (Gao & Messner, 1996).

	Composition
Tendon (1)	Fibroblastes Collagène de type I Collagène de type II
Fibrocartilage non-calcifié (2)	Fibrochondrocytes Aggrécane avec collagène (Types I-III)
Fibrocartilage calcifié (3)	Fibrochondrocytes Collagène de type II (prédominant) Collagène de type I Collagène de type X
Os (4)	Ostéocytes Ostéoblastes Ostéoclastes Collagène de type I

Tableau 1 : Composition histologique des quatre zones tissulaires de l'enthèse fibrocartilagineuse (d'après Apostolakos et al., 2014).

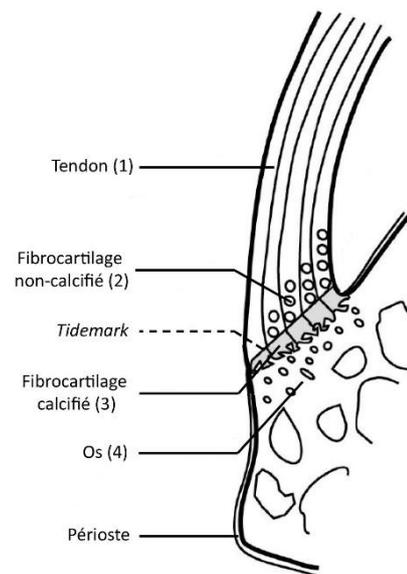


Figure 1 : Zones tissulaires d'une enthèse fibrocartilagineuse (tirée de Villotte, 2008).

2. La fonction du fibrocartilage.

Le fibrocartilage ne se limite pas à l'enthèse elle-même et peut être identifié au sein des tendons ou des ligaments. Sa concentration est variable d'un tendon (ou ligament) à un autre mais aussi au sein même de ces unités (Benjamin et al., 1986, 1995). Ces dissemblances relèvent de différences mécaniques et anatomiques permettant à ces structures de résister à la compression. Les différentes strates de fibrocartilage au sein de l'enthèse fibrocartilagineuse forment une transition graduelle aidant à la préservation des tissus mous et durs face aux contraintes excessives auxquelles ils peuvent être soumis (Benjamin et al., 1986; Gao & Messner, 1996; Schneider, 1956 cité dans Benjamin et al., 1986).

Le fibrocartilage non-calcifié

Le fibrocartilage non-calcifié (figure 1, zone 2) assure la protection du tendon en empêchant la courbure des fibres collagènes au niveau de la *tidemark* (Benjamin et al., 1992). Certaines études mettent en évidence une corrélation entre la concentration de fibrocartilage non-calcifié pour une enthèse donnée et l'amplitude d'un mouvement (plus particulièrement la variation de l'angle entre le tendon et l'os). En effet, les zones d'insertions liées à des tendons ou des ligaments fortement mobiles font montre d'une quantité plus importante de fibrocartilage non-calcifié (Benjamin et al., 1992; Frowen & Benjamin, 1995). Ces résultats expliquent en partie la quasi-absence de fibrocartilage au niveau des enthèses fibreuses. Au contraire des insertions épiphysaires, les tendons des muscles s'insérant au niveau de la diaphyse sont en général parallèles à l'os. Au cours d'un mouvement, ces tendons affichent une faible variation angulaire par rapport à l'os (Benjamin & Ralphs, 1998).

Le fibrocartilage calcifié

Le fibrocartilage calcifié (figure 1, zone 3) représente la zone de transition entre les tissus mous et l'os. De par sa position, il empêcherait la communication entre les ostéocytes et les fibroblastes (cellules tendineuses). Il agirait comme barrière face aux vaisseaux sanguins appartenant à l'os et réduirait par ce biais les risques de dissémination d'infections provenant de l'os, organe davantage vascularisé (Benjamin & Ralphs, 1998). Enfin, le fibrocartilage calcifié est perçu comme une limite potentielle au développement de tissus osseux au sein du tendon. Cette hypothèse est appuyée par les études de M. Benjamin et collaborateurs dans lesquelles ils constatent que les projections osseuses se développent préférentiellement à la périphérie des enthèses fibrocartilagineuses dont la concentration en fibrocartilage est plus faible (Benjamin et al., 2008, 2009).

3. Le développement de l'enthèse.

Le développement des enthèses, du stade fœtal jusqu'à leur maturation, fait l'objet de nombreuses recherches pour comprendre les mécanismes physiques, chimiques et biologiques à l'œuvre (Felsenthal et al., 2018; Matyas et al., 1990; Nawata et al., 2002; Thomopoulos et al., 2010; Wei & Messner, 1996). Ces études trouvent leur application en médecine du sport et chirurgie orthopédique, l'objectif des praticiens étant de reconstruire au mieux la structure originelle des zones d'insertion en cas d'altérations (Zelzer et al., 2014). La formation des

enthèses débute durant l'embryogénèse. Le développement des enthèses fibreuses et fibrocartilagineuses relève des diverses ossifications dont l'os est issu (Benjamin et al., 2002).

Les zones d'insertion **fibrocartilagineuses** sont soumises à l'ossification endochondrale. Au début du développement, le tendon s'insère directement dans le cartilage hyalin. Jusqu'à sa maturation, l'enthèse est sujette à deux processus concomitants qui conduisent à la disparition complète de ce cartilage (Benjamin et al., 2002; Gao et al., 1996):

- Dans la partie « osseuse » de l'insertion, l'ossification endochondrale érode progressivement le cartilage hyalin et le remplace par des travées osseuses ;
- La partie « tendineuse » est le siège d'un processus métaplasique au cours duquel les cellules tendineuses se transforment en cellules cartilagineuses conduisant ainsi à l'apparition du fibrocartilage. Ce dernier s'étend ensuite à l'intérieur du tendon et se calcifie dans sa partie profonde.

Certains auteurs émettent l'idée que ce processus métaplasique peut se réactiver à l'âge adulte en réponse à une augmentation des contraintes mécaniques au niveau de l'enthèse (Benjamin et al., 2009; Gao et al., 1996) rendant ainsi possible un remodelage partiel du fibrocartilage (Claudepierre & Voisin, 2005).

Les enthèses **fibreuses** localisées sur la diaphyse des os longs sont périostées à la naissance. Au cours de la croissance en longueur de l'os, certaines études ont mis en évidence une migration de ces insertions dans le but de maintenir la position relative des structures qui y sont liées par rapport à l'os (Dörfl, 1980a, 1980b; Grant et al., 1980). Le périoste, de par son « étirement » vers les deux extrémités de l'os au cours de la croissance, serait à l'origine de cette mobilité (Grant et al., 1980).

Pour que l'enthèse puisse acquérir l'ensemble des structures qui lui permettront de remplir ses fonctions d'interface entre les structures molles et l'os, les études insistent sur l'importance des sollicitations mécaniques pendant l'embryogénèse et la croissance. Des recherches menées sur des souris ont démontré qu'une absence de contraction musculaire après la naissance conduit à une dégénérescence du tendon ainsi qu'une désorganisation cellulaire de sa zone d'insertion (Thomopoulos et al., 2007).

L'obtention d'une enthèse fonctionnelle est soumise à l'expression de signaux moléculaires et biophysiques (*e.g.* Felsenthal et al., 2018; Thomopoulos et al., 2010; Zelzer et al., 2014). Si leur identification et leur implication font encore l'objet de nombreuses investigations, l'intervention de facteurs de transcription tels que Scleraxis (Scx), nécessaire au

développement du tendon, SOX9, impliqué dans la différenciation des chondrocytes ou encore de l'hormone parathyroïdienne semble avoir un rôle important dans la formation des complexes tendon-os ou ligament-os.

4. Le concept de l'« *enthesis organ* ».

M. Benjamin et D. McGonagle proposent en 2001 le concept « d'*enthesis organ* ». Certains chercheurs considèrent en effet que l'enthèse ne peut se limiter à la simple insertion du tendon (ou du ligament) au niveau de l'os et qu'elle s'étend à l'ensemble des structures qui lui sont adjacentes : le tendon, le ligament, le fibrocartilage osseux, les coussins adipeux, les bourses synoviales et/ou la membrane synoviale. Tout comme l'insertion, ces tissus participent à la dissipation des contraintes au niveau de l'interface entre les tissus mous et l'os. Cette fonction commune expliquerait en partie l'observation de tendinite, ostéite, bursite et/ou synovite concomitantes de certaines « enthésopathies » (Slobodin et al., 2007).

5. Aspects des enthèses sur l'os sec.

La forme d'une enthèse correspond généralement à celle du tendon ou du ligament qui s'y insère. Enthèses fibrocartilagineuses et fibreuses se distinguent de par leur localisation sur le squelette ainsi que leur composition histologique. L'aspect macroscopique de ces zones d'insertion reflète ces différences.

Les enthèses **fibrocartilagineuses** seraient les plus simples à identifier au niveau de l'os (Benjamin et al., 2002). Elles sont caractérisées par une surface lisse, aux limites bien définies et sans foramen vasculaire (Benjamin et al., 1986). Cet aspect est lié à la présence de fibrocartilage ainsi qu'à la régularité de la *tidemark*. L'absence de communication avec le réseau vasculaire de l'os, en raison du fibrocartilage calcifié, explique l'absence de foramen au centre de l'enthèse (Benjamin & Ralphs, 1998).

Les atteintes observables sur os sec sont localisées au niveau des couches de fibrocartilage calcifié et de l'os sous-chondral (figure 1, zones 3 et 4). Celles-ci prennent des formes diverses (Villotte, 2008; Villotte & Knüsel, 2013) :

- Une irrégularité de la *tidemark* induite par des dépôts calcifiés ainsi que des formations osseuses (Benjamin et al., 2002) ;
- Une ostéoformation ou des enthésophytes. Ces derniers se développent sous l'action des fibres tendineuses, préférentiellement à sa périphérie, zone dans laquelle on observe une

quantité moindre de fibrocartilage (Benjamin et al., 2008, 2009). Leur taille et leur direction varient selon la localisation de l'enthèse ainsi que l'orientation des fibres qui s'y insèrent ;

- Une ostéolyse du fibrocartilage calcifié et de l'os sous-chondral ;
- Des micro- et macroporosités indiquant une vascularisation du fibrocartilage ;
- Des géodes, des kystes.

Les enthèses **fibreuses osseuses** sont associées à des crêtes marquées ainsi que des rugosités. Le tendon communiquant avec le réseau vasculaire de l'os, il est possible d'observer des foramens sur leur surface (Benjamin et al., 2002).

L'aspect des enthèses **fibreuses périostées** est similaire à celui des autres surfaces osseuses, leurs tendons n'ayant pas de lien direct avec l'os (Benjamin et al., 1986). Celles-ci offrent une surface lisse et régulière mais mal délimitée (Benjamin et al., 2002).

Comme précisé précédemment, certains auteurs regrettent le manque de données anatomiques permettant de définir avec précision les enthèses fibreuses (Villotte, 2008). Ces dernières peuvent être le siège de processus de formation osseuse et d'ostéolyse.

II. LES ATTEINTES DE L'ENTHÈSE CHEZ LES ÉQUIDÉS.

La structure de l'enthèse est liée à la nécessité de dissiper les contraintes qui lui sont appliquées aussi bien à l'interface entre l'os et le tendon (ou le ligament) qu'au sein de ces structures même (Benjamin et al., 2002). Elle est en permanence soumise à des stimuli externes et internes pouvant conduire à son usure importante (« *wear and tear* »). De fait, les sites d'insertion des tendons et ligaments sont les sièges d'expressions cliniques diverses et variées.

1. Données générales.

L'appareil locomoteur du cheval est soumis à de nombreuses contraintes pouvant conduire à son altération. Les atteintes des tendons (tendinopathies), ligaments (desmopathies) et de leurs insertions (enthésopathies) sont parmi les plus fréquentes. Elles peuvent être à l'origine de douleurs et boiteries, causes importantes de baisse de performance voire d'interruption prématurée de carrière chez le cheval de course et de sport (Clegg, 2012; Firth, 2000; entre 53 et 68% de chevaux de course selon Barrey, 2014). Au regard de l'impact

économique qu'elles peuvent avoir, leur identification (examens cliniques, méthodes d'imagerie), leurs traitements et les facteurs impliqués dans leur développement font donc l'objet de nombreuses recherches (*e.g.* Anderson et al., 2008 ou Launois et al., 2009).

Contrairement aux blessures tendineuses et ligamentaires, les données s'intéressant aux enthésopathies chez les équidés sont assez peu exhaustives et les publications qui leur sont pleinement dédiées demeurent relativement rares (*e.g.* Aldrich et al., 2017; Dabareiner et al., 2013; Huskamp & Nowak, 1988; Oikawa & Narama, 1998; Wright & Minshall, 2012). Ces dernières sont généralement identifiées avec l'aide de différentes méthodes d'imagerie telles que la radiographie (*e.g.* Aldrich et al., 2017; Bassage et al., 2000), l'Imagerie par Résonance Magnétique (ou IRM) (*e.g.* Dakin et al., 2009; Zubrod et al., 2005), l'échographie (*e.g.* Dabareiner et al., 2013; O'Brien et al., 2018), la scintigraphie (*e.g.* Ashton, 2018; Dyson et al., 2006) ou encore la tomodensitométrie (ou CT-scan) (*e.g.* Launois et al., 2009). Les enthésopathies peuvent prendre la forme d'une surface d'insertion irrégulière induite par la formation de productions osseuses/enthésophytes (Dakin et al., 2009; Huskamp & Nowak, 1988; Martinelli & Rantanen, 2009; McDiarmid, 1998; Trump et al., 2014; Zubrod et al., 2005) ou de lyse osseuse (Bassage et al., 2000; Turner & Sage, 2002; Young et al., 2012). De même, il est possible que des kystes prennent place sous la surface de l'enthèse formant ainsi des cavitations (Smith et al., 2005).

La majeure partie des lésions ligamentaires, tendineuses et de leurs insertions tendent à se développer dans la partie distale des membres (articulations métacarpo-, métatarso- et interphalangiennes). Ces zones présentent un volume musculaire faible et sont en grande partie parcourues de tendons et de ligaments. Ces deux critères font que l'extrémité du membre offre une vulnérabilité plus importante face aux sur-sollicitations et aux chocs (Denoix et al., 2011; Parkes & Witte, 2015).

La fréquence et la localisation des atteintes semblent être fonction de la discipline équestre (courses diverses, dressage, concours complet², attelage...) et du niveau de compétition dans lesquels les chevaux sont impliqués (Murray et al., 2006; Williams et al., 2001). En effet, les observations tendent à démontrer que les structures anatomiques et les contraintes qui y sont appliquées diffèrent selon la discipline. Dans une recherche publiée en

² Le concours complet d'équitation (ou CCE) est une discipline équestre mondiale regroupant trois épreuves différentes : une épreuve de dressage, une épreuve de cross-country et une épreuve de saut d'obstacles.

2006 par R.C Murray et collaborateurs, les chevaux de dressage présentent une fréquence accrue d'atteintes du membre postérieur (ligament suspenseur du boulet) alors que c'est le membre antérieur (tendon du *M. flexor digitorum superficialis*) qui expose un taux de blessures élevé chez les chevaux impliqués dans les compétitions de concours complet. Il demeure cependant difficile d'établir des tendances caractéristiques pour un type d'activité, chaque publication étant basée sur des effectifs variables (Kasashima et al., 2004). Il existe une littérature conséquente s'intéressant aux chevaux de course, en raison de leur importance économique, suivis par les chevaux impliqués dans les sports « montés » (e.g. dressage, CSO, endurance). En revanche, les animaux d'attelage et de trait sont souvent nettement sous-représentés (7 spécimens sur 1112 dans Murray et al., 2006 ; moins de 4% de l'échantillon dans Gruyaert et al., 2020), les blessures auxquelles ils sont exposés moins bien documentées (voir tout de même Goble, 2011; Keane & Munroe, 2011).

Tendinopathies et desmopathies sont des pathologies couramment observées pour les tendons des muscles *flexor digitorum profundus* (Crişan et al., 2013) et *superficialis* ainsi que son ligament accessoire (Eliashar et al., 2005; O'Sullivan, 2007; Plowright & Dyson, 2015; Williams et al., 2001), le ligament suspenseur du boulet (Gruyaert et al., 2020; Plevin & McLellan, 2014; Trump et al., 2014), les ligaments collatéraux de l'articulation interphalangienne distale (Dakin et al., 2009; Denoix et al., 2011; Evrard et al., 2012; Turner & Sage, 2002; Young et al., 2012) et des articulations métacarpo/métatarso-phalangiennes. Dans une moindre mesure, les recherches font état d'anomalies situées au niveau des muscles *biceps brachii* (insertion terminale sur le radius: Dyson, 2011; Oikawa & Narama, 1998) et *gastrocnemius* (Bassage et al., 2000; Dyson & Kidd, 1992) ou encore des ligaments long plantaire, extenseur long du doigt et médio-collatéral du genou (Gillis, 2014).

2. Étiologies et types d'enthésopathies.

Les atteintes des enthèses peuvent être d'origine dégénérative, traumatique, inflammatoire, endocrinienne ou métabolique (Resnick & Niwayama, 1983). Il est important de rappeler que ces modifications peuvent intervenir sans qu'il y ait d'antécédent particulier. Elles sont alors incluses dans le processus normal de développement de l'insertion. Nous présenterons les divers paramètres impliqués dans le développement d'enthésopathies chez les équidés. Nous ferons parfois appel à des connaissances s'intéressant à l'Homme et plus rarement à d'autres animaux domestiques afin de compléter certains points.

a. Influence de l'âge.

Les atteintes des tendons, ligaments et de leurs insertions sur l'os peuvent s'accroître avec l'augmentation de l'âge chez les équidés (*e.g.* Kasashima et al., 2004; Murray et al., 2006 ou Van den Belt et al., 1993). Ces lésions peuvent être provoquées par des processus liés à la sénescence ou des phénomènes dégénératifs liés à l'âge. Ces derniers se traduisent par une accumulation de microtraumatismes au cours de la vie de l'animal. Cette fragilisation des structures ligamentaires, tendineuses et de leurs entèses amenuise leur résistance face aux contraintes et favorise ainsi l'installation de blessures (Dyson, 2012; Eliashar et al., 2005; O'Sullivan, 2007; Plowright & Dyson, 2015).

Le rôle de l'âge demeure cependant encore mal défini. Certains chercheurs insistent sur la difficulté de dissocier les affections liées à l'âge de celles induites par la pratique d'activités. Les chevaux plus âgés disposent en effet d'une carrière sportive plus longue, impliquant un nombre plus important d'entraînements et de compétitions et donc un risque accru d'exposition à ces blessures (Kasashima et al., 2004; Murray et al., 2006; Patterson-Kane & Firth, 2009).

b. Influence du sexe.

Les travaux menés chez l'Homme ont mis en évidence un impact possible du sexe sur l'apparition de modifications enthésiques (Milella et al., 2012; Wilczak, 1998). Des paramètres tels que la masse musculaire, la taille ou encore l'activité endocrinienne (hormones ovariennes, ménopause, *etc...*) seraient à considérer (Dutour, 1992; Villotte & Knüsel, 2013).

Ces résultats sont en revanche difficilement transposables chez les équidés, le dimorphisme sexuel étant peu marqué chez ces animaux. Les observations quant aux différences mâles/juments sont variables d'une étude vétérinaire à une autre et dépendent des échantillons pris en compte (Kasashima et al., 2004). Des investigations menées à la fin des années 90 sur le tendon du muscle *flexor digitorum superficialis* n'attestent d'aucune différence entre les sexes (Cohen et al., 1997, 1999). Ces résultats sont contredits au début des années 2000, certaines recherches faisant état d'une prévalence plus importante de tendinopathies soit chez les femelles (Pickersgill, 2000) soit chez les étalons et les hongres (Hernandez et al., 2001; Kasashima et al., 2004). Il est de fait difficile de déterminer quels sont les mécanismes à l'œuvre pour expliquer les différences liées au sexe (physiologique, conditions de vie). Par exemple, Y. Kasashima et collaborateurs démontrent en 2004 que les mâles présentent un taux de tendinopathies plus important que les juments et que les hongres sont davantage atteints que les mâles non castrés. Les auteurs émettent l'hypothèse que ces différences seraient liées à la durée

de carrière de ces animaux. Les hongres auraient une carrière plus longue que les étalons et les juments, ces derniers étant utilisés dans le cadre de programmes de reproduction en fonction de leurs performances et résultats en compétition.

c. Masse et hauteur au garrot.

Les chevaux exposant une taille et/ou une masse élevée(s) seraient les plus à même de développer des blessures de leurs ligaments et tendons (Gruyaert et al., 2020). Des facteurs tels qu'une surcharge pondérale liée au port d'une charge trop élevée ou bien à l'animal lui-même contraignent davantage le système musculo-squelettique et favorisent l'apparition de blessures (O'Sullivan, 2007). Des investigations s'intéressant aux troubles orthopédiques (notamment les arthropathies) chez les chevaux de races de trait actuels déclarent que leur fréquence élevée peut être mise en lien avec les proportions corporelles importantes de ces animaux plus qu'avec les activités auxquelles ils sont soumis (Goble 2011, p. 1059).

d. Enthésopathies traumatiques.

Les enthèses équinées peuvent être soumises à des arrachements osseux (ou avulsions), pouvant résulter d'un évènement traumatique (chute, chocs) ou d'une succession de microtraumatismes. Les données vétérinaires attestent du caractère peu commun des enthésopathies traumatiques (Ashton, 2018 : muscle *ulnaris lateralis* ; Dyson 2011, Oikawa & Narama, 1998 : muscle *biceps brachii* ; O'Brien et al., 2018 : ligament annulaire du doigt). Les jeunes chevaux (Ashton, 2018) ainsi que les animaux plus âgés (Chopin et al., 1997; O'Brien et al., 2018) peuvent être sujets à ces dommages. Chez les poulains, les avulsions semblent être le résultat d'une accumulation de microtraumatismes liée à des forces de tension importantes au niveau de la zone d'insertion, alors sensibilisée par les processus de croissance et de maturation osseuses (Ashton, 2018 ; Oikawa & Narama, 1998 ; Mikola et al., 2018 pour le chien). Pour les enthèses fibrocartilagineuses, cette accumulation de microlésions se traduit par une multiplication des *tidemarks* (Oikawa & Narama, 1998).

Chez le cheval adulte, la zone d'insertion peut être fragilisée par une pathologie pré-existante. En 1997, J.B Chopin et ses collègues exposent le cas d'une avulsion du ligament collatéral du coude chez un hongre de 12 ans, lésion généralement rare dans cette zone. Selon les auteurs, une sur-sollicitation de l'enthèse et la présence d'une arthropathie dégénérative du coude auraient favorisé l'avulsion du ligament collatéral.

e. Génétique.

Au cours d'une étude s'intéressant aux atteintes du ligament suspenseur du boulet chez des chevaux de races diverses et d'âges variés, M. Gruyaert et ses collègues supposent l'intervention de prédispositions génétiques dans le processus d'apparition de desmopathies (Gruyaert et al., 2020). Certains de leurs résultats révèlent en effet que (1) certaines races de leur échantillon (pur-sang, trait irlandais) présentent une fréquence importante de lésions et que (2) de jeunes chevaux, bien que peu employés dans des disciplines sportives, montrent une forte sensibilité face à ces atteintes malgré leur jeune âge. Cependant, il demeure actuellement difficile de déterminer dans quelles mesures le paramètre génétique intervient dans l'apparition d'enthésopathies chez le cheval (Dyson & Murray, 2012), d'autant que celui-ci pourrait interagir avec d'autres facteurs (Gruyaert et al., 2020).

Au cours de recherches menées chez le chien, des cas fréquents d'enthésopathies ont aussi été mis en évidence chez de jeunes labradors, et dans une moindre mesure chez d'autres races telles que les bergers allemands ou les setters anglais. Ces observations laissent de même supposer qu'il pourrait exister une prédisposition génétique quant à leur apparition chez ces animaux (muscles *infraspinatus* et *supraspinatus* : Mikola et al., 2018 ; muscles fléchisseurs du carpe et des doigts : Bakker et al., 2011, 2012; Ober et al., 2018).

f. Maladies systémiques.

Certaines maladies systémiques peuvent être à l'origine d'enthésopathies. Les données sont ici particulièrement exhaustives chez l'Homme. L'enthèse, notamment fibrocartilagineuse, est la cible privilégiée des spondylarthropathies inflammatoires (spondylarthrite ankylosante, arthrite psoriasique...) ou de la polyarthrite rhumatoïde (D'Agostino et al., 2009; McGonagle et al., 2002). Le processus inflammatoire provoque une érosion de la zone d'insertion qui est ensuite le siège de formations enthésophytiques (Aydin et al., 2010).

La maladie hyperostotique (ou DISH) est une maladie systémique d'origine inconnue affectant aussi bien le squelette axial qu'appendiculaire et conduisant à une ossification importante des tissus mous tels que les enthèses. Cette affection est parfois décrite dans la littérature vétérinaire, majoritairement chez les chiens (Kranenburg et al., 2011; Morgan, 1967) et rarement chez les équidés (Lagier, 1989). Ces études sont pour bon nombre focalisées sur les atteintes vertébrales (par exemple, l'ossification du ligament ventral longitudinal). Il semble, en revanche, que les atteintes du squelette appendiculaire soit peu documentées (Marković et al., 2019).

g. Fluoroquinolones et corticostéroïdes.

La prise de certains médicaments favoriserait le développement de tendinopathies et de lésions enthésiques (Alves et al., 2019; Claudepierre & Voisin, 2005; Slobodin et al., 2007). Les tendinopathies associées à l'ingestion de fluoroquinolones (antibactériens) ont une incidence de 0,1 à 0,4% chez l'Homme (Stephenson et al., 2013). Les symptômes varient d'une douleur au niveau du tendon à sa rupture complète. Chez les animaux domestiques, leurs effets dépendent de l'espèce et de la dose administrée. Les fluoroquinolones inhiberaient la prolifération cellulaire, provoqueraient des changements morphologiques et modifieraient la synthèse de protéoglycanes (Martinez et al., 2006; Yoon et al., 2004). Leurs effets seraient particulièrement marqués chez les chevaux de moins de trois ans (Muylaert & Mainil, 2014).

Les corticostéroïdes sont des anti-inflammatoires couramment utilisés en médecine vétérinaire équine. Tout comme chez l'Homme, ils ont la réputation d'induire le développement d'anomalies tendineuses et enthésiques chez le cheval bien que certains chercheurs regrettent le manque de recherches visant à confirmer cette relation (Bailey & Elliott, 2007). Leur administration systématique favoriserait l'apparition de laminites³ (Bailey & Elliott, 2007). Dans une étude consacrée aux desmites des ligaments collatéraux de l'articulation interphalangienne distale, l'injection de corticostéroïdes aurait, chez certains chevaux, aggravé la pathologie existante (Turner & Sage, 2002).

h. Autres paramètres.

Il est possible que d'autres facteurs interviennent dans le développement de pathologies tendineuses, ligamentaires ou enthésiques. Au cours de leurs observations, les vétérinaires s'attachent à vérifier s'il existe ou non une mauvaise conformation des membres ou des pieds du cheval (*e.g.* Ross & Dyson, 2011, p. 6 ; Routh et al., 2019), sur quel(s) type(s) de sol(s) ce dernier évolue (Keane & Munroe, 2011; Murray et al., 2006), si l'animal dispose d'une ferrure adaptée (Dyson, 2002; Keane & Munroe, 2011) ou encore si ce dernier est porteur d'anomalies de l'appareil locomoteur.

³ La laminite est une inflammation du chorion (ou tissu kéraphylleux) du sabot pouvant être à l'origine de douleurs et de boiteries souvent sévères chez le cheval (Belknap & Geor, 2017; Boden & Andrews, 2015).

Résumé

Ce chapitre dresse un aperçu de l'ensemble des connaissances ayant trait à la biologie de l'enthèse et des altérations qui peuvent s'y développer.

Les deux types d'enthèses, fibreuses et fibrocartilagineuses, diffèrent de par le type d'ossification dont ces dernières dépendent, leur composition histologique, leur localisation et leur aspect sur l'os sec.

Les lésions de l'appareil locomoteur, telles que les tendinopathies, les desmopathies ou les enthésopathies, sont choses courantes chez le cheval de sport et font l'objet de nombreuses recherches vétérinaires. Elles prennent place majoritairement dans la partie distale des membres. Tout comme chez l'Homme, les altérations de l'enthèse peuvent prendre différentes formes identifiables avec l'aide de méthodes d'imagerie : ostéoformations, résorptions osseuses, arrachements osseux et kystes. Si la discipline pratiquée par le cheval semble impacter l'incidence et la localisation des enthésopathies, nous devons garder à l'esprit que leur origine est multifactorielle : une même atteinte peut être le résultat de l'action de plusieurs paramètres (figure 2).

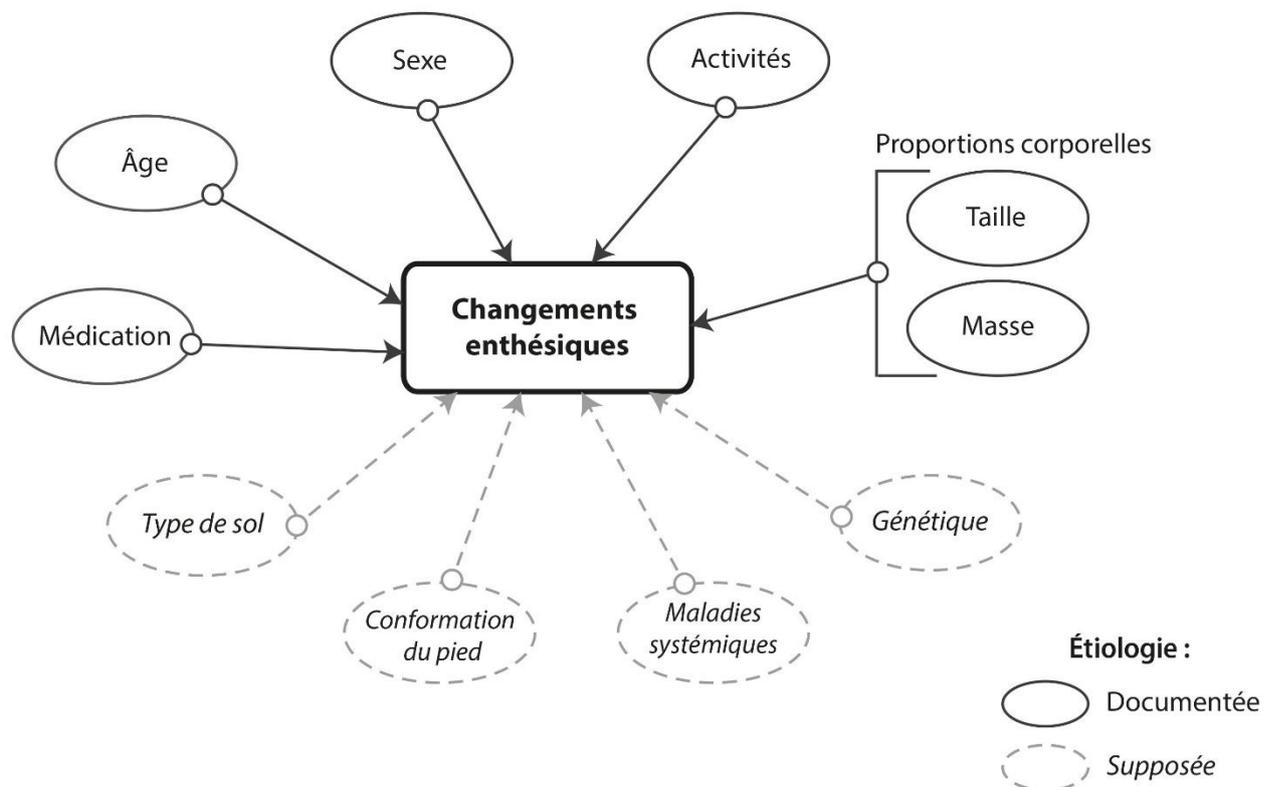


Figure 2 : Récapitulatif de l'origine multifactorielle des changements enthésiques.

Le rôle d'interface entre tissus mous et os de l'enthèse fait qu'elle a une fonction clé dans la réalisation de mouvements. C'est notamment pour cette raison qu'elle est au cœur de nombreuses investigations dans le cadre de la reconstitution des activités socio-économiques des populations humaines passées. Nous verrons dans le chapitre suivant que les études bioarchéologiques s'intéressant aux changements enthésiques sont bien moindres sur les restes animaux que chez l'Homme.

CHAPITRE II

CHANGEMENTS ENTHÉSIQUES ET RECONSTITUTION DES ACTIVITÉS PASSÉES

Dans le chapitre I, l'enthèse a été définie comme l'interface entre l'os et le tendon/ligament qui vient s'y insérer. Elle est de fait soumise à diverses contraintes tant physiques que biologiques qui peuvent induire l'apparition d'atteintes diverses (productions osseuses, érosion, porosités) observables sur l'os sec.

La pratique d'une ou plusieurs activité(s) au cours de la vie d'un individu peut conduire à la formation de modifications enthésiques. Ainsi, l'attrait des anthropologues pour les zones d'insertions ligamentaires et tendineuses comme témoins de l'activité se traduit par une multiplication des recherches pour aider notamment à la compréhension des comportements et de l'organisation socio-économiques des populations passées. Cependant, malgré les nombreuses investigations menées sur l'os humain, leur potentiel est nettement sous-exploité en archéozoologie (figure 3).

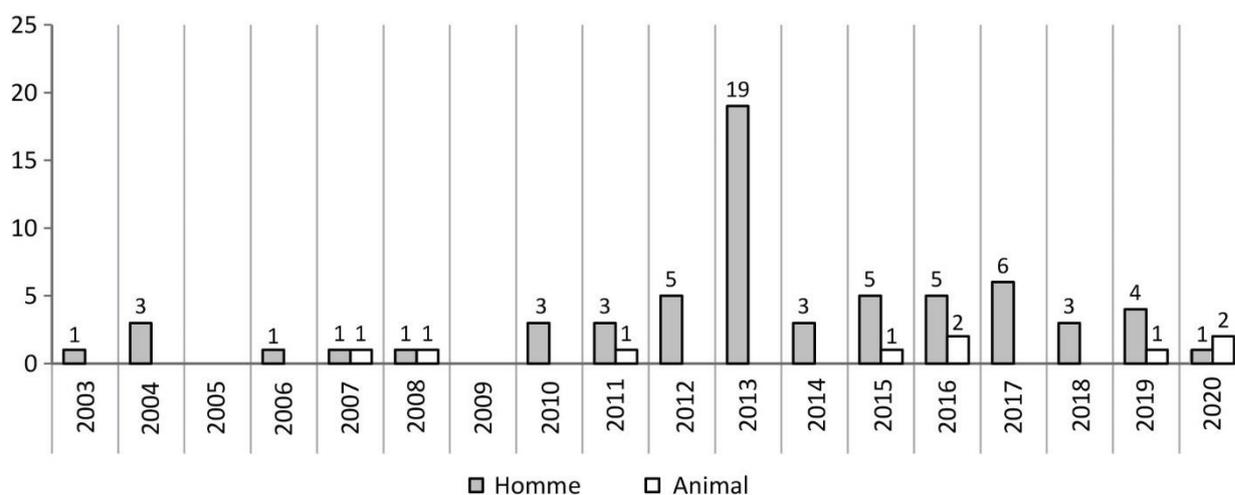


Figure 3 : Nombre de publications employant les changements enthésiques à la reconstitution des activités passées en anthropologie biologique et en archéozoologie entre 2003 et 2020. Un total de 64 publications ont été répertoriées en anthropologie biologique contre seulement 9 en archéozoologie !

La recherche a été menée à l'aide des mots-clés « *entheseopathy* », « *musculoskeletal stress markers* » et « *entheseal changes* ». Les différents critères retenus sont présentés en annexe 1.

Le but de ce chapitre est de faire une revue des travaux s'intéressant à l'emploi des changements enthésiques pour l'étude de populations archéologiques. Dans un premier temps, nous nous intéresserons à l'observation de ces atteintes sur l'os humain. Pour ce faire, les terminologies employées ainsi que les diverses recherches méthodologiques engagées depuis quelques décennies seront présentées. Sans énumérer tous les travaux tant ils sont nombreux, nous aborderons les applications diverses et variées dont les changements enthésiques peuvent faire l'objet. On s'intéressera ensuite aux investigations conduites en archéozoologie depuis la deuxième moitié des années 2000. Bien moins exhaustives qu'en anthropologie biologique, nous exposerons les divers travaux publiés à ce jour, les méthodes employées avant d'en discuter les résultats. Enfin, ce chapitre ne pourra se clôturer sans aborder les écueils liés à l'étude des modifications enthésiques et les précautions à prendre quant à l'interprétation de nos observations.

I. UN DOMAINE DE RECHERCHE ACTIF EN ANTHROPOLOGIE BIOLOGIQUE.

Depuis les années 80, les enthèses et leurs atteintes sont couramment utilisées comme marqueurs d'activité dans le cadre d'études des populations humaines anciennes (*e.g.* Crubézy, 1988 ; Dutour, 1986 ; Kennedy, 1989). Cet engouement est favorisé par leur identification et leur observation aisées sur os sec (Villotte & Knüsel, 2013). Ce vif intérêt s'est depuis traduit par une multiplication des études, la tenue d'un workshop à Coimbra⁴ (2009 puis 2013), qui a permis aux équipes travaillant sur les changements enthésiques de mettre en commun leurs connaissances et d'établir un cadre à leurs recherches (Santos et al., 2009), ainsi que la publication en 2013 d'un numéro spécial à l'initiative de ce workshop dans l'*International Journal of Osteoarchaeology*⁵.

Nous ne pourrions énumérer l'ensemble des publications tant elles sont nombreuses et variées dans leurs applications. Nous nous efforcerons dans cette partie de présenter les diverses

⁴ *Workshop in Musculoskeletal Stress Markers (MSM): limitations and achievements in the reconstruction of past activity patterns*, Coimbra, Portugal, 2-3 juillet 2009.

⁵ *Entheseal changes and Occupation: Technical and Theoretical Advances and Their Applications*, 2013, special issue, volume 23, issue 2, p. 127-251, *International Journal of Osteoarchaeology*.

terminologies employées, les évolutions méthodologiques majeures engagées ainsi que les principaux usages des changements enthésiques en anthropologie biologique.

1. Terminologie(s).

Différents termes ont été employés pour désigner les modifications localisées au niveau des zones d'insertions ligamentaires et tendineuses.

Les anthropologues ont tout d'abord utilisé le mot « **enthésopathie** » (Crubézy et al., 2002 ; Dutour, 1986). Issu de la littérature clinique, il désigne un état pathologique et est, de fait, considéré comme peu adapté à l'ensemble des modifications observées, ces dernières pouvant être asymptomatiques et d'étiologies variées (Jurmain & Villotte, 2010 ; Villotte & Knüsel, 2013).

L'« enthésopathie » a été progressivement délaissée au profit de l'expression « **Musculoskeletal Stress Markers** » ou MSM (Hawkey & Merbs, 1995), largement employée par la suite. Elle laisse en revanche supposer que les contraintes liées à la pratique d'une activité ou d'une profession sont les principales causes de développement de lésions. Les chercheurs ont estimé cette dénomination réductrice en regard des connaissances anatomiques et physiologiques qui font état de facteurs causaux multiples (cf. chapitre précédent). Des termes tels que « *muscle markings* » (Robb, 1998) ou « *Markers of Occupational Stress* » (MOS ; Kennedy, 1989) peuvent apparaître dans la littérature mais ont été peu employés pour les raisons citées précédemment.

R. Jurmain et S. Villotte proposent alors la désignation de « **changement enthésique** » (« *entheseal changes* » en anglais ; Jurmain & Villotte, 2010). La neutralité de ce terme fait aujourd'hui consensus parmi les chercheurs car prenant en compte l'étiologie multifactorielle de ces altérations ainsi que les diverses formes qu'elles peuvent prendre (enthésophyte, érosion, porosités, etc...).

2. Trois décennies de développements méthodologiques.

Diverses approches, aussi bien qualitatives que quantitatives, ont vu le jour.

a. Les méthodes quantitatives.

Les approches quantitatives sont relativement peu nombreuses et ne sont que très rarement utilisées. Celles-ci visent à quantifier les modifications de la surface de la zone

d'insertion (Zumwalt, 2005), sa forme, sa taille (Wilczak, 1998), la quantité d'os cortical (Stirland, 1998) ou, plus récemment, sa structure interne (Berthon et al., 2015, 2016).

Elles utilisent des méthodes d'enregistrement diverses et variées telles que la radiographie (Stirland, 1998), le pied à coulisse (Wilczak, 1998), le conformateur (Henderson, 2013b), la micro-tomodensitométrie (Berthon et al., 2015, 2016 ; Djukić et al., 2020) ou encore le scanner à trois dimensions (Karakostis et al., 2017 ; Zumwalt, 2005).

Si elles offrent la possibilité d'explorer les changements enthésiques tant aux niveaux macroscopique que microscopique, ces approches peuvent s'avérer coûteuses et chronophages. Réclamant l'acquisition de nombreuses données, ces paramètres peuvent s'avérer contraignants lors d'études portées sur de larges collections.

b. Les méthodes qualitatives.

Les approches qualitatives sont de loin les plus employées. Nécessitant la mobilisation de peu de moyens matériels, elles sont aisément applicables quel que soit le contexte de recherche.

D.E. Hawkey et **C.F. Merbs** proposent une approche visant à enregistrer aussi bien les enthèses fibrocartilagineuses que fibreuses (Hawkey, 1988 ; Hawkey & Merbs, 1995). Les auteurs répartissent les altérations en trois catégories justifiées, selon eux, par leur mécanisme d'apparition :

- La robustesse de l'enthèse (« *robusticity* ») correspondrait à la réaction normale de l'os face aux contraintes musculaires répétées et témoignerait ainsi de la pratique d'activités quotidiennes. Elle s'exprime sous forme d'irrégularité de la surface enthésique ;
- Les pertes osseuses (« *stress lesion* ») sont semblables à une zone d'ostéolyse à fond irrégulier. Elles résulteraient de microtraumatismes répétés ;
- Les formations osseuses (« *ossification exostosis* ») seraient induites par un macrotraumatisme. Ces dernières prennent la forme d'une exostose ou d'un éperon osseux.

Quatre stades de cotation ont été définis pour évaluer la sévérité de chaque caractère. Les auteurs considèrent que les destructions osseuses (« *stress lesion* », cotées de 4 à 6) s'inscrivent dans la continuité des atteintes de type « robustesse » (cotées de 1 à 3) car elles relèveraient toutes deux de l'accumulation de microtraumatismes. En revanche, les modifications de type « *ossification exostosis* » sont enregistrées séparément (scores 1 à 3). L'absence d'atteinte, quelle qu'elle soit, est cotée 0.

Cette méthode reste actuellement largement utilisée par les anthropologues (*e.g.* Eshed et al., 2004 ; Gresky et al., 2016 ; Niinimäki & Baiges Sotos, 2013 ; al-Oumaoui et al., 2004). Cependant, son emploi est remis en question depuis une dizaine d'années, certains chercheurs reprochant notamment l'absence de recoupement avec la littérature médicale qui distingue enthèses fibreuses et fibrocartilagineuses (Villotte, 2008).

Regrettant l'inexistence de démarche standardisée, **V. Mariotti et collaborateurs** élaborent un nouveau protocole visant à coter 23 enthèses infra-crâniennes (Mariotti et al., 2004, 2007). Deux types de modifications sont pris en compte : la robustesse de l'insertion (d'après Hawkey & Merbs, 1995) et l'enthésopathie elle-même, subdivisée en deux catégories, « ostéophytique » et « ostéolytique ». L'échelle de cotation établie pour chacune des 23 enthèses est illustrée de clichés photographiques. Pour les mêmes raisons qu'énumérées précédemment, c'est aussi l'absence de différenciation entre les deux types d'enthèses qui est reprochée, les critères retenus étant invalidés en partie par les données médicales et anatomiques (Villotte, 2008).

Système	Type des enthèses	Localisation des atteintes	Type d'atteintes
1	Fibrocartilagineuse (<i>n</i> = 9)	Bord et/ou centre	Productions osseuses (<i>bord et centre</i>) Porosités (<i>centre</i>) Géode (<i>centre</i>)
2	Fibrocartilagineuse (<i>n</i> = 3)	Bord ou centre	Enthésophyte(s) (<i>bord</i>) Érosion (<i>centre</i>)
3	Ligaments jaunes (<i>n</i> = 46)	-	Enthésophyte
4	Fibreuse (<i>n</i> = 6)	Totalité de l'insertion	Irrégularité de la surface Lacune corticale

Tableau 2 : Systèmes de cotation proposés par S. Villotte en 2008.

À l'issue d'une revue critique des méthodes établies entre les années 80 et le début des années 2000, **S. Villotte** regrette l'absence d'un protocole standardisé basé cette fois-ci sur les connaissances anatomiques et pathophysiologiques (Villotte, 2008, p. 82-85). Il insiste

notamment sur la nécessité de distinguer insertions fibreuses et fibrocartilagineuses, celles-ci différant de par leur apparence, leur histologie et leurs propriétés mécaniques (cf. chapitre I). Il s'intéresse à 18 enthèses appendiculaires et à 46 insertions rachidiennes (ligaments jaunes ou *ligamenta flava*). Il définit alors quatre systèmes de cotation qui prennent en compte les types de changements et leur localisation au sein de l'enthèse (tableau 2).

Le système n°1 cote séparément le bord ainsi que le centre de neuf enthèses fibrocartilagineuses et considère divers types de modifications (ossifications, porosités et géode). Pour une même insertion, son bord et sa surface se voient chacun attribuer un score compris entre 0 et 2. Ces derniers sont ensuite additionnés pour obtenir un stade (A : 0 ; B : 1 et 2 ; C : 3 et 4).

Le système n°2 permet d'enregistrer le bord ou le centre de trois enthèses fibrocartilagineuses. Ces deux zones étant rarement atteintes simultanément pour une même insertion, l'auteur fait le choix d'élaborer une échelle de cotation séparée : l'une considère la présence d'enthésophytes sur le bord de l'enthèse (3 stades), l'autre d'une plage érosive en son centre (3 stades).

Le système n°3 est spécifique aux 46 insertions fibrocartilagineuses rachidiennes des ligaments jaunes. Il prend en compte la présence d'enthésophytes ainsi que leur degré de développement. Le système n°4 considère six zones d'insertions fibreuses. Les types de modifications enregistrées sont de deux sortes : irrégularité de la surface et présence d'une lacune corticale.

La **méthode de Coimbra**, résultant des travaux issus du workshop du même nom, est axée uniquement sur les enthèses fibrocartilagineuses (Henderson et al., 2013, 2016; Henderson, Wilczak et al., 2017). Les auteurs jugent en effet que les enthèses fibreuses bénéficient d'une littérature actuellement peu abondante pour pouvoir être employées à la reconstitution des fonctions passées (Henderson, 2013a). De plus, certaines études émettent l'idée que les enthèses fibreuses sont moins sensibles aux stress induits par la pratique d'une activité (Villotte, 2008 ; Weiss, 2015).

L'enthèse fibrocartilagineuse est divisée en deux zones (figure 4) :

- La zone 1 correspond à la partie du bord où les fibres du tendon ou du ligament forment un angle aigu avec la surface osseuse (figure 4, tracé noir) ;
- La zone 2 regroupe le reste du bord ainsi que le centre de la zone d'insertion (figure 4, zone grisée).



Figure 4 : Zones anatomiques définies par la méthode de Coimbra.
Exemple de l'insertion du *M. subscapularis* sur l'humérus.
Zone 1 : tracé noir
Zone 2 : zone grisée
(Henderson et al., 2013).

Au contraire de la méthode proposée par S. Villotte, les différents types de modifications sont cotés individuellement selon leur zone d'observation. Ce choix est justifié par le caractère multifactoriel de leur apparition qui peut différer en fonction du type d'altération et de l'étiologie considérée (voir chapitre I). Les différents paramètres retenus sont présentés dans le tableau 3. Les auteurs affichent ici la volonté de déterminer quels sont les critères les plus à même d'identifier les patterns d'activité.

Modification	Zone	Définition
Formation osseuse (BF)	1 et 2	-
Érosion (ER)	1 et 2	Dépression ou creusement à bords irréguliers impliquant une discontinuité du cortex (diamètre > 2 mm).
Porosités fines (FPO)	2	Petites perforations de diamètre ≤ 1 mm à bords réguliers et arrondis.
Macroporosités (MPO)	2	Plus grandes perforations de diamètre > 1 mm à bords réguliers et arrondis.
Cavité (CA)	2	Cavité sous-corticale possédant une ouverture externe plus petite que le diamètre maximum de la cavité.
Changement de texture (TC)	2	Surface à texture granuleuse diffuse, irrégulière ou des stries verticales alignées.

Tableau 3 : Liste et définitions des changements enthésiques retenus dans la méthode de Coimbra (Henderson et al., 2013, 2016).

Si les démarches utilisées divergent selon les critères considérés, l'objectif principal de leurs auteurs demeure d'identifier les comportements socio-économiques des groupes humains passés.

3. Explorations méthodologiques.

Les recherches méthodologiques n'ont pas pour seul but l'élaboration de protocoles d'enregistrement des changements enthésiques. L'objectif de certains travaux est d'éprouver la reproductibilité ainsi que la répétabilité des méthodes de cotation notamment celles établies par S. Villotte en 2008 (Havelková & Villotte, 2007 ; Villotte, 2008 ; Villotte & Perreard Lopreno, 2012) et la méthode de Coimbra (Henderson et al., 2013, 2016 ; Michopoulou et al., 2017 ; Wilczak et al., 2017). Les protocoles antérieurs ont fait l'objet d'investigations plus anecdotiques (Davis et al., 2013 pour le système de DE. Hawkey et CF. Merbs ; Mariotti et al., 2004, 2007). La volonté affichée est d'optimiser la comparaison d'études indépendantes en proposant des approches optimales et standardisées. Pour ce faire, les auteurs émettent des suggestions telles que :

- L'organisation de séances d'entraînement avec les auteurs des méthodes (Villotte & Perreard Lopreno, 2010 ; Wilczak et al., 2017) ;
- La présence de clichés photographiques comme support à l'application de ces protocoles. Ceux-ci fournissent des exemples de la variabilité morphologique pouvant être observée au niveau des zones d'insertion (aspects sains, types de modifications, localisation et étendue au sein de l'enthèse) (Davis et al., 2013) ;
- La mise en place de conditions d'observation optimales (luminosité naturelle, pauses entre les séances de cotation, etc...) ;
- Le partage des bases de données relatives aux changements enthésiques (Wilczak et al., 2017) ;
- La publication d'une terminologie descriptive standard traduite dans différentes langues (Villotte et al., 2016).

En parallèle de leurs travaux sur des échantillons archéologiques, les anthropologues s'attachent à travailler sur des référentiels modernes documentés (exemples : collection SIMON, Genève ; collection Spitalfields, Londres). Les individus les composant sont généralement accompagnés de données biographiques tels que l'âge au décès, le sexe, l'état civil, les liens de parenté, la profession... autant d'éléments qui sont d'importance lorsque l'intérêt est porté sur les changements enthésiques (Perréard Lopreno, 2007; Perréard Lopreno et al., 2013; Villotte & Knüsel, 2013). Ces collections permettent en effet d'explorer au mieux les différents paramètres pouvant intervenir dans l'apparition d'altérations et aider à l'interprétation des analyses menées en contexte archéologique.

L'identification aisée de certaines zones d'insertions tendineuses et ligamentaires sur l'os sec a motivé leur emploi en tant que témoins osseux d'activités passées, leur reconstitution permettant de discuter du rôle des individus au sein des sociétés. Il est alors possible d'obtenir des informations quant à l'organisation sociale et l'identité des communautés étudiées (Foster et al., 2014).

4. Applications sur les collections fossiles.

Les études à échelle populationnelle ont été favorisées en raison de la forte variabilité inter-individuelle (*e.g.* gestuelle, alimentation, *etc.*) à laquelle sont soumis les changements enthésiques. Au travers de comparaisons inter-populationnelles, ces derniers ont été exploités pour caractériser les activités socio-économiques des groupes humains (Havelková et al., 2011; Karakostis et al., 2017; Peterson, 1998), leurs conditions de vie (Acosta et al., 2017) ainsi que leur état sanitaire (Crubézy et al., 2002; Dutour, 1986; Steen & Lane, 1998). Certains chercheurs ont également effectué des observations au sein des populations même afin d'y identifier une éventuelle répartition des tâches (Mazza, 2019; Molnar, 2010; al-Oumaoui et al., 2004; Villotte et al., 2010) ou de discuter du statut de personnes inhumées en regard du traitement funéraire dont elles ont bénéficié (Thomas, 2014). S'appuyant sur les données pathophysiologiques et archéologiques, l'objectif de certains travaux est de documenter des patterns potentiellement liés à des activités spécifiques telles que, par exemple, la pratique cavalière (Baillif-Ducros, 2018; Baillif-Ducros et al., 2011; Djukić et al., 2018) ou l'archerie (Thomas, 2014; Tihanyi et al., 2015).

Alors que la majeure partie des études sont focalisées sur les adultes, les individus en cours de croissance (enfants et adolescents) ont été jusqu'à récemment délaissés des investigations (Palmer, 2019; Partiot, 2018). Dans le but de documenter leur vie ainsi que les processus pouvant impacter l'apparition de modifications enthésiques au cours de la croissance, J. Palmer propose une méthode de cotation, basée sur un système de présence/absence, adaptée à l'étude de 15 zones d'insertion chez les subadultes de 2 à 17 ans (Palmer, 2019, p. 55-79). Dans son travail de thèse, C. Partiot explore les altérations de la tubérosité radiale chez des bébés âgés de moins de 1 an (Partiot, 2018, p. 381-409). La fréquence importante de pertes osseuses observée dans une population médiévale résulterait, selon l'auteure, d'une immobilisation des enfants liée à la pratique de l'embaillotement.

Les changements enthésiques sont parfois exploités en paléontologie des hominés en apportant de nouvelles données morpho-fonctionnelles et biomécaniques d'espèces fossiles (*e.g.* : Belcastro & Mariotti, 2017; Mariotti & Belcastro, 2011). Cette approche donne la possibilité de fournir des connaissances relatives à la locomotion des ancêtres de l'Homme (bipède, quadrupèdes, suspenseur, sauteur-agrippé) au travers de l'étude des patterns locomoteurs chez l'Homme et les primates non-humains modernes (Casado et al., 2019; Drapeau, 2008).

II. CHANGEMENTS ENTHÉSQUES ET ARCHÉOZOLOGIE : UNE DISCIPLINE ENCORE JEUNE.

Avant que l'intérêt pour les modifications enthésiques ne s'accroît en archéozoologie, l'animal a tout d'abord été employé pour discuter de leur fiabilité en tant que marqueurs d'activité (souris : Rabey et al., 2015; dinde : Wallace et al., 2017; mouton : Zumwalt, 2006) ou éprouver de nouvelles méthodes d'enregistrement de ces atteintes (*e.g.* Zumwalt, 2005 pour le scanner à trois dimensions).

S'inspirant des études axées sur le matériel osseux humain, certains chercheurs s'inspirent de ces approches pour identifier les utilisations passées du cheval (Bendrey, 2007b, 2008; Taylor et al., 2015) et du renne (Hull et al., 2020; Niinimäki & Salmi, 2016; Salmi et al., 2020; Salmi & Niinimäki, 2016). À partir de l'étude de spécimens modernes et documentés, leurs objectifs sont d'établir des échantillons de référence en vue d'identifier des patterns de domestication ainsi que les paramètres influençant le développement de changements enthésiques. L'ensemble des connaissances acquises doivent aider à la compréhension des interactions entre l'animal et les sociétés humaines dans le passé.

1. Le cheval.

Les équidés ont été les premiers animaux à faire l'objet d'observations. Les quatre études répertoriées s'intéressent à deux enthèses : l'insertion du ligament interosseux entre les métapodiens et l'insertion du ligament nuchal sur la protubérance de l'os occipital.

a. Insertion du ligament interosseux entre les métapodiens (*ligamentum interosseum*).

Le ligament interosseux (*ligamentum interosseum*) est composé de fibres courtes et puissantes maintenant étroitement les métapodiens principaux et accessoires entre eux. Bien que l'amplitude des mouvements des os métacarpiens soit très limitée voire nulle chez les équidés, son ossification est fréquente à l'âge adulte et peut conduire à une ankylose des éléments concernés (Barone, 2000b). Cette modification étant couramment relevée dans le registre archéologique, **R. Bendrey** s'intéresse au *ligamentum interosseum* dans le but d'identifier les causes pouvant induire l'apparition de formations osseuses (Bendrey, 2007b). Il travaille alors sur les squelettes de 10 chevaux de Przewalski modernes ayant vécu en captivité (zoo de Prague) et élabore à cette fin un système de cotation en 5 stades (tableau 4).

Stade	Définition
0	Absence d'ossification.
1	a Les métapodiens sont fixés mais aucune ossification n'est visible (<i>e.g. montage du squelette en salle d'exposition, fixation des métapodiens avec de la colle...</i>).
	b Les métapodiens ne sont pas fixés. Une ossification est observable sur l'un et/ou l'autre des métapodiens.
	c Les métapodiens sont fixés. Les bords de l'enthèse sont ossifiés mais aucun pont n'est formé entre les métapodiens III et II/IV.
2	Formation d'un pont osseux conduisant à l'ankylose des deux métapodiens.

Tableau 4 : Système de cotation de l'insertion du *ligamentum interosseum* entre les métapodiens chez le cheval (Bendrey, 2007b).

L'étude de cette population captive non domestiquée révèle que des facteurs autres que l'activité conduisent à l'ossification de ce ligament. Une corrélation entre ossification et contraintes fonctionnelles liées à la position anatomique a été mise en évidence. Chez ces chevaux de Przewalski, la comparaison entre métacarpiens et métatarsiens montre que les altérations sont plus importantes au niveau des premiers. La prédominance des anomalies en position antérieure s'explique, selon l'auteur, par l'application des contraintes biomécaniques liées à la masse corporelle, les 2/3 de cette dernière étant supportés par les membres antérieurs chez les mammifères quadrupèdes (Barone, 2000a). De même, les atteintes sont généralement plus sévères au niveau des ligaments médiaux, position où se concentrent majoritairement les contraintes sur les membres. L'ankylose des métapodiens (score 2) est ici plus fréquente chez les chevaux âgés de plus de 20 ans et bien plus rare dans les classes d'âge inférieures. Cette étude met donc en évidence que l'âge au décès est un facteur impliqué dans le développement

d'ossification du *ligamentum interosseum* chez le cheval. Il s'agit ici de la seule publication consacrée à cette enthèse. Malgré le potentiel des résultats obtenus, les observations n'ont pas été prolongées sur un échantillon plus important comportant des spécimens non utilisés par l'Homme et des animaux impliqués dans des activités.

b. Insertion du ligament nuchal (*ligamentum nuchae*).

Le ligament nuchal (*ligamentum nuchae*) vient en support aux muscles extenseurs de la tête (muscles cervicaux dorsaux) afin d'équilibrer le poids de la tête et de l'encolure. Il est grandement impliqué dans la locomotion de par son rôle dans le balancier cervico-céphalique. Sa mise en mouvement fait varier la position du centre de gravité permettant ainsi l'exécution des mouvements et la régulation des allures. Chez le cheval, et plus généralement les ongulés, le balancier cervico-céphalique participe à la transmission de l'impulsion des membres pelviens le long de la colonne vertébrale (Barone, 2000b). De fait, les chercheurs se sont intéressés aux variations de l'insertion du *ligamentum nuchae* au niveau de la protubérance de l'os occipital.

La première étude a été menée par **R. Bendrey** sur 60 crânes de chevaux modernes et documentés (Bendrey, 2008). L'échantillon est composé de 28 chevaux de zoos et de 32 équidés impliqués dans des activités (14 animaux de monte, 18 de traction). Inspiré de la publication de D.E. Hawkey et C.F. Merbs (1995), l'auteur propose un protocole d'enregistrement des dimensions et de la forme de la zone d'insertion en combinant approches macroscopique et quantitative. L'enthèse est divisée en deux parties A et B : la première est localisée entre la protubérance externe et la crête nuchale, la seconde correspond à la protubérance occipitale externe médiane (figure 5). Les stades de cotation établis, au nombre de sept, sont détaillés dans le tableau 5.

Zones A et B	Stade	Définition
Cotation séparée des zones A et B	0	Absence de modification.
	1	Surface rugueuse (<i>aspect en papier de verre</i>).
	2	Surface irrégulière, présente parfois de petits picots osseux.
	3	Projection(s) osseuse(s) palpable(s) (<i>hypertrophie</i>).
Cotation commune des zones A et B	4	Projection(s) osseuse(s) < 0,75 cm.
	5	Projection(s) osseuse(s) comprise entre 0,75 et 1,5 cm.
	6	Projection(s) osseuse(s) > 1,5 cm.

Tableau 5 : Système de cotation de l'insertion du *ligamentum nuchae* proposé par R. Bendrey (2008).

Ce protocole est employé sept ans plus tard par **W. Taylor** et **collaborateurs** qui le transposent à l'analyse de scans tridimensionnels (Taylor et al., 2015). Ils reprennent les résultats publiés en 2008 en y ajoutant un corpus composé de 23 chevaux modernes (11 animaux de monte, 11 spécimens féraux et 10 de zoos) avant de s'intéresser à 6 crânes de chevaux mongoles datés de l'Âge du Bronze (« *Deer Stone Khirigsuur Complex* », 1300-700 BC).

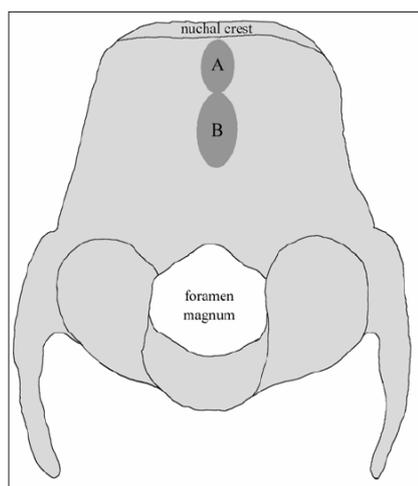


Figure 5 : Insertion du *ligamentum nuchae* - Zones définies dans le cadre du système de cotation établi par R. Bendrey (tiré de Bendrey, 2008).

Les deux études avancent l'idée que l'insertion du *ligamentum nuchae* est utilisable comme marqueur de l'utilisation des équidés dans les sociétés passées. Les chevaux de course se distinguent nettement des autres groupes en exposant des atteintes plus importantes de cette zone d'attache (Bendrey, 2008 ; Taylor et al., 2015). Selon R. Bendrey, ces spécimens ont probablement bénéficié d'un entraînement intensif répété expliquant en partie le développement accru de changements. L'étude de 2015 révèle de plus une différence significative entre animaux captifs et féraux. Ces derniers exposent des atteintes moins développées dans cette zone (Taylor et al., 2015). Les auteurs en concluent qu'il existe une liaison probable entre formations osseuses et conditions de vie des équidés. Si les chevaux ayant vécu en captivité présentent des altérations plus importantes, ce serait en raison d'une sur-sollicitation du ligament liée à la pratique de mouvements réduits dans un espace clos, d'éventuelles stéréotypies⁶ ou encore des stress liés à la captivité.

De même, W. Taylor et collaborateurs révèlent une proximité des degrés d'atteintes des chevaux mongoles avec celles des animaux de monte et de traction (Taylor et al., 2015). Bien

⁶ Les stéréotypies correspondent à des comportements répétitifs, invariants et sans but évident (Mason, 1991). Chez les équidés, elles peuvent se manifester sous forme de secouements de tête. Elles résultent généralement d'une interaction anormale entre l'animal et son environnement (espace réduit, situations de stress, absence de stimuli) et sont observables aussi bien chez les espèces domestiques que celles vivant en captivité (Wenisch, 2012).

que l'échantillon soit réduit et ne permette pas de rapprocher le pattern observé de l'un ou l'autre des activités, ces résultats préliminaires permettent aux auteurs de démontrer une potentielle utilisation de ces chevaux à l'Âge du Bronze en Mongolie et, par ce biais, de leur importance au sein des sociétés mongoles.

Cependant, les chercheurs mettent aussi en évidence l'impact de paramètres non liés à l'activité à considérer dans les études futures. Les animaux âgés exposent généralement des productions osseuses plus marquées que leurs pairs plus jeunes. Les deux études s'accordent sur une implication importante de l'âge au décès dans l'apparition et le développement d'atteintes au niveau de cette zone d'insertion (Bendrey, 2008 ; Taylor et al., 2015). En revanche, aucune différence significative n'a été démontrée entre mâles et juments (Bendrey, 2008). Son échantillon comportant des spécimens de races différentes, R. Bendrey n'exclut pas l'hypothèse d'un impact de facteurs génotypiques tels que la hauteur au garrot, la masse corporelle ou encore la conformation des équidés.

Les atteintes de l'insertion du *ligamentum nuchae* peuvent résulter d'une infection bactérienne, connue sous le nom de « *poll-evil* », comme en témoigne l'étude d'un crâne de cheval scythe daté entre les VIII^e et IX^e siècles (Bendrey et al., 2011). Celui-ci expose des modifications sévères sous forme de formations osseuses irrégulières, d'érosion et de nécrose étendues. La projection osseuse centrale résulterait d'un traumatisme ayant induit une inflammation de la bourse nuchale (« *supra-atlantal bursa* ») ainsi qu'une infection bactérienne localisée toutes deux matérialisées par les pertes osseuses et les atteintes nécrosiques. Si l'activité est un facteur à prendre en considération, il est ici difficile de déterminer dans quelle mesure elle a joué un rôle dans l'apparition de ces altérations.

2. Le renne.

Inspirée des méthodes récentes publiées en anthropologie biologique (Henderson et al., 2013, 2016; Villotte, 2008), **S. Niinimäki** et **AK. Salmi** proposent un système de cotation spécifique au renne dans le but de documenter les relations entre l'Homme et cet animal en contexte archéologique (Niinimäki & Salmi, 2016; Salmi & Niinimäki, 2016). Au contraire des études portées sur le cheval, leur approche enregistre les atteintes de type formations osseuses au niveau de 21 entèses situées du squelette appendiculaire (tableau 6) :

- L'ensemble de la zone d'insertion est observé pour les entèses fibreuses ;
- Seul le bord est considéré pour les entèses fibrocartilagineuses, exception faite des insertions des muscles *M. biceps brachii* et *M. flexor digitorum profundus* pour lesquelles leur surface est prise en compte.

Ce système de cotation est appliqué sur une collection comprenant 28 spécimens modernes ayant vécu en zoos, 25 ayant vécu en liberté et deux rennes domestiqués. Les analyses révèlent des différences entre rennes de zoo et ceux vivant en liberté. Ces derniers exposent des atteintes plus importantes des zones d'insertion des muscles fléchisseurs de l'épaule (Niinimäki & Salmi, 2016). Selon les auteures, cette tendance pourrait être liée au comportement alimentaire (*e.g.* recherche du lichen dans la neige) ainsi qu'à une mobilité plus grande de ces animaux (migrations, espaces non clos). En revanche, des scores plus élevés ont été enregistrés pour l'insertion du *M. subscapularis* chez les rennes captifs. Ce muscle est impliqué dans l'adduction du bras (humérus) mais rend aussi possible le maintien de l'épaule en limitant les déplacements transversaux de la tête humérale (Barone, 2000b). Les animaux captifs étant supposément moins actifs physiquement, les changements plus développés de cette insertion seraient induits par une position statique fréquente liée à l'espace réduit dans lequel ces rennes évoluent.

Les rennes utilisés pour la traction présentent des similitudes avec les animaux de zoo. Les zones d'insertion tibiales arborent des niveaux d'atteintes similaires entre ces deux groupes. Le membre postérieur remplissant les fonctions de propulsion du corps (Barone, 2000a), les fréquences plus élevées de modifications enthésiques résulteraient de l'utilisation de ces rennes comme animaux de trait. L'hypothèse d'une liaison à l'âge au décès a de même été émise. En effet, dans leur étude de 2016, les rennes d'âge avancé sont porteurs des changements enthésiques plus sévères (Salmi & Niinimäki, 2016). Les chercheuses posent alors l'idée que les lésions observées résulteraient soit (1) de processus dégénératifs soit (2) d'une accumulation de contraintes liées à la pratique d'activité au cours de la vie des animaux.

Type	Os	Insertion
Fibrocartilagineuse (FC)	Humérus	<i>M. subscapularis</i> , <i>M. infraspinatus</i> , <i>M. supraspinatus</i> , <i>M. extensor digitorum lateralis</i>
	Radius	<i>M. ulnaris lateralis</i> , <i>M. anconeus</i> , <i>M. flexor profundus</i> <i>Mm. flexor digitorum superficialis/profundus</i> ,
	Ulna	<i>M. biceps brachii</i> , <i>M. flexor digitorum profundus</i>
	Fémur	<i>M. vastus lateralis</i> , <i>M. iliacus</i> , <i>M. psoas major</i>
	Tibia	<i>M. flexor digitorum lateralis</i> , <i>M. extensor</i> du doigt I, <i>M. tibialis caudalis</i>
Fibreuse (F)	Humérus	<i>M. deltoideus</i> , <i>M. teres major</i>
	Fémur	<i>M. gastrocnemius</i> , <i>M. vastus medialis</i> , <i>M. semimembranosus</i> , <i>M. sartorius</i> , <i>M. gracilis</i>

Tableau 6 : Liste des enthèses retenues chez le renne dans le cadre du système de cotation créé par S. Niinimäki et AK. Salmi (2016).

En usant de la même méthode de cotation, les investigations de l'équipe finlandaise se portent ensuite sur 20 rennes de course et 6 employés comme animaux de trait ou de bât (**Salmi et al., 2020**). L'étude des changements enthésiques est ici combinée à un relevé paléopathologique.

Après comparaison avec les spécimens non utilisés par l'Homme étudiés en 2016 (voir Niinimäki & Salmi, 2016), ces 26 rennes se distinguent par une proportion plus importante de pathologies osseuses (désordres articulaires, pathologies vertébrales) et d'enthèses modifiées, notamment pour certaines insertions humérales associées à des muscles participant aux mouvements des articulations de l'épaule (*M. deltoideus*, *M. teres minor*, *M. teres major*, *M. infraspinatus*, *M. supraspinatus* et *M. subscapularis*) et du coude (*M. triceps brachii*). Selon les auteures, cette fréquence accrue de modifications enthésiques découlerait d'une sur-sollicitation mise en lien avec la ou les activités auxquelles étaient dédiés ces animaux. Au cours de la locomotion, ces muscles permettent en effet au renne de projeter son corps vers l'avant et l'ajout d'une masse supplémentaire (cavalier, traîneau ou port d'une charge) vient accroître les contraintes appliquées à leur niveau.

L'insertion du *vastus lateralis* du *M. quadriceps femoris* sur le fémur est de même associée à une fréquence de modifications importante. Ce muscle est responsable des mouvements de flexion et d'extension des articulations de la hanche et du genou. Les proportions élevées d'altérations sont ici mises en lien avec la nécessité pour ces rennes d'atteindre une vitesse maximale au cours d'un effort, notamment chez les spécimens utilisés pour la course. Afin d'optimiser cette accélération, ces animaux doivent pouvoir effectuer une large gamme de mouvements au niveau de la hanche (et des vertèbres lombaires) ce qui conduit à une sollicitation élevée des muscles concourant à la mobilité de ces zones.

Les investigations menées par **E. Hull** et **collaboratrices** s'intéressent aux enthèses phalangiennes (tableau 7). Leur étude vise à distinguer deux sous-espèces de rennes, *Rangifer tarandus fennicus* (*R.t.fennicus* ou renne des forêts) et *Rangifer tarandus tarandus* (*R.t.tarandus*). Le but de cette étude est de déterminer dans quelles mesures ces deux sous-espèces ont chacune participé au processus de domestication du renne et interagi avec les groupes humains en contexte archéologique. Sur base du protocole d'enregistrement mis en place en 2016 (Niinimäki & Salmi, 2016), les chercheuses établissent à cette fin une échelle de cotation propre à chaque insertion des phalanges (Hull et al., 2020).

Les résultats indiquent que *R.t.fennicus* se distingue nettement de *R.t.tarandus* en affichant une fréquence de changements enthésiques importante au niveau de certaines insertions localisées

sur la phalange proximale (ligament collatéral de l'articulation métacarpo-phalangienne ; ligament annulaire distal). Les auteures avancent deux arguments pour expliquer cette différence :

- L'habitat. *R.t.fennicus* évolue essentiellement en forêt mais est amené à parcourir divers territoires (marais, zones rocheuses, espaces forestiers) pour pouvoir se nourrir. Cette mobilité nécessiterait une adaptation des sabots aux divers types de sols impliquant des sollicitations/contraintes accrues au niveau des ligaments phalangiens.
- Leur comportement. Au contraire de *R.t.tarandus*, le renne des forêts se caractérise par son tempérament peureux ce qui le pousse à fuir face à une menace. Ce comportement implique des mouvements soudains, brusques et pourrait avoir contribué aux sur-sollicitations observées au niveau des phalanges.

Une différence dans la répartition des atteintes entre phalanges antérieures et postérieures a de même été mise en évidence entre ces deux sous-espèces. *R.t.tarandus* montre une asymétrie marquée dans l'enregistrement de changements enthésiques entre ces deux positions alors que celle-ci s'avère être réduite chez *R.t.fennicus*. L'absence d'asymétrie nette chez *R.t.fennicus* serait du fait des conditions de vie auxquelles sont soumis les individus de cette sous-espèce. Les auteures supposent en effet que les enthèses antérieures et postérieures sont exposées à une quantité et des niveaux de contraintes similaires au cours de la vie des animaux concernés (mobilité importante, adaptation à des environnements divers et variés). En revanche, pour les rennes de la sous-espèce *R.t.tarandus*, les enthèses phalangiennes antérieures et postérieures seraient soumises à des contraintes inégales en fonction du type d'exercice effectué expliquant ainsi les atteintes préférentielles de l'une ou l'autre de ces positions (e.g. recherche de la nourriture dans la neige avec l'aide des sabots antérieurs).

Os	Insertion
Phalange proximale	Ligament collatéral médial/latéral de l'articulation métacarpo-phalangienne Ligament collatéral médial/latéral de l'articulation interphalangienne proximale Ligament annulaire proximal Ligament annulaire distal
Phalange intermédiaire	Ligament collatéral médial/latéral de l'articulation interphalangienne proximale Ligament collatéral médial/latéral de l'articulation interphalangienne distale Tendon du <i>M. flexor digitorum superficialis</i> Tendon du <i>M. extensor digitorum</i>
Phalange distale	Tendon du <i>M. flexor digitorum profundus</i> (processus extensorius) Tendon du <i>M. flexor digitorum profundus</i> (surface solaire) Tendon du <i>M. extensor digitorum communis/longus</i>

Tableau 7 : Listes des enthèses phalangiennes étudiées par E. Hull, S. Niinimäki et AK. Salmi (2020).

Au travers de leurs observations menées à l'échelle du squelette, ces différentes études démontrent le potentiel de l'utilisation des changements enthésiques pour documenter les fonctions du renne dans le passé mais aussi ses conditions de vie (Niinimäki & Salmi, 2016 ; Salmi & Niinimäki, 2016 ; Salmi et al., 2020 ; Hull et al., 2020). En revanche, elles mettent aussi en exergue la difficulté des interprétations en raison de leur caractère multifactoriel (Salmi & Niinimäki, 2016) et insistent sur la nécessité de compléter les résultats obtenus avec des données telles que le contexte de découverte des restes, les informations relatives à l'histoire de vie des animaux ou encore un relevé paléopathologique (Salmi et al., 2020).

III. LIMITES D'INTERPRÉTATION.

L'engouement suscité par l'utilisation des changements enthésiques a vu progressivement émerger des questionnements d'ordres méthodologique et « biologique » remettant en question leur légitimité en tant que marqueurs osseux d'activité.

1. Limites méthodologiques et matérielles.

Nombre des séquences de mouvements et d'activités sont complexes, induisant ainsi la sollicitation de plusieurs muscles. Il est, de fait, difficile voire impossible de lier un mouvement ou une tâche spécifique à l'action d'un seul muscle (Stirland, 1998).

Certains auteurs insistent sur l'idée que la relation définie entre la lésion osseuse observée et l'activité supposée est hypothétique. La fragilité de cette liaison repose sur quatre points (Dutour, 1992) :

- La spécificité du/des marqueur(s) : on suppose que les activités passées sont équivalentes à celles pratiquées actuellement. Le risque est ici d'ignorer les autres causes probables pouvant induire l'apparition de changements enthésiques.
- La transposition de l'activité actuelle documentée au passé : la similarité des gestes présents et passés est inconnue. L'évolution des pratiques et du matériel utilisé (lié aux activités animales dans notre cas), le contexte dans lequel ont évolué les individus ainsi que les progrès médicaux/vétérinaires doivent être pris en compte.
- La validité du référentiel : certaines activités actuelles ne sont pas corrélées à un marqueur osseux précis.

- La fiabilité des études expérimentales : la réalisation d'un geste varie en fonction des individus et du contexte pouvant ainsi remettre en cause la supposée similarité du mouvement entre la fonction passée et sa reconstitution.

Les limites peuvent être matérielles car liées aussi bien aux échantillons archéologiques que modernes. La chronologie des assemblages bien préservés et de taille importante doit être clairement établie. *A contrario*, les échantillons de petites tailles doivent appartenir à une période brève et distincte (Meyer et al., 2011). Les groupes ont besoin d'être génétiquement homogènes afin de limiter au maximum les différences héréditaires interindividuelles.

Une autre limite a trait à l'étude de restes animaux. Contrairement au registre funéraire dans lequel les squelettes humains sont généralement complets et individualisés, les restes fauniques sont souvent dissociés et incomplets. Les interprétations des lésions observées peuvent donc être limitées, certaines informations telles que la symétrie des atteintes ou leur distribution au sein du squelette devenant inaccessibles. Enfin, les chercheurs peuvent eux-mêmes être une limite. En effet, leur culture ainsi que leurs préjugés peuvent impacter l'établissement de leurs hypothèses (Robb, 1998).

Les interprétations quant à la pratique d'activités socio-économiques dans une population donnée ne peuvent donc se mener à partir des changements enthésiques seuls. Le contexte de découverte des restes, la présence de matériel archéologique ou de sources attestant d'une activité particulière ainsi que d'autres marqueurs squelettiques sont autant d'éléments qui doivent être croisés afin d'optimiser les analyses.

2. Limites « biologiques ».

Les changements enthésiques font l'objet d'une récente remise en question en tant que marqueurs osseux d'activité (Rabey et al., 2015; Zumwalt, 2005, 2006). En effet, les sollicitations mécaniques ne sont pas les seules causes d'apparition de modifications osseuses (cf. chapitre I). Des précautions doivent donc être prises quant à leur interprétation (*e.g.* Henderson, Wilczak et al., 2017; Michopoulou et al., 2015; Niinimäki, 2011).

Certaines études ne détectent pas de lien direct entre changements enthésiques et activités (Knüsel, 2000; Michopoulou et al., 2015; Villotte, 2008; Wallace et al., 2017) tandis que d'autres en expliquent la complexité (Alves Cardoso & Henderson, 2010; Henderson & Alves Cardoso, 2013; Henderson & Nikita, 2016a).

L'âge au décès est l'un des paramètres le plus couramment mis en avant dans la littérature, les individus plus âgés présentant généralement des fréquences d'atteintes plus élevées (*e.g.* Bendrey, 2007; Michopoulou et al., 2015; Villotte et al., 2010; Weiss, 2003). Dès lors, deux hypothèses, pouvant être imbriquées, sont fournies pour expliquer ce phénomène :

- Les modifications ont été induites par des phénomènes dégénératifs. Le système musculo-squelettique offre une résistance moindre face aux stress liés à l'activité avec l'avancement de l'âge en raison d'une activité réduite des ostéoblastes ainsi que d'une perte progressive des contrôles nerveux et musculaire ;
- Plus un individu est âgé, plus il accumulera de contraintes induites par la pratique d'une activité.

Le sexe est un autre facteur pouvant impacter le développement de changements enthésiques (Mariotti et al., 2004; Mazza, 2019; al-Oumaoui et al., 2004; Wilczak, 1998). Les causes précises sont en revanche difficilement identifiables (Weiss et al., 2012), la prédominance des changements enthésiques entre sujets masculins et féminins étant variable d'une étude à une autre. L'intervention hormonale et le dimorphisme sexuel qui en découle sont des explications proposées dans certains travaux (Dutour, 1992 ; Mazza, 2019 pour les hommes). Au contraire, les différences entre hommes et femmes peuvent traduire une répartition sexuelle des tâches au sein des populations étudiées (al-Ouamaoui et al., 2004 ; Mazza, 2019 pour les femmes).

Les proportions corporelles, paramètre bien moins exploré que les deux précédents, semblent impacter l'apparition de lésions. Les individus lourds seraient plus propices à développer des changements enthésiques (Godde et al., 2017; Michopoulou et al., 2015; Weiss, 2004, 2007, 2015). Leur masse étant plus importante, leurs mouvements requièrent davantage d'efforts et induisent donc des contraintes supérieures au niveau des sites d'insertion.

Ces trois facteurs sont plus ou moins accessibles de par la documentation accompagnant les collections ou bien au travers des analyses ostéologiques. En revanche, bien que d'autres paramètres puissent interagir (génétique, prise de médicaments, alimentation...), ces derniers sont difficilement identifiables que l'on travaille sur des échantillons archéologiques ou des collections modernes/de référence. Il est complexe de déterminer dans quelle mesure chacun de ces facteurs impacte les changements enthésiques. Certains auteurs insistent sur la difficulté de distinguer la ou les étiologies dont sont issus les changements enthésiques observés (Berthon et al., 2016; Havelková et al., 2011).

Résumé

Initiés depuis la fin des années 2000, les développements méthodologiques ayant trait aux modifications enthésiques en archéozoologie sont encore bien peu nombreux comparés aux évolutions engagées en anthropologie biologique. Cependant, celles-ci offrent de nombreuses pistes d'exploration pour étudier les relations entre l'Homme et l'animal. Si la multiplication des méthodes d'études reflète l'intérêt croissant pour les changements enthésiques, elle témoigne aussi de la complexité de l'approche.

Les enthèses équinnes ont été les premières à faire l'objet de telles observations. Les chercheurs se sont uniquement focalisés sur deux insertions (*ligamentum interosseum* au niveau des métapodiens, *ligamentum nuchae* sur l'os occipital). Si elles ont permis d'apporter les premières connaissances relatives aux paramètres favorisant le développement de changements enthésiques, la localisation spécifique des insertions étudiées ne permettent pas d'avoir une vision à l'échelle du squelette de ces animaux. Afin d'appréhender la réelle portée de ces études, une approche globale, incluant un plus grand nombre d'insertions et de spécimens, reste donc à développer. Plus récemment, c'est vers le renne que les investigations se sont focalisées. S'inspirant des récents développements sur les restes humains, un système de cotation impliquant plusieurs enthèses du squelette appendiculaire a été établi.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail de thèse. Avant de pouvoir explorer plus en détails les activités pratiquées par les populations équinnes anciennes, on se propose tout d'abord d'établir une nouvelle méthode de cotation spécifique aux enthèses du squelette appendiculaire des équidés. À l'image des recherches menées en anthropologie biologique et, plus récemment, en archéozoologie, il est ensuite nécessaire de constituer des référentiels composés de squelettes d'équidés modernes documentés (âge, sexe, éventuelle(s) activité(s) pratiquée(s)) afin d'identifier les potentiels facteurs favorisant l'apparition de lésions au niveau des zones d'insertion des tendons et ligaments.

2^{ÈME} PARTIE

EXPLORATION MÉTHODOLOGIQUE ET ÉTUDE DE RÉFÉRENTIELS MODERNES

CHAPITRE III

PROPOSITION D'UNE NOUVELLE MÉTHODE DE COTATION

Les recherches relatives aux modifications enthésiques sont bien plus abondantes sur les restes osseux humains que fauniques. De fait, les développements méthodologiques sur ces derniers n'en sont encore qu'à leurs balbutiements, l'intérêt qui leur est porté étant, en comparaison, relativement jeune. Les méthodes focalisées sur les enthèses équinées sont peu nombreuses et ne s'intéressent qu'à deux enthèses isolées : l'insertion du *ligamentum nuchae* au niveau de la protubérance occipitale et l'insertion du *ligamentum interosseum* entre les métapodiens (cf. chapitre II).

Ce travail propose une nouvelle méthode de cotation prenant en compte plusieurs enthèses du squelette appendiculaire des équidés. Nos objectifs sont :

- D'observer les modifications enthésiques, en évaluer la sévérité et aider à la compréhension de leur formation à l'échelle du squelette ;
- De contribuer à la documentation des relations entre l'Homme et les équidés en contexte archéologique, leurs évolutions et variations tant temporelles que géographiques à l'aide des changements enthésiques.

La première partie de ce chapitre exposera les critères de sélection des enthèses ainsi que les collections ayant permis la mise en place d'un nouveau protocole. Les enthèses retenues seront présentées, l'échelle de cotation établie pour chacune d'elles détaillée et illustrée à l'aide de clichés photographiques.

La seconde partie s'intéressera à la fiabilité de notre méthode par la réalisation de tests intra- et inter-observateurs. Les résultats qui en découlent y seront exposés et discutés.

Notre méthode de cotation a fait l'objet d'une publication récente dans l'*International Journal of Osteoarchaeology* (Bindé et al., 2019, voir annexe 2).

I. CRÉATION D'UNE NOUVELLE MÉTHODE.

Il est difficile voire impossible d'établir une méthode commune à l'ensemble des mammifères humains et non-humains. Si les types d'atteintes sont similaires, nous supposons que les différences biomécaniques (bipédie vs quadrupédie), la position des insertions musculaires et leur nombre variable d'une espèce à une autre (cf. Barone, 2000a, 2000b) peuvent induire une répartition différente des atteintes d'une part au sein du squelette et, d'autre part, au sein de l'enthèse elle-même.

Nous avons donc pris le parti de mettre en place un système de cotation propre aux insertions du squelette appendiculaire des équidés. Le squelette axial est fréquemment le siège d'anomalies osseuses (*e.g.* spondylose, arthrose vertébrale) nuisant à l'observation des changements enthésiques dans cette zone. De plus, aux contraintes pathologiques viennent s'ajouter des limites taphonomiques. En effet, le crâne, les vertèbres et les côtes des équidés peuvent être mal conservés en contexte archéologique (par exemple, fragmentation *post-mortem*) ne fournissant pas les conditions optimales pour l'enregistrement des lésions enthésiques. Ainsi, il nous a semblé peu judicieux de prendre en compte les insertions localisées sur le squelette axial (vertèbres, côtes).

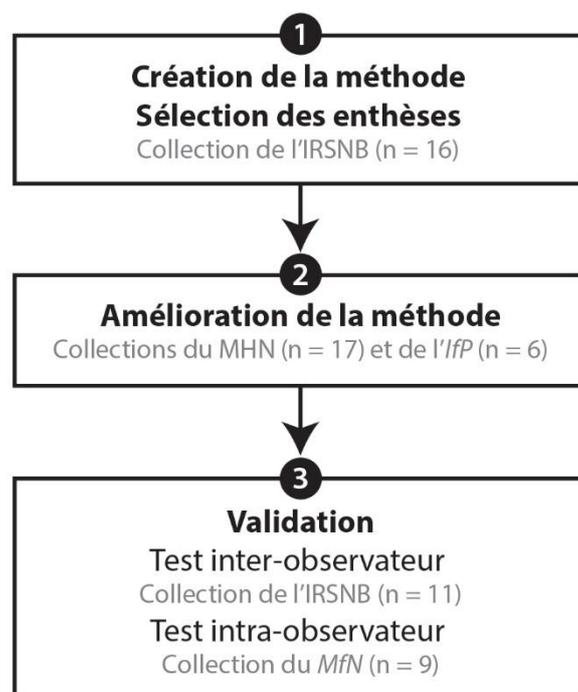


Figure 6 : Étapes d'élaboration de la méthode d'enregistrement des changements enthésiques chez les équidés. (IRSNB : Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, Bruxelles ; MHN : Muséum d'Histoire Naturelle, Genève ; IfP : Institut für Paläoanatomie, Munich ; MfN : Museum für Naturkunde, Berlin).

Différentes étapes ont permis la création de notre protocole (figure 6). Dans un premier temps, notre travail a consisté en l'observation de squelettes complets d'équidés afin d'identifier les enthèses cotables, les types d'altérations pouvant s'y installer ainsi que leurs degrés de variation. Ces observations ont ensuite été poursuivies sur un second échantillon en vue d'affiner notre système d'enregistrement avant d'en livrer une version définitive. Après établissement de cette méthode, nous avons jugé nécessaire d'évaluer son taux de fiabilité en calculant les erreurs intra- et inter-observateurs.

1. **Élaboration de la méthode.**

a. **Critères utilisés pour la sélection des enthèses.**

Une enthèse est incluse dans le protocole si les deux conditions suivantes sont remplies :

- L'amplitude des atteintes doit être telle que la cotation est permise ;
- Les altérations s'y installant ne doivent pas présenter une variabilité trop importante au risque de rendre impossible la mise en place d'une échelle de cotation fiable.

La prise en compte de restes d'équidés immatures (c'est-à-dire âgés de 0 à 5 ans) a en partie aidé à observer l'évolution de la surface enthésique durant la croissance et à définir la variabilité de l'aspect anatomique sain de chaque enthèse.

Nos observations préliminaires ont été menées selon les critères définis par la méthode de Coimbra (Henderson et al., 2013, 2016 ; Henderson, Wilczak et al., 2017) et visaient à rechercher la présence :

- De **formations osseuses** (BF, figures 7a et 7b), définies comme des modifications morphologiques dépassant le niveau normal de la surface de la zone d'insertion. Elles peuvent prendre la forme d'une simple rugosité ou encore d'une structure osseuse nette de taille et/ou de forme variables (Villotte et al., 2016) ;
- D'**atteintes érosives** (ER) (figure 7c). Ces dernières prennent la forme d'une dépression ou d'un creusement à bords irréguliers de plus de 2 mm de diamètre impliquant une discontinuité du cortex ;
- De **microporosités** (FPO) (figure 7e). Il s'agit ici de petites perforations à bords réguliers et arrondis de moins de 1 mm de diamètre ;
- De **macroporosités** (MPO) (figure 7d) qui correspondent de même à des perforations mais dont le diamètre est supérieur à 1 mm ;

- De **cavités** sous corticale (CA) (figure 7f) caractérisées par une ouverture externe plus petite que le diamètre maximum de la cavité ;
- D'un **changement de texture** (TC). L'enthèse revêt un aspect granuleux diffus, irrégulier ou arbore des stries verticales alignées (Henderson, Wilczak et al., 2017).

Ces types de modifications ont été recherchés aussi bien pour les enthèses fibrocartilagineuses que fibreuses.

La littérature vétérinaire fournit peu d'éléments pour dissocier ces deux types d'enthèses chez les équidés. Pour nous aider dans cette démarche, la distinction s'appuie donc sur les publications issues de la littérature médicale ainsi que les recherches antérieures conduites en anthropologie biologique (cf. chapitre I).

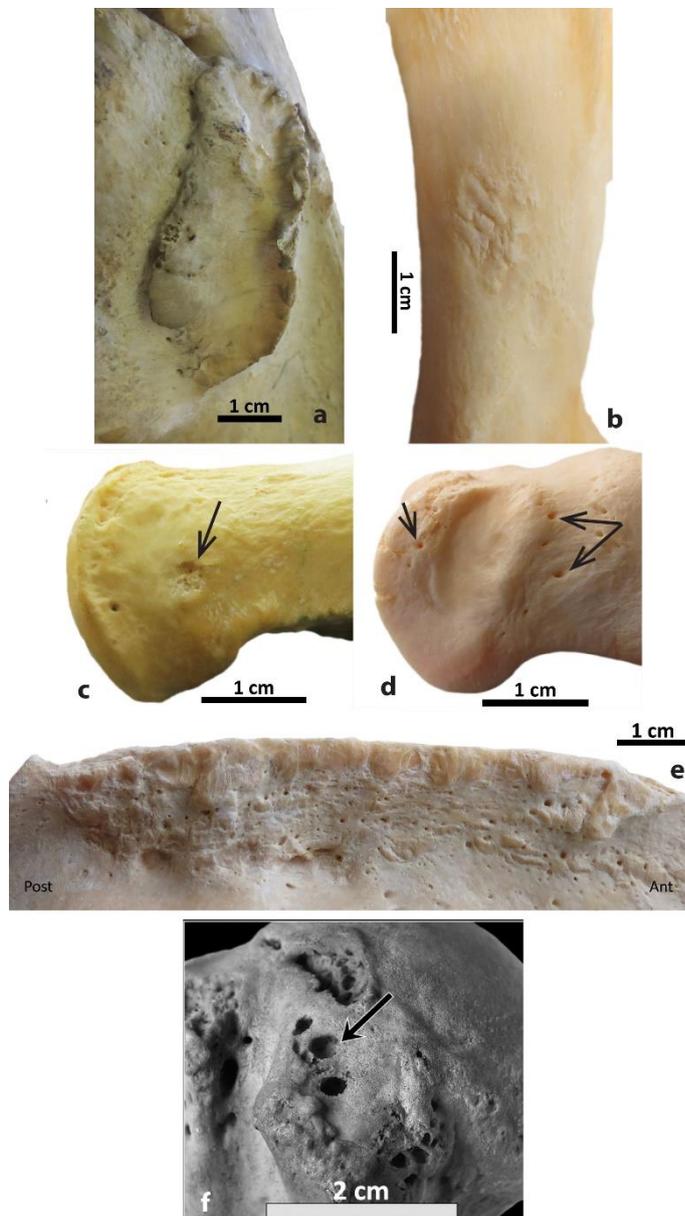


Figure 7 : Types de modifications enthésiques recherchées au cours des observations préliminaires :

- a : Formation osseuse ;
- b : Formation osseuse ;
- c : Érosion (flèche);
- d : Microporosités (flèches);
- e : Microporosités ;
- f : Cavité sous-chondrale (cliché tiré de Villotte et al., 2016).

b. Collections utilisées.

Trois collections muséales ont été exploitées afin d'élaborer notre méthode de cotation. Elles se composent de squelettes appartenant à différentes espèces d'équidés (chevaux, ânes, mules, zèbres) nous donnant l'occasion d'apprécier la présence d'éventuelles variations interspécifiques dans (1) la « morphologie » des enthèses elles-mêmes et (2) les types de modifications relevées.

L'annexe 3 dresse la liste des spécimens observés au cours de cette étape.

Collection de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique (IRSNB, Bruxelles)

Cet échantillon a permis de mener les premières observations en vue de sélectionner les enthèses et d'élaborer un premier système de cotation. Il intègre 16 squelettes complets d'espèces variées réparties comme suit : cinq chevaux (*Equus caballus*), trois chevaux de Przewalski (*Equus caballus przewalskii*), un hybride de ces deux espèces (*Equus caballus przewalskii x Equus caballus*), trois ânes (*Equus asinus*), un mulet (*Equus asinus x Equus caballus*) ainsi que trois zèbres (*Equus greyvi*, *Equus burchelli granti*, *Equus burchelli bohmi*). Six mâles, neuf femelles et un hongre, âgés entre 2,5 et 30 ans, composent cet assemblage.

Collection de l'Institut für Paläoanatomie (IfP, Munich)

Cet ensemble comprend six chevaux de Przewalski : cinq mâles et une femelle. Ils appartiennent tous à la catégorie des juvéniles, leur âge au décès étant compris entre 20 mois et 4 ans.

Collection du Muséum d'Histoire Naturelle de Genève (MHN, Suisse)

Cette collection a permis d'affiner le système de cotation. Neuf chevaux, un cheval de Przewalski, cinq ânes et deux mules (*Equus asinus x Equus caballus*) composent cet échantillon. Leur âge au décès varie de 50 jours à plus de 20 ans. La répartition en fonction du sexe est équitable avec neuf femelles et huit mâles.

2. Proposition du système de cotation.

Les enthèses sélectionnées ainsi que les principales informations s'y rattachant sont présentées dans le tableau 8 et la figure 8.

Au contraire des méthodes proposées par S. Villotte en 2008 et CY. Henderson et collaborateurs en 2013 puis 2016 (méthode de Coimbra), il est difficile d'établir une échelle de

cotation commune à l'ensemble des zones d'insertions sélectionnées dans le cadre de notre démarche. En effet, les types d'atteintes, leur intensité ainsi que leur localisation peuvent varier d'une enthèse à une autre. Ainsi, afin d'éviter de perdre la variabilité propre à chaque insertion, une échelle de cotation en 2 ou 3 stades est proposée pour chacune d'entre elles.

Un total de 72 insertions est coté chez chaque individu.

	Insertion	Code	Origine/Terminaison	Localisation	N° figure 8
Enthèses fibrocartilagineuses (FC)	<i>M. biceps brachii</i>	SBB	Origine	Scapula : tubercule supraclaviculaire	1
		RBB	Terminaison	Tubérosité du radius	1'
	<i>M. subscapularis</i>	HSC	Terminaison	Humérus : crête du tubercule mineur	2
	<i>M. infraspinatus</i>	HIE	Terminaison (1)	Humérus : crête du tubercule majeur	3
		HIEc	Terminaison (2)	Humérus : convexité du tubercule majeur	3'
	Ligament collatéral du coude et <i>M. extensor digitorum lateralis</i>	HCL	Origine commune	Humérus : capitulum, face latérale	4
	<i>Mm. flexor digitorum superficialis/profundus</i>	HFD	Origine	Humérus : épicondyle médial	5
	<i>M. ulnaris lateralis</i>	HUL	Origine	Humérus : sommet de l'épicondyle latéral	6
	<i>M. triceps brachii</i>	UTB	Terminaison	Ulna : tubérosité de l'olécrâne (partie caudale, faces latérale et médiale)	7
	<i>M. gluteus profundus</i>	CFEP	Origine	Coxal : épine sciatique	8
		FFEP	Terminaison	Fémur : convexité du grand trochanter (revers médial)	8'
	<i>M. gluteus accessorius</i>	FFA	Terminaison	Fémur : crête du grand trochanter	9
	<i>Mm. iliopsoas</i>	FIP	Terminaison commune	Fémur : petit trochanter	10
	<i>M. gastrocnemius (caput mediale)</i>	FGC	Origine	Fémur : tubérosité supracondylaire médiale	11
Ligament <i>patellae laterale</i>	TPL	Terminaison	Tibia : sommet de la tubérosité	12	
Ligament collatéral de l'articulation interphalangienne proximale	P ₁ CLa/p méd/lat	Origine	Phalange proximale antérieure/postérieure : extrémité distale (tubercule d'insertion médial/latéral)	13	
Ligament collatéral de l'articulation interphalangienne distale	P ₂ CLa/p méd/lat	Origine	Phalange intermédiaire antérieure/postérieure : extrémité distale (tubercule d'insertion médial/latéral)	14	
	P ₃ CLa/p méd/lat	Terminaison	Phalange distale antérieure/postérieure : empreinte d'insertion médiale/latérale (crête unguéale)	14'	
Enthèses fibreuses (F)	<i>M. deltoideus</i>	HDE	Terminaison	Humérus : tubérosité deltoïdienne	15
	<i>Mm. teres major/latissimus dorsi</i>	HRD	Terminaison commune	Humérus : tubérosité du grand rond, face médiale de la diaphyse	16
	<i>M. flexor digitorum superficialis</i> ("planto-perforé")	FFS	Origine	Fémur : fosse supra-condylaire	17
	Ligaments sésamoïdiens obliques	P ₁ SDa/p	Terminaison	Phalange proximale antérieure/postérieure : face palmaire/plantaire (<i>trigonum phalangis proximalis</i>)	18
	Ligament palmaire/plantaire de l'articulation interphalangienne proximale	P ₁ PMa/p méd/lat	Terminaison	Phalange proximale antérieure/postérieure : faces médiale et latérale	19

Tableau 8 : Liste des enthèses sélectionnées. Leur localisation au sein du squelette est illustrée dans la figure 8.

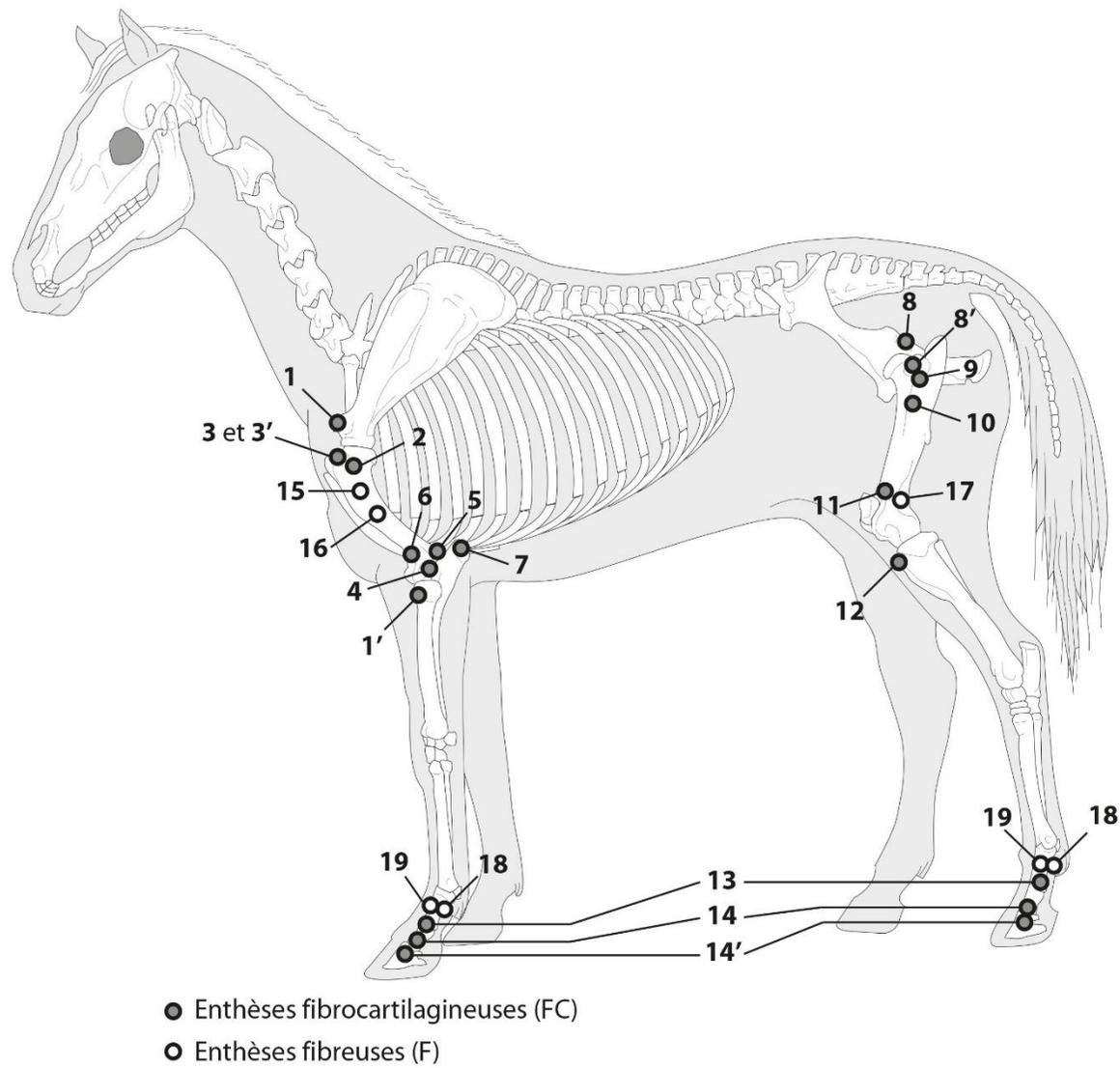


Figure 8 : Localisation des entèses sélectionnées au sein du squelette. La liste est précisée dans le tableau 8.

a. Enthèses fibrocartilagineuses.

Chez l'Homme, une enthèse fibrocartilagineuse saine est caractérisée par une surface lisse et régulière ainsi qu'une absence de foramen vasculaire (Benjamin et al., 1986). Nous avons pu constater que cette définition peut ne pas correspondre à ce que nous avons pu observer chez les équidés. En effet, selon la zone d'insertion considérée, la surface peut être lisse et régulière ou bien légèrement irrégulière/rugueuse.

Nos relevés préliminaires révèlent que des formations osseuses, des atteintes érosives et des vascularisations sous forme de porosités fines (FPO) ou de macroporosités (MPO) peuvent intervenir au niveau des enthèses fibrocartilagineuses.

Aucune cavité sous-corticale (CA, figure 7f) n'a été observée.

Les changements de texture tels que définis sur les restes humains (Henderson et al., 2016) ont été rarement identifiés. Nous pensons en revanche qu'ils prennent part à la variation anatomique normale des surfaces enthésiques chez les équidés.

Les porosités fines et les macroporosités (FPO et MPO, figures 7d et 7e) ont été identifiées pour de nombreuses enthèses fibrocartilagineuses. Elles se situent pour la plupart à leur périphérie. Or, nous avons vu dans le chapitre I que la concentration en fibrocartilage calcifié, qui empêche toute communication du tendon/ligament avec le réseau vasculaire de l'os, est bien moins importante sur les pourtours de l'enthèse qu'en son centre (Benjamin & Ralphs, 1998). Ainsi, chez les équidés, la présence de porosités sur les bords de la zone d'insertion ne relève pas d'un processus anormal. Les porosités n'ont donc pas été prises en compte lors de l'élaboration de la méthode de cotation.

Les formations osseuses ainsi que les déformations de la surface enthésique (OF, figures 7a et 7b) sont les changements les plus couramment relevés dans les collections étudiées. Elles sont identifiables aussi bien à la périphérie des enthèses qu'en leur centre, ces deux localisations pouvant être atteintes simultanément ou de manière isolée. Les érosions (ER, figure 7c) ont été rarement observées mais, dans nombre de cas, leur présence est concomitante à celle des ostéoformations. De fait, seules les formations osseuses (OF) et les érosions (ER) sont retenues pour notre système de cotation.

D'après nos observations, l'enthèse fibrocartilagineuse est généralement divisée en un bord et un centre qui peuvent être simultanément ou séparément altérés. En cas d'atteintes conjointes, le score le plus élevé est accordé. Des précisions supplémentaires quant aux insertions concernées sont fournies dans les pages suivantes.

SCAPULA

M. biceps brachii (origine, SBB, figure 9)

Les altérations, de type formation osseuse, prennent place au niveau de la surface enthésique et du bord. En cas d'atteinte(s) simultanée(s) de ces deux zones, le score le plus élevé est attribué.

- Stade A : absence de modification, le centre est lisse et régulier, le bord est indistinct.
- Stade B :
 - Bord : se distingue de la surface sous forme de bord saillant et irrégulier ;
 - Surface : formation osseuse occupant moins de 50% de la surface enthésique.
- Stade C :
 - Bord : fortement développé. Il se distingue nettement via la présence d'enthésophytes de taille importante (rare) ;
 - Surface : formation osseuse occupant 50% ou plus de la surface enthésique.

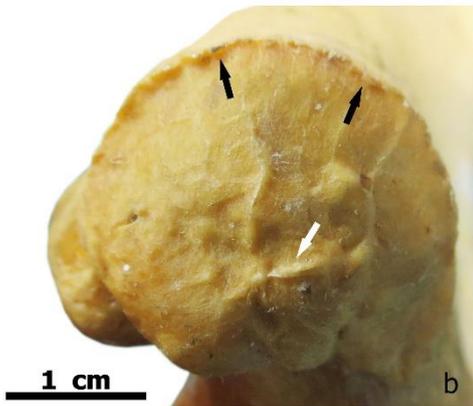
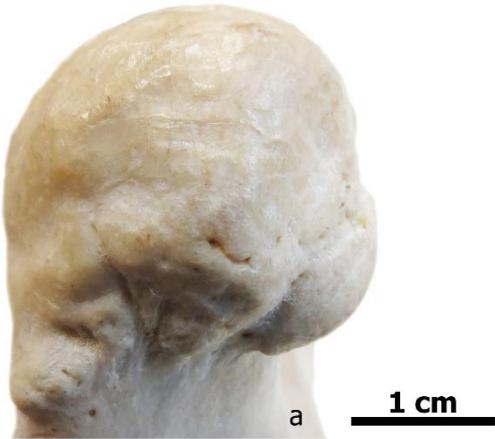
Figure 9 : Exemples d'atteintes de l'origine du *M. biceps brachii* sur la scapula.

a et a' : Aucune altération n'est visible. La surface est lisse et régulière (photo a). Le bord est non marqué et régulier, il ne se distingue pas de la surface osseuse (photo a'). Le stade A est attribué (scapula droite, vues ventrale (a) et latérale (a'), *E. caballus*, CRAVO).

b : Des modifications moyennes sont identifiables. La totalité du bord expose de petits enthésophytes (flèches noires, stade B). De petites crêtes s'étendent sur moins de la moitié de la surface enthésique (flèche blanche, stade B). Le stade B est accordé (scapula gauche, vue ventro-dorsale, *E. asinus*, MNHN Paris, n°1982-128).

c : Deux projections de petite taille s'étendent sur moins de la moitié de la surface enthésique (flèches blanches, stade B). Le bord est non altéré (stade A). Le stade B est finalement attribué (scapula gauche, vue ventrale, *E. asinus* x *E. caballus*, NHM Wien, n°E1058).

d : Les formations osseuses occupent plus de la moitié de la surface (stade C). Le bord ventral est irrégulier et se distingue clairement de la surface osseuse (stade B). Le stade C est accordé (scapula gauche, vue ventrale, *E. asinus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, Ea pt 1).



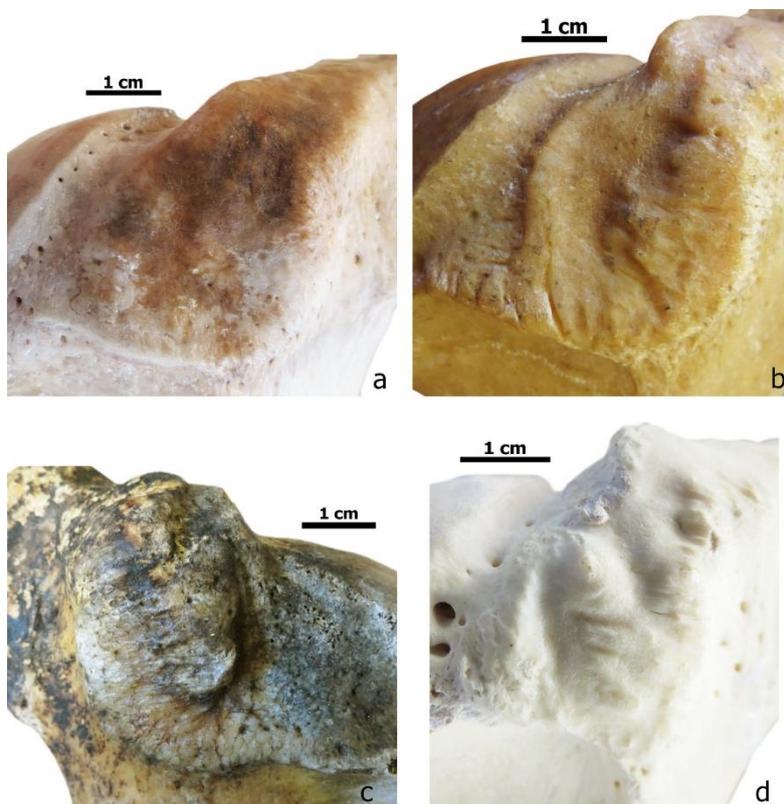
HUMÉRUS

M. subscapularis (terminaison, HSC, figure 10)

Seule la surface de l'enthèse est prise en compte. Elle peut être le siège de formations osseuses ou de déformations plus ou moins importantes.

- Stade A : aucune modification, la surface est lisse et régulière ;
- Stade B : atteintes occupant moins de 50% de la surface enthésique ;
- Stade C : atteintes occupant 50% ou plus de la surface enthésique.

Figure 10 : Exemples d'atteintes de l'enthèse du *M. subscapularis* sur l'humérus.



a : La surface est lisse, régulière et exempte de modification. Le stade A est attribué (humérus gauche, *E. caballus*, CRAVO).

b : De petites formations osseuses s'étendent sur moins de la moitié de la surface enthésique induisant une irrégularité. Le stade B est accordé (humérus gauche, *E. caballus przewalskii*, MfN Berlin, ZMB_Mam_60363).

c : La presque totalité de la surface enthésique est le siège de formations osseuses induisant la formation d'un relief important. L'enthèse est cotée C (humérus droit, *E. caballus*, PACEA, pièce n°624).

d : L'ensemble de l'enthèse est fortement déformé. En raison de l'importance des atteintes, le stade C est accordé (humérus gauche, *E. zebra hartmannae*, MfN Berlin, ZMB_Mam_55246).

***M. infraspinatus* (terminaison)**

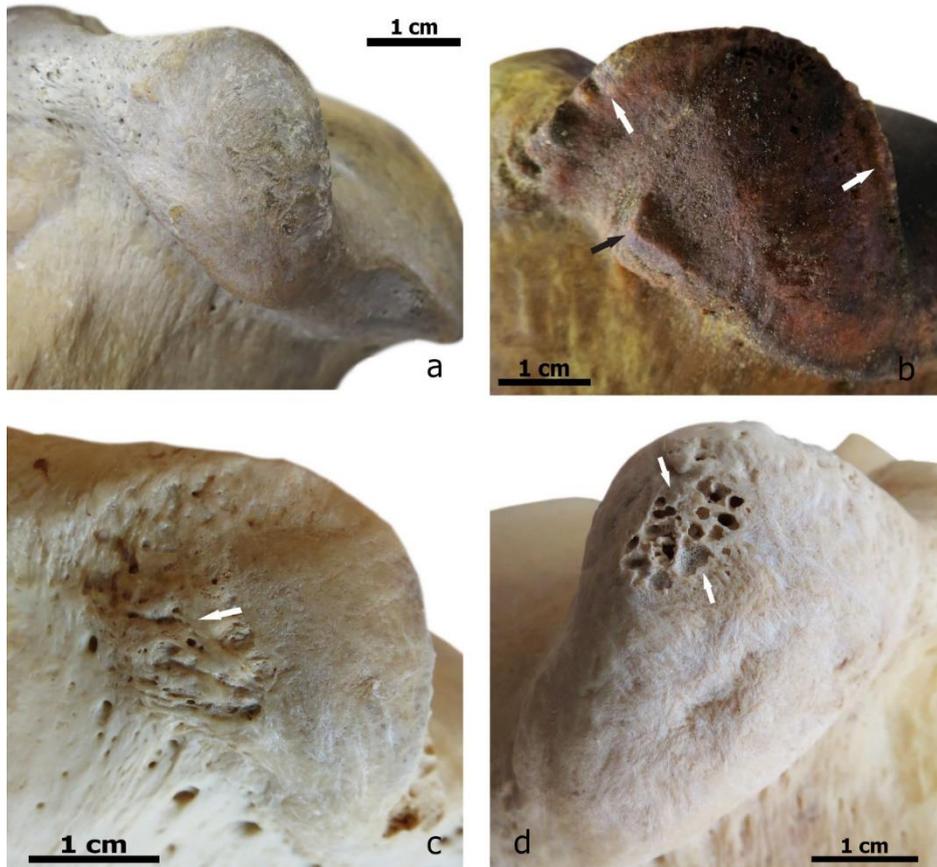
Le muscle infra-épineux possède deux terminaisons sur le tubercule majeur : l'une au niveau de la crête (notée HIE) et l'autre sur la convexité (notée HIEc). Elles sont cotées l'une indépendamment de l'autre, chaque insertion possédant un système de cotation qui lui est propre.

Insertion au niveau de la convexité (HIEc, figure 11)

Le bord proximal de l'enthèse est sujet à des formations osseuses. Elles interviennent de même au niveau de la surface enthésique. Des atteintes érosives, plus rares, peuvent aussi s'y développer. Les modifications du bord et de la surface interviennent dans la majorité des cas de manière séparée, leur cotation est commune. Aucune altération grave n'a été constatée au cours de nos observations. Le système de cotation se limite donc à deux stades.

- Stade A : aucune modification, le bord est lisse et régulier ;
- Stade B :
 - Bord : présence de formation osseuse, celui-ci devient saillant et/ou irrégulier ;
 - Surface : formation osseuse/érosion occupant moins de 50% de la surface enthésique.

Figure 11 : Exemples d'atteintes de l'insertion du *M. infraspinatus* sur l'humérus (convexité du tubercule majeur).



a : L'enthèse est exempte de modification. Le bord est régulier. Le centre est lisse et régulier. Le stade A est attribué (humérus droit, *E. caballus przewalskii* x *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittenberg, E wld 5).

b : Le bord proximal se distingue légèrement sous forme de crête irrégulière et saillante (flèches blanches). Un petit tubercule est identifiable à proximité du bord distal (flèche noire). Le stade B est attribué (humérus gauche, *E. caballus*, MfN Berlin, ZMB_Mam_1200).

c : Moins de la moitié de la surface est marquée par une irrégularité moyenne (flèche blanche). Le bord proximal est non altéré. Le stade B est attribué (humérus gauche, *E. caballus przewalskii*, PACEA, M.508).

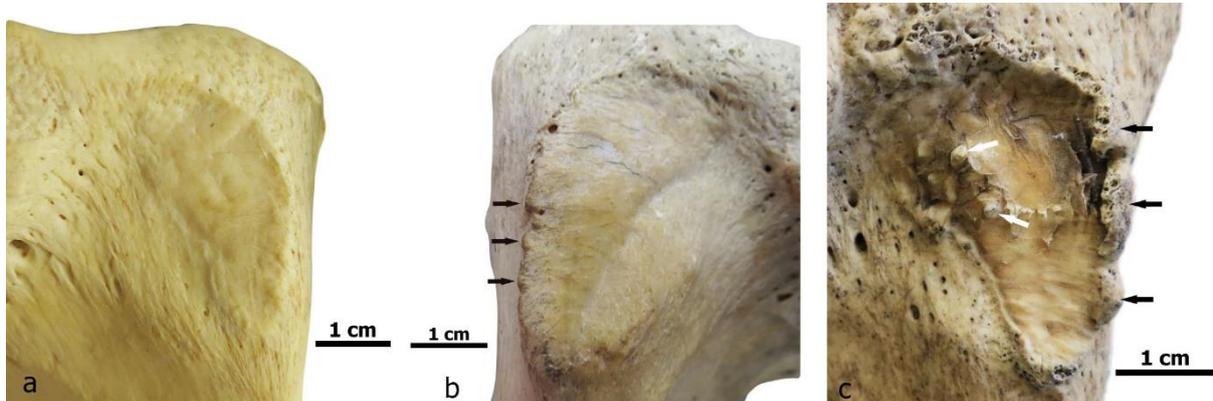
d : Le bord de l'enthèse est exempt de modification. La surface est érodée sur moins de la moitié de son étendue (flèches blanches). Le stade B est accordé (humérus droit, *E. caballus*, NHM Wien, A. 538).

Insertion sur la crête du tubercule majeur (HIE, figure 12)

Les formations osseuses apparaissent généralement au niveau des bords crânial et proximal. Dans de rares cas, elles peuvent s'établir au centre de l'enthèse mais dans les stades les plus sévères.

- Stade A : aucune modification, le bord est non développé et régulier ;
- Stade B : formations osseuses moyennes, le bord se distingue sous forme de crête irrégulière ;
- Stade C : formations osseuses importantes, le bord est le siège de projections osseuses/enthésophytes de taille importante.

Figure 12 : Exemples d'atteintes de l'insertion du *M. infraspinatus* sur l'humérus (crête du tubercule majeur).



a : L'enthèse est exempte de modification. Son bord est régulier, sa surface est lisse. Le stade A est attribué (humérus droit, *E. zebra hartmannae*, MfN Berlin, ZMB_Mam_51820).

b : On identifie des formations osseuses sur le bord crânial. Ce dernier est identifiable sous forme de crête irrégulière mais sans projection (flèches noires). Le stade B est accordé (humérus gauche, *E. caballus przewalskii* x *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, E wld 5).

c : Des projections osseuses irrégulières ont pris place au niveau des bords crânial et proximal (flèches noires). Des enthésophytes sont présents au centre de l'enthèse (flèches blanches). Le stade C est accordé en raison de la grièveté des atteintes observées (humérus droit, *E. asinus* x *E. caballus*, MNHN Paris, A-543).

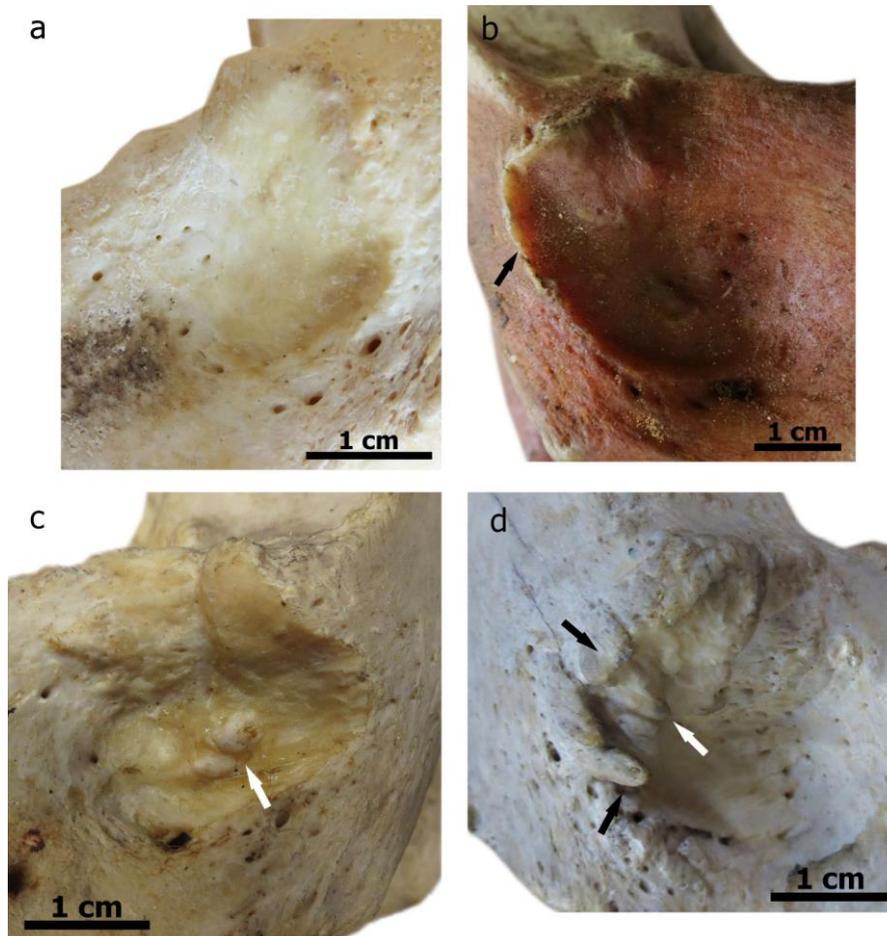
Ligament collatéral latéral du coude (origine, HCL, figure 13)

Les formations osseuses se développent au niveau du bord ou au centre de la zone d'insertion.

Les atteintes peuvent être conjointes pour les scores élevés.

- Stade A : absence de modification, le bord ainsi que le centre sont réguliers ;
- Stade B : modifications moyennes :
 - o Bord : se distingue de la surface osseuse (généralement sous forme de crête saillante) ;
 - o Centre : formations osseuses isolées, absence de projection ;
- Stade C : modifications importantes :
 - o Bord : présence d'enthésophytes/projections osseuses ;
 - o Centre : présence d'enthésophytes/projections osseuses (intervention simultanée possible avec les altérations du bord).

Figure 13 : Exemples d'atteintes de l'insertion du ligament collatéral latéral du coude sur l'humérus.



a : Aucune altération n'est visible : la surface de l'enthèse est lisse, son bord régulier. Le stade A est accordé (humérus gauche, *E. caballus przewalskii*, PACEA, M.505).

b : Le bord est prononcé et se distingue clairement de la surface en prenant la forme d'une crête saillante (flèche noire). La surface demeure régulière. Le stade B est attribué (humérus droit, *E. caballus*, MfN Berlin, ZMB_Mam_1200).

c : De petites tubérosités sont observables au centre de l'enthèse (flèche blanche). Le bord est exempt de modification. Le stade B est attribué (humérus gauche, *E. caballus x E. asinus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, Ehn mle 2).

d : Le bord (flèches noires) ainsi que la surface enthésique (flèche blanche) exposent des enthésophytes de taille importante. Ces derniers se projettent en direction ventrale. Le stade C est attribué en raison du développement avancé des atteintes (humérus droit, *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, E arb 4).

***Mm. flexor digitorum superficialis/profundus* (origine, HFD, figure 14)**

Le centre de l'enthèse ainsi que ses bords peuvent être les sièges de formations osseuses. Leur cotation est commune.

- Stade A : absence de modification, la surface peut être légèrement irrégulière ;
- Stade B : formation osseuse occupant moins de 50% de l'enthèse ;
- Stade C : formation osseuse occupant 50% ou plus de l'enthèse.

Figure 14 : Exemples d'atteintes de l'insertion des *Mm. flexor digitorum superficialis/profundus* sur l'humérus.



a : L'ensemble de la surface est exempt de modification osseuse. La zone d'insertion est lisse et régulière. Le stade A est attribué (humérus gauche, *E. caballus*, CRAVO).

b : Des formations osseuses moyennes s'étendent sur moins de la moitié de l'enthèse (partie distale, flèche blanche). Le stade B est attribué (humérus gauche, *E. quagga burchelli*, MfN Berlin, ZMB_Mam_15963).

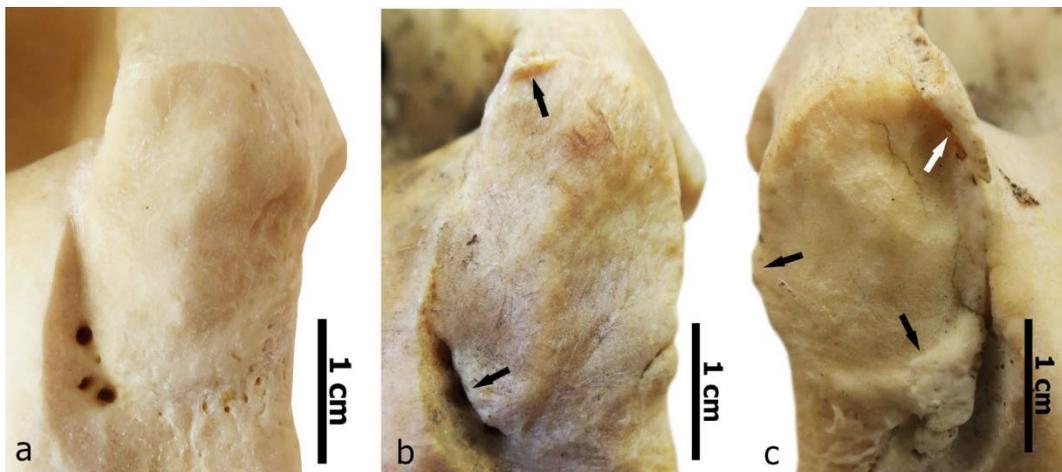
c : L'enthèse est soumise à des atteintes importantes sur la presque totalité de sa surface. Elles prennent la forme de saillies prononcées (flèches blanches). Le stade C est attribué (humérus droit, *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, E arb 6).

***M. ulnaris lateralis* (origine, HUL, figure 15)**

Les formations osseuses se développent à la périphérie de l'enthèse. Les atteintes du centre sont très rares et non considérées.

- Stade A : absence de modification ;
- Stade B : formation osseuse occupant moins de 50% du bord ;
- Stade C : formation osseuse occupant 50% ou plus du bord.

Figure 15 : Exemples d'atteintes de l'insertion du *M. ulnaris lateralis* sur l'humérus.



a : Le bord de l'enthèse est exempt de modification. Le stade A est attribué (humérus droit, *E. caballus przewalskii*, IfP München, 18).

Notons la présence de porosités à diamètres variables proches du bord de l'insertion : elles sont constantes d'une insertion à une autre et ne sont pas incluses lors de l'enregistrement.

b : Moins de la moitié du bord est sujette à des formations osseuses (flèches noires). La partie dorsale est saillante, la partie ventro-médiale est projetée. Le stade B est accordé (humérus droit, *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, E pon 1).

c : Plus de la moitié du bord est altérée par des formations osseuses. Le bord dorso-médial expose une projection de taille importante (flèche blanche). Les bords ventral et latéral sont étendus et irréguliers (flèches noires). Le stade C est attribué (humérus gauche, *E. caballus* x *E. asinus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, Ehn mle 2).

RADIO-ULNA

M. triceps brachii (terminaison, UTB, figure 16)

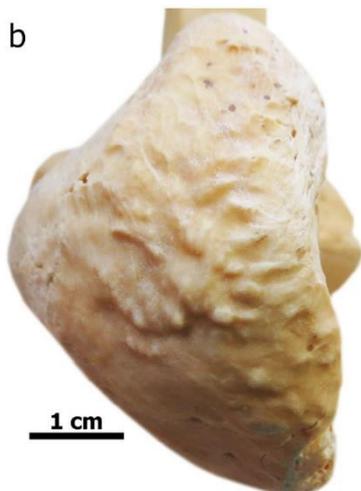
Les formations osseuses prennent place au centre de l'enthèse. Le système est composé de deux stades.

- Stade A : absence de modification, la surface est lisse et régulière ;
- Stade B : présence de formation(s) osseuse(s).

Figure 16 : Exemples d'atteintes de l'insertion du *M. triceps brachii* sur l'ulna.



a : L'enthèse est non altérée, sa surface est lisse et régulière. Le stade A est accordé (ulna gauche, *E. caballus*, CRAVO).



b : L'enthèse expose un aspect irrégulier induit par le développement de petites saillies à sa surface. Le stade B est accordé (ulna droite, *E. caballus*, NHM Wien, A538).

***M. biceps brachii* (terminaison, RBB, figure 17)**

L'enthèse est sujette à des modifications de type formations/déformations osseuses. Celles-ci se développent au centre de l'enthèse ainsi que sur les bords distal et latéral. Plus rarement, des altérations érosives sont observables au centre de l'insertion.

Bords et centre sont cotés séparément. Le stade le plus élevé est ensuite attribué.

- Stade A : absence d'altération. La surface est légèrement irrégulière. Les bords ne se distinguent pas de l'os.
- Stade B :
 - Centre : déformation et/ou érosion occupant moins de 50% du centre ;
 - Bord : formation osseuse occupant moins de 50% du bord ;
- Stade C :
 - Centre : formation osseuse et/ou érosion occupant 50% ou plus du centre ;
 - Bord : formation osseuse sur 50% ou plus du bord.

Figure 17 : Exemples d'atteintes de la terminaison du *M. biceps brachii* sur le radius.

a : L'enthèse est exempte de modification. Sa surface est légèrement irrégulière, ses bords ne se distinguent pas de la surface osseuse. Le stade A est accordé (radius droit, *E. caballus przewalskii*, IfP München, 16).

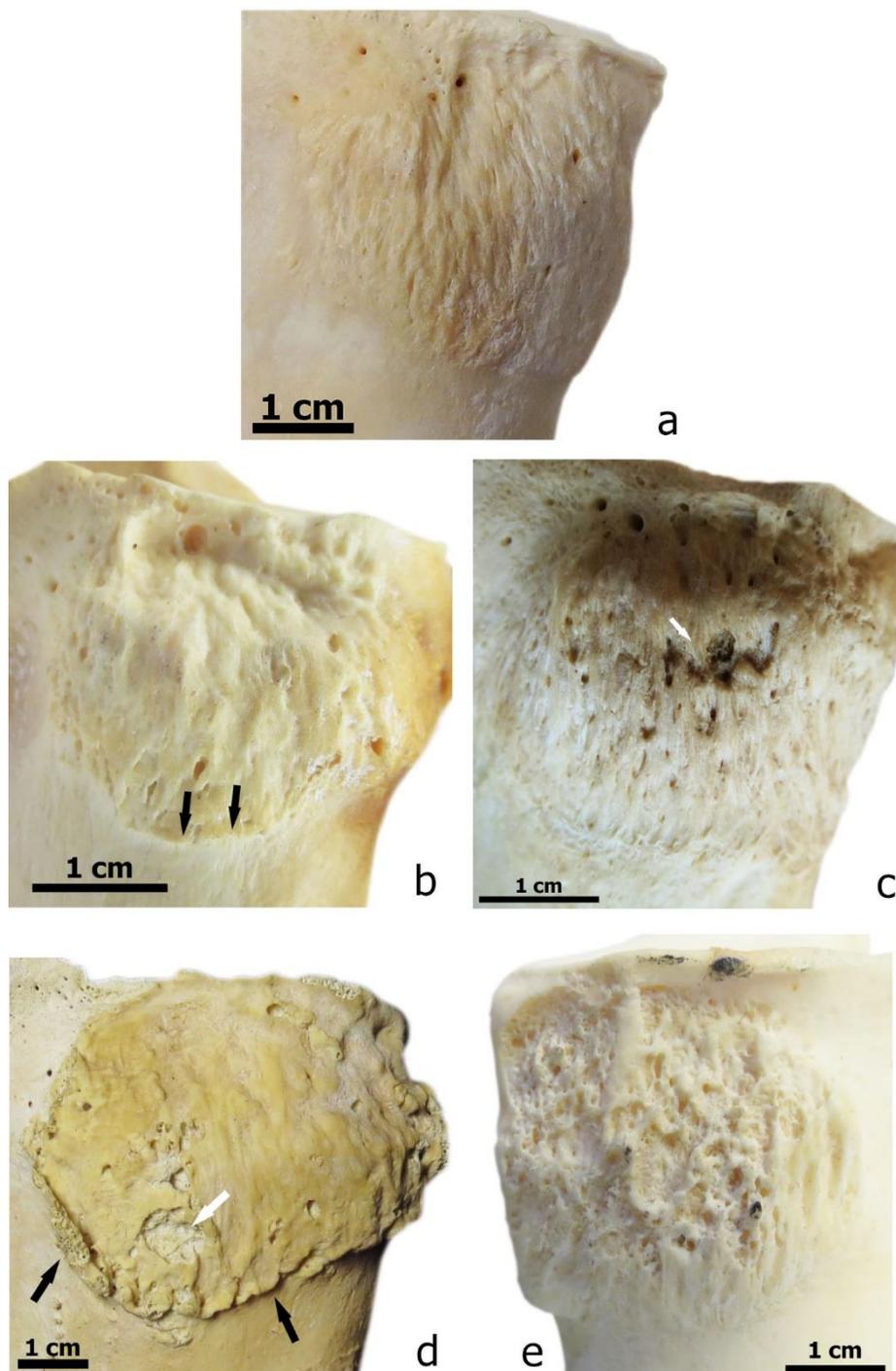
b : L'enthèse est le siège d'altérations moyennes. Sa surface est irrégulière et expose une déformation légère (stade B). Le bord distal est saillant et irrégulier (flèches noires, stade B). Le stade B est attribué (radius droit, *E. caballus przewalskii*, MfN Berlin, ZMB_Mam_60363).

c : Une zone de perte osseuse est visible au centre de l'enthèse. Cette atteinte occupe moins de la moitié de la zone d'insertion (stade B). Les bords sont indistincts (stade A). Le stade B est attribué (radius droit, *E. caballus przewalskii*, PACEA, M.508).

d : L'enthèse est sujette à des modifications importantes. Les bords médial et distal se distinguent clairement via la présence de formations osseuses développées et irrégulières (flèches noires, stade C). La surface enthésique est légèrement irrégulière et révèle des atteintes

érosives dans sa partie médiale (flèche blanche, stade B). Le stade C est attribué (radius droit, *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittenberg, E blg 6).

e : La presque totalité de l'insertion est recouverte par des atteintes érosives induisant une irrégularité de sa surface (stade C). Les bords sont exempts de modification (stade A). Le stade C est attribué (radius gauche, *E. quagga boehmi*, MfN Berlin, ZMB_Mam_53127).



OS COXAL

M. gluteus profundus (origine, CFEP, figure 18)

Les formations osseuses interviennent aussi bien au niveau du bord dorsal que du centre de l'enthèse. Leur cotation est commune.

Remarque : l'enthèse est divisée en deux parties : l'une crâniale et l'autre caudale. Cette dernière semble davantage sujette à l'apparition d'altérations.

- Stade A : absence de modification, la surface peut être légèrement irrégulière ;
- Stade B : formation osseuse occupant moins de 50% de l'enthèse ;
- Stade C : formation osseuse occupant 50% ou plus de l'enthèse.

Figure 18 : Exemples d'atteintes de l'origine du *M. gluteus profundus* sur l'os coxal.



a : L'insertion est exempte de modification. La moitié caudale expose une surface légèrement irrégulière et se distingue peu de la surface osseuse. Le bord dorsal est régulier. Le stade A est attribué (os coxal gauche, *E. caballus*, IFP München, 1).

Trois crêtes irrégulières sont identifiables dans la moitié crâniale (flèches noires). Ces dernières sont persistantes d'une enthèse à une autre et ne sont pas considérées dans le cadre de notre étude.



b : L'enthèse expose des atteintes moyennes étendues sur moins de la moitié de sa surface. De petites formations osseuses sont identifiables dans sa zone caudale (flèche noire). Le bord dorsal est développé et irrégulier. Le stade B est attribué (os coxal gauche, *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, E mgl 2).



c : Le centre de l'insertion fait montre de projections osseuses. Celles-ci occupent moins de la moitié de la surface enthésique. Le stade B est accordé (os coxal droit, *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, E mgl 3).



d : La zone d'insertion présente des formations osseuses importantes étendues sur plus de la moitié de sa surface. La partie caudale ainsi que le bord ventral exposent des enthésophytes. Le bord dorsal est développé et irrégulier. Le stade C est accordé (os coxal droit, *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, E mgl 4).

FÉMUR

M. gluteus profundus (terminaison, FFEP, figure 19)

La majorité des altérations se développe au niveau du centre de l'enthèse et, dans une moindre mesure, le bord latéral. Leur cotation est commune. Elles peuvent prendre la forme de formations osseuses, déformation de la surface ou, très rarement, d'érosion.

- Stade A : absence de modification, la surface est lisse et régulière ;
- Stade B :
 - o Déformation moyenne de l'insertion, les « reliefs » sont non développés ;
 - o Érosion occupant moins de 50% de la surface (rare) ;
- Stade C :
 - o Déformation importante de l'insertion, les reliefs sont bien développés ;
 - o Érosion occupant 50% ou plus de la surface (jamais observé).

Figure 19 : Exemples d'atteintes de la terminaison du *M. gluteus profundus* sur le fémur.



a : L'insertion est exempte de modification. La surface est lisse et régulière. Le stade A est attribué (fémur gauche, *E. caballus*, MfN Berlin, ZMB_Mam_1263).

b : De légers reliefs sont identifiables dans la partie médiale de la surface enthésique. Le bord latéral se distingue sous forme de saillie irrégulière (flèches noires). Le stade B est attribué (fémur gauche, *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittenberg, E wld 7).

c : Une plage érosive est présente dans la partie inférieure de l'enthèse (flèche noire) et occupe moins de la moitié de sa surface. Aucune autre altération n'est visible. Le stade B est accordé (fémur gauche, *E. caballus przewalskii*, MNHN Paris, 1929-35).

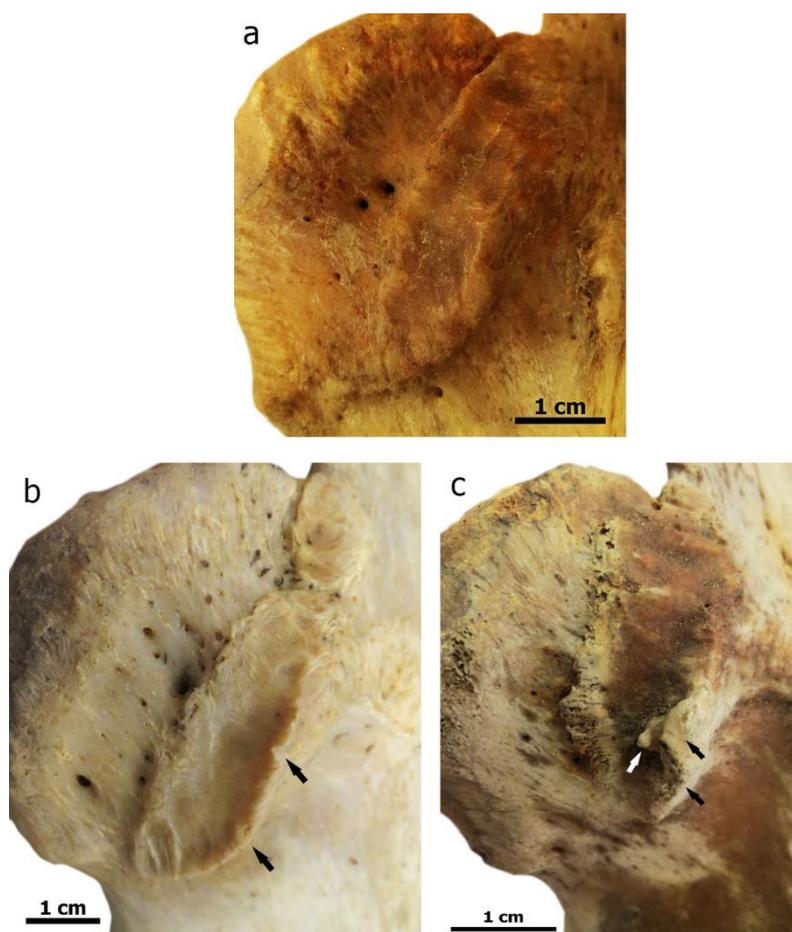
d : L'ensemble de l'insertion est fortement développé en raison de la présence de reliefs marqués. Le stade C est attribué (fémur gauche, *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittenberg, E mgl 2).

***M. gluteus accessorius* (terminaison, FFA, figure 20)**

Les formations osseuses se développent aussi bien au centre de l'enthèse que sur son bord latéral. Leur cotation est commune.

- Stade A : aucune modification. La surface est lisse et régulière. Le bord est régulier.
- Stade B :
 - Bord : présence de formation(s) osseuse(s). Le bord est développé et saillant ;
 - Centre : formations osseuses occupant moins de 50% de la surface ;
- Stade C :
 - Bord : formation(s) osseuse(s) sévère(s), le bord est fortement développé, exposant souvent des projections osseuses ;
 - Centre : formations osseuses sur 50% ou plus de la surface.

Figure 20 : Exemples d'atteintes de la terminaison du *M. gluteus accessorius* sur le fémur.



a : L'insertion est exempte de modification. La surface est lisse et régulière. Le bord latéral est régulier bien qu'aisément distinguable de la surface osseuse. Le stade A est attribué (fémur gauche, *E. caballus*, MfN Berlin, ZMB_Mam_1263).

La présence de porosités fines et de macroporosités dans la zone périphérique de l'insertion est constante d'une enthèse à une autre quelle que soit la sévérité ou l'étendue des changements enthésiques. De fait, elles ne sont pas incluses dans la méthode.

b : Le bord expose deux petites projections étendues sur moins de sa moitié (flèches noires). La surface demeure lisse et régulière. Le stade B est accordé (fémur gauche, *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, E wld 7).

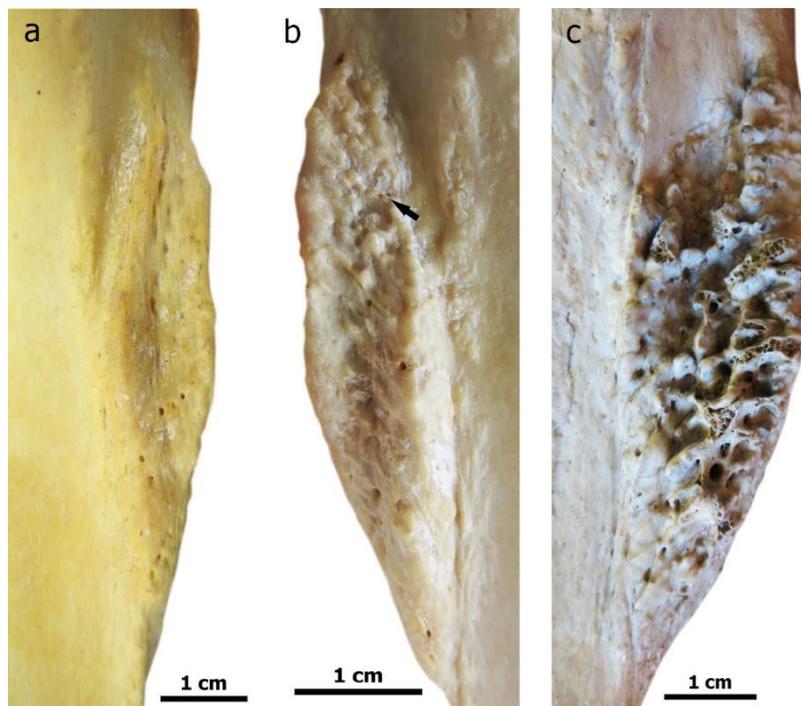
c : Le bord latéral est altéré sur plus de sa moitié et porte d'importantes projections (flèches noires). Le centre de l'enthèse, altéré sur moins de sa moitié, expose un enthésophyte (flèche blanche). Le stade C est attribué (fémur gauche, *E. caballus*, MfN Berlin, ZMB_Mam_1200).

***M. iliopsoas* (terminaison commune, FIP, figure 21)**

Seul le centre de l'enthèse est pris en compte. Les altérations sont de types formations osseuses.

- Stade A : absence d'altération, la surface est souvent légèrement irrégulière ;
- Stade B : formations osseuses occupant moins de 50% du centre ;
- Stade C : formations osseuses occupant 50% ou plus du centre.

Figure 21 : Exemples d'atteintes de l'insertion du *M. iliopsoas* sur le fémur.



a : Aucune altération n'est visible. La surface est légèrement irrégulière. Le stade A est accordé (fémur gauche, *E. caballus przewalskii*, MfN Berlin, ZMB_Mam_60363).

b : Moins de la moitié de la surface enthésique est le siège de formations osseuses moyennes. Celles-ci induisent la formation de petites saillies osseuses (flèche noire). Le stade B est accordé (fémur droit, *E. caballus przewalskii*, IfP München, 16).

c : L'ensemble de la zone d'insertion est le siège de formations osseuses importantes. Ces dernières prennent la forme de projections. Le stade C est accordé (fémur droit, *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittenberg, E arb 2).

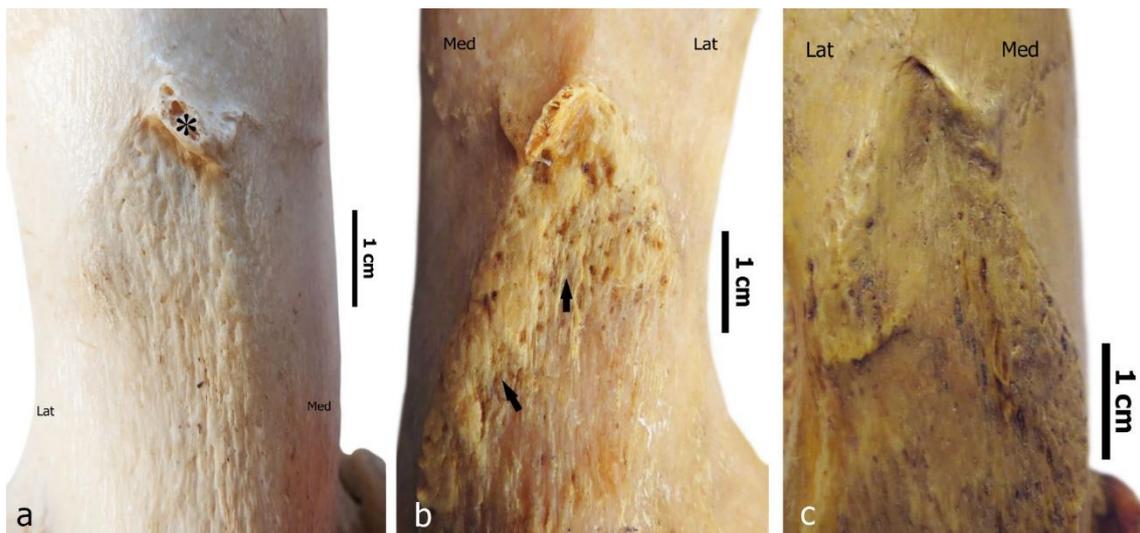
***M. gastrocnemius* (chef médial) (origine, FGC, figure 22)**

Les formations osseuses atteignent aussi bien le centre que les bords médial et latéral de la zone d'insertion. Leur cotation est commune.

NB : l'extrémité proximale expose un enthésophyte. Ce dernier est persistant d'une enthèse à une autre, sa présence ne doit pas être cotée (cf. figure 22a).*

- Stade A : absence de modification. La surface est légèrement irrégulière, les bords sont non développés.
- Stade B :
 - Centre : formation osseuse occupant moins de 50% de la surface ;
 - Bord : formation osseuse sur le bord latéral OU médial, se distingue de l'os ;
- Stade C :
 - Centre : formation osseuse occupant 50% ou plus de la surface ;
 - Bord : formations osseuses sur les bords latéral ET médial.

Figure 22 : Exemples d'atteintes de l'insertion du *M. gastrocnemius* sur le fémur.



a : La surface est légèrement irrégulière. Les bords latéral et médial ne se distinguent pas nettement de la surface osseuse. Le stade A est accordé (fémur gauche, *E. caballus*, CRAVO).

b : La partie proximale de l'enthèse expose une surface irrégulière en raison de formations osseuses légères (flèches noires). Le bord médial est irrégulier et se détache nettement de la surface osseuse. Le stade B est attribué (fémur droit, *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, E mgl 4).

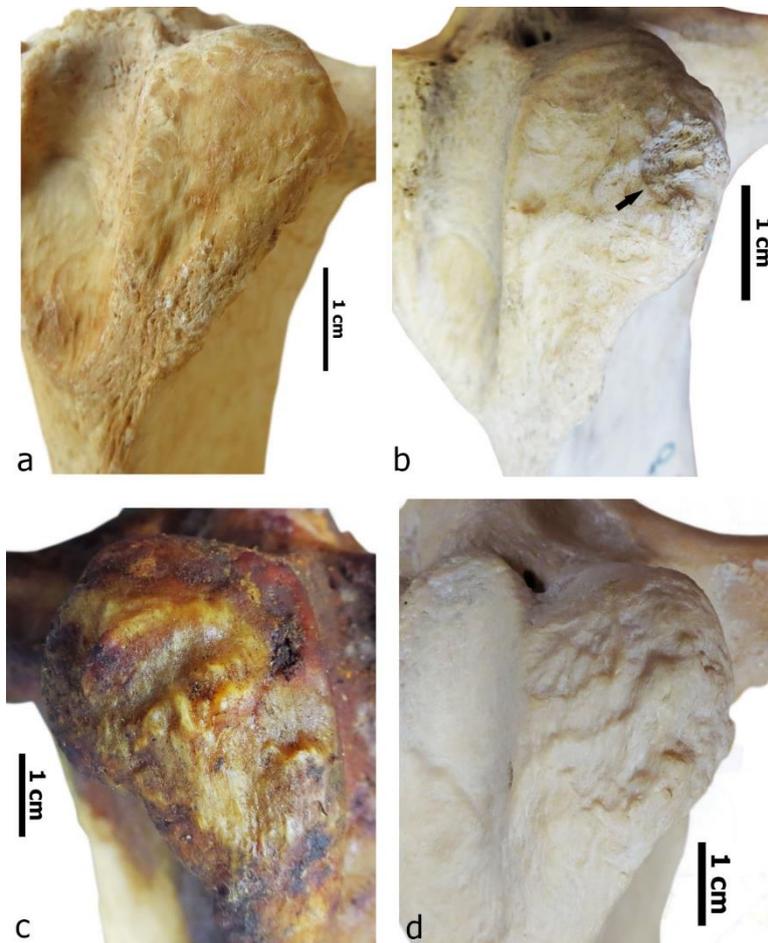
c : Les formations osseuses recouvrent plus de la moitié de l'insertion. Son centre est irrégulier. Les bords médial et latéral se différencient nettement de la surface de l'os. Le stade C est attribué (fémur gauche, *E. quagga burchelli*, MfN Berlin, ZMB_Mam_15963).

Ligament patellaire latéral (terminaison, TPL, figure 23)

Seul le centre de l'enthèse est pris en compte. Formations osseuses et, plus rarement, atteintes érosives sont enregistrées.

- Stade A : absence de modification, l'enthèse peut être légèrement irrégulière ;
- Stade B : formation osseuse ou érosion occupant moins de 50% de la surface ;
- Stade C : formation osseuse ou érosion occupant 50% ou moins de la surface (jamais observé pour l'érosion).

Figure 23 : Exemples d'atteintes de l'insertion du ligament patellaire latéral sur le tibia.



a : Aucune modification n'est observable. La surface enthésique est régulière. Le stade A est attribué (tibia gauche, *E. caballus przewalskii*, PACEA, M.505).

b : L'enthèse expose une lésion érosive circulaire sur moins de la moitié de sa surface (flèche noire). Le stade B est attribué (tibia gauche, *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, E ml 1).

c : Des formations osseuses, sous forme de petits tubercules, recouvrent moins de la moitié de la surface de l'insertion. Le stade B est attribué (tibia droit, *E. zebra hartmannae*, MNHN Paris, 1932-64).

d : Les formations osseuses, sous forme de reliefs marqués, induisent une irrégularité de la totalité de la surface d'insertion. Le stade C est accordé (tibia gauche, *E. caballus przewalskii*, IfP München, 16).

PHALANGE PROXIMALE

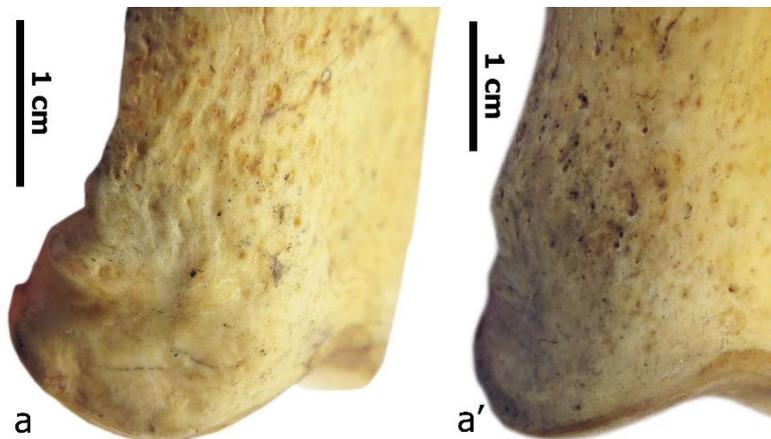
Ligament collatéral de l'articulation interphalangienne proximale (origine, P₁CL, figure 24)

Les formations osseuses prennent place à la périphérie de l'enthèse.

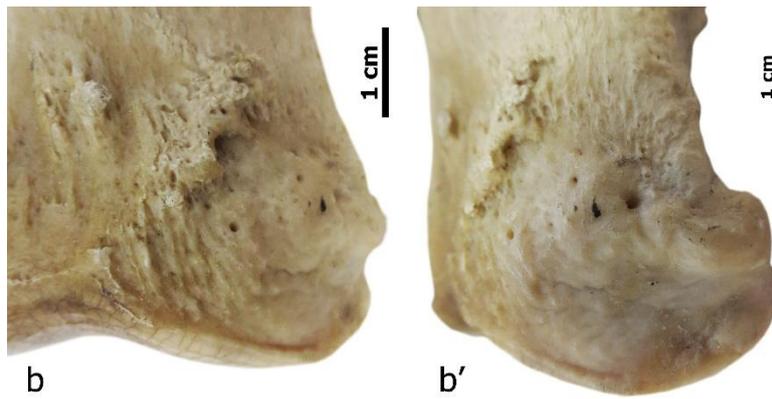
Le système de cotation est le même que l'on considère les enthèses médiales ou latérales, des phalanges antérieures ou postérieures.

- Stade A : absence de modification, le bord est indiscernable ;
- Stade B : formations osseuses occupant moins de 50% du bord ;
- Stade C : formations osseuses occupant 50% ou plus du bord.

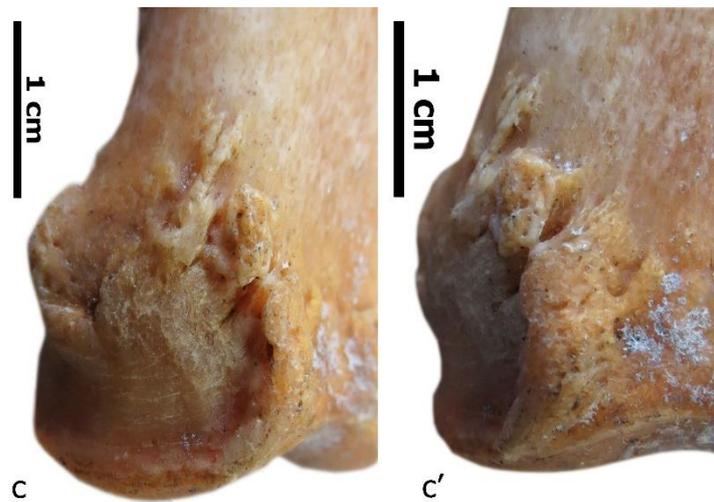
Figure 24 : Exemples d'atteintes de l'origine du ligament collatéral de l'articulation interphalangienne proximale sur la première phalange.



a et **a'** : Aucune altération n'est visible. Le bord de l'enthèse ne se différencie pas de la surface de l'os. Le stade A est attribué (phalanges postérieures droite (photo a, vue médiale) et gauche (photo a', vue dorsale), *E. zebra hartmannae*, MfN Berlin, ZMB_Mam_105722).



b et b' : Les formations osseuses s'étendent sur moins de 50% du bord. Ce dernier fait montre d'une irrégularité marquée et se détache nettement de la surface osseuse. Le stade B est accordé (phalange proximale antérieure gauche, vues dorsale (photo b) et latérale (photo b'), *E. caballus*, NHM Wien, 1767).



c et c' : Le développement de formations osseuses sur la totalité du bord induit une forte irrégularité de celui-ci. De fait, le stade C est accordé (phalange proximale antérieure droite, vues latérale (photo c) et dorsale (photo c'), *E. caballus x E. asinus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, Ehn mle 1).

PHALANGE INTERMÉDIAIRE

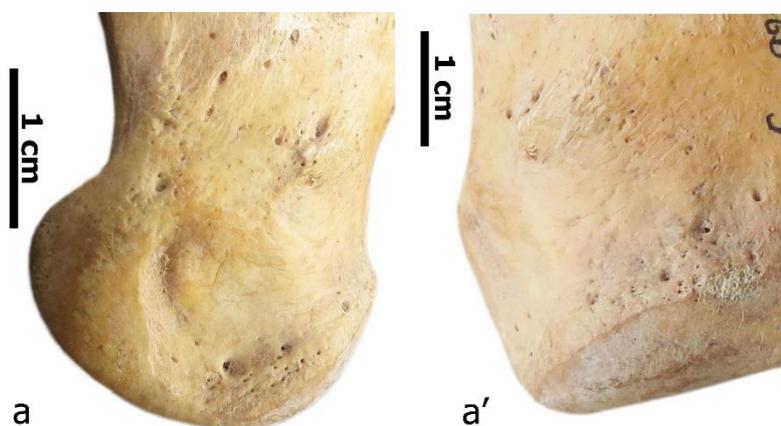
Ligament collatéral de l'articulation interphalangienne distale (origine, P₂CL, figure 25)

Les formations osseuses prennent place à la périphérie de l'enthèse.

Le système de cotation est le même que l'on considère les enthèses médiales ou latérales, des phalanges antérieures ou postérieures.

- Stade A : absence de modification, le bord est indiscernable ;
- Stade B : formations osseuses occupant moins de 50% du bord ;
- Stade C : formations osseuses occupant 50% ou plus du bord.

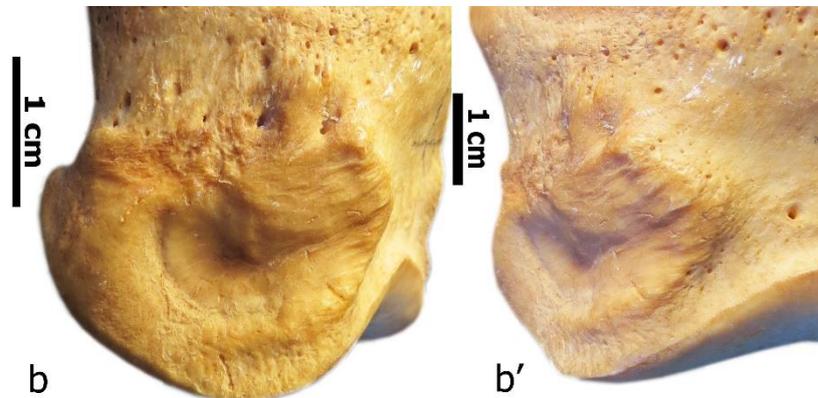
Figure 25 : Exemples d'atteintes de l'origine du ligament collatéral de l'articulation interphalangienne distale sur la phalange intermédiaire.



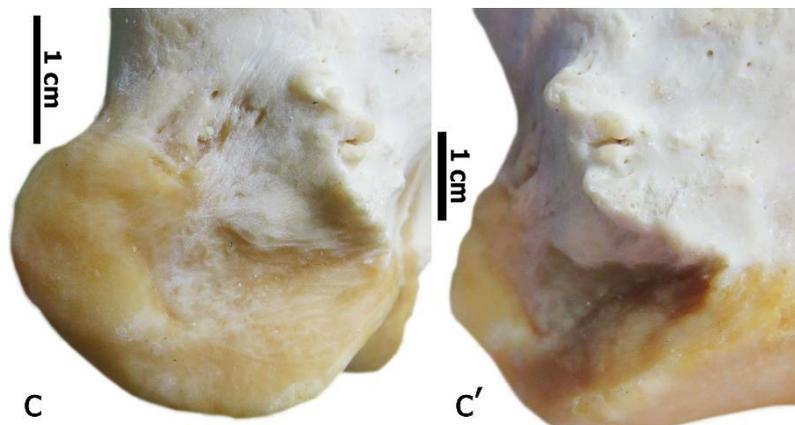
a et a' : L'enthèse est non altérée, le bord étant confondu avec la surface de l'os.

Le stade A est attribué (phalange intermédiaire postérieure gauche, vues médiale (photo a) et dorsale (photo a'), *E. caballus*, PACEA, 927).

NB : des porosités peuvent être présentes en périphérie. Elles sont persistantes d'une enthèse à une autre, quelles que soient la sévérité et l'étendue des altérations relevées.



b et **b'** : Le bord de l'enthèse est clairement visible. Celui-ci est irrégulier et légèrement saillant. Le stade B est accordé (phalange intermédiaire antérieure droite, vues latérale (photo b) et dorsale (photo b'), *E. caballus*, PACEA, 326).



c et **c'** : Des formations osseuses importantes ont pris place sur la presque totalité du bord. Il est irrégulier et saillant de sa partie dorsale à médiale. Notons que le centre de l'enthèse demeure lisse et régulier. Le stade C est attribué (phalange intermédiaire antérieure gauche, vues médiale (photo c) et dorsale (photo c'), *E. caballus*, ONIRIS Nantes, 1A).

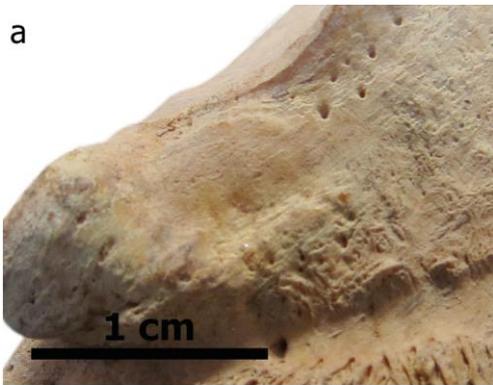
PHALANGE DISTALE

Ligament collatéral de l'articulation interphalangienne distale (terminaison, P₃CL, figure 26)

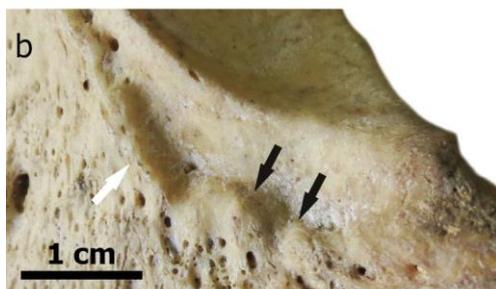
Seul le bord de l'enthèse est considéré. Celui-ci peut être le siège de formations osseuses.

- Stade A : absence de modification, le bord est confondu avec la surface de l'os ;
- Stade B : formations osseuses moyennes, le bord se distingue de la surface osseuse ;
- Stade C : formations osseuses importantes, le bord se distingue clairement de la surface de l'os sous forme de projections.

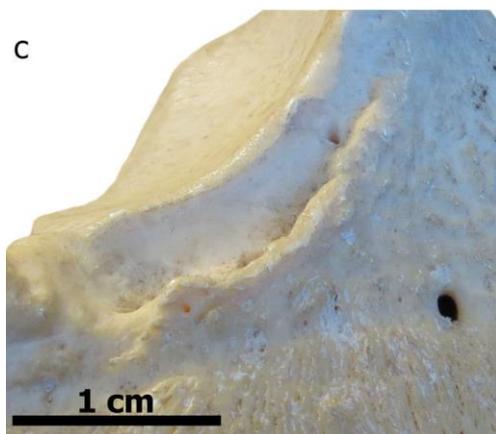
Figure 26 : Exemples d'atteintes de la terminaison du ligament collatéral de l'articulation interphalangienne distale sur la troisième phalange.



a : Aucune modification n'est observable, le bord de l'enthèse ne se différencie pas de la surface de l'os. Le stade A est attribué (phalange distale postérieure gauche, *E. caballus*, PACEA, 932).



b : Le bord de l'enthèse expose de petites saillies osseuses (flèches noires) ainsi qu'une crête saillante et irrégulière (flèche blanche). Le stade B est attribué (phalange distale antérieure gauche, *E. caballus*, MfN Berlin, ZMB_Mam_1200).



c : Le bord se détache nettement de la surface osseuse sous forme de crête saillante et irrégulière. Le stade C est attribué (phalange distale postérieure droite, *E. caballus*, PACEA, 338).

b. Enthèses fibreuses.

Les enthèses fibreuses ont été exclues des études axées sur les restes humains en raison de la documentation relativement pauvre s’y intéressant (Henderson, 2013a). De plus, certains chercheurs ont mis en évidence une faible corrélation entre la pratique d’activités et l’apparition de modifications (Villotte, 2008; Weiss, 2015). Notre approche étant exploratoire pour les équidés, les enthèses fibreuses sont incluses dans ce travail.

L’ensemble de l’insertion est évalué. En effet, le centre n’a pu être distingué du bord à l’exception de l’insertion des ligaments sésamoïdiens distaux obliques sur la phalange proximale (notée P₁SD).

Formations osseuses et vascularisations ont été identifiées au cours de nos observations initiales. Il est établi que le réseau vasculaire d’un tendon se fixant au niveau d’une enthèse fibreuse communique avec celui de l’os. De fait, nous pouvons en déduire que la présence de porosités relève de l’aspect anatomique normal (Benjamin et al., 1986 ; cf. chapitre I). Ainsi, seules les formations osseuses sont retenues pour la cotation des enthèses fibreuses.

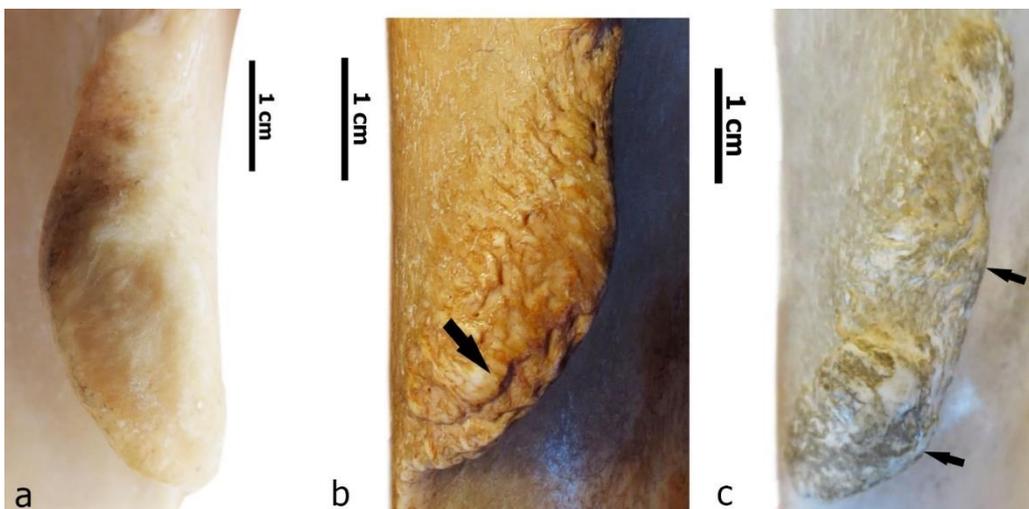
HUMÉRUS

M. deltoideus (terminaison, HDE, figure 27)

L'ensemble de l'enthèse peut être le siège de formations osseuses.

- Stade A : absence de modification, la surface est lisse et régulière ;
- Stade B : formations osseuses occupant moins de 50% de la surface enthésique ;
- Stade C : formations osseuses occupant 50% ou plus de la surface enthésique.

Figure 27 : Exemples d'atteintes de l'insertion du *M. deltoideus* sur l'humérus.



a : L'enthèse est non altérée. Elle expose une surface lisse et régulière. Le stade A est accordé (humérus droit, *E. caballus przewalskii*, NHM Wien, 31592).

b : La partie distale de l'insertion présente une surface irrégulière induite par le développement de petits reliefs (flèche noire). Le stade B est attribué (humérus gauche, *E. caballus*, PACEA, 211).

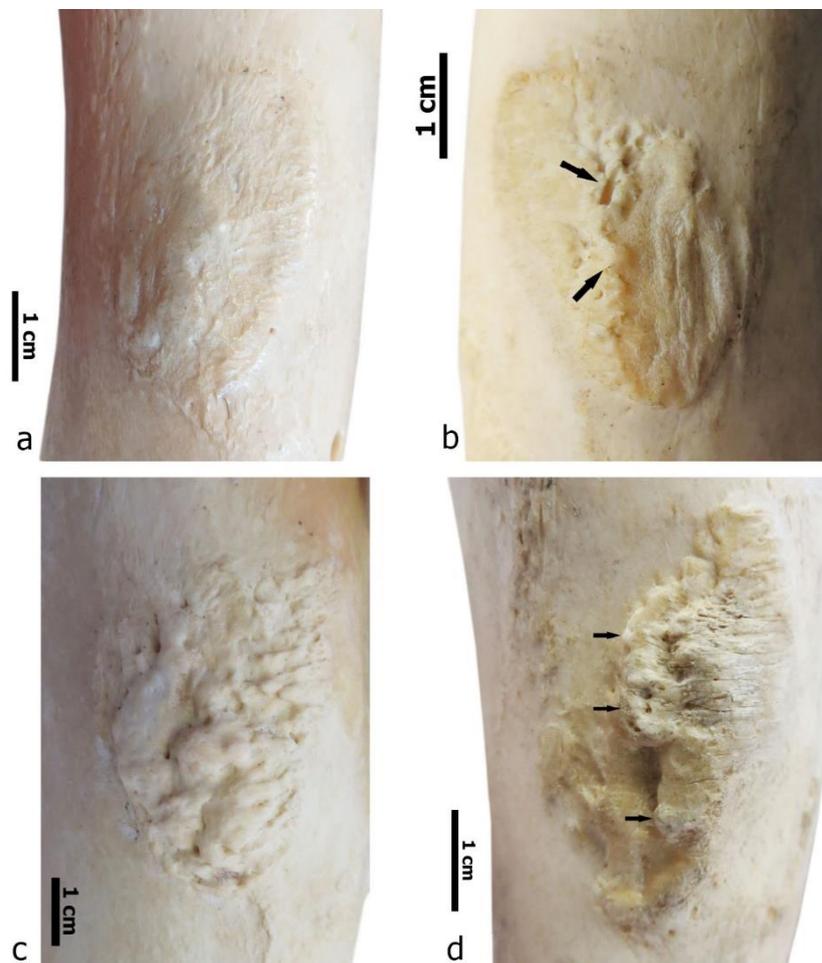
c : L'enthèse est le siège de deux reliefs marqués. L'un, volumineux, est localisé à son extrémité distale. Le deuxième, moins prononcé, se situe au centre de l'insertion (flèches noires). Le stade C est attribué (humérus gauche, *E. caballus*, PACEA, 212).

***Mm. teres major/latissimus dorsi* (terminaison commune, HRD, figure 28)**

L'ensemble de l'enthèse est considéré. Les atteintes prennent la forme de formations osseuses.

- Stade A : absence de modification, la surface est légèrement irrégulière ou rugueuse ;
- Stade B : formations osseuses occupant moins de 50% de la surface enthésique ;
- Stade C : formations osseuses occupant 50% ou plus de la surface enthésique.

Figure 28 : Exemples d'atteintes des *Mm. teres major/latissimus dorsi* sur l'humérus.



a : L'enthèse est nettement visible sans qu'aucune formation osseuse ne soit présente. Le stade A est accordé (humérus gauche, *E. caballus*, CRAVO).

b : L'enthèse expose de petites saillies irrégulières à proximité de son bord crânial (flèches noires). Le reste de la surface est légèrement irrégulier et inclus dans la variabilité anatomique normale. Les formations osseuses occupant moins de 50% de l'enthèse, le stade B est attribué (humérus droit, *E. caballus x E. asinus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, Ehn mle 2).

c : La totalité de l'insertion expose des formations osseuses. Le stade C est attribué (humérus gauche, *E. caballus*, NHM Wien, A538).

d : Plus de la moitié de l'enthèse révèle des formations osseuses fortement développées, notamment au niveau du bord crânial. Ces dernières recouvrent en partie l'enthèse en se projetant en direction caudale (flèches noires). On accorde le stade C (humérus gauche, *E. asinus x E. caballus*, NHM Wien, E 1058).

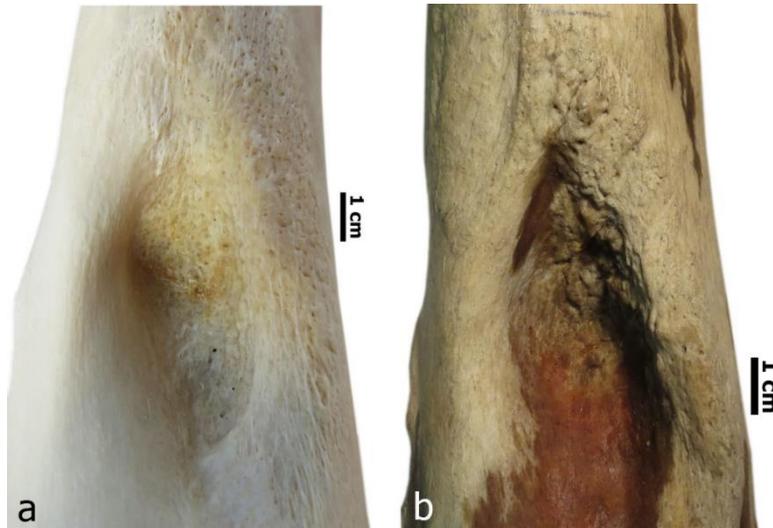
FÉMUR

M. flexor digitorum superficialis (origine, FFS, figure 29)

Les atteintes, de type formations osseuses, occupent l'intérieur de la fosse supra-condyloire. Le système mis en place se limite à deux stades.

- Stade A : aucune modification, la surface est alors légèrement irrégulière ou rugueuse ;
- Stade B : présence de modification.

Figure 29 : Exemples d'atteintes du *M. flexor digitorum superficialis* sur le fémur.



a : L'intérieur de la fosse supra-condyloire expose une surface légèrement irrégulière. Aucune altération n'est visible. Le stade A est attribué (fémur droit, vue latérale *E. caballus przewalskii*, IfP München, 19).

b : De petites saillies osseuses sont présentes au sein de la fosse supra-condyloire induisant une irrégularité marquée de sa surface. Le stade B est attribué (fémur droit, vue latérale *E. caballus*, MfN Berlin, ZMB_Mam_1200).

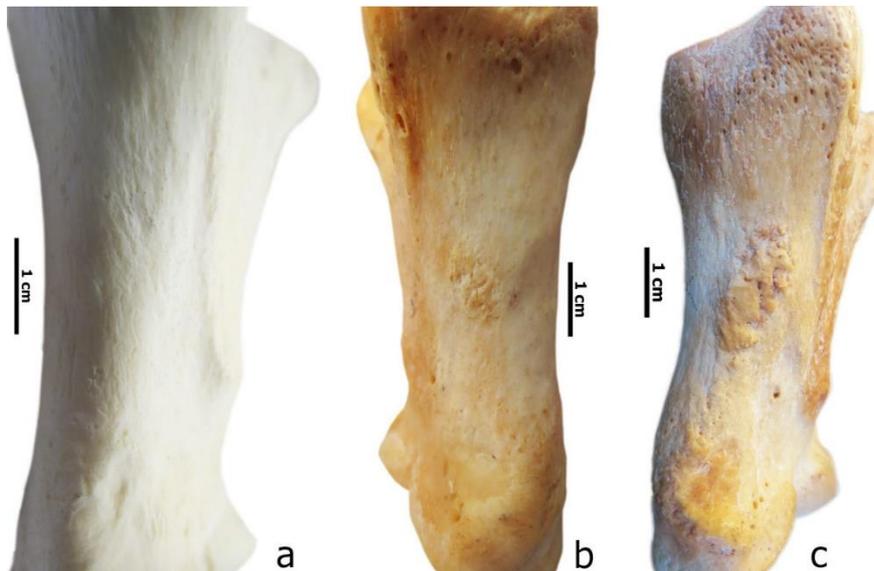
PHALANGE PROXIMALE

Ligament palmaire (terminaison, P₁PM, figure 30)

L'ensemble de la zone d'insertion est pris en compte. Les altérations prennent la forme de formations osseuses. Le système de notation est commun aux entèses médiale et latérale.

- Stade A : absence de modification ;
- Stade B : présence de formations osseuses, l'insertion expose une surface irrégulière mais indistincte de la surface de l'os ;
- Stade C : présence de formations osseuses, l'insertion est irrégulière et se distingue nettement de la surface de l'os.

Figure 30 : Exemples d'atteintes du ligament palmaire/plantaire sur la phalange proximale.



a : L'insertion expose une surface régulière et se confond avec la surface de l'os. Le stade A est attribué (phalange proximale antérieure droite, *E. zebra hartmannae*, MfN Berlin, ZMB_Mam_55246).

b : L'entèse expose une surface légèrement irrégulière via la présence de formations osseuses. En revanche, elle ne se distingue pas nettement de la surface de l'os. Le stade B est attribué (phalange proximale antérieure gauche, *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, E wld 7).

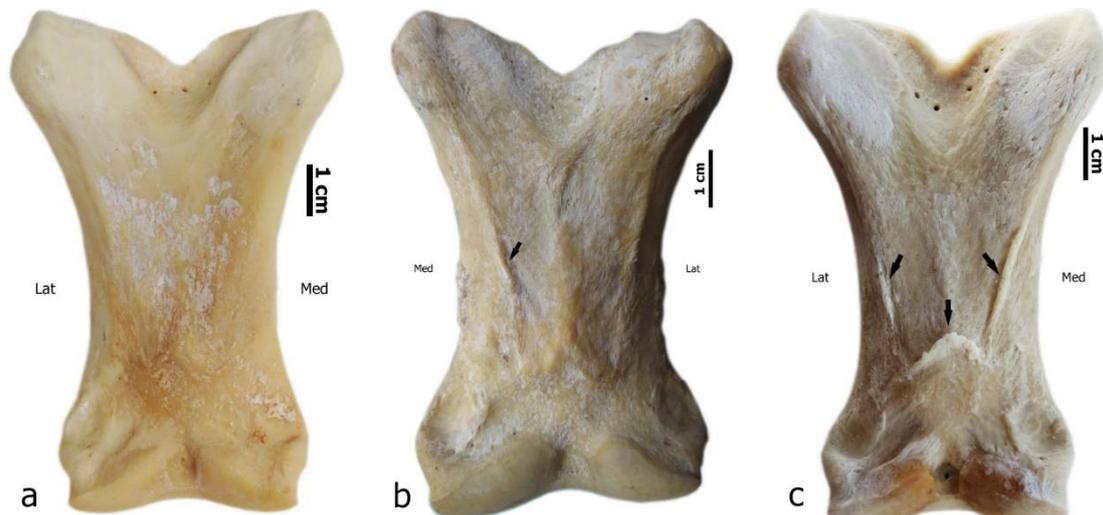
c : L'insertion est le siège de formations osseuses importantes et se différencie nettement de l'os. Sa surface est marquée par une forte irrégularité. De fait, le stade C est accordé (phalange proximale antérieure gauche, *E. caballus*, PACEA, 319).

Ligament sésamoïdien distal oblique (terminaison, P₁SD, figure 31)

Contrairement aux insertions précédentes, seule la périphérie est prise en compte. Les atteintes de la surface sont bien trop rares pour pouvoir être cotées. Les modifications prennent la forme de formations osseuses.

- Stade A : absence de modification, les bords peuvent être légèrement marqués mais réguliers ;
- Stade B : formations osseuses occupant moins de 50% du bord ;
- Stade C : formations osseuses occupant 50% ou plus du bord.

Figure 31 : Exemples d'atteintes du ligament sésamoïdien oblique distal sur la phalange proximale.



a : Aucune altération n'est visible. Les bords médial et latéral se confondent avec la surface de l'os. Le stade A est attribué (phalange proximale antérieure gauche, *E. caballus przewalskii*, IfP München, 13).

b : Moins de la moitié du bord est altérée. Une petite saillie irrégulière est identifiable sur le bord médial de l'enthèse (flèche noire). Le stade B est accordé (phalange proximale antérieure droite, *E. caballus przewalskii* x *E. caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, E wld 5).

c : Plus de la moitié du bord de l'enthèse est identifiable sous forme de crêtes saillantes (flèches noires). Le stade C est attribué (phalange proximale antérieure gauche, *E. caballus przewalskii*, IfP München, 19).

c. Enthèses non enregistrables et absentes.

Que l'on s'intéresse aux enthèses fibreuses ou fibrocartilagineuses, divers éléments peuvent entraver l'étude des modifications enthésiques et leur enregistrement. Les restes osseux découverts en contexte archéologiques peuvent avoir été soumis à des processus taphonomiques (érosion chimique, racines, traces laissées par des rongeurs... *e.g.* Fernández-Jalvo & Andrews, 2016) ou être porteurs de certaines pathologies (inflammatoires, infectieuses) empêchant l'observation des zones d'insertion. Les spécimens issus de collections muséales ne sont pas épargnés par ces phénomènes. Par exemple, il est possible que des résidus de tissus mous (ligaments, tendons) ou de graisse masquent le véritable aspect des enthèses (figure 32). Dans le cadre de notre démarche, il est donc nécessaire de considérer ces écueils éventuels :

- Une insertion est considérée non-enregistrable (« NE ») lorsqu'au moins 25% de sa surface est taphonomiquement altérée ou recouverte de tissus mous.
- Une enthèse absente est notée « ABS ».

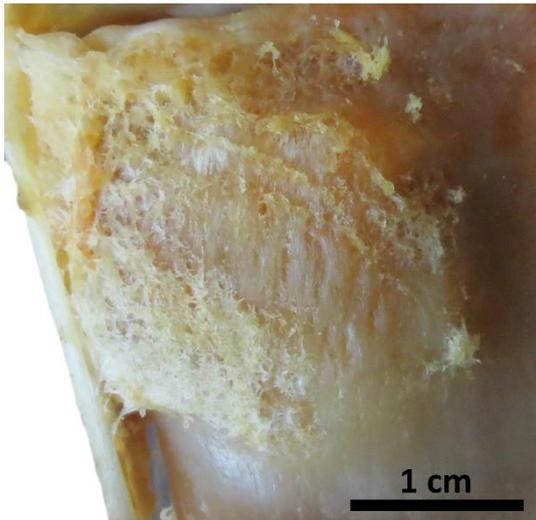


Figure 32 : Exemple d'insertion non enregistrable en raison de la présence de restes de tissus mous (insertion du *M. biceps brachii*, radius droit, *E. caballus*, IRSNB Bruxelles, spécimen n°13097).

II. REPRODUCTIBILITÉ ET RÉPÉTABILITÉ DE LA MÉTHODE.

Nous avons éprouvé la fiabilité de notre protocole avec l'aide de tests intra-observateurs et inter-observateurs. Pour ce faire, trois analyses ont été appliquées :

- La concordance directe, qui correspond au pourcentage de stades identiques entre deux observateurs ou séances de cotation ;

- Le coefficient de Kappa, qui permet de juger de la qualité de l'accord entre juges ou séances de cotation (Landis & Koch, 1977). À cet effet, deux Kappa ont été calculés :
 - o Le Kappa de Cohen, qui permet de comparer l'accord entre deux juges ou deux séances de cotation (test intra-observateur) ;
 - o Le Kappa de Fleiss est appliqué pour comparer l'accord lorsque plus de deux juges sont impliqués (tests inter-observateurs).

Le coefficient de Kappa considère le nombre d'erreurs et leur type. Ce dernier critère influe dans le sens où une erreur est considérée plus ou moins grave en fonction du type de cette dernière : un écart de cotation d'un stade (désaccord entre A et B ou B et C) est jugé moins important qu'un écart de deux stades (attribution d'un stade C au lieu de A). La valeur obtenue permet alors de juger la qualité de la reproductibilité et/ou de la répétabilité de la méthode (tableau 9).

Valeur du coefficient k	Qualité de l'accord
< 0	Très faible
0-0,20	Faible
0,21-0,40	Légère
0,41-0,60	Modérée
0,61-0,80	Bonne
0,81-1,0	Excellente

Tableau 9 : Tests intra- et inter-observateurs - Qualité du jugement selon la valeur k (Landis & Koch, 1977).

Si elle donne une première idée de la fiabilité d'une méthode, l'interprétation de la valeur du coefficient k demeure subjective et variable selon le contexte de son application. L'accord est ici défini comme étant le nombre de concordance entre deux sessions de cotation pour un même observateur ou plusieurs observateurs pour chaque enthèse.

Les cotations relatives aux enthèses phalangiennes ont été réunies pour calculer un taux d'accord global pour chaque ligament : ont été rassemblées les positions antérieure/postérieure ainsi que médiale/latérale. Les comparaisons liées aux cotations A-B-C et des stades NE/ABS font l'objet d'analyses séparées. La séparation de ces deux analyses donne la possibilité de ne pas biaiser les fréquences correspondant à chaque enthèse. Les pourcentages d'accord ont été calculés avec Microsoft Excel 2016. Les coefficients Kappa ont été obtenus avec le package R « KappaGUI » (Santos, 2018). La liste des spécimens étudiés dans le cadre de ces deux tests est présentée en annexe 5.

1. Test intra-observateur.

Neuf spécimens issus des collections du *Museum für Naturkunde* (Berlin, Allemagne) ont été étudiés par l'auteure de ce travail. Les séances de cotation ont été menées à un an d'intervalle chacune. Les membres gauches et droits ont été considérés au cours de ces deux séances. Le taux d'accord général entre les deux séances de cotation est relativement élevé avec 80,2%.

a. Types de désaccord.

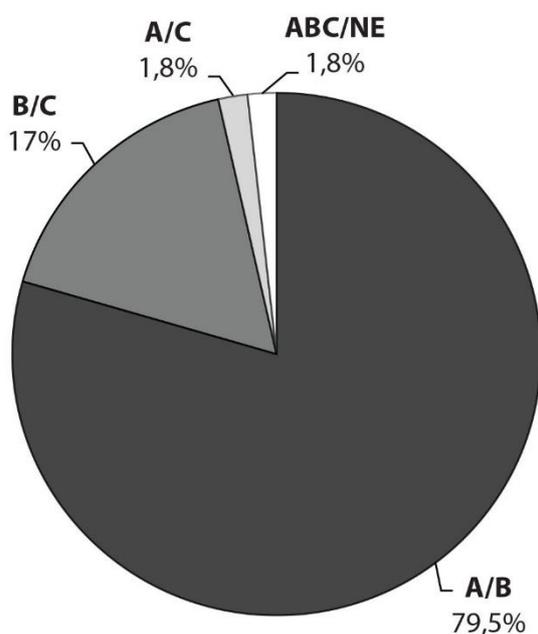


Figure 33 : Test intra-observateur - Répartition des types d'erreurs de cotation entre :
- Stades A et B (A/B) ;
- Stades B et C (B/C) ;
- Stades A et C (A/C) ;
- Enthèses enregistrables et non enregistrables (ABC/NE).

Les erreurs d'attribution entre deux stades successifs sont les plus courantes avec notamment 79,5% de désaccord entre les stades A et B (figure 33). Les défauts de cotation entre B et C sont en revanche nettement moindres avec 17% d'erreurs. Les désaccords entre scores A et C sont quant à eux minimales (1,8%). De même, les hésitations visant à déterminer si une enthèse est cotable ou non (A-B-C/NE) sont relativement peu nombreuses et rassemblent seulement 1,8% des désaccords. Aucune confusion entre enthèses enregistrables et absentes n'a été effectuée.

b. Stades A, B et C.

	Enthèses	<i>n</i>	%	k (Cohen)	Qualité de l'accord
Enthèses fibrocartilagineuses	SBB	12	75%	0,72	Bonne
	HSC	16	94,1%	0,92	Excellente
	HIE	15	88,2%	0,82	Excellente
	HIEc	16	94,1%	0,91	Excellente
	HCL	14	82,4%	0,76	Bonne
	HFD	15	88,2%	0,81	Excellente
	HUL	13	81,3%	0,71	Bonne
	UTB	14	82,4%	0,71	Bonne
	RBB	11	64,7%	0,61	Bonne
	CFEP	10	62,5%	0,64	Bonne
	FFEP	10	66,7%	0,62	Bonne
	FFA	13	76,5%	0,73	Bonne
	FIP	15	88,2%	0,85	Excellente
	FGC	8	53,3%	0,62	Bonne
	TPL	14	87,5%	0,8	Bonne
	P ₁ CL	56	82,3%	0,63	Bonne
	P ₂ CL	48	73,4%	0,67	Bonne
P ₃ CL	49	87,5%	0,89	Excellente	
Enthèses fibreuses	HDE	15	88,2%	0,78	Bonne
	HRD	13	76,5%	0,51	Modérée
	FFS	11	64,7%	0,45	Modérée
	P ₁ SD	29	85,7%	0,77	Bonne
	P ₁ PM	61	89,7%	0,89	Excellente

Tableau 10 : Test intra-observateur - Résultats par enthèse (stades A-B-C).

i. Enthèses fibrocartilagineuses.

Le taux d'accord est, pour l'ensemble des enthèses, supérieur à 50% (tableau 10). L'insertion du *M. gactrocnemius* sur le fémur (FGC) présente le taux d'accord le plus faible avec 53,3% des cotations effectuées. Les autres insertions présentent des taux d'accord variant de 62,5% (insertion du *M. gluteus profundus* sur l'os coxal, CFEP) à 94,1% (*M. subscapularis*, HSC ; *M. infraspinatus* sur la convexité, HIEc). L'accord entre les deux séances de cotation est bon ou excellent d'après le coefficient Kappa.

ii. Enthèses fibreuses.

Le pourcentage de concordance varie entre 64,7% (insertion du *M. flexor digitorum superficialis* sur le fémur, FFS) et 89,7% (ligament palmaire/plantaire, P₁PM) (tableau 10). L'accord entre les deux séances de cotation est modéré pour les insertions des *Mm. teres major/latissimus dorsi* (HRD, $k=0,51$) sur l'humérus et *M. flexor digitorum superficialis* sur le fémur (FFS, $k=0,45$). Deux enthèses présentent un bon accord (*M. deltoideus*, HDE ; ligament sésamoïdien distal oblique, P₁SD) ; l'évaluation de l'insertion du ligament palmaire/plantaire sur la phalange proximale (P₁PM) expose un excellent accord après calcul du coefficient Kappa.

2. Test inter-observateur.

Trois observateurs (Marion Bindé, Christopher J. Knüsel, David Cochard) ont éprouvé la fiabilité du protocole à partir de l'observation de 11 spécimens issus des collections de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique à Bruxelles (figure 34). Les contraintes de temps (4 jours) nous ont poussés à nous focaliser uniquement sur les enthèses des membres gauches. Le niveau d'expérience quant à l'observation des modifications enthésiques diffère d'un observateur à un autre :

- L'un est expérimenté avec l'observation des enthèses mais sur les restes humains (CK) ;
- L'autre, familier avec l'étude des restes fauniques, est novice quant à l'enregistrement des modifications enthésiques (DC) ;
- Moi-même, l'auteure de ce travail (MB).

Les conditions de cotation et d'observation étaient similaires pour les trois observateurs.



Figure 34 : Test inter-observateur -
Cliché pris lors d'une séance de cotation
(cliché : O. Pauwels).

a. Déroulement.

Quelques jours avant le début de la session, un document exposant les détails de la méthode de cotation a été transmis à deux observateurs (CK et DC) et leur a servi d'aide-mémoire. La session de cotation s'est divisée en trois étapes :

- **1 : Présentation de la méthode** par l'auteure à partir de matériel ostéologique (1/2 journée).

Les caractéristiques des 23 enthèses (localisation au sein du squelette, aspect, altérations possibles) ainsi que les stades de cotation pour chacune d'entre elles ont été définis et présentés.

- **2 : Session de cotation « nulle »** à partir de trois spécimens (1/2 journée).

Les enthèses des membres gauches de chaque individu ont été décrites et cotées. Les résultats ont ensuite été mis en commun. Les cotations discordantes ont été discutées afin d'identifier les critères problématiques. Des précisions relatives à l'anatomie des zones d'insertion ainsi que leur variabilité ont été apportées. De même, certains points de la méthode ont été précisés et affinés.

- **3 : Réalisation des tests inter-observateurs**, cotation des enthèses de 11 spécimens (3 jours).

b. Types de désaccord.

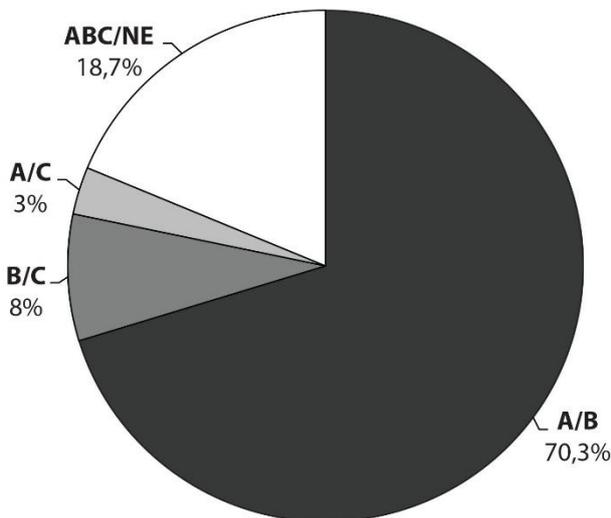


Figure 35 : Tests inter-observateurs - Répartition des types d'erreurs de cotation entre :
- Stades A et B (A/B) ;
- Stades B et C (B/C) ;
- Stades A et C (A/C) ;
- Enthèses enregistrables et non enregistrables (ABC/NE).

La figure 35 révèle que les défauts d'attribution entre stades A et B se distinguent nettement en rassemblant environ 70% des désaccords. Les confusions entre les stades B et C sont bien moindres en atteignant 8% d'erreurs. Les désaccords entre A et C demeurent rares avec seulement 3% des erreurs observées. En revanche, avec une fréquence s'élevant à 18,7%

des erreurs, il est surprenant de relever que de nombreuses hésitations ont été commises pour déterminer si, oui ou non, une enthèse était enregistrable (A-B-C/NE). Tout comme pour le test intra-observateur, aucune confusion entre insertions enregistrables et absentes n'a été réalisée.

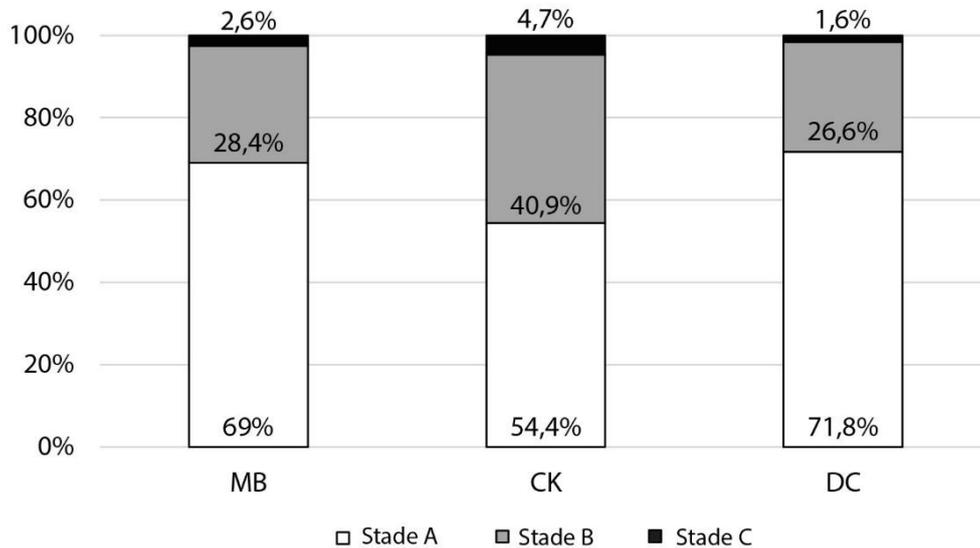


Figure 36 : Tests inter-observateurs - Répartition des stades de cotation selon les observateurs (MB : Marion Bindé ; CK : Christopher J. Knüsel ; DC : David Cochard).

La fréquence d'attribution des stades diffère selon les observateurs (figure 36). MB et DC ont tous deux enregistré environ 70% d'enthèses saines et 30% d'insertions exposant des altérations. CK s'en distingue et semble avoir « sur-coté » l'apparence des insertions de l'échantillon : près de 46% de celles-ci ont été considérées comme altérées.

c. Stades A, B et C.

Le degré d'accord varie selon l'enthèse et le test inter-observateur considérés. Les résultats sont présentés dans le tableau 11.

	Enthèses	<i>n</i>	Inter-obs 1	Inter-obs 2	Inter-obs 3	k (Fleiss)	Qualité de l'accord
Enthèses fibrocartilagineuses	SBB	10	80%	70%	80%	0,59	Modérée
	HSC	10	60%	90%	70%	0,46	Modérée
	HIE	11	72,7%	90,9%	81,9%	-0,1	Pauvre
	HIEc	11	100%	100%	100%	1	Excellente
	HCL	8	25%	100%	25%	-0,13	Pauvre
	HFD	9	100%	88,9%	88,9%	0,75	Bonne
	HUL	10	70%	80%	50%	0,07	Faible
	UTB	11	90,9%	90,9%	100%	0,76	Bonne
	RBB	10	60%	90%	70%	0,46	Modérée
	CFEP	11	54,5%	54,5%	46%	0,16	Faible
	FFEP	11	72,7%	72,7%	81,8%	0,18	Faible
	FFA	11	81,8%	81,8%	63,6%	0,53	Modérée
	FIP	10	40%	70%	60%	0,16	Faible
	FGC	11	81,8%	63,6%	72,7%	0,49	Modérée
	TPL	8	100%	100%	100%	1	Excellente
	P ₁ CL	13	46,2%	100%	46,2%	-0,22	Pauvre
	P ₂ CL	20	45%	45%	40%	-0,02	Pauvre
P ₃ CL	20	55%	65%	55%	0,16	Faible	
Enthèses fibreuses	HDE	11	81,8%	90,9%	90,9%	-0,07	Pauvre
	HRD	11	72,7%	72,7%	81,8%	0,59	Modérée
	FFS	9	77,8%	88,9%	66,7%	0,55	Modérée
	P ₁ SD	21	66,7%	85,7%	81%	0,46	Modérée
	P ₁ PM	42	64,3%	64,3%	69%	0,37	Légère

Tableau 11 : Tests inter-observateurs - Résultats pour chaque enthèse (stades A-B-C).

i. Enthèses fibrocartilagineuses.

Cinq insertions exposent un taux d'accord inférieur à 50%. Bien que l'un des tests offre un accord parfait entre les observateurs (test 2, 100%), l'insertion du ligament collatéral du coude (HCL) présente le taux de désaccord le plus élevé avec seulement 25% de concordance pour les tests 1 et 3. Les insertions des *M. gluteus profundus* sur le coxal (CFEP, test 3), *M. iliopsoas* (FIP, test 1), ligament collatéral sur les phalanges proximales (P₁CL, tests 1 et 3) et intermédiaires (P₂CL) présentent un taux d'accord variant de 40 à 46,2%.

La presque totalité des enthèses présentent au moins un test inter-observateur dont la fréquence de concordance dépasse les 70%. Quatre enthèses se distinguent particulièrement en faisant l'objet d'un désaccord peu prononcé (*Mm. flexor digitorum*, HFD, 88,9% et plus ;

M. triceps brachii, UTB, supérieur à 90%) voire nul (*M. infraspinatus*, convexité du tubercule majeur de l'humérus, HIEc ; *ligamentum patellae laterale*, TPL).

Selon le Kappa de Fleiss, la qualité de l'accord varie de « pauvre » à « modérée » pour la majorité des zones d'insertion. Seules quatre entèses affichent un accord de bonne (*Mm. flexor digitorum profundus/superficialis*, HFD ; *M. triceps brachii*, UTB) voire d'excellente qualité (*M. infraspinatus* sur la convexité de l'humérus, HIEc ; *Ligamentum patellae laterale*, TPL). Notons que certaines valeurs k ne reflètent pas les résultats obtenus lors du calcul de concordance directe. Par exemple, les insertions des *M. infraspinatus* (HIE) et *M. gluteus profundus* sur le fémur (FFEP), dont le pourcentage d'accord est supérieur à 70%, exposent une qualité d'accord « pauvre » ($k = -0,1$) et « faible » ($k = 0,18$).

ii. Entèses fibreuses.

Aucun accord inter-observateur ne présente de fréquence inférieure à 50%, la plus faible s'élevant à 64,3% (ligament palmaire/plantaire, P₁PM, tests 1 et 2). Le degré de concordance le plus important est de 90,9% (*M. deltoideus*, HDE, tests 2 et 3).

Le test de Kappa affiche une qualité d'accord « pauvre » à « modérée ». Tout comme pour les entèses fibrocartilagineuses, la valeur k peut ne pas refléter les résultats obtenus lors du calcul de concordance directe. Cette remarque est particulièrement vraie pour l'insertion du *M. deltoideus* (HDE) pour laquelle la qualité de l'accord est considérée comme pauvre ($k = -0,07$) alors qu'elle expose les taux de concordance les plus élevés (81,8%-90,9%).

3. Commentaires.

Les chercheurs s'intéressant aux modifications enthésiques insistent sur l'importance d'évaluer la fiabilité des méthodes d'enregistrement mises en place (e.g. Davis et al., 2013; Jorgensen et al., 2020; Wilczak et al., 2017). Un taux de désaccord faible est nécessaire pour permettre la comparaison de résultats issus de chercheurs indépendants usant d'une même méthode.

Comme documenté précédemment (Villotte & Perréard Lopreno, 2012), les tests intra-observateurs exposent généralement un taux d'accord plus important que les tests inter-observateurs. Ces derniers présentent des résultats peu satisfaisants avec un faible taux d'accord pour certaines entèses notamment celles du ligament collatéral du coude (HCL), *M. gluteus profundus* sur le coxal (CFEP) et du ligament collatéral sur la phalange intermédiaire (P₂CL). De même, l'accord est rarement « bon » ou « excellent » selon le Kappa de Fleiss.

Les meilleurs résultats obtenus dans le cadre des tests intra-observateurs peuvent être liés au fait que la créatrice de la méthode est davantage expérimentée avec les critères établis et leurs nuances dans le cadre de la cotation des insertions. Le niveau d'expérience variant entre les trois observateurs, il est possible que ce paramètre influence aussi le taux d'accord. Christopher J. Knüsel, qui est expérimenté dans l'étude des modifications enthésiques sur les restes humains, a coté davantage d'enthèses altérées que les deux autres observateurs (figure 36). Notamment pour les enthèses fibrocartilagineuses, nos observations ont révélé que la définition de l'aspect normal de la plupart des enthèses équinés, qui peuvent être développées et à surface légèrement irrégulière, diffère de celui défini pour les restes humains (Benjamin et al., 1986). Ces irrégularités légères peuvent être enregistrées comme des modifications enthésiques sur les ossements humains alors qu'elles sont incluses dans la variabilité de l'aspect anatomique normal chez les équidés. Les cas ambigus ont été discutés afin d'améliorer la définition de l'aspect sain pour chaque enthèse, le but étant d'accroître l'applicabilité de notre protocole.

Des résultats contradictoires entre les pourcentages de concordance directe et les coefficients Kappa ont été relevés. En effet, certaines insertions exposant un pourcentage de concordance élevé présentent une qualité d'accord « faible » (tableau 11 : *M. infraspinatus* sur la crête de l'humérus, HIE ; *M. deltoideus*, HDE). La petite taille des échantillons n'a pas permis d'observer la grande variabilité des stades de modifications enthésiques. Le stade C a rarement été enregistré. Les valeurs Kappa négatives peuvent être considérées comme des biais statistiques car induits par un taux d'accord élevé pour les stades couramment observés (A et B) et, *a contrario*, un désaccord important pour ceux rarement enregistrés comme le stade C. Dans le cadre de cette étude, les tests Kappa doivent donc être interprétés avec précaution.

Les figures 33 et 35 mettent en évidence que les erreurs entre deux stades successifs sont les plus courantes, notamment entre les stades A et B. Ceci révèle la difficulté de distinguer la limite entre les différents stades, particulièrement enthèses saines et modérément atteintes. La réduction de la grande variabilité des modifications enthésiques en un nombre réduit de catégories peut être une source de confusion (Davis et al., 2013) et nécessite de fait une bonne compréhension des limites ainsi que des variations entre les différentes catégories.

Dans le cadre des tests inter-observateurs, de nombreuses confusions entre enthèses enregistrables et non enregistrables ont été effectuées. Les échanges entre les observateurs ont mis en exergue le fait que la présence de restes de tissus mous, pouvant être couramment

rencontrés sur des spécimens issus de collections muséales, altère la visibilité des insertions pour les observateurs inhabitués à l'observation de restes d'équidés et/ou à la cotation des changements enthésiques. De plus, nous ne pouvons ignorer que la présence de nombreuses enthèses non enregistrables (n = 93) accroît le risque de confusion.

Pour que notre méthode de cotation soit davantage applicable, ces tests de reproductibilité doivent être menés sur des échantillons plus importants avec un plus grand nombre d'enthèses à enregistrer. Un accord inter-observateur plus important est nécessaire pour rendre possible la comparaison des études menées par des utilisateurs indépendants. Comme conseillé dans des études menées par les anthropologues (Villotte & Perréard Lopreno, 2012; Wilczak et al., 2017), une séance d'entraînement plus longue avec l'auteure est nécessaire afin d'acquérir une meilleure connaissance de la variabilité des modifications enthésiques chez les équidés.

Résumé

La méthode de cotation établie dans ce travail est la première à s'intéresser à plusieurs insertions du squelette appendiculaire des équidés, ces dernières étant au nombre de 23 (18 enthèses fibrocartilagineuses et 5 fibreuses). Elle permet d'évaluer la sévérité et l'étendue des atteintes de types formations osseuses et érosion. Les premiers tests visant à éprouver sa reproductibilité et sa répétabilité révèlent que la cotation de certaines enthèses est plus fiable que d'autres. Certaines de nos constatations sont similaires à celles établies par les anthropologues à savoir que (1) l'expérience des observateurs a un impact sur les résultats des analyses, (2) la seule possession d'un support papier exposant la méthode ne suffit pas, des séances d'entraînement avec les auteurs est nécessaire pour optimiser les sessions d'observation.

Le protocole proposé dans ce travail a pour but d'aider à l'identification des équidés non-utilisés de ceux exploités par l'Homme et, le cas échéant, des activités pour lesquelles ces derniers ont été employés par le passé (monte, traction ou bât). Ceci s'inscrit dans la problématique générale qu'est de documenter leur place au sein des sociétés par le biais de leurs interactions avec les groupes humains. Cependant, avant toute application en contexte archéologique, il est nécessaire d'identifier les divers paramètres pouvant impacter le développement de modifications au niveau des sites d'insertion ligamentaires et tendineux.

La deuxième étape de ce travail vise donc à constituer des échantillons de références composés d'équidés modernes documentés. Notre système de cotation sera employé afin d'identifier les potentiels facteurs impliqués dans l'apparition et le développement de changements enthésiques qu'ils soient liés ou non (âge, sexe, proportions corporelles, conditions de vie) aux activités auxquelles était soumis l'animal.

CHAPITRE IV

PRÉSENTATION DES RÉFÉRENTIELS ACTUELS ET DES OUTILS STATISTIQUES

I. CRÉATION D'UN CORPUS DE RÉFÉRENCE.

Notre référentiel doit comporter un grand nombre d'individus pour rendre possibles les analyses à l'échelle populationnelle et réduire les limites statistiques liées aux petits échantillons. Cette partie détaille, dans un premier temps, les méthodes ayant permis de caractériser biologiquement les équidés de notre corpus. Nous exposerons ensuite les critères de sélection ayant conduit à la composition finale de ce dernier.

1. Caractérisation biologique des équidés composant le référentiel.

a. Estimation de l'âge au décès.

Les informations accompagnant chaque spécimen n'attestent pas nécessairement du véritable âge au décès et se limite en majorité à des mentions telles que « nouveau-né », « juvénile » ou « adulte ». L'âge a donc été estimé pour un certain nombre d'individus étudiés. L'âge réel est conservé lorsque celui-ci est documenté.

L'estimation de l'âge au décès des juvéniles est connue pour être plus fiable que pour les équidés adultes. Les chercheurs usent généralement des séquences d'éruption dentaires, qui correspondent au remplacement des dents lactéales par les dents permanentes (Cornevin & Lesbre, 1894; Guadelli, 1998; tableau 12), ainsi que des dates d'épiphysation des os longs (Barone, 2000a, p. 76 ; tableau 13). Si ces méthodes permettent de fournir un âge plus ou moins précis des équidés immatures, elles sont en revanche inapplicables chez les adultes.

Pour ces derniers, l'usure de la face occlusale des incisives, basée sur la disparition progressive de l'émail, est couramment employée pour estimer leur âge au décès (Cornevin &

Lesbre, 1894 ; Guadelli, 1998). Cependant, cette méthode ne permet pas nécessairement de fournir un âge précis mais plutôt un intervalle de valeurs correspondant à un degré d'usure. De plus, les chercheurs mettent en avant le fait que cette usure peut ne pas être liée au vieillissement de l'animal (*e.g.* alimentation trop abrasive, défaut de la dentition, râpage dentaire) et donc conduire à une sur-/sous-estimation. Afin de pallier à ce défaut de précision, les archéozoologues disposent d'approches telles que la cémentochronologie (analyse microscopique des couches de ciment) ou encore le degré d'hypsodontie (mesure de la hauteur de la couronne) (*e.g.* Fernandez, 2009; Levine, 1982, 1983). La première nécessite la création de lames minces pour chaque dent et implique de ce fait une destruction du matériel dentaire. Dans le cadre de ce travail, cette démarche s'avérait trop lourde et destructive pour pouvoir être appliquée sur les équidés des collections muséales. Pour les mesures de la hauteur de la couronne, il est nécessaire que les dents soient isolées de leur alvéole dentaire. Or, pour la majorité des spécimens du corpus de référence, nous disposons des crânes, mandibules et des dentures complètes encore comprises dans leur alvéole nous empêchant d'effectuer les mesures nécessaires.

Ainsi, malgré les limites citées plus haut, notre choix s'est donc porté sur l'usure de la face occlusale des incisives pour estimer l'âge au décès de certains équidés adultes de nos référentiels (Cornevin & Lesbre, 1894 ; Guadelli, 1998). Comme ces estimations ne permettent pas nécessairement l'obtention d'un âge précis, nous avons établi des classes d'âges pour ne pas exclure les équidés concernés. Afin qu'elles comportent des effectifs relativement équilibrés pour limiter les écueils statistiques (cf. II et III de ce chapitre), ces catégories sont au nombre de trois : 5-10 ans, 11-19 ans ainsi que 20 ans et plus.

<i>Dents supérieures</i>	I ¹	I ²	I ³	C	Dent de loup	P ²	P ³	P ⁴	M ¹	M ²	M ³
Déciduale	6-8 jours	30-40 jours	6-10 mois			30-40 jours					
Définitive	2,5-3 ans	3-4 ans	4,5-5 ans	3,5-5 ans	~ 6 mois	2,5-3 ans	3-3,5 ans	3,5-4 ans	10 mois	20-26 mois	3,5-4 ans
<i>Dents inférieures</i>	I ₁	I ₂	I ₃	C	Dent de loup	P ₂	P ₃	P ₄	M ₁	M ₂	M ₃
Déciduale	6-8 jours	30-40 jours	6-10 mois			30-40 jours					
Définitive	2,5-3 ans	3-4 ans	4,5-5 ans	3,5-5 ans	~ 6 mois	2,5-3 ans	2,5-3 ans	3,5-4 ans	10 mois	20-26 mois	3,5-4 ans

Tableau 12 : Dates d'éruption dentaire chez les équidés (d'après Cornevin et Lesbre, 1894 ; Guadelli, 1998).

	Os	Centre d'ossification	Date de soudure
Crâne	Occipital	Exoccipital-basioccipital	3-6 m.
		Exoccipital-écaille	12-15 m.
		Interpariétal-écaille	1-2 a.
	Sphénoïde	Corps/ailes du présphénoïde	<i>Avant la naissance</i>
		Corps/ailes du basisphénoïde	6 m.
		Basisphénoïde et présphénoïde	2-4 a.
		Suture sphénobasilaire	3-5 a.
	Pariétaux	Suture interpariétale	15-36 m.
	Frontaux	Suture interfrontale	5-7 a.
	Temporal	Pétreux-tympanique	2-4 m.
		Pétreux squamosal	<i>Jamais ou très tard</i>
	Maxillaire	Centres épiphysaires	<i>Avant la naissance</i>
	Mandibule	Centre de chaque os	<i>Avant la naissance</i>
Union des deux os		<i>Jamais complète</i>	
Vertèbres		Épiphyse des corps	4,5-5 a.
Membre antérieur	Scapula	Centre coracoïdien	10-12 m.
	Humérus	Épiphyse proximale	42 m.
		Épiphyse distale	15-18 m.
	Radius	Épiphyse proximale	15-18 m.
		Épiphyse distale	42 m.
	Ulna	Épiphyse proximale	42 m.
Épiphyse distale		2-3 m.	
Membre postérieur	Coxal	Centres principaux et acétabulaire	10-12 m.
		Tubérosité ischiatique	4-5 a.
		Crête iliaque	4,5-5 a.
	Fémur	Épiphyse proximale	36 m.
		Épiphyse distale	42 m.
	Tibia	Épiphyse proximale	42 m.
Épiphyse distale		24 m.	
Calcaneus	Tubérosité	3-5 m.	
	Métacarpien/Métatarsien	Épiphyse distale	15 m.
	Phalanges proximales	Épiphyse proximale	12-15 m.
	Phalanges intermédiaires	Épiphyse proximale	10-12 m.

Tableau 13 : Dates d'épiphyse chez les équidés (d'après Barone, 2000a).
Les âges sont indiqués en mois (m.) et années (a.).

b. Détermination du sexe.

La détermination du sexe a été réalisée sur base de critères macroscopiques couramment utilisés en archéozoologie : la présence ou non de canines (Hillson, 2005) ainsi que la morphologie de l'*os pubis* (Barone, 2000a).

Les équidés mâles sont caractérisés par la présence de canines développées, les juments par leur absence (Hillson, 2005). Ce caractère doit tout de même être considéré avec précaution, la persistance de dents vestigiales ayant été documentée chez les femelles. En 1936, F. Colyer identifie 48 crânes de juments (parmi 173) exposant des canines rudimentaires aussi bien au niveau de la mandibule que des os maxillaires (Miles & Grigson, 2011 ; tableau 14).

Position	N crânes avec canines	% crânes avec canines
Maxillaire + Mandibule	10	5,8
Maxillaire	1	0,6
Mandibule	37	21,4
Total	48	27,8

Tableau 14 : Nombre de crânes de juments présentant des canines vestigiales (parmi 173 crânes étudiés, d'après Miles et Grigson, 2003).

De par ses fonctions liées à la parturition, la morphologie du bassin osseux permet de distinguer mâles et femelles (Barone, 2000a). Ces différences sont particulièrement marquées au niveau de la région pubienne. Les juments présentent un *os pubis* mince avec un bord crânial tranchant et une face pelvienne creusée. En revanche, cette région est convexe, avec un bord crânial épais et arrondi chez les mâles.

Cas de la castration

Depuis l'Antiquité, la pratique de la castration est répandue en hippatrie. Cette dernière est généralement mise en pratique dans le but de rendre l'animal docile et mieux manipulable, contrôler la reproduction au sein des cheptels (*e.g.* sélection des meilleurs reproducteurs chez les chevaux de course) ou encore traiter une pathologie uro-génitale (Dapoigny, 2003; Hureau, 2010). La stérilisation limiterait voire interromprait l'éruption des canines et retarderait l'épiphyse. De fait, le squelette des hongres se distinguerait de celui des mâles entiers en raison de sa gracilité (Chaplin, 1971). Cependant, la castration pouvant s'effectuer à n'importe quel moment de la vie de l'animal, ces changements semblent plus ou moins marqués selon la date à laquelle elle est pratiquée (Barone, 2000a ; Lacoste, 1851) : plus l'âge de l'animal est

avancé, moins cette intervention aura de conséquences ostéologiques. Le caractère « variable » de cet acte rend donc difficile sa reconnaissance en contexte archéologique (Chaplin, 1971).

En l'absence de critères d'identification fiables, nous nous sommes donc contentés de distinguer les équidés mâles et femelles. Le terme « hongre » (noté « H ») est précisé lorsque des indications ont été fournies par les institutions d'accueil.

c. Estimation des proportions corporelles.

Quelle que soit l'espèce considérée, l'étude des proportions corporelles permet aux archéozoologues de fournir une première image de la forme, de la morphologie des individus issus des populations étudiées (*e.g.* Arbogast, 2002, p.41-50 ; Bopp-Ito et al., 2018 ; Méniel, 1996). Pour les équidés domestiques, les variations morphologiques observées, aussi bien chronologiques que géographiques, peuvent résulter d'un nouveau mode d'élevage, d'une modification du peuplement humain ou d'échanges commerciaux (Audoin-Rouzeau, 1994). Nous avons vu dans le chapitre I que stature et masse corporelle sont des facteurs pouvant influencer la formation de lésions tendineuses et ligamentaires chez les équidés (Goble, 2011 ; Gruyaert et al., 2020 ; O'Sullivan, 2007). Il nous a donc semblé essentiel d'éprouver leur impact sur le développement des changements enthésiques bien que ces deux paramètres soient rarement documentés dans les collections ostéologiques récentes.

i. Hauteur au garrot.

L'estimation de la hauteur au garrot a été effectuée par la multiplication des longueurs des os longs avec les coefficients établis par L. Kiesewalter (1888), fréquemment appliqués lors d'études de restes d'équidés issus de contextes archéologiques (tableau 15). Trente-cinq squelettes de chevaux de races et de statures variées ont permis à l'auteur d'établir ces coefficients (poneys, chevaux de trait...la liste de ces derniers se situe aux pages 6-8 de sa publication) et ne sont, de fait, probablement pas adaptés à l'analyse des autres espèces équinées. Cependant, en l'absence d'équations appropriées pour chacune d'elles, nous avons appliqué ces coefficients pour les ânes, leurs hybrides (mules et bardots), les chevaux de Przewalski ainsi que les zèbres.

Les mesures ont été prises selon la nomenclature proposée par von den Driesch en 1976, à l'aide de pieds à coulisse de 150 mm et de 500 mm (cf. annexe 6). Pour un individu donné, une hauteur au garrot moyenne a été calculée à partir des valeurs obtenues pour chaque os long dont nous

dispositions. L'annexe 7 présente l'ensemble de ces mesures. Les tailles réelles ont été conservées lorsqu'elles étaient renseignées (n = 8 spécimens).

	Mesures (d'après von Den Driesch, 1976)	Équations de Kiesewalter (1888)
Humérus	GLl : Longueur maximale externe	GLl x 4,66
Radius	GLl : Longueur maximale externe	GLl x 4,34
Métacarpien	Ll : longueur externe	Ll x 6,41
Fémur	GL : longueur maximale	GL x 3,51
Tibia	Ll : longueur externe	Ll x 4,36
Métatarsien	Ll : longueur externe	Ll x 5,33

Tableau 15 : Équations d'estimation de la hauteur au garrot établies par L. Kiesewalter (1888).

ii. Masse corporelle.

En 1998, V. Eisenmann et P. Sondaar utilisent deux approches pour estimer ce paramètre :

- L'une basée sur les mesures de la longueur et de la largeur de la surface occlusale de la M1 supérieure ;
- L'autre sur les mesures de la largeur et de l'épaisseur de l'extrémité distale des métapodiens.

Les mesures dentaires n'ont pas été considérées dans le cadre de ce travail. Certaines études attestent en effet qu'elles sont peu fiables en raison de l'intervention de divers critères tels qu'un mauvais état dentaire pouvant réduire la surface occlusale, une technique de mesure variable (*e.g.* présence ou non de ciment) ou des variations intra-spécifiques importantes (Alberdi et al., 1995 ; Eisenmann & Sondaar, 1998). À cela s'ajoute une contrainte relative à notre échantillon : un grand nombre de nos spécimens disposent d'un crâne porteur d'une série dentaire complète nous empêchant ainsi de mesurer les M¹ de manière fiable.

	Équations d'estimation
Métacarpien	Ln (masse) = - 4,525 + 1,434 (Ln MC10 * MC13) <i>R</i> = 0,94
Métatarsien	Ln (masse) = - 4,585 + 1,443 (Ln MT10 * MT13) <i>R</i> = 0,94

Tableau 16 : Équations d'estimation de la masse corporelle proposées par V. Eisenmann et P. Sondaar (1998).

Considérées comme plus sûres (Alberdi et al., 1995), nous nous sommes donc focalisés sur les estimations à partir des dimensions distales des os canons. Les équations proposées par V. Eisenmann et P. Sondaar (1998) correspondent au produit de la largeur sus-articulaire (notée MC10 pour le métacarpien III, MT10 pour le métatarsien III) et l'épaisseur minimale du condyle interne (notée MC13 ou MT13) (tableau 16). Les mesures ont été prises à l'aide d'un pied à coulisse 150 mm (voir annexe 8 pour les mesures).

Une démarche similaire à celle décrite pour les estimations de la stature a été appliquée, la masse corporelle pour chaque équidé correspondant à la moyenne des valeurs calculées pour chacun des métapodiens. De même, les masses réelles ont été conservées lorsqu'elles étaient renseignées (n = 6 chevaux).

2. Sélection des individus.

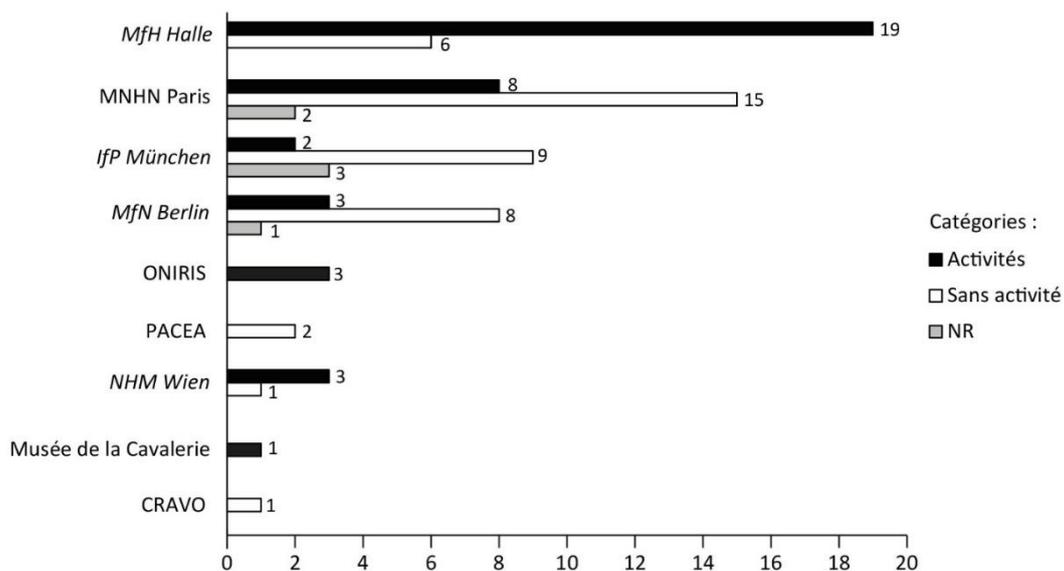


Figure 37 : Origine des spécimens composant le corpus de référence.

« NR » indique les équidés pour lesquels aucune information quant à la pratique ou non d'une activité n'est renseignée.

87 individus ont pu être observés en vue d'établir notre référentiel actuel. Ces derniers sont issus de neuf institutions européennes : le *Museum für Haustierkunde* "Julius Kühn" (*MfH Halle*, Allemagne), l'*Institut für Paläoanatomie* de Munich (*IfP München*, Allemagne), le *Museum für Naturkunde* de Berlin (*MfN Berlin*, Allemagne), le *Naturhistorisches Museum* de Vienne (*NHM Wien*, Autriche), le Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (*MNHN Paris*, France), l'école vétérinaire ONIRIS de Nantes (*ONIRIS*, France), le laboratoire PACEA

(Université de Bordeaux, France), le Centre de Recherche Archéologique de la Vallée de l'Oise de Compiègne (*CRAVO*, France) et le Musée de la Cavalerie de Saumur (France). Leur répartition est présentée dans la figure 37.

Étudier des spécimens documentés permet de contrôler un ensemble de paramètres généralement non précisés pour des équidés mis au jour en contexte archéologique du fait de leur éparpillement et/ou de leur fragmentation. Divers critères ont donc été fixés pour sélectionner les équidés les plus à même d'être inclus dans nos échantillons.

- Les squelettes doivent être complets ou quasi-complets, permettant ainsi d'obtenir le maximum de données et d'appréhender au mieux les paramètres impliqués dans la formation et le développement des changements enthésiques ;
- L'état de conservation doit être optimal. Il est possible que les spécimens issus de collections muséales ou de comparaison exposent des résidus de tissus mous (tendons, ligaments) et/ou de graisse (notamment au niveau de épiphyses) rendant difficile voire impossible l'observation des enthèses. Tout squelette présentant l'un et/ou l'autre de ces éléments ainsi qu'un mauvais état de surface n'a pas été considéré dans nos analyses ;
- Seuls les équidés de 5 ans et plus ont été retenus. Nous l'avons vu dans le chapitre I, les enthèses acquièrent l'ensemble de leurs propriétés à l'issue de la croissance et de la maturation squelettiques ;
- La documentation relative à la pratique ou non d'activité(s) doit être explicitée ;
- Les spécimens présentant des pathologies osseuses importantes au niveau du squelette appendiculaire (fracture, luxation, arthropathies) ont été exclus, celles-ci pouvant induire un désordre biomécanique (boiteries).

Après retrait des équidés ne répondant pas à ces critères, notre référentiel se compose finalement de 61 individus dont la liste est détaillée en annexe 9. Des précisions quant à certains chevaux célèbres ou des spécimens particuliers sont apportées dans l'annexe 10. À titre informatif, la liste des équidés étudiés mais non retenus pour les analyses est placée en annexe 11.

II. PRÉSENTATION DES ÉCHANTILLONS.

1. Équidés « Sans activité ».

Les équidés de ce groupe sont considérés comme exempts d'activité liée à l'Homme c'est-à-dire qu'ils n'ont pas été employés dans le cadre d'activités sportives (*e.g.* CSO, courses, attelage, dressage), de loisirs ou encore comme animaux de rentes (*e.g.* travaux agricoles ou bât).

Ce groupe rassemble 34 spécimens d'espèces différentes (figure 38). Les chevaux de Przewalski (*Equus caballus przewalskii*) sont majoritaires et constituent 67% de notre échantillon ($n = 23$). Les 11 autres spécimens sont répartis dans quatre catégories. Réduites, ces dernières se composent de 5 zèbres (15%), 3 chevaux (*Equus caballus*, 9%), 2 hybrides issus d'un croisement entre chevaux de Przewalski et domestiques (*Equus caballus przewalskii* x *Equus caballus*, 6%) et d'un seul âne (*Equus asinus*, 3%).

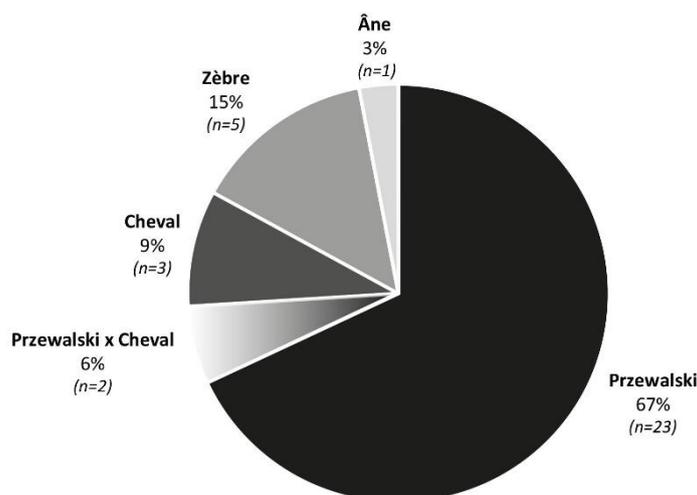


Figure 38 : Équidés « Sans activité » - Espèces représentées dans le groupe « Sans activité ».

Parmi les trente-quatre équidés non employés par l'Homme, l'âge au décès de trois animaux n'a pu être estimé. Les trente et un autres se répartissent de manière quasi-équitable dans nos trois classes d'âges (figure 39). Les équidés âgés entre 5 et 10 ans sont les moins nombreux avec un effectif de 8 spécimens. Onze individus sont âgés entre 11 et 19 ans. Les spécimens de plus de 20 ans (dit équidés hors d'âge) sont les plus nombreux, leur nombre s'élevant à 12. L'échantillon « Sans activité » comporte presque autant de juments que de mâles (respectivement 16 et 17 équidés chacun, figure 40). Seul un équidé était châtré (spécimen E wld 7, annexe 9).

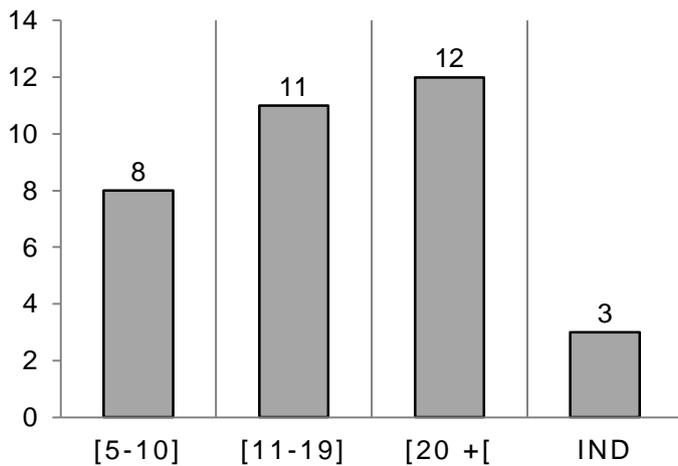


Figure 40 : Équidés « Sans activité » - Répartition des spécimens en fonction des classes d'âge.
Les équidés d'âge indéterminé sont notés « IND ».

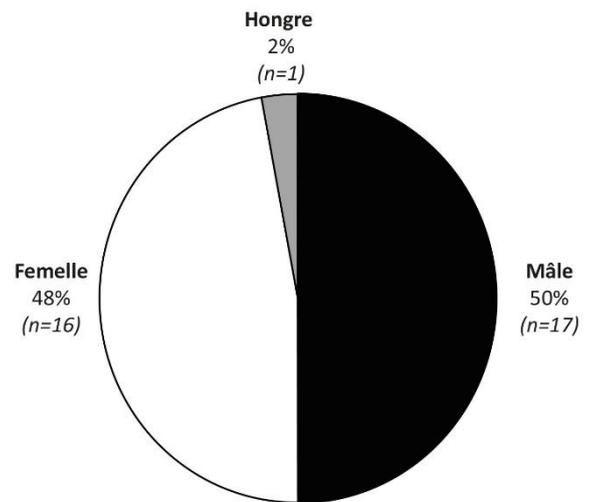


Figure 39 : Équidés « Sans activité » - Répartition des spécimens selon le sexe.

La hauteur au garrot moyenne du groupe « Sans activité » s'élève à 130 cm (tableau 17) avec une majorité des équidés exposant une stature comprise entre 120 et 140 cm (figure 41). La taille minimale enregistrée est de 120 cm, la taille maximale de 137 cm (figure 41 et tableau 17). Les hybrides des chevaux de Przewalskii et des chevaux domestiques (*Equus przewalskii* x *Equus caballus*) sont associés aux tailles moyennes les plus élevées de l'échantillon (131 cm, tableau 17). Les zèbres sont en moyenne les plus petits du groupe, leur hauteur au garrot moyenne s'élevant à 125 cm.

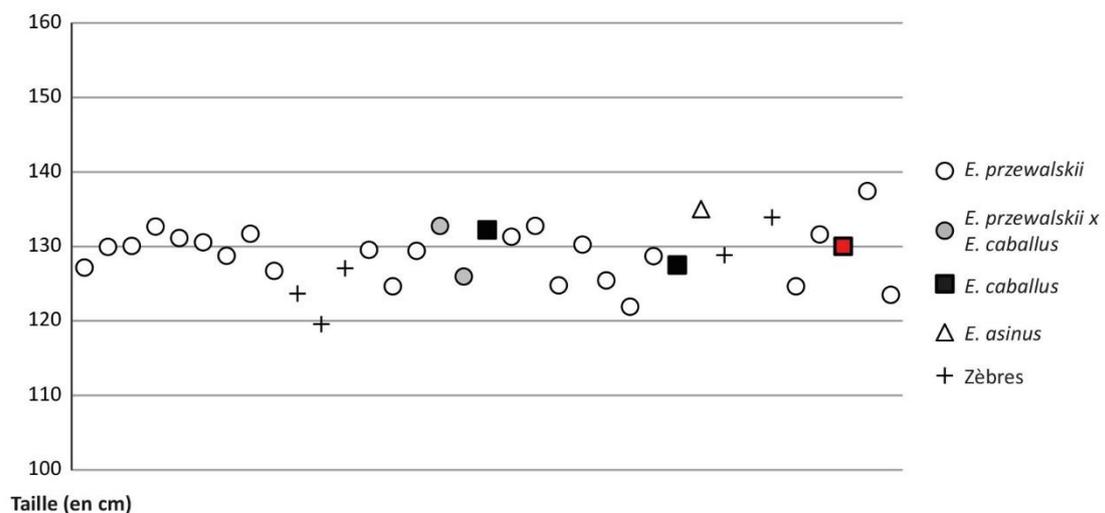


Figure 41 : Équidés « Sans activité » - Distribution des spécimens selon leur hauteur au garrot moyenne estimée (en cm).
Les équidés dont la stature réelle est renseignée sont indiqués en rouge.

	Général	<i>E. przewalskii</i>	<i>E. przewalskii x E. caballus</i>	<i>E. caballus</i>	<i>E. asinus</i>	Zèbres
<i>n</i>	34	23	2	3	1	3
Moyenne	130	129	131	129	128	125
<i>Maximum</i>	137	137	133	132	128	135
<i>Minimum</i>	120	122	129	126	128	120
<i>Écart-type</i>	4	3,5	1,7	2,3		5,4

Tableau 17 : Équidés « Sans activité » - Hauteurs au garrot estimées et valeurs associées pour chaque espèce d'équidés (en cm).

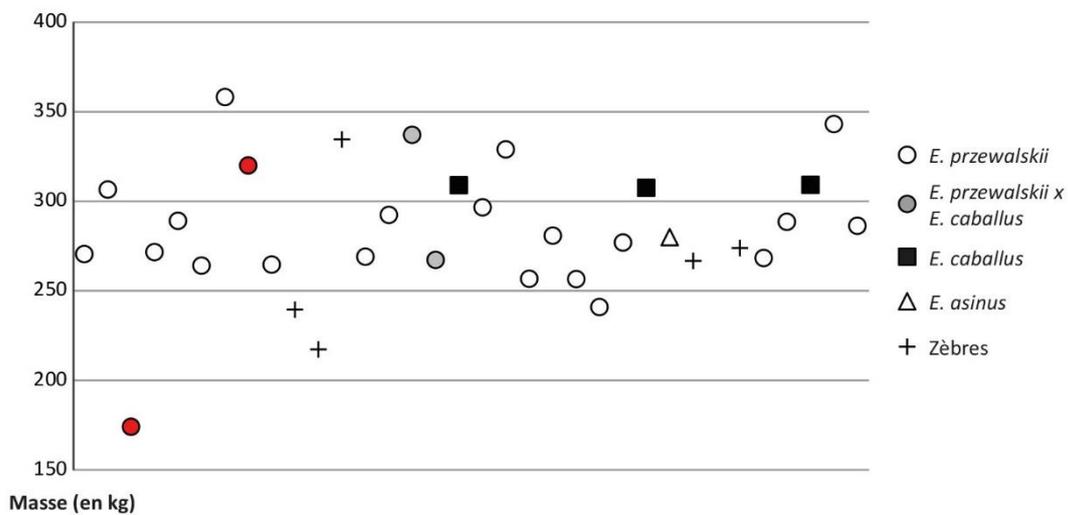


Figure 42 : Équidés « Sans activité » - Distribution des spécimens selon leur masse corporelle moyenne estimée (en kg).

Les équidés dont la masse corporelle réelle est renseignée sont indiqués en rouge.

	Général	<i>E. przewalskii</i>	<i>E. przewalskii x E. caballus</i>	<i>E. caballus</i>	<i>E. asinus</i>	Zèbres
<i>n</i>	34	23	2	3	1	3
Moyenne	288	282	302	309	280	266
<i>Maximum</i>	358	358	337	309	280	334
<i>Minimum</i>	174	174	267	308	280	217
<i>Écart-type</i>	21,9	37,1	34,9	0,7		39,6

Tableau 18 : Équidés « Sans activité » - Masses corporelles estimées et valeurs associées pour chaque espèce d'équidés (en kg).

Les masses corporelles sont comprises entre 174 et 358 kg avec une moyenne totale s'élevant à 288 kg (figure 42 et tableau 18). Le tableau 18 indique que les chevaux (*Equus caballus*) sont les plus lourds de l'échantillon avec une masse corporelle moyenne de 309 kg. Tout comme pour la stature, ce sont les zèbres qui affichent la valeur moyenne la plus faible du

groupe (266 kg, tableau 18). Les équidés dont la masse est comprise entre 200 et 300 kg sont majoritaires et rassemblent 22 spécimens. Dix individus pèsent entre 300 et 400 kg alors qu'un seul animal présente une masse corporelle inférieure à 200 kg (figure 42).

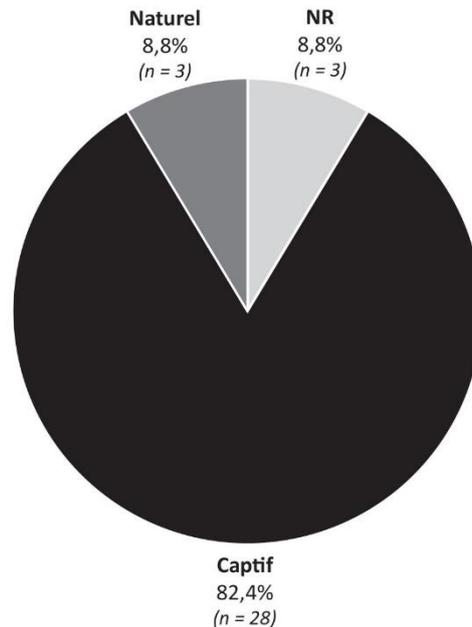


Figure 43 : Équidés « Sans activité » - Distribution selon le type d'environnement de vie.
Les individus dont le type d'environnement de vie est non renseigné sont indiqués par « NR »

Trois équidés ne disposent d'aucune information concernant leur lieu de vie (soit 8,5%, figure 43).

Les équidés ayant vécu en captivité sont très majoritaires avec 82,4% des effectifs (n = 28 spécimens, figure 43) et sont généralement issus de parcs zoologiques ou de ménageries (cf. annexe 9 pour de plus amples détails). La vie en captivité peut ici être définie par :

- Des enclos dont la superficie est réduite et limitant les déplacements des équidés qui s'y trouvent ;
- Un sol artificiel pouvant présenter peu de reliefs ;
- Des contacts fréquents entre l'Homme et les équidés. Bien que ces derniers n'aient pas été employés dans le cadre d'activités humaines, ils ont probablement bénéficié d'un suivi régulier de la part des personnels des institutions les accueillant (*e.g.* apports de nourriture et d'eau, soins vétérinaires).

Les équidés issus d'un milieu naturel sont très minoritaires car représentant uniquement 8,8% des animaux étudiés (n = 3 ; figure 43). Ces derniers proviennent du marais de Pagny-sur-Meuse (Meuse, France, n = 1) ou du domaine du Villaret sur le Causse Méjean (Lozère, n = 2)

(cf. annexe 10). Contrairement à leurs pairs ayant vécu en captivité, ces espaces sont caractérisés par :

- Un espace étendu, les groupes d'équidés ont donc la possibilité de se déplacer sur de grandes distances (*e.g.* environ 4 ha pour les chevaux lozériens) ;
- Un terrain plus ou moins variable ;
- Des contacts réduits entre l'Homme et les populations équines.

2. Équidés « Activités ».

La catégorie « Activités » regroupe 27 équidés employés dans le cadre d'activités humaines. Les activités dans lesquelles sont impliqués les équidés peuvent être diverses et appartenir aussi bien à la sphère des loisirs (*e.g.* courses, concours complet, attelage de compétition, dressage) qu'économique (travaux agricoles, bât, débardage). Nous avons vu dans le chapitre I que la localisation et la sévérité des atteintes tendineuses, ligamentaires ou enthésiques pouvaient être fonction du type de discipline dans laquelle sont impliqués les équidés (Murray et al., 2006; Williams et al., 2001). Rappelons que la répartition de la masse corporelle chez ces équidés, dont les 2/3 sont supportés par les membres antérieurs, résulte en une position particulière de leur centre de gravité (figure 44a) : sa localisation influe sur la distribution et l'intensité des contraintes appliquées sur les membres de l'animal (figure 44, tirée de Ross & Dyson, 2011, p. 4-6).

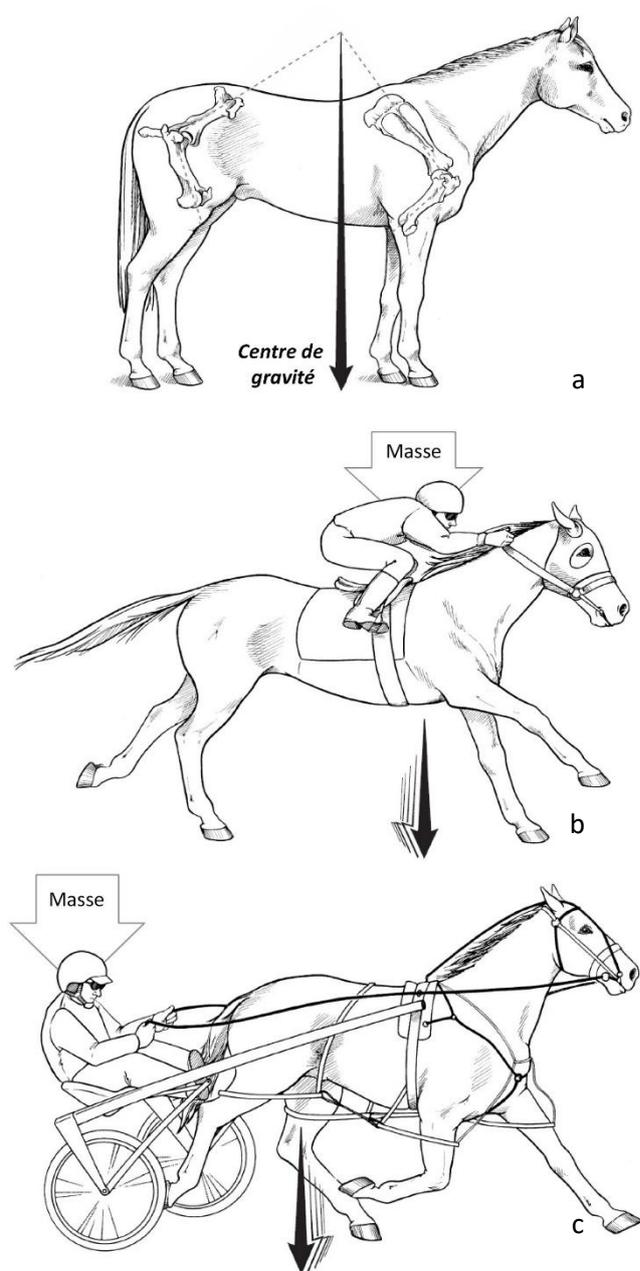


Figure 44 : Position du centre de gravité (flèche noire) selon la masse appliquée sur le cheval (flèche grise) – a : cheval au repos ;

b : cheval de course et son cavalier (groupe « Monte »);

c : cheval attelé à un sulky (groupe « Traction »)

(figures tirées de Ross & Dyson, 2011).

Chez le cheval au repos et non monté/attelé, le centre de gravité est situé à proximité des membres thoraciques (figure 44a).

Dans le cas d'un animal monté, l'ajout de la masse du cavalier combinée aux mouvements effectués durant les exercices pratiqués augmentent les contraintes portées sur les membres antérieurs et conduisent à un déplacement du centre de gravité dans cette zone (figure 44b).

Au contraire, chez le cheval attelé, ce point est déporté vers la partie pelvienne du corps. La masse supplémentaire est en effet située à l'arrière du cheval impliquant ainsi une sollicitation plus importante des membres postérieurs (figure 44c).

À l'exception des trois chevaux de course présents dans ce référentiel (cf. annexes 9 et 10), le manque d'informations relatives aux activités précises pratiquées par les équidés de notre référentiel nous empêche de vérifier l'influence d'une discipline particulière sur la présence de changements enthésiques telle que rapportée par les praticiens vétérinaires. Sur la

base des informations biomécaniques fournies précédemment (figure 44), le choix est fait de constituer des catégories générales, « Monte » et « Traction », regroupant les animaux ayant été exposés à des contraintes biomécaniques supposées similaires. Parmi les 27 équidés du groupe « Activités », nous ne disposons d'aucune précision quant à l'utilisation comme monture ou animal de trait pour 9 spécimens (soit 33%, figure 45). Les catégories « Monte » et « Traction » arborent des effectifs proches (respectivement 8 et 10 équidés).

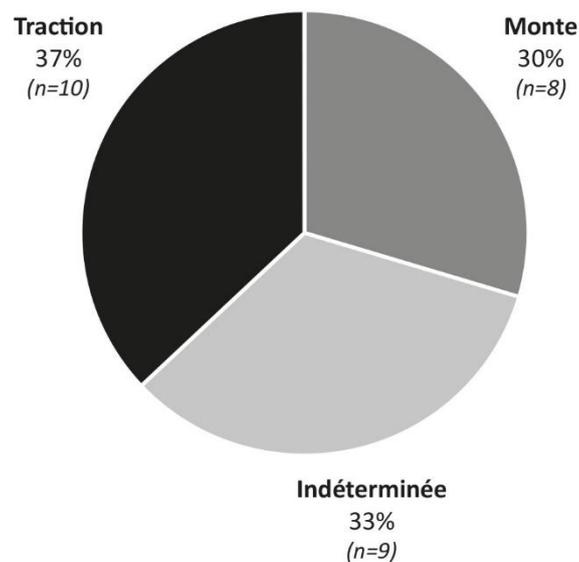


Figure 45 : Équidés « Activités » - Répartition des spécimens selon le type d'activité pratiquée.

Le groupe « Activités » comporte essentiellement des équidés dont l'âge au décès est supérieur à 10 ans (figure 46). En effet, les classes [11-19] et [20 + [se partagent la presque totalité de notre échantillon en regroupant respectivement 11 et 10 équidés. Les jeunes adultes, âgés de 5 à 10 ans, sont très minoritaires car représentés seulement par 3 spécimens. Tout comme pour le groupe « Sans activité », l'âge au décès n'a pas pu être estimé pour trois individus.

La répartition en fonction du sexe est relativement équilibrée (figure 47), le nombre de juments étant légèrement supérieur (n = 14 individus, soit 52%) à celui des équidés mâles (n = 12 soit 44% des effectifs). Cet échantillon comporte de plus un animal castré (noté hongre, figure 47 ; spécimen « Eml mlt 3 », annexe 9).

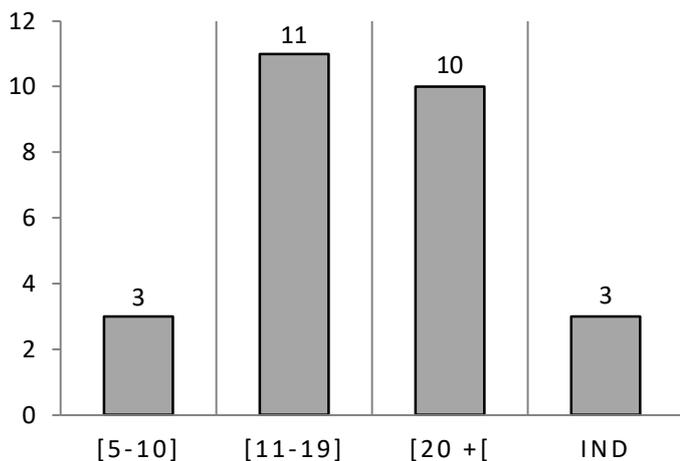


Figure 47 : Équidés « Activités » - Répartition des spécimens en fonction des classes d'âge.
Les équidés d'âge indéterminé sont notés « IND ».

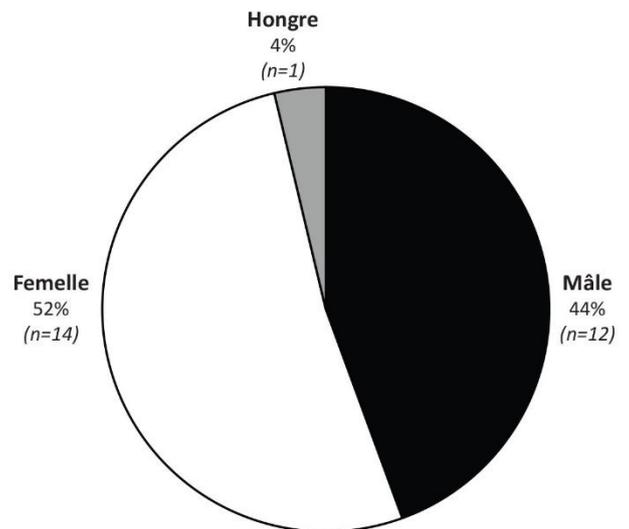


Figure 46 : Équidés « Activités » - Répartition des spécimens selon le sexe.

Le référentiel « Activités » se compose de chevaux et d'ânes de races différentes (annexe 9). Concernant le cheval domestique⁷ (*Equus caballus*), il existe actuellement une grande diversité de races réparties dans trois grandes catégories selon des critères morphologiques (*e.g.* taille, masse corporelle, gracilité, forme de la tête) ou encore l'utilisation possible des chevaux concernés dans une discipline donnée : chevaux de selle, chevaux de trait et poneys.

Dans ce référentiel, les chevaux de selle représentent la catégorie la plus importante du groupe « Activités » en rassemblant 37% des effectifs (n = 10 ; figure 48). Les groupes « Trait », « Poney » et « Ânes et hybrides » sont associés à des effectifs quasi-similaires, ces derniers comportant respectivement 5 (Traction, Poney) et 6 spécimens (Ânes et hybrides). Enfin, un individu est de type non renseigné (noté NR, 4%).

⁷ En France, on dénombre actuellement 46 races de chevaux reconnues et gérées (25 de selle, 10 de trait, 11 de poneys). Le nombre de races asiniennes est bien moindre avec seulement 8 races reconnues et gérées (source : equipedia.ifce.fr/elevage-et-entretien/race-et-robe/races-dequides-et-stud-book/les-races-reconnues-et-gerees-en-france).

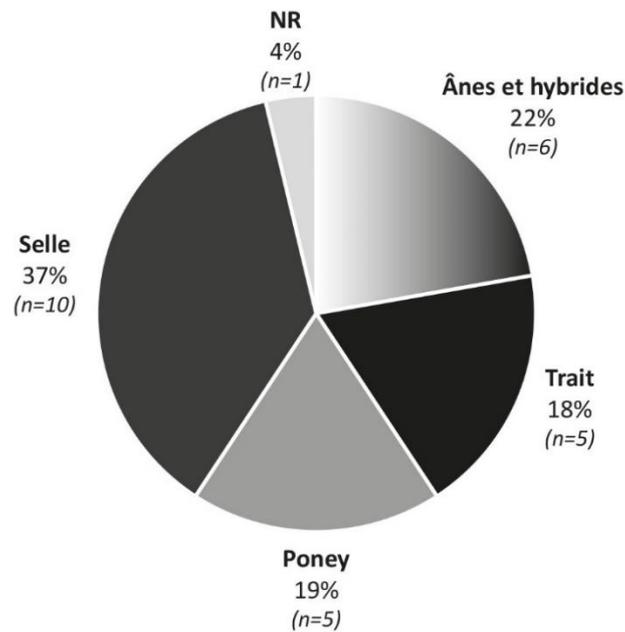


Figure 48 : Équidés « Activités » - Catégories d'équidés représentées dans le groupe « Activités ».

La taille des équidés du groupe « Activités » s'élève en moyenne à 147 cm avec des valeurs comprises entre 110 et 169 cm (figure 49 et tableau 19). Les équidés mesurant plus de 145 cm sont surreprésentés et regroupent 16 des 27 individus de l'échantillon, en grande majorité des chevaux (*Equus caballus*) (figure 49). Les chevaux de trait et de selle affichent en effet une hauteur au garrot moyenne supérieure à celle de l'échantillon (respectivement 161 cm et 158 cm, tableau 19). Poneys, ânes et hybrides sont généralement associés à une stature inférieure à 145 cm. Ânes (*Equus asinus*) et bardot (*Equus caballus x Equus asinus*) sont les plus petits du groupe avec une hauteur au garrot moyenne de 126 cm (tableau 19).

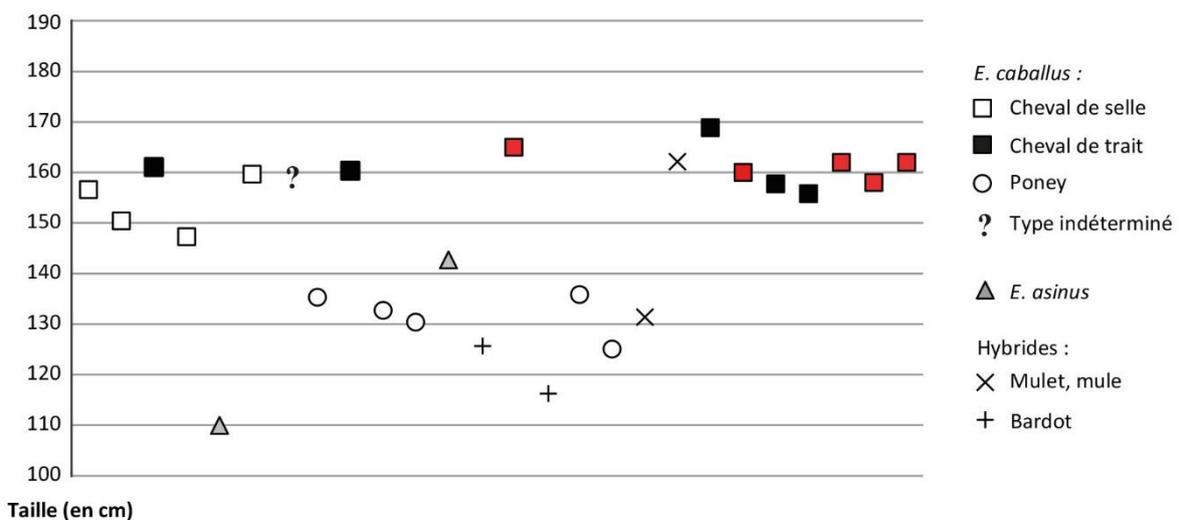


Figure 49 : Équidés « Activités » - Distribution des spécimens selon leur hauteur au garrot moyenne estimée. (en cm).

Les équidés dont la stature réelle est renseignée sont indiqués en rouge.

	Général	<i>E. caballus</i>				<i>E. asinus</i>	Hybrides	
		Selle	Trait	Poney	NR		Mulet, mule	Bardot
<i>n</i>	26	9	5	5	1	2	2	1
Moyenne	147	158	161	132	158	126	147	126
<i>Maximum</i>	169	165	169	136	158	143	162	126
<i>Minimum</i>	110	147	156	125	158	110	131	126
<i>Écart-type</i>	16	5,4	4,5	3,9		16,4	15,6	

Tableau 19 : Équidés « Activités » - Hauteurs au garrot estimées et valeurs associées pour chaque espèce et type d'équidés (en cm).

Les équidés employés dans le cadre d'activités humaines pèsent en moyenne entre 136 et 937 kg. La masse corporelle moyenne calculée pour ce groupe s'élève à 401 kg (figure 50 et tableau 20). Les chevaux de trait se distinguent nettement de ce groupe avec la masse moyenne la plus importante de l'échantillon (852 kg, tableau 20) avec deux spécimens pesant chacun 768 kg et 937 kg (figure 50). En revanche, les équidés de moins de 400 kg sont majoritaires et regroupent 11 individus majoritairement représentés par des poneys, des ânes (*Equus asinus*) et des hybrides (figure 50). Comme pour la hauteur au garrot, ce sont les bardots qui affichent la valeur la plus faible de l'échantillon avec une masse corporelle moyenne de 185 kg (tableau 20).

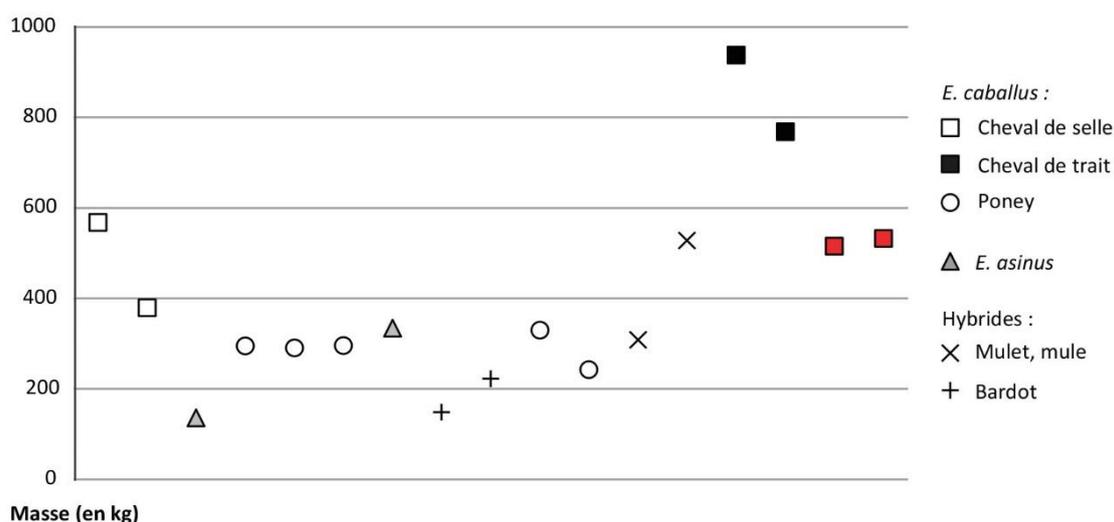


Figure 50 : Équidés « Activités » - Distribution des spécimens selon leur masse corporelle moyenne estimée (en kg).

Les équidés dont la masse corporelle réelle est renseignée sont indiqués en rouge.

	Général	<i>E. caballus</i>			<i>E. asinus</i>	Hybrides	
		Selle	Trait	Poney		Mulet, mule	Bardot
<i>n</i>	17	4	2	5	2	2	2
Moyenne	401	499	852	290	235	418	185
<i>Maximum</i>	937	568	937	329	334	527	222
<i>Minimum</i>	136	379	768	242	136	308	148
<i>Écart-type</i>	209	71,4	84,7	27,8	99,1	109,6	37

Tableau 20 : Équidés « Activités » - Masses corporelles estimées et valeurs associées pour chaque espèce et type d'équidés (en kg).

III. OUTILS STATISTIQUES ET ANALYSES DES DONNÉES.

La méthode mise en place permet d'évaluer l'aspect de 23 enthèses équinés à partir d'un système propre à chacune d'elle (cf. chapitre III). On leur attribue un score A, B ou C en fonction de la présence ou non d'altérations, de leur sévérité et de leur étendue au niveau de l'enthèse. Il s'agit donc de variables qualitatives ordinales dépendantes. Le système est composé de plusieurs stades (ou modalités) ordonnés sur une échelle mais dont la distance les séparant nous est inconnue.

Les recherches menées sur les changements enthésiques sont basées, dans la grande majorité des cas, sur des variables qualitatives ordinales. De fait, deux approches sont particulièrement utilisées pour le traitement statistique : les tests non-paramétriques et, plus récemment, les équations d'estimation généralisées (ou GEEs). Nous aborderons de même le sujet des *Mean Measures of Divergence* (MMD), ces dernières étant fréquemment employées pour les analyses de caractères non métriques.

1. Statistiques et études des changements enthésiques.

a. Les tests non-paramétriques.

Les tests non-paramétriques sont couramment employés dans le cadre des études s'intéressant aux changements enthésiques (e.g. Milella, 2014; Niinimäki & Salmi, 2016; Palmer et al., 2016; Robb, 1998; Taylor et al., 2015). Nombre de méthodes d'enregistrement faisant appel à des systèmes binaires ou ordinaux, ces tests offrent la possibilité d'étudier des variables qualitatives. Ils permettent, de plus, de comparer des échantillons de tailles réduites et variables dont l'hypothèse de normalité peut ne pas être vérifiée. Ces tests sont donc

particulièrement intéressants lorsqu'il s'agit d'étudier des assemblages osseux. Parmi les divers tests disponibles, certains sont couramment utilisés dans nos disciplines :

- Le test de Spearman, borné en 1 et -1, éprouve la significativité de la corrélation entre deux variables (qualitative vs quantitative/qualitative) via le calcul d'un coefficient de corrélation (rho de Spearman). Si le rho est négatif, la corrélation est négative. En revanche, cette dernière est positive si le rho est positif.
- Le test U de Mann-Whitney, ou test de Wilcoxon-Mann-Whitney, compare la distribution de deux échantillons indépendants par rapport à une variable ordinale (Mann & Whitney, 1947).
- Le test de Kruskal-Wallis, sur le même principe que le test de Mann-Whitney, permet de comparer la répartition de trois échantillons indépendants ou plus.

Ces analyses ne considèrent cependant qu'une seule variable à la fois et ne permettent pas d'éprouver les interactions entre plusieurs facteurs. Ceci constitue la limite principale dans le cadre de l'étude de phénomènes multifactoriels tel que les changements enthésiques.

b. Les équations d'estimation généralisées (*Generalized Estimating Equations, GEEs*) et les modèles linéaires généralisés (*Generalized linear models, GLMs*).

L'utilisation de modèles statistiques est assez récente dans les études relatives aux changements enthésiques (Villotte, 2008). Les chercheurs montrent depuis un vif intérêt pour ces approches (Niinimäki, 2012; Villotte et al., 2010) et multiplient les recherches visant à les améliorer (Henderson & Nikita, 2016 ; Nikita, 2014). GEEs et GLMs offrent en effet la possibilité d'explorer l'effet simultané de plusieurs paramètres ainsi que leurs interactions (Agresti, 2002). Le protocole d'analyse a pour particularité de se dérouler en plusieurs étapes, la première considérant l'ensemble des paramètres étudiés (par exemple : âge, sexe, conditions de travail...). L'utilisateur réitère chaque étape en retenant au fur et à mesure les facteurs et les interactions révélant des résultats statistiquement significatifs.

Un certain nombre d'avantages est accordé aux GEEs et GLMs (Agresti, 2002). Outre le fait qu'elles permettent de considérer plusieurs paramètres à la fois, les variables testées peuvent aussi bien être continues que catégorielles. De plus, chose non négligeable dans le cadre d'études de matériel osseux, ces approches donnent la possibilité de travailler avec des données manquantes. Cependant, S. Villotte souligne en 2008 l'absence de test d'ajustement empêchant ainsi la vérification de la validité du ou des modèle(s) établi(s). De plus, une

application fiable n'est possible qu'à partir de grands échantillons (Villotte, 2008) au risque de générer des résultats erronés (Henderson & Nikita, 2016).

c. Mesure Moyenne des Divergences (*Mean Measure of Divergence*, MMD).

Les MMD correspondent à une mesure de la dissemblance entre deux ou plusieurs échantillons (Irish, 2010) via le calcul de la distance biologique les séparant à partir de variables binaires. Pour ce faire, elles convertissent un ensemble de fréquences de caractères en une valeur numérique : plus la valeur obtenue est importante, plus la distance entre les deux échantillons comparés est grande et donc leur différence importante (Harris & Sjøvold, 2004).

Les MMD ont l'avantage de pouvoir être appliquées sur des échantillons comprenant de nombreuses valeurs manquantes (Santos, 2018). Elles sont donc couramment employées en anthropologie biologique, par exemple dans l'étude de caractères non métriques (crâniens : Nikita et al., 2012 ; dentaires : Irish, 2006 ; infra-crâniens : Donlon, 2000).

Afin d'optimiser l'analyse, une pré-sélection des caractères étudiés est tout de même nécessaire notamment sur de petits échantillons. En effet, certains auteurs préconisent l'exclusion des caractères trop peu représentés (Santos, 2018), ne révélant aucune différence significative entre les groupes (Harris & Sjøvold, 2004) ou encore renvoyant une valeur négative au risque de fausser les résultats et leur(s) interprétation(s).

2. Choix statistiques et déroulé des analyses.

Les échantillons que nous souhaitons examiner comprennent au maximum 34 individus. Au regard de la taille « réduite » de nos effectifs, les tests non-paramétriques nous semblent être la meilleure alternative pour explorer nos données. Ce choix est d'autant plus justifié que, selon les paramètres testés, ceux-ci peuvent être plus ou moins inégaux. Notre exploration sera approfondie avec l'emploi des Mesures Moyennes des Divergences.

Les résultats seront présentés sous forme de tableaux ou de graphiques.

a. Paramètres non-liés à l'activité.

Nos recherches visent tout d'abord à identifier les paramètres non liés à l'activité potentiellement impliqués dans l'apparition de modifications enthésiques chez les équidés. Afin d'isoler au mieux ces facteurs, les impacts de l'âge au décès, du dimorphisme sexuel et du lieu

de vie seront évalués à partir des équidés exempts d'activité (groupe « Sans activité »). Ce choix nous permettra d'exclure l'influence potentielle de la pratique de l'activité dans ces analyses.

i. Influence de l'âge au décès.

Nos investigations se portant uniquement sur les équidés adultes, seules les trois classes d'âge 5-10 ans (n = 8 équidés), 11-19 ans (n = 11) et des plus de 20 ans (n = 12) seront comparées. Pour ce faire, le test de Kruskal-Wallis sera appliqué.

ii. Influence du dimorphisme sexuel.

De par l'utilisation du test U de Mann-Whitney, dix-sept équidés mâles seront comparés à seize juments pour tester l'impact du dimorphisme sexuel sur l'apparition de changements enthésiques. L'influence de la castration ne pourra être testée car nous n'avons à notre disposition qu'un seul hongre.

iii. Influence du lieu de vie.

L'influence du lieu de vie sera évaluée à partir des 28 équidés ayant vécu en captivité (zoos ou enclos réduits) et des 3 en espaces naturels composant le groupe « Sans activité ». Le test U de Mann-Whitney sera de même appliqué.

iv. Influence des proportions corporelles.

Contrairement aux trois paramètres précédents, l'analyse se portera sur les équidés du groupe « Activités ». Ces derniers présentent en effet une amplitude de variation de stature et de masse plus importante (figures 49 et 50) que celle des spécimens de la catégorie « Sans activité » (figures 41 et 42). Afin d'étudier l'impact combiné de la hauteur au garrot et de la masse corporelle sur la présence de changements enthésiques, le choix a été fait de calculer un ratio Masse/Taille pour chaque équidé. Cette approche permet en effet de « normaliser » l'analyse, l'échantillon étant composé d'équidés d'espèces/races différentes et donc de dimensions diverses et variables (Gruyaert et al., 2020).

Un ratio a pu être calculé pour seulement 17 équidés (tableau 21). Les valeurs les plus importantes correspondent généralement aux animaux présentant une masse corporelle et/ou une hauteur au garrot élevées (e.g. cheval n°1891-107, ratio $\approx 5,55$). Les ratios Masse/Taille les

plus faibles sont associés aux équidés dont les proportions corporelles sont les moins élevées de l'échantillon (e.g. E chr 1, ratio $\approx 1,23$; Ehn mle 1, ratio $\approx 1,18$).

Pour chaque enthèse, les valeurs des rapports Masse/Taille moyens correspondant à chaque stade de cotation seront calculées avant application du test de Kruskal-Wallis.

Collection	N°.	Taille	Masse	Ratio Masse/Taille
<i>MfN</i>	1200	157	568	3,62
	A3314	150	379	2,52
<i>MfH</i>	E chr 1	110	136	1,23
	E mgl 2	135	295	2,18
	E mgl 1	133	290	2,19
	E mgl 3	130	295	2,26
	Ea pt 1	143	334	2,34
	Ehn mle 1	126	148	1,18
	Ehn mle 2	117	222	1,90
	E pon 1	136	329	2,42
	E pon 2	125	242	1,94
	Eml mlt 1	131	308	2,34
	Eml mlt 3	162	527	3,25
MNHN	1891-107	169	937	5,55
NHM	1767	156	768	4,93
ONIRIS	1A	162*	515*	3,18
	2	158*	532*	3,37

Tableau 21 : Valeurs de la hauteur au garrot, de la masse corporelle et du ratio Masse/Taille pour chaque spécimen du groupe « Activités ».

Plus les valeurs sont importantes, plus la case associée est grisée. Les valeurs réelles de taille et de masse corporelles sont désignées par (*).

b. Influence de l'activité.

La deuxième partie de nos analyses se portera sur la distinction des équidés ayant pratiqué une activité (groupes « Monte » et « Traction ») de ceux qui en sont exempts (« Sans activité »). Pour ce faire, différentes approches seront employées.

Dans un premier temps, la comparaison sera menée à partir d'une analyse descriptive des résultats pour chacun des groupes « Sans activité », « Monte » et « Traction ». Les fréquences des stades A, B et C par enthèse seront établies et appuyées par un calcul du mode et de la médiane.

Nous vérifierons ensuite si une asymétrie dans le développement d'altérations des zones d'insertion permet de distinguer ces trois catégories. Les groupes « Sans activité », « Traction »

et « Monte » sont constitués respectivement de 34, 10 et 8 équidés chacun, rendant difficiles leur comparaison. Afin de pallier cette limite, on se propose d'utiliser le calcul d'*odds-ratios* (Villotte & Knüsel, 2014). Pour chaque groupe d'individus, le pourcentage d'altérations (stades B+C) enregistrées par enthèse sera établi et utilisé pour calculer un ratio entre les positions :

- Gauche/droite (ensemble des enthèses) ;
- Antérieure/postérieure (enthèses phalangiennes uniquement) ;
- Latérale/médiale (idem).

Les trois catégories seront ensuite comparées de par la distribution des stades de cotation pour chaque enthèse avec l'aide du test de Kruskal-Wallis. Une démarche équivalente est employée pour détecter une différence éventuelle entre chevaux utilisés comme montures (groupe « Monte ») et équidés soumis à des activités traction (groupe « Traction »). Le test U de Mann-Whitney sera en revanche utilisé.

Les calculs de MMD viendront compléter ces résultats. Elles permettront d'estimer les éventuelles dissemblances entre les catégories « Sans activité », « Monte » et « Traction ».

Le logiciel Microsoft Excel 2016 a permis de calculer les modes, médianes ainsi que les fréquences d'altérations observées pour chaque enthèse. Les tests non-paramétriques (Mann-Whitney, Kruskal-Wallis) ont été réalisés à l'aide du logiciel Statistica 7.1. Les MMD ont été mesurées avec le package R « AnthroMMD » proposé en 2018 par F. Santos.

Nous considérons qu'un résultat est significatif lorsque $p < 0,05$.

CHAPITRE V

ANALYSE DES RÉSULTATS

I. CHANGEMENTS ENTHÉSIQUES : ASPECTS GÉNÉRAUX.

Un total de 2994 enthèses fibrocartilagineuses et 1048 fibreuses ont été enregistrées sur les 61 équidés composant nos référentiels.

1. Enthèses fibrocartilagineuses.

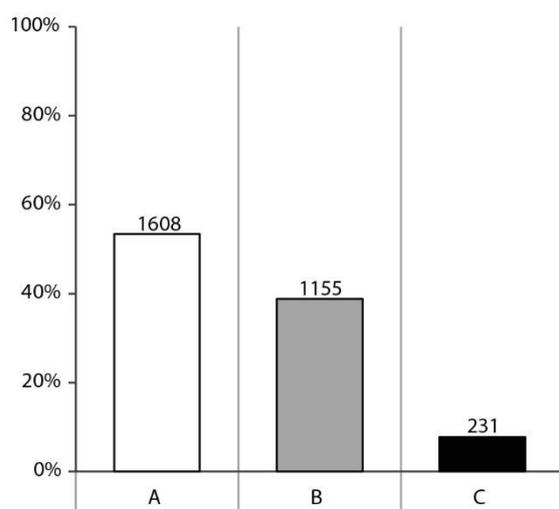


Figure 51 : Enthèses fibrocartilagineuses - Fréquence générale des stades A, B et C chez les 61 équidés étudiés.

Les fréquences d'attribution des stades A, B et C pour les enthèses fibrocartilagineuses sont présentées dans la figure 51. Le stade A est majoritaire et rassemble 1608 zones d'insertions sur les 2994 enregistrées (soit 52,9%). Le nombre d'enthèses modifiées est moindre. En effet, les altérations moyennes (stade B) regroupent 39,2% des enregistrements tandis que les changements enthésiques importants, assimilés au stade C, sont nettement sous-représentés avec seulement 231 insertions atteintes (7,8%).

D'après la figure 52, la distribution des stades de cotation diffère d'une enthèse à une autre.

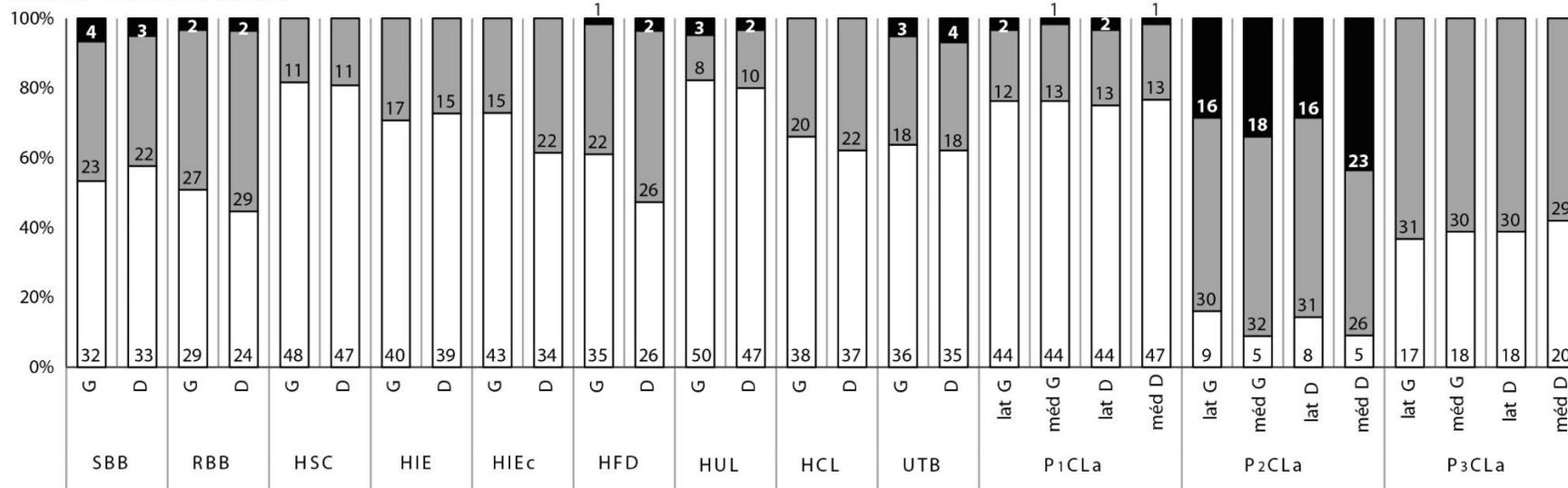
Un grand nombre d'insertions localisées sur la scapula (origine du *M. biceps brachii*, SBB) et les os longs du membre antérieur présentent une fréquence importante de stade A indiquant qu'elles sont, pour nombre d'entre elles, exemptes de modifications. Cette tendance est particulièrement marquée pour 4 enthèses humérales (*M. infraspinatus*, HIE et HIEc ; *Mm. flexor digitorum*, HFD ; *M. ulnaris lateralis*, HUL) ainsi que l'insertion du *M. triceps brachii* sur l'ulna (UTB, entre 61,2 et 65,5% de stade A).

Les enthèses situées sur les os coxaux (*M. gluteus profundus*, CFEP) et les os longs du membre postérieur présentent, en revanche, un taux de changements enthésiques plus important. En effet, l'origine et la terminaison du *M. gluteus profundus*, notées respectivement CFEP et FFEP, ainsi que l'insertion du *M. gluteus accessorius* sur le fémur (FFA) affichent une fréquence de stades B et C nettement supérieure à celle du stade A (e.g. FFEP gauche : 43,1% de stade B et 31,4% de stade C contre 25,5% de stade A). L'enthèse du *M. gastrocnemius* sur le fémur, ou FGC, a vu l'enregistrement d'une proportion similaire d'enthèses saines (stade A : 49,1% à gauche, 50,8% à droite) et modifiées (stades B + C : 50,9% à gauche, 49,2% à droite). Avec un taux de changements enthésiques très faible, le ligament patellaire latéral sur le tibia (TPL G et TPL D) se démarque des autres insertions des os longs du membre pelvien : 13,6% et 12,7% seulement de modifications moyennes ont été observées respectivement à gauche et à droite.

Peu d'altérations ont été identifiées au niveau des insertions des ligaments collatéraux sur les phalanges proximales antérieures et postérieures (P₁CLa, P₁CLp), les fréquences des stades B et C varient de 18,9% (P₁CLp méd G) à 25,4% (P₁CLa lat D). En revanche, le taux d'altérations est bien plus important pour le ligament collatéral de l'articulation interphalangienne distale aussi bien au niveau de son origine (P₂CLa et P₂CLp) que de sa terminaison (P₃CLa et P₃CLp). L'origine se distingue particulièrement des autres enthèses en raison de la nette sous-représentation des insertions non altérées à l'image de l'insertion du ligament collatéral médial sur la phalange intermédiaire gauche antérieure (P₂CLa méd G) pour laquelle seules 9,1% d'enthèses saines ont été relevées contre 58,2% d'altérations moyennes (stade B) et 32,7% de modifications importantes (stade C).

Pour certaines enthèses, le stade C est non représenté bien qu'il ait été défini lors de l'établissement de la méthode de cotation (cf. chapitre III). Sont concernées les insertions des *M. infraspinatus* sur la crête du tubercule majeur (HIE) et *Mm. flexor digitorum* (HFD) sur l'humérus, du ligament patellaire latéral sur le tibia (TPL) ainsi que des ligaments collatéraux sur les phalanges distales antérieures et postérieures (P₃CLa, P₃CLp).

Ceinture + membre antérieurs



Ceinture + membre postérieurs

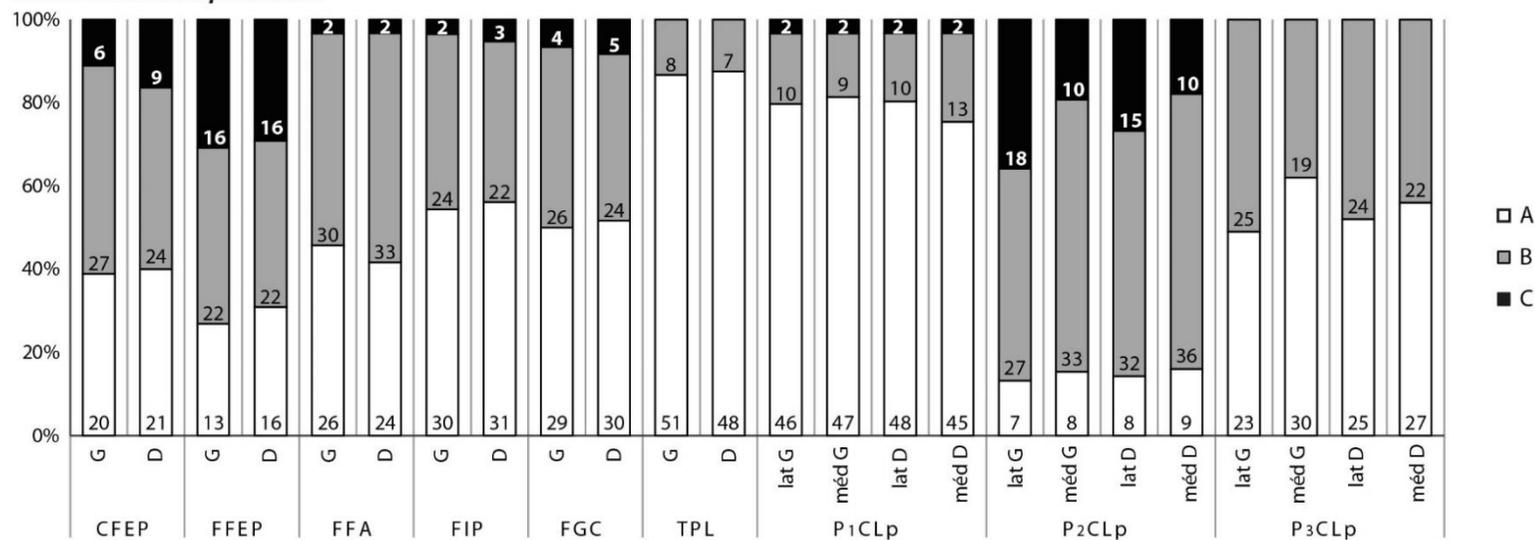


Figure 52 : Entèses fibrocartilagineuses - Fréquences des stades A, B et C pour chaque entèse.

2. Enthèses fibreuses.

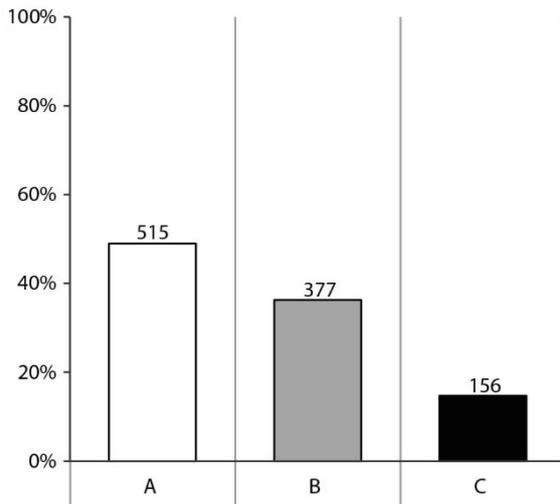


Figure 53 : Enthèses fibreuses - Fréquence générale des stades A, B et C chez les 61 équidés étudiés.

La répartition des stades A, B et C parmi les 1048 enthèses enregistrées diffère légèrement de celle observée pour les enthèses fibrocartilagineuses (figure 53). Les enthèses exemptes de modifications regroupent grand nombre des enregistrements (stade A, 49,2%). Celles-ci sont suivies par les insertions moyennement altérées et cotées B (36%, n = 377). Bien que minoritaire, la fréquence du score C est deux fois plus importante que celle observée pour les enthèses fibrocartilagineuses en rassemblant 14,8% des insertions fibreuses enregistrées (n = 156).

Membres antérieur et postérieur

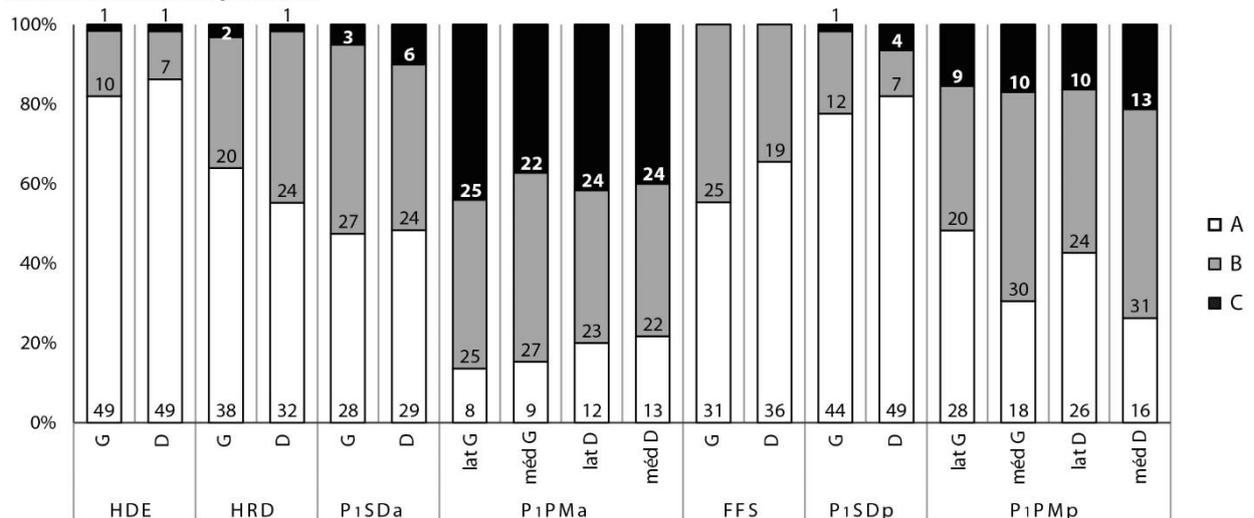


Figure 54 : Enthèses fibreuses - Fréquences des stades A, B et C pour chaque enthèse.

Les enthèses humérales (*M. deltoideus*, HDE ; *Mm. teres major/latissimus dorsi*, HRD) et fémorales (*M. flexor digitorum superficialis*, FFS) montrent d'un taux de changements enthésiques inférieur à celui des enthèses exemptes de modifications. La fréquence des stades B et C est comprise entre 14,1% (HDE droit) et 43,9% (HRD droit) alors que la proportion de stade A peut atteindre 86% d'enregistrements (HDE droit) (figure 54).

Une proportion quasi-similaire de stades A et d'enthèses altérées a été mise en évidence pour l'insertion du ligament sésamoïdien oblique distal sur les phalanges proximales antérieures avec 48,3% de stades A contre 51,8% de stades B et C à gauche (P₁SDa G), 49,2% de scores A contre 50,9% de B et C à droite (P₁SDa D). On observe une tendance différente pour le ligament sésamoïdien oblique distal postérieur (P₁SDp). En effet, 77,2% des enthèses gauches et 81,7% des insertions droites ont été cotées A en raison de l'absence de modifications enthésiques.

Pour finir, les insertions des ligaments palmaires sur les phalanges proximales antérieures (P₁PMa) et plantaires sur les phalanges proximales postérieures (P₁PMp) rassemblent un grand nombre d'enthèses modifiées, leurs fréquences étant généralement supérieures à celles ne présentant aucune altération. Cette tendance est particulièrement marquée pour les enthèses antérieures au niveau desquelles on relève seulement 13,8 à 22% de stade A. Les changements enthésiques importants sont particulièrement représentés, le stade C ayant été accordé dans 37,9% (P₁PMa méd G) à 43,1% (P₁PMa lat G) des cas.

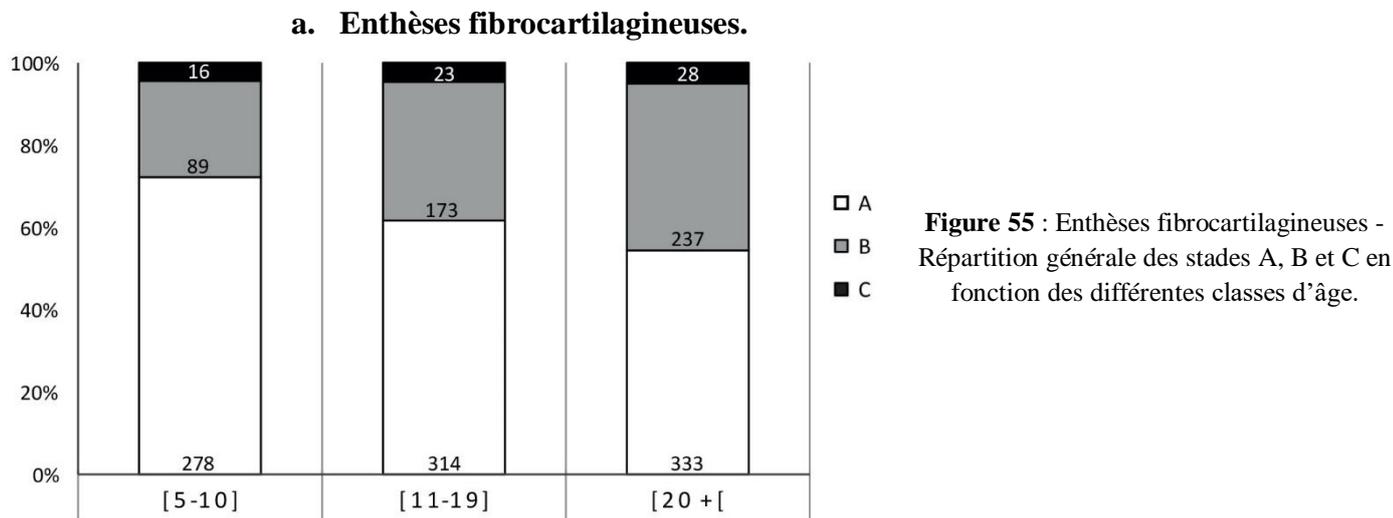
Que l'on considère les enthèses fibrocartilagineuses ou fibreuses, les proportions des stades A, B ou C varient d'une enthèse à une autre. La suite de ce chapitre vise à déterminer quels sont les paramètres impliqués dans l'apparition et le développement de modifications enthésiques chez les équidés. Les divers facteurs testés sont :

- L'âge au décès ;
- Le sexe ;
- Le type d'environnement de vie des équidés ;
- Les proportions corporelles (Masse/Taille) ;
- La pratique ou non d'activités (monte ou traction).

II. INFLUENCE DES PARAMÈTRES NON LIÉS À L'ACTIVITÉ.

1. Influence de l'âge au décès.

Les résultats du test de Kruskal-Wallis sont présentés dans l'annexe 12.

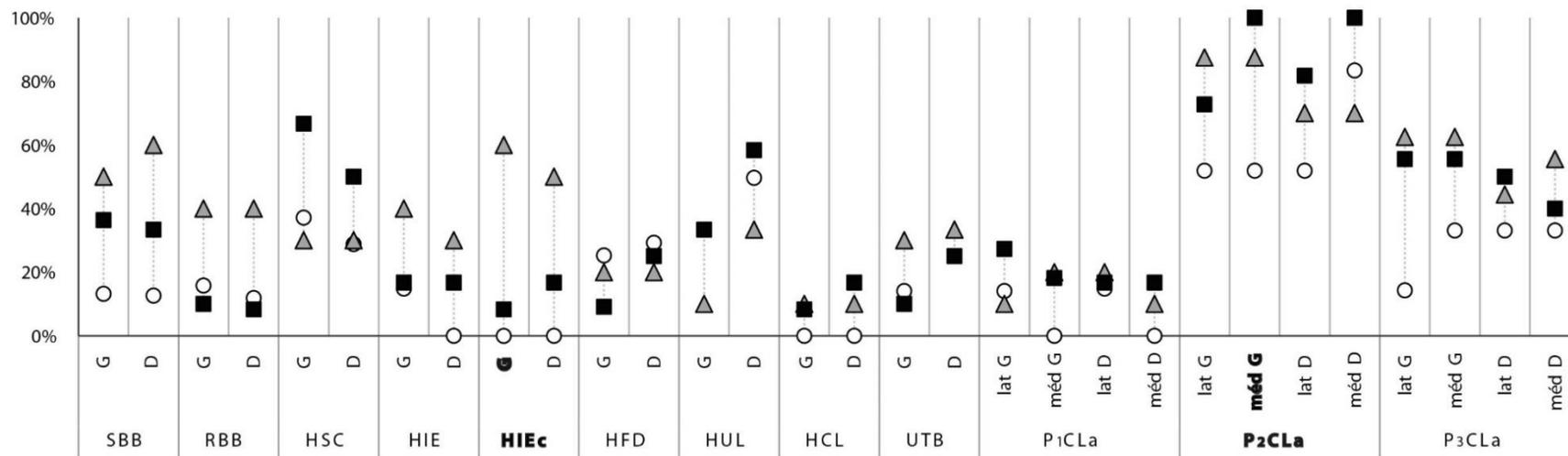


La figure 55 présente la distribution des stades A, B et C pour chaque classe d'âge. La fréquence de modifications enthésiques augmente progressivement avec l'âge : elle est de 27,8% chez les équidés âgés de 5 à 10 ans ($n = 105$) et atteint les 45,6% dans la catégorie des 20 ans et plus ($n = 165$). Cette tendance s'illustre notamment au travers du stade B : les enthèses ont été enregistrées comme moyennement lésées dans 23,3% des cas chez les jeunes équidés ($n = 89$) et atteignent les 40,5% dans la catégorie des 20 ans et plus ($n = 237$). En revanche, le pourcentage d'insertions fortement altérées demeure relativement stable, celui-ci étant compris entre 4,5% et 5,1% (16 à 28 enthèses cotées C).

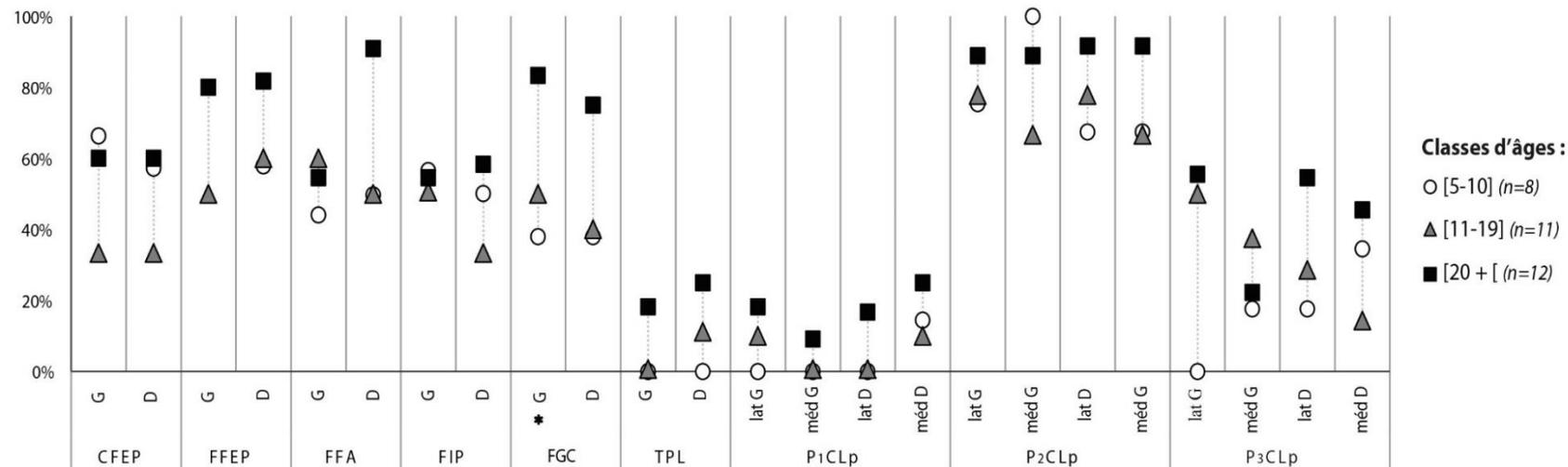
La figure 56 expose la fréquence des changements enthésiques (stades B+C) en fonction des classes d'âge pour chaque enthèse. Pour une même insertion, plus la distance entre les figurés est grande, plus la différence de proportions des modifications est importante entre les catégories testées (ici les classes d'âge).

La fréquence des changements enthésiques (stades B et C) varie, d'une part, selon les enthèses considérées et, d'autre part, en fonction des classes d'âge (figure 56). Dans la grande majorité des cas, ce sont les chevaux hors d'âge (20 ans et plus) ainsi que les animaux âgés de 11 à 19 ans qui ont enregistré une proportion d'altérations supérieure à celles des jeunes animaux.

Ceinture + membre antérieurs



Ceinture + membre postérieurs



Classes d'âge :
 ○ [5-10] (n=8)
 △ [11-19] (n=11)
 ■ [20+] (n=12)

Figure 56 : Entèses fibrocartilagineuses - Fréquence des modifications enthésiques (stades B+C) pour chaque entèse selon les classes d'âge. Les différences statistiquement significatives sont indiquées en gras ($p < 0,05$, test de Kruskal-Wallis).

Les p-valeurs proches de la significativité sont indiquées par (*) ($0,05 \leq p < 0,06$, test de Kruskal-Wallis).

Certaines enthèses exposent peu voire aucune différence selon l'âge des individus : les insertions du ligament collatéral des coudes gauche et droit (HCL G et D), des *Mm. flexor digitorum* sur l'humérus (HFD G et D), du *M. ulnaris lateralis* sur l'olécrâne droit (UTB droit), des ligaments collatéraux sur les phalanges proximale antérieure droite (P₁CLa méd et lat D) et postérieures (P₁CLp G et D), du *M. iliopsoas* gauche (FIP G) ainsi que du ligament collatéral latéral postérieur sur la phalange intermédiaire gauche (P₂CLp lat G). Les insertions des ligaments collatéraux latéraux gauche et droite sur l'humérus (HCL G et D) ainsi que des ligaments collatéraux sur les phalanges proximales antérieures et postérieures (P₁CLa et P₁CLp) affichent un taux d'atteintes compris entre 0% et 25% quelle que soit la classe d'âge. En revanche, nous pouvons noter que, bien que l'écart entre les catégories d'âges soit peu important, l'insertion du ligament collatéral latéral sur la phalange intermédiaire postérieure gauche (P₂CLp lat G) expose un taux de changements enthésiques supérieur à 70%.

Dans de rares cas, la catégorie des 5-10 ans expose des fréquences d'atteintes supérieures comparées à celles des autres classes d'âge. Cette tendance demeure tout de même limitée aux insertions des *Mm. flexor digitorum* droit (HFD D), de l'origine du *M. gluteus profundus* gauche (CFEP G) et du ligament collatéral médial postérieur sur la phalange intermédiaire gauche (P₂CLp méd G).

Pour certaines insertions, on remarque que les animaux de plus de 20 ans sont associés à des proportions de changements enthésiques similaires à celles des équidés âgés de 5 à 10 ans. Cette observation concerne notamment les enthèses du *M. biceps brachii* sur les radius gauche et droit (RBB G et D, entre 12,5 % et 16,6% de stades B et C pour les moins de 10 ans, 8,3%-10% pour les plus de 20 ans), du *M. infraspinatus* sur la crête de l'humérus gauche (HIE G, 14,3% pour les 5-10 ans, 16,5 pour les plus de 20 ans) ainsi que du *M. iliopsoas* sur le fémur droit (FIP D, 50% de stades B et C pour les 5-10 ans, 58,3% pour les plus de 20 ans).

L'application du test de Kruskal-Wallis a révélé des différences significatives dans la répartition des stades de cotation pour deux enthèses : les insertions gauches du *M. infraspinatus* sur la convexité du tubercule majeur de l'humérus (HIEc G, $p \approx 0,003$) et du ligament collatéral médial sur la phalange intermédiaire antérieure (P₂CLa méd G, $p \approx 0,002$). Les jeunes équidés y ont développé un nombre de modifications moindre (40% pour P₂CLa méd G) voire nul (HIEc G) par rapport à leurs congénères plus âgés dont la proportion de modifications est comprise entre 60% (HIEc G) et 100% (P₂CLa méd G).

L'insertion du *M. gastrocnemius* gauche présente des différences proches de la significativité (FGC G, $p \approx 0,053$). Les classes [5-10] et [11-19] se distinguent nettement des

équidés très âgés (c'est-à-dire de 20 ans et plus) en affichent des fréquences d'altérations bien inférieures (respectivement 37,5% et 45,5% contre 83,3%).

b. Enthèses fibreuses.

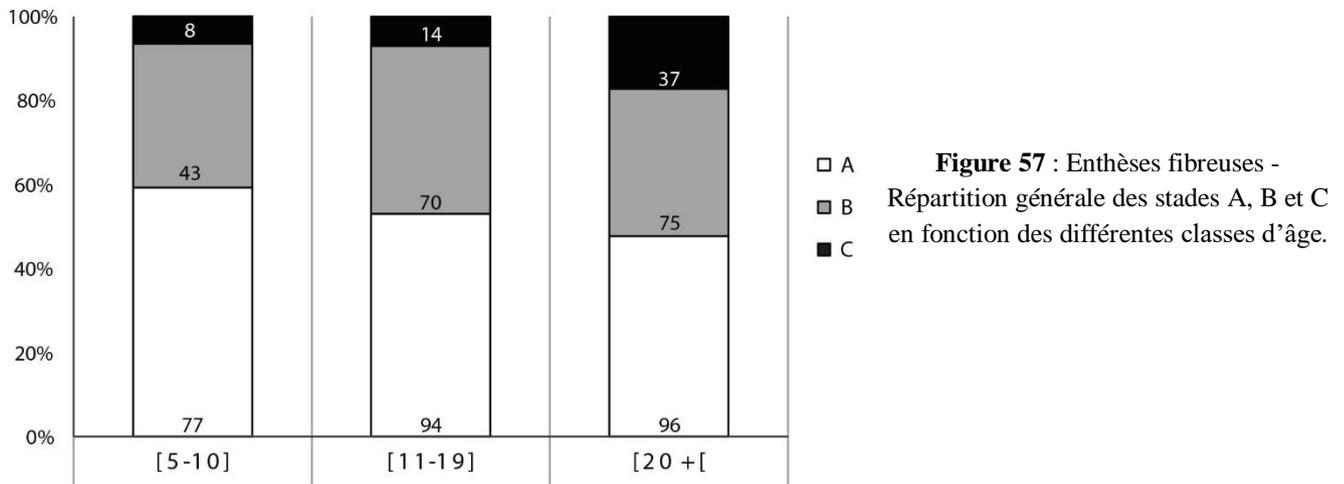


Figure 57 : Enthèses fibreuses - Répartition générale des stades A, B et C en fonction des différentes classes d'âge.

La figure 57 met en évidence une augmentation progressive de la quantité d'enthèses modifiées avec l'âge. Leur fréquence s'élève à 42,4% chez les équidés âgés de 5-10 ans et atteint 52,2% chez les chevaux hors d'âge. La proportion de modifications enthésiques sévères (stade C) s'accroît nettement chez les équidés de plus de 20 ans. En effet, celle-ci double par rapport aux classes d'âge inférieures en atteignant 17,1% d'enregistrement (soit $n = 37$).

D'après la figure 58, la répartition des stades de cotation en fonction des classes d'âge varie d'une enthèse à une autre.

Certaines d'entre elles font montre de peu de différences dans l'attribution d'un stade B et/ou C selon l'âge de l'individu (*M. deltoideus* gauche, HDE G ; ligament sésamoïdien distal antérieur gauche, P₁SDa ; ligaments palmaires, P₁PMa ; ligament sésamoïdien distal postérieur, P₁SDp ; ligament plantaire latéral droit, P₁PMp lat D).

Membres antérieur et postérieur

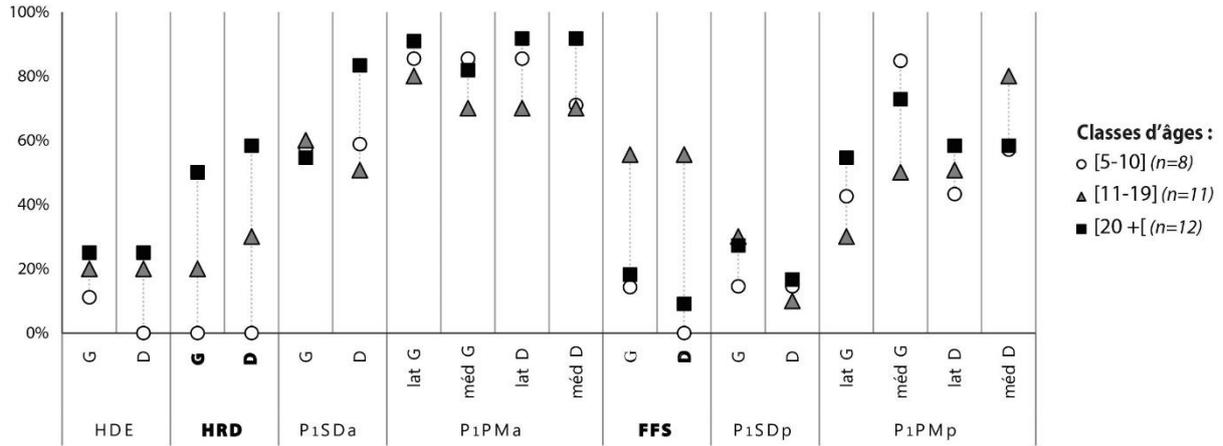


Figure 58 : Enthèses fibreuses - Fréquence des modifications enthésiques pour chaque enthèse selon les classes d'âge. Les enthèses présentant des différences statistiquement significatives sont indiquées en gras ($p < 0,05$, test de Kruskal-Wallis).

L'application du test de Kruskal-Wallis révèle que trois zones d'insertion diffèrent significativement entre les classes d'âges. Les terminaisons des *Mm. teres major/latissimus dorsi* sur l'humérus (HRD G, $p \approx 0,04$; HRD D, $p \approx 0,04$) exposent un accroissement du nombre de stades B et C avec l'augmentation de l'âge. Ceux-ci sont absents chez les équidés âgés de 5 à 10 ans alors que les individus de 20 ans et plus affichent 50% d'enthèses lésées.

L'insertion du *M. flexor digitorum superficialis* sur le fémur droit arbore elle aussi une distribution des stades de cotation différente selon les classes d'âges (FFS D, $p \approx 0,01$). Les équidés appartenant à la catégorie [11-19] offrent la proportion de lésions la plus importante avec 55,6% des enthèses enregistrées (soit $n = 5$ insertions cotées B). Cette fréquence est nettement moindre chez les équidés âgés de 5 à 10 ans (0%) et de plus de 20 ans (8,3%, $n = 1$).

Pour résumer (figure 59), deux enthèses fibrocartilagineuses gauches (*M. infraspinatus* sur la convexité du l'humérus, HIEc G ; ligament collatéral médial sur la phalange intermédiaire antérieure, P₂CLa méd G) et trois enthèses fibreuses (*Mm. teres major/latissimus dorsi* sur les humérus gauche et droit, HRD G et D; *Mm. flexor digitorum superficialis* droit, FFS D) font montre de différences statistiquement significatives entre les trois classes d'âge ($p < 0,05$, test de Kruskal-Wallis).

L'origine du *M. gastrocnemius* sur le fémur gauche (FGC G) a quant à elle révélé des différences statistiquement proches de la significativité après application du test de Kruskal-Wallis ($0,05 \leq p < 0,06$).

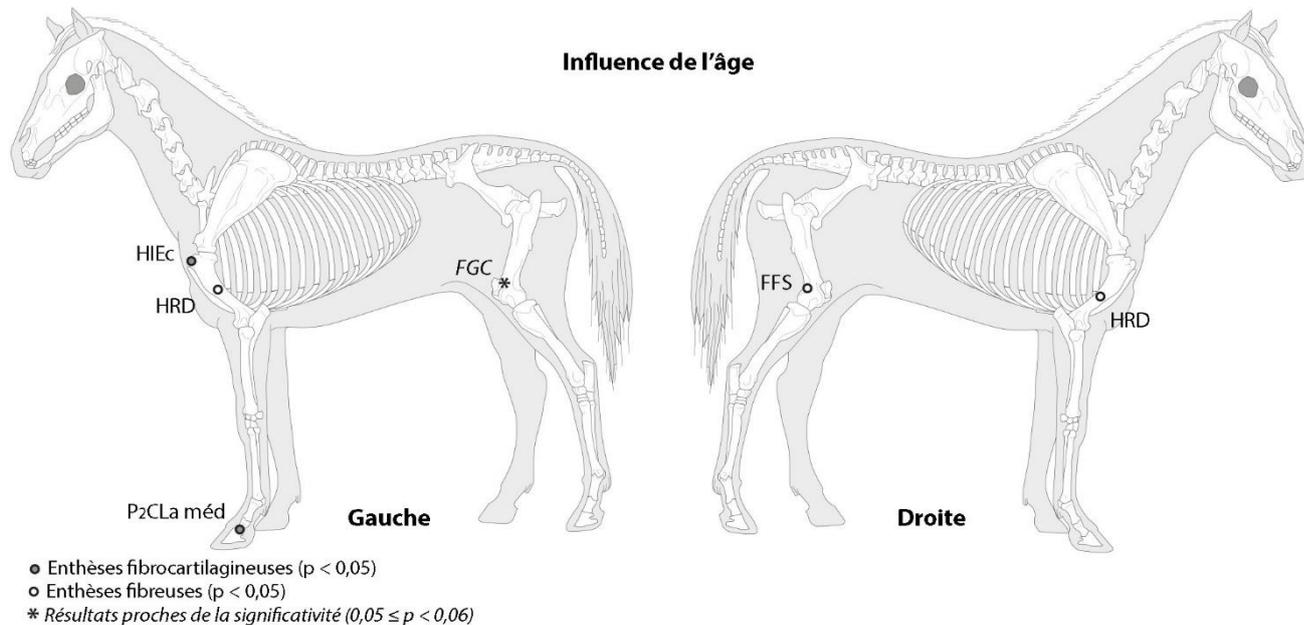


Figure 59 : Localisation des enthèses ayant révélé des différences statistiquement significatives ou proches de la significativité en fonction de l'âge au décès.

2. Influence du dimorphisme sexuel.

Les résultats du test U de Mann-Whitney sont présentés dans l'annexe 13.

a. Enthèses fibrocartilagineuses.

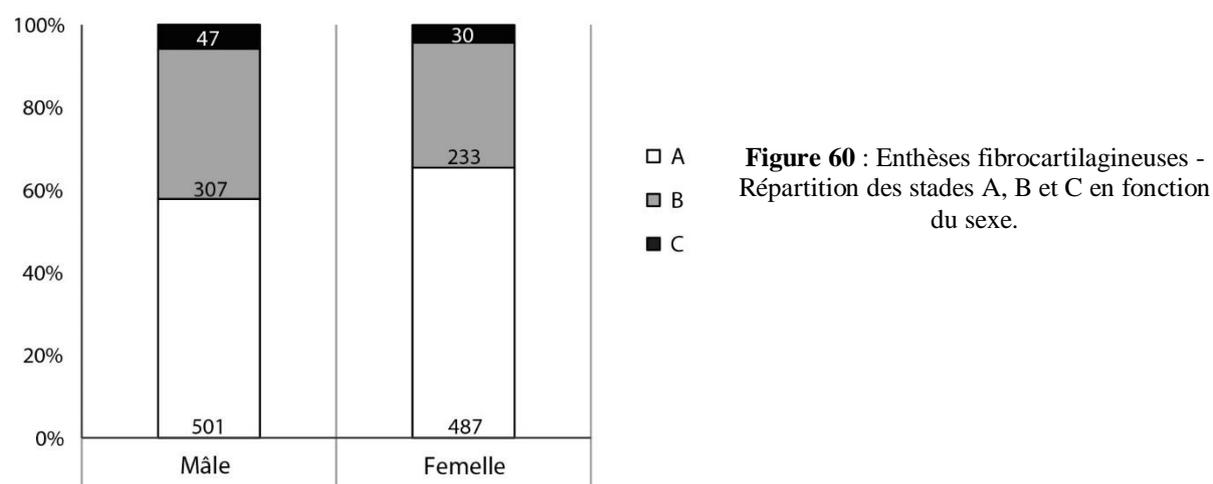


Figure 60 : Enthèses fibrocartilagineuses - Répartition des stades A, B et C en fonction du sexe.

Bien que l'écart entre les deux sexes soit peu important, les mâles semblent davantage sujets au développement de modifications enthésiques que les juments (figure 60). Ceux-ci affichent un total de 42,1% d'insertions fibrocartilagineuses altérées contre 35,7% chez les juments. Le stade B présente des fréquences nettement supérieures (respectivement 31,4% et

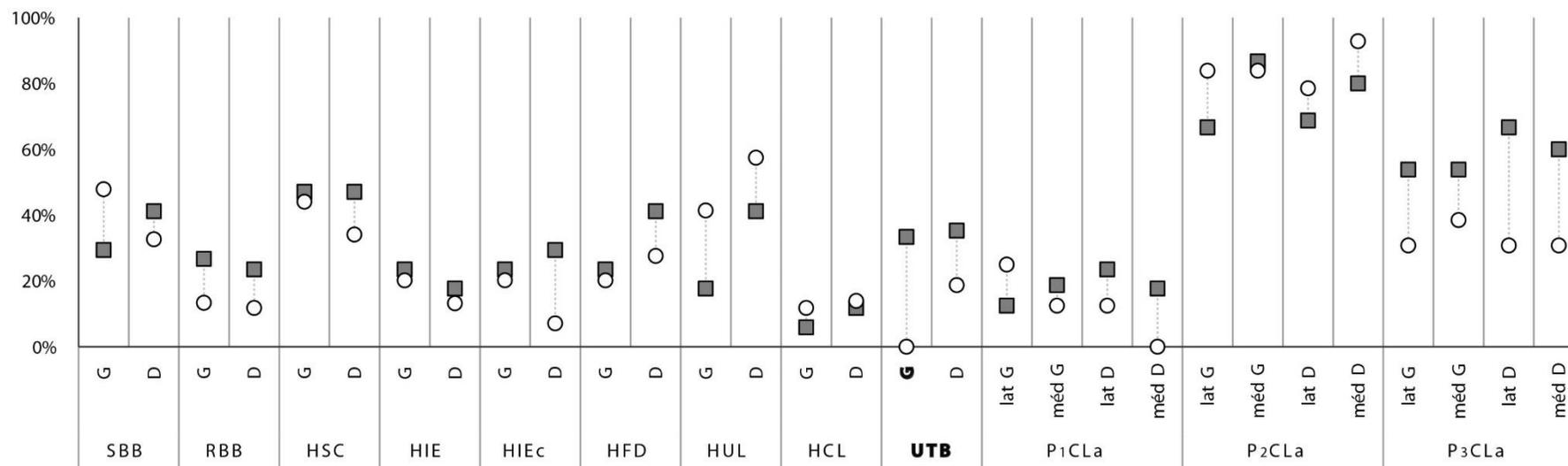
36,3%) à celles du stade C qui regroupe seulement respectivement 5,8% et 4,3% des changements enthésiques enregistrés.

La figure 61 montre qu'un certain nombre d'enthèses exposent un écart faible voire nul des fréquences de modifications entre mâles et juments. Celles-ci regroupent des insertions localisées sur les os longs (*e.g. Mm. flexor digitorum superficialis/profundus* sur l'humérus gauche, HFD G, 41,2% d'atteintes chez les mâles, 20% pour les femelles) ainsi qu'une majeure partie des enthèses phalangiennes antérieures et postérieures (*e.g. ligament collatéral latéral gauche sur la phalange intermédiaire postérieure, P₂CLp lat G*, environ 84% d'atteintes pour les deux sexes).

Dans la majorité des cas, les équidés mâles affichent des fréquences de modifications enthésiques plus importantes. Les différences entre mâles et femelles sont marquées pour l'insertion du *M. triceps brachii* sur l'ulna gauche (UTB G), certains ligaments collatéraux des phalanges distales antérieures (P₃CLa latéral et médial droit) et postérieures (P₃CLp latéral droit) ainsi que les insertions sur le fémur des muscles *gluteus accessorius* droit (FFA D), *iliopsoas* droit (FIP D) et *gastrocnemius* gauche (FGC G). Cependant, l'application du test U de Mann-Whitney a livré des résultats statistiquement significatifs uniquement pour le *M. triceps brachii* gauche (UTB G, $p \approx 0,02$) : un total de 33,3% d'enthèses altérées ont été relevées chez les mâles alors qu'elles sont inexistantes chez les juments.

Plus rarement, les femelles font montre d'un taux de stades B et C supérieur à celui des mâles. Cette tendance est observable pour l'origine du *M. biceps brachii* gauche (SBB G), les insertions gauche et droite du *M. ulnaris lateralis* (HUL) ainsi que celles du *M. gluteus profundus* sur l'os coxal (CFEP). De même, le test U de Mann-Whitney a livré une p-valeur significative de 0,02 pour l'origine du *M. gluteus profundus* gauche (CFEP G) pour laquelle 78,6% d'enthèses altérées ont été identifiées chez les juments contre 35,7% chez les mâles.

Ceinture + membre antérieurs



Ceinture + membre postérieurs

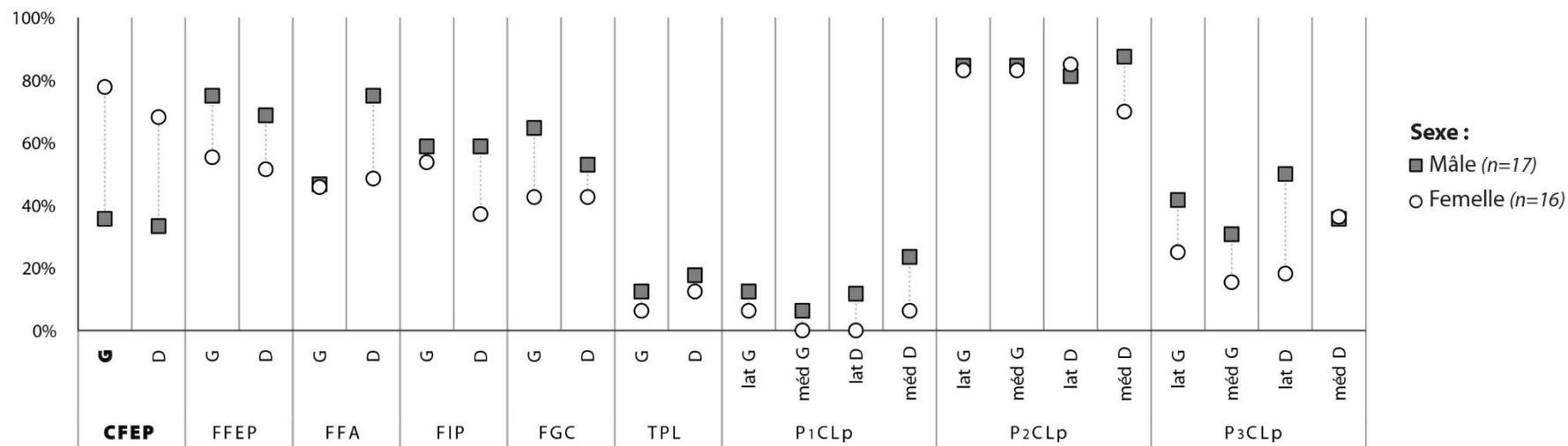
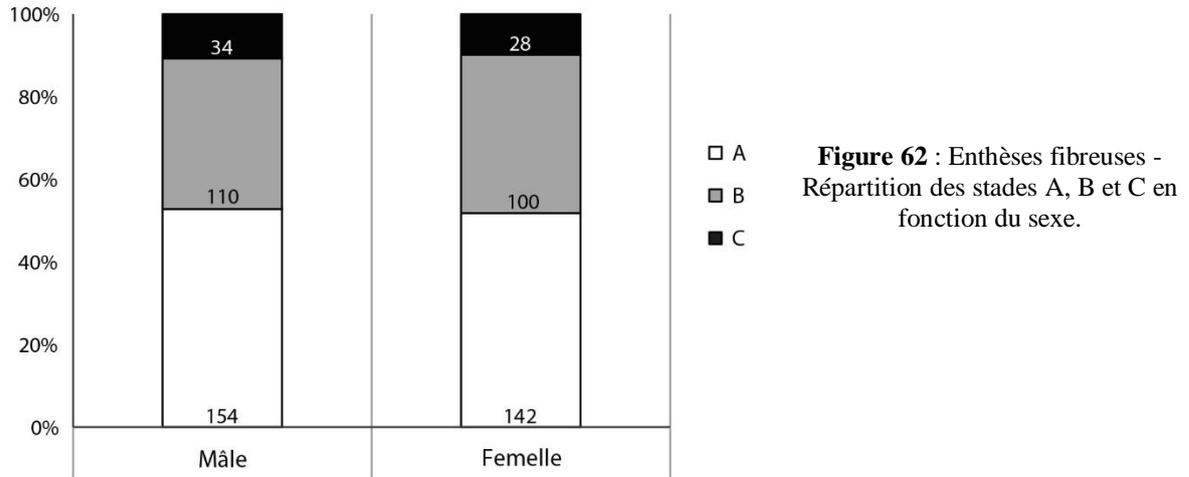


Figure 61 : Entèses fibrocartilagineuses - Fréquence des modifications enthésiques (stades B+C) pour chaque entèse en fonction du sexe. Les entèses présentant des différences statistiquement significatives sont indiquées en gras ($p < 0,05$, test U de Mann-Whitney).

b. Enthèses fibreuses.



Mâles et juments exposent une fréquence de changements enthésiques équivalente (figure 62). Cette différence entre les sexes est de même peu marquée que l'on s'intéresse au stade B (36,4% pour les mâles ; 37,2% pour les femelles) ou au stade C (10,8% chez les mâles ; 9,8% pour les juments).

Membres antérieur et postérieur

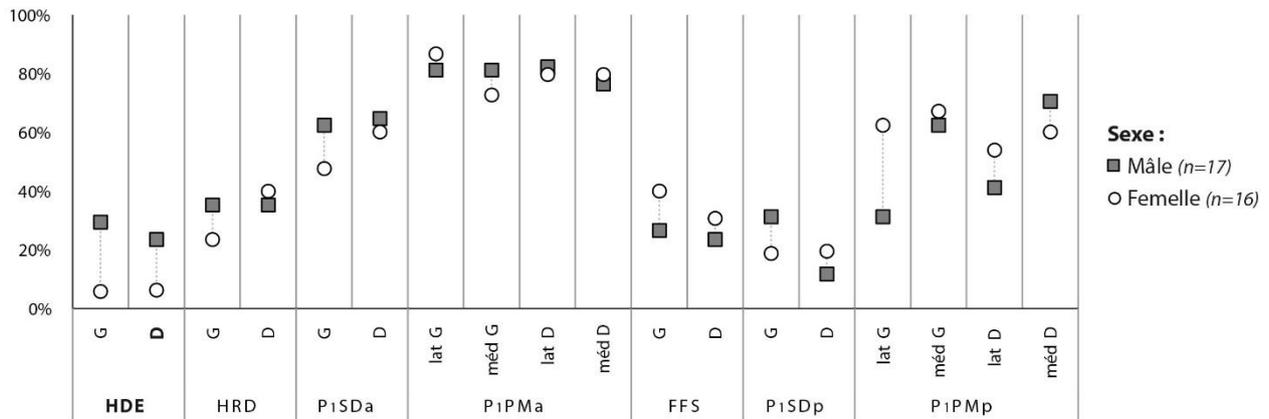


Figure 63 : Enthèses fibreuses - Fréquence des modifications enthésiques (stades B+C) pour chaque enthèse en fonction du sexe. Les enthèses présentant des différences statistiquement significatives sont indiquées en gras ($p < 0,05$, test U de Mann-Whitney).

Nombre d'enthèses présentent peu voire aucune différence entre mâles et femelles (figure 63). Seules les insertions du *M. deltoideus* sur l'humérus (HDE) et du ligament plantaire latéral de la phalange postérieure (P1PMp lat) exposent des différences importantes en fonction du sexe des individus. Parmi celles-ci, HDE droit est la seule enthèse à montrer des différences statistiquement significatives ($p \approx 0,03$). Les fréquences des modifications du *M. deltoideus*

droit sont plus importantes chez les mâles qui affichent 23,5% d'enthèses altérées contre 6,6% chez les juments.

Bien que les différences observées ne soient pas statistiquement significatives, précisons tout de même que les femelles se sont vues attribuer deux fois plus de stades B et C que les mâles (soit 60% d'atteintes contre 31,3%) au niveau du ligament plantaire latéral sur la phalange proximale postérieure gauche (P₁PMp lat G).

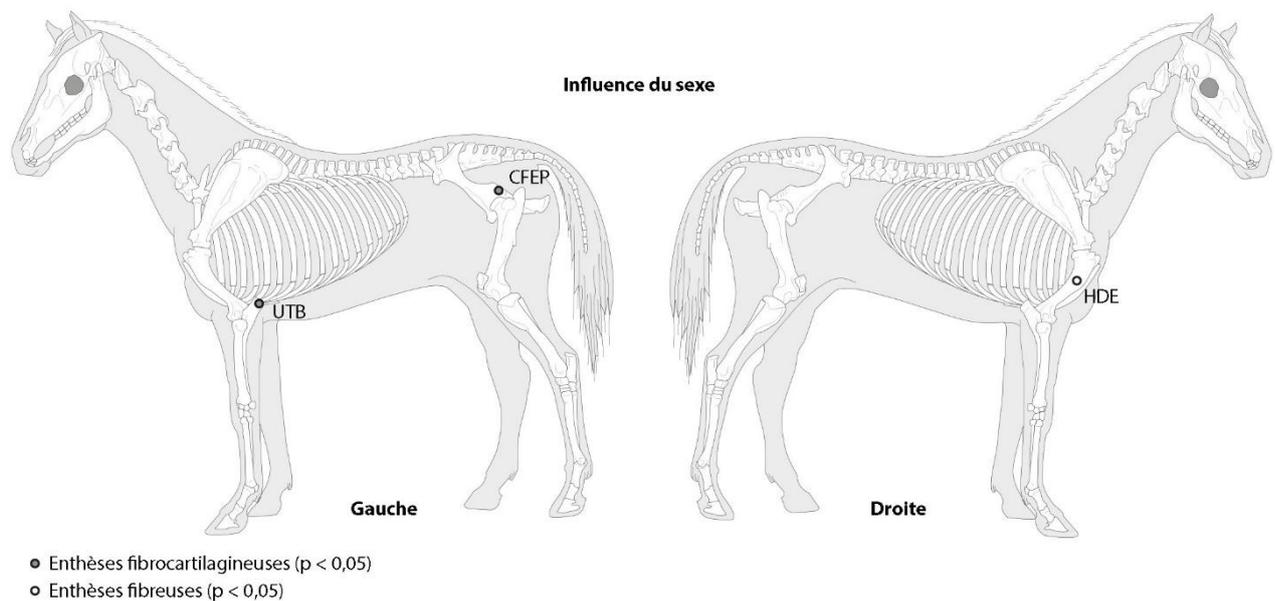


Figure 64 : Localisation des enthèses ayant révélé des différences statistiquement significatives en fonction du sexe.

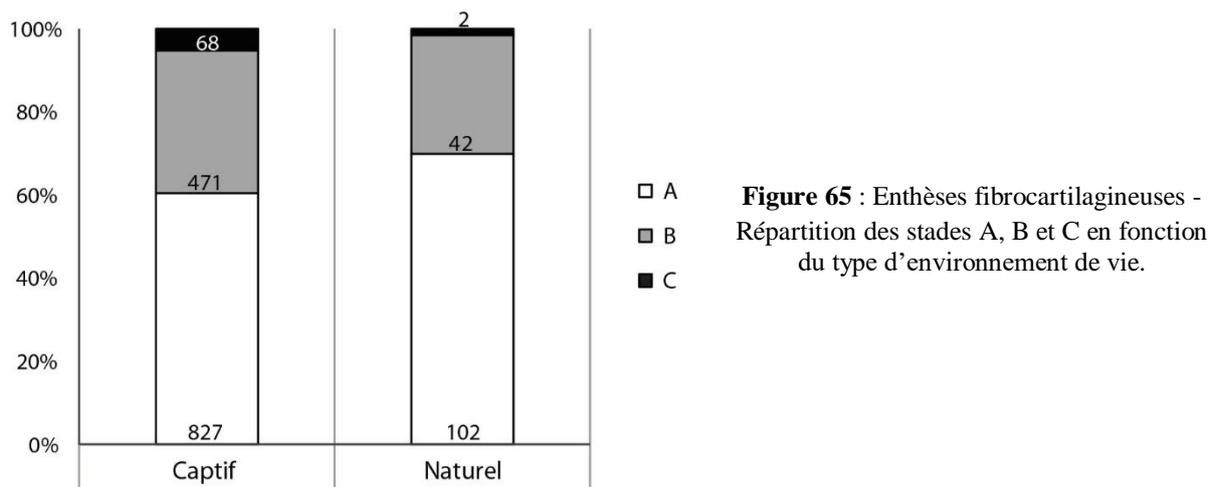
La figure 64 localise au sein du squelette les enthèses ayant révélé des différences statistiquement significatives ($p < 0,05$, test U de Mann-Whitney). Celles-ci sont au nombre de trois. Deux sont situées sur le membre antérieur (*M. ulnaris lateralis* sur l'ulna gauche, UTB G ; *M. deltoideus* sur l'humérus droit, HDE D) et une sur le membre pelvien (origine du *M. gluteus profundus* gauche, CFEP G).

3. Influence du type d'environnement de vie.

Les résultats du test U de Mann-Whitney sont présentés dans l'annexe 14.

a. Enthèses fibrocartilagineuses.

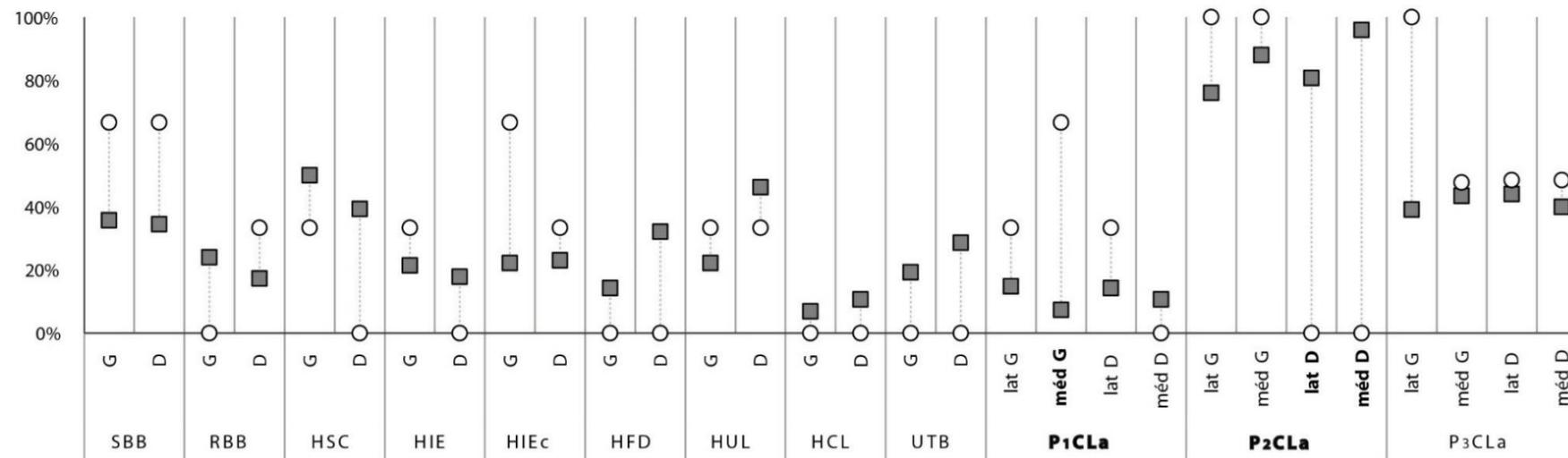
Les équidés ayant vécu en captivité sont associés à un pourcentage de modifications enthésiques supérieur à celui des chevaux issus d'un milieu naturel (40,4% contre 30,1%, figure 65). Quel que soit le type d'environnement observé, le stade B demeure le stade le plus couramment attribué parmi les enthèses altérées. On constate de plus que les équidés ayant vécu en captivité présentent davantage de changements enthésiques importants (5,3%) que les chevaux ayant vécu en liberté (1,6%).



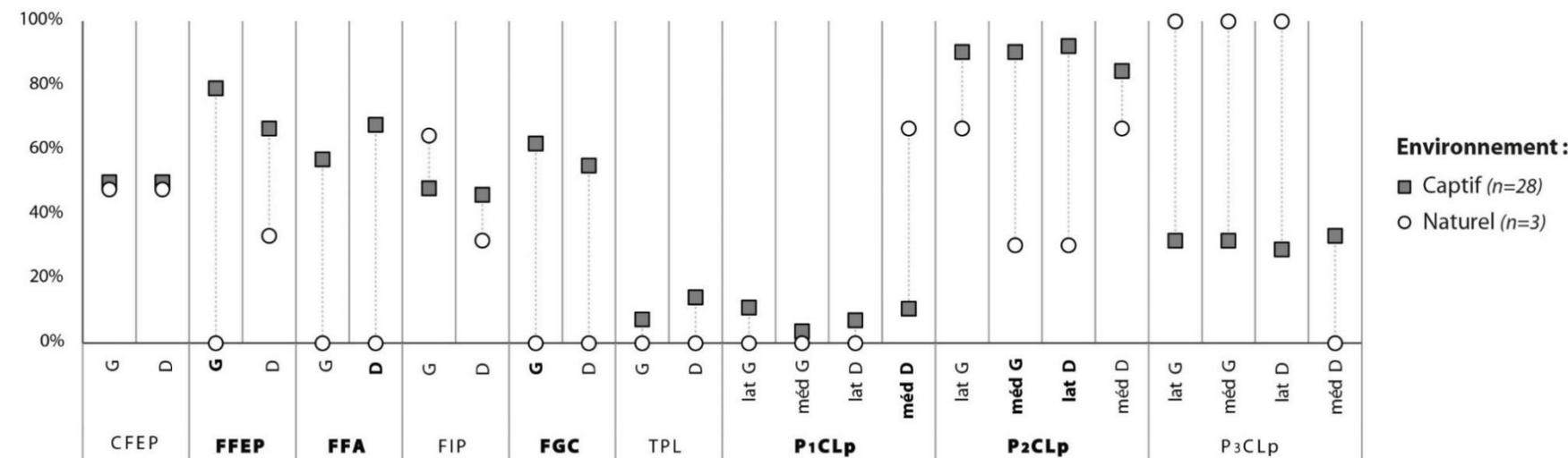
La figure 66 révèle que les proportions des stades B et C en fonction du type d'environnement de vie est variable selon la zone d'insertion considérée.

Les équidés ayant vécu en captivité se distinguent des chevaux issus d'un milieu naturel au niveau de 20 enthèses en affichant une fréquence plus importante de stades B et C (soit environ 39% des enthèses étudiées). D'après le test U de Mann-Whitney, sept d'entre elles diffèrent significativement selon les deux types d'environnements : les insertions des ligaments collatéraux sur la phalange intermédiaire antérieure droite (P₂CLa latéral et médial ; $p \approx 0,03$ et $0,01$ respectivement), du *M. gluteus profundus* sur le fémur gauche (FFEP G, $p \approx 0,02$), du *M. gluteus accessorius* droit (FFA D, $p \approx 0,03$), du *M. gastrocnemius* sur le fémur gauche (FGC G, $p \approx 0,046$) ainsi que des ligaments collatéraux médial gauche et latéral droit sur la phalange intermédiaire postérieure (P₂CLp méd G, $p \approx 0,04$; P₂CLp lat D, $p \approx 0,01$). Les animaux captifs y exposent un taux de modifications supérieur à 50% alors qu'il est compris entre 0% (*e.g.* origine du *M. gluteus profundus* gauche, FFEP G) et 33,3% (*e.g.* insertion du ligament collatéral sur la phalange intermédiaire postérieure, P₂CLp) chez les chevaux issus d'un milieu naturel.

Ceinture + membre antérieurs



Ceinture + membre postérieurs



Environnement :
 ■ Captif (n=28)
 ○ Naturel (n=3)

Figure 66 : Enthèses fibrocartilagineuses - Fréquence des modifications enthésiques (stades B+C) pour chaque enthèse selon le type d'environnement de vie. Les enthèses présentant des différences statistiquement significatives sont indiquées en gras ($p < 0,05$, test U de Mann-Whitney).

En comparaison, quatorze insertions montrent une fréquence d'enthèses lésées plus importante chez les chevaux ayant vécu en milieu naturel. Les zones d'insertion des ligaments collatéraux médial gauche sur la phalange proximale antérieure (P₁CLa méd G) et médial droit au niveau de la phalange proximale postérieure (P₁CLp méd D) distinguent significativement les types d'environnements en exposant respectivement des p-valeurs d'environ 0,005 et 0,01 après application du test U de Mann-Whitney. Pour ces deux enthèses, 66,7% ont été considérées comme lésées dans la catégorie « Naturel » contre seulement 7,7% pour P₁CLa médial gauche et 7,4% pour P₁CLp latéral droit chez les spécimens captifs.

b. Enthèses fibreuses.

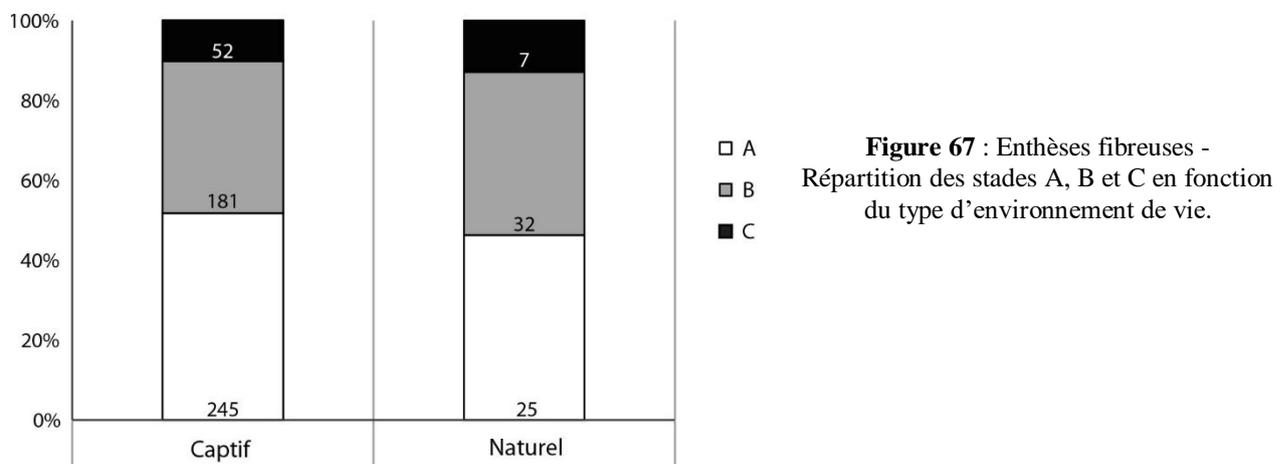


Figure 67 : Enthèses fibreuses - Répartition des stades A, B et C en fonction du type d'environnement de vie.

Les équidés issus d'un milieu naturel offrent une fréquence de changements enthésiques légèrement supérieure à celle observée chez ceux ayant vécu en captivité (figure 67). En effet, 53,7% d'enthèses altérées ont été enregistrées dans la catégorie « Naturel » contre 45,8% pour le groupe « Captivité ».

Aucune enthèse fibreuse ne présente de différence statistiquement significative dans la répartition des stades de cotation selon les types de lieu de vie (figure 68).

Si certaines insertions ne permettent pas de distinguer les équidés captifs des individus ayant vécu en milieu naturel et inversement (*Mm. teres major/latissimus dorsi* droit, HRD D ; ligament sésamoïdien distal antérieur, P₁SDa ; *M. flexor digitorum superficialis*, FFS ; ligaments plantaires médiaux, P₁PMp méd), ces deux catégories se différencient nettement au niveau de quatre enthèses.

Les animaux captifs exposent davantage d'atteintes au niveau de l'insertion des *Mm. teres major/latissimus dorsi* sur l'humérus gauche (HRD G, 32,1%) alors qu'elles sont inexistantes chez les chevaux ayant vécu en liberté.

Membres antérieur et postérieur

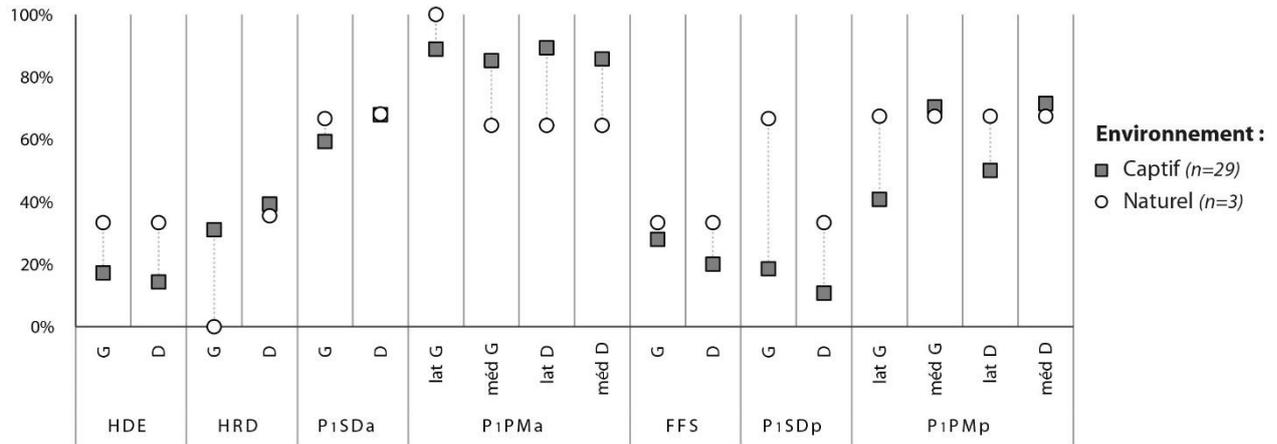


Figure 68 : Enthèses fibreuses - Fréquence des modifications enthésiques (stades B+C) pour chaque enthèse selon le type d'environnement de vie.

En revanche, les trois chevaux du groupe « Naturel » offrent, cette fois-ci, une fréquence d'altérations supérieure à celle de la catégorie « Captivité » au niveau des ligaments sésamoïdiens distaux postérieurs (P1SDp) et du ligament plantaire latéral de la phalange proximale postérieure gauche (P1PMp lat G). Cette différence est particulièrement marquée pour P1SDp gauche, le groupe « Naturel » exposant 66,7% de stades B et C contre 19,2% dans la catégorie « Captivité ».

La figure 69 situe les enthèses ayant révélé des différences statistiquement significatives après application du test U de Mann-Whitney ($p < 0,05$). Les membres antérieurs portent trois de ces enthèses qui sont toutes localisées au niveau des phalanges : insertions des ligaments collatéraux médiaux sur les phalange proximale gauche (P1CLa méd G) et intermédiaire droite (P2CLa méd D) ainsi que le ligament latéral sur cette même phalange (P2CLa lat D). Les fémurs présentent trois zones d'insertions dont la distribution des stades de cotation diffère significativement selon les conditions dans lesquelles ont vécu nos spécimens. Sont concernées les enthèses des *M. gluteus profundus* gauche (FFEP G), *M. gluteus accessorius* droit (FFA D) et *M. gastrocnemius* gauche (FGC G). Enfin, les dernières enthèses postérieures ayant révélé des différences significatives se situent toutes au niveau des premières (ligament collatéral

médial droit, P₁CLp méd D) et secondes phalanges (ligaments collatéraux médial gauche et latéral droit, P₂CLp méd G et lat D).

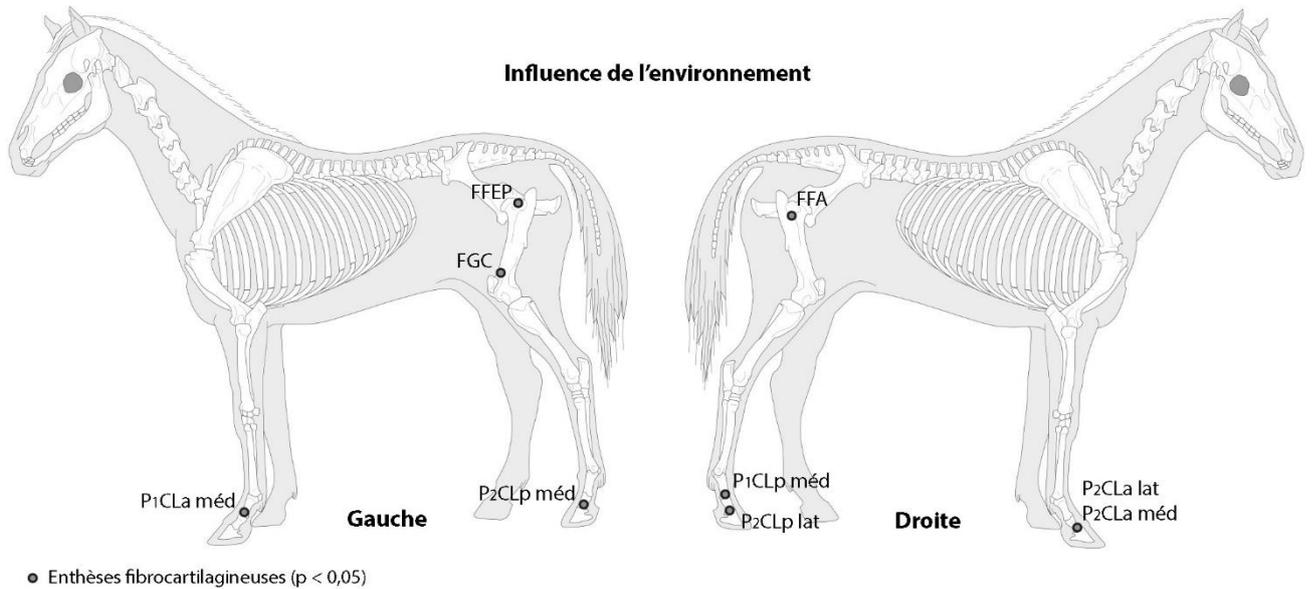


Figure 69 : Localisation des enthèses ayant révélé des différences statistiquement significatives en fonction des conditions de vie.

4. Influence des proportions corporelles.

Les valeurs des rapports moyens Masse/Taille par stade de cotation pour chaque enthèse ainsi que les résultats du test de Kruskal-Wallis sont présentés en annexe 15.

a. Enthèses fibrocartilagineuses.

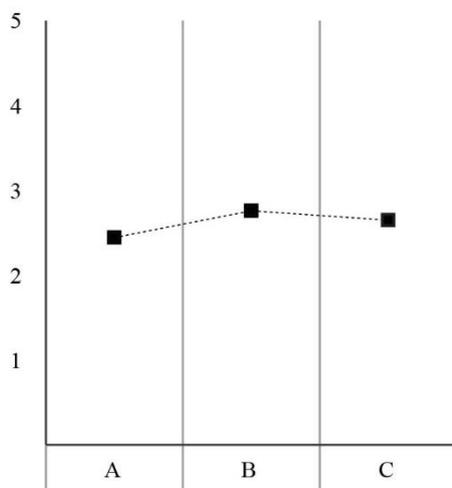


Figure 70 : Enthèses fibrocartilagineuses - Correspondance entre stades de cotation (en abscisses) et le ratio Masse/Taille moyen (en ordonnées).

La figure 70 montre une liaison légère entre la sévérité des changements enthésiques et les proportions corporelles des équidés (toutes enthèses fibrocartilagineuses confondues). L'attribution du stade B est associée à un ratio Masse/Taille moyen supérieur à celui correspondant à l'absence de modification (2,76 pour le stade B contre 2,44 pour le stade A). S'il est légèrement inférieur à celui se référant aux changements moyens (stade B), le ratio associé au stade C demeure plus important que celui relevé pour le score A (soit 2,65 contre 2,44). On constate cependant que diverses tendances sont observables selon la zone d'insertion considérée (figure 71).

Pour 22 enthèses fibrocartilagineuses, la présence de lésions enthésiques (stades B et C) est associée à un ratio Masse/Taille moyen plus important que pour le stade A (figure 71). Cette tendance est particulièrement marquée pour les insertions du *M. infraspinatus* sur la convexité de l'humérus gauche (HIEc G) et la crête de l'humérus droit (HIE D), de certains ligaments collatéraux sur les phalanges distales (P₃CLa et P₃CLp médiaux) ou encore celles des muscles fessiers sur le coxal (CFEP) ou le fémur (*M. gluteus profundus*, FFEP ; *M. gluteus accessorius*, FFA).

D'après le test de Kruskal-Wallis, la relation entre un rapport Masse/Taille élevé et la sévérité des changements enthésiques est significative pour les enthèses du *M. infraspinatus* droit (HIE D, $p \approx 0,028$) ainsi que des ligaments collatéraux médiaux sur la phalange distale postérieure (P₃CLp méd G, $p \approx 0,021$; P₃CLp méd D, $p \approx 0,025$).

Au contraire, 10 enthèses présentent un ratio moyen associé aux stades B et C inférieur à celui du stade A indiquant ainsi un taux d'altérations plus important chez les chevaux de l'échantillon présentant des proportions corporelles faibles (figure 71). Cette décroissance est notable pour les enthèses des *M. subscapularis* droit (HSC D), *Mm. flexor digitorum* gauche (HFD G) et ligament collatéral latéral sur la phalange proximale antérieure (P₁CLa lat G et D). Pour ce dernier, le test de Kruskal-Wallis indique un résultat significatif pour son insertion latérale droite (P₁CLa lat D, $p \approx 0,031$). Dans une moindre mesure, la présence d'enthèses saines est liée à un ratio Masse/Taille moyen plus ou moins supérieur aux stades B et C pour les *M. infraspinatus* sur la convexité de l'humérus droit (HIEc D), *M. gastrocnemius* gauche (FGC G) ou le ligament patellaire latéral droit (TPL D).

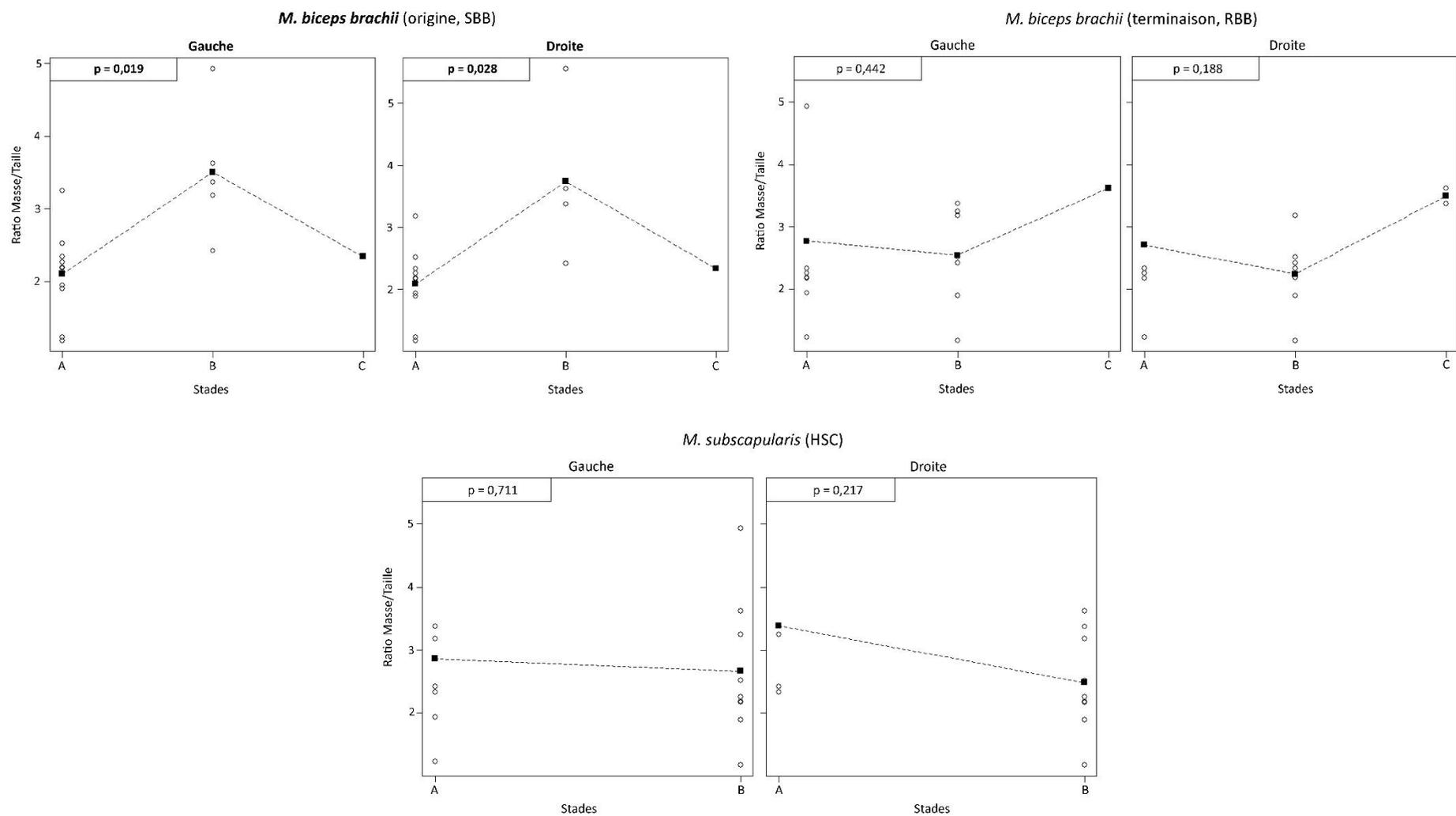


Figure 71 : Enthèses fibrocartilagineuses (1/7) - Correspondance entre le ratio Masse/Taille moyen et les stades de cotation pour chaque enthèse (carrés noirs). Les enthèses présentant des différences statistiquement significatives sont indiquées en gras ($p < 0,05$, test de Kruskal-Wallis).

Les cercles figurent les valeurs des ratios Masse/Taille de chaque spécimen.

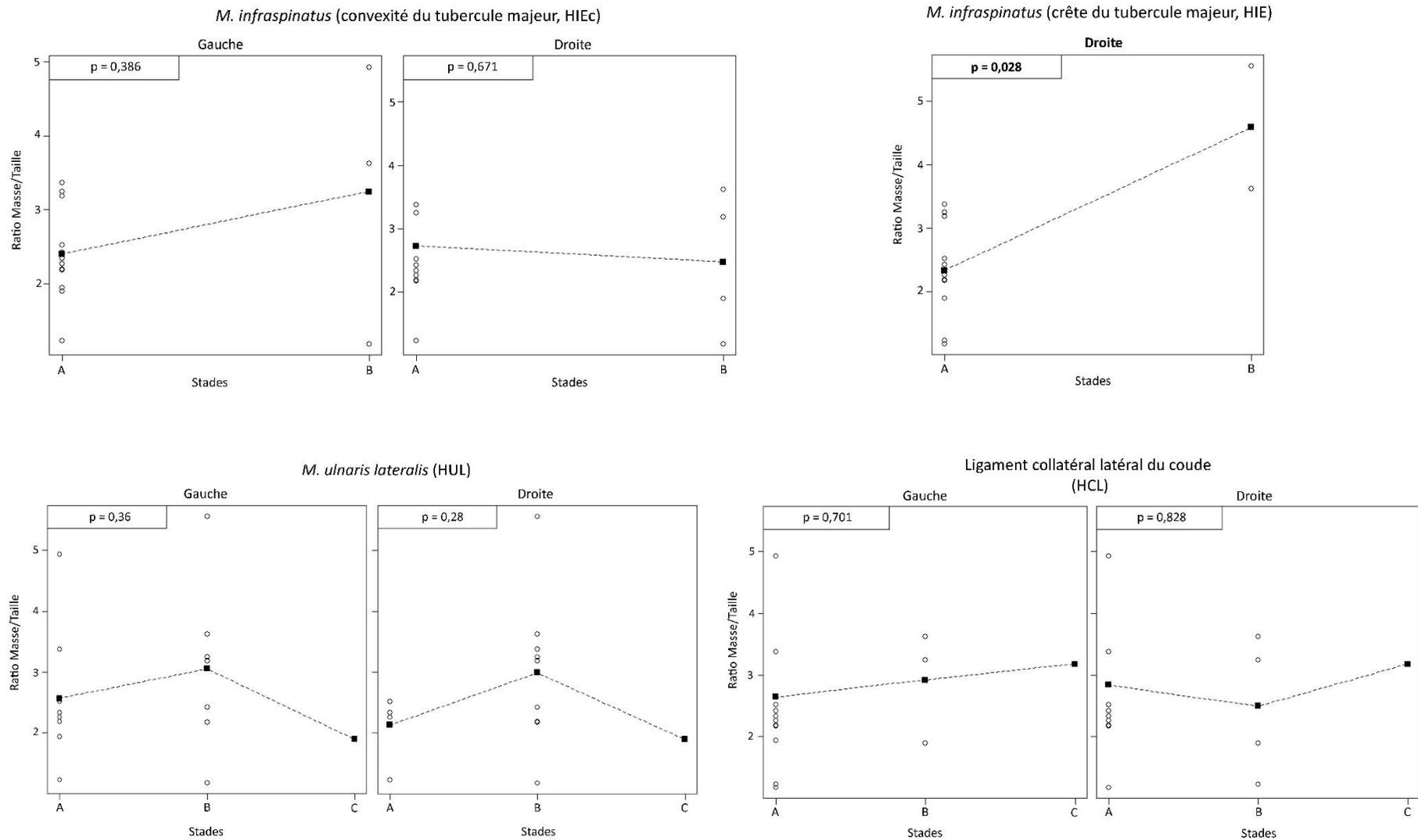


Figure 71 : Entèses fibrocartilagineuses (2/7) - Correspondance entre le ratio Masse/Taille moyen et les stades de cotation pour chaque enthèse (carrés noirs). Les entèses présentant des différences statistiquement significatives sont indiquées en gras ($p < 0,05$, test de Kruskal-Wallis).

Les cercles figurent les valeurs des ratios Masse/Taille de chaque spécimen.

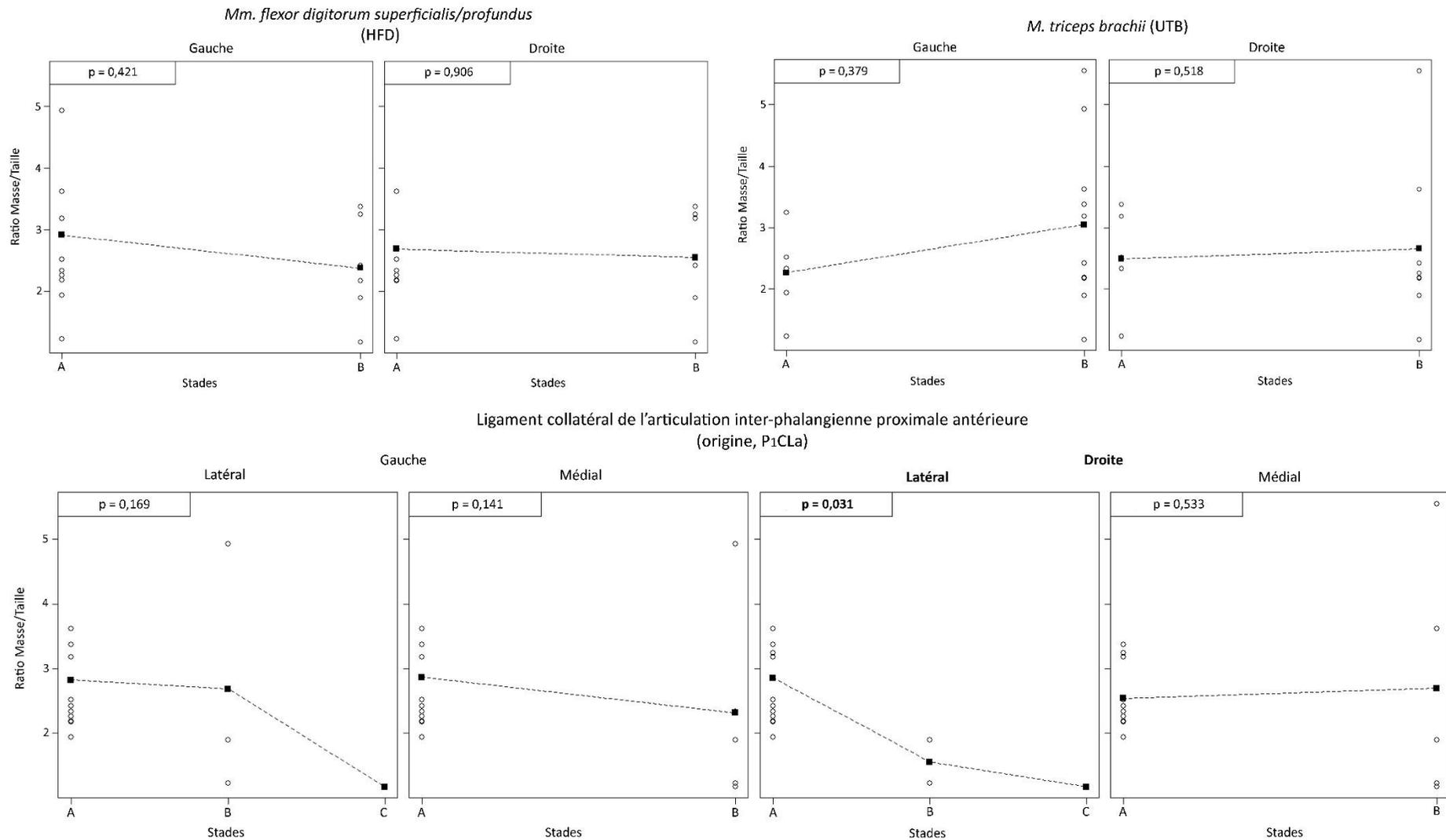


Figure 71 : Enthèses fibrocartilagineuses (3/7) - Correspondance entre le ratio Masse/Taille moyen et les stades de cotation pour chaque enthèse (carrés noirs). Les enthèses présentant des différences statistiquement significatives sont indiquées en gras ($p < 0,05$, test de Kruskal-Wallis).

Les cercles figurent les valeurs des ratios Masse/Taille de chaque spécimen.

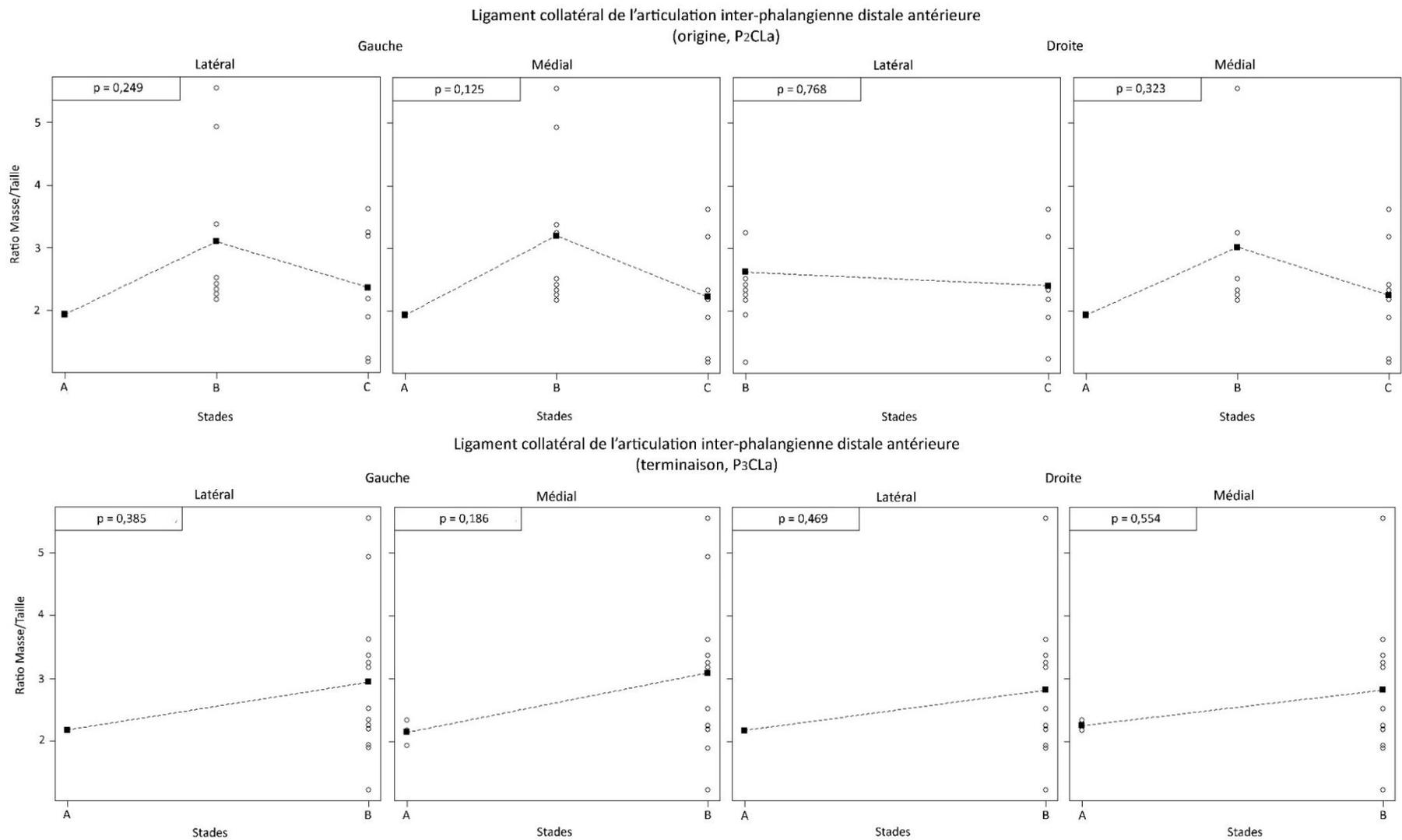


Figure 71 : Enthèses fibrocartilagineuses (4/7) - Correspondance entre le ratio Masse/Taille moyen et les stades de cotation pour chaque enthèse (carrés noirs). Les enthèses présentant des différences statistiquement significatives sont indiquées en gras ($p < 0,05$, test de Kruskal-Wallis).

Les cercles figurent les valeurs des ratios Masse/Taille de chaque spécimen.

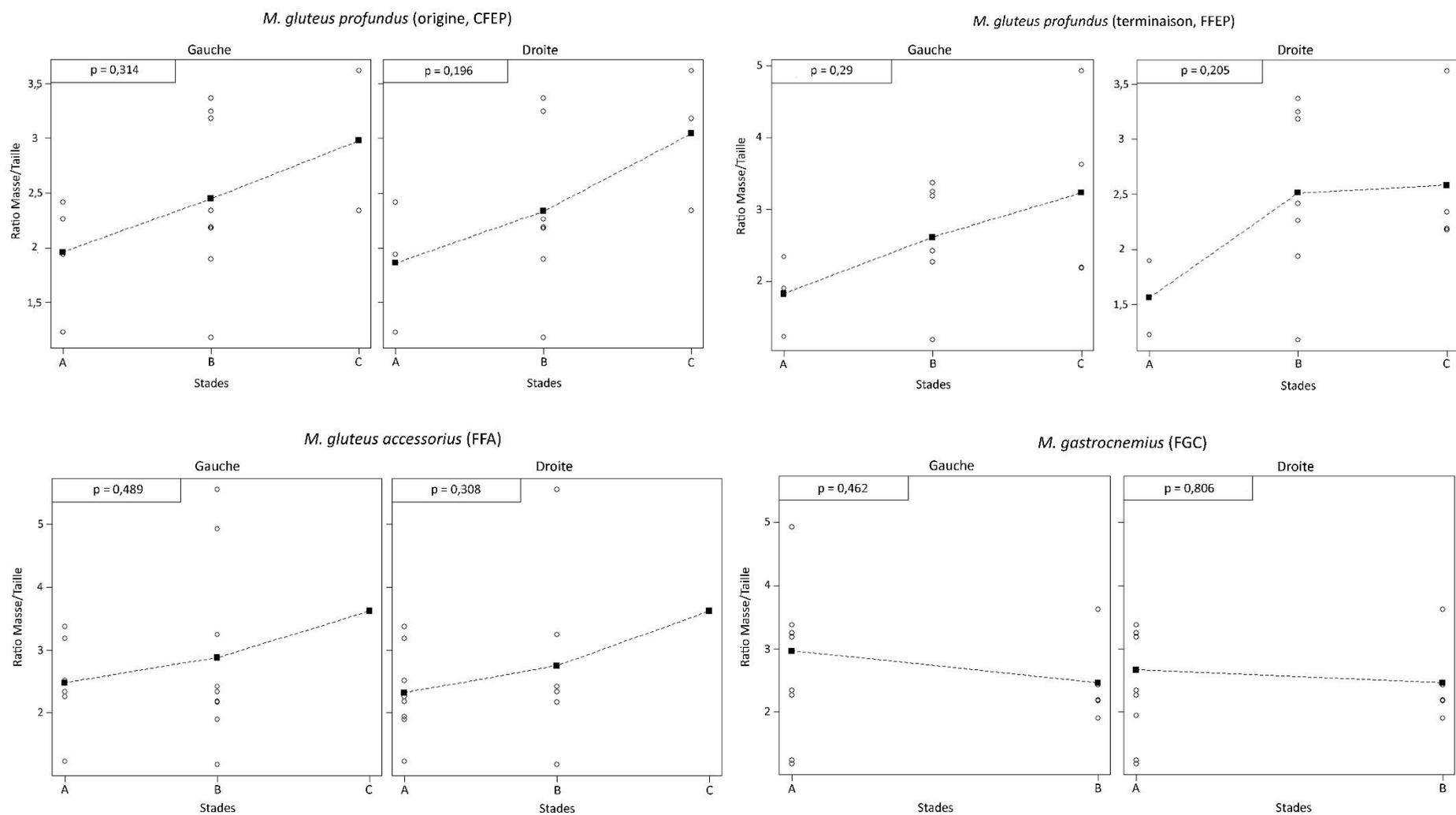


Figure 71 : Enthèses fibrocartilagineuses (5/7) - Correspondance entre le ratio Masse/Taille moyen et les stades de cotation pour chaque enthèse (carrés noirs). Les enthèses présentant des différences statistiquement significatives sont indiquées en gras ($p < 0,05$, test de Kruskal-Wallis).
 Les cercles figurent les valeurs des ratios Masse/Taille de chaque spécimen.

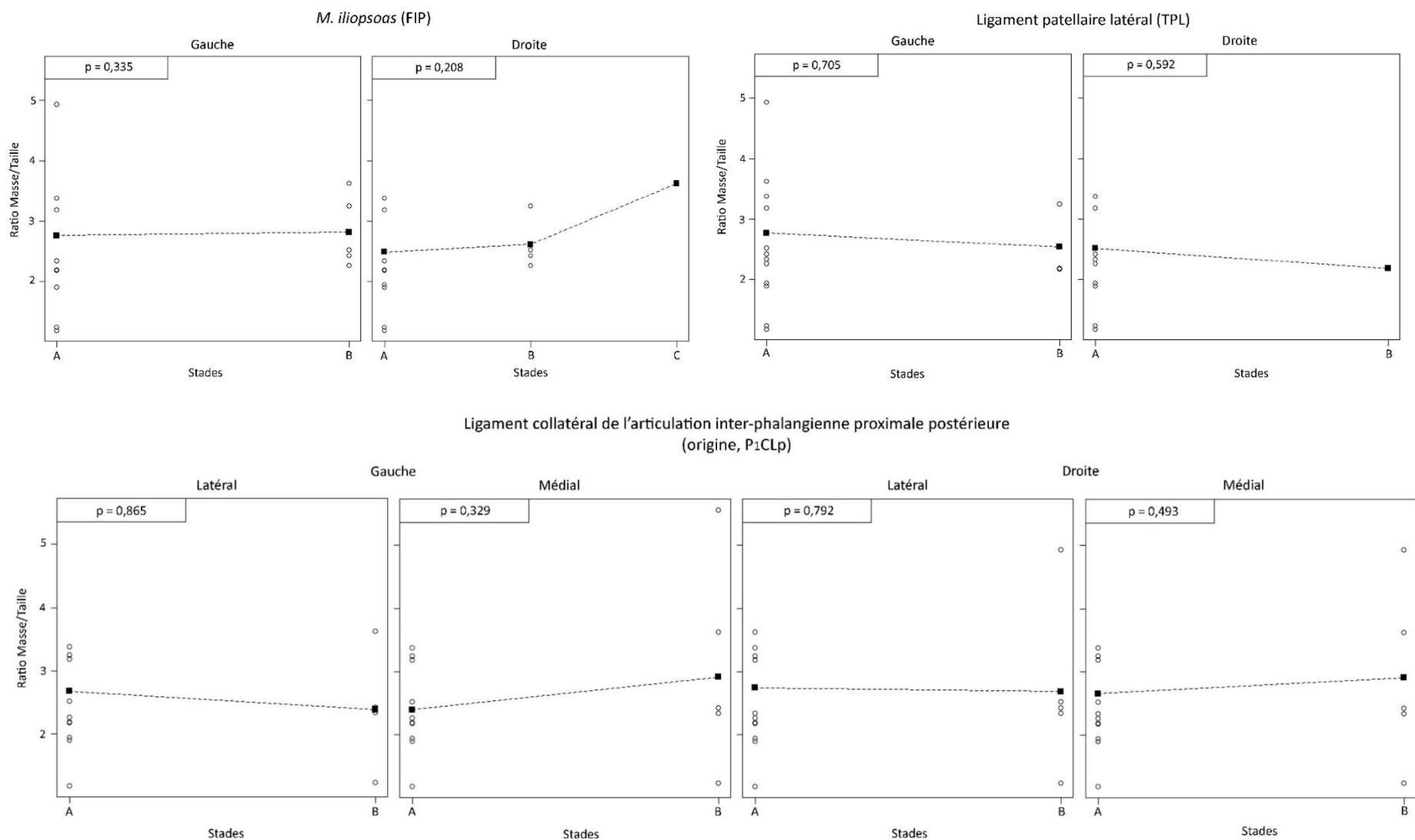


Figure 71 : Enthèses fibrocartilagineuses (6/7) - Correspondance entre le ratio Masse/Taille moyen et les stades de cotation pour chaque enthèse (carrés noirs). Les enthèses présentant des différences statistiquement significatives sont indiquées en gras ($p < 0,05$, test de Kruskal-Wallis).

Les cercles figurent les valeurs des ratios Masse/Taille de chaque spécimen.

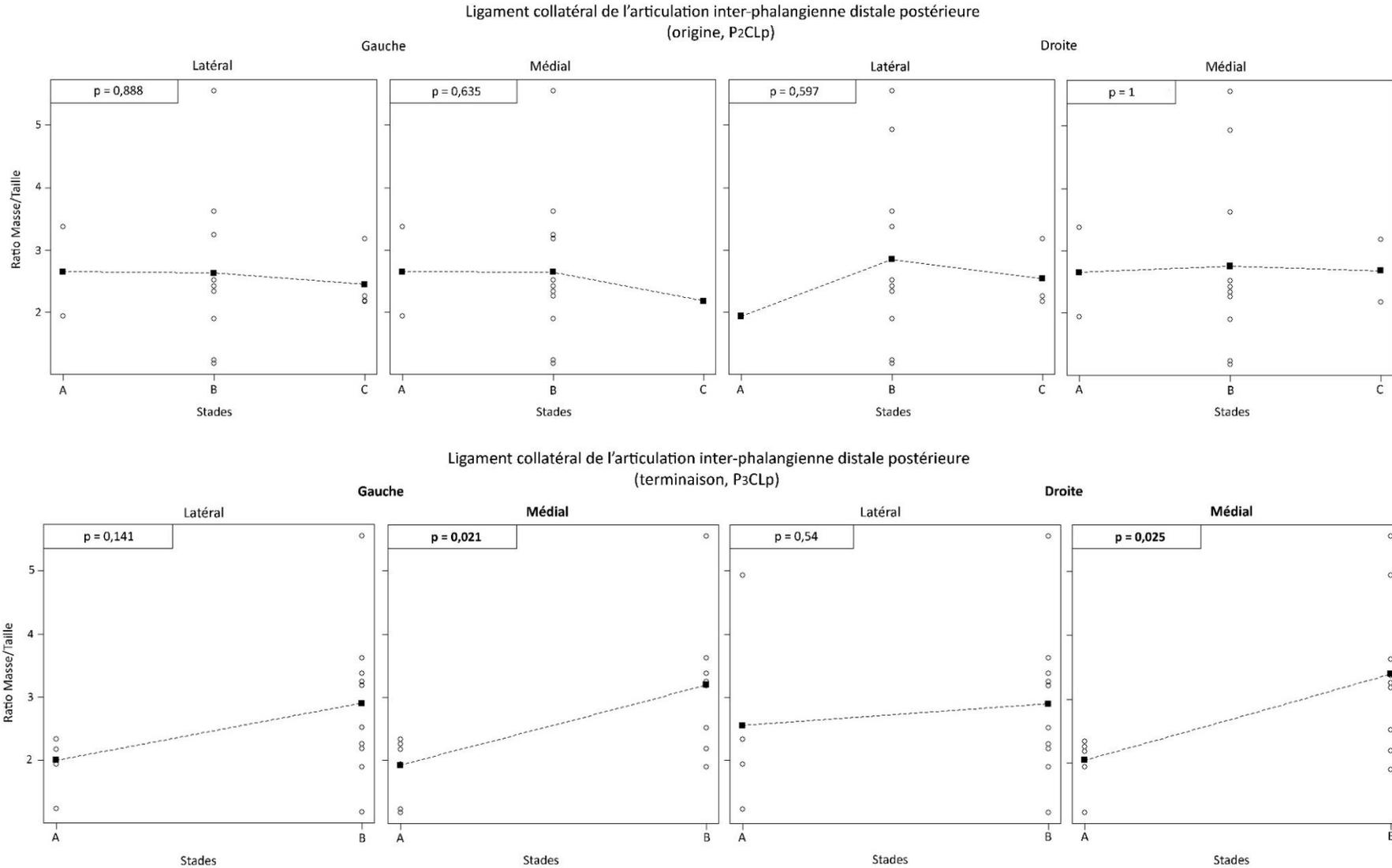


Figure 71 : Enthèses fibrocartilagineuses (7/7) - Correspondance entre le ratio Masse/Taille moyen et les stades de cotation pour chaque enthèse (carrés noirs). Les enthèses présentant des différences statistiquement significatives sont indiquées en gras ($p < 0,05$, test de Kruskal-Wallis).

Les cercles figurent les valeurs des ratios Masse/Taille de chaque spécimen.

Certaines enthèses font montre d'une augmentation du ratio Masse/Taille moyen entre les stades A et B puis d'une diminution de celui-ci entre B et C (figure 71). Ces variations sont, d'après le test de Kruskal-Wallis, significatives pour l'origine du *M. biceps brachii* sur la scapula (SBB G, $p \approx 0,019$; SBB D, $p \approx 0,028$). Ces observations indiqueraient, pour les sites concernés, une relation discontinue entre les proportions corporelles des équidés et le degré de développement des changements enthésiques : les individus présentant une hauteur au garrot et/ou une masse élevées seraient les plus à même de développer des lésions enthésiques moyennes (stade B) tandis que les enthèses saines et fortement lésées (stades A et C) seraient majoritaires chez les spécimens dont les proportions corporelles sont plus faibles. Pour trois zones d'insertion, le ratio Masse/Taille moyen diminue entre les deux premiers stades et s'accroît entre les scores B et C (terminaison du *M. biceps brachii*, RBB D et G ; ligament collatéral du coude droit sur l'humérus, HCL D) : les modifications moyennes se développeraieent préférentiellement chez les animaux de masse et/ou de taille faibles tandis que les équidés plus grands/lourds arboreraieent une fréquence plus importante soit d'enthèses saines (stade A) soit d'enthèses fortement modifiées (stade C).

Ces observations peuvent cependant être nuancées par les effectifs composant chaque stade de cotation. En effet, certains scores sont sous-représentés et enregistrés chez un ou deux individus (cas du stade C pour le muscle *biceps brachii*, SBB et RBB ; ligament collatéral du coude droit, HCL D, *M. ulnaris lateralis*, HUL ; cas du stade A pour l'origine du ligament collatéral latéral sur la phalange intermédiaire gauche, P₂CLa lat G ou du ligament médial sur cette même phalange, P₂CLa méd).

Enfin, l'observation de modifications enthésiques semble peu impactée par les variations des proportions corporelles pour certaines zones d'insertion, le ratio Masse/Taille moyen variant peu entre les stades A, B et C (e.g. *M. subscapularis* gauche, HSC G ; *M. triceps brachii* droit, UTB D ou *M. iliopsoas* gauche, FIP G).

b. Enthèses fibreuses.

Lorsque l'on considère l'ensemble des insertions fibreuses, l'enregistrement de changements enthésiques correspond à une augmentation progressive du ratio Masse/Taille moyen (figure 72). L'absence de modification est associée à un rapport moyen de 2,41 (stade A) tandis que la présence de changements enthésiques importants correspond à un ratio s'élevant à 2,88 (stade C). Comme pour les enthèses fibrocartilagineuses, des variations sont cependant observables en fonction de la zone d'insertion considérée (figure 73).

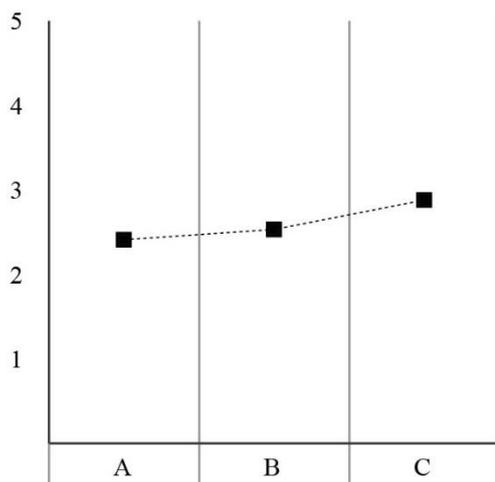


Figure 72 : Enthèses fibreuses -
Correspondance entre stades de cotation
(en abscisses) et le ratio Masse/Taille
moyen (en ordonnées).

L'augmentation de la gravité des lésions observées est associée à un accroissement de la masse corporelle et/ou de la taille pour les insertions des ligaments palmaires antérieurs (P₁PMa), plantaires médiaux (P₁PMp méd) ainsi que la terminaison du *M. gluteus superficialis* sur le fémur (FFS) (figure 73). Ces différences sont peu marquées entre les deux premiers stades, l'accroissement étant bien plus net entre les stades B et C. Le test de Kruskal-Wallis indique de plus que cette relation est statistiquement significative pour les insertions des ligaments palmaires sur la phalange proximale antérieure, avec des p-valeurs comprises entre 0,004 et 0,035.

L'insertion droite du ligament sésamoïdien distal antérieur (P₁SDa D) a enregistré des enthèses moyennement et fortement lésées chez les équidés les plus légers/petits de l'échantillon alors que le stade A est associé aux animaux dont les proportions corporelles sont plus importantes. Pour cette zone d'insertion, ceci indiquerait que la sévérité des atteintes enthésiques serait associée à une diminution du rapport moyen Masse/Taille.

On note une baisse du ratio moyen entre les stades A et B puis son augmentation entre les stades B et C pour trois insertions. Cette tendance est nette pour les *Mm. teres major/latissimus dorsi* (HRD) alors qu'elle est moins accentuée pour le ligament plantaire latéral droit (P₁PMp lat D) (figure 73). Tout comme pour les enthèses fibrocartilagineuses, des effectifs inégaux selon les stades considérés pourraient être à l'origine de ces variations avec, ici, une sous-représentation du stade C.

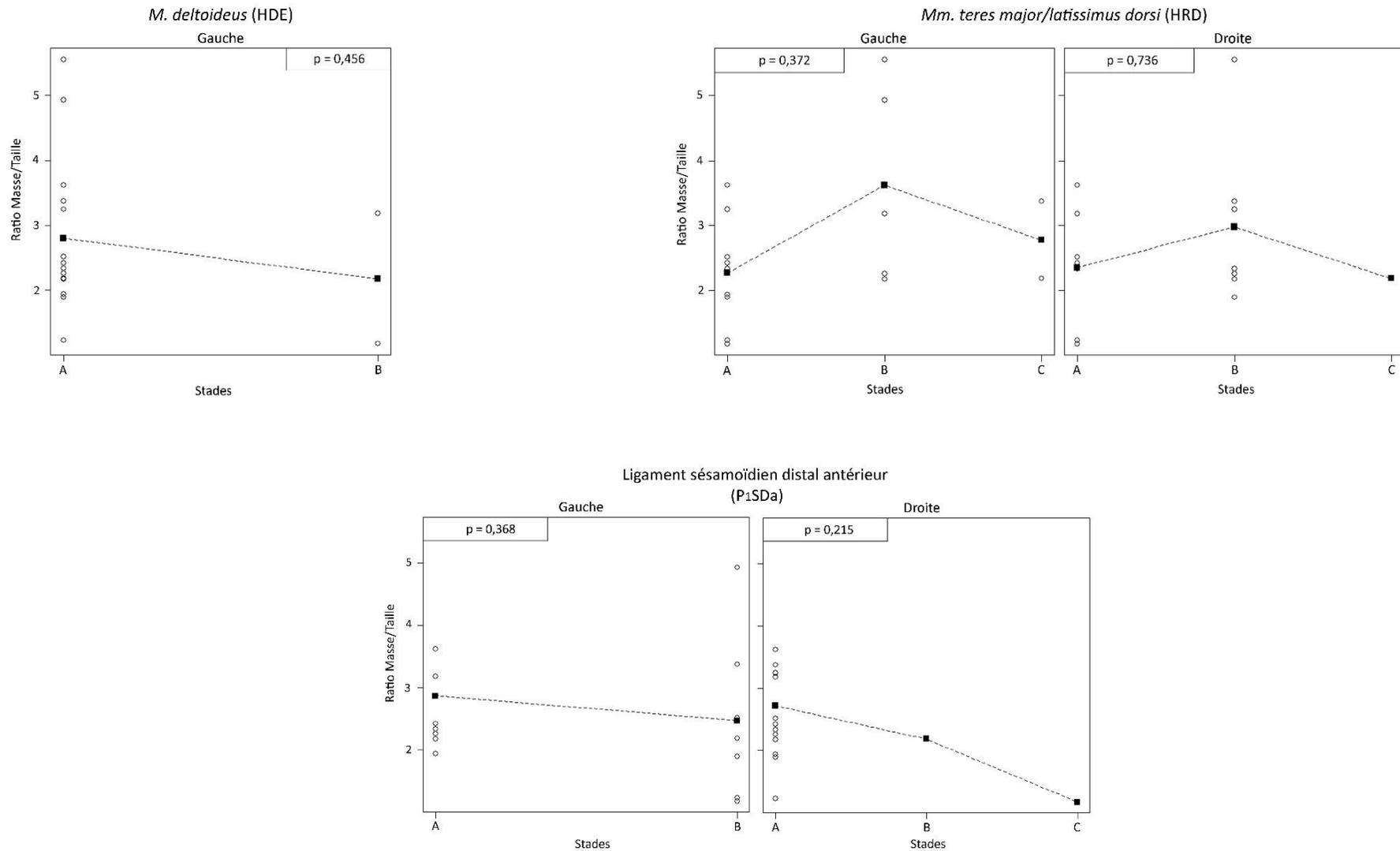


Figure 73 : Enthèses fibreuses (1/3) - Correspondance entre le ratio Masse/Taille moyen et les stades de cotation pour chaque enthèse (carrés noirs). Les enthèses présentant des différences statistiquement significatives sont indiquées en gras ($p < 0,05$, test de Kruskal-Wallis).

Les cercles figurent les valeurs des ratios Masse/Taille de chaque spécimen.

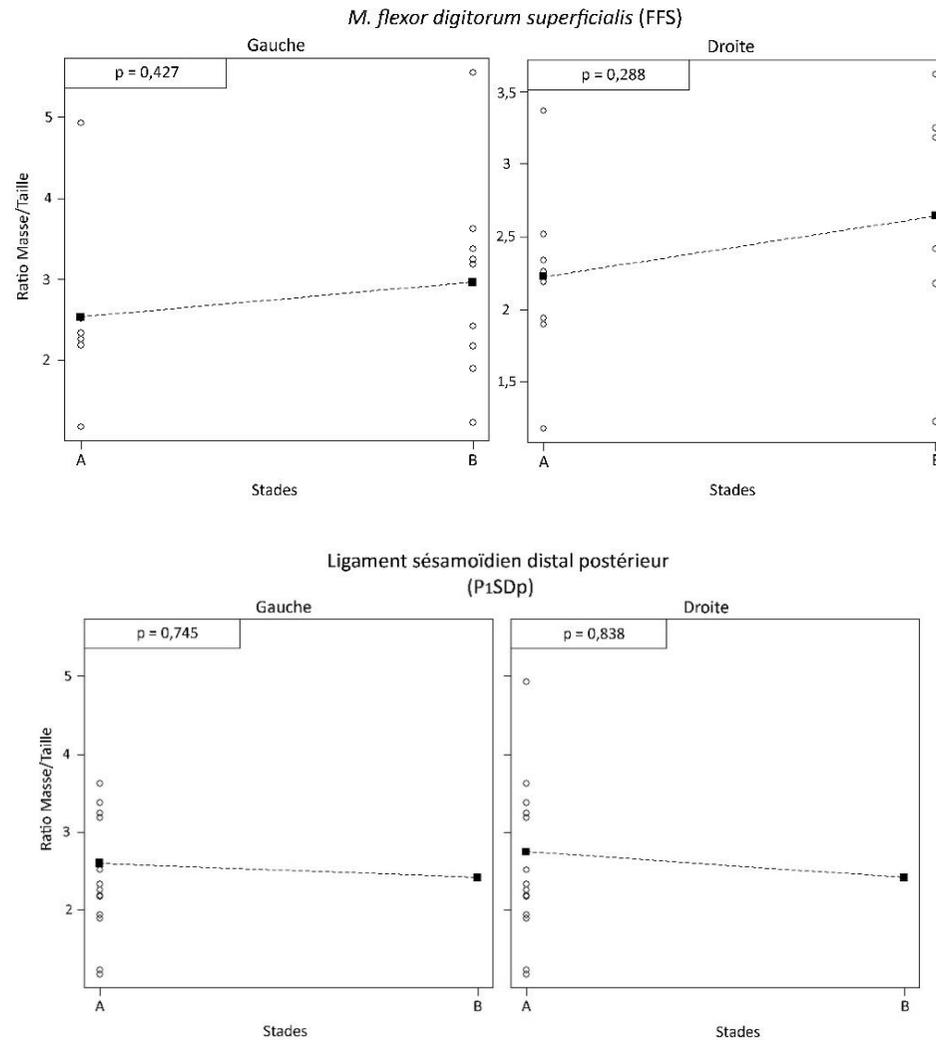


Figure 73 : Enthèses fibreuses (2/3) - Correspondance entre le ratio Masse/Taille moyen et les stades de cotation pour chaque enthèse (carrés noirs). Les enthèses présentant des différences statistiquement significatives sont indiquées en gras ($p < 0,05$, test de Kruskal-Wallis).

Les cercles figurent les valeurs des ratios Masse/Taille de chaque spécimen.

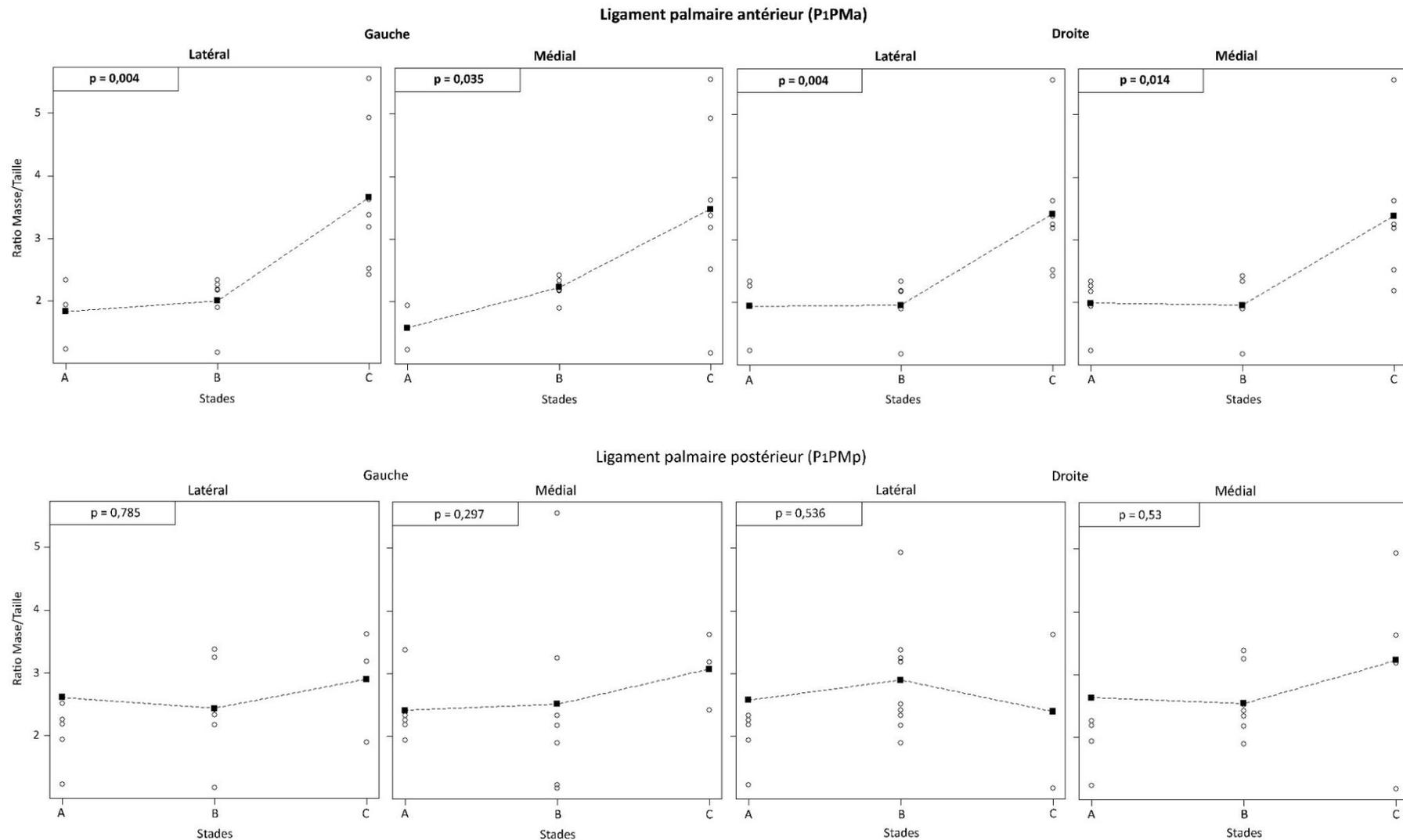


Figure 73 : Enthèses fibreuses (3/3) - Correspondance entre le ratio Masse/Taille moyen et les stades de cotation pour chaque enthèse (carrés noirs). Les enthèses présentant des différences statistiquement significatives sont indiquées en gras ($p < 0,05$, test de Kruskal-Wallis).

Les cercles figurent les valeurs des ratios Masse/Taille de chaque spécimen.

Pour terminer, précisons que les insertions des ligaments sésamoïdiens distaux antérieur (P₁SDa G) et postérieur (P₁SDp G) gauches semblent très peu impactées par les variations des proportions corporelles chez les équidés (figure 73) : les rapports Masse/Taille moyens associés au stade A sont respectivement égaux à 2,87 et 2,60 alors que ceux associés au stade B sont respectivement de 2,72 et 2,42 (annexe 15).

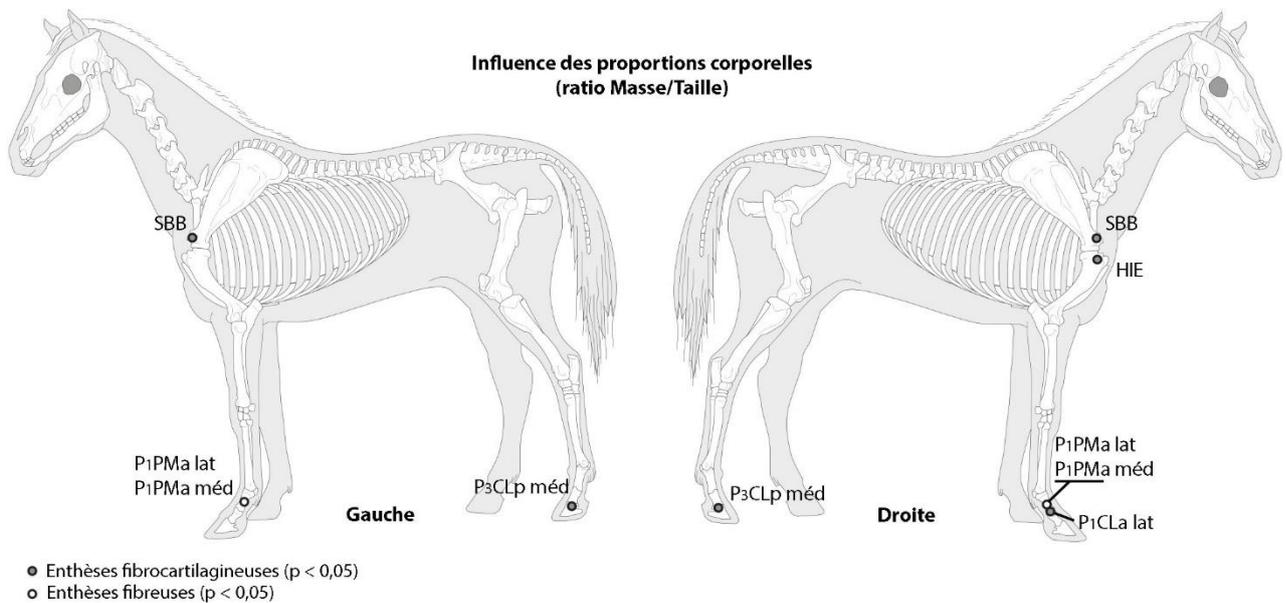


Figure 74 : Localisation des enthèses ayant révélé des différences statistiquement significatives en fonction des proportions corporelles.

Pour résumer, dix zones d'insertion font montre de différences statistiquement significatives d'après le test de Kruskal-Wallis (figure 74). La majorité d'entre elles sont localisées sur les membres antérieurs. Sont concernées l'origine du *M. biceps brachii* sur les scapulas gauche et droite (SBB G et D), l'insertion du *M. infraspinatus* sur la crête de l'humérus droit (HIE D) ainsi que les enthèses phalangiennes des ligaments palmaires gauches et droits (P₁PMA lat et méd) et du ligament collatéral latéral sur la phalange proximale droite (P₁CLa lat D). Les insertions gauche et droite du ligament collatéral médial sur la phalange distale sont les seules des membres postérieurs à avoir révélé une p-valeur inférieure à 0,05 (P₃CLp méd G et D).

Dans cette première partie, il a été mis en évidence que différents paramètres non liés à l'activité (âge au décès, sexe, habitat, proportions corporelles) peuvent intervenir dans le développement de changements enthésiques chez les équidés.

La seconde partie de ce chapitre s'attache à comparer les catégories « Sans activité », « Monte » et « Traction » composant notre échantillon de référence (cf. chapitre IV). On effectuera dans un premier temps une analyse descriptive en observant la répartition des stades de cotation par enthèse ainsi que le mode et la médiane qui y sont associés pour chaque catégorie d'équidés. L'application de tests statistiques viendra compléter cette analyse en comparant (1) les catégories « Sans activité »-« Monte »-« Traction » ainsi que (2) les groupes « Monte »-« Traction ».

On s'intéressera ensuite à la présence d'éventuelle asymétries dans le développement d'altérations au niveau des zones d'insertion ligamentaires et tendineuses (gauche/droite, antérieure/postérieure, latérale/médiale).

Ce chapitre se clôturera par un essai de classification de ces trois catégories par le calcul de Mesures Moyennes de Divergence (ou MMD).

III. INFLUENCE DU PARAMÈTRE « ACTIVITÉS ».

1. Distinction « Sans activité » vs « Activités » : cas des enthèses fibrocartilagineuses.

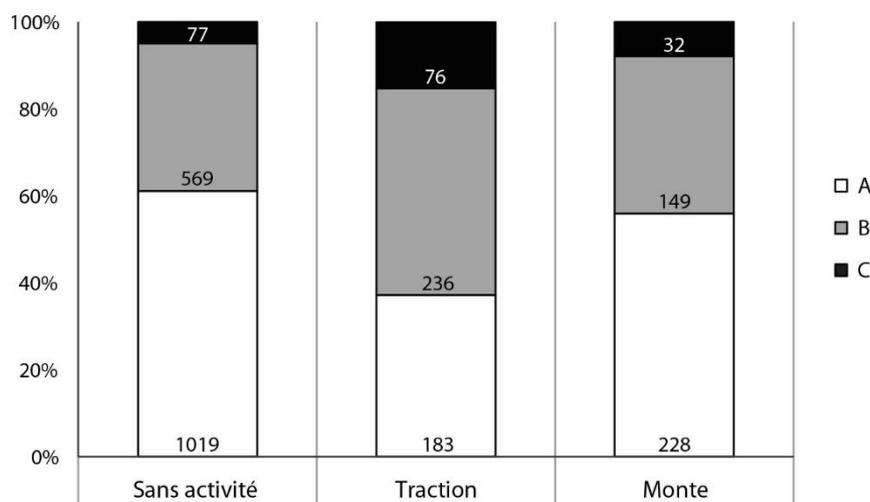


Figure 75 : Enthèses fibrocartilagineuses - Répartition des stades A, B et C selon la catégorie d'équidés.

Les équidés utilisés par l'Homme développent davantage de changements enthésiques que les animaux exempts d'activité (figure 75). La catégorie « Traction » se distingue nettement en affichant 62,8% d'enthèses fibrocartilagineuses lésées. Les chevaux utilisés comme montures et les équidés sans activité ont enregistré des fréquences inférieures qui s'élèvent respectivement à 44,1% et 38,9 % d'insertions altérées. Les enthèses enregistrées comme fortement modifiées sont deux à trois fois plus nombreuses dans la catégorie « Traction », avec une proportion de 15,2%, alors qu'elles se limitent à 7,9% des cotations pour les chevaux du groupe « Monte » et 4,9% dans le groupe « Sans activité ».

a. Analyse descriptive.

i. Groupe « Sans activité ».

Le tableau 22 montre que le stade A est fréquemment attribué chez les équidés exempts d'activité (35 enthèses sur les 54 étudiées). Le stade B a souvent été enregistré au niveau des insertions localisées sur les phalanges intermédiaires (P₂CLa, P₂CLp) ainsi que certaines insertions du membre postérieur à savoir l'origine du *M. gluteus profundus* gauche (CFEP G), les terminaisons gauche et droite de ce même muscle (FFEP), les insertions du *M. gluteus accessorius* (FFA G et D), du *M. ilioisposas* gauche (FIP G) et du *M. gastrocnemius* gauche (FGC G). Entre 43,3% (FFEP G) et 70,4% (P₂CLp méd G) de ces enthèses ont été considérées comme moyennement altérées. Le stade A est nettement sous-représenté au niveau des ligaments collatéraux médial sur la phalange intermédiaire antérieure droite (P₂CLa méd D, 13,8%) et latéral sur la seconde phalange postérieure gauche (P₂CLp lat G, 15,4%) indiquant la rareté des insertions saines.

Les enthèses fortement lésées sont rarement représentées et sont généralement associées à des proportions inférieures à 10% (e.g. origine du *M. biceps brachii* gauche, SBB G ; *M. gastrocnemius*, FGC). Les insertions des *M. gluteus profundus* sur le fémur (FFEP) et du ligament collatéral sur la deuxième phalange (P₂CLa, P₂CLp) s'en distinguent en affichant des fréquences de stade C comprises entre 13,3% et 38,5%.

Le mode et/ou la médiane renvoient des valeurs multiples pour quatre zones d'insertions. Ces résultats indiquent que les insertions du ligament collatéral médial gauche et latéral droit sur la phalange distale antérieure (P₃CLa méd G et lat D), du *M. gluteus profundus* sur le coxal droit (CFEP D) ainsi que du *M. gastrocnemius droit* (FGC D) ont enregistré autant d'enthèses saines (stade A) qu'altérées (stades B et/ou C).

SANS ACTIVITÉ (1/2)						
Enthèses	<i>n</i>	% A	% B	% C	Mode	Médiane
SBB G	33	60,6%	36,4%	3%	A	A
SBB D	33	60,6%	39,4%	-	A	A
RBB G	30	76,7%	20%	3,3%	A	A
RBB D	34	79,4%	20,6%	-	A	A
HSC G	34	55,9%	44,1%	-	A	A
HSC D	33	60,6%	39,4%	-	A	A
HIE G	33	75,8%	24,2%	-	A	A
HIE D	33	81,8%	18,2%	-	A	A
HIEc G	32	75%	25%		A	A
HIEc D	31	77,4%	22,6%		A	A
HCL G	34	91,2%	5,9%	2,9%	A	A
HCL D	33	87,9%	12,1%	-	A	A
HFD G	33	78,8%	21,2%	-	A	A
HFD D	33	66,7%	33,3%	-	A	A
HUL G	32	71,9%	28,1%	-	A	A
HUL D	30	53,3%	46,7%	-	A	A
UTB G	31	83,9%	16,1%		A	A
UTB D	33	72,7%	27,3%		A	A
P₁CLa lat G	32	81,3%	18,8%	-	A	A
P₁CLa méd G	32	84,4%	15,6%	-	A	A
P₁CLa lat D	33	81,8%	18,2%	-	A	A
P₁CLa méd D	33	90,9%	9,1%	-	A	A
P₂CLa lat G	28	25%	60,7%	14,3%	B	B
P₂CLa méd G	28	14,3%	64,3%	21,4%	B	B
P₂CLa lat D	30	26,7%	56,7%	16,6%	B	B
P₂CLa méd D	29	13,8%	55,2%	31%	B	B
P₃CLa lat G	26	53,8%	46,2%	-	A	A
P₃CLa méd G	26	50%	50%	-	A/B	A/B
P₃CLa lat D	28	50%	50%	-	A/B	A/B
P₃CLa méd D	28	53,6%	46,4%	-	A	A

Tableau 22 : Groupe « Sans activité », enthèses fibrocartilagineuses (1/2) - Fréquences des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse.

SANS ACTIVITÉ (2/2)						
Enthèses	<i>n</i>	% A	% B	% C	Mode	Médiane
CFEP G	29	44,8%	55,2%	-	B	B
CFEP D	30	50%	46,7%	3,3%	A	A/B
FFEP G	29	31%	44,8%	24,1%	B	B
FFEP D	32	37,5%	40,6%	21,9%	B	B
FFA G	32	46,9%	50%	3,1%	B	B
FFA D	33	36,4%	60,6%	3%	B	B
FIP G	31	45,2%	51,6%	3,2%	B	B
FIP D	31	51,6%	45,2%	3,2%	A	A
FGC G	34	44,1%	50%	5,9%	B	B
FGC D	34	50%	41,2%	8,8%	A	A/B
TPL G	32	90,6%	9,4%	-	A	A
TPL D	33	84,8%	15,2%	-	A	A
P ₁ CLp lat G	32	90,6%	9,4%	-	A	A
P ₁ CLp méd G	32	96,9%	3,1%	-	A	A
P ₁ CLp lat D	33	93,9%	6,1%	-	A	A
P ₁ CLp méd D	33	84,8%	15,2%	-	A	A
P ₂ CLp lat G	26	15,4%	46,2%	38,5%	B	B
P ₂ CLp méd G	26	15,4%	69,2%	15,4%	B	B
P ₂ CLp lat D	30	16,7%	56,7%	26,7%	B	B
P ₂ CLp méd D	30	20%	66,7%	13,3%	B	B
P ₃ CLp lat G	25	60%	40%	-	A	A
P ₃ CLp méd G	26	76,9%	23,1%	-	A	A
P ₃ CLp lat D	26	65,4%	34,6%	-	A	A
P ₃ CLp méd D	26	65,4%	34,6%	-	A	A

Tableau 22 : Groupe « Sans activité », enthèses fibrocartilagineuses (2/2) - Fréquences des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse.

ii. Groupe « Monte ».

Le tableau 23 donne la répartition des stades de cotation ainsi que le mode et la médiane pour chaque enthèse observée dans la catégorie « Monte ». Celui-ci révèle que l'identification d'enthèses altérées (stades B+C) est plus fréquente que dans la catégorie « Sans activité ».

MONTE (1/2)						
Enthèses	<i>n</i>	% A	% B	% C	Mode	Médiane
SBB G	8	25%	75%	-	B	B
SBB D	8	50%	50%	-	A/B	A/B
RBB G	8	37,5%	50%	12,5%	B	B
RBB D	8	37,5%	37,5%	25%	A/B	B
HSC G	6	83,3%	16,7%	-	A	A
HSC D	7	-	100%	-	B	B
HIE G	8	100%	-	-	A	A
HIE D	7	100%	-	-	A	A
HIEc G	8	75%	25%		A	A
HIEc D	7	71,4%	28,6%		A	A
HCL G	8	75%	-	25%	A	A
HCL D	8	75%	-	25%	A	A
HFD G	7	85,7%	14,3%	-	A	A
HFD D	7	42,9%	57,1%	-	B	B
HUL G	7	57,1%	42,9%	-	A	A
HUL D	7	57,1%	42,9%	-	A	A
UTB G	8	50%	50%		A/B	A/B
UTB D	8	75%	25%		A	A
P₁CLa lat G	8	100%	-	-	A	A
P₁CLa méd G	8	100%	-	-	A	A
P₁CLa lat D	8	75%	25%	-	A	A
P₁CLa méd D	8	75%	25%	-	A	A
P₂CLa lat G	8	12,5%	62,5%	25%	B	B
P₂CLa méd G	8	-	75%	25%	B	B
P₂CLa lat D	7	-	71,4%	28,6%	B	B
P₂CLa méd D	7	-	57,1%	42,9%	B	B
P₃CLa lat G	7	28,6%	71,4%	-	B	B
P₃CLa méd G	7	28,6%	71,4%	-	B	B
P₃CLa lat D	7	42,9%	57,1%	-	B	B
P₃CLa méd D	7	42,9%	57,1%	-	B	B

Tableau 23 : Groupe « Monte », enthèses fibrocartilagineuses (1/2) - Fréquences des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse.

MONTE (2/2)						
Enthèses	<i>n</i>	% A	% B	% C	Mode	Médiane
CFEP G	6	37,5%	50%	12,5%	B	B
CFEP D	6	37,5%	25%	37,5%	A/C	B
FFEP G	7	14,3%	71,4%	14,3%	B	B
FFEP D	7	28,6%	57,1%	14,3%	B	B
FFA G	8	75%	25%	-	A	A
FFA D	8	75%	25%	-	A	A
FIP G	8	87,5%	12,5%	-	A	A
FIP D	8	75%	25%	-	A	A
FGC G	8	75%	12,5%	12,5%	A	A
FGC D	8	62,5%	25%	12,5%	A	A
TPL G	8	87,5%	12,5%	-	A	A
TPL D	7	100%	-	-	A	A
P ₁ CLp lat G	8	87,5%	12,5%	-	A	A
P ₁ CLp méd G	8	87,5%	12,5%	-	A	A
P ₁ CLp lat D	8	75%	25%	-	A	A
P ₁ CLp méd D	8	75%	25%	-	A	A
P ₂ CLp lat G	8	25%	50%	25%	B	B
P ₂ CLp méd G	8	37,5%	50%	12,5%	B	B
P ₂ CLp lat D	8	25%	50%	25%	B	B
P ₂ CLp méd D	8	25%	50%	25%	B	B
P ₃ CLp lat G	7	42,9%	57,1%	-	B	B
P ₃ CLp méd G	7	42,9%	57,1%	-	B	B
P ₃ CLp lat D	7	42,9%	57,1%	-	B	B
P ₃ CLp méd D	7	57,1%	42,9%	-	A	A

Tableau 23 : Groupe « Monte », enthèses fibrocartilagineuses (2/2) - Fréquences des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse.

27 enthèses ont été considérées comme majoritairement saines en exposant des fréquences de stade A comprises entre 57,1% et 100%. Ces dernières se situent aussi bien au niveau du membre antérieur (*M. subscapularis* gauche, HSC G ; *M. infraspinatus*, HIE, HIEc ; *M. ulnaris lateralis*, HUL ; ligament collatéral latéral du coude ; HCL ; *Mm. flexor digitorum* gauche, HFD G ; *M. triceps brachii* droit, UTB D ; ligaments collatéraux sur la première phalange antérieure, P₁CLa) que du membre postérieur (*M. gluteus accessorius*, FFA ; *M. iliopsoas*, FIP ; *M. gastrocnemius*, FGC ; ligament patellaire latéral, TPL ; ligaments

collatéraux sur la première phalange postérieure, P₁CLp ; ligament collatéral médial sur la phalange distale postérieure droite, P₃CLp méd D).

Mode et médiane se réfèrent au stade B pour 22 enthèses localisées au niveau des membres antérieur (*M. biceps brachii* gauche, SBB et RBB G ; *M. subscapularis* droit, HSC D ; *Mm. flexor digitorum* droits, HFD D ; ligaments collatéraux de l'articulation interphalangienne distale, P₂CLa et P₃CLa) et postérieur (origine du *M. gluteus profundus* gauche, CFEP G ; terminaison du ce même muscle, FFEP ; ligaments collatéraux de l'articulation interphalangienne distale, P₂CLp et P₃CLp à l'exception de P₃CLp méd D). Les zones d'insertions moyennement lésées ont été enregistrées dans 50% à 100% des cas.

Enfin, les insertions fortement altérées (stade C) demeurent minoritaires à l'exception de l'origine du *M. gluteus profundus* droit (CFEP D) qui a enregistré autant d'enthèses non altérées que d'atteintes sévères (stades A et C, 37,5% chacun).

Le mode, et dans une moindre mesure la médiane, affichent un résultat multiple pour trois zones d'insertion. Ils témoignent d'une fréquence d'enregistrement équivalente des stades A et B pour les insertions du *M. biceps brachii* droit (SBB D, RBB D) et de la terminaison du *M. triceps brachii* gauche (UTB G).

iii. Groupe « Traction ».

Le tableau 24 présente la distribution des stades de cotation ainsi que le mode et la médiane associés à chaque enthèse fibrocartilagineuse chez les équidés de la catégorie « Traction ». Tout comme pour les chevaux du groupe « Monte », les spécimens utilisés pour des activités de trait sont porteurs d'une proportion de changements enthésiques plus importante que celle observée pour la catégorie « Sans activité » (tableau 22).

TRACTION (1/2)						
Enthèses	<i>n</i>	% A	% B	% C	Mode	Médiane
SBB G	9	55,6%	22,2%	22,2%	A	A
SBB D	9	44,4%	33,3%	22,2%	A	A
RBB G	10	40%	60%	-	B	B
RBB D	9	33,3%	55,6%	11,1%	B	B
HSC G	9	33,3%	44,4%	22,2%	B	B
HSC D	8	37,5%	37,5%	25%	A/B	A/B
HIE G	9	77,8%	22,2%	-	A	A
HIE D	9	66,7%	33,3%	-	A	A
HIEc G	8	62,5%	37,5%		A	A
HIEc D	9	55,6%	44,4%		A	A
HCL G	10	60%	40%	-	A	A
HCL D	10	50%	50%	-	A/B	A/B
HFD G	9	44,4%	55,6%	-	B	B
HFD D	9	55,6%	44,4%	-	A	A
HUL G	10	30%	60%	10%	B	B
HUL D	10	30%	50%	20%	B	B
UTB G	10	50%	50%		A/B	A/B
UTB D	9	44,4%	55,6%		B	B
P ₁ CLa lat G	9	33,3%	44,4%	22,2%	B	B
P ₁ CLa méd G	9	22,2%	66,7%	11,1%	B	B
P ₁ CLa lat D	10	40%	40%	20%	A/B	A/B
P ₁ CLa méd D	10	30%	60%	10%	B	B
P ₂ CLa lat G	10	-	30%	70%	C	C
P ₂ CLa méd G	10	-	30%	70%	C	C
P ₂ CLa lat D	10	-	40%	60%	C	C
P ₂ CLa méd D	10	-	30%	70%	C	C
P ₃ CLa lat G	7	-	100%	-	B	B
P ₃ CLa méd G	7	14,3%	85,7%	-	B	B
P ₃ CLa lat D	6	-	100%	-	B	B
P ₃ CLa méd D	7	14,3%	85,7%	-	B	B

Tableau 24 : Groupe « Traction », enthèses fibrocartilagineuses (1/2) - Fréquences des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse.

TRACTION (2/2)						
Enthèses	<i>n</i>	% A	% B	% C	Mode	Médiane
CFEP G	9	11,1%	55,6%	33,3%	B	B
CFEP D	9	11,1%	55,6%	33,3%	B	B
FFEP G	8	37,5%	25%	37,5%	A/C	B
FFEP D	8	25%	25%	50%	C	B/C
FFA G	10	30%	70%	-	B	B
FFA D	10	20%	80%	-	B	B
FIP G	9	66,7%	33,3%	-	A	A
FIP D	9	66,7%	33,3%	-	A	A
FGC G	10	60%	30%	10%	A	A
FGC D	10	60%	30%	10%	A	A
TPL G	10	90%	10%	-	A	A
TPL D	9	100%	-	-	A	A
P ₁ CLp lat G	10	50%	30%	20%	A	A/B
P ₁ CLp méd G	10	40%	40%	20%	A/B	B
P ₁ CLp lat D	10	60%	20%	20%	A	A
P ₁ CLp méd D	10	60%	20%	20%	A	A
P ₂ CLp lat G	10	-	80%	20%	B	B
P ₂ CLp méd G	9	-	77,8%	22,2%	B	B
P ₂ CLp lat D	9	-	77,8%	22,2%	B	B
P ₂ CLp méd D	9	-	77,8%	22,2%	B	B
P ₃ CLp lat G	9	33,3%	66,7%	-	B	B
P ₃ CLp méd G	9	44,4%	55,6%	-	B	B
P ₃ CLp lat D	9	33,3%	66,7%	-	B	B
P ₃ CLp méd D	8	37,5%	62,5%	-	B	B

Tableau 24 : Groupe « Traction », enthèses fibrocartilagineuses (2/2) - Fréquences des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse.

16 zones d'insertion ont été considérées comme majoritairement exemptes de modifications, le stade A représentant 44,4% (origine du *M. biceps brachii* droit, SBB D) à 100% (lig. patellaire latéral droit, TPL D) des scores attribués. Grand nombre des insertions concernées se situe notamment sur les os longs des membres antérieur (*e.g.* *M. infraspinatus*, HIE et HIEc ; *Mm. flexor digitorum* droits, HFD D) et postérieur (*M. iliopsoas*, FIP ; *M. gastrocnemius*, FGC). Les insertions médiale et latérale du ligament collatéral sur la phalange proximale postérieure droite sont les seules enthèses phalangiennes à être associées à un taux majoritaire d'enthèses saines (P₁CLp méd et lat D).

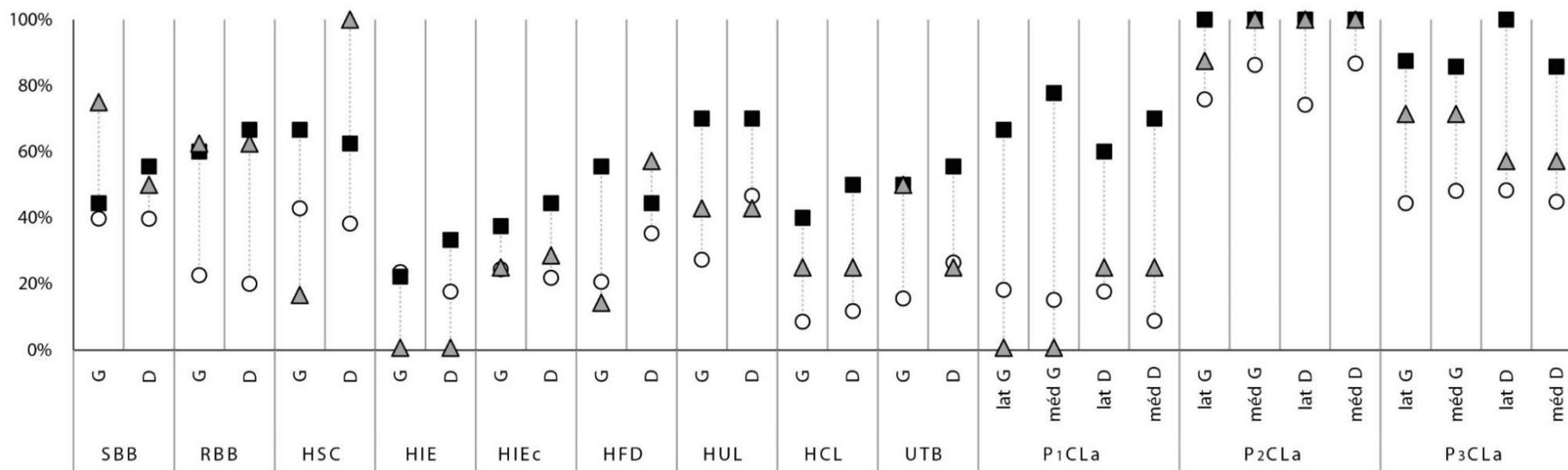
Les proportions d'enthèses modifiées sont importantes pour une trentaine de zones d'insertion (tableau 24). Le mode et la médiane indiquent en effet que les modifications moyennes sont majoritaires pour 26 d'entre elles avec des fréquences d'attribution du stade B variant de 44,4% (*M. subscapularis* gauche, HSC G ; ligament collatéral latéral de l'articulation interphalangienne proximale antérieure gauche, P₁CLa lat G) à 100% (terminaison du ligament collatéral latéral de l'articulation interphalangienne distale antérieure, P₃CLa lat).

Il est intéressant de noter que 29 enthèses ont enregistré des modifications importantes, la proportion de stade C variant de 10% (*M. ulnaris lateralis* gauche, HUL G ; *M. gastrocnemius*, FGC) à 70% (origine du ligament collatéral latéral de l'articulation interphalangienne distale antérieure gauche, P₂CLa G). Contrairement aux catégories « Sans activité » et « Monte », le stade C a été majoritairement attribué au niveau des origines du ligament collatéral sur la phalange intermédiaire antérieure (P₂CLa, 60-70%) ainsi que l'insertion du *M. gluteus profundus* sur le fémur droit (FFEP D, 50%).

Les mode et médiane renvoient des valeurs multiples au niveau de 8 zones d'insertion (tableau 24). Les insertions du *M. subscapularis* et du ligament collatéral latéral du coude sur l'humérus droit (respectivement HSC D et HCL D), du *M. triceps brachii* gauche (UTB G), des ligaments collatéraux latéral sur la phalange proximale antérieure droite (P₁CLa lat D) ainsi que médial sur la phalange proximale postérieure gauche (P₁CLp méd G) présentent tout autant d'enthèses exemptes de modifications (stade A) que porteuses d'altérations moyennes (stade B).

La terminaison du *M. gluteus profundus* gauche (FFEP G) se distingue de cette liste en affichant une quantité équivalente d'enthèses saines et d'insertions fortement remodelée (respectivement 37,5% de stades A et C, mode = A/C).

Ceinture + membre antérieurs



Ceinture + membre postérieurs

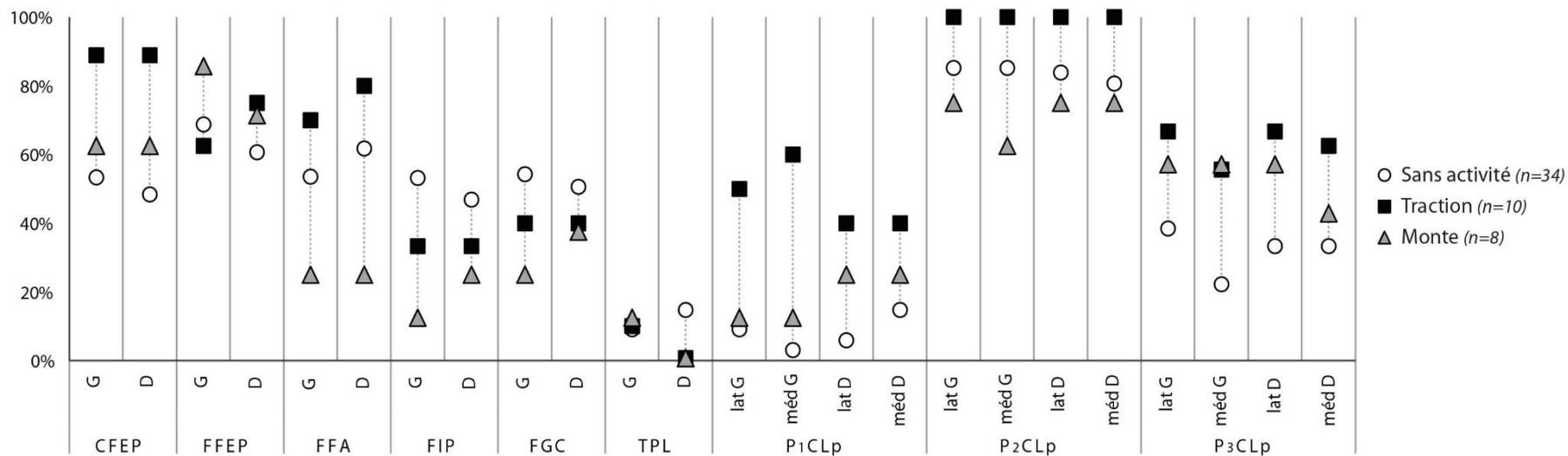


Figure 76 : Entèses fibrocartilagineuses - Fréquence des changements enthésiques par enthèse selon la catégorie d'équidés.

b. Analyses statistiques.

i. Comparaison « Sans activité » vs « Monte » vs « Traction ».

Les résultats du test de Kruskal-Wallis visant à comparer les catégories « Sans activité », « Monte » et « Traction » sont présentés en annexe 16.

Dans la majeure partie des cas, les résultats obtenus pour chaque enthèse indiquent que les spécimens exploités par l'Homme, et notamment les équidés du groupe « Traction », sont associés aux fréquences de modifications enthésiques les plus importantes des trois catégories (figure 76). La distinction entre équidés exempts d'activité et animaux impliqués dans les activités de traction et de monte est statistiquement significative pour 14 zones d'insertion. Sont concernées l'origine du *M. biceps brachii* gauche (SBB G, $p \approx 0,04$), les enthèses des *M. subscapularis* droit (HSC D, $p \approx 0,01$), *M. ulnaris lateralis* gauche (HUL G, $p \approx 0,04$), ligament collatéral du coude droit (HCL D, $p \approx 0,045$), *M. triceps brachii* gauche (UTB G, $p \approx 0,04$), ligaments collatéraux sur les phalanges proximales antérieures (P₁CLa, $p \approx 0,02$ et $p < 0,01$) et postérieures (P₁CLp G, $p < 0,01$; P₁CLp lat D, $p \approx 0,02$) ainsi que ligament collatéral latéral gauche sur les phalanges antérieures intermédiaire (P₂CLa lat G, $p \approx 0,004$) et distale (P₃CLa lat G, $p \approx 0,03$).

Les chevaux exempts d'activité sont généralement associés à la proportion d'enthèses altérées la plus faible des trois groupes avec des valeurs comprises entre 3,1% (P₁CLp méd G) et 46,2% (P₃CLa lat G). Les insertions du ligament collatéral sur la première phalange antérieure gauche (P₁CLa lat et méd G) font tout de même exceptions : les équidés du groupe « Sans activité » semblent bien plus à même de développer des modifications (15,6%-18,8%) alors qu'elles sont inexistantes chez les chevaux de monte.

Montures et équidés non-utilisés par l'Homme présentent des fréquences de stades B et C proches pour les insertions des *M. ulnaris lateralis* gauche (HUL G, respectivement 42,9% et 28,1%), ligament collatéral latéral du coude droit (HCL D, 25% et 12,1%), ligament collatéral sur les phalanges proximale antérieure droite (P₁CLa D, 25% et 9,1-18,2%) et postérieure gauche (P₁CLp G, 12,5% et 3,1-9,4%) alors que celles-ci y sont égales ou supérieures à 50% pour les animaux de trait. En revanche, ces derniers sont porteurs d'autant d'enthèses lésées que les équidés inclus dans le groupe « Sans activité » pour l'origine *M. biceps brachii* gauche (SBB G, 36,4-44,4%).

L'insertion droite du *M. gluteus accessorius* sur le fémur (FFA D, $p \approx 0,055$) affiche une p-valeur proche de la significativité. Cette dernière est le siège d'une différence prononcée

entre équidés utilisés comme montures et ceux exempts d'activité. En effet, 63,6% de changements enthésiques ont été enregistrés dans le groupe « Sans activité ». Cette fréquence est certes moins importante que celle observée dans le cadre d'activité de traction (80%) mais largement supérieure comparée à la catégorie « Monte » (25%).

Si les différences mises en évidence ne sont pas statistiquement significatives, les tendances observées au niveau des zones d'insertion des *M. iliopsoas* (FIP), *M. gastrocnemius* (FGC) et ligament patellaire latéral gauche (TPL G) méritent d'être soulignées. En effet, les chevaux exempts d'activité semblent davantage sujets à y développer des modifications enthésiques et se sont vus attribuer une fréquence plus importante de stades B et C que les deux autres catégories.

Enfin, l'insertion du ligament patellaire latéral gauche sur le tibia (TPL G) ne donne pas la possibilité de distinguer les trois groupes d'équidés, les pourcentages d'altérations étant compris entre 9,1% et 12,5%.

ii. Comparaison « Monte » vs « Traction ».

L'annexe 17 regroupe les résultats du test U de Mann-Whitney pour chaque enthèse.

Certaines zones d'insertion ne permettent pas de discerner activités de monte et de traction, la répartition des stades attribués étant similaire entre les deux groupes : origine du *M. biceps brachii* droit (SBB D), terminaison de ce même muscle sur la tubérosité radiale (RBB), *M. ulnaris lateralis* gauche sur l'ulna (UTB G), ligaments collatéral médial gauche et collatéraux droits sur la seconde phalange antérieure (P₂CLa méd G ; P₂CLa D), terminaison du *M. gluteus profundus* sur le fémur droit (FFEP D), *M. iliopsoas* droit (FIP D), *M. gastrocnemius* droit (FGC D), ligament patellaire latéral (TPL), ligaments collatéraux gauches et latéral droit sur les phalanges distales postérieures (P₃CLp G ; P₃CLp lat D) (figure 76).

Les activités de traction se distinguent de l'utilisation des chevaux comme montures en exposant une fréquence d'atteintes plus importante pour la majeure partie des enthèses. Cependant, seules cinq d'entre elles révèlent des différences significatives après application du test U de Mann-Whitney : insertions du ligament collatéral du coude sur l'humérus (HCL G, $p \approx 0,018$; HCL D, $p \approx 0,01$), du ligament collatéral gauche sur la phalange proximale antérieure gauche (P₁CLa lat G, $p \approx 0,01$; P₁CLa méd G, $p < 0,01$) ainsi que du *M. gluteus accessorius* droit (FFA D, $p \approx 0,02$). L'écart enregistré entre les deux types d'activités est modéré au niveau

du ligament collatéral du coude sur les humérus gauche et droit (HCL G et D) : la catégorie « Traction » affiche respectivement 40% et 50% de modifications contre 25% chez les chevaux de monte. En revanche, les équidés impliqués dans les activités de trait se sont vus attribués plus de 60% de stades B et C pour les insertions des *M. gluteus accessorius* droit (FFA D) et des ligaments collatéraux sur la phalange proximale antérieure (P₁CLa). En comparaison, les chevaux de monte ne font montre d'aucune enthèse modifiée pour les ligaments collatéraux s'insérant sur la phalange proximale antérieure gauche (P₁CLa G) et de seulement 25% pour le *M. gluteus accesorius* droit (FFA D). Notons que l'insertion du ligament collatéral latéral gauche sur la phalange intermédiaire antérieure affiche une différence proche de la significativité (P₂CLa lat G, $p \approx 0,051$). Si les fréquences de modifications dépassent les 85% et sont proches pour les deux types d'activités, la dissemblance réside dans la quantité de stades B et C. En effet, la catégorie « Traction » présente un nombre plus important d'enthèses fortement lésées (7 scores C contre 3 B) que le groupe « Monte » (2 stades C contre 5 B).

De manière plus isolée, certaines zones d'insertion sont davantage altérées chez les chevaux de monte. Des différences significatives ont été relevées pour l'origine du *M. biceps brachii* sur la scapula gauche (SBB G, $p \approx 0,03$) et la terminaison du *M. subscapularis* droit (HSC D, $p \approx 0,02$). 75% des enthèses ont été considérées comme lésées dans la catégorie « Monte » contre 44,4% dans le groupe « Traction » pour SBB gauche. De même, la totalité des insertions HSC droites ont été cotées comme altérées chez les chevaux de monte (100%) contre 62,5% chez les équidés exploités dans le cadre d'activités de traction.

2. Distinction « Sans activité » vs « Activités » : cas des enthèses fibreuses.

Les zones d'insertions fibreuses des équidés appartenant aux catégories « Traction » et « Monte » semblent davantage sujettes aux altérations que celles des animaux exempts d'activité (figure 77). En effet, les deux premiers groupes exposent chacun 60,2% et 54,2% d'enthèses lésées contre 47,7% dans la catégorie « Sans activité ». Le taux d'attribution du stade B diffère peu quelle que soit la catégorie considérée, les proportions variant entre 34,1% et 9,7%. En revanche, les équidés ayant pratiqué une activité ont enregistré le double d'enthèses altérées par comparaison avec ceux non-utilisés par l'Homme (soit environ 20% contre 10,5%).

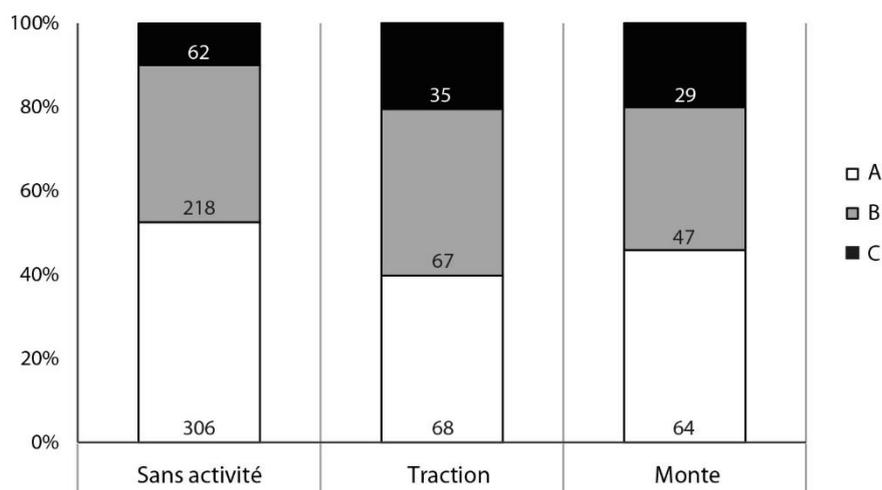


Figure 77 : Enthèses fibreuses - Répartition des stades A, B et C selon la catégorie d'équidés.

a. Analyse descriptive.

i. Groupe « Sans activité ».

SANS ACTIVITÉ						
Enthèses	<i>n</i>	% A	% B	% C	Mode	Médiane
HDE G	34	82,4%	14,7%	2,9%	A	A
HDE D	33	84,8%	12,1%	3%	A	A
HRD G	34	70,6%	29,4%	-	A	A
HRD D	33	63,6%	36,4%	-	A	A
P ₁ SDa G	32	43,8%	50%	6,3%	B	B
P ₁ SDa D	33	36,4%	54,5%	9,1%	B	B
P ₁ PMa lat G	32	15,6%	46,9%	37,5%	B	B
P ₁ PMa méd G	32	21,9%	50%	28,1%	B	B
P ₁ PMa lat D	33	18,2%	48,5%	33,3%	B	B
P ₁ PMa méd D	33	21,2%	48,5%	30,3%	B	B
FFS G	31	67,7%	32,3%		A	A
FFS D	31	74,2%	25,8%		A	A
P ₁ SDp G	32	75%	25	-	A	A
P ₁ SDp D	33	84,8%	12,1%	3%	A	A
P ₁ PMp lat G	32	56,3%	34,4%	9,4%	A	A
P ₁ PMp méd G	32	34,4%	59,4%	6,3%	B	B
P ₁ PMp lat D	33	54,5%	33,3%	12,1%	A	A
P ₁ PMp méd D	33	33,3%	57,6%	9,1%	B	B

Tableau 25 : Groupe « Sans activité », entèses fibreuses - Fréquences des stades de cotation, mode et médiane pour chaque entèse.

Le calcul du mode et de la médiane distingue deux groupes d'entèses (tableau 25).

Le stade A a été fréquemment accordé au niveau des enthèses des os longs (*M. deltoideus*, HDE ; *Mm. teres major et latissimus dorsi*, HRD ; *M. flexor digitorum superficialis*, FFS) ainsi que certaines insertions des phalanges postérieures (ligament sésamoïdien distal, P₁SDp ; ligaments plantaires latéraux, P₁PMp lat). Les enthèses saines y sont majoritaires avec une fréquence variant entre 54,5% (P₁PMp latéral droit) et 84,8% (HDE droit, P₁SDp droit). La fréquence d'enthèses altérées demeure tout de même relativement élevée pour les insertions latérales des ligaments plantaires (P₁PMp lat, plus de 40% de stades B et C).

Le stade B a souvent été enregistré au niveau des enthèses phalangiennes antérieures (P₁SDa et P₁PMa) ainsi que des ligaments plantaires médiaux (P₁PMp méd). Les zones d'insertions modérément modifiées y sont majoritaires, leur proportion étant comprise entre 46,9% (P₁PMa lat G) et 59,4% (P₁PMp méd G). De plus, l'attribution du stade A est inférieure à celle des stades B et C au niveau des ligaments palmaires antérieurs (P₁PMa, 15,6%-21,9%).

ii. Groupe « Monte ».

MONTE						
Enthèses	<i>n</i>	% A	% B	% C	Mode	Médiane
HDE G	8	87,5%	12,5%	-	A	A
HDE D	8	87,5%	12,5%	-	A	A
HRD G	7	57,1%	28,6%	14,3%	A	A
HRD D	7	71,4%	28,6%	-	A	A
P ₁ SDa G	8	62,5%	37,5%	-	A	A
P ₁ SDa D	8	50%	50%	-	A/B	A/B
P ₁ PMa lat G	8	-	37,5%	62,5%	C	C
P ₁ PMa méd G	8	-	50%	50%	B/C	B/C
P ₁ PMa lat D	8	25%	12,5%	62,5%	C	C
P ₁ PMa méd D	8	12,5%	25%	62,5%	C	C
FFS G	8	37,5%	62,5%		B	B
FFS D	8	62,5%	37,5%		A	A
P ₁ SDp G	7	85,7%	14,3%	-	A	A
P ₁ SDp D	8	75%	12,5%	12,5%	A	A
P ₁ PMp lat G	7	57,1%	28,6%	14,3%	A	A
P ₁ PMp méd G	8	37,5%	25%	37,5%	A/C	B
P ₁ PMp lat D	8	25%	62,5%	12,5%	B	B
P ₁ PMp méd D	8	-	62,5%	37,5%	B	B

Tableau 26 : Groupe « Monte », enthèses fibreuses - Fréquences des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse.

L'analyse du tableau 26 révèle que la présence d'enthèses considérées comme altérées est bien plus fréquente chez les chevaux utilisés comme montures que chez ceux n'ayant pas été utilisés dans le cadre d'activités humaines.

Cinq zones d'insertion des os longs (*M. deltoideus*, HDE ; *Mm. teres major/latissimus dorsi*, HRD; *M. flexor digitorum superficialis* droit, FFS D) et cinq enthèses phalangiennes (ligaments sésamoïdiens distaux antérieur gauche et postérieurs, P₁SDa G et P₁SDp ; ligament plantaire latéral gauche, P₁PMp lat G) ont été en grande partie considérées comme saines. La fréquence du stade A y varie de 57,1% (HRD G) à 87,5% (HDE).

Les changements enthésiques modérés sont majoritaires au niveau de quelques enthèses du membre postérieur à savoir celles du *M. flexor digitorum superficialis* sur le fémur gauche (FFS G) et des ligaments plantaires droits (P₁PMp lat et méd D) pour lesquelles le stade B a été attribué dans 62,5% des cas.

Le stade C est le plus fréquemment attribué pour les ligaments palmaires antérieurs droits (P₁PMa D, 62,5%) et latéral gauche (P₁PMa lat G, 62,5%).

Pour trois enthèses, le mode et/ou la médiane établis sont associés à des résultats multiples et indiquent ainsi que certains stades exposent des fréquences similaires pour une même enthèse. Sont concernés le ligament sésamoïdien distal antérieur droit (P₁SDa D, 50% de stades A et B), les ligaments palmaire médial antérieur gauche (P₁PMa méd G, 50% stades B et C) et plantaire gauche (P₁PMp méd G, 37,5% de stades A et C).

iii. Groupe « Traction ».

Le tableau 27 rassemble la répartition des stades de cotation ainsi que le mode et la médiane calculés pour chaque enthèses fibreuses dans la catégorie « Traction ».

Six insertions fibreuses affichent un taux de stade A supérieur à celui des enthèses considérées comme modifiées (e.g. *M. deltoideus*, HDE ; ligament sésamoïdien distal postérieur, P₁SDp). Le mode et la médiane assimilés à la valeur « B » indiquent que les changements enthésiques moyens sont majoritaires pour sept insertions avec des fréquences comprises entre 44,4% (ligament palmaire latéral sur la phalange proximale antérieure gauche, P₁PMa lat G) et 70% (*Mm. teres major/latissimus dorsi* droits, HRD D). Seule l'insertion du ligament palmaire médial antérieur gauche (P₁PMa méd G) a été considérée comme fortement

lésée dans une majeure partie des cas en affichant 55,6% de stades C attribués contre 33,3% de stades B et 11,1% de stades A.

Enfin, le tableau 27 montre que l'insertion du muscle *flexor digitorum superficialis* droit est la seule à être associée à un mode et une médiane à valeur multiple (A/B) nous informant par ce biais que cette zone présente autant d'enthèses exemptes de modification que moyennement altérées chez les équidés utilisés dans le cadre d'activités de trait.

TRACTION						
Enthèses	<i>n</i>	% A	% B	% C	Mode	Médiane
HDE G	9	66,7%	33,3%	-	A	A
HDE D	9	77,8%	22,2%	-	A	A
HRD G	10	60%	40%	-	A	A
HRD D	10	30%	70%	-	B	B
P₁SDa G	10	33,3%	55,6%	11,1%	B	B
P₁SDa D	10	60%	10%	30%	A	A
P₁PMa lat G	9	22,2%	44,4%	33,3%	B	B
P₁PMa méd G	9	11,1%	33,3%	55,6%	C	C
P₁PMa lat D	10	20%	40%	40%	B/C	B
P₁PMa méd D	10	20%	30%	50%	C	B/C
FFS G	9	33,3%	66,7%		B	B
FFS D	8	50%	50%		A/B	A/B
P₁SDp G	10	70%	20%	10%	A	A
P₁SDp D	10	70%	10%	20%	A	A
P₁PMp lat G	10	20%	50%	30%	B	B
P₁PMp méd G	10	10%	70%	20%	B	B
P₁PMp lat D	10	30%	40%	30%	B	B
P₁PMp méd D	10	20%	40%	40%	B/C	B

Tableau 27 : Groupe « Traction », enthèses fibreuses - Fréquences des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse.

b. Analyses statistiques.

i. Comparaison des groupes « Sans activité », « Traction » et « Monte ».

Les résultats du test de Kruskal-Wallis sont présentés dans l'annexe 16.

La répartition des stades attribués selon qu'il y ait pratique ou non d'une activité diffère selon l'enthèse considérée (figure 78).

Dans un premier temps, il est intéressant de souligner que les insertions du *M. deltoideus* sur l'humérus droit (HDE D) et du ligament palmaire latéral sur la phalange antérieure droite (P₁PMa lat D) ont développé une proportion de modifications enthésiques similaires selon le groupe considéré et ne permettent donc pas de distinguer nettement les catégories l'une de l'autre.

Membres antérieur et postérieur

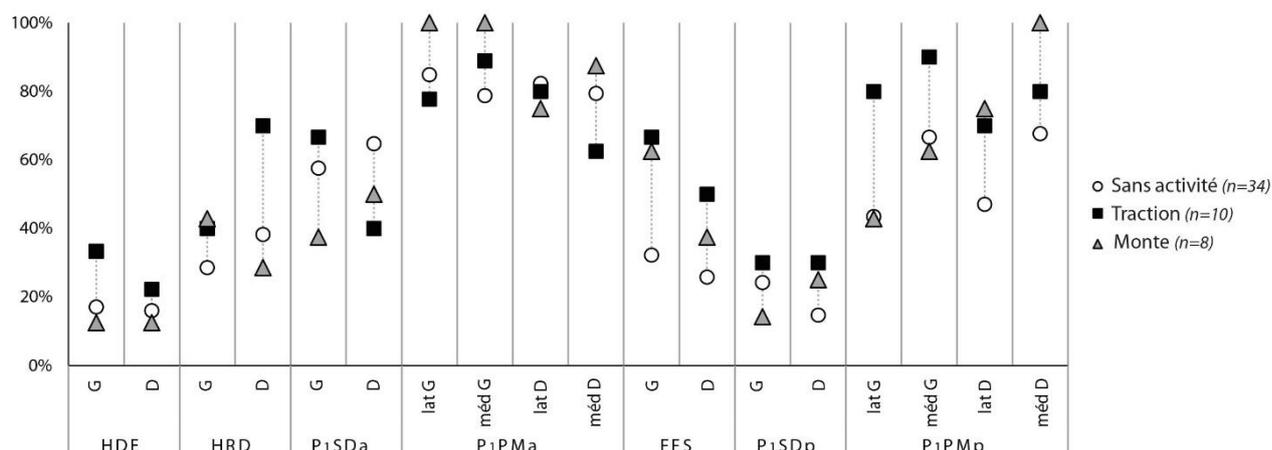


Figure 78 : Enthèses fibreuses - Fréquence de changements enthésiques par enthèse selon la catégorie d'équidés.

D'après l'ANOVA de Kruskal-Wallis (annexe 16), seule l'insertion du ligament plantaire médial droit présente des différences statistiquement significatives entre les trois groupes (P₁PMp méd D, $p \approx 0,028$). Les équidés exempts d'activité ont enregistré la fréquence d'altérations la moins importante (66,7%). La totalité des enthèses des chevaux de monte sont le siège de modifications alors que les individus appartenant au groupe « Traction » sont associés à une proportion intermédiaire de stades B et C (80%).

Les animaux non-utilisés par l'Homme seraient moins exposés à l'apparition de lésions au niveau d'une majorité d'insertions du membre postérieur (*M. flexor digitorum superficialis* gauche et droit, FFS G et D, 25,8 et 32,3% ; ligament sésamoïdien droit, P₁SDp D, 15,1% ;

ligament plantaire droit, P₁PMp lat et méd D, 45,4% et 66,7%) ainsi que du ligament palmaire antérieur médial gauche (P₁PMA méd G, 78,1%).

Ils arborent des fréquences de stades B et C plus ou moins proches de la catégorie « Monte » pour les sites d'insertion droits des *M. deltoideus* (HDE D, 12,5-15,1%), *Mm. teres major/latissimus dorsi* (HRD D, 28,6-36,4%) et ligament palmaire médial (P₁PMA méd D, 78,8-87,5%) ainsi que les insertions des ligaments plantaires sur la phalange proximale postérieure gauche (P₁PMp G, 43,8% à 66,7%). En revanche, les chevaux sans activité enregistrent dans de rares cas des proportions de lésions similaires à celles associées à l'activité de traction (ligament sésamoïdien distal antérieur gauche, P₁SDa G, 56,3-66,7% ; ligament palmaire latéral antérieur gauche, P₁PMA lat G, 77,8-84,4% ; ligament sésamoïdien distal postérieur gauche, P₁SDp G, 25-30%).

Enfin, la catégorie « Sans activité » se distingue nettement des deux autres catégories en affichant un taux de stades B et C nettement supérieur à savoir 63,6% contre 50% pour les chevaux de monte et 40% pour les animaux de trait au niveau de l'enthèse du ligament sésamoïdien distal sur la phalange proximale antérieure droite (P₁SDa D).

ii. Comparaison « Monte » vs « Traction ».

Tout comme pour les enthèses fibrocartilagineuses, les résultats du test U de Mann-Whitney sont présentés en annexe 17.

La distribution des stades de cotation est similaire entre les activités de monte et de traction pour cinq zones d'insertion (*Mm. teres major/latissimus dorsi* gauches, HRD G ; ligament palmaire latéral antérieur droit, P₁PMA lat D ; *M. flexor digitorum superficialis* gauche, FFS G ; ligament sésamoïdien distal postérieur droit, P₁SDp D ; ligament plantaire latéral postérieur droit, P₁PMp lat D).

Huit enthèses exposent une fréquence de stades B et C plus importante chez les équidés utilisés pour les activités de traction. La distinction entre ces derniers et les chevaux utilisés comme montures est particulièrement nette pour les insertions des *Mm. teres major/latissimus dorsi* droits (HRD D, 70% pour la catégorie « Trait » contre 28,6% chez les chevaux de monte), du ligament sésamoïdien distal sur la phalange proximale antérieure gauche (P₁SDa G, 66,7% contre 37,5%), des ligaments plantaires latéral (P₁PMp lat G, 80% contre 42,9%) et médial (P₁PMp méd G, 90% contre 62,5%) sur la phalange proximale postérieure gauche (figure 78).

Cinq enthèses phalangiennes sont, quant à elles, davantage altérées chez les chevaux de monte. Ces différences sont particulièrement marquées pour les ligaments palmaires latéral gauche (P₁PMa lat G, 100% d'atteintes contre 77,8% pour le groupe « Trait »), médial droit (P₁PMa méd D, 87,5% contre 62,5%) et le ligament plantaire médial droit (P₁PMp méd D, 100% contre 80%).

Aucune différence statistiquement significative n'a été identifiée par le test U de Mann-Whitney.

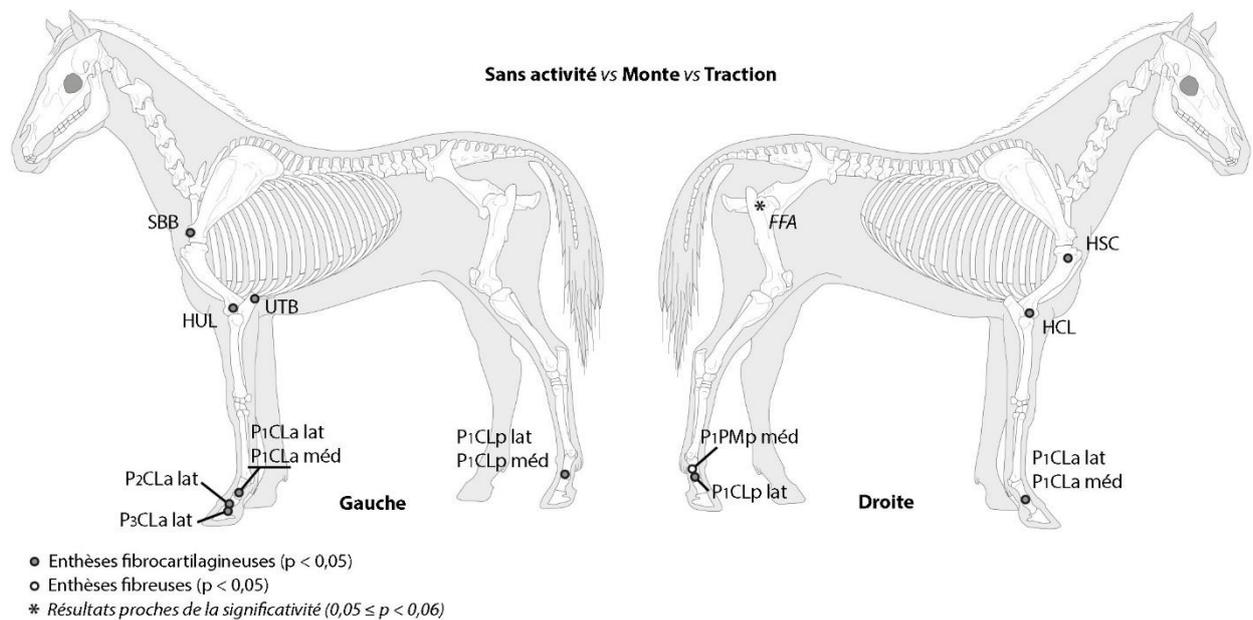


Figure 79 : Localisation des enthèses ayant révélé des différences statistiquement significatives ou proches de la significativité entre les groupes « Sans activité », « Monte » et « Traction ».

Pour résumer, 16 enthèses permettent de distinguer significativement les groupes « Sans activité », « Monte » et « Traction » (figure 79). Nombre d'entre elles se situent sur les membres antérieurs ($n = 10$) : origine du *M. biceps brachii* gauche (SBB G), insertions des *M. subscapularis* droit (HSC D), *M. ulnaris lateralis* gauche (HUL G), ligament collatéral latéral du coude droit (HCL D), *M. triceps brachii* gauche (UTB G), ligaments collatéraux sur les phalanges proximales gauche et droite (P₁CLa lat et méd), origine et terminaison du ligament collatéral latéral gauche (P₂CLa lat G, P₃CLa lat G). Pour les membres postérieurs, seules les enthèses des ligaments collatéraux sur la phalange proximale (P₁CLp méd et lat) et du ligament plantaire médial droit (P₁PMp méd D) permettraient de distinguer statistiquement les trois catégories d'équidés.

L'insertion du *M. gluteus accessorius* sur le fémur droit (FFA D) a révélé des différences statistiquement proches de la significativité.

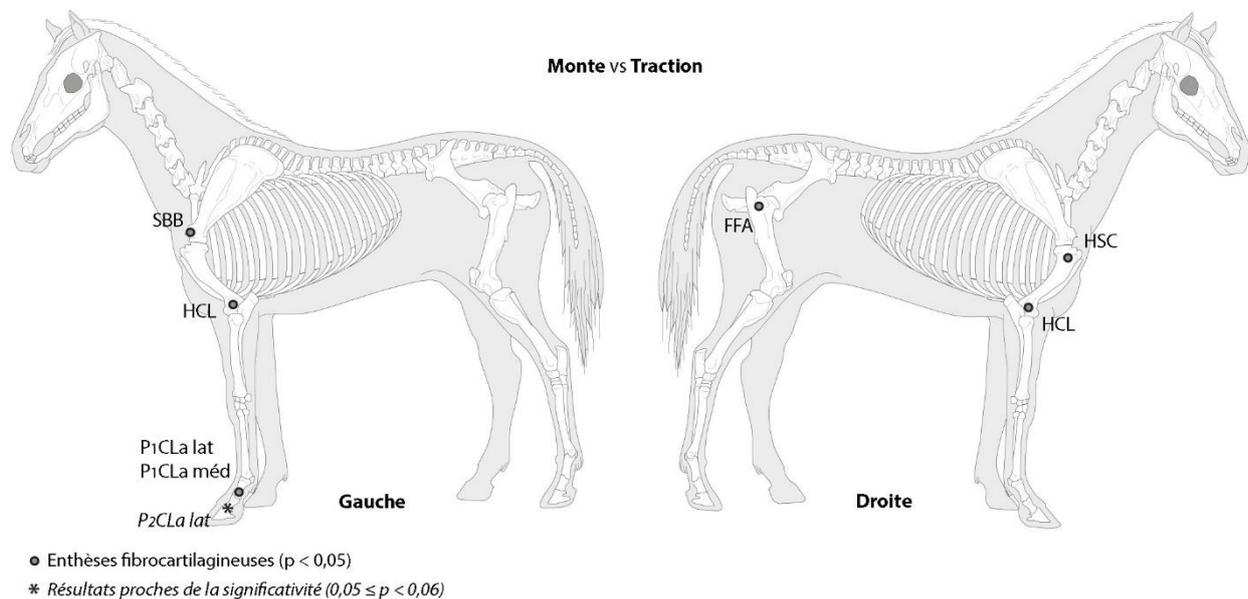


Figure 80 : Localisation des enthèses ayant révélé des différences statistiquement significatives ou proches de la significativité entre les groupes « Monte » et « Traction ».

Les enthèses différenciant statistiquement les catégories « Monte » et « Traction » sont au nombre de sept (figure 80). Pour le membre antérieur, ces dernières se situent sur la scapula gauche (*M. biceps brachii*, SBB G), l'humérus (*M. subscapularis* droit, HSC D ; ligaments collatéraux latéraux du coude gauche et droit, HCL G et D) et la phalange proximale antérieure gauche (ligaments collatéraux, P₁CLa lat et méd G). En revanche, la terminaison du *M. gluteus accessorius* sur le fémur droit (FFA D) est la seule insertion du membre pelvien à être associée à une p-valeur inférieure à 0,05.

L'origine du ligament collatéral latéral sur la phalange intermédiaire antérieure gauche (P₂CLa lat G) est l'unique insertion pour laquelle les chevaux de monte et de traction sont associés à des différences proches de la significativité.

3. La position des enthèses : un moyen de caractériser les différentes catégories ?

Afin de ne pas encombrer le corps du texte, les résultats des calculs des *odd-ratios* pour chaque zone d'insertion sont présentés en annexe 18.

a. Asymétrie gauche/droite.

i. Enthèses fibrocartilagineuses.

Dans l'ensemble, les chevaux de monte, de traction et les équidés non utilisés par l'Homme ne montrent aucune asymétrie gauche/droite (figure 81). En effet, la répartition des stades de cotation est similaire pour ces deux côtés. Le calcul des *odd-ratios* pour chaque catégorie confirme cette observation : les atteintes des enthèses fibrocartilagineuses diffèrent peu en fonction de la position gauche/droite (Sans activité : 1 ; Monte : 0,9 ; Traction : 1).

La figure 82 présente la répartition des stades de cotation selon que l'on se situe au niveau des membres gauches ou droits. De nombreuses enthèses exposent un ratio proche de 1 : le développement de modifications y est relativement équilibré entre les membres gauches et droits. Certaines zones d'insertion présentent cependant une asymétrie dans l'apparition de modifications enthésiques.

Chez les chevaux de monte, le ratio calculé pour le *M. subscapularis* (HSC ; ratio = 0,2) indique que le côté droit est porteur d'enthèses lésées plus nombreuses que le côté gauche alors que ce déséquilibre est quasi-nul pour les catégories « Sans activité » et « Traction » (ratio = 1,1).

Une tendance similaire est relevable pour les insertions du ligament collatéral sur les phalanges proximales antérieures (P₁CLa lat et méd ; ratio = 0). En revanche, les chevaux de monte présentent une répartition inégale des lésions enthésiques en faveur du côté gauche au niveau de l'insertion du *M. triceps brachii* (UTB ; ratio = 2).

Chez les équidés sans activité, seules deux enthèses diffèrent légèrement dans la répartition des atteintes enthésiques entre membres gauches et droits. Le ratio calculé pour le ligament collatéral médial de la phalange proximale postérieure (P1CLp méd, ratio = 0,2) indique que les lésions interviennent davantage au niveau des phalanges droites. De même, le rapport calculé pour ce même ligament sur la phalange proximale antérieure démontre que le côté gauche est plus fréquemment altéré que le membre droit (P1CLa méd ; ratio = 1,7).

Aucune asymétrie notable n'a été détectée chez les chevaux impliqués dans les activités de traction.

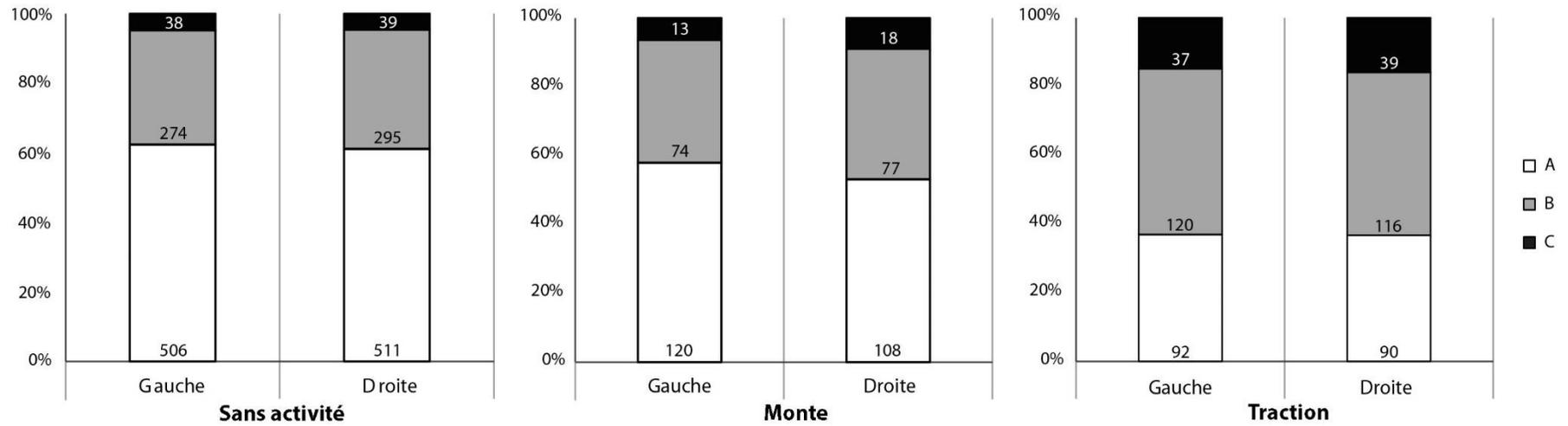


Figure 81 : Entèses fibrocartilagineuses - Asymétrie gauche/droite pour chaque catégorie d'équidés.

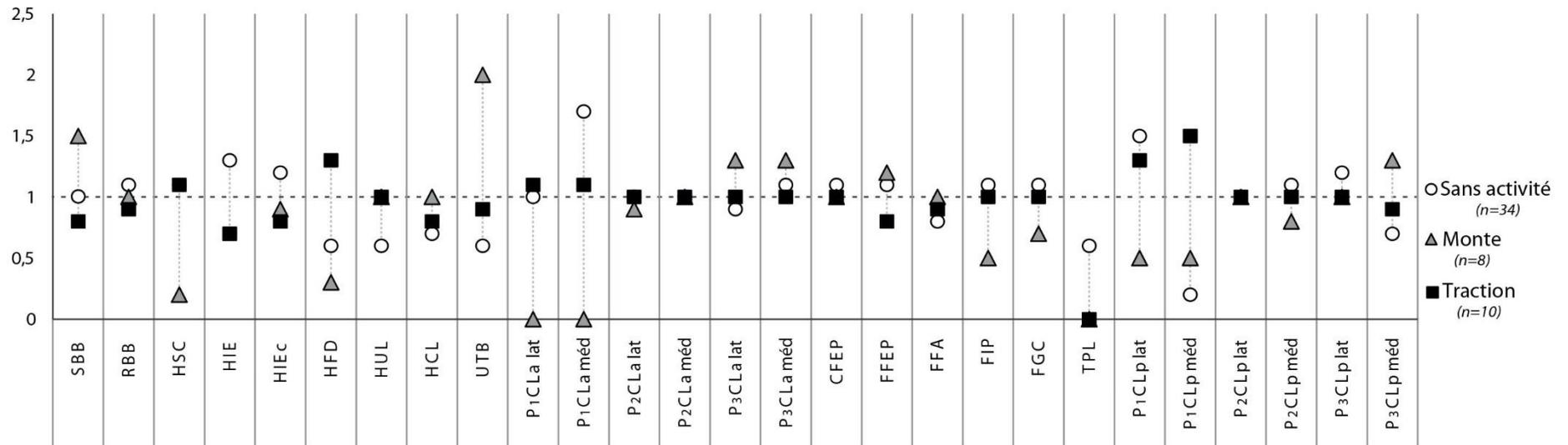


Figure 82 : Entèses fibrocartilagineuses - Analyse de l'asymétrie gauche/droite pour chaque enthèse selon le groupe d'équidés.

ii. Enthèses fibreuses.

Lorsque l'on s'intéresse à l'ensemble des enthèses fibreuses (figure 83), aucune asymétrie gauche/droite n'est observable chez les équidés non utilisés par l'Homme ainsi que chez les chevaux de monte. En revanche, on relève une légère asymétrie en faveur des enthèses gauches chez les animaux utilisés dans le cadre d'activité de traction.

Les ratios calculés pour chaque catégorie indiquent des valeurs proches de 1 : les modifications localisées au niveau des zones d'insertion fibreuses diffèrent peu selon la position gauche/droite (Sans activité : 1,1 ; Monte : 0,9 ; Traction : 1,1).

Peu d'enthèses fibreuses font montre d'une asymétrie dans le développement de modifications enthésiques (figure 84).

Les ligaments sésamoïdiens distaux antérieurs sont plus fréquemment altérés au niveau des phalanges proximales gauches (P₁SDa ; ratio = 1,7) des équidés utilisés pour la traction. Cette asymétrie est quasi-inexistante pour les autres groupes.

Chez les animaux exempts d'activité, la zone de fixation de ces mêmes ligaments au niveau des phalanges proximales postérieures (P₁SDp) affiche une asymétrie des changements enthésiques en faveur du membre gauche (ratio = 1,7). Ce déséquilibre est quasi-inexistant voire nul pour les groupes « Monte » et « Traction ».

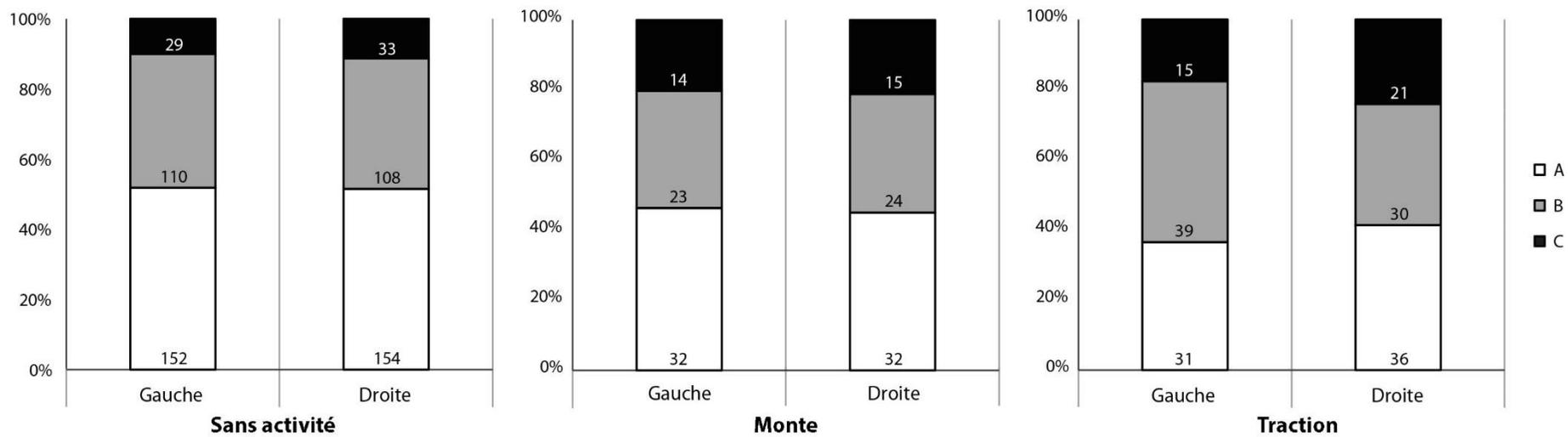


Figure 83 : Entèses fibreuses - Asymétrie gauche/droite pour chaque catégorie d'équidés.

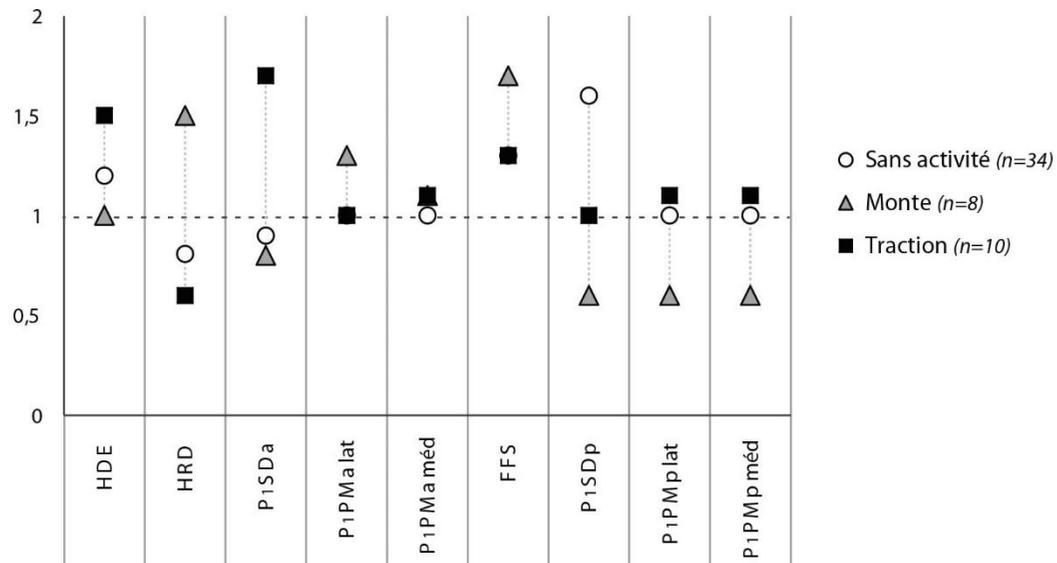


Figure 84 : Entèses fibreuses - Analyse de l'asymétrie gauche/droite pour chaque enthèse selon le groupe d'équidés.

b. Asymétrie latérale/médiale.

i. Enthèses fibrocartilagineuses.

Les atteintes des enthèses phalangiennes médiales et latérales sont généralement symétriques aussi bien dans la catégorie « Sans activité » que chez les équidés employés par l'Homme (figure 85). Les ratios établis pour les groupes « Sans activité », « Monte » et « Traction » soutiennent ce constat (ratio ≈ 1) : les modifications enthésiques diffèrent peu selon la position latérale ou médiale des ligaments.

La figure 86 présente le degré d'asymétrie pour chaque enthèse selon la catégorie d'équidés considérée.

Dans le cadre des activités de monte et de traction, les *odds-ratios* pour chaque enthèse affichent des valeurs comprises entre 0,8 et 1,3 indiquant par ce biais un déséquilibre faible dans l'apparition de lésions enthésiques en fonction de la position médiale ou latérale des ligaments.

Les équidés sans activité arborent une asymétrie plus importante au niveau de trois enthèses phalangiennes des ligaments collatéraux. Les insertions du ligament collatéral sur les phalanges proximales antérieure droite (P₁CLa D, ratio = 2) et postérieure gauche (P₁CLp G, ratio = 3) ainsi que du ligament collatéral sur la phalange distale postérieure gauche (P₃CLp G, ratio = 1,7) sont les sièges d'une proportion plus importante de changements enthésiques en position latérale. Le ratio de 0,4 calculé pour le ligament collatéral sur la première phalange postérieure droite (P₁CLp D) indique que les modifications enthésiques sont majoritairement présentes au niveau des ligaments médiaux sans exclure le fait que des lésions soient aussi présentes au niveau des ligaments latéraux.

ii. Enthèses fibreuses.

Les changements enthésiques au niveau des enthèses fibreuses semblent prépondérants en position médiale aussi bien chez les équidés sans activité que ceux employés par l'Homme (figure 87). Cette différence entre ligaments médiaux et latéraux demeure tout de même légère avec des *odds-ratios* « latéral/médial » égaux à 0,9 (« Sans activité », « Traction ») et 0,8 (Monte).

Les tendances observées au niveau de chaque enthèse (figure 88) reflètent celle mise en évidence dans la figure 87. Quelle que soit la zone d'insertion étudiée, il existe une asymétrie peu marquée entre enthèses médiale et latérale.

a. Asymétrie antérieure/postérieure.

i. Enthèses fibrocartilagineuses.

Les atteintes des insertions phalangiennes antérieures semblent prépondérantes pour les trois groupes d'équidés qui sont chacun associés à un ratio « antérieur/postérieur » compris entre 1,2 (catégorie « Monte ») et 1,7 (catégorie « Sans activité ») (figure 89).

Il est intéressant de noter que, chez les équidés de traction, cette asymétrie en faveur des enthèses fibrocartilagineuses antérieures s'illustre particulièrement au travers des modifications enthésiques sévères. En effet, la fréquence du stade C est près de deux fois plus importante en position antérieure (n = 33 enthèses cotées C soit 31%) qu'en postérieure (n = 16 soit 14,2%).

Certaines enthèses phalangiennes révèlent un fort déséquilibre dans le relevé de changements enthésiques en fonction de leur position antérieure ou postérieure (figure 90).

Chez les équidés sans activité, quatre zones d'insertion sont associées à un *odd-ratio* supérieur à 2. Les phalanges antérieures sont les sièges d'un pourcentage de modifications enthésiques plus important pour les ligaments collatéraux de la phalange proximale (P₁CL latéral et médial gauches, P₁CL latéral droit) et de la phalange distale gauche (P₃CL latéral gauche).

Contrairement aux individus non exploités par l'Homme, les phalanges proximales gauches des chevaux de monte présentent une asymétrie en faveur de la position postérieure avec un ratio égal à 0 (P₁CL lat et méd G). De même, une asymétrie légère en faveur du membre antérieur a été relevée pour le ligament collatéral médial sur la phalange intermédiaire gauche (P₂CL méd G, ratio = 1,6).

Pour les équidés du groupe « Traction », les différences entre phalanges antérieures et postérieures sont peu marquées à l'exception du ligament collatéral médial de la phalange proximale droite pour lequel les changements enthésiques sont en quantité plus importante en position antérieure (P₁CL méd D, ratio = 1,8).

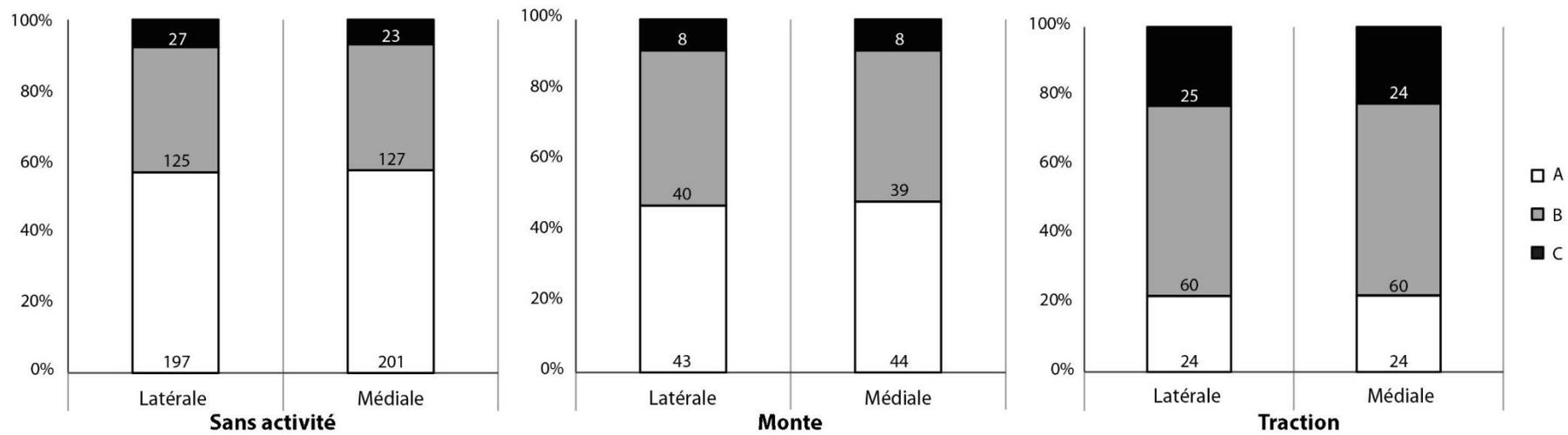


Figure 85 : Entèses fibrocartilagineuses - Asymétrie latérale/médiale pour chaque catégorie d'équidés.

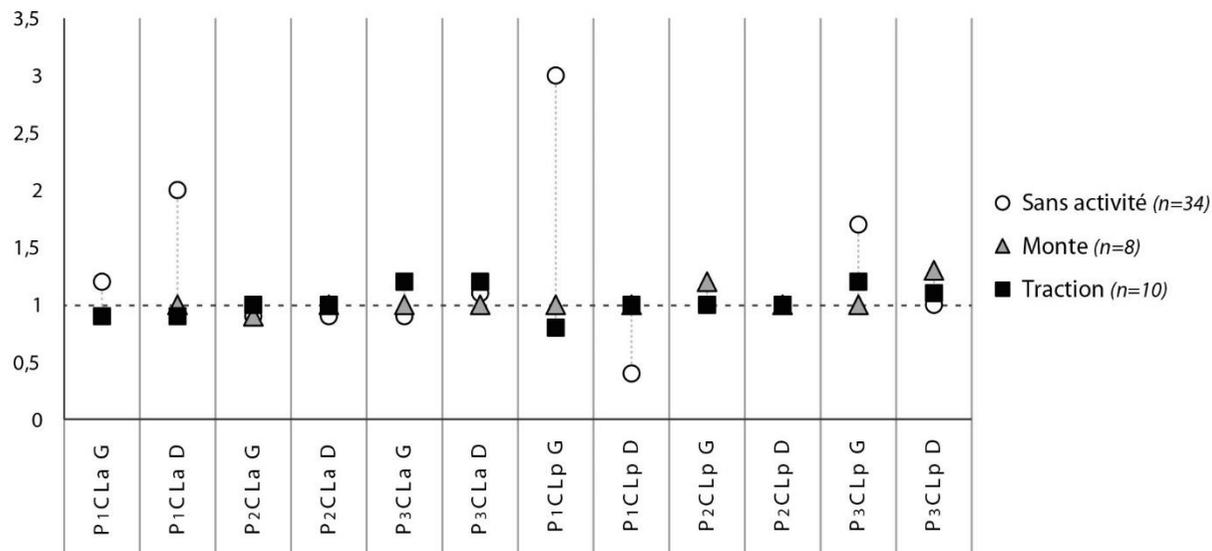


Figure 86 : Entèses fibrocartilagineuses - Analyse de l'asymétrie latérale/médiale pour chaque enthèse selon le groupe d'équidés.

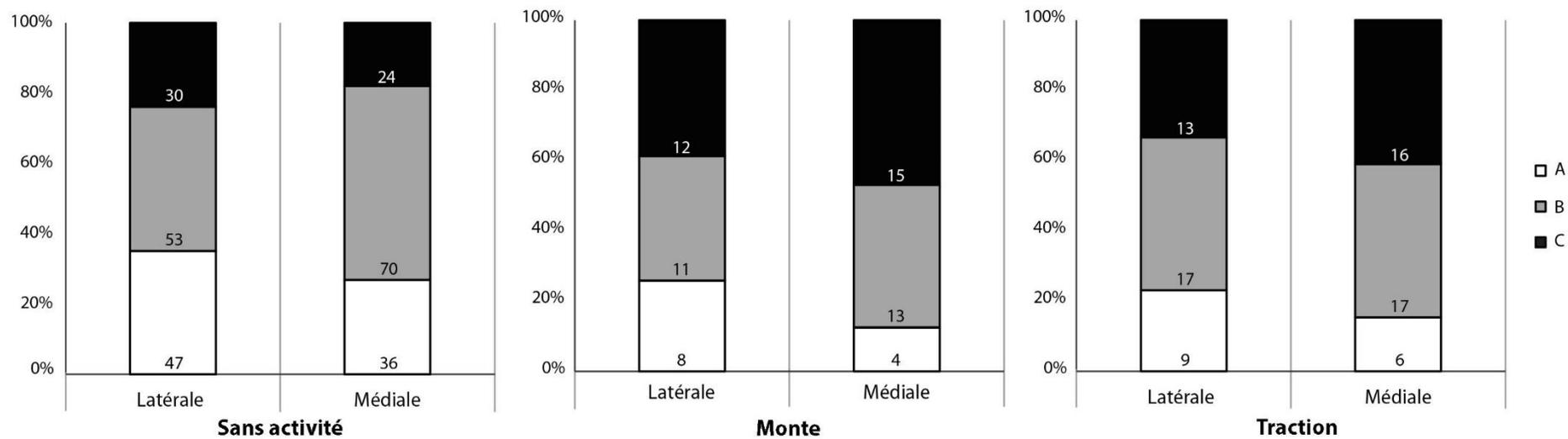


Figure 87 : Enthèses fibreuses - Asymétrie latérale/médiale pour chaque catégorie d'équidés.

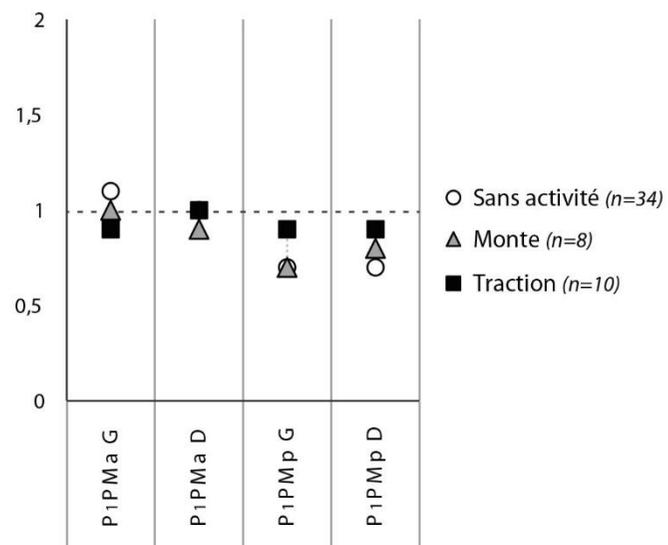


Figure 88 : Enthèses fibreuses - Analyse de l'asymétrie latérale/médiale pour chaque enthèse selon le groupe d'équidés.

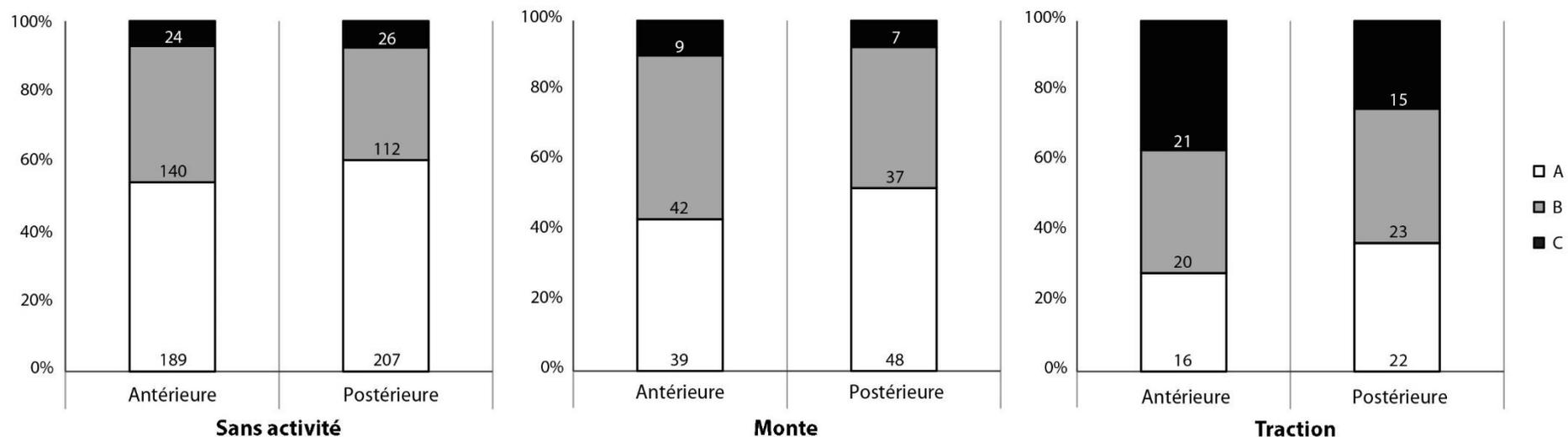


Figure 89 : Enthèses fibrocartilagineuses - Asymétrie antérieure/postérieure pour chaque catégorie d'équidés.

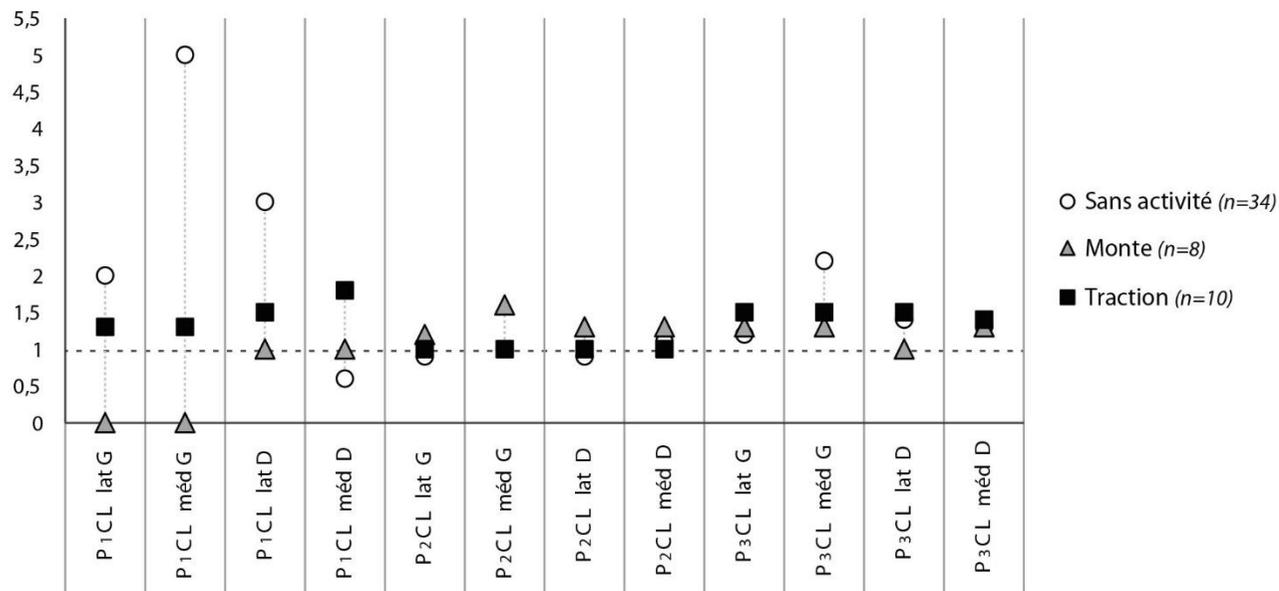


Figure 90 : Enthèses fibrocartilagineuses - Analyse de l'asymétrie antérieure/postérieure pour chaque enthèse selon le groupe d'équidés.

ii. Enthèses fibreuses.

Les phalanges antérieures arborent des fréquences de changements enthésiques (stades B+C) supérieures à celles des phalanges postérieures (figure 91). Cette tendance est particulièrement marquée pour les équidés appartenant aux groupes « Sans activité » et « Monte » qui affichent respectivement des ratios « antérieur/postérieur » de 1,7 et 2,1. L'apparition de modifications enthésiques entre phalanges antérieures et postérieures semble davantage équilibrée chez les animaux de traction (ratio $\approx 1,1$).

La figure 92 révèle que l'asymétrie entre membres antérieur et postérieur est particulièrement marquée dans la catégorie « Sans activité ». Les zones d'insertion des ligaments sésamoïdiens distaux (P₁SD) et palmaires latéraux (P₁PM) sont davantage altérées au niveau des phalanges antérieures (ratio $> 1,5$). Cette asymétrie est particulièrement marquée pour le ligament sésamoïdien distal droit qui affiche un ratio de 4,2 (P₁SD D).

Les chevaux de monte affichent un déséquilibre en faveur des phalanges antérieures pour les insertions des ligaments sésamoïdiens (P₁SD ; ratios compris entre 2 et 2,6) et palmaire latéral gauche (P₁PM lat G ; ratio = 2,3).

Bien que des enthèses aient été enregistrées comme altérées au niveau des phalanges postérieures dans la catégorie « Traction », la valeur de 1,7 calculée pour P₁SD gauche démontre que les modifications sont majoritairement présentes au niveau des phalanges antérieures. Avec un rapport variant entre 1 et 1,3, l'apparition de changements enthésiques est relativement équilibrée entre les positions antérieure et postérieure pour les autres enthèses.

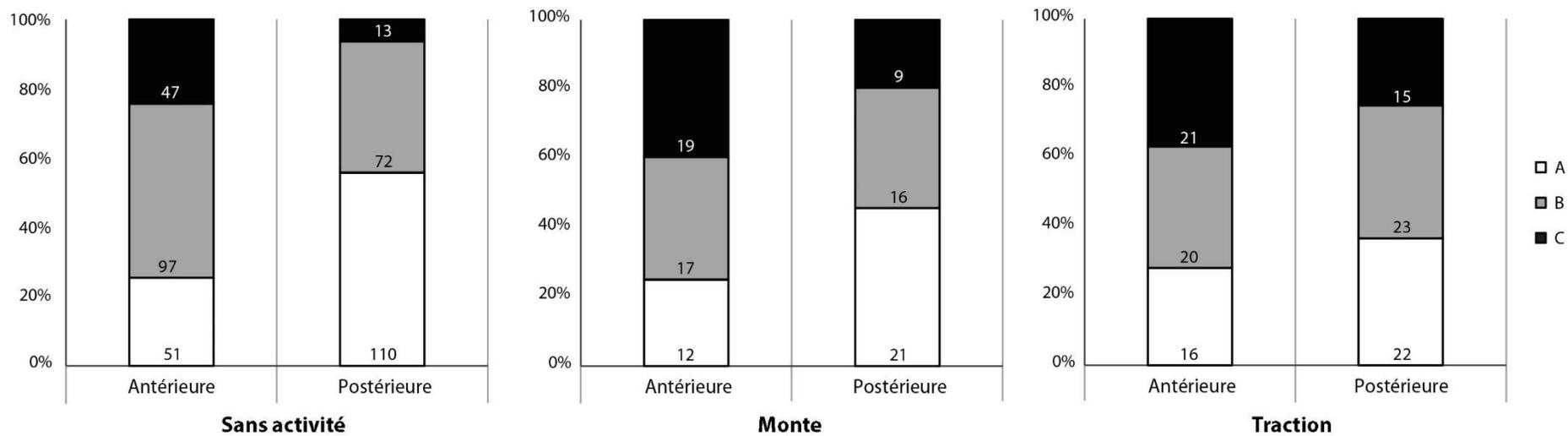


Figure 91 : Enthèses fibreuses - Asymétrie antérieure/postérieure pour chaque catégorie d'équidés.

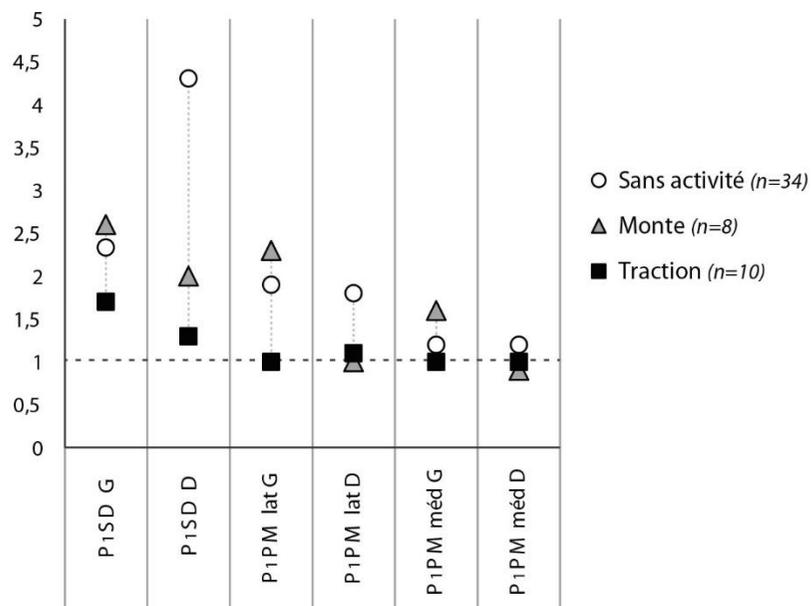


Figure 92 : Enthèses fibreuses - Analyse de l'asymétrie antérieure/postérieure pour chaque enthèse selon le groupe d'équidés.

IV. ESSAI DE CLASSIFICATION : ANALYSES PAR MESURE MOYENNE DES DIVERGENCES (*MEAN MEASURES OF DIVERGENCE, MMD*).

Le but de cette partie est de tenter de classifier les catégories « Sans activité », « Monte » et « Traction » à partir du calcul des Mesures Moyennes des Divergences (ou MMD). Afin de limiter l'influence des paramètres biologiques non liés à l'activité, les enthèses ayant révélé des résultats statistiquement significatifs lors de l'étude de l'impact de l'âge au décès (HIEc et P₂CLa médial gauches pour les enthèses fibrocartilagineuses ; HRD gauche et FFS droite pour les fibreuses), du sexe (UTB et CFEP gauches pour les fibrocartilagineuses ; HDE droite pour les fibreuses) et des proportions corporelles (SBB gauche et droite, P₃CLp médiales gauche et droite, HIE droite, P₁CLa latérale droite pour les fibrocartilagineuses ; P₁PM antérieures pour les insertions fibreuses) ont été exclues. Pour les besoins de l'analyse, les stades A, B et C ont été réduits en données binaires (A = 0, B/C = 1).

Les MMD ont été établies à partir de trois paramètres :

- La formule d'Anscombe est appliquée en raison de la taille variable et réduite des différentes catégories ;
- Le test exact de Fisher est utilisé comme critère d'exclusion : seules les variables exposant une p-valeur inférieure à 0,05 sont considérées comme discriminantes ;
- Le nombre minimal d'individus retenu est de 5.

Certains résultats annexes sont présentés dans l'annexe 19. Seules les enthèses fibrocartilagineuses ont révélé des résultats statistiquement significatifs et sont traitées dans cette partie. Le nombre réduit d'enthèses fibreuses n'a pas permis l'obtention de résultats.

1. Enthèses fibrocartilagineuses gauches.

Les enthèses fibrocartilagineuses gauches ne permettent pas de différencier les équidés impliqués dans des activités (« Monte », « Traction ») de ceux qui en sont exempts (« Sans activité »). Les animaux de trait se distinguent nettement des deux autres groupes tandis qu'une proximité a été mise en évidence entre les catégories « Monte » et « Sans activité » (figure 93).

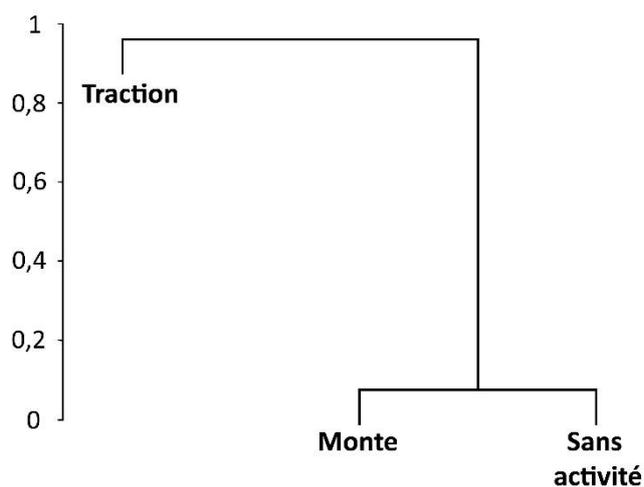


Figure 93 : MMD, enthèses fibrocartilagineuses gauches - Classification des trois catégories sur base des MMD calculées (méthode de Ward).

	Monte	Sans activité	Traction
Monte	0	0.08	0.718
Sans activité	0.08	0	0.873
Traction	0.718	0.873	0

Tableau 28 : MMD, enthèses fibrocartilagineuses gauches - Valeurs des MMD. Les résultats significatifs sont indiqués en gras.

La dissemblance la plus marquée a été relevée entre les catégories « Traction » et « Sans activité » (tableau 28, MMD = 0,873). Ces deux groupes se distinguent au niveau des enthèses du *M. ulnaris lateralis* (HUL, $p \approx 0,027$), du ligament collatéral du coude (HCL, $p \approx 0,037$), des ligaments collatéraux sur les phalanges proximales antérieure (P₁CLa lat, $p \approx 0,011$; P₁CLa méd, $p \approx 0,001$) et postérieure (P₁CLp lat, $p \approx 0,012$; P₁CLp méd, $p = 0$) ainsi que du ligament collatéral latéral sur la phalange distale antérieure (P₃CLa lat, $p \approx 0,013$) (tableau 29).

Statistiquement significative, la divergence moyenne pour la paire « Traction » - « Monte » atteint 0,718 (tableau 28). D'après le test exact de Fisher, seules les insertions médiale et latérale du ligament collatéral sur la phalange proximale antérieure (P₁CLa lat, $p \approx 0,009$; P₁CLa méd, $p \approx 0,002$) différencient ces deux activités (tableau 29).

Une proximité entre chevaux de monte et spécimens exempts d'activité est ici mise en évidence (tableau 28 : MD $\approx 0,08$, non significative). Seule l'enthèse du *M. iliopsoas* permet de dissocier statistiquement ces deux groupes (FIP, $p \approx 0,049$).

Enthèses	Monte - Sans activité	Monte - Traction	Sans activité - Traction
HSC	0.373	0.119	0.281
HIE	0.318	0.471	1
HFD	1	0.145	0.09
HUL (*)	0.654	0.35	0.027
HCL (*)	0.237	0.638	0.037
RBB	0.081	1	<i>0.052</i>
P ₁ CLa lat (*)	0.318	0.009	0.011
P ₁ CLa méd (*)	0.563	0.002	0.001
P ₂ CLa lat	0.651	0.444	0.156
P ₃ CLa lat (*)	0.398	0.462	0.013
P ₃ CLa méd	0.413	1	0.195
FFEP	0.645	0.569	1
FFA	0.241	0.153	0.473
FIP	0.049	0.576	0.451
FGC	0.238	0.638	0.481
TPL	1	1	1
P ₁ CLp lat (*)	1	0.152	0.012
P ₁ CLp méd (*)	0.364	0.066	0
P ₂ CLp lat	0.609	0.183	0.559
P ₂ CLp méd	0.315	0.082	0.553
P ₃ CLp lat	0.669	1	0.250

Tableau 29 : MMD, enthèses fibrocartilagineuses gauches - Résultats du test exact de Fisher par paire de catégories d'équidés pour chaque zone d'insertion. Les résultats significatifs sont indiqués en gras ($p < 0,05$).

Les enthèses retenues pour les analyses sont indiquées par (*).

Les valeurs écrites en italiques indiquent les résultats proches de la significativité ($0,05 \leq p < 0,06$).

Enthèses	MD globale
P ₁ CLa méd	4.156
P ₁ CLa lat	2.83
P ₁ CLp méd	2.373
P ₃ CLa lat	1.592
P ₁ CLp lat	0.951
FIP	0.556
HUL	0.517
HCL	0.375

Tableau 30 : MMD, enthèses fibrocartilagineuses gauches - Valeurs des MD globales pour chaque enthèse, classées de manière décroissante en fonction de leur pouvoir discriminant.

Parmi ces huit insertions, certaines sont plus discriminantes que d'autres (tableau 9). Les insertions des ligaments collatéraux médial et latéral sur la phalange proximale antérieure (P₁CLa méd et lat) semblent être les plus ségréguatives en affichant respectivement des MD

globales égales à 4,156 et 2,83. En revanche, l'enthèse du ligament collatéral du coude sur l'humérus serait la moins discriminante en exposant la MD globale la plus faible (HCL, $MD \approx 0,375$).

2. Enthèses fibrocartilagineuses droites.

Les zones d'insertion droites semblent permettre une meilleure distinction entre animaux sans activité et spécimens utilisés par l'Homme (figure 94).

La dissemblance moyenne mesurée entre les catégories « Traction » et « Sans activité » est la plus élevée avec une valeur de 0,755 (tableau 31). Après application du test exact de Fisher, cinq enthèses seraient les plus à même de dissocier statistiquement ces deux groupes (tableau 32) : le ligament collatéral du coude (HCL, $p \approx 0,02$), la terminaison du *M. biceps brachii* sur le radius (RBB, $p \approx 0,014$), les ligaments collatéraux sur la phalange proximale antérieure (P₁CLa méd, $p = 0$), le ligament collatéral latéral sur la phalange distale antérieure (P₃CLa lat, $p \approx 0,031$) et le ligament collatéral latéral sur la phalange proximale postérieure (P₁CLp lat, $p \approx 0,02$).

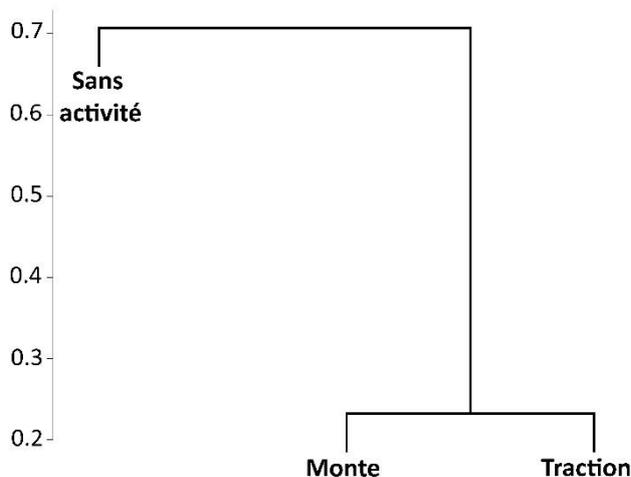


Figure 94 : MMD, enthèses fibrocartilagineuses droites - Classification des trois catégories sur base des MMD calculées (méthode de Ward).

	Monte	Sans activité	Traction
Monte	0	0.373	0.231
Sans activité	0.373	0	0.755
Traction	0.231	0.755	0

Tableau 31 : MMD, enthèses fibrocartilagineuses droites - Valeurs des MMD. Les résultats significatifs sont notés en gras.

Les catégories « Monte » et « Sans activité » présentent davantage de similitudes : la distance moyenne les séparant, bien que statistiquement significative, est bien moindre (tableau 31, 0,373). Le tableau 32 démontre que ces deux groupes se distinguent au niveau des terminaisons du *M. subscapularis* sur l'humérus (HSC, $p \approx 0,008$) et du *M. biceps brachii* sur le radius (RBB, $p \approx 0,031$).

Les groupes « Monte » et « Traction » sont les moins dissemblables, la MMD calculée s'élevant à 0,231 (tableau 31). Aucune enthèse ne permet ici de distinguer significativement les activités de monte et de traction (tableau, 32). Un certain nombre d'entre elles sont même associées à un taux de changements enthésiques semblable chez l'une et l'autre des catégories (par exemple, RBB ou FGC, $p = 1$).

Enthèses	Monte - Sans activité	Monte - Traction	Sans activité - Traction
HSC (*)	0.008	0.2	0.267
HIEc	1	0.633	0.227
HFD	0.392	1	0.698
HUL	1	0.35	0.281
HCL (*)	0.578	0.367	0.02
UTB	1	0.335	0.133
RBB (*)	0.031	1	0.014
P₁CLa méd (*)	0.246	0.153	0
P₂CLa lat	0.308	1	0.165
P₂CLa méd	0.566	1	0.556
P₃CLa lat (*)	1	0.192	0.031
P₃CLa méd	0.691	0.559	0.096
CFEP	0.697	0.294	<i>0.056</i>
FFEP	1	1	0.689
FFA	0.109	<i>0.054</i>	0.456
FIP	0.426	1	0.476
FGC	0.7	1	0.724
TPL	0.565	1	0.567
P₁CLp lat (*)	0.165	0.638	0.02
P₁CLp méd	0.606	0.638	0.177
P₂CLp lat	0.624	0.206	0.318
P₂CLp méd	1	0.206	0.305
P₃CLp lat	0.393	1	0.129

Tableau 32 : MMD, enthèses fibrocartilagineuses droites - Résultats du test exact de Fisher par paire de catégories d'équidés pour chaque zone d'insertion. Les résultats significatifs sont indiqués en gras ($p < 0,05$).

Les enthèses retenues pour les analyses sont indiquées par (*).

Les valeurs écrites en italiques indiquent les résultats proches de la significativité ($0,05 \leq p < 0,06$).

Enthèses	MD globale
HSC	2.221
P₁CLa méd	2.164
P₃CLa lat	1.503
RBB	1.073
P₁CLp lat	0.627
HCL	0.565

Tableau 33 : MMD, enthèses fibrocartilagineuses droites - Valeurs des MD globales pour chaque enthèse, classées de manière décroissante en fonction de leur pouvoir discriminant.

Le pouvoir discriminant varie d'une enthèse à une autre (tableau 33). Les insertions du *M. subscapularis* (HSC) et du ligament collatéral médial sur la phalange proximale antérieure (P₁CLa méd) sont les plus discriminantes en affichant respectivement des MD globales égales à 2,21 et 2,164. En revanche, la zone d'insertion du ligament collatéral du coude posséderait le pouvoir discriminant le plus faible (MD globale égale à 0,565).

CHAPITRE VI

DISCUSSION

Nos observations confirment l'origine multifactorielle des changements enthésiques chez les équidés. Ils rejoignent ainsi les constats établis par les recherches antérieures menées chez l'Homme (Villotte & Knüsel, 2013), le renne (Niinimäki & Salmi, 2016; Salmi & Niinimäki, 2016) et sur quelques enthèses équine (*ligamentum interosseum* des métapodes : Bendrey, 2007 ; *ligamentum nuchae* sur l'os occipital : Bendrey, 2008; Taylor et al., 2015). Le tableau 34 rappelle les enthèses fibrocartilagineuses et fibreuses associées à des résultats statistiquement significatifs ou proches de la significativité selon les paramètres testés. Si certaines enthèses semblent être de bonnes candidates pour nous permettre d'identifier des spécimens employés dans le cadre d'activités humaines, ces tableaux montrent que l'impact de paramètres non liés à l'activité n'est pas à négliger lors de l'interprétation de la présence de modifications enthésiques dans un assemblage osseux.

Nous discuterons dans un premier temps des paramètres biologiques qui ont été éprouvés dans cette recherche doctorale à savoir l'âge au décès, le sexe, les proportions corporelles ainsi que les conditions de vie des animaux composant les échantillons.

Nous nous intéresserons ensuite au lien entre modifications enthésiques et fonction des équidés.

Enfin, nous émettrons quelques remarques relatives à nos analyses et discuterons des perspectives futures envisagées quant à l'étude des changements enthésiques chez les équidés.

	Âge	Sexe	Environnement	Masse / Taille	Sans activité / Activité	Monte / Traction
SBB G				+	+	+
SBB D				+		
RBB G						
RBB D						
HSC G						
HSC D					+	+
HIE G						
HIE D				+		
HIEc G	++					
HIEc D						
HFD G						
HFD D						
HUL G					+	
HUL D						
HCL G						+
HCL D					+	+
UTB G		+			+	
UTB D						
P ₁ CLa lat G					++	+
P ₁ CLa méd G			++		++	++
P ₁ CLa lat D				+	+	
P ₁ CLa méd D					++	
P ₂ CLa lat G					++	*
P ₂ CLa méd G	++					
P ₂ CLa lat D			+			
P ₂ CLa méd D			+			
P ₃ CLa lat G					+	
P ₃ CLa méd G						
P ₃ CLa lat D						
P ₃ CLa méd D						

Tableau 34 : Enthèses fibrocartilagineuses (1/3), membre antérieur - Tableau récapitulatif des enthèses présentant des différences statistiquement significatives ou proches de la significativité en fonction des paramètres testés :

- « * » indique les p-valeurs proches de la significativité ($0,05 \leq p < 0,06$) ;
- « + » indique les p-valeurs significatives et comprises entre 0,01 et 0,05 ($0,01 \leq p < 0,05$) ;
- « ++ » indique les p-valeurs significatives strictement inférieures à 0,01 ($p < 0,01$).

	Âge	Sexe	Environnement	Masse / Taille	Sans activité / Activité	Monte / Traction
CFEP G		+				
CFEP D						
FFEP G			+			
FFEP D						
FFA G						
FFA D			+		*	+
FIP G						
FIP D						
FGC G	*		+			
FGC D						
TPL G						
TPL D						
P ₁ CLp lat G					++	
P ₁ CLp méd G					++	
P ₁ CLp lat D					+	
P ₁ CLp méd D			+			
P ₂ CLp lat G						
P ₂ CLp méd G			+			
P ₂ CLp lat D			+			
P ₂ CLp méd D						
P ₃ CLp lat G						
P ₃ CLp méd G				+		
P ₃ CLp lat D						
P ₃ CLp méd D				+		

Tableau 34 : Enthèses fibrocartilagineuses (2/3), membre postérieur - Tableau récapitulatif des enthèses présentant des différences statistiquement significatives ou proches de la significativité en fonction des paramètres testés :

- « * » indique les p-valeurs proches de la significativité ($0,05 \leq p < 0,06$) ;
- « + » indique les p-valeurs significatives et comprises entre 0,01 et 0,05 ($0,01 \leq p < 0,05$) ;
- « ++ » indique les p-valeurs significatives strictement inférieures à 0,01 ($p < 0,01$).

	Âge	Sexe	Environnement	Masse / Taille	Sans activité / Activité	Monte / Traction
HDE G						
HDE D		+				
HRD G	+					
HRD D	+					
P ₁ SDa G						
P ₁ SDa D						
P ₁ PMa lat G				++		
P ₁ PMa méd G				+		
P ₁ PMa lat D				++		
P ₁ PMa méd D				+		
FFS G						
FFS D	+					
P ₁ SDp G						
P ₁ SDp D						
P ₁ PMp lat G						
P ₁ PMp méd G						
P ₁ PMp lat D						
P ₁ PMp méd D					+	

Tableau 34 : Enthèses fibreuses (3/3) - Tableau récapitulatif des enthèses présentant des différences statistiquement significatives ou proches de la significativité en fonction des paramètres testés :

« + » indique les p-valeurs significatives et comprises entre 0,01 et 0,05 ($0,01 \leq p < 0,05$) ;

« ++ » indique les p-valeurs significatives strictement inférieures à 0,01 ($p < 0,01$).

I. UNE PRISE EN COMPTE NÉCESSAIRE DES PARAMÈTRES BIOLOGIQUES.

1. L'âge au décès.

L'âge est l'une des principales étiologies fréquemment identifiées comme influençant l'apparition et le développement d'altérations des zones d'insertion aussi bien en anthropologie biologique (*e.g.* Djukic et al., 2018; Godde et al., 2017; Henderson, Mariotti et al., 2017; Jurmain et al., 2012; Knüsel, 2000; Mariotti et al., 2004, 2007; Michopoulou et al., 2015; Robb, 1998; Villotte, 2008; Weiss, 2012) qu'en archéozoologie (Bendrey, 2008, 2007 ; Taylor et al.,

2015). Nos observations ne font pas exception et révèlent que ce paramètre est à prendre en compte dans l'interprétation de changements enthésiques sur des restes d'équidés.

Lorsque l'on considère la totalité des enthèses, les résultats indiquent une augmentation progressive de la fréquence des changements enthésiques avec l'âge. Pour les enthèses fibrocartilagineuses, ce sont notamment les enthèses moyennement modifiées (stade B) qui se multiplient chez les chevaux âgés alors que le taux d'enthèses fortement remodelées (stade C) demeure faible et stable d'une classe d'âge à une autre. En revanche, pour les enthèses fibreuses, les proportions de stade C varient peu chez les équidés âgés de 5 à 10 ans et de 11 à 19 ans tandis qu'elles doublent chez les animaux de plus de 20 ans. Il est intéressant de constater qu'enthèses fibrocartilagineuses et fibreuses réagissent de manière différente face à l'âge. Les enthèses fibreuses sont davantage sujettes à développer des modifications importantes (stade C). En 2008, S. Villotte déclare que les enthèses fibreuses seraient plus sensibles à l'influence de l'âge que les enthèses fibrocartilagineuses (Villotte, 2008) ce qui pourrait expliquer en partie nos résultats. Il ne faut pas omettre l'idée d'un possible biais d'échantillonnage, le nombre d'enthèses fibreuses considérées ($n = 5$) étant nettement moindre que celui des enthèses fibrocartilagineuses ($n = 18$). Certaines études avancent que l'âge au décès est le seul paramètre ayant un impact significatif sur l'apparition de modifications enthésiques au niveau de ces insertions (*e.g.* Mariotti et al., 2007; Niinimäki, 2011). Nous le verrons par la suite, nos résultats ne concordent pas avec ces publications.

Si la tendance générale indique un accroissement des fréquences de changements enthésiques avec l'âge, celle-ci peut en revanche varier d'une enthèse à une autre (chapitre V, figures 56 et 58). Pour nombre de zones d'insertions, les équidés âgés présentent des fréquences plus importantes de modifications enthésiques. Cette observation est relativement courante lors de l'étude d'assemblages osseux (toutes espèces confondues) bien qu'il soit difficile d'identifier précisément les facteurs causaux de ce paramètre (Henderson et al., 2016; Villotte & Knüsel, 2013). Les fréquences accrues d'atteintes des zones d'insertion avec l'âge sont souvent associées aux processus dégénératifs liés à la sénescence. Ces derniers sont du fait d'une accumulation de microtraumatismes (tendineux, ligamentaires, osseux) au cours de la vie de l'individu combinée à une diminution de la capacité de l'os à se remodeler. À la fin de la maturation osseuse, la réduction de l'activité des ostéoblastes conduit à une altération de la structure de l'os, un amincissement de l'os cortical et une augmentation de la rugosité de la surface osseuse (Niinimäki & Baiges Sotos, 2013; Weiss, 2003). Le taux plus important

d'atteintes enthésiques chez les chevaux âgés peut de même être imputable à une rigidité plus importante du tendon conduisant à une modification de ses propriétés structurelles (Jurmain et al., 2012) le fragilisant ainsi face à l'accumulation de contraintes.

Les vétérinaires, dont nombre de travaux s'intéressent aux blessures tendineuses et ligamentaires chez les chevaux sportifs, mettent en avant la difficulté de différencier les atteintes découlant de l'activité de celles liées à l'âge (Kasashima et al., 2004; Murray et al., 2006; Patterson-Kane & Firth, 2009). Nos échantillons se composent d'équidés non utilisés par l'Homme et ayant vécu en parcs zoologiques ou réserves naturelles. Il est donc certain que l'utilisation de l'animal (monte, traction ou bât) n'a joué aucun rôle dans cette analyse.

Pour certaines enthèses, les équidés de 11-19 ans se distinguent nettement des jeunes spécimens (5-10 ans) et des animaux de plus de 20 ans en affichant la fréquence de changements enthésiques la plus importante (e.g. pour les enthèses fibrocartilagineuses, *M. biceps brachii*, SBB et RBB ; pour les enthèses fibreuses, *M. flexor digitorum superficialis* sur le fémur, FFS). Au regard de la tendance générale décrite plus tôt, il est ici difficile de mettre en lien changements enthésiques et accumulation progressive de lésions dégénératives liées à l'âge. En effet, on s'attendrait à ce que les chevaux de plus de 20 ans présentent au moins une fréquence de changements enthésiques équivalente. Or, ces derniers affichent un taux d'atteintes nettement inférieur. Contrairement aux autres catégories d'âge, la classe des [11-19] ans comporte une variété d'espèces d'équidés plus importante (chevaux, chevaux de Przewalski, âne, zèbres) alors que les autres se composent essentiellement de chevaux de Przewalski (cf. chapitre IV, annexe 9). Cette « diversité » peut avoir introduit un biais et être à l'origine des résultats obtenus pour ces quelques enthèses.

2. Le sexe.

Le sexe ne semble pas avoir d'impact notable sur la formation de modifications enthésiques chez les équidés. En effet, que l'on considère les mâles ou les juments, les fréquences globales d'atteintes des zones d'insertion ne diffèrent que très peu (enthèses fibrocartilagineuses, figure 60 du chapitre V) voire aucunement (enthèses fibreuses, figure 62 du chapitre V). Nos résultats se distinguent des études menées chez l'Homme qui incluent le facteur « sexe » dans la liste des paramètres à prendre en compte au cours des investigations s'intéressant aux changements enthésiques (Niinimäki, 2012; Weiss, 2003; Weiss et al., 2012). Ils rejoignent les observations menées par R. Bendrey au niveau de l'insertion du *ligamentum*

nuchae chez le cheval et pour laquelle aucune différence significative entre les deux sexes n'a été mise en évidence (Bendrey, 2008). Si des dissemblances dans la répartition des stades de cotation en fonction du sexe ont été relevées au cours de nos recherches, ces dernières se limitent à des insertions isolées (chapitre V, figures 61 et 63).

Pour onze de ces enthèses, les équidés mâles sont associés à des fréquences de modifications enthésiques supérieures à celles enregistrées pour les juments avec deux enthèses renvoyant des différences statistiquement significatives (tableau 34 : *M. triceps brachii* gauche, UTB G ; *M. deltoideus* droit, HDE D). En anthropologie biologique, les différences observées entre hommes et femmes sont interprétées comme le reflet d'une répartition sexuelle des tâches dans les sociétés passées (*e.g.* Djukic et al., 2018; Hawkey & Merbs, 1995; Mazza, 2019; al-Oumaoui et al., 2004; Villotte, 2008). En revanche, les équidés ayant fait l'objet de notre analyse n'ont participé à aucune activité physique liée à l'Homme (monte, traction, bât), ces spécimens ayant vécu soit en captivité, soit en milieu naturel (cf. chapitre IV, figure 43). De fait, l'hypothèse d'une atteinte des zones d'insertion tendineuses et ligamentaires découlant d'une utilisation différente des mâles et des juments peut ici être exclue.

En 2012, E. Weiss et ses collaborateurs écrivent que les différences observées entre hommes et femmes relèvent plus du dimorphisme sexuel que d'une répartition des activités entre hommes et femmes dans les sociétés passées (Weiss et al., 2012). Chez les mammifères, celui-ci est généralement en faveur des mâles qui sont caractérisés par des proportions corporelles plus importantes que les femelles. Bien qu'il soit admis que ce dimorphisme est peu marqué chez les équidés, les mâles composant notre échantillon s'avèrent être en moyenne plus lourds que les juments (tableau 35 : 290 kg contre 275 kg). Il est possible que cette dissemblance soit du fait de l'activité hormonale et plus particulièrement de la sécrétion de testostérone qui résulte en une augmentation de la masse musculaire chez les sujets masculins (Mazza, 2019; Niinimäki, 2012). De fait, les équidés mâles, en raison de leur masse plus importante, réalisent des efforts plus conséquents pour leurs déplacements ce qui conduit à une sollicitation plus importante de leurs enthèses.

	Hauteur au garrot (en cm)		Masse corporelle (en kg)	
	♂ (n = 17)	♀ (n = 16)	♂ (n = 16)	♀ (n = 16)
Moyenne	129	129	290	275
<i>Maximum</i>	134	137	358	343
<i>Minimum</i>	124	120	174	217
<i>Écart-type</i>	31,8	44,8	43,1	27,5
p-valeur	~ 0,85		~ 0,15	

Tableau 35 : Hauteur au garrot, masse corporelle et p-valeurs associées pour chaque sexe.

Enfin, une dernière hypothèse pourrait avoir trait à une différence comportementale entre mâles et femelles. Les équidés sont pour la plupart des animaux grégaires et forment des groupes familiaux⁸ (Clutton-Brock, 1992). Le harem est la structure sociale typique composée d'un étalon et de plusieurs juments accompagnées de leurs poulains âgés de moins de trois ans⁹ (Clutton-Brock, 1992; Feh, 1988; Linnartz & Linnartz-Nieuwdorp, 2017; Waran, 2001). Ces derniers quittent le troupeau lorsqu'ils sont sexuellement matures pour former des groupes d'étalons célibataires ou des groupes temporaires d'adolescents (Rubenstein, 2011 ; Ransom & Kaczensky, 2016 dans Linnartz & Linnartz-Nieuwdorp, 2017). L'étalon défend son harem face aux mâles rivaux qui s'en approchent. Pour ce faire, il se déplace à sa périphérie lorsque ses membres sont à l'arrêt (temps de repos ou d'alimentation) ou bien en dirigeant le troupeau lors de ses déplacements. Il est possible que des confrontations avec les étalons extérieurs interviennent et prennent alors la forme, entre autres, de cabrages et de ruades (Waran, 2001). Ainsi, on peut supposer que le système musculo-squelettique des équidés mâles est davantage contraint que celui des femelles de par les mouvements plus fréquents (surveillance, conduite et protection du troupeau) et les conflits intra-spécifiques (défense face aux étalons célibataires, reproduction) auxquels les mâles peuvent être confrontés. Précisons tout de même qu'une majeure partie de notre échantillon comporte des animaux ayant vécu en captivité (cf. chapitre IV, figure 43). Bien que certaines études avancent l'idée que les interactions sociales décrites ci-dessus sont similaires entre équidés de zoos et spécimens féraux, nous ne

⁸ Cette structure en harem n'est pas généralisable à l'ensemble des espèces d'équidés. Par exemple, chez le zèbre de Grevy (*Equus grevyi*), l'âne sauvage africain (*Equus africanus*) ou encore l'hémione (*Equus hemionus*), les étalons sont des animaux territoriaux. Les groupes de juments, accompagnées de leurs poulains, parcourent ces territoires afin de trouver l'eau et la nourriture qui leur sont nécessaires (Feh et al., 2001 ; Clutton-Brock, 1992 ; Linnartz & Linnartz-Nieuwdorp, 2017).

⁹ Certaines études éthologiques reportent la présence occasionnelle d'étalons dits « subordonnés » dans le harem (Linnartz & Linnartz-Nieuwdorp, 2017). Ces adultes sont soumis à l'étalon dominant et ont pour rôle principal de défendre le troupeau face aux étalons rivaux.

pouvons savoir dans quelles mesures ces comportements se sont exprimés dans les diverses institutions dont sont issus nos spécimens.

Si ces éléments peuvent expliquer les atteintes plus fréquentes de certaines enthèses chez les équidés mâles, les raisons pour lesquelles certaines insertions affichent un taux d'altérations plus important chez les juments sont plus incertaines. Cette tendance concerne six enthèses : *M. biceps brachii* gauche sur la scapula (SBB G), *M. ulnaris lateralis* sur l'humérus (HUL G et D), *M. gluteus profundus* sur les os coxaux gauche et droit (CFEP G et D, p-valeur significative à gauche, tableau 34) et ligament plantaire latéral gauche sur la phalange proximale postérieure (P₁PMp lat G) (chapitre V, figures 61 et 63). Dans son travail de thèse, S. Villotte suppose que la relaxine, hormone sécrétée dans les semaines précédant l'accouchement, favorise le développement de changements enthésiques chez la femme (Villotte, 2008). Sécrétée par le placenta, son action conduit à l'élongation des ligaments pelviens et au relâchement du col de l'utérus en prévision de la parturition. Chez la jument, la relaxine est détectable aux alentours de 70 jours de gestation, montre un pic de sécrétion à 5-6 mois et une augmentation de sa concentration à proximité de la mise bas (Pinto & Frazer, 2012). Cependant, il n'existe pas, à notre connaissance, d'étude mettant en lien l'action de la relaxine avec l'apparition de lésions enthésiques, ligamentaires et tendineuses chez les juments. De fait, il est complexe de valider l'hypothèse d'une intervention endocrinienne pour expliquer la propension des juments de notre analyse à développer davantage d'atteintes au niveau de certaines enthèses.

3. Les proportions corporelles (ratio Masse/Taille).

L'influence des dimensions corporelles (taille, masse, robustesse) sur les changements enthésiques fait l'objet de nombreuses discussions dans la littérature en anthropologie biologique (*e.g.* Mazza, 2019; Niinimäki, 2012; Weiss, 2003, 2004; Wilczak, 1998). Les conclusions qui en découlent diffèrent quant à confirmer leur implication (Godde et al., 2017; Karakostis et al., 2017; Michopoulou et al., 2015; Nolte & Wilczak, 2013; Weiss, 2004) ou non (Michopoulou et al., 2017; Niinimäki & Baiges Sotos, 2013) dans le développement de modifications au niveau des zones d'insertion tendineuses et ligamentaires. Les dimensions corporelles des équidés semblent impacter le développement de lésions aussi bien au niveau des insertions fibrocartilagineuses que fibreuses. Cette observation vient contredire certaines publications axées sur l'os humain affirmant que les enthèses fibreuses sont bien plus sensibles que les enthèses fibrocartilagineuses aux effets liés à ce paramètre (Mariotti et al., 2007;

Niinimäki, 2011; Villotte et al., 2010; Weiss, 2015). Les analyses entreprises dans cette étude révèlent que les proportions corporelles (ici représentées par le calcul du ratio Masse/Taille) sont parmi les facteurs à prendre en compte au cours des investigations s'intéressant aux changements enthésiques chez les équidés (cf. chapitre V). Si la sévérité des lésions varie selon ce ratio pour beaucoup d'insertions, seules 10 d'entre elles ont révélé des résultats statistiquement significatifs (tableau 34 du présent chapitre ; chapitre V, figure 74).

L'une des tendances la plus couramment observée est l'association entre sévérité accrue des atteintes enthésiques et augmentation du ratio Masse/Taille chez les équidés étudiés. Les enthèses des animaux caractérisés par les dimensions les plus importantes de l'échantillon (hauteur au garrot, masse corporelle) seraient les plus à même à développer des altérations que les spécimens plus légers et/ou petits. Nos résultats concordent avec certaines observations établies en anthropologie biologique et qui attestent d'une corrélation entre augmentation de la masse corporelle et accroissement de la prévalence et de la grièveté des changements enthésiques (Michopoulou et al., 2015). Pour expliquer ce phénomène, les chercheurs avancent l'idée que les individus dont les dimensions corporelles sont plus importantes sollicitent davantage leur système musculo-squelettique, leurs mouvements requérant des efforts plus importants (Krantz, 1981 dans Mazza, 2019 ou Niinimäki & Baiges Sotos, 2013).

En revanche, il est délicat de statuer sur l'association entre changements enthésiques moyens ou sévères (stades B et C) et ratio Masse/Taille faible observée pour certaines enthèses. Ceci indiquerait une prépondérance des atteintes enthésiques chez les équidés les moins grands et/ou les plus légers de l'échantillon pour les enthèses concernées (e.g. *M. subscapularis*, HSC ; ligament collatéral sur la phalange proximale antérieure, P₁CLa ; voir chapitre V, figure 71). Ce résultat doit être considéré avec prudence. On a en effet noté que certains stades de cotation peuvent être sous-représentés pour une enthèse donnée chez les 17 spécimens retenus. Les stades B et C peuvent avoir été enregistrés chez seulement 2 ou 3 équidés dont le ratio Masse/Taille était réduit (cas du ligament collatéral latéral sur la phalange proximale antérieure droite, P₁CLa lat D). Ces sous-effectifs biaisent donc l'analyse et conduisent à une exagération des ratios moyens calculés pour les différents stades de cotation pour une enthèse donnée.

L'origine du *M. biceps brachii* (SBB) est associée à une augmentation du ratio Masse/Taille moyen entre les stades A et B puis une diminution nette de celui-ci entre les stades B et C (chapitre V, figure 71). Cette observation surprend en regard des résultats décrits précédemment car on s'attendrait à observer une variation continue et graduelle de la sévérité des changements enthésiques en fonction des proportions corporelles des équidés. Il est fort

probable que ce résultat découle encore une fois d'un hasard lié à la composition de l'échantillon, certains stades de cotation ayant été enregistré chez très peu de spécimens (pour SBB, il s'agit du stade C qui a été enregistré chez seulement un équidé !).

De plus, c'est la localisation des 10 insertions associées à des p-valeurs significatives qui retient notre attention. En effet, ces dernières sont pour la plupart localisées sur le membre antérieur (origine du *M. biceps brachii*, SBB ; *M. infraspinatus* droit, HIE D ; ligament collatéral latéral sur la phalange proximale droite, P₁CLa lat D ; ligament palmaire, P₁PMa). L'explication est probablement d'ordre biomécanique. Le membre thoracique, outre ses fonctions d'amortissement et de réception au cours du mouvement (Denoix, 2014), supporte environ 60% de la masse corporelle (Barone, 2000a). Ainsi, il n'est pas surprenant que des insertions localisées dans cette partie du squelette soient particulièrement soumises aux contraintes liées au poids de l'animal.

On note de plus la présence d'insertions phalangiennes parmi les enthèses associées à des p-valeurs significatives (enthèses citées précédemment ; insertion du ligament collatéral médial sur la phalange distale postérieure, P₃CLp méd). Il est possible que leur position à l'extrémité distale du membre explique en partie les résultats obtenus. L'extrémité distale de la patte se compose essentiellement de ligaments et de tendons, l'essentiel de la masse musculaire se situant dans sa partie proximale. Les structures tendineuses, ligamentaires et osseuses qui s'y trouvent sont exposées à de nombreuses contraintes, de nombreux chocs ce qui peut favoriser l'apparition de lésions (Denoix et al., 2011; Parkes & Witte, 2015). La combinaison de ces deux facteurs (localisation de l'insertion et contraintes liées aux proportions corporelles) est une raison possible pour expliquer la présence d'enthèses phalangiennes parmi les insertions impactées par les proportions corporelles chez les équidés.

Il sera donc nécessaire dans les études futures s'intéressant aux changements enthésiques chez les équidés de prendre en compte le paramètre « proportions corporelles ». D'après les recherches conduites en anthropologie biologique, les zones d'insertion utiles à la reconstitution des activités socio-économiques dans les populations humaines passées ne doivent pas être influencées par la masse corporelle des individus (Alves Cardoso & Henderson, 2010). Ainsi, si on suit ce raisonnement, les insertions des *M. biceps brachii* (SBB), *M. infraspinatus* droit (HIE D), ligament collatéral latéral sur la phalange proximale antérieure droite (P₁CLa lat D), ligament collatéral médial sur la phalange distale postérieure (P₃CLp méd)

ainsi que des ligaments palmaires antérieurs (P₁PMa) ne seraient pas de bons témoins osseux pour aider à l'identification des activités pratiquées par les équidés.

4. Le lieu de vie.

L'habitat dans lequel évolue un individu au cours de sa vie a rarement été exploré au cours des investigations portées sur les changements enthésiques (anthropologie biologique : Acosta et al., 2017 ; archéozoologie : Hull et al., 2020; Niinimäki & Salmi, 2016). Dans une étude menée sur des restes humains, MA. Acosta et ses collaborateurs démontrent que la topographie de l'environnement (présence ou non de reliefs) et le type de sol peuvent affecter le développement d'altérations au niveau des zones d'insertion tendineuses et ligamentaires (Acosta et al., 2017). C'est dans cette logique que certaines recherches axées sur le renne ont été menées (cf. chapitre II ; Niinimäki & Salmi, 2015 ; Hull et al., 2020). Les chercheuses démontrent par ce biais que (1) les conditions de vie et les comportements qui en résultent (superficie du territoire, mouvements, prises alimentaires ; Niinimäki & Salmi, 2015) ainsi que (2) la mobilité des spécimens, la diversité des écozones qu'ils sont amenés à parcourir (sol, distances parcourues ; Hull et al., 2020) peuvent être discutés au travers des changements enthésiques. Elles y voient ici un moyen de documenter les conditions de vie et les possibles interactions de ces populations animales avec l'Homme par le passé. En revanche, ce paramètre n'a jamais été éprouvé dans les quelques publications consacrées au cheval (voir Taylor et al., 2015 et Bendrey, 2008).

Nos résultats n'indiquent aucune tendance nette en faveur des équidés du groupe « Captivité » ou « Naturel ».

Les enthèses fibrocartilagineuses rassemblent l'ensemble des zones d'insertion associées à des différences statistiquement significatives (chapitre V, figure 69, n = 9). Il est surprenant de constater que ce sont les équidés du groupe « Captivité » qui affichent un taux de modifications enthésiques supérieur à celui du groupe « Naturel », et ce, pour des insertions fémorales associées à des muscles impliqués dans le mouvement du membre pelvien (*M. gluteus profundus* gauche, FFEP G ; *M. gluteus accessorius* droit, FFA D ; *M. gastrocnemius* gauche, FGC G) ainsi que des enthèses situées sur les phalanges intermédiaires (ligaments collatéraux antérieurs droits, P₂CLa D ; ligaments collatéraux postérieurs médial gauche et latéral droit, P₂CLp méd G et lat D) (figure 66, chapitre V). En effet, on pourrait s'attendre à ce que les animaux vivant en liberté sollicitent davantage leur

appareil musculo-squelettique, leur mobilité étant plus grande en raison de l'espace bien plus étendu qui leur est accordé (par exemple, les chevaux lozériens bénéficient d'un enclos de 400 hectares !!) ou encore d'une adaptation nécessaire de leurs membres à des sols irréguliers (tourbes, sols rocheux, sables, etc... ; voir Hull et al., 2020). Au contraire, les équidés provenant de zoos sont définis par une mobilité moindre, une position immobile plus fréquente ainsi que des interactions avec l'Homme plus nombreuses (apports alimentaires, soins vétérinaires). Les résultats de cette étude se distinguent des observations effectuées sur des rennes élevés en captivité. Cette population se caractérisait par une atteinte préférentielle de certaines enthèses du membre antérieur liées à des muscles participant au maintien de l'épaule et à son immobilisation (chapitre II ; Niinimäki & Salmi, 2015). Pour les équidés échantillonnés dans cette étude, se sont notamment des enthèses fémorales, impliquées dans la mise en mouvement du membre pelvien, que se distinguent le groupe « Captivité ». Dans ce travail, il est hasardeux de mettre ces résultats en relation avec le comportement alimentaire des spécimens ou encore la faible mobilité à laquelle ils sont soumis.

Lors de la mise en place des catégories « Captivité » et « Naturel », nous n'avons pris en compte que les types d'habitat (zoos vs espace naturel), la superficie supposée de ces espaces (enclos ou espaces naturels) ainsi que leur topographie supposée. Bien évidemment, il n'est pas exclu que d'autres paramètres liés aux conditions de vie de ces équidés participent au développement de changements enthésiques.

Pour les spécimens vivant en captivité, il est fort probable que les contacts avec l'Homme soient plus nombreux que pour leurs pairs vivant en Lozère ou dans le marais de Pagny-sur-Meuse (cf. annexe 9 du chapitre IV). Ces interactions comprennent des apports en nourriture réguliers, des soins vétérinaires (prises de médicaments, interventions médicales...) ou encore une protection face aux phénomènes météorologiques (étables). Malheureusement, l'ensemble de ces critères sont non documentés ce qui empêche d'en évaluer le rôle sur l'apparition d'atteintes des zones d'insertion.

Les équidés captifs proviennent de diverses institutions européennes (*e.g.* Ménagerie du Jardin des Plantes de Paris ; *Haustiergarten* de Halle en Allemagne) et ont vécu sur des périodes comprises entre la fin du XIX^{ème} et le début du XXI^{ème} siècles. Ainsi, on peut supposer que ces animaux, bien qu'élevés en captivité, ont été soumis à des conditions de vie diverses et variées dépendant, d'une part, des institutions desquelles ils sont issus et, d'autre part, de la période à laquelle ils ont vécu (évolution des enclos, de l'alimentation, de leur prise en charge...). De même, si les informations relatives à ces données ne nous sont pas parvenues, nous ne pouvons

exclure un biais lié à l'hétérogénéité des environnements auxquels ont été exposés les équidés du groupe « Captivité ».

II. LES CHANGEMENTS ENTHÉSIQUES : DES MARQUEURS D'ACTIVITÉ POUR LES ÉQUIDÉS ?

Notre étude confirme que la pratique d'une activité en lien avec l'Homme est bien une étiologie participant à la formation de changements enthésiques chez les équidés. Nos constats rejoignent ainsi les observations antérieures conduites sur l'insertion du *ligamentum nuchae* au niveau de l'os occipital (Bendrey, 2008; Taylor et al., 2015).

Les comparaisons des groupes « Sans activité », « Monte » et « Traction » montrent qu'il est possible de les distinguer à partir des atteintes des zones d'insertion tendineuses et ligamentaires de leur squelette appendiculaire. On s'intéressera dans un premier temps aux dissemblances enregistrées entre les équidés exempts d'activité et les spécimens employés comme montures ou animaux de trait. Nous discuterons ensuite plus spécifiquement des éléments distinguant les activités de monte et de traction au sein de notre référentiel.

1. Cheval exploité ou cheval sans activité ?

a. Des fréquences d'atteintes variables.

Ce sont les fréquences d'enthèses saines et remodelées qui, dans un premier temps, différencient les équidés sans activité de ceux employés comme montures ou animaux de trait. Les spécimens non utilisés par l'Homme (groupe « Sans activité ») sont généralement caractérisés par une prévalence d'enthèses saines supérieure aux proportions d'enthèses altérées (chapitre V, figure 75 et 77 : 61,1% de stade A pour les enthèses fibrocartilagineuses, 52,3% pour les fibreuses) ainsi qu'une faible représentation des atteintes sévères (stade C).

Les enthèses des équidés exploités par l'Homme semblent davantage sujettes au développement de lésions. Les chevaux de monte présentent des fréquences d'enthèses porteuses de modifications proches mais légèrement supérieures à celles des insertions qui en sont exemptes (chapitre V, figure 75 et 77 : 44,1% pour les enthèses fibrocartilagineuses, 54,2% pour les fibreuses). En revanche, les équidés employés dans des activités de traction affichent un taux élevé d'enthèses remodelées, ces dernières étant cette fois-ci majoritaires avec 62,8% des enthèses fibrocartilagineuses (chapitre V, figure 75) et 60,2% des insertions fibreuses

(chapitre V, figure 77). C'est aussi dans ce groupe que nous avons enregistré un grand nombre d'insertions sévèrement altérées (stade C, 15,2% pour les enthèses fibrocartilagineuses), ces dernières représentant le double voire le triple des proportions enregistrées chez les animaux sans activité (4,6%) et les chevaux de monte (7,9%).

L'application de tests statistiques indique que 14 insertions fibrocartilagineuses et 1 enthèse fibreuse seraient de bonnes candidates pour nous aider à différencier les trois groupes d'équidés testés dans ce travail (tableau 34). Les chevaux sans activités présentent, dans nombre de cas, le moins de zones d'insertion modifiées des trois catégories. Ce sont chez les équidés de traction que nous avons relevé les prévalences les plus grandes d'insertions lésées. Les chevaux de monte montrent généralement des valeurs intermédiaires (chapitre V, figures 76 et 78). On peut ainsi supposer que les proportions élevées de modifications observées chez les animaux employés par l'Homme sont du fait des activités auxquelles ils ont été soumis au cours de leur vie. La pratique d'exercices répétés peut induire des contraintes accrues au niveau des zones d'insertion. Les recherches vétérinaires font état de tendinopathies, desmopathies et enthésopathies courantes chez les chevaux sportifs quelle que soit la discipline considérée (cf. chapitre II, II.1). La pratique d'une activité récurrente sur-sollicite l'appareil musculo-squelettique du cheval ce qui peut favoriser l'apparition de lésions au niveau des structures qui le composent.

b. Une question d'asymétrie(s) ?

Cette recherche ne pouvait explorer le lien entre changements enthésiques et identification de l'emploi des équidés dans les sociétés passées sans aborder la question d'asymétries possibles dans le développement de ces atteintes. Nous avons vérifié si la présence d'un déséquilibre entre enthèses (1) gauches/droites, (2) latérales/médiales et/ou (3) antérieures/postérieures constitue un critère pour différencier les animaux non utilisés de ceux employés dans le cadre d'activités humaines. Lorsqu'asymétrie(s) il y a, nous avons pu constater que celles-ci étaient observables aussi bien chez les équidés sans activité que ceux impliqués dans une activité particulière (groupes « Monte » et « Traction »). Si nos résultats peuvent aider à mieux comprendre les changements enthésiques chez les équidés, ils démontrent en revanche que l'utilisation de ces asymétries comme moyen de distinction entre les catégories « Sans activité », « Monte » et « Traction » est peu judicieuse.

i. Asymétrie gauche/droite.

Aucune asymétrie « gauche-droite » globale n'a été observée chez les équidés sans activité, les spécimens utilisés comme montures ou encore les animaux de trait (chapitre V, figures 81 et 83). On peut supposer que cette absence de déséquilibre est liée au fait que les équidés sont quadrupèdes. En effet, contrairement à l'Homme, leurs quatre membres sont en contact avec le sol et sont impliqués dans la locomotion. De fait, les contraintes qui en découlent sont réparties de manière équivalente de part et d'autre du squelette axial.

Les quelques asymétries enregistrées relèvent d'enthèses isolées en fonction de la catégorie d'équidés considérée (*e.g.* asymétrie en faveur du côté droit pour le *M. subscapularis*, HSC, dans la catégorie « Monte » ou pour le ligament patellaire latéral, TPL dans le groupe « Traction » ; asymétrie en faveur du côté gauche pour l'origine du ligament collatéral sur la phalange proximale antérieure, P₁CLa méd, dans le groupe « Sans activité »). Nos observations rejoignent ainsi celles des chercheurs vétérinaires. D'après ces derniers, l'apparition préférentielle de tendinopathies, desmopathies ou d'enthésopathies sur les membres gauches ou droits relève généralement de cas isolés (*e.g.* Ashton, 2018; Chopin et al., 1997; Hawe & McDiarmid, 1999; McDiarmid, 1998; Smith et al., 2005). Dans le présent travail, diverses hypothèses peuvent être posées pour expliquer les prévalences observées chez nos spécimens. Les quelques déséquilibres mis en évidence pourraient découler d'une pathologie localisée (*e.g.* fracture, arthropathie, luxation) pouvant conduire à une boiterie et donc à une sollicitation exagérée des structures tendineuses, ligamentaires de l'un ou l'autre des côtés. Cependant, lors de la création des échantillons pour nos analyses, les spécimens porteurs de pathologies osseuses sévères du squelette appendiculaire ont été exclus (cf. chapitre IV). De fait, les asymétries observées ne peuvent être directement liées à la présence d'affections osseuses localisées.

Comme nous l'avons précisé dans le chapitre I, les atteintes des tissus mous (*e.g.* tendinopathie, desmopathie, myopathie) ne laissent pas nécessairement de trace osseuse. Ces dernières peuvent être à l'origine de douleurs pour le cheval et avoir des répercussions sur le bon déroulement de la locomotion (boiteries). En l'absence d'une documentation établissant la présence de ce type d'anomalies chez les animaux étudiés, nous n'avons pas pu exclure les spécimens concernés. Ainsi, il est possible de supposer que les asymétries observées pour les quelques tendons/ligaments soient du fait d'altérations à leur niveau, indétectables à partir de l'os seul.

Enfin, nous pouvons supposer qu'un biais lié à nos échantillons est à l'origine de nos résultats. En effet, les déséquilibres entre les côtés gauche et droit se limitent à quelques insertions pour

une catégorie donnée et ne se généralisent pas à l'ensemble des enthèses, ce qui pourrait relever d'un hasard lié à la composition de nos référentiels.

ii. Asymétrie latérale/médiale.

Les recherches vétérinaires menées sur des chevaux sportifs font état d'atteintes préférentielles des ligaments médiaux (cas du ligament collatéral de l'insertion inter-phalangienne distale, Dakin et al., 2009; Dyson et al., 2008 ; branches du ligament suspenseur du boulet, Plevin & McLellan, 2014). D'après les praticiens, ces derniers sont exposés à des contraintes plus importantes au cours de la locomotion du fait de leur position. Cette accumulation de contraintes favorise l'altération des tissus mous ou des zones d'insertion concerné(e)s. Cependant, ces observations ne semblent pas se limiter aux équidés sportifs seuls. Dans une recherche s'intéressant au *ligamentum interosseum* entre les métapodiens chez des chevaux de Przewalski, R. Bendrey démontre que le ligament situé en position médiale est généralement associé à des ossifications plus fréquentes et sévères qu'en position latérale (Bendrey, 2007b). Ses investigations montrent que les équidés exempts d'activité en lien avec l'Homme (ici des chevaux ayant vécu au zoo de Prague) peuvent de même être porteurs d'une asymétrie « médiale-latérale » dans l'apparition de lésions enthésiques.

Nos résultats généraux diffèrent entre enthèses fibrocartilagineuses et fibreuses. Pour les premières, aucun déséquilibre net en faveur de la localisation médiale ou latérale n'a été mis en évidence aussi bien pour les équidés sans activité que ceux exploités par l'Homme (chapitre V, figure 85). En revanche, pour les enthèses fibreuses, les insertions associées aux ligaments médiaux ont été davantage remodelées que celles situées en position latérale quelle que soit la catégorie considérée (chapitre V, figure 87). Aucune donnée ne nous permet d'expliquer les raisons de cette dissemblance selon le type d'enthèse considéré. Rappelons que les enthèses fibreuses prises en compte dans cette analyse sont bien moindres (ligament palmaire/plantaire, P₁PM) que les enthèses fibrocartilagineuses (ligaments collatéraux des articulations inter-phalangiennes proximales et distales, P₁CL, P₂CL et P₃CL) ce qui limite le nombre d'enregistrements pour cette catégorie d'enthèses.

Lorsque l'on s'intéresse aux résultats pour chaque zone d'insertion, seules quelques enthèses fibrocartilagineuses des équidés du groupe « Sans activité » affichent un déséquilibre dans la répartition des atteintes enthésiques (chapitre V, figure 85).

L'origine du ligament collatéral de l'articulation inter-phalangienne proximale postérieure droite (P₁CLp D) montre une prévalence de changements enthésiques supérieure en position

médiale. En revanche, l'enregistrement d'asymétries est en faveur de la position latérale pour les trois autres enthèses (origine du ligament collatéral de l'articulation inter-phalangienne proximale antérieure droite, P₁CLa D ; origine du ligament collatéral de l'articulation inter-phalangienne proximale postérieure gauche, P₁CLp G ; terminaison du ligament collatéral de l'articulation inter-phalangienne distale postérieure gauche, P₃CLp G) ce qui est en contradiction avec les recherches citées précédemment (Bendrey, 2007b; Dakin et al., 2009; Dyson, 2002; Plevin & McLellan, 2014). Ces observations relèvent ici aussi de cas isolés qui peuvent être tout autant le résultat d'affections localisées (et limitées) aux ligaments concernés que d'un hasard lié à notre collection. Il est de fait complexe et risqué de faire de ces déséquilibres « latéral-médial » un marqueur des équidés non utilisés par l'Homme.

iii. Asymétrie antérieure/postérieure.

Que l'on considère les enthèses fibreuses ou fibrocartilagineuses, les résultats généraux indiquent un déséquilibre dans l'enregistrement des changements enthésiques en faveur des enthèses phalangiennes antérieures aussi bien chez les équidés sans activité que ceux employés dans le cadre d'activités humaines (chapitre V, figures 89 et 91). On peut ainsi en déduire que les insertions localisées sur le membre antérieur sont davantage sollicitées qu'en postérieur.

Ce constat est justifiable pour les catégories « Sans activité » et « Monte » en regard des données anatomiques et vétérinaires. La fonction du membre thoracique est de soutenir les 2/3 de la masse corporelle (Barone, 2000a). Chez le cheval au repos, son centre de gravité est placé à proximité des membres thoraciques ce qui résulte en des contraintes plus importantes à leur niveau, prédisposant ainsi l'animal à des blessures plus fréquentes (Ross & Dyson, 2011). Bien que les équidés de la catégorie « Sans activité » n'aient été soumis à aucune activité, il est tout à fait possible à la vue des arguments biomécaniques avancés ci-dessus que les changements enthésiques se développent préférentiellement en position antérieure chez ces animaux.

Chez les chevaux utilisés comme montures, l'ajout d'une masse supplémentaire (par exemple, la selle et le cavalier) modifie la répartition de la masse corporelle entre les membres antérieurs et postérieurs (environ 70%/30%) et déplace de fait le centre de gravité plus en avant (Ross & Dyson, 2011). D'après les données vétérinaires, les chevaux sportifs (courses, saut d'obstacles, concours complets) sont porteurs de lésions ligamentaires, tendineuses plus fréquentes et sévères au niveau du membre antérieur car celui-ci remplit les fonctions de réception du corps de l'animal, d'absorption des chocs liés au mouvement pendant un exercice

sportif telle que la course ou le saut (Dyson, 2002; Dyson et al., 2004; Murray et al., 2006; Williams et al., 2001).

En revanche, pour les équidés du groupe « Traction », nos observations sont surprenantes. En effet, on aurait pu s'attendre à ce que les changements enthésiques prévalent au niveau des insertions phalangiennes postérieures, et ce, pour diverses raisons. Le membre pelvien concourt à la propulsion du corps, ses muscles proximaux transmettant la force requise pour la locomotion (Barone, 2000a; Crook et al., 2008). Chez l'équidé dédié aux activités de trait, l'ajout d'une nouvelle masse à l'arrière de l'animal provoque un déplacement de son centre de gravité vers les membres postérieurs (Ross & Dyson, 2011) ce qui prédispose ces derniers à l'apparition de lésions. De même, nos constatations ne concordent pas avec certaines recherches vétérinaires conduites sur des chevaux de trait (Goble, 2011) ou d'attelage (Keane & Munroe, 2011). Les chercheurs avancent l'idée que les pressions accrues appliquées sur les membres postérieurs au cours d'un exercice ainsi que l'accumulation de microtraumatismes à leur niveau favorisent l'apparition d'anomalies chez les équidés de traction (Goble, 2011 ; Keane & Munroe, 2011). Ainsi, pour nos observations, ces données biomécaniques, anatomiques peuvent expliquer la présence d'enthèses remodelées localisées sur le membre pelvien chez les équidés du groupe « Traction » mais pas l'asymétrie relevée en faveur des enthèses antérieures.

Ainsi, comme le déséquilibre en faveur des enthèses antérieures est observable aussi bien chez les équidés sans activité que ceux employés par l'Homme, l'asymétrie « antérieure-postérieure » ne peut être utilisée comme un critère d'identification de la pratique ou non d'une activité.

c. Essais de classification par les Mesures Moyennes de Divergence (ou MMD).

Les MMD ont révélé des résultats différents selon que l'on considère les insertions fibrocartilagineuses gauches ou droites. Ces deux positions s'accordent sur une différence nette entre équidés de traction et ceux sans activité (chapitre V, tableaux 28 et 31). Ces résultats rejoignent les constats développés précédemment : les enthèses des équidés de la catégorie « Traction » sont plus fréquemment le siège d'atteintes modérées ou sévères que les zones d'insertions des animaux sans activité.

En revanche, le rapprochement des chevaux de monte avec l'une ou l'autre de ces catégories dépend de la latéralisation des enthèses considérées. D'après les MMD calculées à partir des

enthèses fibrocartilagineuses gauches, les catégories « Monte » et « Sans activité » forment un cluster qui se distingue de la catégorie « Traction » (chapitre V, figure 93). En revanche, chevaux de monte et équidés de traction sont regroupés d'après les mesures établies selon les enthèses droites (chapitre V, figure 94). Ces observations variables peuvent venir du fait que les prévalences des changements enthésiques pour une insertion donnée chez les équidés de monte affichent généralement des valeurs intermédiaires à celles enregistrées dans les deux autres groupes (chapitre V, figure 76).

Ainsi, selon les MMD, seules les enthèses fibrocartilagineuses droites permettent de distinguer les équidés employés dans le cadre d'activités humaines de ceux qui en sont exempts. Ces observations ne peuvent être la conséquence d'une asymétrie dans l'enregistrement de changements enthésiques au niveau des enthèses gauches et droites. Nous n'avons relevé en effet aucun déséquilibre notable dans la prévalence de lésions entre ces deux positions (voir II.1.b.ii).

En revanche, ce résultat peut être mis en lien avec les insertions à partir desquelles ont été calculées les MMD. Avant de lancer l'analyse, nous avons tout d'abord retiré les enthèses associées à des p-valeurs significatives lors de l'exploration de l'influence des paramètres non liés à l'activité. Or, pour une même insertion, les positions gauche et droite n'affichaient pas nécessairement des résultats équivalents : l'insertion gauche peut avoir été retenue pour l'analyse contrairement à la droite ou vice versa (*e.g.* insertion du *M. triceps brachii* sur l'ulna, UTB, influence du sexe). Les deux analyses ont de fait été menées à partir d'une liste différente d'insertions ce qui pourrait expliquer les différences de MMD entre les sites d'insertion ligamentaires ou tendineux gauches et droits.

2. Cheval monté ou cheval attelé ?

Seules sept enthèses fibrocartilagineuses permettent de dissocier les activités de monte et de traction. L'absence d'enthèses fibreuses indiquerait que ces dernières ne sont pas de bons marqueurs d'activité pour les équidés ce qui concorde avec les constats des bio-anthropologues. Ces derniers déclarent en effet que le remodelage des enthèses fibreuses est préférentiellement impacté par les paramètres biologiques non liés à l'activité tels que l'âge ou les dimensions corporelles (Henderson, 2013a; Villotte, 2008; Villotte & Knüsel, 2013; Weiss, 2015). Ainsi, en attente de recherches plus exhaustives à leur sujet, les enthèses fibreuses demeurent pour l'instant des marqueurs d'activité peu fiables.

La plupart des enthèses fibrocartilagineuses permettant de distinguer les activités de monte et de traction se situent sur le membre thoracique (tableau 34) : origine du *M. biceps brachii* gauche (SBB G), insertions des *M. subscapularis* droit (HSC D), ligament collatéral du coude (HCL) ainsi que du ligament collatéral sur la phalange proximale antérieure gauche (P₁CLa G). Pour le membre postérieur, seule l'insertion du *M. gluteus accessorius* droit (FFA D) a révélé une différence statistiquement significative entre les spécimens des groupes « Monte » et « Traction ».

a. Des enthèses de l'épaule sièges d'altérations chez les chevaux de monte.

Les chevaux utilisés comme montures présentent des fréquences élevées de modifications enthésiques au niveau de l'origine du *M. biceps brachii* gauche (SBB G) et de la terminaison du *M. subscapularis* sur l'humérus droit (HSC D).

Les muscles *biceps brachii* et *subscapularis* sont tous deux des extenseurs de l'articulation de l'épaule (Barone, 2000b; Budras et al., 2003). Le muscle *biceps brachii* participe de plus à la flexion de l'articulation du coude ainsi qu'à la stabilisation de l'articulation du carpe via le *lacertus fibrosus* (Barone, 2000b). Le muscle *subscapularis*, quant à lui, est un adducteur du bras et participent au maintien de l'articulation scapulo-humérale en s'opposant aux déplacements transversaux de la tête humérale (Barone, 2000b).

Nos observations indiqueraient que ces muscles sont particulièrement sollicités dans le cadre d'activités de monte. Leur interprétation fait appel aussi bien à des arguments anatomiques que biomécaniques.

Différentes fonctions sont attribuées au membre thoracique. Ce dernier donne une direction au mouvement et contribue à la réception de l'animal au cours de la locomotion via l'absorption des chocs qui en découlent (Denoix, 2014; Higgins & Martin, 2014; Pilliner et al., 2009). Tout comme pour le membre pelvien, 90% de la masse musculaire se situent dans sa partie proximale (au-dessus de l'articulation du carpe, notamment dans la région de l'articulation scapulo-humérale) tandis que la partie distale est essentiellement constituée de tendons, reliés au corps charnu des muscles, et ligaments (Harrison et al., 2012). Dans une étude s'intéressant à l'activité des muscles du membre thoracique durant la locomotion (Harrison et al., 2012), il est démontré que les contractions de ces muscles dits « proximaux » dispensent l'essentiel de la force permettant la mise en mouvement (ou foulée, figure 95) de l'ensemble du

membre. Ils mettent de plus en évidence que l'action combinée de ces différents muscles participe à la stabilisation des articulations et plus généralement du membre avant que celui-ci n'entre en contact avec le sol au cours de l'embrassée (Harrison et al., 2012).

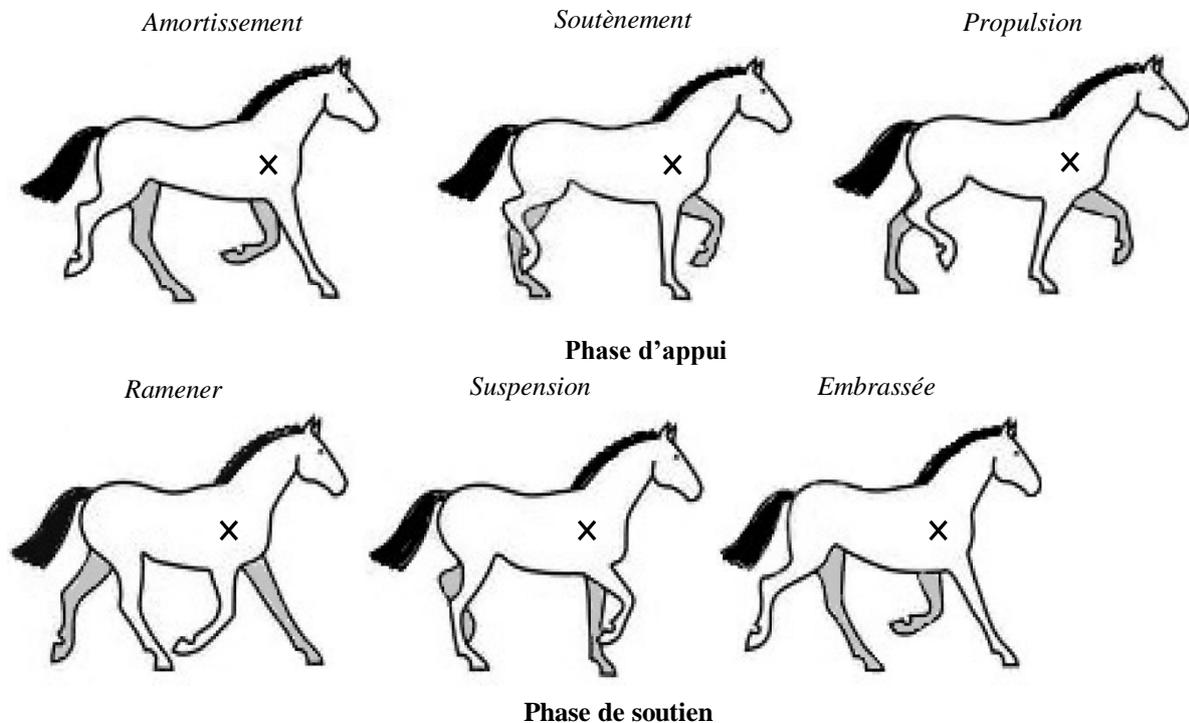


Figure 95 : Étapes composant la foulée chez le cheval. Exemple du membre antérieur.

Rappelons de plus que le membre antérieur est porteur des 2/3 de la masse corporelle chez les mammifères quadrupèdes (Barone, 2000a) et explique ainsi le fait que leur centre de gravité soit situé à proximité des membres thoraciques (Ross & Dyson, 2011). Chez le cheval monté, l'ajout de la masse du cavalier déplace davantage la position du centre de gravité vers l'avant de l'animal. Les contraintes mécaniques exercées sont alors amplifiées augmentant les risques de développement d'affections osseuses ou des tissus mous au niveau des membres antérieurs (Ross & Dyson, 2011; Schamhardt et al., 1991).

En regard des éléments décrits précédemment, il n'est donc pas illogique d'observer des taux importants d'altérations au niveau des enthèses associées à des muscles impliqués dans le mouvement des membres antérieurs chez les chevaux de monte de nos référentiels. L'articulation de l'épaule peut être particulièrement sollicitée au cours du mouvement chez le cheval de monte ce qui pourrait expliquer nos résultats.

Les interprétations doivent tout de même être nuancées notamment pour l'origine du *M. biceps brachii* sur la scapula gauche (SBB G). En effet, les changements enthésiques ne semblent pas avoir été influencés seulement par le facteur « Activités » mais aussi par le paramètre « Proportions corporelles » (tableau 34). Or, nous avons vu dans la partie traitant de l'influence des paramètres biologiques sur les changements enthésiques qu'il est préférable que ce paramètre n'intervienne pas au cours des analyses visant à identifier la pratique ou non d'une activité par les équidés au risque de fausser les interprétations (Alves Cardoso & Henderson, 2010 ; voir I.3 de ce chapitre). De fait, l'association entre changements enthésiques et activités de monte pour l'origine du *M. biceps brachii* gauche devra être vérifiée dans des études futures.

b. Quid des équidés de trait ?

i. Cas du membre antérieur.

Les insertions du **ligament collatéral latéral du coude** (HCL) et du **ligament collatéral sur la phalange proximale antérieure gauche** (P₁CLa G) semblent particulièrement sujettes à l'apparition de lésions chez les équidés de trait.

Le ligament collatéral latéral participe au maintien de l'articulation du coude, qui effectue essentiellement des mouvements de flexion ou d'extension, et reçoit une des origines du *M. extensor digitorum lateralis* (Barone, 2000b). Précisons que les chevaux de monte ne sont pas exempts d'altérations au niveau de cette zone d'insertion. Bien que le taux de modifications enthésiques soit plus faible que celui enregistré chez les équidés de traction (entre 40 et 50% des enregistrements), les individus du groupe « Monte » présentent uniquement des insertions fortement remodelées (25%). L'explication peut être de deux sortes :

- Bien que l'on ne puisse exclure que cette enthèse soit contrainte chez les équidés de trait, elle peut l'être davantage chez les chevaux utilisés comme montures du fait des contraintes biomécaniques inhérentes liées à la monte développées précédemment ;
- Le hasard. En effet, il est curieux de constater qu'aucune lésion moyenne n'ait été identifiée chez les montures. Or, on aurait pu s'attendre à relever la présence de cas « intermédiaires » entre enthèses sans altération (stade A) et celles fortement remodelées (stade C). La petite taille de ce groupe a probablement limité l'observation d'atteintes diverses et variées en sévérité au niveau de cette zone d'insertion.

Les ligaments collatéraux des articulations inter-phalangiennes participent à leur stabilisation en limitant les extensions, flexions ou rotations exagérées auxquelles elle peuvent être exposées au cours du déplacement de l'animal (Barone, 2000b; Higgins & Martin, 2014). Les résultats indiquent que l'origine de ce ligament sur la phalange proximale antérieure gauche (P₁CLa G) semble bien plus sujette à l'apparition de modifications chez les équidés utilisés comme animaux de trait alors que ces atteintes sont inexistantes chez les montures (chapitre V, tableaux 24 et 25).

Composée essentiellement de tendons et de ligaments, la partie distale du membre est bien plus légère que sa partie proximale. Cette particularité anatomique permet au membre d'atteindre la vitesse optimale nécessaire pour la réalisation de la foulée (Pilliner et al., 2002) et de réduire ainsi les coûts énergétiques liés à la locomotion (McGowan, 1999). En revanche, cette zone est particulièrement exposée aux risques de pathologies tendineuses et ligamentaires du fait d'un volume musculaire faible (Denoix et al., 2011; Parkes & Witte, 2015).

Ces connaissances anatomiques et biomécaniques peuvent expliquer en partie les altérations relevées au niveau de l'origine du ligament collatéral sur la phalange proximale antérieure gauche (P₁CLa G). En revanche, il est difficile de statuer sur les raisons pour lesquelles celui-ci est davantage le siège de lésions chez les chevaux de trait contrairement aux chevaux de monte. Il est surprenant que ces derniers ne présentent aucune lésion au niveau de l'origine de ce ligament. En effet, les recherches vétérinaires répertorient de nombreux cas de douleurs, de boiteries chez des chevaux sportifs (CSO, endurance, concours complet...) porteurs de desmopathies ou d'enthésopathies dans cette région du membre (*e.g.* cas du ligament collatéral de l'articulation inter-phalangienne distale : Dakin et al., 2009; Denoix et al., 2011; Evrard et al., 2012; Turner & Sage, 2002).

Dans une étude récente portée sur les enthèses phalangiennes chez le renne, la forte mobilité de certains individus et les variations des types de sols auxquelles ils peuvent être confrontés sont parmi les hypothèses avancées pour expliquer la présence de changements enthésiques (Hull et al., 2020 ; pour plus de détails, voir le chapitre II). On peut supposer que les équidés de trait, du fait des tâches auxquelles ils sont soumis (travaux agricoles, transports...), peuvent avoir évolué sur des terrains divers et variés exposant l'extrémité distale des membres à de nombreuses contraintes. Malheureusement, le lien entre altération de l'origine du ligament collatéral sur la phalange proximale antérieure gauche (ici, P₁CLa G) et types de sols demeure hypothétique car nous ne disposons d'aucune information précisant le ou les environnement(s) dans le(s)quel(s) nos spécimens de trait ont été employés.

ii. *Cas du membre postérieur.*

L'insertion du *M. gluteus accessorius* sur le fémur **droit** (FFA D) est la seule insertion du membre pelvien à révéler des différences significatives entre les activités de monte et de traction. Celle-ci semble particulièrement sollicitée chez les équidés utilisés comme animaux de trait. Le muscle *gluteus accessorius* participe, avec les autres muscles fessiers¹¹, à l'extension du rayon fémoral au cours de la locomotion, à son abduction ainsi qu'à sa rotation (Barone, 2000b). Bien qu'elles n'aient renvoyé aucune différence statistiquement significative entre les groupes « Monte » et « Traction », il est tout de même intéressant de noter que les origines du *M. gluteus profundus* (CFEP) ainsi que sa terminaison sur le fémur droit (FFEP D) ont enregistré une forte proportion d'enthèses modifiées chez les individus employés dans le cadre de travaux de traction (chapitre V, figure 76).

Le membre postérieur remplit la fonction de propulsion du corps (Barone, 2000a), les muscles se situant dans sa partie proximale transmettant la force nécessaire à la locomotion (Crook et al., 2008; Pilliner et al., 2009). Chez les animaux de trait ou d'attelage, l'ajout d'une masse supplémentaire à l'arrière du cheval (chariot, attelage, matériel de labours...) conduit à un déplacement de son centre de gravité vers les membres pelviens et, de fait, à une augmentation des stress exercés à leur niveau (Ross & Dyson, 2011). Ceci explique en partie les observations vétérinaires indiquant que les chevaux de trait ou d'attelage sont exposés à un risque important de boiteries ou d'affections localisés au niveau du membre postérieur (Goble, 2011; Keane & Munroe, 2011).

On peut ainsi poser l'hypothèse que la forte prévalence de modifications enthésiques observée au niveau des insertions des *Mm. gluteus*, notamment du *M. gluteus accessorius* droit (FFA D), est liée à l'emploi de certains spécimens de notre référentiel dans des activités de traction. Rappelons tout de même que le paramètre « Lieu de vie » semble de même impliqué dans l'apparition de modifications au niveau de cette insertion (tableau 34). Bien que la fiabilité de l'analyse relative à ce facteur soit remise en question en raison d'échantillons très inégaux (cf. I.4 de ce chapitre), il est pour l'instant nécessaire de considérer avec prudence la relation entre pratique d'une activité de traction et atteinte préférentielle de l'insertion du *M. gluteus accessorius* sur le fémur droit.

¹¹ Précisons que, parmi les muscles fessiers, le muscle *gluteus medius* est le plus puissant d'entre eux. Il est considéré comme l'extenseur le plus efficace du cheval et joue un rôle déterminant dans la propulsion ainsi que la détente (Denoix, 2014). Les insertions de ce dernier ne sont pas prises en compte dans notre méthode de cotation.

III. REMARQUES ET PERSPECTIVES.

1. La constitution du référentiel.

Nos recherches ont permis de mettre en évidence des résultats prometteurs quant à l'observation et l'étude de changements enthésiques chez les équidés. Certaines limites relatives à la constitution de notre corpus de référence méritent tout de même d'être soulignées afin d'offrir des pistes d'améliorations pour de futures investigations.

a. La taille des échantillons.

À quelques reprises, nous aurions pu évoquer des écueils ayant trait à la taille de nos échantillons, ces derniers pouvant être plus ou moins inégaux selon les paramètres éprouvés. De fait, il est possible que leurs effectifs aient eu un impact sur nos analyses. Nos propos concernent notamment les tests visant à éprouver l'influence de l'âge au décès, des conditions de vie, du sexe ainsi que de la pratique d'une activité (ce dernier point sera abordé dans le III.1.b).

L'établissement des catégories d'âge dépendait fortement du nombre de sujets dont nous disposions, notre volonté étant d'obtenir des classes équilibrées afin de faciliter leur comparaison (cf. chapitre IV). Il sera nécessaire à l'avenir d'accroître le nombre de spécimens étudiés afin de réduire la taille des classes d'âge, en les découpant par exemple en tranches de cinq années chacune, dans le but d'obtenir une vision plus fine de l'influence de l'âge au décès sur l'apparition et le développement de changements enthésiques.

L'échantillon visant à éprouver l'influence des conditions de vie dans l'apparition des changements enthésiques comporte 28 équidés ayant vécu en captivité contre seulement 3 en milieu naturel (cf. chapitre IV, figure 43). Ce fort déséquilibre constitue un biais non négligeable pouvant avoir des répercussions conséquentes sur les fréquences d'altérations calculées dans chaque catégorie (« Captivité », « Naturel »). Ainsi, les résultats obtenus et les conclusions émises quant à l'influence de ce paramètre sont à considérer avec prudence en l'attente d'analyses futures portées sur des effectifs mieux équilibrés et plus conséquents.

La question de la castration n'a malheureusement pas pu être abordée dans ce travail car le groupe « Sans activité », à partir duquel on a éprouvé l'influence du paramètre « sexe », ne comprenait qu'un seul individu châtré. Nous l'avons vu dans le chapitre IV, la castration peut avoir des conséquences sur le comportement et la stature de l'animal. Ainsi, il n'est pas illogique de penser que cet acte peut impacter l'apparition et le développement d'atteintes

enthésiques chez les équidés. Étudier un plus grand nombre de spécimens castrés pour les comparer à des équidés entiers nous permettra de vérifier cette hypothèse.

b. Limites liées aux équidés « actifs ».

Les effectifs des catégories « Monte » et « Traction » sont bien plus réduits que celui des équidés exempts d'activité liée à l'Homme (respectivement 8 et 10 animaux contre 34 équidés). Il n'est pas exclu que les faibles effectifs des catégories « actives » aient créé un biais conduisant à l'exagération de certaines fréquences d'enregistrement en limitant la variabilité des modifications enthésiques pouvant être observées. Ainsi, même si ces premières comparaisons entre, d'une part, équidés non utilisés et employés par l'Homme ainsi qu'entre, d'autre part, montures et équidés de trait fournissent des résultats encourageants, nos constats gagnent à être vérifiés à partir de collections de taille similaire et/ou composées d'un plus grand nombre de spécimens.

Ces deux groupes ont été définis selon des critères biomécaniques liés notamment à la position théorique du centre de gravité chez les équidés lors de la pratique de l'une ou l'autre de ces activités (cf. chapitre IV). Cependant, ces catégories ne reflètent pas la totalité des disciplines équestres qui peuvent y être rattachées tant elles sont nombreuses et variées (voir les quelques exemples dans la figure 96). Cette diversité de pratiques influe sur les pathologies de l'appareil musculo-squelettiques auxquelles nous pouvons être confrontés. En effet, les recherches vétérinaires ont démontré que la fréquence, la sévérité ainsi que la localisation de ces affections dépendent de la discipline à laquelle est dédié l'animal (Murray et al., 2006; Williams et al., 2001). Malheureusement, nous n'avons pas pu explorer ou comparer l'impact de ces différentes contraintes sur la présence de changements enthésiques car les disciplines ou utilisations précises n'étaient pas nécessairement renseignées (exceptés pour les chevaux de courses, cf. annexe 10). De plus, les effectifs étant réduits, il aurait été peu judicieux de subdiviser nos catégories « Monte » et « Traction » au risque de fortement biaiser les analyses statistiques.

Nous ne disposons d'aucune information sur l'intensité et la fréquence des exercices effectués par chaque spécimen. De même, à l'exception des chevaux de courses, nous n'avons aucune indication quant à la durée de la carrière de chacun des individus. Or, nous l'avons vu dans la partie I de cette thèse, plus la carrière d'un cheval sportif est longue, plus celui-ci est amené à développer des lésions de son appareil locomoteur en raison d'un nombre plus important d'entraînements et de compétitions (Kasashima et al., 2004; Murray et al., 2006; Patterson-Kane & Firth, 2009).

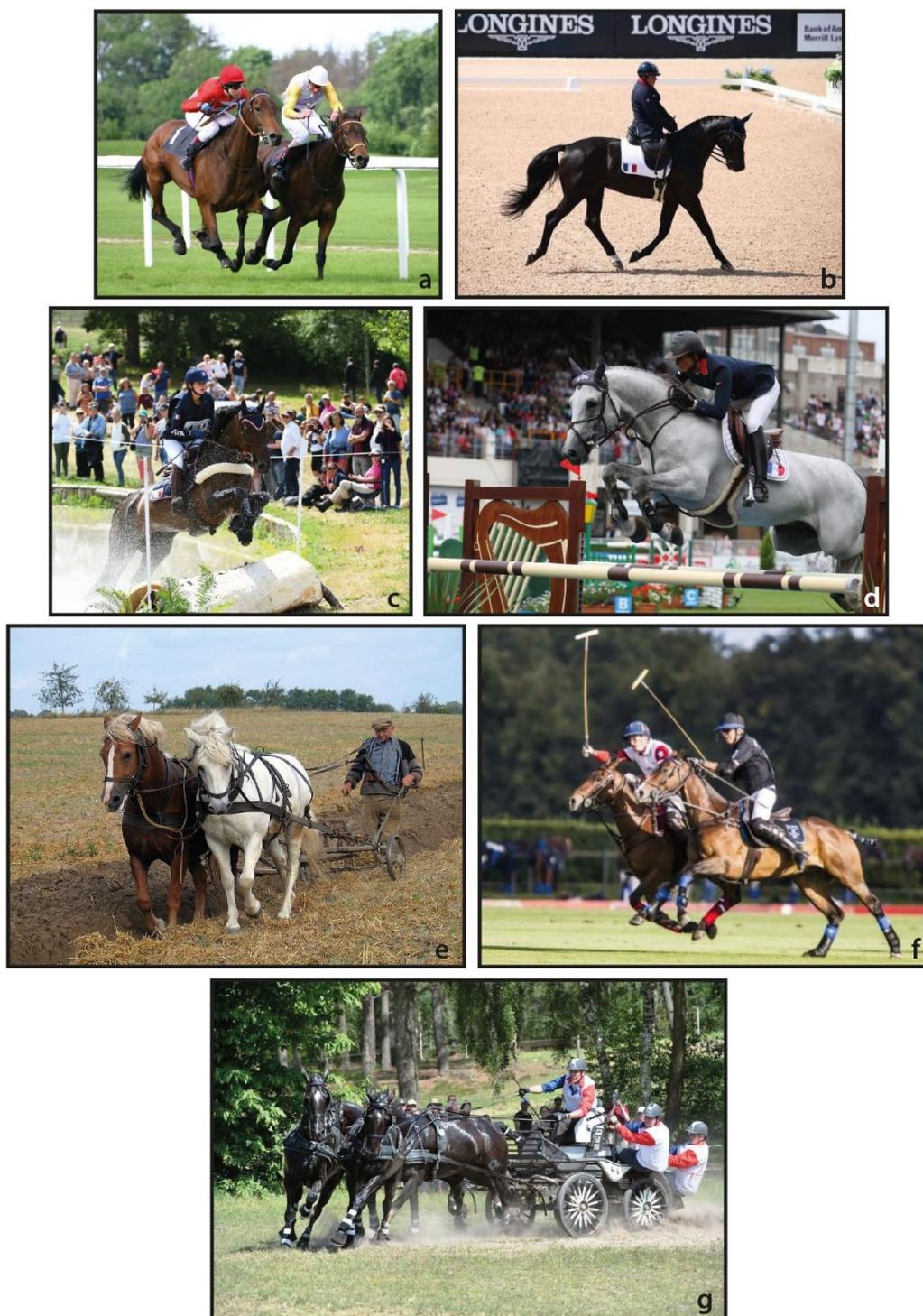


Figure 96 : Exemples illustrant la diversité des pratiques équestres.

- a : Course de plat (*source : wikipedia.org*) ;
- b : Dressage, pratiqué ici en handisport (*source : FFE.com*) ;
- c : Concours complet, épreuve de cross-country (*source : francecomplet.fr*) ;
- d : Concours de saut d'obstacles ou CSO (*source : FFE.com*) ;
- e : Labour traditionnel (*source : wikipedia.org*) ;
- f : Polo (*source : franceolympique.com*) ;
- g : Attelage (*source : FFE.com*).

L'équipement équestre utilisé est lui aussi susceptible d'impacter la locomotion du cheval. Il existe une grande diversité de matériel dépendant de la discipline pratiquée (*e.g.* selle et étriers pour le cheval de selle ; types de voiture, de matériel de labours et de harnachement pour les équidés de trait) et qui peut résulter en une répartition différente des contraintes chez l'animal (par exemple, pour la selle, Greve & Dyson, 2013; Ramseier et al., 2013). De même, on ne peut aborder la question de l'équipement équestre sans discuter de la ferrure employée. Celle-ci joue en effet un rôle biomécanique non négligeable en améliorant la restitution de la force de l'animal au cours de la locomotion. Tout en protégeant le sabot, elle induit une meilleure répartition des chocs à l'interface entre ce dernier et le sol (Higgins & Martin, 2014 ; Back & Pille, 2013). En revanche, une ferrure inadaptée conduit à une mauvaise distribution de ces contraintes au niveau du membre et peut favoriser le développement de processus pathologiques (*e.g.* boiteries, lésions tendineuses/ligamentaires) (Back & Pille, 2013). Malheureusement, aucune indication relative à l'équipement utilisé n'accompagnait les individus composant notre référentiel.

c. Des échantillons homogènes ?

L'accès aux diverses collections et aux spécimens qu'elles contenaient n'a pas permis d'élaborer des groupes homogènes que ce soit pour les équidés dits « sans activité » que pour ceux employés par l'Homme. Ainsi, la mise en place de nos échantillons de référence constitue en elle-même un biais pour nos analyses.

Nos référentiels sont caractérisés par une hétérogénéité temporelle et géographique. En effet, ils comportent des individus provenant de diverses régions géographiques et ayant vécu entre la fin du XIX^{ème} siècle et le début du XXI^{ème} siècle. Ainsi, les animaux appartenant à une même catégorie (« Sans activité », « Monte », « Traction ») n'ont probablement pas été soumis à des conditions de vie similaires (méthodes d'élevage, alimentation, traitements médicaux, fréquences, durée et types d'exercices pour les spécimens sportifs ou au travail, *etc...*).

De plus, nos échantillons sont composés d'équidés d'espèces (cheval, âne, hybrides, zèbres) et de races différentes pour les espèces domestiques (cf. chapitre IV ; annexes 9 et 11). Ces dissemblances peuvent avoir introduit un biais du fait de différences génétiques entre les espèces ainsi qu'entre les races domestiques. Actuellement, il existe en effet une grande diversité de races équines qui sont le résultat d'une sélection découlant de standards propres à

chacune d'elles¹². À partir d'un nombre plus conséquent de spécimens, il faudra donc vérifier si les fréquences et la sévérité des changements enthésiques diffèrent selon les espèces d'équidés ainsi que les races d'équidés domestiques.

L'étiologie des changements enthésiques étant multifactorielle, l'hétérogénéité de nos référentiels a pu biaiser les investigations en ne nous permettant pas d'isoler un à un les paramètres que nous souhaitions tester.

Par exemple, dans le cadre de nos analyses s'intéressant au paramètre « sexe », il a été mis en évidence que ce facteur n'a pas de rôle prépondérant dans l'apparition de modifications enthésiques chez les équidés. Bien que nos effectifs soient équilibrés (17 mâles, 16 juments), ils comportent des animaux d'âges variables, de différentes espèces et ayant vécu dans des habitats divers. À l'avenir, ce résultat devra cependant être confirmé à partir d'un échantillon plus homogène (dans l'idéal, un groupe mono-spécifique composé d'individus d'âges similaires ayant été exposés à des conditions de vie équivalentes).

Un second exemple provient des analyses ayant trait au paramètre « proportions corporelles ». Les investigations ont ici été menées sur les spécimens employés dans le cadre d'activités humaines car ces derniers offraient une plus large gamme de statures et/ou de masses corporelles que leurs pairs issus de parcs zoologiques ou de réserves naturelles (cf. chapitre IV, groupe « Activités »). Outre l'écueil lié à la présence de spécimens d'espèces et de races différentes soulevé précédemment, il est complexe de dissocier les actions respectives des paramètres « Proportions corporelles » et « Activité » dans cette analyse. De fait, afin d'écartier une possible influence du facteur « Activité », il serait intéressant de vérifier nos résultats à partir d'une population d'équidés exempts de toute activité en lien avec l'Homme.

2. Approches statistiques

Dans le cadre de cette recherche doctorale, nous avons fait le choix d'utiliser les tests non-paramétriques en raison, d'une part, du type de données analysées (qualitatives ordinales) et, d'autre part, des effectifs variables de nos échantillons (cf. chapitre IV). Ces tests permettent seulement d'éprouver une à une les étiologies potentiellement impliquées dans l'apparition et

¹² Pour qu'un équidé appartienne à une race particulière, sont considérés :

- L'aspect phénotypique, défini d'après le « standard de race » (critères morphologiques, type d'utilisation majoritaire) ;
- L'aspect génotypique qui prend en compte l'appartenance à une lignée généalogique (ascendants, descendants et collatéraux connus et reconnus).

(Source : <https://equipedia.ifce.fr>, « Comprendre les Stud-books »).

le développement de modifications enthésiques (âge au décès, sexe, proportions corporelles, environnement, activités). Or nombre de recherches, dont celle-ci, ont démontré l'origine multifactorielle de ces atteintes, leur apparition pouvant résulter d'une action combinée de plusieurs facteurs (Bindé et al., 2019; Villotte, 2008; Villotte & Knüsel, 2013).

À l'image de certains travaux publiés en anthropologie biologique (*e.g.* Niinimäki, 2012; Villotte et al., 2010), il serait intéressant à l'avenir d'utiliser les équations d'estimation généralisées (ou GEEs) ainsi que les modèles linéaires généralisés (ou GLMs) pour pouvoir éprouver l'action combinée de ces paramètres et déterminer dans quelle mesure chacun agit sur les changements enthésiques observés chez les équidés.

3. Aspects méthodologiques.

Nous avons démontré dans ce travail que le paramètre « Activités » n'est pas le seul à agir sur les processus d'apparition des changements enthésiques chez les équidés et que des facteurs biologiques tels que l'âge au décès ou les proportions corporelles peuvent interférer dans les analyses. Les changements enthésiques ne peuvent donc être employés de manière isolée comme témoins d'activité. C'est la raison pour laquelle un certain nombre de recherches combine observation des changements enthésiques et morphologie osseuse pour pouvoir discuter des activités socio-économiques pratiquées dans les sociétés passées (*e.g.* Niinimäki, 2012; Niinimäki et al., 2013). Morphométrie géométrique (*e.g.* Hanot et al., 2017, 2018) et géométrie de section des os longs (Shackelford et al., 2013) sont deux approches que nous pourrions combiner à l'observation des modifications enthésiques chez les équidés.

Par manque de temps, nous n'avons pas pu conduire d'investigations paléopathologiques approfondies à partir de notre référentiel moderne. Toujours dans un souci d'identifier l'emploi ou non d'équidés dans le cadre d'activités liées à l'Homme, il serait intéressant de pouvoir croiser ces données avec les résultats issus de l'étude des changements enthésiques dans cette population moderne (à l'image de Hull et al., 2020 ou de la 3^{ème} partie de ce manuscrit).

4. Cavaliers, meneurs... : les grands absents de cette étude.

La pratique d'une activité équestre implique nécessairement une collaboration étroite entre l'Homme et le cheval (ou l'équidé). Cette interaction est aisément concevable dans le cadre de la relation entre l'animal et son cavalier (ou le meneur de l'attelage) mais fait rarement l'objet d'une étude combinée en contexte archéologique. Or, des recherches actuelles menées

sur le couple « cheval-cavalier » démontrent que la pratique d'une discipline équestre et la manière dont elle est pratiquée impactent tout autant le cavalier que son cheval (Clayton & Hobbs, 2017; Greve & Dyson, 2013).

En anthropologie biologique, un certain nombre de travaux visent à identifier et à discuter des marqueurs osseux associés à la pratique de la monte dans les sociétés passées (Baillif-Ducros, 2018; Baillif-Ducros et al., 2011; Berthon, 2019; Berthon et al., 2019; Djukić et al., 2018). Il serait intéressant à termes de combiner nos investigations avec celles conduites sur les restes humains et apporter ainsi de nouveaux éléments afin d'acquérir une meilleure compréhension de la relation entre l'Homme et les équidés, de ses variations temporelles et géographiques dans les sociétés passées.

EXPLORATION MÉTHODOLOGIQUE ET ÉTUDE DE RÉFÉRENTIELS MODERNES

Conclusion

La seconde section de ce travail répond à une partie des questions posées au début de ce manuscrit.

L'observation des changements enthésiques est possible en différentes régions du squelette appendiculaire des équidés (cf. chapitre III). Ainsi, nous avons pu mettre en place une nouvelle méthode de cotation visant à évaluer la sévérité et l'étendue de ces atteintes, de type formation osseuses et érosion, pour 18 enthèses fibrocartilagineuses et 5 insertions fibreuses. La fiabilité de son application, évaluée à partir de tests intra- et inter-observateurs, s'avère être variable d'une insertion à une autre (entre 25% et 100% pour les tests inter-observateurs ; entre 53% et 94% pour le test intra-observateur). Cette nouvelle méthode de cotation gagne à être améliorée et réévaluée à partir d'un plus grand nombre d'observateurs et sur des collections plus larges.

Notre intérêt s'est ensuite porté sur les squelettes de 18 équidés employés dans le cadre d'activités humaines (10 équidés de trait et 8 montures) et de 34 qui en sont exempts (cf. chapitres IV, V et VI).

La constitution et l'étude de ces référentiels modernes démontrent que les changements enthésiques peuvent être employés pour documenter les interactions entre l'Homme et les populations équines. La comparaison entre équidés exempts d'activité et équidés utilisés comme montures ou animaux de trait montrent que ces deux derniers groupes sont caractérisés par des atteintes des zones d'insertion plus fréquentes voire plus sévères que celles enregistrées dans le groupe « Sans activité ». Ces tendances sont notamment mises en lien avec l'hypothèse que l'appareil musculo-squelettique des sujets concernés a probablement été exposé à des contraintes physiques/mécaniques plus importantes au cours de leur vie du fait des activités auxquelles ils étaient dédiés.

Chevaux de monte et équidés de traction se distinguent au niveau de sept enthèses fibrocartilagineuses. Deux enthèses localisées au niveau de l'articulation de l'épaule (origine du *M. biceps brachii* sur la scapula, terminaison du *M. subscapularis* sur l'humérus) semblent davantage sollicitées chez les montures tandis que certaines insertions situées sur l'humérus

(ligament collatéral latéral du coude), la phalange proximale antérieure (ligament collatéral de l'articulation inter-phalangienne proximale) ainsi que sur le fémur (*M. gluteus accessorius*) sont bien plus altérées chez les équidés de trait. Les dissemblances observées sont ici interprétées comme le résultat d'une différence dans la répartition des contraintes exercées sur l'animal liée à la discipline pratiquée (port d'un cavalier pour les chevaux de monte, attelage pour les équidés de trait).

Cependant, la pratique d'une activité n'est pas le seul paramètre à considérer lorsque l'on s'intéresse aux changements enthésiques chez les équidés. Nos observations confirment en effet leur origine multifactorielle et révèlent que des facteurs non liés à l'activité tels que l'âge, les proportions corporelles (hauteur au garrot, masse corporelle) ou encore les conditions de vie participent à l'apparition et au développement de lésions au niveau des zones d'insertion. En revanche, la liaison entre changements enthésiques et le paramètre « sexe » n'a pu être établie.

Cette première étude prometteuse portée sur plusieurs enthèses du squelette appendiculaire des équidés met en avant de nombreuses pistes d'améliorations qu'il conviendra de développer/explorer dans de futures investigations (augmentation de la taille des référentiels, nécessité d'une documentation plus exhaustive accompagnant les spécimens, utilisation de la morphométrie géométrique).

Les résultats encourageants présentés dans cette partie laissent entrevoir le potentiel de l'utilisation des changements enthésiques pour explorer les conditions de vie des populations équines et leur place dans les sociétés humaines passées.

3^{ÈME} PARTIE

IDENTIFICATION DES ACTIVITÉS ÉQUINES EN CONTEXTE ARCHÉOLOGIQUE

Le but de cette troisième partie est d'appliquer notre approche sur une première collection archéologique. La vingtaine de chevaux étudiés dans les chapitres suivants ont été découverts lors des fouilles du quartier Saint-Brice entreprises par Raymond Brulet entre 1983 et 1986 à Tournai. Les chercheurs ont émis l'hypothèse que ces animaux, datés de la période mérovingienne, avaient été sacrifiés à l'occasion des funérailles du roi Childéric I^{er} en 481-482 (Brulet, 1990, 1991). Ces derniers n'ont bénéficié que d'une étude paléopathologique partielle visant à déterminer les causes de leur décès (Brulet, 1991 ; Gabriel et al., 1995) et non à discuter de leurs conditions de vie ou de leurs interactions avec le groupe humain auquel ils étaient associés.

À l'époque mérovingienne, le cheval est pleinement impliqué dans les activités humaines telles que les transports ou les activités équestres (Baillif-Ducros & Yvinec, 2015). Notre but ne sera pas de déterminer si les chevaux de Tournai ont été domestiqués mais plutôt de confirmer leur potentielle utilisation par l'Homme. À cet effet, nous avons donc appliqué la méthode de cotation établie dans le cadre de cette thèse et exploité les résultats obtenus suite à la constitution de nos référentiels. Leur interprétation sera combinée à un examen paléopathologique détaillé.

Cette partie comporte quatre chapitres.

Les chevaux tournaisiens sont présentés dans le chapitre VII. Pour chaque individu, les pathologies osseuses font l'objet d'une description précise (localisation, gravité) accompagnée de planches photographiques.

Les changements enthésiques seront traités dans le chapitre VIII. Leur étude sera associée à l'interprétation des pathologies identifiées dans le chapitre IX. Nous apporterons par ce biais de nouvelles données relatives à leur état de santé ainsi qu'aux interactions entre ces chevaux et l'Homme, notamment sur les activités pour lesquelles ils ont été exploités. Ces résultats seront discutés dans le chapitre X.

CHAPITRE VII

LES CHEVAUX DU QUARTIER SAINT-BRICE DE TOURNAI (BELGIQUE, V^E-VI^E S.)

Présentation du site et description des spécimens

Surnommée la « cité aux 5 clochés », Tournai (*Doornik* en néerlandais) est l'une des plus vieilles villes de Belgique. Actuellement chef-lieu de la province belge du Hainaut, elle est traversée par l'Escaut et se trouve à environ 85 km au sud-ouest de Bruxelles, en Région Wallonne (figure 97). Le patrimoine archéologique de la ville témoigne de sa longue histoire. Tournai a en effet rempli des fonctions importantes tant sur les plans économique, religieux et culturel dès la période gallo-romaine (nom antique : *Turnacum*, Brulet, 2007).

En 481/482, c'est à Tournai que fut inhumé le roi franc païen Childéric I^{er} dans l'actuel quartier Saint-Brice, sur la rive droite de l'Escaut. Entre 1983 et 1986, ce quartier fit l'objet de quatre campagnes de fouilles dans le but de documenter l'évolution de l'environnement archéologique de la tombe du roi. Les recherches, focalisées majoritairement sur la nécropole mérovingienne, ont révélé l'existence de trois fosses contenant chacune entre 4 et 10 équidés.



Figure 97 : Localisation de la ville de Tournai en Belgique (carte modifiée d'après *populationdata.net*).

Les connaissances relatives au cheval mérovingien demeurent peu abondantes. Constituant une découverte archéologique exceptionnelle de par leur nombre, une étude des

spécimens tournaisiens menée peu de temps après leur découverte a permis de fournir une première définition des populations équines mérovingiennes belges (Boessneck, 1987; Brulet, 1991; Gabriel et al., 1995). Ces derniers n'ont cependant bénéficié que d'une étude paléopathologique partielle visant à déterminer les causes de leur décès et à n'évoquer que brièvement leurs conditions de vie.

Notre objectif est de dresser un profil sanitaire plus approfondi de ces animaux et notamment de discuter de leur emploi éventuel dans le cadre d'activités humaines en combinant analyse des changements enthésiques et observations paléopathologiques. Cela sera l'occasion d'appliquer la méthode de cotation établie dans cette thèse (cf. chapitre III) et d'exploiter les résultats obtenus suite à l'étude de nos référentiels actuels (cf. chapitres IV et V).

Ce chapitre présente le corpus archéologique. On s'attache premièrement à décrire le contexte de découverte de ces chevaux. La deuxième partie s'intéresse aux fosses de chevaux et comprend une description détaillée de chaque individu exhumé.

I. LE QUARTIER SAINT-BRICE DE TOURNAI.

1. La tombe de Childéric I^{er} (436-481/482).

Né vers 436, Childéric I^{er}, fils de Mérovée, était roi des Francs saliens ainsi que chef militaire et civil de la Belgique Seconde¹³ (nom latin : *Belgica Secunda*). Il est le père de Clovis qui lui succédera à sa mort en 481/482. La découverte accidentelle de sa sépulture à Tournai le 27 mai 1653 par l'ouvrier sourd-muet Adrien Quinquin marque pour les chercheurs les débuts de l'archéologie mérovingienne (Brulet, 1990, p. 23). Childéric, identifié à partir de son anneau sigillaire (figure 98), était accompagné d'un riche mobilier. La tombe, les objets mis au jour ainsi que les aspects funéraires qui y sont liés ont été longuement discutés dans de nombreux articles et ouvrages (*e.g.* Cochet, 1859; Fischer & Lind, 2015; Kazanski & Périn, 1988; Knüsel, 2006; Périn & Kazanski, 2007; Quast, 2015; Salaün et al., 2008).

¹³ La Belgique seconde est l'une des quatre provinces mises en place par Auguste suite à la conquête de la Gaule (I^{er} siècle av. J-C - V^{ème} siècle ap. J-C).



Figure 98 : Fac-similé de l'anneau sigillaire du roi Childéric I^{er} (cliché tiré de Quast, 2015, p. 198).

a. Le « trésor royal ».

L'Anastasis Childerici I, publié en 1655 par Jean-Jacques Chifflet, présente les divers objets composant le « trésor royal ». Malgré l'absence d'indication quant à la position de ces derniers dans la tombe, l'auteur y détaille le riche mobilier associé au défunt. Son inventaire fait état de nombreux éléments parmi lesquels ont été identifiés :

- L'anneau sigillaire en or massif portant une représentation du roi à mi-corps et l'inscription « CHILDIRICI REGIS » (« Roi Childéric ») (figure 98) ;
- Une trentaine d'abeilles en or cloisonné (figure 99) ;
- Une applique en tête de taureau, emblème des Saliens (figure 99) ;
- Des accessoires vestimentaires en or, certains cloisonnés de grenats et de verroterie ;
- Des armes : une lance, une hache profilée dite « francisque », une *spatha* avec garde et pommeau en or cloisonné ainsi qu'un scramasaxe de type oriental (fourreau et poignée avec décor en équerre) ;
- 100 pièces d'or et 200 d'argent contenues dans une bourse en cuir ;
- Une sphère de cristal de roche.

Ce mobilier a depuis fait l'objet de travaux et publications visant à discuter de ses origines et liens à Childéric I^{er} (Cochet, 1859; Fischer & Lind, 2015; Kazanski & Périn, 1988, 2005; Périn & Kazanski, 2007; Quast, 2010, 2015; Salaün et al., 2008). Cependant, si les chercheurs s'accordent sur le caractère ostentatoire de ce dépôt, la disparition de nombreuses pièces lors du cambriolage du Cabinet des Médailles de la Bibliothèque Nationale dans la nuit du 5 au 6 novembre 1863 rend difficile leurs interprétations.

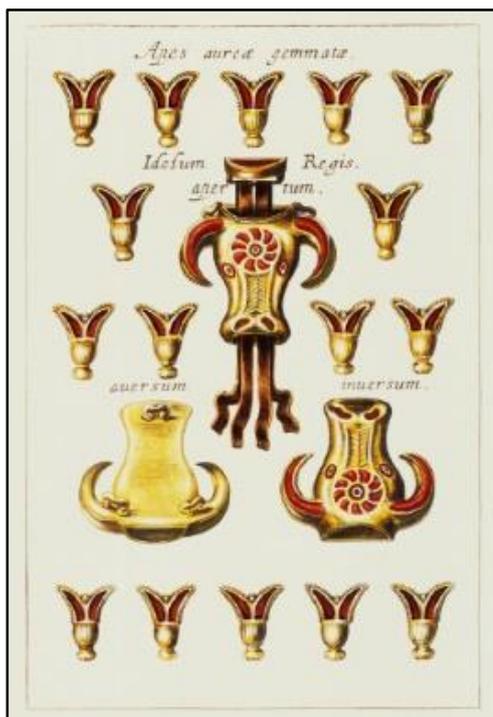


Figure 99 : Planche présentant les abeilles et la tête de taureau en or cloisonné découvertes dans la sépulture de Childéric I^{er} (tiré de l'*Anastasis Childerici*, Chifflet, 1655).

b. Éléments de connaissances relatifs à la tombe de Childéric I^{er}.

Dans son travail descriptif du mobilier funéraire, l'abbé Cochet précise que Childéric I^{er} aurait été découvert dans une cavité profonde de 3 m taillée dans la roche (Cochet, 1859) au niveau de la place Clovis (anciennement terrasse Saint-Brice, Brulet, 1990, pp. 27-28). Aucune mention relative à l'orientation de la tombe ne nous est parvenue.

Les études consacrées à la sépulture du roi attestent d'une double influence : orientale et centre-européenne. Les objets en style cloisonné (épée à décor cloisonné et scramasaxe court) exprimeraient l'influence orientale du dépôt, leur présence témoignant de potentiels contacts politiques entre le souverain et l'Empire d'Orient (Périn & Kazanski, 2007). En revanche, le « type » d'inhumation relèverait davantage de coutumes païennes d'Europe de l'Est et traduirait le rang élevé du défunt. Suite aux fouilles menées par Raymond Brulet entre 1983 et 1986, les archéologues supposent la présence d'un *tumulus* surmontant la tombe (Brulet, 1990, 1991, voir ci-après). Cette forme de monument funéraire est exceptionnelle sur la rive gauche du Rhin mais nettement plus fréquente à l'est, notamment dans les régions steppiques (Kazanski & Périn, 1988; Müller-Wille & Vierck, 1972; Périn & Kazanski, 2007). La découverte en 1984 et 1985 de trois tombes équines en périphérie du tertre soutient l'hypothèse de coutumes provenant de l'Est barbare (Brulet, 1991). Le dépôt de chevaux en contexte funéraire se développe particulièrement à partir de la moitié du V^{ème} siècle à l'est du Rhin (Müller, 1985;

Müller-Wille & Vierck, 1972; Oexle, 1984). Ces deux éléments traduisent le caractère fastueux du rituel funéraire entourant le décès de Childéric I^{er}.

2. Les fouilles de la nécropole mérovingienne (2^{ème} moitié du V^e s. - début du VII^e s.).

Les fouilles archéologiques du quartier Saint-Brice de Tournai commencent en 1983 pour s'achever en 1986 sous la direction de Raymond Brulet (chercheur qualifié FNRS, Université Catholique de Louvain), Gérard Coulon, Marie-Jeanne Ghene-Dubois et Fabienne Vilvorder (Centre de Recherches d'Archéologie Nationale, Université Catholique de Louvain). Prenant place à proximité du lieu d'inhumation supposé de Childéric I^{er}, l'objectif principal des investigations visait à étudier la nécropole mérovingienne afin de restituer l'environnement

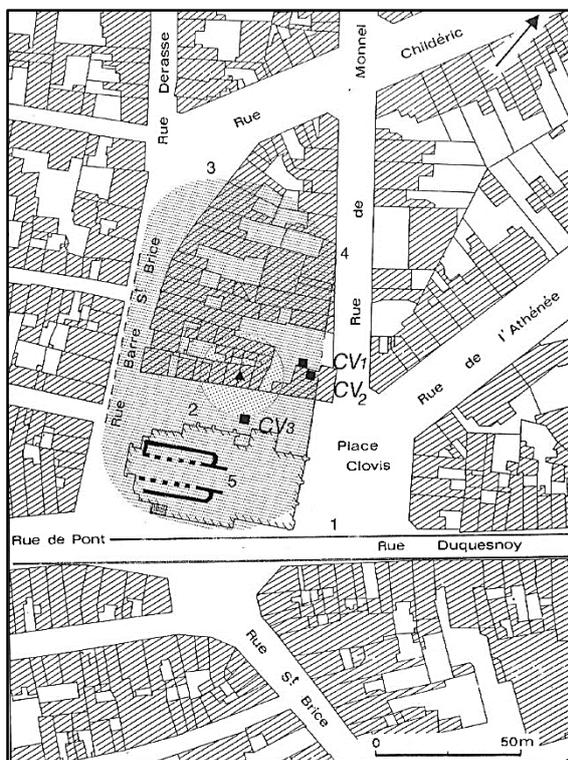


Figure 100 : Quartier Saint-Brice, Tournai - Emplacement de la sépulture du roi Childéric I^{er} (triangle noir), du tumulus le recouvrant (cercle, pointillés) et limites supposées de la nécropole mérovingienne (surface grisée). Les tombes de chevaux sont indiquées par de petits carrés noirs (Brulet, 1990).

archéologique de la tombe : le défunt était-il isolé ou faisait-il partie intégrante de la nécropole ? Sa sépulture a-t-elle eu un rôle dans la mise en place de cet espace funéraire ?¹⁴

Le cimetière couvre une surface d'au moins 0,7 ha et présente une pente légère orientée nord-est/sud-ouest en direction de l'Escaut. Les fouilles, bien que restreintes par la présence d'habitations actuelles, révèlent que l'emprise funéraire s'étend autour de la sépulture (figures 101 et 102). La nécropole est délimitée au sud-est par la voie romaine et arbore un contour net au nord-est. En revanche, les chercheurs n'ont pu déterminer avec précision les limites nord-ouest, ouest, sud et sud-ouest, ces dernières n'ayant pu être clairement définies au cours des campagnes de fouilles (figure 100).

¹⁴ Des niveaux gallo-romain (II^{ème}-fin IV^{ème}), médiéval (VIII^{ème}-XII^{ème}) et post-médiéval ont été mis en évidence au cours des campagnes de fouille. L'histoire du quartier Saint-Brice ne fait donc pas exception à celle de Tournai (Brulet, 1990).

La sépulture, placée sous un tertre, ne serait pas la tombe fondatrice du cimetière mérovingien. En effet, son implantation aurait été dépendante de l'extension d'une nécropole du Haut-Empire entre les I^{er} et V^{ème} siècles de l'angle des rues de Monnel et Childéric jusqu'à la chaussée romaine et l'Escaut (figure 100 ; Brulet, 1990, p. 19-20). Suite à son décès en 481/482, Childéric I^{er} aurait été inhumé dans une zone dégagée à l'extérieur de cette nécropole rendant ainsi possible la construction d'un *tumulus*. Le monument serait ensuite devenu le moteur de développement du cimetière mérovingien au cours des VI^e et VII^e siècles en devenant le point autour duquel venaient ensuite s'implanter les inhumations (Brulet, 1990). L'extension de l'espace funéraire se serait effectuée de manière radio-concentrique par rapport au tertre : les tombes les plus anciennes ont en effet été mises au jour à sa proximité, les plus récentes en périphérie.

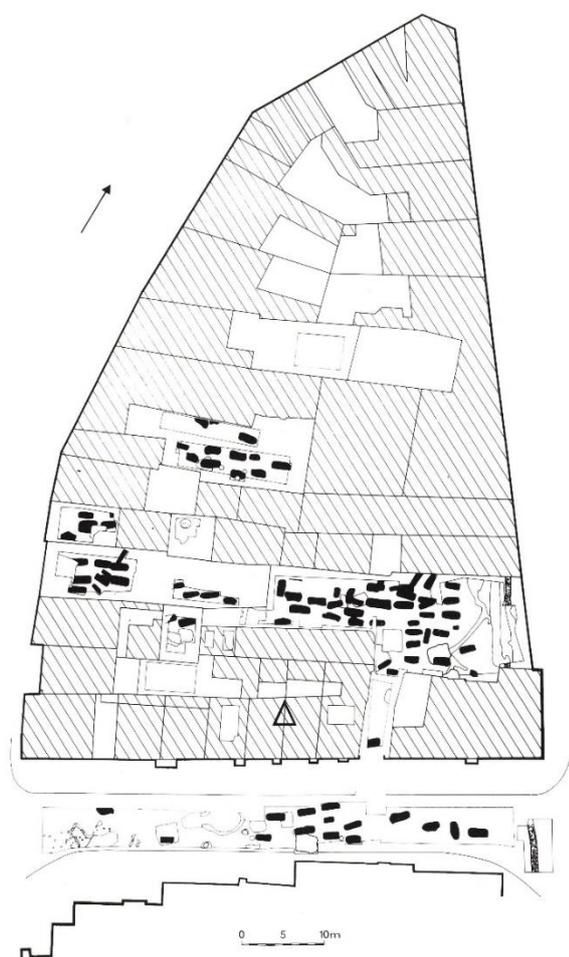


Figure 101 : Quartier Saint-Brice, Tournai - Secteurs fouillés entre 1983 et 1986. La tombe de Childéric I^{er} est indiquée par un triangle. Les zones hachurées correspondent aux zones d'habitations modernes (Brulet, 1990).

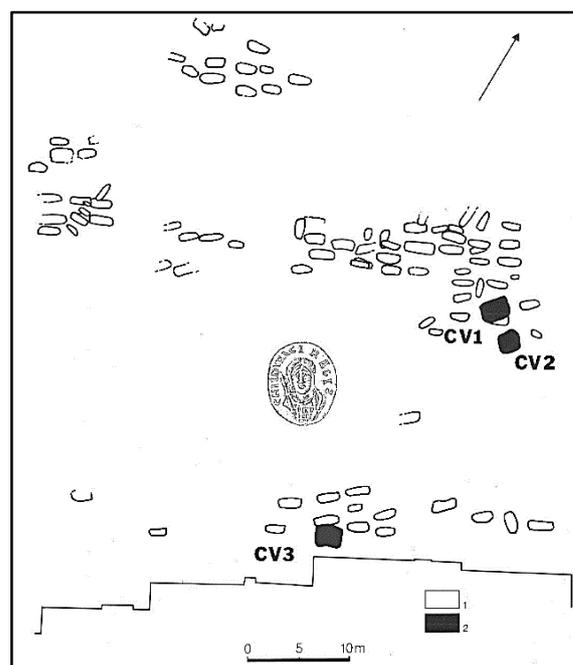


Figure 102 : Quartier Saint-Brice, Tournai - Localisation des tombes de chevaux (en noir) par rapport à la sépulture royale. Les tombes humaines sont indiquées en blanc. (Brulet, 1991).

Au total, 93 sépultures mérovingiennes ainsi que trois tombes de chevaux ont été mises au jour (deuxième moitié du V^e s. - début du VII^e s.). L'organisation spatiale de ces inhumations indique le caractère non isolé de la tombe de Childéric qui occupait plutôt une position centrale au sein de la nécropole. Les archéologues interprètent l'absence de tombes à sa proximité et le creusement des fosses de chevaux à distance équivalente comme les preuves de l'aménagement d'un espace circulaire consacré (figure 102). Ils supposent par ce biais que le roi reposait sous un *tumulus* élevé et visible de 20 à 40 m de diamètre (Brulet, 1991).

II. LES TOMBES DE CHEVAUX (secteurs A et B, 1984-1985).

1. Présentation générale.

a. Les fosses.

Les campagnes menées en 1984 et 1985 ont révélé l'existence de trois fosses de chevaux creusées dans la roche contenant au total 21 spécimens sans élément de harnachement. Les archéologues ont tout d'abord procédé au décapage complet des fosses (Brulet, 1991). Les individus ont ensuite été isolés et identifiés par des points de couleurs sur les différentes pièces de leur squelette (voir tableau 37). Leur localisation ainsi que leur position anatomique au sein de la fosse ont été notées. Les relevés de chaque fosse sont appuyés de photos orthogonales ainsi que d'un plan général tracé à partir de calques. Les chevaux ont ensuite été prélevés individuellement os par os avant de se voir attribuer un numéro d'inventaire.

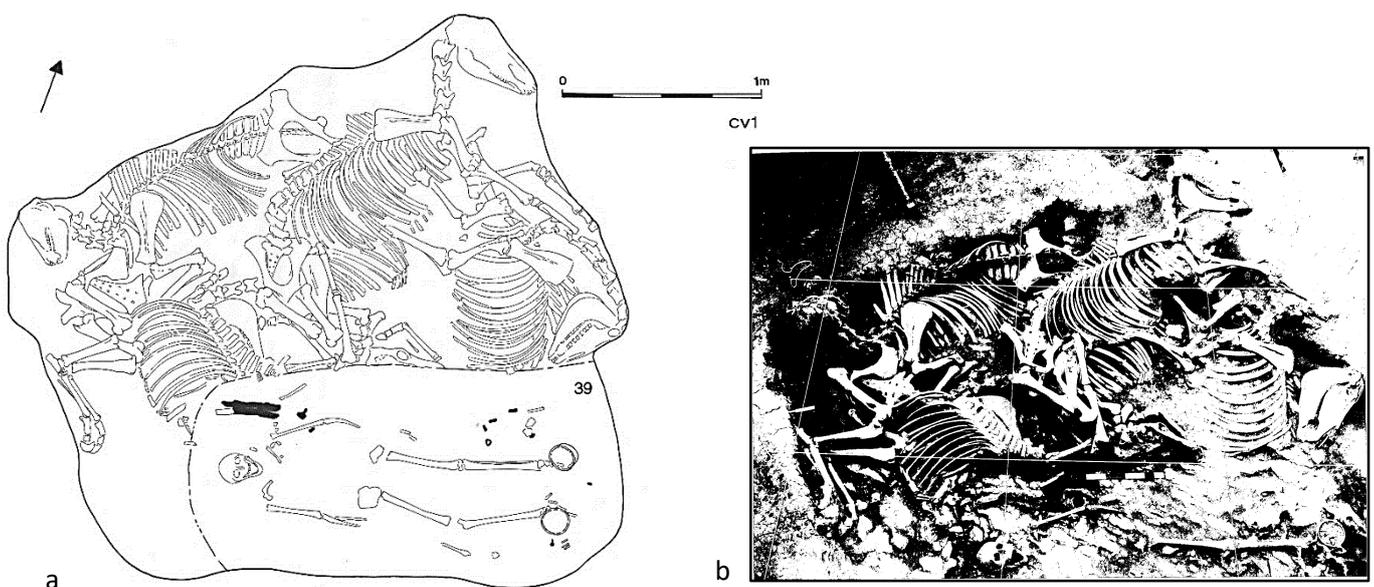


Figure 103 : Tombe de chevaux CV1, quartier Saint-Brice de Tournai (a- Schéma de la fosse ; b- Photo orthogonale de la tombe, Brulet, 1991).

La figure 103 présente la tombe CV1, découverte à 20 m au nord-est de la tombe principale en 1985. De forme quadrangulaire (dim. : 2,60 x 3 m), elle est creusée dans la roche et entamée au sud par le creusement d'une sépulture humaine (tombe 39, VI^e siècle). Cinq chevaux complets ou quasi-complets y ont été inhumés sans orientation préférentielle. La présence de deux spécimens supplémentaires est supposée en raison de la présence d'éléments de bas de pattes, les squelettes ayant probablement été en grande partie détruits par le creusement de la tombe 39.

La fosse CV2 a été mise au jour en 1985 (figure 104). En partie localisée sous une habitation moderne, elle n'a pu être que partiellement fouillée, ses dimensions réelles n'ont pu être évaluées. Elle se situe à 20 m à l'est de la tombe de Childéric et à 1 m au sud de CV1. La tombe comporte un minimum de 4 chevaux dont seule la partie antérieure du corps était accessible aux fouilleurs. Allongés sur le flanc droit, les animaux étaient alignés et déposés de manière ordonnée, le regard tourné à l'ouest, vers l'emplacement supposé de la tombe de Childéric I^{er}.

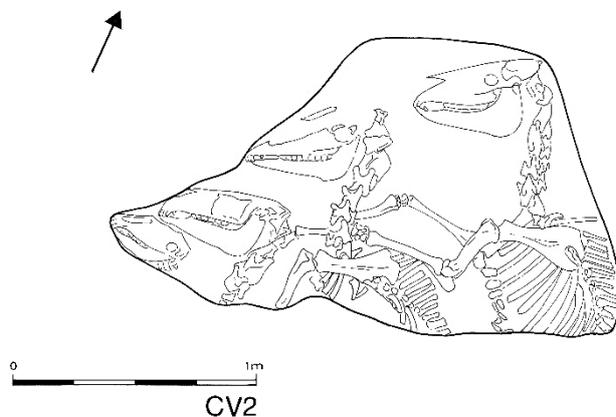


Figure 104 : Tombe de chevaux CV2, quartier Saint-Brice de Tournai (schéma de la fosse tiré de Brulet, 1991).

Profonde de 40 cm, la tombe CV3 a été mise en évidence au cours des fouilles de 1984 (figure 105). Creusée dans la roche, elle présente une forme quadrangulaire mesurant 2,20 m sur 2,70 m. Son flanc nord est altéré par le creusement d'une sépulture de guerrier datée du VI^e siècle (tombe 54). Pour la plupart complet, dix chevaux reposaient sans orientation ni position préférentielle au sein de cette fosse.

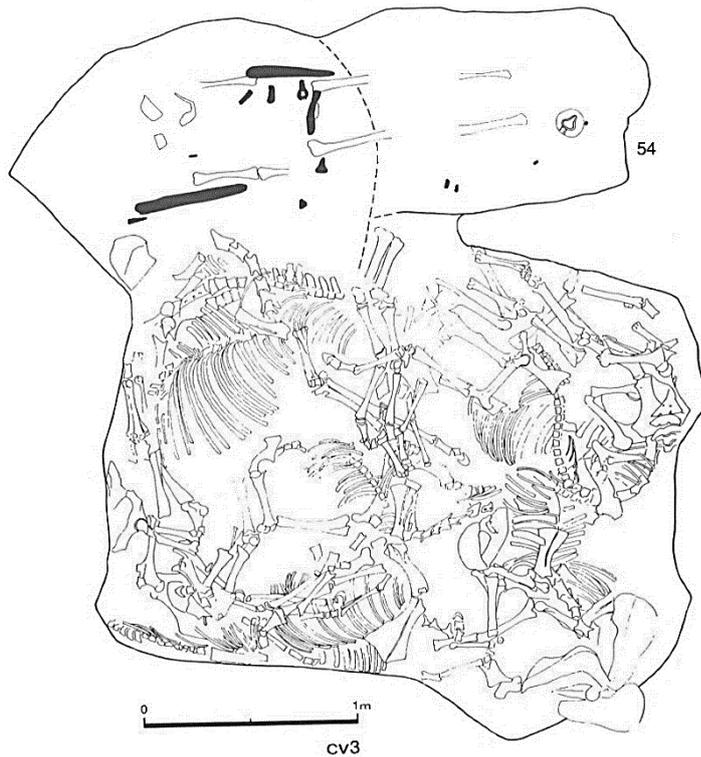


Figure 105 : Tombe de chevaux CV3, quartier Saint-Brice de Tournai (schéma de la fosse tiré de Brulet, 1991).

Quelle que soit la fosse considérée, il s'agit de dépôts primaires simultanés pour lesquels la décomposition a eu lieu en espace colmaté. Le maintien de la logique anatomique pour l'ensemble des spécimens laisse penser qu'ils ont été inhumés en même temps peu après leur décès. Le déplacement de quelques os en dehors du volume initial du corps s'explique en partie par la libération d'un espace faisant suite à la décomposition des tissus mous et/ou de l'animal à proximité (*e.g.* cage thoracique, région pelvienne) (Méniel, 2008).

Rien ne nous permet d'expliquer les raisons pour lesquelles la gestion de l'espace d'inhumation diffère entre les tombes CV1-3 et CV2. Les chevaux de la fosse CV2 ont été déposés de manière organisée avec une orientation préférentielle (regard tourné vers l'emplacement de la tombe de Childéric I^{er}). La logique est toute autre concernant les deux autres fosses pour lesquelles aucune orientation et position particulière n'ont été mise en évidence. Il est flagrant cependant que, pour la fosse CV1, il y ait eu une volonté d'organiser l'espace de la fosse lors du dépôt des équidés.

b. Datation.

Chronologie relative et datations ¹⁴C ont permis de situer ces 3 fosses dans le temps (tableau 36). Les datations ¹⁴C situent le décès des chevaux dans une période comprise de 400

à 630 AD avec une probabilité plus forte entre 440 et 540 AD (Gilot, 1987). Le recoupement par les tombes humaines 39 et 54, datées respectivement entre 500-530/40 AD et entre 530-580/590 AD, indique que le creusement des fosses CV1 et CV3 est antérieur au VI^{ème} siècle (Brulet, 1991; Gilot, 1987).

Fosse	<i>Chevaux datés</i>	Datation ¹⁴C	Datation relative
CV1	<i>1.3 et 1.5</i>	440-630 AD	t. 39 : 500-530/540
CV2	<i>2.4</i>	450-610 AD	/
CV3	<i>3.1 et 3.4</i>	400-530 AD	t. 54 : 530-580/590

Tableau 36 : Résultats des datations pour chaque tombe de chevaux (Gilot, 1987).

Bien qu'il soit impossible d'affirmer avec certitude que ces tombes équines résultent d'un évènement unique, les datations confirment leur appartenance à la première moitié de la période mérovingienne. Sans exclure d'autres hypothèses, les archéologues avancent donc l'idée d'une possible contemporanéité de la mort de ces animaux et de leur dépôt avec l'inhumation de Childéric I^{er} en 481-482 AD (Brulet, 1991).

2. Caractérisation biologique de la population.

Les méthodes présentées plus tôt dans cette thèse ont été utilisées pour dresser le profil biologique de l'ensemble des spécimens de Tournai (cf. chapitre IV ; âge : Barone, 2000a ; Cornevin & Lesbre, 1894; Guadelli, 1998; sexe : Barone, 2000a; Hillson, 2005 ; taille : Kiesewalter, 1888 ; masse : Eisenmann & Sondaar, 1998). Nous avons fait le choix de refaire l'ensemble des mesures et des estimations afin d'homogénéiser nos données avec celles de notre corpus de référence (cf. partie 2).

L'ensemble des mesures osseuses effectuées est présenté dans l'annexe 20.

a. Âge, sexe et proportions corporelles.

L'ensemble des chevaux et leurs caractéristiques biologiques sont exposés dans le tableau 37.

La tombe CV3 comporte les quatre poulains mis au jour à Tournai (spécimens 3.6, 3.7, 3.8 et 3.9). D'après les séquences d'éruption dentaire (Cornevin & Lesbre, 1894 ; Guadelli, 1998) et d'épiphyse des os longs (Barone, 2000a, p. 76), ces derniers étaient âgés entre 1 et 2 ans au moment de leur décès (figure 106).

Les autres spécimens sont des chevaux adultes d'âge moyen. L'usure de la face occlusale des incisives (Cornevin & Lesbre, 1894 ; Guadelli, 1998) a permis de fournir un âge au décès compris entre 5 et 17 ans pour 13 animaux. Parmi ceux-ci, on retrouve cinq jeunes adultes âgés de moins de 10 ans (1.3, 2.1, 2.4 et 3.3, tableau 37 et figure 106). Le cheval 1.5 est le plus âgé du groupe avec un âge au décès compris entre 16 et 17 ans. Quatre adultes demeurent d'âge indéterminé en raison de l'absence de leurs incisives (notés « Ad. », tableau 37 et figure 106).

Fosse	Cheval	N° inventaire	Couleur	Âge	Sexe	Taille (en cm)	Masse (en kg)	Gracilité
CV1	1.1	TO85.134	Orange	11-12 a.	M*	142	365	12,3
	1.2	TO85.131	Rouge	12-14 a.	M♂	139	343	13,8
	1.3	TO85.133	Bleu	7-8 a.	M*	144	408	13,7
	1.4	TO85.129	Vert	Ad.	M*	143	384	12,3
	1.5	TO85.132	Jaune	16-17 a.	M*	142	364	15,7
	1.6	TO85.130		Ad.	♀	137	350	11,3
	1.7	TO85.143/140		Ad.	♂	141	363	14,9
CV2	2.1	TO85.164	Noir	7-8 a.	M			
	2.2	TO85.163	Vert	11-13 a.	M			
	2.3	TO85.141	Rouge	12 a.	M			
	2.4	TO85.140	Bleu	5-7 a.	M*	142	369	
CV3	3.1	TO84.CV3.R	Rouge	11,5-13 a.	M*	143	465	12,2
	3.2	TO84.CV3.RO	Vert-rouge	10-11 a.	M♂	141	391	13,7
	3.3	TO84.CV3.JN	Jaune	6-7 a.	M♂	139	410	13,4
	3.4	TO84.CV3.M	Marron	13-15 a.	M*	156	480	12,8
	3.5	TO84.CV3.V	Vert	Ad.	M♂	140	370	12,1
	3.6	TO84.CV3.BL	Bleu	15 m.		133		12,6
	3.7	TO84.CV3.I		12-15 m.		131	274	13
	3.8	TO84.CV3.RS	Rose	1 a.		123	278	10,3
	3.9	TO84.CV3.J	Jaune	2 a.	♂	135	313	12,3
	3.10	TO84.CV3.B	Bordeaux	10 a.	M♂	139	376	13,3

Tableau 37 : Liste des chevaux découverts lors des fouilles du quartier Saint-Brice de Tournai (1984-1985). Les âges sont indiqués en années (a.) ou mois (m.). Les adultes d'âge indéterminé sont notés « Ad. ». Pour le sexe, les symboles * indiquent les chevaux qui ont été considérés comme castrés, ♂ ceux considérés comme des étalons et ♀ l'animal déterminé « jument » lors de la première étude (Brulet, 1991 ; Boessneck, 1987).

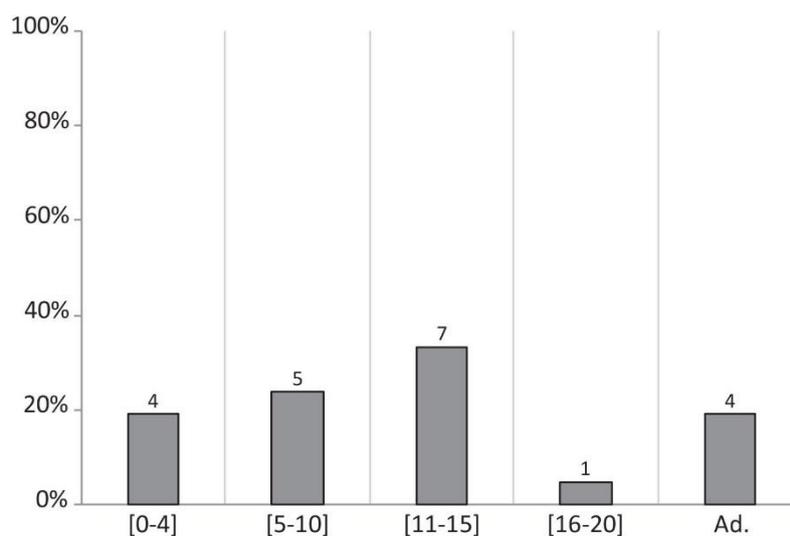


Figure 106 : Distribution des chevaux de Tournai en fonction des classes d'âge (en années).
Les adultes d'âge indéterminé sont notés « Ad. ».

Les analyses menées en 1987 par J. Boessneck attestent de la présence de « 7 étalons (dont deux probables), 7 hongres (dont un probable), d'une jument probable » (Brulet, 1991, p. 45 ; Boessneck, 1987).

Nos observations, basées sur la présence de canines développées et la morphologie de l'os coxal, ont permis d'identifier 15 mâles adultes (tableau 37). Nous avons vu dans le chapitre IV que la reconnaissance de la castration en contexte archéologique s'avère difficile en raison du caractère « variable » de cet acte (Chaplin, 1971) : l'âge auquel il est pratiqué aura des impacts physiologiques et morphologiques plus ou moins importants sur le cheval (Barone, 2000a ; Lacoste, 1851). En l'absence de critères d'identification fiables et de données comparatives avec l'étude de 1987, nous ne pouvons confirmer s'il s'agit de mâles castrés ou non. S'il n'est pas exclu que ce groupe comporte des animaux châtrés, on préfère ici se limiter à la distinction des chevaux mâles et femelles.

Le sexe de deux animaux, représentés uniquement par leurs bas de pattes, n'a pu être établi (chevaux 1.6 et 1.7). Aucune jument n'a été identifiée. Les poulains demeurent de sexe indéterminé.

Les proportions corporelles du cheval tournaisien correspondent à celles des chevaux de la période mérovingienne (figure 107 tirée d'Audoin-Rouzeau, 1994 ; Gabriel et al., 1995 ; Arbogast et al., 2002).

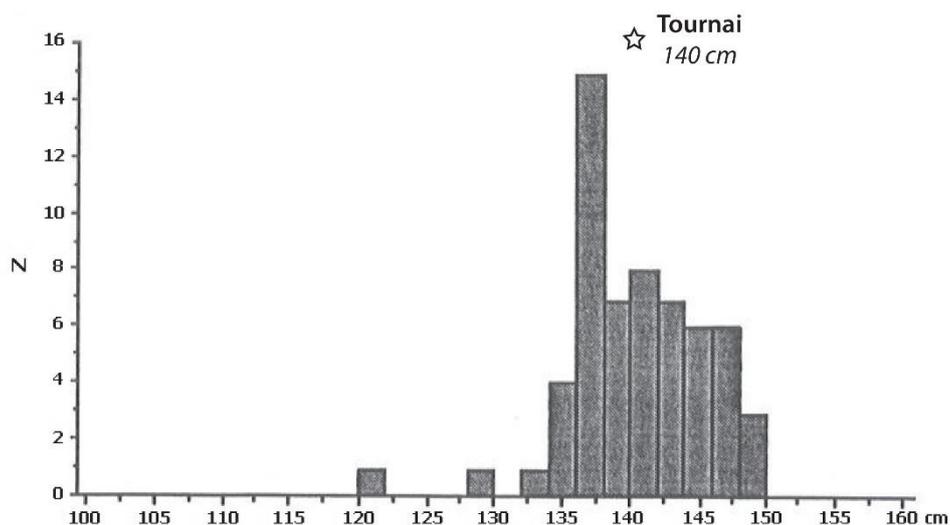


Figure 107 : Hauteurs au garrot moyennes des chevaux au Haut Moyen-Âge en Europe (Audoin-Rouzeau, 1994).

La hauteur au garrot moyenne calculée pour la population s'élève à 140 cm ($\sigma = 6,51$, tableau 38 et figure 108). Les chevaux adultes présentent une hauteur au garrot moyenne proche de celle du groupe s'élevant à 142 cm ($\sigma = 4,65$). Le cheval 3.4 se distingue nettement des animaux adultes mais aussi de l'ensemble de la population en affichant la plus grande hauteur au garrot (156 cm, tableaux 37 et 38). Le cheval 1.6 est le plus petit de ce groupe avec une taille de 137 cm.

Les poulains, avec une hauteur au garrot moyenne de 131 cm ($\sigma = 5,11$, tableau 38), affichent une taille moyenne nettement inférieure à celle des chevaux adultes (figure 108). Les tailles estimées pour les poulains 3.6, 3.7 et 3.9 présentent des valeurs relativement proches comprises entre 131 et 135 cm (tableau 37). Le poulain 3.8 se distingue des trois autres en affichant la hauteur au garrot la plus faible du groupe (123 cm, tableau 37).

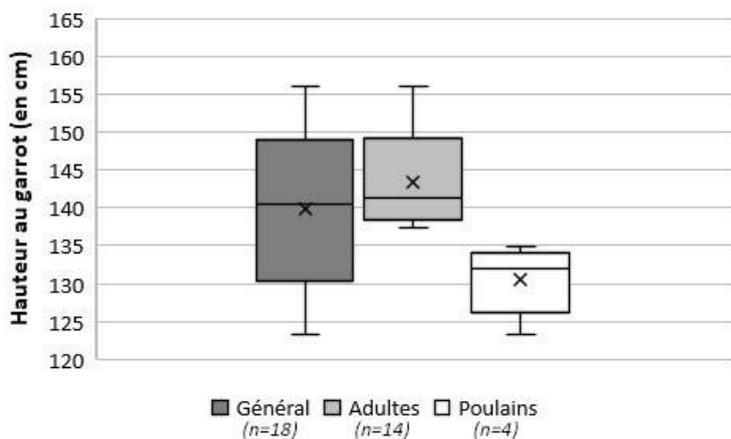


Figure 108 : Boîtes de dispersion des hauteurs au garrot estimées pour les chevaux de Tournai. Les valeurs moyennes pour chaque groupe sont indiquées par le symbole « x ».

	Général (n=18)	Adultes (n=14)	Poulains (n=4)
Hauteur au garrot (en cm)			
Moyenne	140	142	131
Maximum	156	156	135
Minimum	123	137	123
Écart-type (σ)	6,51	4,65	5,11

Tableau 38 : Hauteur au garrot des chevaux de Tournai - Valeurs moyennes, maximales et minimales.

Le cheval tournaisien pèse en moyenne 370 kg ($\sigma = 52,65$, tableau 39 et figure 109). Les chevaux adultes présentent une masse corporelle moyenne égale à 387 kg ($\sigma = 39,63$, tableau 39 et figure 109). Tout comme pour la hauteur au garrot, le spécimen 3.4 est le plus lourd du groupe avec une masse corporelle de 480 kg (tableaux 37 et 39). La valeur la plus faible a été calculée pour le cheval 1.2 (343 kg, tableaux 37 et 39). Les poulains sont nettement plus légers que les chevaux adultes. Les poulains 3.7 et 3.8 présentent des masses corporelles proches (respectivement 274 et 278 kg) tandis que le spécimen 3.9 se distingue de ceux-ci avec une valeur supérieure égale à 313 kg (tableau 37).

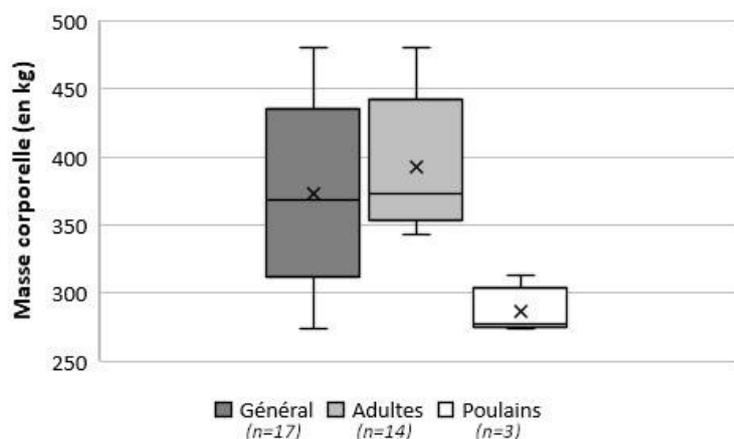


Figure 109 : Boîtes de dispersion des masses corporelles calculées pour les chevaux de Tournai. La moyenne pour chaque groupe est indiquée par le symbole « x ».

	Général (n=17)	Adultes (n=14)	Poulains (n=3)
Masse corporelle (en kg)			
Moyenne	370	387	288
Maximum	480	480	313
Minimum	274	343	274
Écart-type (σ)	52,65	39,63	21,42

Tableau 39 : Masse corporelle des chevaux de Tournai - Valeurs moyennes, maximales et minimales.

À l'image de l'étude menée en 1995 (Gabriel et al., 1995), un calcul de l'indice de gracilité des chevaux a été ajouté. À partir de mesures prises sur les métapodiens III, celui-ci permet de discuter de la robustesse/finesse des équidés mis à disposition. Cet indice s'obtient à partir de l'équation suivante :

$$\text{Gracilité} = [\text{Longueur maximale (GL)}/\text{Diamètre transversal de la diaphyse (SD)}] * 100$$

Cet indice a tout d'abord été calculé pour chaque métacarpien et métatarsien III mesurables. Une moyenne des indices obtenus a ensuite été estimée pour chaque cheval tournaisien.

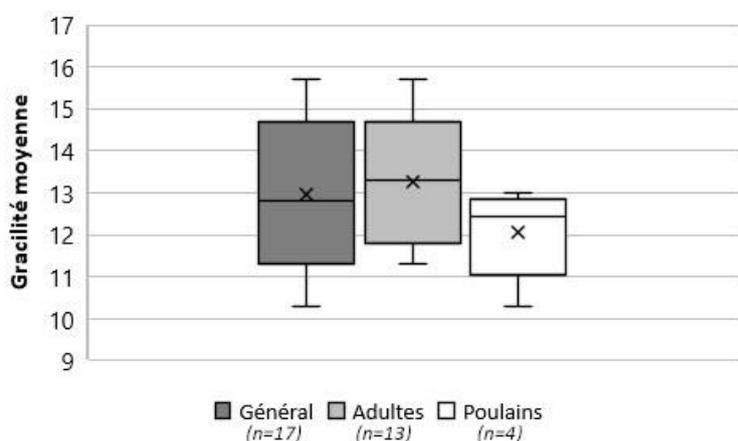


Figure 110 : Boîtes de dispersion des valeurs de gracilité estimées pour les chevaux de Tournai. La moyenne pour chaque groupe est indiquée par le symbole « x ».

	Général (n=17)	Adultes (n=13)	Poulains (n=4)
Gracilité			
Moyenne	12,9	13,2	12,1
Maximum	15,7	15,7	13
Minimum	10,3	11,3	10,3
Écart-type (σ)	1,3	1,2	1,2

Tableau 40 : Gracilité des chevaux de Tournai - Valeurs moyennes, maximales et minimales.

Les chevaux tournaisiens sont des animaux plutôt graciles (figure 110 et tableau 40). La population globale affiche une gracilité moyenne de 12,9 ($\sigma = 1,3$, tableau 40).

Les adultes présentent une gracilité moyenne de 13,2 ($\sigma = 1,3$, tableau 40). La valeur la plus faible a été relevée pour le cheval 1.6 (11,3, tableau 37) tandis que la plus élevée a été reportée pour l'individu 1.5 (15,7, tableau 37).

Contrairement à leur hauteur au garrot et leur masse corporelle, les poulains ne se distinguent pas nettement des chevaux adultes. Ces derniers sont associés à une gracilité moyenne relativement proche de 12,1 ($\sigma = 1,2$, tableau 40). Les poulains 3.6, 3.7 et 3.9 se sont vus attribuer des valeurs proches de celles de certains chevaux adultes comprises entre 12,3 et 13. En revanche, le poulain 3.8 diffère du reste de la population avec une gracilité égale à 10,3 (tableau 37).

b. Paléogénétique et morphométrie géométrique.

Ces chevaux ont fait l'objet d'une analyse paléogénétique visant d'une part à retracer leur(s) origine(s) et la couleur de leur robe. Cette étude s'est malheureusement avérée infructueuse en raison d'un mauvais état de conservation de l'ADN (Laurent Verslype, comm. pers.).

La morphométrie géométrique a révélé une proximité morphologique des chevaux de Tournai avec les chevaux de course actuels, notamment ceux de race arabe, et les chevaux mongoles (Hanot et al., 2020). Les auteurs confirment par ce biais les résultats obtenus lors de la première étude de ces chevaux (Bulet, 1991 ; Gabriel et al., 1995). Ils supposent que cette similarité avec les chevaux arabes serait révélatrice d'une sélection de certains critères morphologiques en lien avec les utilisations de ces chevaux comme montures de guerre. La proximité avec les chevaux mongoles et de Przewalski s'expliqueraient, selon eux, par le croisement éventuel des chevaux belges avec des chevaux de provenance de l'est illustrant ainsi de possibles contacts entre ces deux régions (à l'image des traditions culturelles reflétées par la tombe de Childéric I^{er}) (Hanot et al., 2020).

III. RÉFLEXIONS TAPHONOMIQUES.

Il convient tout d'abord de faire quelques remarques relatives à l'état de conservation de la collection. Les processus taphonomiques peuvent être à l'origine de faux aspects pathologiques qu'il convient de nommer pseudo-pathologies ou paléopathomimies (Dutour, 2011). En effet, certains stigmates peuvent être associés à tort à un processus pathologique ou des gestes intervenus dans une période entourant la mort de l'individu (mise à mort, découpe/désarticulation de la carcasse). Il est donc nécessaire de prêter attention à ces traces afin de limiter les erreurs d'identification et d'interprétation. Le but ici n'est pas de faire une revue exhaustive des traces taphonomiques sur l'os et des paléopathomimies qui peuvent en

découler tant elles sont diverses et variées (Denys & Patou-Mathis, 2014; Fernández-Jalvo & Andrews, 2016) mais de présenter quelques exemples qui ont été relevés chez les chevaux de Tournai. La représentation squelettique (cf. annexes 21 et 22) ainsi que l'état de conservation des restes doivent de même être considérés (Dutour, 2011). En effet, une mauvaise préservation de l'os peut conduire à une impossibilité d'étudier sa surface voire à sa disparition. Prêter attention à ces éléments est une étape importante pour l'étude des changements enthésiques et l'élaboration d'un diagnostic paléopathologique.

1. Corrosion de la surface osseuse.

Les atteintes corrosives de la surface de l'os sont les altérations taphonomiques les plus couramment observées chez les chevaux de Tournai. Dépendante de la nature acide ou alcaline du sol dans lequel sont enfouis les éléments osseux (Denys & Patou-Mathis, 2014, p. 55-56), la corrosion conduit fréquemment à une érosion de l'os cortical, des épiphyses ainsi que des dents empêchant ainsi d'apprécier pleinement leur état de surface.

Chez le cheval 1.2, la face latérale de la diaphyse de son humérus droit est porteuse d'une corrosion (figure 111). Non observée sur l'humérus gauche de l'animal, cette altération post-mortem se traduit par une irrégularité de la surface de l'os induite par une perte de substance osseuse qu'il faut veiller à ne pas confondre avec une ostéolyse.

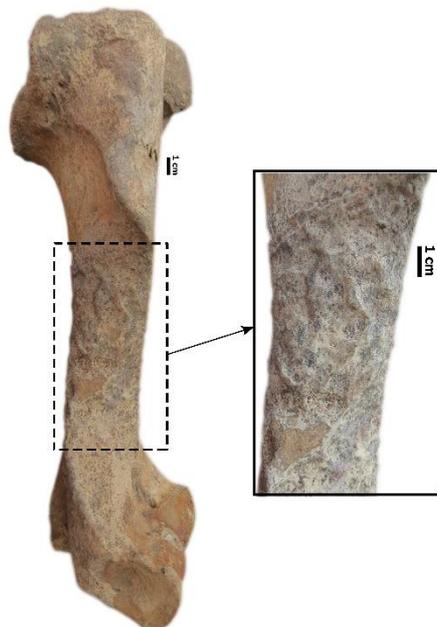


Figure 111 : Cheval 1.2 - Corrosion de la surface osseuse (humérus droit, vue latérale).

La phalange intermédiaire postérieure droite du cheval 1.1 est un autre cas pouvant illustrer notre propos cette fois-ci en lien avec l'étude des changements enthésiques (figure 112). La presque totalité de la face médiale de cette phalange est corrodée rendant

impossible la cotation de l'origine du ligament collatéral médial (P₂CLp méd droit, stade « NE », figure 112a). En revanche, la face latérale de la phalange a été épargnée permettant ainsi d'enregistrer l'insertion latérale (P₂CLp lat droite, stade B, figure 112b).



Figure 112 : Cheval 1.1 - Corrosion de la surface de la phalange intermédiaire postérieure droite. L'altération se limite à la face médiale (a). La face latérale est non corrodée (b).

2. Altérations liées à la fouille.

Les méthodes de fouilles, la préparation des restes osseux et leur stockage en collections peuvent de même être sources d'altérations (Denys & Patou-Mathis, 2014; Dutour, 2011).

L'étude du cheval 1.5 nous a conduits à identifier une fissure horizontale au centre de la fosse vertébrale de la 6^{ème} vertèbre lombaire (figure 113). Cette dernière se présente avec un bord dorsal rugueux, irrégulier. Sa partie ventrale, en revanche, se caractérise par un « enfoncement » osseux à surface plane et régulière. Cette altération peut être interprétée, à tort, comme une fracture du corps vertébral, certaines études archéozoologiques rapportant ce type de cas chez le cheval (*e.g.* Baron, 2018; Levine, 2005). Pour le cheval 1.5, cette altération relèverait davantage d'un événement intervenu après le décès de l'animal. En effet, l'aspect plan de la partie ventrale rappelle une trace laissée par l'enfoncement d'une lame. Cet enfoncement aurait ensuite induit un enlèvement osseux expliquant en grande partie l'aspect irrégulier du bord dorsal de la zone fissurée. Nos observations n'ont révélé aucune trace de découpe sur les chevaux découverts au quartier Saint-Brice de Tournai. Il est peu probable que cet enlèvement soit du fait des personnes à l'origine de leur dépôt. En revanche, cette trace peut être liée à la fouille elle-même (*e.g.* truelle). Lors de sa découverte, la 6^{ème} vertèbre lombaire reposait sur sa partie dorsale, sa face ventrale visible. Il n'est donc pas improbable que l'enlèvement osseux soit intervenu au cours du décapage de la fosse par les fouilleurs.



Figure 113 : Cheval 1.5 - Cas d'une « fissure vertébrale » faisant suite à un événement *post-mortem* probablement intervenu au cours de la fouille (6^{ème} vertèbre lombaire, vue caudale).

Le bord caudal de la tête articulaire de l'humérus droit du cheval 1.1 arbore deux stries nettes quasi-parallèles en son centre (figure 114). Précisons que :

- Il s'agit des deux seules stries observées chez cet animal ;
- Le membre thoracique droit était en connexion anatomique, la position de l'humérus par rapport à la scapula n'était pas aberrante en regard de l'anatomie normale du cheval ;
- Le bord de la cavité glénoïdale de la scapula correspondante ne fait montre d'aucune strie pouvant être associée à celles de l'humérus.

Tout comme le cas de la vertèbre lombaire présenté précédemment, il est fort probable que ces deux stries soient liées au décapage de la fosse. Au vu du caractère non récurrent et isolé de ces stries chez les chevaux de Tournai, il n'est pas imprudent d'exclure l'hypothèse selon laquelle ces stries relèvent d'une décarnisation ou d'une désarticulation de ces animaux de la part du groupe humain à l'origine de leur dépôt.



Figure 114 : Cheval 1.1 - Stries produites pendant la fouille pouvant être confondues avec des stries liées au traitement de la carcasse de l'animal (tête de l'humérus, vue caudale).

3. État de conservation de la collection de Tournai.

La représentation des restes osseux ainsi que les pièces manquantes pour chaque cheval sont détaillées respectivement dans les annexes 21 et 22. La conservation de la collection de Tournai peut être considérée comme bonne. Cependant, l'état de conservation diffère selon l'individu et les éléments osseux considérés. Certaines régions du squelette peuvent être particulièrement sujettes aux altérations *post-mortem* (e.g. fragmentation). Nos observations rejoignent celles émises lors des premières analyses publiées en 1991 (Brulet, 1991).

La tête est l'une des régions les plus fragmentées des squelettes notamment au niveau du chanfrein et de sa partie nuchale résultant ainsi à sa mauvaise conservation. Précisons que, pour quelques individus, la tête a été prélevée en bloc lors des fouilles (figure 115).



Figure 115 : Crâne du cheval 2.4 prélevé en bloc lors des fouilles du quartier Saint-Brice.

Au niveau du squelette axial, les arcs vertébraux, les processus épineux et transverses des vertèbres ainsi que les côtes sont eux aussi particulièrement exposés au processus de fragmentation. Pour le squelette appendiculaire, ce sont les reliefs osseux des os longs, leurs épiphyses ainsi que les bas de pattes, tels que les phalanges distales et les os sésamoïdes, qui sont fréquemment le siège d'altérations *post-mortem*.

L'état de conservation varie selon que l'on considère les squelettes des chevaux adultes ou des poulains. Les juvéniles exposent généralement un mauvais état de conservation : leurs os, non épiphysés sont particulièrement fragiles augmentant ainsi les risques de mauvaise conservation et de fragmentation (Brulet, 1991).

IV. PRÉSENTATION DES CHEVAUX ET DESCRIPTION PALÉOPATHOLOGIQUE.

Afin de ne pas encombrer le corps du texte, la représentation squelettique de chaque individu ainsi que le détail des pièces osseuses manquantes sont présentés en annexes 21 et 22.

La description de chaque cheval est accompagnée d'une figure (116 à 136) comportant :

- Un plan de fosse situant le spécimen dans la tombe concernée (tirés de Brulet, 1990) ;
- Une silhouette localisant les anomalies osseuses relevées au sein du squelette ;
- Des clichés photographiques illustrant un certain nombre de ces altérations.

Seul le plan de fosse accompagne la présentation des animaux n'ayant révélé aucune pathologie osseuse.

Pour chaque spécimen, les anomalies osseuses et dentaires ont été décrites avec l'aide d'ouvrages généraux (Baker & Brothwell, 1980; Bartosiewicz & Gál, 2013; Miles & Grigson, 2011). Les spondyloses (Bartosiewicz & Bartosiewicz, 2002; Lignereux & Bouet, 2015; Morgan, 1967) et ossifications du *ligamentum interosseum* entre les métapodiens (Bendrey, 2007b) ont bénéficié d'un enregistrement précis à partir de méthodes qui seront présentées dans le chapitre IX. L'étude des changements enthésiques est présentée dans le chapitre VIII. Le tout sera interprété et discuté dans le chapitre X.

1. Tombe CV1.

a. Cheval 1.1 (figure 116).

L'animal a été mis au jour au centre de la fosse. Orienté dans un sens sud-ouest/nord-est (la tête au sud-ouest), le cheval a été déposé sur le flanc droit, les membres postérieurs en extension, le crâne regardant vers le sud. Les membres antérieurs ont été en grande partie détruits par le creusement de la tombe 39. Le crâne, fortement fragmenté, a été prélevé en bloc lors des fouilles (la moitié droite est en grande partie inaccessible pour étude). Le squelette axial est quasi-complet. Les membres antérieurs sont partiels. Le membre gauche est représenté uniquement par la scapula et l'humérus ; le droit comprend la scapula, l'humérus, le radio-ulna et le pisiforme. Les fibulas ainsi que les grands sésamoïdes gauches sont les seules pièces manquantes des membres pelviens.

Ce cheval mâle est décédé à l'âge de 11-12 ans. Sa hauteur au garrot a été estimée à 142 cm, sa masse corporelle moyenne à environ 365 kg.

Le squelette de cet animal présente des lésions osseuses diverses. L'angle de l'os mandibulaire droit, zone d'insertion du *M. digastricus*, présente un aspect remanié. Ce dernier est porteur d'un enthésophyte projeté en direction inférieure ainsi que des **exostoses** légères à moyennes. Il est cependant impossible d'évaluer l'étendue de l'atteinte sur l'os, celui-ci étant fragmenté (figure 116a). En comparaison, l'os mandibulaire gauche présente un aspect sain.

Pour la colonne vertébrale, de petits ostéophytes marginaux ont été identifiés sur les bords ventraux de la fosse vertébrale des 14^e vertèbre thoracique et 6^e vertèbre lombaire témoignant d'une **spondylose** légère (figure 116b).

Le tiers distal de la diaphyse du métatarsien III gauche expose une plage de **réactions périostées** peu épaisse de forme ovale affichant un aspect poreux (face crânio-médiale, dim. : 20,25 x 12,02 mm). Ses bords sont légèrement irréguliers et en partie confondus avec la surface osseuse. Cette apposition sous-périostée indique un processus osseux inflammatoire en cours de cicatrisation au moment du décès de l'animal et présente des degrés de résorption variables. La moitié crâniale de ce dépôt affiche un aspect fibreux, poreux indiquant une lésion active au moment du décès ; le processus de cicatrisation est plus avancé dans la moitié caudale (figure 116c).

L'articulation interphalangienne postérieure proximale gauche (ou paturon) est le siège d'une **arthrose moyenne**. Près de 2/3 de la surface articulaire distale de la première phalange est remodelée, érodée. Des ostéophytes sont observables sur ses pourtours (figure 116d). Au niveau de la phalange intermédiaire, les altérations atteignent 1/3 de la surface articulaire proximale. Celles-ci s'accompagnent de productions ostéophytiques sur les bords dorsal, médial et, dans une moindre mesure, latéral (figure 116e).

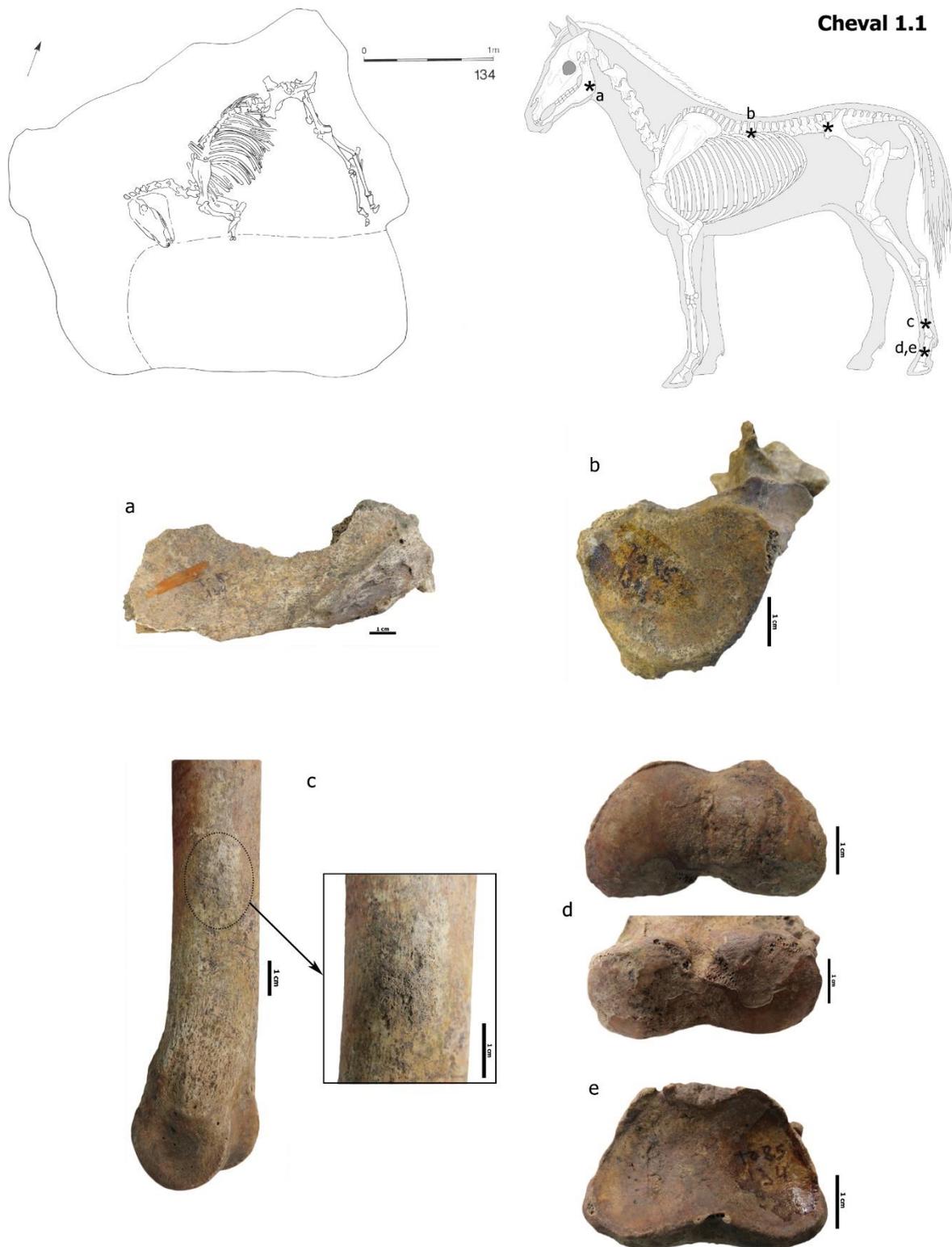


Figure 116 : Cheval 1.1 - Localisation des pathologies osseuses (*) et plan de fosse (Brulet, 1991).

- a : Enthésophyte et exostose (fragment de l'hémi-mandibule droite, vue médiale) ;
- b : Spondylose légère, ostéophytes sur le bord ventral (14^{ème} vertèbre thoracique, vue caudale) ;
- c : Réactions périostées (métatarsien III gauche, vue crânio-médiale) ;
- d : Arthrose du paturon: atteinte de la surface articulaire + ostéophytes sur le pourtour (phalange proximale postérieure gauche, vues distale et disto-plantaire) ;
- e : Arthrose du paturon: idem (phalange intermédiaire postérieure gauche, vue proximale).

b. Cheval 1.2 (figure 117).

Bien conservé, ce cheval a été découvert reposant sur son flanc droit contre la paroi nord-ouest de la fosse. Son squelette était orienté ouest-est, sa tête regardant vers le sud. Le membre antérieur gauche et les membres postérieurs sont repliés sous le corps de l'animal, le pied droit replié sur la cuisse. Le membre thoracique droit est appuyé contre la paroi de la fosse et semble de même replié sous le corps du cheval.

La tête est très fragmentée, la majorité de sa partie nuchale ainsi qu'une canine inférieure manquent. La colonne vertébrale est quasi-complète : seuls l'atlas ainsi que les dernières vertèbres caudales sont absents. L'hyoïde, le sternum ainsi que l'ensemble des côtes ont été inventoriés. Les membres thoraciques sont représentés dans leur presque totalité à l'exception de quelques petits os. De même, seuls de petits éléments manquent pour les membres postérieurs.

Ce mâle était âgé de 12-14 ans au moment de son décès. Sa hauteur au garrot s'élevait à 139 cm, sa masse corporelle à 343 kg.

Une **usure en biseau** de quelques millimètres a été identifiée sur la face occlusale de la P₂ gauche (figure 117b). Bien que moins marquée, une altération équivalente a été enregistrée sur la P₂ droite. Le bord alvéolaire à la jonction des P₂ et P₃ droites expose un léger gonflement associé à de nombreuses porosités sur sa face buccale. Ces modifications révèlent une **parodontopathie** localisée révélant une inflammation active au moment du décès (figure 117a).

Le relevé paléopathologique fait état de nombreuses atteintes vertébrales. La moitié distale du bloc thoracique (T12 à T18) ainsi que le bloc lombaire (L1 à L5) exposent des ostéophytes sur les bords des surfaces articulaires des corps vertébraux indiquant une **spondylose moyenne à sévère** (figures 117c à 117f). En effet, ces ostéophytes peuvent être de taille importante et se projeter vers les vertèbres adjacentes voire conduire à leur ankylose comme observé pour les T13 et T14 (bord gauche du corps vertébral, figure 117c). D'autres fusions vertébrales ont été enregistrées : les T17 et T18 sont ankylosées par le biais de leur processus épineux et articulaires (figure 117d), les L3 et L4 le sont au travers de leurs processus articulaires droits (figure 117e).

Les bords crâniens et caudaux des processus épineux des thoraciques 12 à 18 sont le siège de formations osseuses indiquant un remodelage des zones d'insertion du ligament inter-épineux. La sévérité de ces ostéoformations s'accroît au fur et à mesure que l'on progresse dans cette

partie de la colonne thoracique (figures 117c et 117d) et peut conduire, à terme, à une fusion des processus épineux (cas des 17^{ème} et 18^{ème} thoraciques).

Des **arthroses** légères à moyennes des facettes costales ont été relevées. Celles-ci s'expriment par une extension des surfaces articulaires ainsi qu'une déformation de leurs bords par une ostéophytose de degré variable. Elles ont été relevées au niveau de la 7^{ème} cervicale, des thoraciques 1 à 7, 15 et 16. Précisons de plus que les modifications des facettes vertébrales coïncident généralement avec celles des facettes costales.

Enfin, une surface articulaire transverse est observable entre les processus articulaires gauches des 4^{ème} (bord caudal) et 5^{ème} (bord crânial, figure 117g) lombaires. Bien que rare, la présence d'une surface inter-transversaire entre ces deux vertèbres lombaires ne peut être considérée comme une anomalie chez le cheval (Barone, 2000a). En revanche, chez le cheval 1.2, celle-ci arbore des lésions dégénératives à savoir une extension de la surface articulaire ainsi qu'une déformation d'une partie de son pourtour en raison de productions osseuses importantes (figures 117e et 117g).

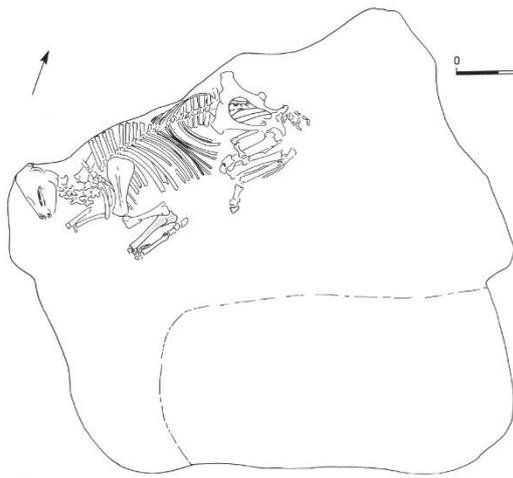
Les atteintes du squelette appendiculaire sont bien moins importantes.

Pour les membres thoraciques, elles se limitent à l'**ankylose des métacarpiens** médiaux (II) aux principaux (III) par l'ossification du *ligamentum interosseum* (figure 117h).

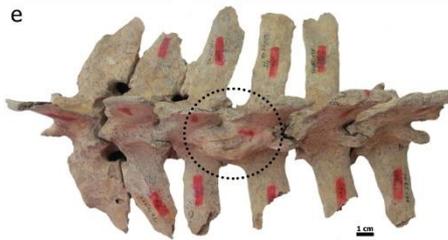
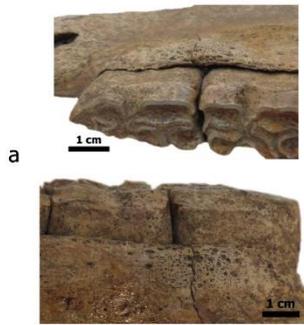
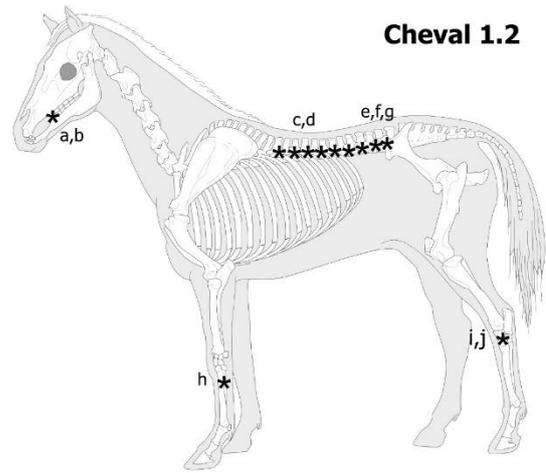
L'articulation du tarse (ou jarret) est porteuse d'une **arthrose légère** (ou éparvin). La surface articulaire inférieure des naviculaires gauche et droit révèle un bord crânial légèrement irrégulier prenant la forme d'une lèvre saillante. À proximité de ce même bord, la surface est déformée par un sillon (figure 117i). Des altérations équivalentes ont été observées au niveau des surfaces articulaires supérieure et inférieure du grand cunéiforme droit (figure 117j) ainsi que la surface articulaire supérieure du métatarsien III droit.

Figure 117 : Cheval 1.2 - Localisation des pathologies osseuses (*) et plan de fosse (Brulet, 1991).

- a : Parodontopathie entre les P₂ et P₃ droites (vues occlusale et vestibulaire) ;
- b : Usure en biseau sur la face occlusale de la P₂ gauche (flèche noire, vue linguale) ;
- c : Spondylose, ankylose des 13^{ème} et 14^{ème} vertèbres thoraciques via le bord ventral des corps vertébraux (thoraciques 11 à 14, vue latérale gauche) ;
- d : Spondylose, ankylose des 17^{ème} et 18^{ème} vertèbres thoraciques via les processus articulaires et épineux (thoraciques 15 à 18, vue latérale gauche) ;
- e : Spondylose, ankylose des 3^{ème} et 4^{ème} vertèbres lombaires via les processus articulaires (cercle noir, lombaires 1 à 6, vue dorsale) ;
- f : Spondylose avec ostéophytes de taille importante sur les bords articulaires du corps vertébral (2^{ème} vertèbre lombaire, vue crâniale) ;
- g : Surface articulaire inter-transversaire présentant des lésions dégénératives + ostéophytes légers sur les bords articulaires du corps vertébral (5^{ème} vertèbre lombaire, vue crâniale) ;
- h : Ossification du *ligamentum interosseum* (métacarpiens II et III gauches, vue médiale) ;
- i : Arthrose du jarret (naviculaire droit, vue distale) ;
- j : Arthrose du jarret (grand cunéiforme droit, vue proximale).



Cheval 1.2



c. Cheval 1.3 (figure 118).

Le cheval 1.3 reposait contre la paroi est de la fosse, selon une orientation sud-est/nord-est. Appuyée contre la paroi, la tête est tournée vers le sud-est et repose sur le dos de l'animal. Ses membres antérieurs sont étendus et écartés. Le bassin ainsi que les membres postérieurs ont été grandement entamés par le creusement de la tombe 39.

Quasi-complète, la tête a été prélevée en bloc au cours de la fouille. Les dents sont présentes à l'exception de quelques incisives. La colonne vertébrale est représentée par les blocs cervical et thoracique. L'hyoïde ainsi que certaines côtes sont manquants. Les membres antérieurs sont totalement représentés à l'exception de quelques petits éléments. Les os coxaux ainsi que la majeure partie des membres postérieurs ont été détruits par le creusement de la tombe 39. Ne subsiste que le pied gauche représenté par le naviculaire, le grand cunéiforme, les métatarsiens, les phalanges ainsi que le petit sésamoïde.

Ce mâle était probablement âgé de 7-8 ans au moment du décès. Sa taille au garrot s'élevait à 144 cm, sa masse corporelle à 408 kg.

Les modifications pathologiques ont été relevées au niveau du squelette axial.

La face dorsale de l'atlas présente des **exostoses** importantes localisées (figure 118a). Induisant une irrégularité de la surface de l'os, celles-ci ont pris place sur le tubercule dorsal et à proximité du bord crânial, zone d'insertion du *M. obliquus capitis caudalis*. Les vertèbres thoraciques 6 et 10 à 13 sont sujettes à une **spondylose** légère : de petits ostéophytes marginaux sont observables sur le bord ventral des surfaces articulaires de leurs corps vertébraux. Les processus articulaires des T13 à T18 font montre d'atteintes de type **arthrose** (figure 118b). Elles se caractérisent par une déformation et un élargissement des surfaces articulaires ainsi qu'un remodelage de leurs bords. La périphérie peut être le siège de formations osseuses ainsi que d'un accroissement de la vascularisation se traduisant par la présence de porosités.

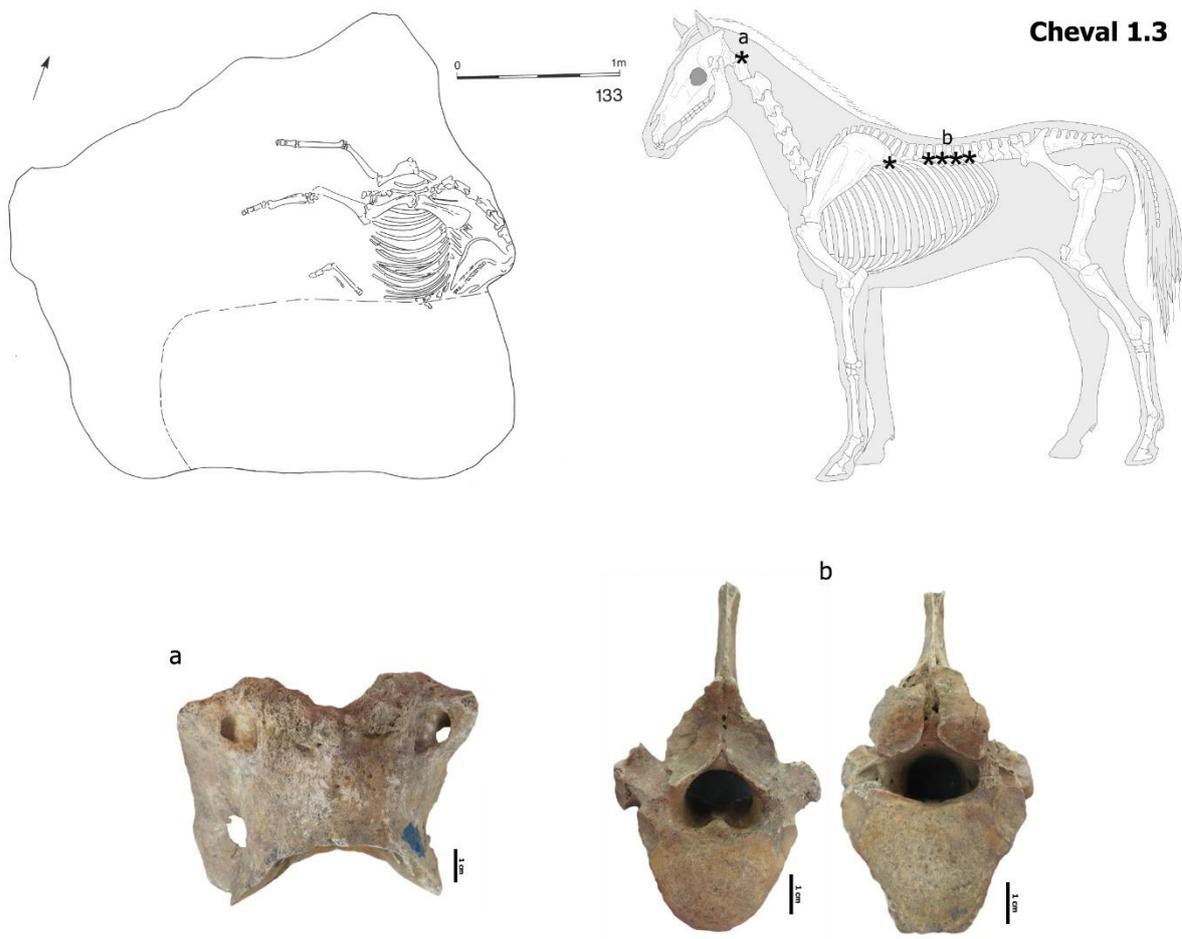


Figure 118 : Cheval 1.3 - Localisation des pathologies osseuses (*) et plan de fosse (Brulet, 1991).

- a : Exostoses à proximité du bord crânial de l'atlas (vue dorsale) ;
- b : Arthrose des processus articulaires, extension des surfaces articulaires et déformation de leur bord (15^{ème} vertèbre thoracique, vues crâniale et caudale).

d. Cheval 1.4 (figure 119).

Ce cheval reposait sur son flanc gauche au sud de la fosse dans une orientation est-ouest, le regard à l'est. Les membres postérieurs étaient repliés, leur extrémité distale appuyée contre la paroi sud-ouest. La partie antérieure du corps a été détruite lors du creusement de la tombe 39. Seule la partie supérieure de la tête subsiste.

Le crâne, fortement fragmenté, est le seul élément de la tête de l'animal. Les dents manquent. La partie antérieure du squelette a été détruite par l'inclusion de la tombe 39 : les vertèbres cervicales, les cinq premières thoraciques, la moitié des côtes gauches et droites ainsi que les membres thoraciques manquent. Des membres postérieurs, seuls de petits éléments osseux sont absents.

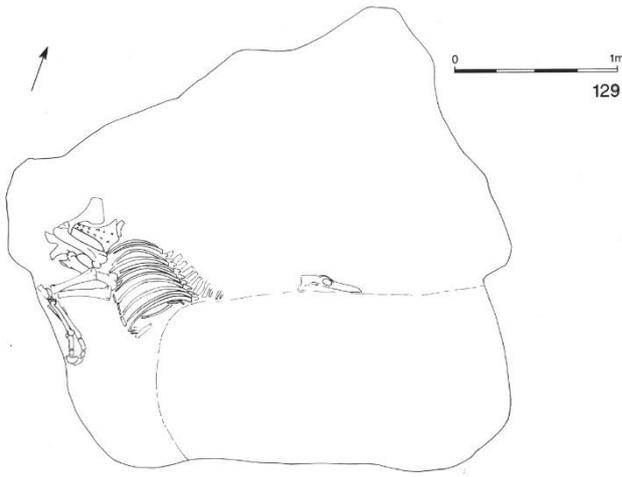
La hauteur au garrot de ce mâle adulte s'élevait à 143 cm. Sa masse corporelle a été estimée à 384 kg.

Les vertèbres thoraciques et lombaires sont atteintes de **spondylose**. Les T11, T15, T16, L2 et L4 présentent de petits ostéophytes sur les bords articulaires ventraux de leur corps vertébral. Ces ostéophytes sont de taille plus importante pour T12, T13, T14 et se projettent vers les vertèbres adjacentes (figure 119a). Les sommets des processus épineux de ces mêmes vertèbres sont porteurs de productions osseuses, ces dernières indiquant une zone de contact entre ces éléments (ou **conflit des processus épineux**) pouvant conduire, à terme, à leur fusion. Les processus articulaires présentent de même une arthrose de leur surface articulaire (déformation, extension). Les T17 et T18 forment un bloc via l'ossification des ligaments péri-articulaires de leurs processus ayant conduit à leur ankylose (figure 119b). De même, les 5^{ème} et 6^{ème} lombaires sont ankylosées au travers de leur processus transverse gauche (figure 119c). Les bords des surfaces auriculaires du sacrum sont déformés et irréguliers. De même, les surfaces articulaires sont remodelées et irrégulières témoignant de lésions dégénératives moyennes dans cette zone.

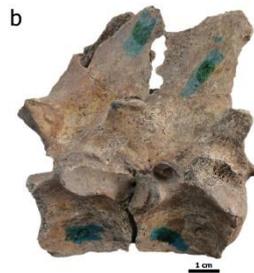
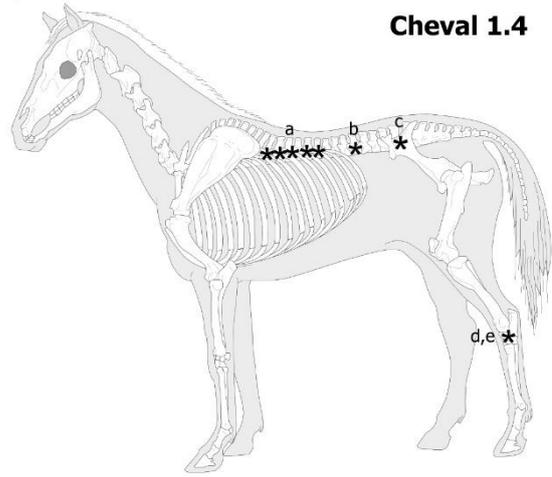
Une **arthrose** du jarret gauche (ou **éparvin**) a été relevée chez cet animal, notamment sur la face distale du naviculaire et la face proximale du grand cunéiforme (figures 119d-f). Les surfaces articulaires sont remodelées et exposent un aspect irrégulier. Leurs bords sont déformés par des productions ostéophytiques. On note de plus un début d'ossification des ligaments péri-articulaires notamment sur la face crâniale de ces os (figure 119f). Ces ostéoformations peuvent, dans certains cas, mener à une ankylose de ces deux os.

Figure 119 : Cheval 1.4 - Localisation des pathologies osseuses (*) et plan de fosse (Brulet, 1991).

- a : Spondylose, ostéophytes de taille importante sur les bords des corps vertébraux et conflits des processus épineux (thoraciques 12 à 14, vue latérale gauche) ;
- b : Spondylose, ankylose des 17^{ème} et 18^{ème} vertèbres thoraciques via leurs processus articulaires (vue latérale droite) ;
- c : Spondylose, ankylose des 5^{ème} et 6^{ème} vertèbres lombaires via leurs surfaces inter-transversaires (vues dorsale et ventrale) ;
- d : Arthrose du jarret (naviculaire gauche, vue distale) ;
- e : Arthrose du jarret (grand cunéiforme gauche, vue proximale) ;
- f : Arthrose du jarret (naviculaire + grand cunéiforme gauches, vue crâniale).



Cheval 1.4



e. Cheval 1.5 (figure 120).

Le cheval 1.5 a été exhumé au nord-est de la tombe, sa tête appuyée contre la paroi nord-est. Il reposait sur son flanc gauche dans une orientation nord-est/sud-ouest, la tête osseuse regardant à l'est. Le membre antérieur droit est étendu vers l'est. L'antérieur gauche est fléchi au niveau des articulations du coude et du genou. Il est en revanche difficile de déterminer dans quelle position se trouvaient les membres postérieurs, ces derniers ayant été détruits à partir du grasset lors du creusement de la tombe 39.

La tête osseuse est quasi-complète mais très fragmentée dans sa partie supérieure ainsi qu'à partir du chanfrein¹⁵. Les incisives, canines supérieures et la canine inférieure gauche manquent. Les portions cervicale, thoracique, lombaire et sacrée de la colonne vertébrale sont complètes. Les côtes sont représentées dans leur quasi-totalité : la partie droite est mieux conservée que la partie gauche. Les membres antérieurs sont presque complets : quelques petits os, la seconde phalange droite et les phalanges distales manquent. En revanche, les membres pelviens sont très incomplets et comportent uniquement les os coxaux, les fémurs ainsi que la patella droite.

L'âge au décès du cheval 1.5 est situé entre 16 et 17 ans. La détermination du sexe indique qu'il s'agit d'un mâle. Sa hauteur au garrot a été estimée à 142 cm, sa masse corporelle à 364 kg.

Un certain nombre de lésions osseuses ont pu être enregistrées.

La surface occlusale des **P₂** et de la **P²** gauche présente une **usure en biseau** de quelques millimètres (figure 120a). La P² droite n'a pu être évaluée.

La face dorsale de l'atlas présente des ostéo-formations localisées à proximité du bord crânial droit provoquant une irrégularité de sa surface. Une perforation conduisant au foramen vertébral se trouve à proximité : d'un diamètre de 2,7 mm, ses bords sont réguliers et émoussés. Cette **exostose** prend place au niveau de l'insertion du *M. obliquus capitis caudalis* sur l'aile de l'atlas (figure 120b).

¹⁵ La tête du cheval 1.5 est exposée au Musée d'Archéologie de Tournai.

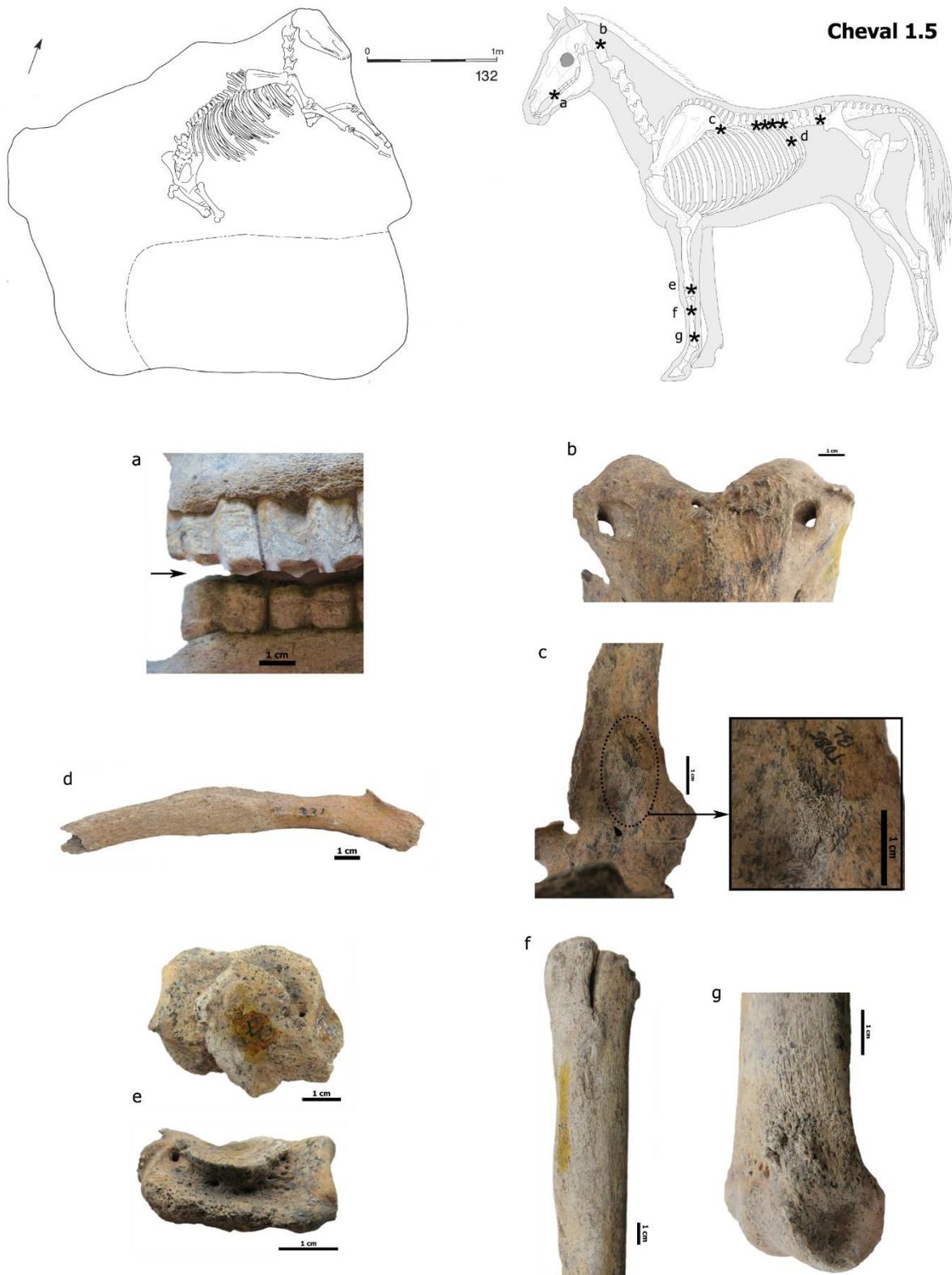


Figure 120 : Cheval 1.5 - Localisation des pathologies osseuses (*) et plan de fosse (Brulet, 1991).

- a : Usure en biseau des faces occlusales des P² et P₂ + parodontopathie visible sur le bord alvéolaire de l'os maxillaire (dents gauches, vue vestibulaire) ;
- b : Exostose sur l'atlas (vue dorsale) ;
- c : Réactions périostées, tiers proximal du processus épineux (10^{ème} vertèbre thoracique, vue latérale gauche) ;
- d : Fracture consolidée, corps de la côte (17^{ème} côte gauche, vue viscérale) ;
- e : Exostose (pisiforme droit, vues médiale et caudale) ;
- f : Ossification du *ligamentum interosseum* (métacarpiens II et III, vue médiale)
- g : Exostose (métacarpien III gauche, tiers distal de la diaphyse, vue crânio-latérale).

La 10^{ème} vertèbre thoracique expose des **réactions périostées** se situant de part et d'autre du tiers proximal du processus épineux (figure 120c). Ces petites plages d'appositions sous-périostées affichent un aspect fibreux ainsi que des bords irréguliers. La lésion localisée sur la face gauche du processus est plus étendue que sur la face droite (dim. ≈ 1,5 x 1 cm) et présente une irrégularité plus importante indiquant une réaction inflammatoire active au moment du décès. Le processus de cicatrisation/résorption est nettement plus avancé pour les dépôts sous-périostés localisés sur la face droite.

Les processus articulaires des dernières vertèbres thoraciques (T15 à T18) et des deux premières vertèbres lombaires présentent des lésions de type **arthrose** : les surfaces articulaires sont irrégulières et, dans certains cas, étendues. Leurs pourtours peuvent être porteurs de petits ostéophytes induisant leur irrégularité (vertèbres lombaires).

La surface articulaire transverse caudale gauche de la 5^{ème} lombaire expose une atteinte érosive étendue sur moins de 1/3 de sa surface. Elle s'accompagne d'une cavitation ainsi que de bords articulaires irréguliers induits par une ostéophytose. Cette ostéolyse et ces perforations sont observables au niveau de la surface articulaire transverse crâniale de la 6^{ème} lombaire. Ces altérations résultent probablement de changements dégénératifs localisés (**arthrose**).

La 17^{ème} côte gauche expose une **fracture consolidée** du corps à proximité de son extrémité vertébrale. La zone concernée est épaissie, la surface osseuse y est lisse et plane avec des bords légèrement irréguliers (figure 120d).

Au niveau du squelette appendiculaire, seuls les membres antérieurs présentent des anomalies osseuses.

Le pisiforme droit porte une zone d'ostéo-formation importante sur sa face médiale. Elle présente une surface médiale lisse et plane, ses bords sont irréguliers et se distinguent nettement de la surface de l'os. La « limite » entre cette dernière et l'**exostose** est marquée par des porosités/perforations (figure 120e).

L'ossification du *ligamentum interosseum* a conduit à l'**ankylose des métacarpiens II** et III, aussi bien au niveau de l'antérieur droit que gauche (figure 120f).

L'extrémité distale de la diaphyse du métacarpien III gauche (face latéro-crâniale) arbore une surface osseuse irrégulière (figure 120g). Cette dernière est porteuse de formations osseuses se distinguant nettement de l'os. Leur périphérie possède un aspect remodelé et est marquée par de nombreuses microporosités. Une ostéo-formation moyenne a de même été

identifiée sur le tubercule d'insertion proximo-latéral de la première phalange induisant ainsi une irrégularité importante de sa surface. La localisation des atteintes correspond aux zones d'insertion du ligament collatéral métacarpo-phalangien latéral sur le métacarpien et la phalange proximale. Asymétriques (l'antérieur droit en est exempt), ces **exostoses** peuvent résulter d'une blessure du ligament ayant induit une sollicitation exagérée de ces zones.

f. Cheval 1.6 (figure 121).

Le cheval 1.6 a été détruit suite au creusement de la tombe 39, datée du VI^{ème} siècle. Il n'en reste que l'extrémité distale du membre postérieur gauche (os du tarse et phalanges). Cet élément a été découvert en vue latérale, entre les membres thoraciques du supposé cheval 1.7. De sexe indéterminé, ce cheval adulte aurait mesuré 137 cm au garrot pour une masse de 350 kg.

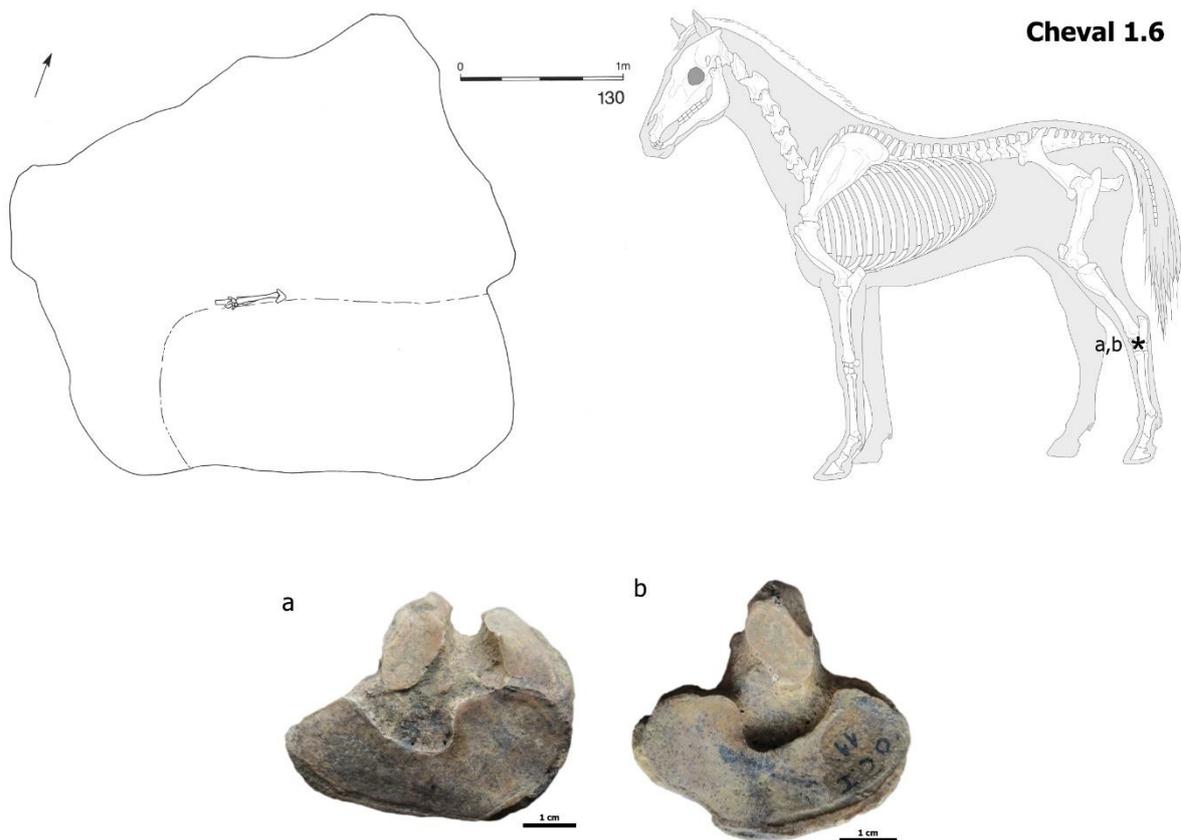


Figure 121 : Cheval 1.6 - Localisation des pathologies osseuses (*) et plan de fosse (Bulet, 1991).

- a : Arthrose du jarret (naviculaire gauche, vue distale) ;
- b : Arthrose du jarret (grand cunéiforme gauche, vue proximale).

Le jarret est porteur d'une **arthrose légère** (ou éparvin). La surface articulaire distale de la naviculaire gauche est déformée par un sillon à proximité de son bord crânial (figure 121a).

Une atteinte similaire est observable sur la surface articulaire proximale du grand cunéiforme. Le bord correspondant est de même irrégulier en raison d'une ostéophytose légère (figure 121b).

g. Cheval 1.7 (figure 122).

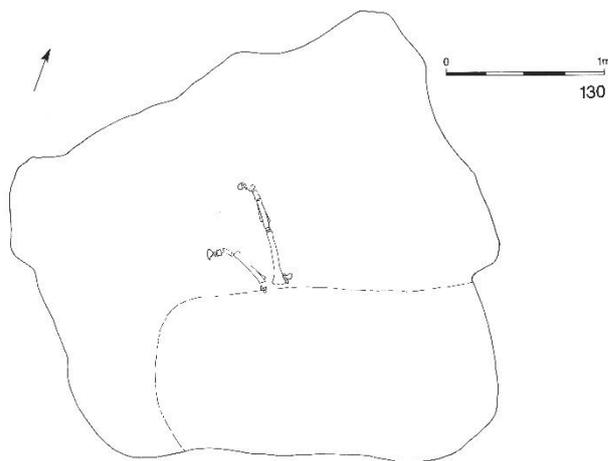


Figure 122 : Cheval 1.7 - Plan de fosse (Brulet, 1991).

Le cheval 1.7 a été détruit suite au creusement de la tombe 39, datée du VI^{ème} siècle. De cet individu, il n'en persiste que les extrémités distales des membres thoraciques. L'antérieur gauche, découvert au-dessus du membre thoracique droit, contient la portion allant du radio-ulna à la phalange distale. Le triquetrum, le pisiforme et l'hamatum manquent. Le membre antérieur droit se

compose des os du carpe (excepté le pisiforme) ainsi que des phalanges.

Ce cheval adulte de sexe indéterminé aurait mesuré environ 141 cm au garrot et pesé 363 kg.

Aucune pathologie n'a été observée.

2. Tombe CV2.

a. Cheval 2.1 (figure 123).

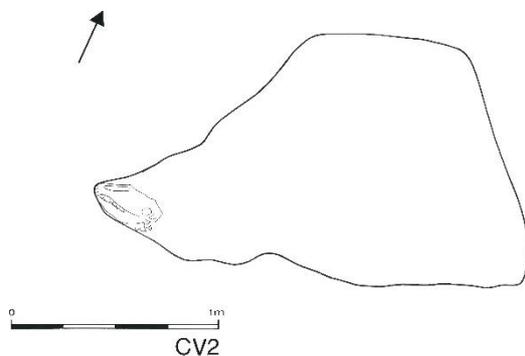


Figure 123 : Cheval 2.1 - Plan de fosse (Brulet, 1991).

Ce cheval est représenté uniquement par son crâne (très fragmenté), l'atlas et l'axis. L'âge au décès de ce mâle a été estimé à 7-8 ans. Ni sa hauteur au garrot ni sa masse corporelle n'ont pu être établies.

Aucune lésion osseuse n'a été relevée.

b. Cheval 2.2 (figure 124).

L'animal a été déposé sur son flanc droit, le regard tourné vers l'ouest. Seules sa tête osseuse (prélevée en bloc, fragmentée) et les quatre premières cervicales ont pu être exhumées. L'âge au décès de ce cheval mâle a été estimé à 11-13 ans. Sa taille et sa masse corporelle n'ont pu être évaluées.

La P₂ gauche montre une **usure en biseau** de plusieurs millimètres sur la moitié mésiale de sa face occlusale (figure 124a). La P₂ droite n'a pu être examinée pour vérifier la symétrie de cette anomalie.

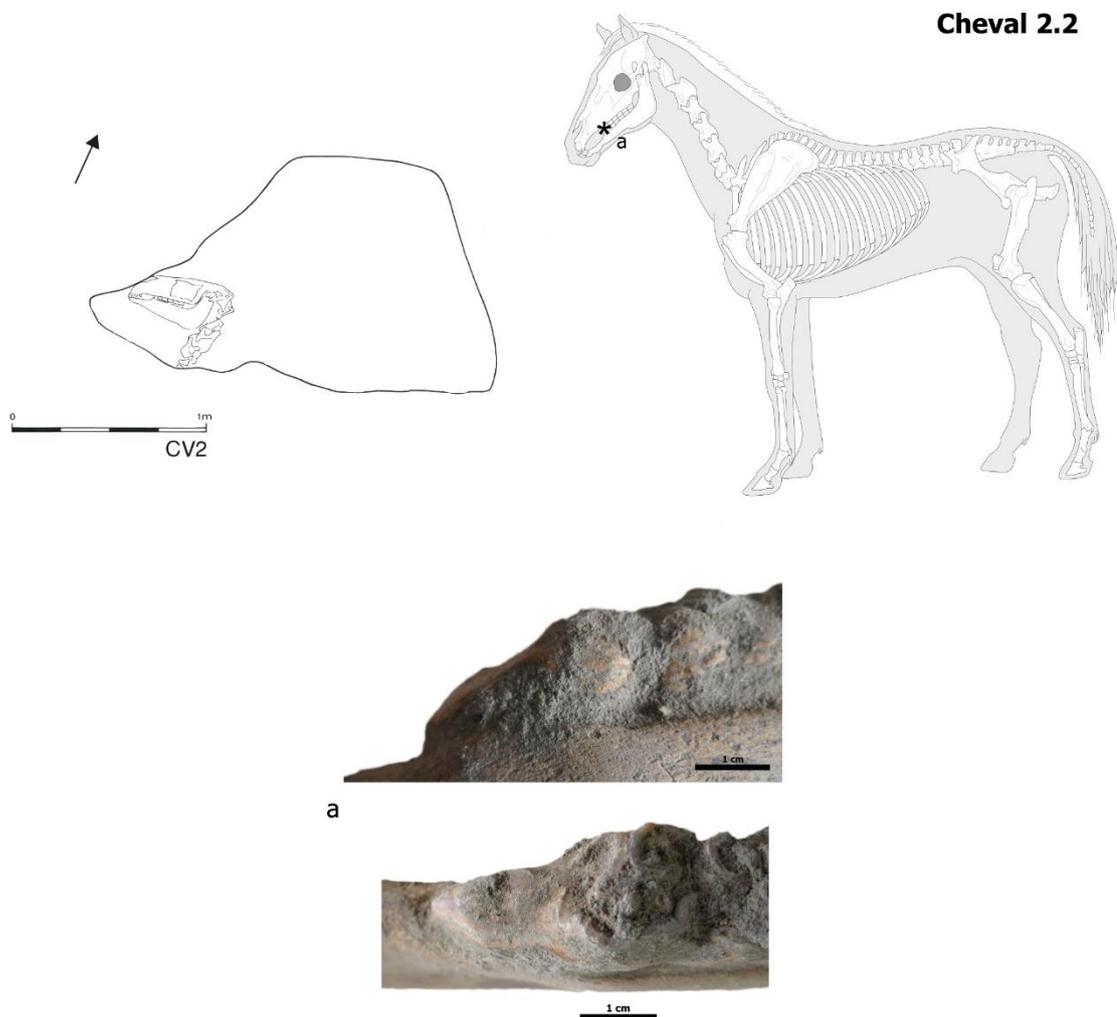


Figure 124 : Cheval 2.2 - Localisation des pathologies osseuses (*) et plan de fosse (Bulet, 1991).
- a : Usure en biseau de la face occlusale de la P₂ gauche (vues vestibulaire et occlusale).

c. Cheval 2.3 (figure 125).

À l'image des trois autres chevaux de la tombe, le cheval 2.3 a été inhumé sur son flanc droit, la tête osseuse regardant à l'ouest, son encolure recouvrant l'extrémité distale des membres thoraciques du cheval 2.4. Le crâne, dont la partie supérieure est fortement altérée, ainsi que la mandibule ont été prélevés en bloc lors de la fouille de la fosse. Le squelette axial est constitué des vertèbres cervicales, de 13 vertèbres thoraciques ainsi que de 7 côtes gauches et 8 droites, fortement fragmentées. Les membres thoraciques se limitent aux scapulas et aux humérus.

Ce cheval mâle serait décédé aux alentours de 12 ans. Sa taille et sa masse n'ont pu être évaluées.

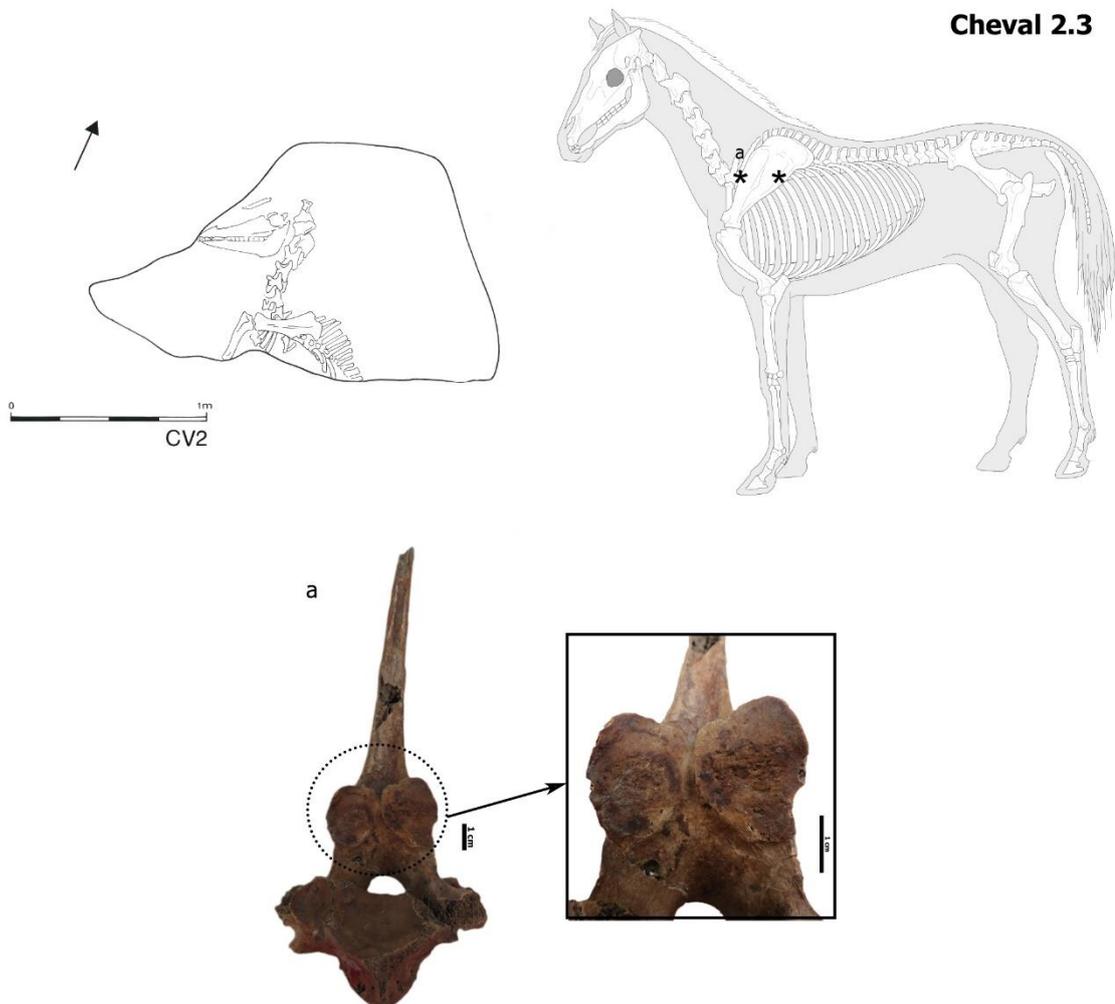


Figure 125 : Cheval 2.3 - Localisation des pathologies osseuses (*) et plan de fosse (Brulet, 1991).

- a : Arthrose des processus articulaires, extension des surfaces articulaires, déformation de leur bord, asymétrie en faveur du processus droit (2nde vertèbre thoracique, vue caudale).

Des **arthropathies** ont été relevées au niveau de certaines vertèbres thoraciques. Les processus articulaires caudaux de la 2^{ème} vertèbre thoracique sont marqués par une extension ainsi qu'une irrégularité de leur facette et de leurs bords (figure 125a). Des altérations similaires ont été observées au niveau de la facette costale crâniale gauche de la 6^{ème} vertèbre thoracique.

d. Cheval 2.4 (figure 126).

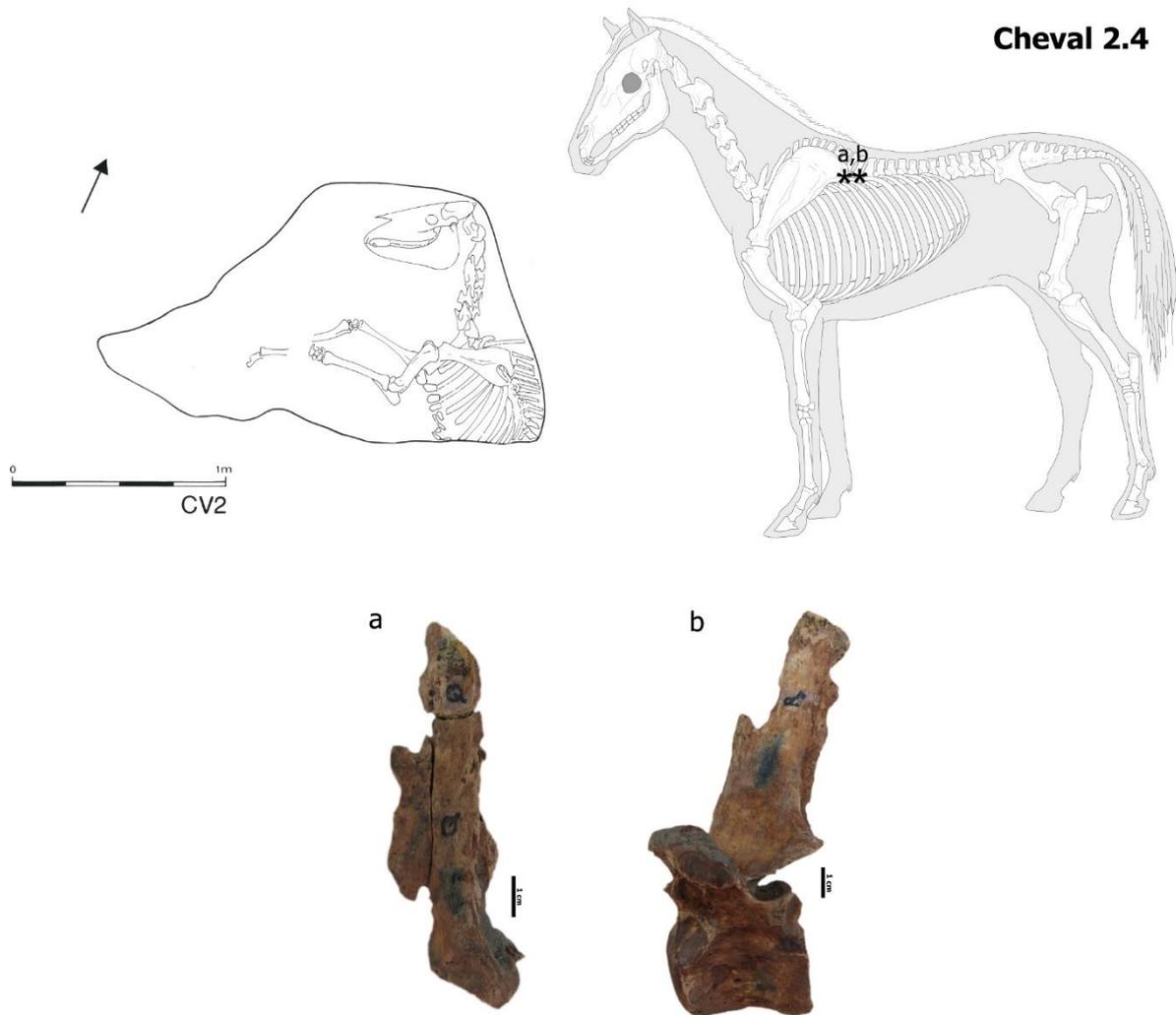


Figure 126 : Cheval 2.4 - Localisation des pathologies osseuses (*) et plan de fosse (Brulet, 1991).

- a : Ossification du ligament inter-épineux (10^{ème} vertèbre thoracique, processus épineux, vue latérale gauche) ;
- b : Ossification du ligament inter-épineux (11^{ème} vertèbre thoracique, vue latérale gauche).

Ce cheval a été mis en évidence à l'ouest de la fosse sur son flanc droit, ses membres antérieurs sous l'encolure du cheval 1.3, le regard tourné vers l'ouest. Seule la partie antérieure du squelette a pu être fouillée. Prélevée en bloc au cours de la fouille, la tête est presque complète et en bon état de conservation. La colonne vertébrale est composée du bloc cervical

et des quatorze premières thoraciques. Près de la moitié des côtes manquent (11 gauches et 7 droites), celles restantes sont complètes. Des membres antérieurs, seuls quelques petits os sont absents.

Son âge au décès a été estimé à 5-7 ans. Ce mâle mesurait 142 cm au garrot et pesait 370 kg.

Une **ossification du ligament inter-épineux** a pris place sur les bords crânial et caudal de la 11^{ème} vertèbre thoracique (figure 126b) ainsi que le bord crânial de la 10^{ème} vertèbre thoracique (figure 126a). Elle se présente comme une lame osseuse irrégulière se projetant en direction des vertèbres adjacentes.

3. Tombe CV3.

a. Cheval 3.1 (figure 127).¹⁶

Cet individu reposait au nord de la fosse, couché sur son flanc gauche dans une orientation est-ouest, le regard tourné vers l'est. Les membres étaient étendus vers le sud avec une flexion légère des articulations du carpe (genou) et du tarse (jarret) gauches. De même, on note une courbure des portions thoracique et lombaire de la colonne vertébrale. La partie postérieure de l'animal était appuyée contre la paroi nord, entamée suite au creusement de la tombe d'un guerrier (tombe 54, Brulet, 1991).

Le crâne, bien que très fragmenté, est presque complet. Une grande partie des incisives supérieures manquent. La colonne vertébrale est représentée dans sa totalité, seules quelques vertèbres caudales sont absentes. Les côtes sont fortement fragmentées rendant difficiles leur repositionnement et leur dénombrement. Les membres antérieurs et postérieurs sont presque complets, de petits éléments osseux manquent.

Ce mâle était âgé entre 11,5 et 13 ans au moment de son décès. Celui-ci mesurait 143 cm au garrot pour une masse corporelle de 465 kg.

Une **prémolaire** supérieure gauche **surnuméraire** a été identifiée en avant de la P² (figure 127a). Celle-ci se distingue d'une prémolaire normale par sa longueur réduite. Elle arbore, de plus, des dimensions bien trop importantes pour être une dent de loup.

¹⁶ Le crâne ainsi que la moitié gauche du squelette post-crânien du cheval 3.1 sont vernis, montés et exposés au Musée d'Archéologie de Tournai.

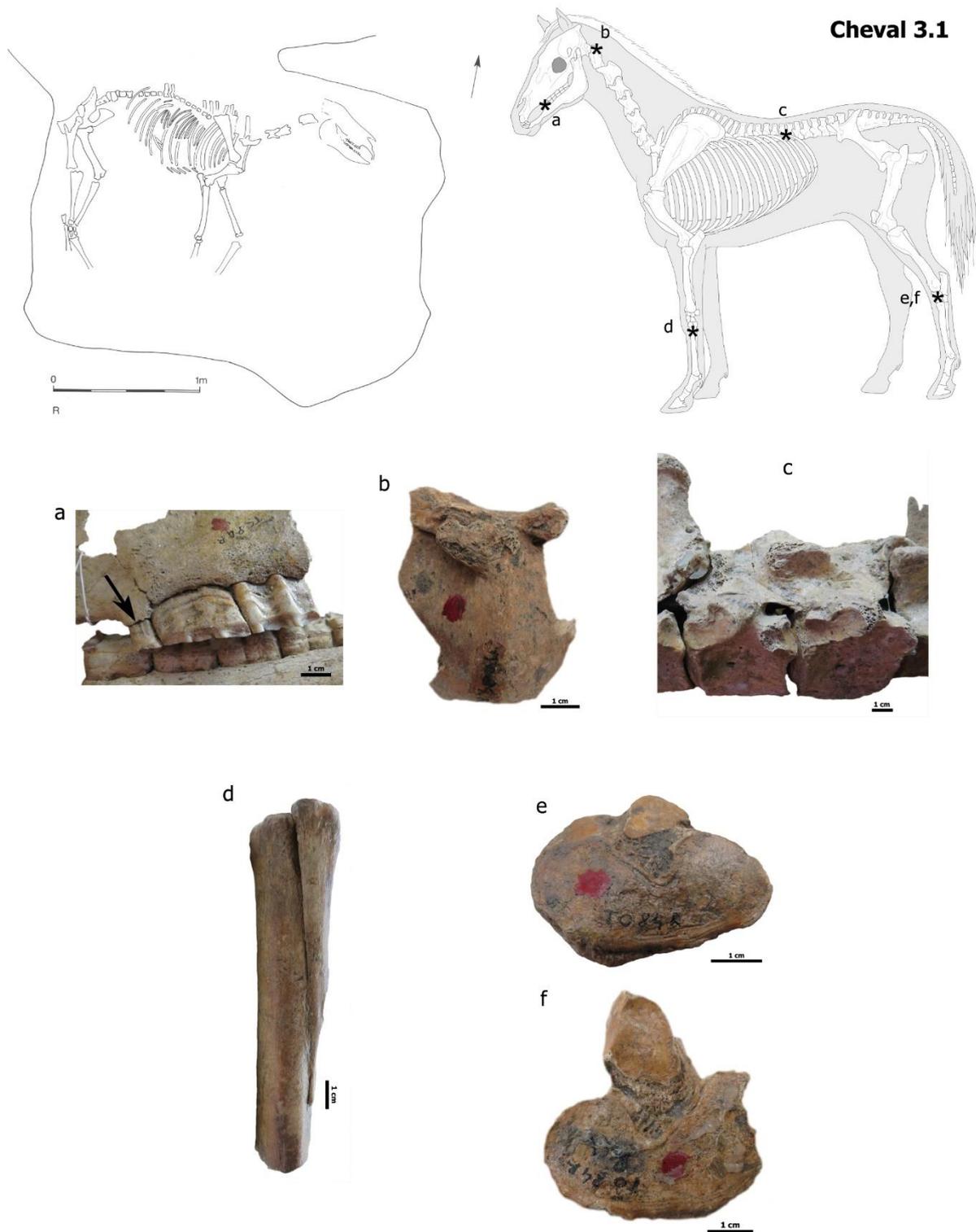


Figure 127 : Cheval 3.1 - Localisation des pathologies osseuses (*) et plan de fosse (Brulet, 1991).

- a : Prémolaire supérieure surnuméraire (premières prémolaires supérieures gauches, vue vestibulaire) ;
- b : Exostose sur l'atlas (fragment de l'arc dorsal, vue dorsale) ;
- c : Spondylose, ankylose des 17^{ème} et 18^{ème} vertèbres thoraciques via leurs processus articulaires et épineux (vue latérale gauche) ;
- d : Ossification du *ligamentum interosseum* (métacarpiens II et III droits, vue médiale) ;
- e : Arthrose du jarret (naviculaire gauche, vue distale) ;
- f : Arthrose du jarret (grand cunéiforme gauche, vue proximale).

Le montage du squelette ne permet pas d'appréhender pleinement les éventuelles anomalies osseuses visibles au niveau du squelette axial (*e.g.* aspect des surfaces articulaires).

Une **exostose** a été relevée sur la face dorsale de l'atlas. Celle-ci est particulièrement développée au niveau du tubercule dorsal et semble se prolonger le long du bord crânial, zone d'insertion du *M. obliquus capitis caudalis* (figure 127b).

Les 17^{ème} et 18^{ème} vertèbres thoraciques forment un bloc en raison d'une ankylose de leurs processus articulaires (**spondylose**, figure 127c). Bien que leurs processus épineux n'aient pas été préservés, il n'est pas exclu que ces derniers aient été eux aussi concernés par cette fusion. Des anomalies localisées sur les dernières vertèbres thoraciques laissent penser à la présence de lésions dégénératives associées à la spondylose (**arthrose**). En effet, un remodelage des **zones d'insertion des ligaments** péri-articulaires des processus articulaires ainsi que du ligament inter-épineux, sous forme de formations osseuses, a été relevé. Il nous est en revanche difficile d'observer dans quelle mesure les surfaces articulaires sont atteintes.

Le relevé paléopathologique a révélé peu d'anomalies osseuses au niveau du squelette appendiculaire. Une ossification du *ligamentum interosseum* a conduit à une **ankylose des métacarpiens II** gauche ainsi que II et IV droits aux métacarpiens III correspondants (figure 127d).

Certains os des jarrets sont le siège d'une **arthrose**. La surface articulaire distale de l'os naviculaire droit arbore un remodelage léger : des sillons sont identifiables à proximité des bords crânial et caudal (figure 127e). Le reste de la surface articulaire semble peu altéré. Des lésions équivalentes sont identifiables pour les grands cunéiformes droit et gauche (surface articulaire proximale, figure 127f).

b. Cheval 3.2 (figure 128).

Le squelette était situé à l'ouest de la fosse, orienté dans le sens nord-ouest/sud-ouest, sur le flanc gauche. Les membres sont étendus, l'antérieur droit présentant une flexion légère au niveau de l'articulation du carpe. La tête osseuse est fortement fragmentée mais quasi-complète. Les vertèbres ainsi que les côtes sont très fragmentées. À l'exception des vertèbres caudales, l'ensemble des vertèbres est représenté et comprend une thoracique surnuméraire (position 19). Un total de 15 côtes gauches et de 10-11 côtes droites subsistent : le taux de fragmentation ne nous a pas permis de déterminer la position exacte des côtes manquantes sauf pour les premières côtes gauche et droite. Malgré l'absence de quelques petits os, l'ensemble des membres thoraciques est représenté. De même, les membres pelviens sont quasi-complets.

Le cheval 3.2 était âgé de 10-11 ans au moment du décès. Ce mâle mesurait 141 cm au garrot et pesait environ 391 kg.

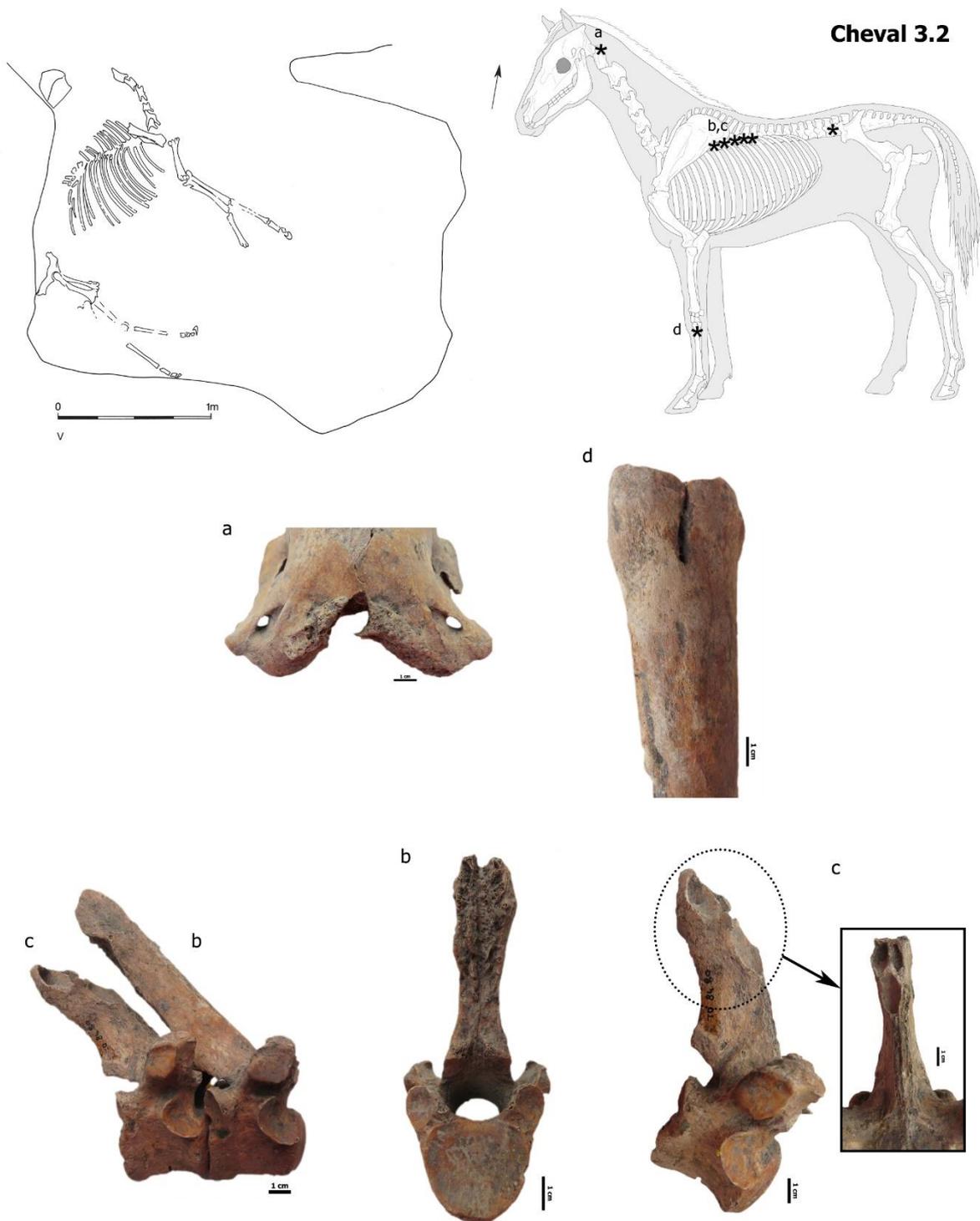


Figure 128 : Cheval 3.2 - Localisation des pathologies osseuses (*) et plan de fosse (Brulet, 1991).

- a : Exostose sur l'atlas (vue crânio-dorsale) ;
- b : Conflit des processus épineux, remodelage du processus épineux via des formations osseuses et porosités (8^{ème} vertèbre thoracique, vues latérale droite et caudale) ;
- c : Conflit des processus épineux, extrémité du processus épineux présentant des « cavités » à fond régulier et bords saillants (9^{ème} vertèbre thoracique, vues latérale droite et crâniale) ;
- d : Ossification du *ligamentum interosseum* (métatarsiens III et IV droits, vue latérale).

Le relevé paléopathologique a permis de mettre en évidence un nombre important d'anomalies au niveau de la colonne vertébrale. La face dorsale de l'atlas présente une irrégularité importante au niveau de son bord crânial induite par la présence d'**exostoses**. Ces dernières sont accompagnées par de petits enthésophytes (figure 128a). Les vertèbres thoraciques 8 à 13 ainsi que les 4^{ème} et 5^{ème} lombaires exposent des lésions en lien avec une **spondylose**. Elles prennent la forme de petits ostéophytes marginaux sur les bords articulaires de leurs corps vertébraux.

Le processus épineux de la 8^{ème} thoracique montre un bord caudal très irrégulier en raison d'une formation osseuse moyenne et de porosités éparses (figure 128b). Ces lésions répondent aux altérations importantes observées sur la 9^{ème} vertèbre thoracique. En effet, le bord crânial de son processus épineux est marqué par la présence de trois « cavités » à fond régulier et pourtours marqués, saillants. Elles s'accompagnent de productions osseuses sur le reste du bord crânial. Le bord caudal est lui-même remodelé par d'ostéoformations importantes et de nombreuses porosités (figure 128c). Ces éléments pourraient témoigner d'un **conflit des processus épineux** des 8^{ème} et 9^{ème} vertèbres thoraciques (« *kissing spine syndrome* »). Le frottement qui en résulte pourrait avoir induit une réaction osseuse au niveau des insertions du ligament inter-épineux. Une infection peut avoir pris place suite à cette superposition, la présence de « cavités » traduisant une réponse inflammatoire en lien avec ce phénomène. Il nous est impossible de déterminer si la 10^{ème} vertèbre était atteinte, son processus épineux étant absent.

Les atteintes du squelette appendiculaire se limitent à une **ankylose des métacarpiens** IV aux métacarpiens III via ossification de leurs ligaments interosseux (figure 128d).

c. Cheval 3.3 (figure 129).

Cet animal a été inhumé au sud de la fosse. Celui-ci a été déposé sur le flanc droit dans une orientation est-ouest, la tête osseuse tournée à l'est, les membres étendus vers le nord. Certains éléments ne sont pas en connexion anatomique. On note un déplacement vers l'est du radio-ulna droit et des os suivants. Les os du bassin reposent sur leur face dorsale. Le tibia gauche présente un déplacement important vers l'est.

Le crâne est complet mais très fragmenté : seule une incisive supérieure manque. Vertèbres et côtes ont été soumises à une fragmentation post-mortem importante. La presque totalité des vertèbres persiste. Seules deux côtes sont absentes. Les membres thoraciques sont quasi-complets. Pour les membres postérieurs, de petits os ainsi que les phalanges intermédiaires et distales manquent. Le fémur droit est fortement fragmenté.

Ce cheval mâle était âgé de 6-7 ans au moment de son décès. Sa hauteur au garrot s'élevait à 139 cm, sa masse corporelle à 410 kg.

Une lyse du ciment périphérique (ou **carie périphérique**) des prémolaires et molaires a été relevée (figure 129a). Pour les dents supérieures, cette altération a été observée de la P³ à la M³ gauches (face linguale) et de la P² à la M³ droites (face linguale). Pour les dents inférieures, cette carie prend place sur la face vestibulaire des P₄ au M₃ et la face linguale des M₂ et M₃ (figure 129b).

La 4^{ème} cervicale est le siège de la seule anomalie vertébrale relevée chez cet individu. Sa crête ventrale, zone d'insertion du ligament ventral, est particulièrement développée : celle-ci est projetée en direction caudale et présente une légère déviation à gauche (figure 129c).

Pour le squelette appendiculaire, l'**ossification du ligamentum interosseum** a induit une fusion des métacarpiens II avec les métacarpiens III (figure 129f).

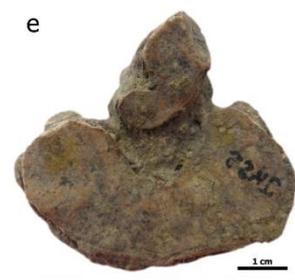
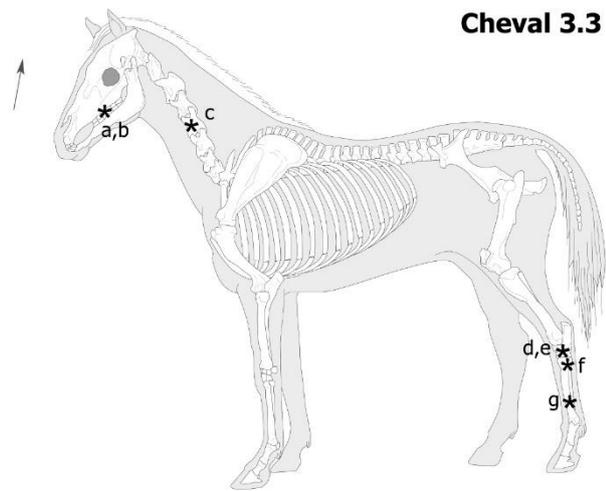
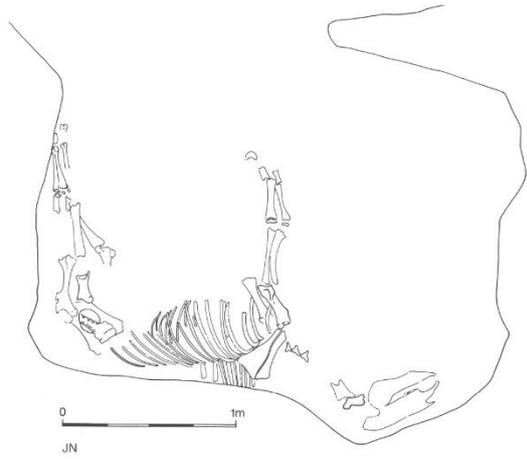
Une atteinte de type **arthrose** a été observée au niveau des os du tarse gauche : une déformation légère du bord crânial accompagnée d'une altération faible avec présence d'un sillon à proximité de ce même bord au niveau des surfaces articulaires distale du naviculaire et proximale du grand cunéiforme ont été relevées (figures 129d et e).

Enfin, le métatarsien III droit est le siège d'un léger gonflement dans la partie distale de sa diaphyse (face latérale, figure 129g). Cette zone ovalaire se distingue par un aspect peu irrégulier et des bords confondus avec la surface osseuse (dim. : 30,42 x 13,15 mm). Elle pourrait témoigner d'un **hématome ossifié** apparu suite à un coup porté avant le décès de l'animal dans cette zone. L'absence de réactions périostées indique que le processus de cicatrisation était terminé au moment du décès.

Figure 129 : Cheval 3.3 - Localisation des pathologies osseuses (*) et plan de fosse (Brulet, 1991).

- a : Carie périphérique étendue de la P² à la M³ droites (vue linguale) ;
- b : Carie périphérique étendue de la P₄ à la M₃ droites (vue vestibulaire) ;
- c : Crête ventrale développée et déviée en direction latérale gauche (4^{ème} vertèbre cervicale, vue caudale) ;
- d : Arthrose du jarret (naviculaire gauche, vue distale) ;
- e : Arthrose du jarret (grand cunéiforme gauche, vue proximale) ;
- f : Ossification du *ligamentum interosseum* (métatarsiens III et IV, vue latérale)
- g : Hématome ossifié (métatarsien III droit, tiers distal de la diaphyse, vues crâniale et latérale).

Cheval 3.3



d. Cheval 3.4 (figure 130).

Reposant sur son flanc droit, ce cheval a été découvert en position recroquevillée au nord-ouest de la fosse. Sa tête osseuse était rabattue sous le thorax, le membre antérieur gauche est replié sur la face latérale gauche du crâne, le droit semblait faire de même mais à droite de l'encolure. Le membre postérieur gauche était fléchi au niveau des articulations coxo-fémorale et fémoro-tibiale (ou grasset), son extrémité distale étendue contre la paroi de la fosse. Quant au postérieur droit, lui aussi replié, il présente une flexion importante du grasset. Il est en revanche impossible de savoir dans quelle position se trouvaient les métatarsiens et phalanges. Le crâne et la mandibule sont fortement fragmentés, certaines dents ont disparu. La colonne vertébrale est quasi-complète. Bien que très fragmentées, les côtes sont presque toutes présentes, seules trois d'entre elles font défaut. Les membres antérieurs et postérieurs sont représentés dans leur presque totalité.

Ce mâle serait décédé à un âge compris entre 13 et 15 ans. Sa taille s'élevait à 156 cm au garrot pour une masse corporelle de 480 kg.

Un certain nombre d'anomalies osseuses ont été relevées.

Les P₂ gauche et droite présentent toutes deux une **usure en biseau** de leur face occlusale (figures 130a et b). L'usure est bien plus importante pour la dent droite, marquée par une disparition du ciment. Cette altération est bien plus limitée pour la prémolaire gauche. Les P² présentent de même une irrégularité de leur face occlusale répondant à ces « déclinaisons » en prenant la forme de crochets localisés à leur extrémité mésiale (figure 130c).

D'autres **usures anormales** ont été relevées au niveau des dents supérieures (figure 130c). Les M¹ et M² présentent chacune des dépressions localisées sur leur face occlusale. Elles sont particulièrement marquées dans la moitié mésiale des premières molaires et caractérisées par une surface lisse, régulière ainsi qu'une disparition des lacs cémentaires (ou *infundibuli*). Le ciment de ces mêmes *infundibuli* est érodé pour les P³ et P⁴. Cette **carie de l'infundibulum** semble se limiter à ce tissu dentaire, aucune atteinte de l'émail ou de la dentine n'ayant été macroscopiquement identifiée.

Les bords alvéolaires affichent une résorption légère-moyenne associée à de nombreuses microporosités révélatrices d'une inflammation active au moment de la mort du cheval (**parodontopathie**). Ces lésions sont plus importantes sur les bords alvéolaires buccaux des maxillaires (figure 130c) et bien moins étendues sur les mandibules.

Les pathologies vertébrales sont localisées sur le tiers distal de la portion thoracique et la partie lombaire du squelette axial.

Une **spondylose** a été mise en évidence sur les 12^{ème}, 17^{ème} et 18^{ème} (figure 130e) vertèbres thoraciques ainsi que les 1^{ère} et 6^{ème} vertèbres lombaires. Elle est caractérisée par la présence d'ostéophytes de taille variable sur les bords des surfaces articulaires des corps vertébraux.

Des productions osseuses ont été relevées sur la tête des processus épineux des 13^{ème} et 14^{ème} vertèbres thoraciques assimilables à un **conflit des processus épineux** entre ces deux vertèbres (figure 130d).

Les **processus articulaires** des thoraciques 14 à 18 exposent de même des atteintes osseuses importantes. Leurs surfaces sont déformées et étendues, leurs bords irréguliers car porteurs d'ostéophytes marginaux. Ce remodelage peut, dans certains cas, conduire à une asymétrie des processus articulaires d'une même vertèbre (figure 130d).

La 18^{ème} vertèbre thoracique présente une **fissure horizontale** au travers de la fosse vertébrale. Ses bords sont réguliers, son centre offre une surface légèrement irrégulière. Seule lésion traumatique de ce type relevée sur l'ensemble de la colonne vertébrale, elle est associée à une ostéophytose importante sur les bords articulaires du corps vertébral (figures 130e et f).

Des **arthroses** ont été mises en évidence pour les membres thoraciques. La surface articulaire de l'épicondyle latéral de l'humérus gauche est remodelée en son centre. Celle-ci est irrégulière et présente une ostéophytose légère (figures 130g).

Des manifestations arthrosiques ont de même été détectées au niveau des boulets gauche et droit (articulations métacarpo-phalangiennes) : les bords articulaires sont développés sous forme de lèvre saillante, leurs surfaces sont peu voire non altérées (figure 130h et i).

Enfin, une **ankylose** probable des **métacarpiens II et III** droits a été décrite. Celle-ci s'identifie par une ossification localisée sur le bord médial de l'emplacement du métacarpien II (extrémité distale).

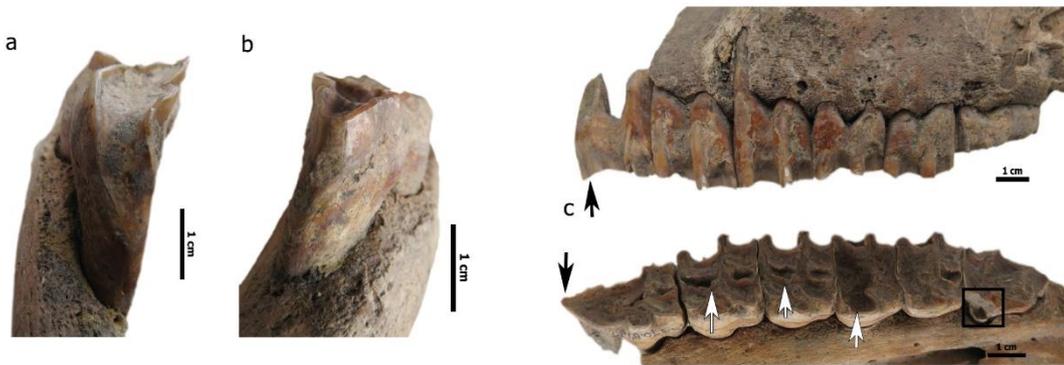
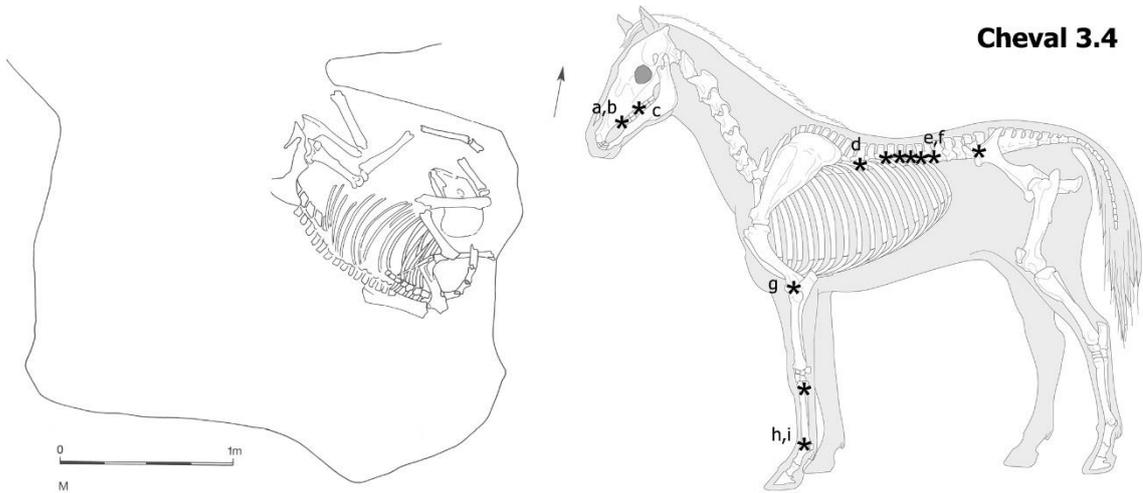


Figure 130 : Cheval 3.4 - Localisation des pathologies osseuses (*) et plan de fosse (Brulet, 1991).

- a : Usure en biseau importante des faces mésiale et occlusale de la P₂ droite (vue mésiale) ;
- b : Usure en biseau des faces mésiale et occlusale de la P₂ gauche (vue mésiale) ;
- c : Rangée dentaire supérieure gauche (vues occlusale et vestibulaire) :
 - o Usure anormale de la face occlusale et formation d'un crochet à l'extrémité de la P² (flèche noire) ;
 - o Carie de l'*infundibulum* (flèches blanches) ;
 - o Lésion traumatique de la M³, face linguale (carré noir)
 - o Parodontopathie : régression du bord alvéolaire + nombre accru de porosités à la surface de l'os (vue vestibulaire) ;
- d : Asymétrie des processus articulaires via extension des surfaces articulaires et déformation de leur bord (arthrose) + formation osseuse localisée sur la tête du processus épineux témoignant d'un conflit des processus épineux (14^{ème} vertèbre thoracique, vue crâniale) ;
- e : Spondylose, ostéophytes de taille importante sur les bords ventral et latéraux articulaires du corps vertébral (18^{ème} vertèbre thoracique, vue crâniale) ;
- f : Fissure transversale horizontale de la fosse vertébrale + ostéophytes sur les bords de la fosse vertébrale (18^{ème} vertèbre thoracique, vue caudale) ;
- g : Arthrose (humérus gauche, épicondyle latéral, vue distale) ;
- h : Arthrose du boulet (métacarpien III gauche, vue crâniale) ;
- i : Arthrose du boulet (phalange proximale antérieure gauche, vue proximale).

e. Cheval 3.5 (figure 131).

Ce cheval a été installé au sud de la tombe sur son flanc gauche dans une direction sud-est/nord-ouest, la tête regardant au sud-est, le membre postérieur droit en extension. La tête osseuse est représentée uniquement par une partie de l'hémi-mandibule gauche. La colonne vertébrale est quasi-complète : seules les lombaires 1 à 4 ainsi que les vertèbres caudales manquent. Les côtes sont marquées par une fragmentation importante. 17 côtes gauches et 12 droites ont été inventoriées. À l'exception de certains petits éléments, les membres thoraciques sont absents. Seul le membre postérieur droit persiste.

L'absence des incisives ne nous permet pas de donner une estimation de l'âge au décès. La hauteur au garrot de ce mâle adulte a été estimée à 140 cm, sa masse corporelle à 370 kg.

Les pathologies osseuses ont été observées au niveau du squelette axial.

Une **lyse importante du ciment périphérique** de la M₂ gauche a été identifiée sur sa face vestibulaire. Celle-ci se traduit par une irrégularité importante de la zone altérée. Cette altération se prolonge, dans une moindre mesure, aux M₁ et M₃ (figure 131a).

Une **spondylose sévère** a été notée entre les 5^{ème} et 6^{ème} vertèbres lombaires (figure 131b). Ces dernières forment un bloc de par l'ankylose de leurs processus transverses et des bords latéraux de leurs corps vertébraux.

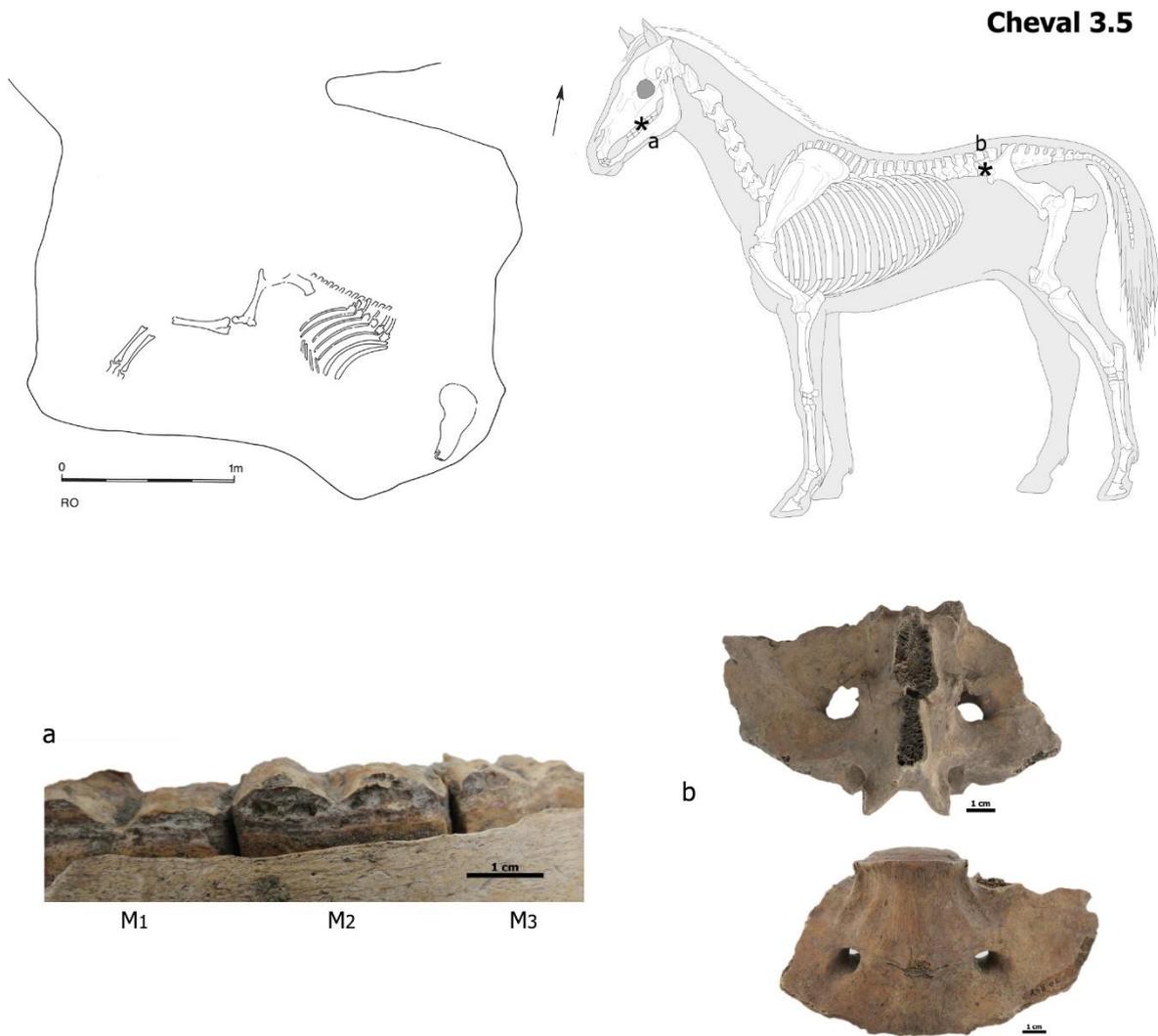


Figure 131 : Cheval 3.5 - Localisation des pathologies osseuses (*) et plan de fosse (Brulet, 1991).

- a : Carie périphérique (molaire inférieure gauche, vue vestibulaire) ;
- b : Spondylose, ankylose des 5^{ème} et 6^{ème} vertèbres lombaires via les surfaces inter-transversaires, les processus articulaires et les bords des corps vertébraux (vues dorsale et ventrale).

f. Cheval 3.6 (figure 132).

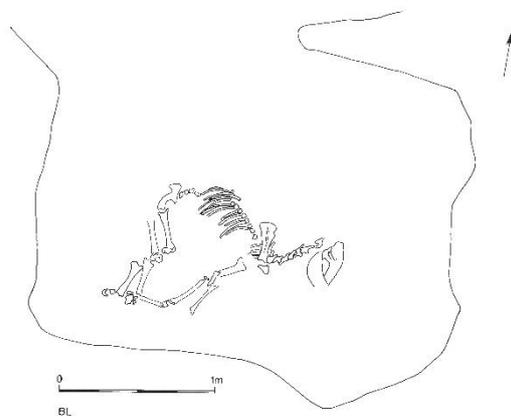


Figure 132 : Cheval 3.6 - Plan de fosse (Brulet, 1991).

Ce poulain a été exhumé au sud de la fosse. Couché sur le flanc gauche, le squelette était orienté sud-est/nord-ouest avec la tête au sud-est. Ses membres sont en extension et se croisent à leur extrémité distale.

La tête osseuse, partiellement complète, est très fragmentaire, certaines incisives n'ont pas été inventoriées. La quasi-totalité de la colonne vertébrale est présente, seules quelques

vertèbres n'ont pas été retrouvées. La première côte droite est manquante. Le membre antérieur gauche est quasi-complet. En revanche, l'antérieur droit se compose uniquement de la scapula, de l'humérus et du radio-ulna. En revanche, les membres postérieurs sont très incomplets.

L'âge au décès de ce poulain, de sexe indéterminé, a été estimé à 15 mois. Cet animal aurait mesuré 133 cm au garrot. La masse corporelle n'a pu être estimée.

Aucune anomalie osseuse n'a été relevée.

g. Cheval 3.7 (figure 133).

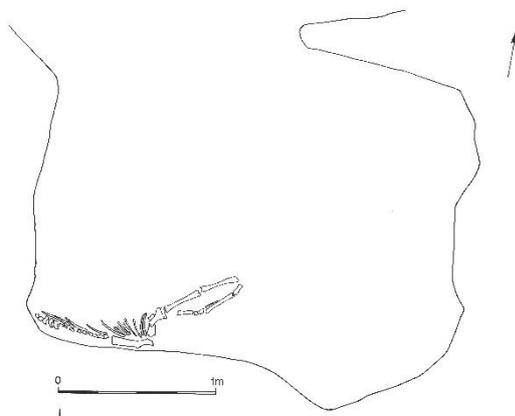


Figure 133 : Cheval 3.7 - Plan de fosse (Brulet, 1991).

Ce poulain, très mal conservé, a été découvert contre la paroi sud de la tombe. Le squelette est orienté est-ouest, les membres thoraciques étendus vers l'est.

La tête est fortement fragmentée et très incomplète. Un certain nombre de dents manquent. La colonne vertébrale est représentée par 4 cervicales, 14 thoraciques, 6 lombaires et une caudale. Cinq côtes composent le thorax.

Les membres antérieurs sont très incomplets : de nombreux os du carpe ainsi que les phalanges sont absentes. Les membres postérieurs comportent le coxal gauche (fragmentaire et incomplet), le calcaneus ainsi qu'un métatarsien vestigial gauche.

De sexe indéterminé, ce poulain était âgé de 12-15 mois au moment du décès. Sa hauteur au garrot s'élevait à 131 cm, sa masse corporelle à 274 kg.

Aucune anomalie osseuse n'a été relevée.

h. Cheval 3.8 (figure 134).

Le poulain, très incomplet, a été exhumé dans la partie nord de la fosse, les membres pelviens encore en place et étendus vers le sud. Nous ne disposons d'aucune information quant à l'emplacement des autres éléments osseux enregistrés au cours de notre étude ainsi que de la position dans laquelle le poulain a été déposé. Il est probable que le squelette ait été en grande partie endommagé suite au creusement de la tombe 54.

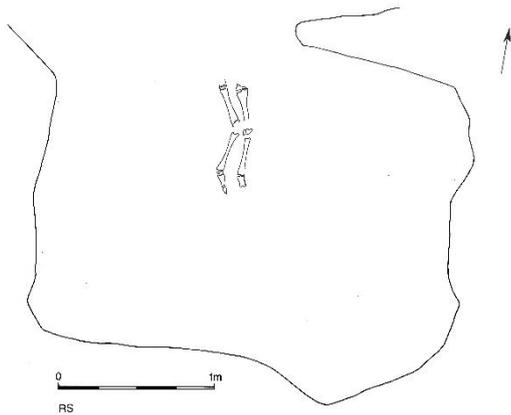


Figure 134 : Cheval 3.8 - Plan de fosse (Brulet, 1991).

La tête osseuse est absente. La colonne vertébrale est composée de 3 vertèbres thoraciques très détériorées et de rangs indéterminés.

Seules une côte gauche et une côte droite, se présentant à l'état de fragments, ont été inventoriées. Des membres antérieurs, ne subsistent qu'une scapula, les humérus ainsi qu'un radio-ulna, très incomplets (absence de certaines épiphyses car non soudées). Les membres postérieurs sont bien plus complets, de petits os ainsi que quelques épiphyses manquent.

L'âge au décès de ce poulain a été estimé à 1 an. La hauteur au garrot était d'environ 123 cm, sa masse corporelle de 278 kg. Son sexe n'a pas pu être déterminé. Aucune pathologie n'a été observée.

i. Cheval 3.9 (figure 135).

Le poulain a été installé à l'est de la tombe sur son flanc gauche dans une orientation sud-nord, la tête tournée vers le sud et les membres vers l'ouest. Les membres antérieurs sont repliés vers l'avant de l'animal (flexion des articulations de l'épaule, du coude, du genou droit, du boulet droit). Le membre postérieur droit est fléchi vers l'arrière. Seule l'extrémité distale du membre pelvien gauche est visible et montre une flexion légère du boulet.

Le crâne est fortement fragmenté, certaines dents n'ont pas été retrouvées. La colonne vertébrale est quasi-complète. Les côtes se présentent sous forme de fragments, seule la première gauche leur fait défaut. Les membres thoraciques sont presque complets, seuls quelques petits os n'ont pas été retrouvés. De même, des observations similaires sont admises pour les membres postérieurs.

Ce poulain, de sexe indéterminé, est décédé vers l'âge de 2 ans. Il aurait mesuré 135 cm au garrot et pesé 313 kg environ.

Une **fracture non consolidée** de la 18^{ème} côte droite a été enregistrée dans la partie médiane du corps de la côte (figure 135a). Les extrémités des deux fragments qui la composent exposent des **réactions périostées** de part et d'autre de la ligne de fracturation. Ces dernières sont caractérisées par un aspect fibreux comprenant quelques porosités indiquant des lésions

actives au moment du décès. Ces appositions périostées s'étendent notamment sur la face viscérale de la côte ($L \approx 2,5 \text{ cm}$; épaisseur $\approx 1-2 \text{ mm}$) et atteignent ses bords antérieurs ainsi que postérieur. Aucune réaction périostée n'a été identifiée sur sa face latérale ou sur d'autres os de ce poulain. L'aspect des bords de la zone de fracturation ainsi que les appositions périostées qui y sont associées, témoignant d'une cicatrisation active, indiquent une fracture intervenue avant le décès de l'animal.

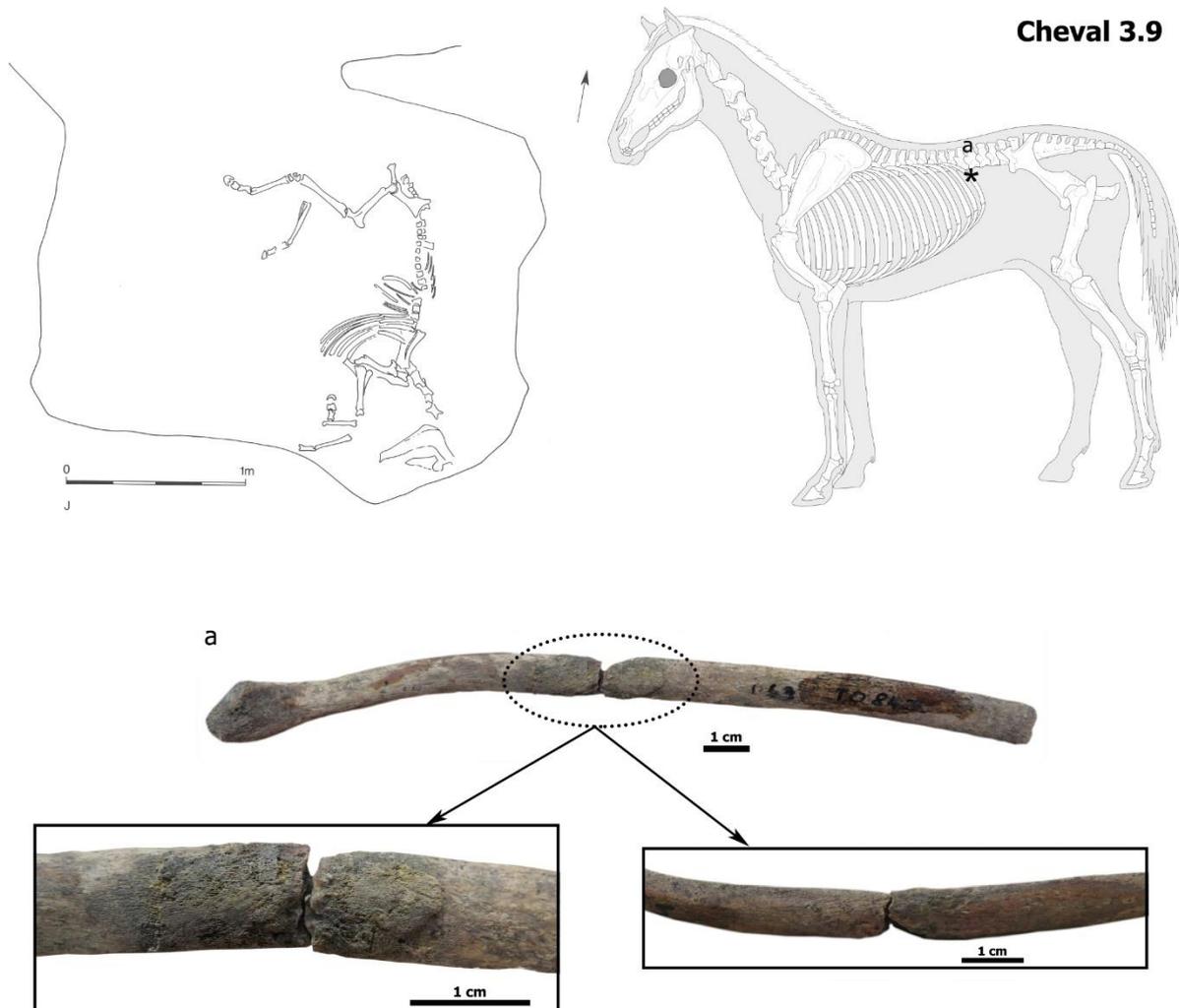


Figure 135 : Cheval 3.9 - Localisation des pathologies osseuses (*) et plan de fosse (Brulet, 1991).
a : Fracture non consolidée du corps de la côte + réactions périostées (18^{ème} côte droite, vue viscérale).
Détail de la zone de fracture dans les encadrés : vue viscérale à gauche, vue latérale à droite).

j. Cheval 3.10 (figure 136).

Le cheval 3.10 repose à proximité de la paroi ouest de la fosse. Il a été déposé sur son flanc gauche dans une orientation sud-nord, le crâne semblant débordé au sud de la fosse. Le membre thoracique droit présente une flexion légère du coude (articulation huméro-radiale) et

est orienté vers le sud-ouest. Aucune indication n'est disponible pour le membre antérieur gauche. Les membres postérieurs sont étendus vers l'est.

La mandibule est le seul élément représentant la tête osseuse de l'animal. De nombreuses dents sont absentes. La colonne vertébrale se compose de 6 cervicales, 7 thoraciques, des lombaires ainsi que du sacrum. Bien que fragmentées et plus ou moins complètes, l'ensemble des côtes est présent. Les membres antérieurs sont ici composés des scapulas, humérus, radio-ulnas, métacarpiens III ainsi que d'une phalange distale de position indéterminée. Les membres postérieurs comprennent la majeure partie des éléments les composant.

Ce mâle était âgé d'environ 10 ans au moment de sa mort. Il mesurait 139 cm au garrot pour une masse corporelle de 376 kg.

La face occlusale de la P₂ droite est le siège d'une **usure en biseau** de quelques millimètres (figure 136a). Une autre **usure anormale** a été identifiée sur la M₁ droite. Celle-ci se présente sous forme d'une encoche localisée dans la moitié linguale de la face occlusale de la dent. Le ciment périphérique des dents jugales inférieures droites (P₃-M₃) est érodé. Cette lyse du ciment, aussi nommée **carie périphérique**, est étendue de la P₃ à la M₃ en vue vestibulaire (avec une atteinte plus importante des P₄ et M₂) et sur la face linguale des deux dernières molaires (figure 136a). L'absence des autres dents empêche d'évaluer l'étendue et la sévérité de ces lésions dans la cavité buccale.

La colonne vertébrale expose des lésions osseuses légères.

Des **arthroses** ont été identifiées au niveau des facettes costales de la 7^{ème} vertèbre cervicale : leur bord est le siège d'une ostéophytose légère les déformant. Les surfaces articulaires semblent en revanche saines et exemptes de lésion (figure 136b).

Les vertèbres lombaires portent les traces d'une **spondylose** légère. Cette dernière est identifiable par une déformation légère des bords des surfaces articulaires des corps vertébraux (figure 136c). Enfin, une **ossification du ligament inter-épineux** entre les vertèbres sacrées 3 et 4 a été relevée.

Pour le squelette appendiculaire, la seule altération relevée se situe au niveau du plateau tibial médial droit. Son bord médial se présente sous forme de lèvre irrégulière mais non saillante. Le reste de la surface articulaire est exempt d'atteinte. Ces modifications résultent d'une **arthrose** (figure 136).

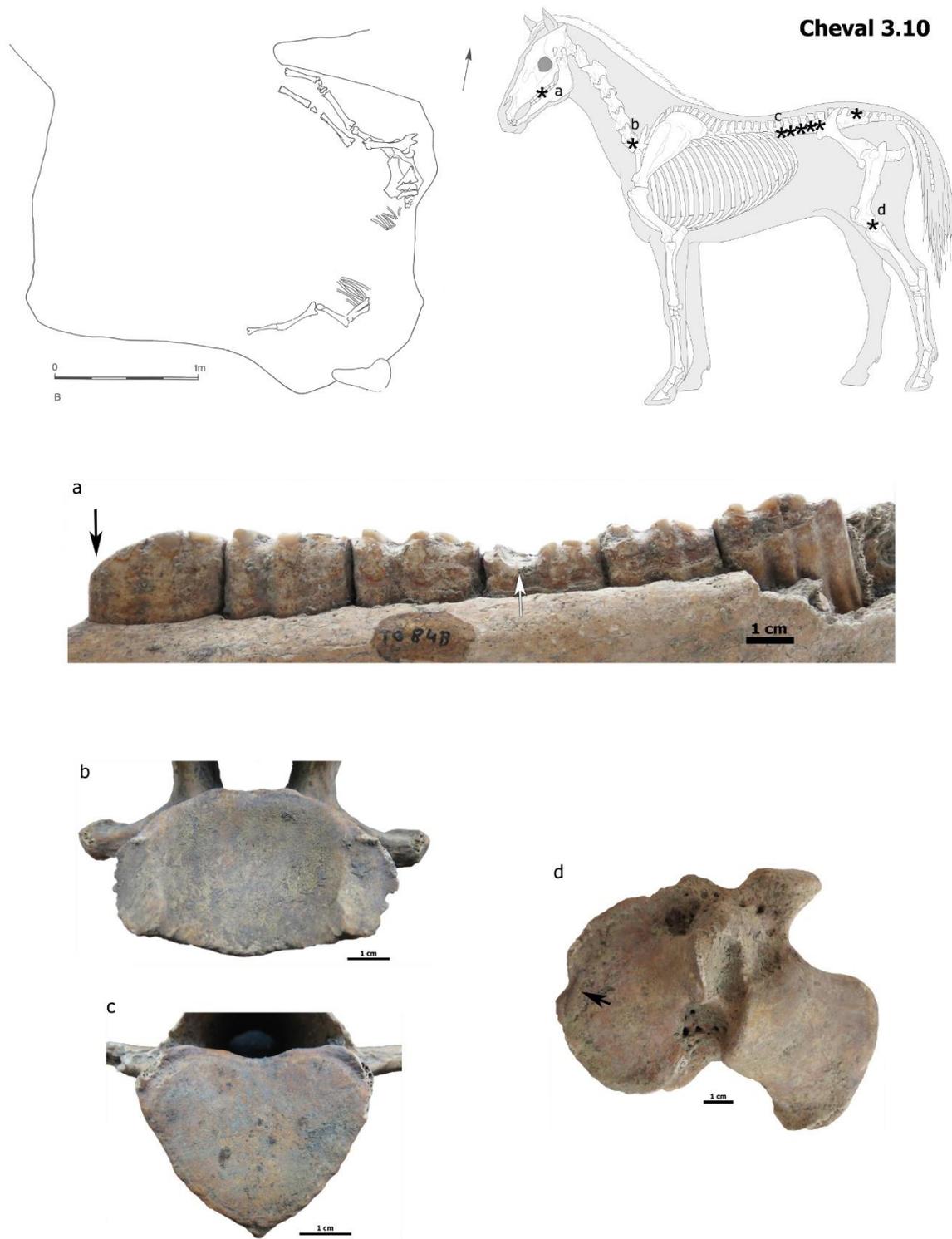


Figure 136 : Cheval 3.10 - Localisation des pathologies osseuses (*) et plan de fosse (Brulet, 1991).

- a : Rangée dentaire inférieure droite (vue linguale) :
 - Usure en biseau de la face occlusale de la P₂ (flèche noire);
 - Usure anormale sous forme d'encoche sur la face occlusale de la M₂ (flèche blanche) ;
 - Carie périphérique étendue sur les M₂ et M₃.
- b : Arthrose des facettes costales, bords articulaires porteurs d'ostéophytes (7^{ème} vertèbre cervicale, vue caudale) ;
- c : Spondylose (1^{ère} vertèbre lombaire, vue caudale) ;
- d : Arthrose du plateau tibial médial (flèche noire, tibia droit, vue proximale).

Résumé

Les chevaux découverts au quartier Saint-Brice de Tournai présentent les caractéristiques morphologiques des équidés mérovingiens. Leur hauteur au garrot moyenne s'élève à 140 cm. Il s'agit de plus de chevaux relativement fins. Cette population est majoritairement composée de mâles d'âge moyen compris entre 5 et 10 ans. Cette « représentation » populationnelle rappelle de nombreux cas d'inhumations de chevaux datés de la période mérovingienne en Europe (Baillif-Ducros & Yvinec, 2015; Müller-Wille & Vierck, 1972; Oexle, 1984).

Les premières analyses archéozoologiques ont rapporté que « les principales lésions sont de la spondylose et de la spondylarthrose [...] ainsi que des exostoses sur l'atlas » (Brulet, 1991 ; Gabriel et al., 1995). La gravité et l'étendue de ces lésions n'ont cependant pas été précisées. Ces observations croisées au contexte de découverte de ces animaux ont conduit les chercheurs à exclure l'hypothèse d'une mortalité liée à une épidémie favorisant ainsi l'idée d'une sélection puis d'une mise à mort à l'occasion des funérailles du roi Childéric I^{er} (Brulet, 1991). Cependant, les conditions de vie de ces chevaux, leur implication éventuelle dans les activités humaines n'ont pas été discutées.

Si notre étude paléopathologique approfondie ne contredit pas les conclusions émises dans les années 90, celle-ci fait état d'une variété plus importante d'anomalies osseuses et dentaires chez les chevaux de Tournai. Ces pathologies osseuses gagnent à être décrites et discutées afin de préciser la place et l'utilisation de ces chevaux par le groupe humain (cf. chapitres VIII, IX et X).

CHAPITRE VIII

OSTÉOBIOGRAPHIE DES CHEVAUX TOURNAISIENS

Étude des changements enthésiques

Au nombre de 21, les chevaux de Tournai constituent un échantillon restreint. De fait, une analyse statistique descriptive a, dans un premier temps, été privilégiée en calculant pour chaque enthèse les fréquences des stades de cotation, le mode ainsi que la médiane. À l'image de nos référentiels actuels (chapitres IV et V), les zones d'insertion fibrocartilagineuses et fibreuses ont été analysées séparément. Ces résultats sont présentés dans les tableaux 43 (insertions fibreuses) et 45 (insertions fibrocartilagineuses). On vérifie de même l'existence éventuelle d'une asymétrie dans le développement de changements enthésiques chez ces équidés : sont testées les positions gauche/droite, antérieure/postérieure (enthèses phalangiennes uniquement) et latérale/médiale (idem).

Dans les chapitres V et VI, l'origine multifactorielle des changements enthésiques chez les équidés a été démontrée. Nous avons vérifié si le paramètre « âge » est à l'œuvre chez les chevaux tournaisiens. Pour ce faire, deux classes d'âge ont été établies : l'une rassemble les chevaux âgés de 5 à 10 ans (spécimens 1.3, 2.4, 3.3 et 3.10), l'autre ceux dont l'âge est compris entre 11 et 15 ans (individus 1.1, 1.2, 3.1, 3.2 et 3.4). Les équidés de plus de 15 ans ne sont pas représentés dans cette analyse. Le cheval 1.5 étant le seul animal dont l'âge a été estimé à plus de 15 ans, ce dernier est exclu afin d'éviter un biais d'échantillonnage. Les tableaux 44 (pour les enthèses fibreuses) et 47 (pour les enthèses fibrocartilagineuses) montrent la répartition des stades de cotation pour chaque enthèse en fonction des catégories d'âge. Le test U de Mann-Whitney a été appliqué pour identifier d'éventuelles différences significatives entre ces dernières ($p < 0,05$; pour plus de détails, voir chapitre IV). Les résultats détaillés sont présentés dans l'annexe 23.

L'objectif est ensuite de déterminer si les chevaux de Tournai étaient oui ou non exploités par l'Homme comme montures ou animaux de trait. À cet effet, on compare ce groupe avec chacune des catégories « Sans activité », « Monte » et « Traction » composant les référentiels modernes établis dans la seconde partie de cette thèse en appliquant le test U de Mann-Whitney (détail des résultats dans les annexes 24, 25 et 26). Lorsque les conditions statistiques le permettent, ce test est complété d'une analyse par Mesure Moyenne des Divergences (ou MMD) visant à établir des proximités entre les groupes (cf. chapitre IV).

I. GÉNÉRALITÉS.

Les chevaux 2.1 et 2.2 n'apparaissent pas dans nos résultats. Ces derniers étant représentés uniquement par leur tête et quelques-unes de leurs vertèbres cervicales (chapitre VII, figures 117 et 118), la totalité des enthèses prises en compte par notre méthode de cotation manquent ce qui conduit, de fait, à l'exclusion de ces deux animaux.

De même, les poulains ne sont pas considérés, leur squelette étant immature.

Les tableaux 41 et 42 exposent la répartition des stades de cotation, toutes zones d'insertion confondues, pour chaque cheval de Tournai. En plus de présenter la distribution des stades A, B et C, la fréquence totale des enthèses considérées comme enregistrables est indiquée. Celle-ci est obtenue en divisant le nombre d'insertions cotées (stades A, B et C) par le nombre total d'insertions cotables attendues pour un individu (soit un total de 54 pour les insertions fibrocartilagineuses et de 18 pour les insertions fibreuses).

Les proportions d'enthèses fibrocartilagineuses cotables pour chaque équidé sont comprises entre 9,3% (cheval 1.6, n = 5) et 75,9% (cheval 3.2, n = 41) (tableau 41). Les chevaux 1.6, 1.7, 2.3 et 3.5 arborent moins de 20% d'enthèses cotables et font montre en revanche un nombre élevé d'enthèses absentes (notées ABS). Ces équidés sont très incomplets et ne sont représentés que par certaines portions de leur squelette (cf. chapitre VII) expliquant de fait la quantité importante de zones d'insertions manquantes pour ces spécimens. Au contraire, les individus 1.2, 3.1, 3.2 et 3.4 présentent plus de 60% d'insertions cotables en raison d'un squelette « plus complet » que les animaux présentés précédemment.

Les enthèses fibrocartilagineuses exemptes de modifications sont majoritaires et rassemblent plus de 70% des cotations chez 11 spécimens (cheval 1.3 : 81% d'enthèses cotées A contre 19%

d'attribution de stade B). Cette tendance est moins nette pour les chevaux 1.2, 1.4 et 3.4. On constate en effet que les fréquences d'enthèses saines sont relativement proches de celles des insertions modifiées pour ces spécimens. Les squelettes des chevaux 1.2 et 3.4 sont parmi les mieux représentés de cette collection bien qu'ils soient porteurs d'une quantité élevée d'enthèses non enregistrables ($n = 20$ pour le cheval 1.2 ; $n = 12$ pour le cheval 3.4 ; tableau 41). L'explication diffère pour le cheval 1.4 pour lequel 30 insertions ont été notées absentes notamment en raison de l'absence de ses membres antérieurs suite au creusement d'une tombe humaine (cf. chapitre VII).

Cheval	Enthèses cotables		Stade A		Stade B		Stade C		NE	ABS
	% (N_{cot}/N_{tot})	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>n</i>
1.1	50%	27	74,1%	20	18,5%	5	7,4%	2	14	13
1.2	61,1%	33	57,6%	19	42,4%	14	-	-	20	1
1.3	38,9%	21	81%	17	19%	4	-	-	12	21
1.4	37%	20	55%	11	40%	8	5%	1	4	30
1.5	42,6%	23	73,9%	17	17,4%	4	8,7%	2	7	24
1.6	9,3%	5	100%	5	-	-	-	-	1	48
1.7	16,7%	9	77,8%	7	22,2%	2	-	-	2	43
2.3	11,1%	6	100%	6	-	-	-	-	2	46
2.4	53,7%	29	75,9%	22	24,1%	7	-	-	1	24
3.1	72,2%	39	82,1%	32	17,9%	7	-	-	7	8
3.2	75,9%	41	87,8%	36	12,2%	5	-	-	10	3
3.3	57,4%	31	80,6%	25	19,4%	6	-	-	7	16
3.4	66,7%	36	55,6%	20	44,4%	16	-	-	12	6
3.5	16,7%	9	77,8%	7	11,1%	1	-	-	2	43
3.10	55,6%	30	63,3%	19	36,7%	11	-	-	5	19

Tableau 41 : Répartition des stades de cotation toutes enthèses fibrocartilagineuses confondues chez les chevaux de Tournai.

Les fréquences d'enthèses fibreuses enregistrables diffèrent d'un individu à un autre (tableau 42). Les chevaux 1.6, 1.7, 2.3 et 3.5 exposent un nombre réduit de zones d'insertion cotables (respectivement au nombre de 3, 6, 2 et 4) alors que leurs autres enthèses sont manquantes (ABS) en raison de leur squelette incomplet. Certains individus présentent une fréquence d'enthèses fibreuses cotables supérieures à 80% (chevaux 3.2 et 3.4). Contrairement aux enthèses fibrocartilagineuses, les changements enthésiques semblent plus fréquents pour les enthèses fibreuses (stades B et C, tableau 42). Chez les chevaux 1.2, 1.4, 3.1 et 3.4, les proportions de zones d'insertions fibreuses modifiées sont nettement supérieures à celles des

enthèses saines avec des valeurs variant de 60% (cheval 3.1 : 5 enthèses cotées B et 1 C contre 4 saines) à 80% (cheval 3.4, 10 insertions cotées B et 2 cotées C contre seulement 3 cotées A). En revanche, c'est le stade A qui a été le plus souvent attribué pour les chevaux 1.3, 1.5, 2.4, 3.2, 3.3 et 3.10, dont les fréquences varient entre 55,6% et 80%, indiquant par ce biais que les enthèses exemptes de modifications sont majoritaires chez ces animaux.

Cheval	Enthèses cotables		Stade A		Stade B		Stade C		NE	ABS
	% (N_{cot}/N_{tot})	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	<i>n</i>	<i>n</i>
1.1	66,7%	12	50%	6	25%	3	25%	3	-	6
1.2	66,7%	12	33,3%	4	66,7%	8	-	-	5	1
1.3	50%	9	55,6%	5	44,4%	4	-	-	4	5
1.4	44,4%	8	37,5%	3	62,5%	5	-	-	-	10
1.5	44,4%	8	75%	6	12,5%	1	12,5%	1	4	6
1.6	16,7%	3	100%	3	-	-	-	-	-	15
1.7	33,3%	6	16,7%	1	83,3%	5	-	-	-	12
2.3	11,1%	2	100%	2	-	-	-	-	-	16
2.4	55,6%	10	80%	8	20%	2	-	-	-	8
3.1	55,6%	10	40%	4	50%	5	10%	1	2	6
3.2	88,9%	16	75%	12	25%	4	-	-	2	-
3.3	100%	18	77,8%	14	22,2%	4	-	-	-	-
3.4	83,3%	15	20%	3	66,7%	10	13,3%	2	3	-
3.5	22,2%	4	75%	3	25%	1	-	-	-	14
3.10	50%	9	77,8%	7	22,2%	2	-	-	-	9

Tableau 42 : Répartition des stades de cotation toutes enthèses fibreuses confondues chez les chevaux de Tournai.

La représentation squelettique ainsi que les processus taphonomiques peuvent avoir un impact non négligeable lors de l'étude des changements enthésiques. Un mauvais état de conservation ainsi qu'une mauvaise représentation squelettique diminuent logiquement les chances de pouvoir enregistrer un nombre suffisant d'enthèses pour interpréter au mieux les tendances observées dans une population donnée. Ainsi, le choix est fait de réduire l'échantillon tournaisien à 11 chevaux en excluant les individus 1.6, 1.7, 2.3 et 3.5 dont les squelettes sont très incomplets et qui présentent très peu d'enthèses cotables.

II. ENTHÈSES FIBREUSES (stades A, B et C).

1. Observations générales.

La figure 137 montre que les enthèses fibreuses exemptes de modification constituent la majorité de l'échantillon étudié avec une fréquence de 56,7% des enthèses cotées (soit $n = 72$, stade A). La fréquence d'altérations moyennes est moindre en s'élevant à 37,8% des insertions fibreuses enregistrées (stade B, $n = 48$). Le stade C demeure nettement minoritaire en rassemblant seulement 5,5% de l'échantillon ($n = 7$).

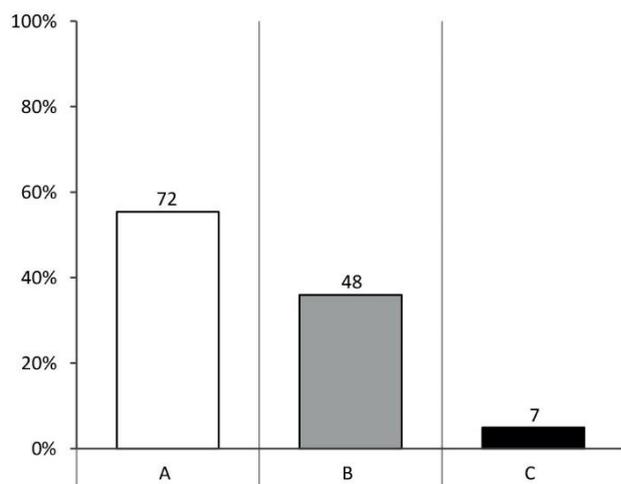


Figure 137 : Tournai, enthèses fibreuses - Répartition des stades A, B et C.

Enthèses	n	Stade A		Stade B		Stade C		Mode	Médiane
		%	n	%	n	%	n		
HDE G	8	75%	6	25%	2	-	-	A	A
HDE D	6	100%	6	-	-	-	-	A	A
HRD G	10	100%	11	-	-	-	-	A	A
HRD D	10	80%	8	20%	2	-	-	A	A
P ₁ SDa G	6	66,7%	4	16,7%	1	16,7%	1	A	A
P ₁ SDa D	5	80%	4	20%	1	-	-	A	A
P ₁ PMa lat G	8	12,5%	1	50%	4	37,5%	3	B	B
P ₁ PMa méd G	6	-	-	100%	6	-	-	B	B
P ₁ PMa lat D	6	33,3%	2	66,7%	4	-	-	B	B
P ₁ PMa méd D	4	50%	2	50%	2	-	-	A/B	A/B
FFS G	9	66,7%	6	33,3%	3			A	A
FFS D	9	55,6%	5	44,4%	4			A	A
P ₁ SDp G	7	57,1%	4	28,6%	2	14,3%	1	A	A
P ₁ SDp D	6	66,7%	4	33,3%	2	-	-	A	A
P ₁ PMp lat G	8	37,5%	3	50%	4	12,5%	1	B	B
P ₁ PMp méd G	7	42,9%	3	42,9%	3	14,3%	1	A/B	B
P ₁ PMp lat D	6	33,3%	2	66,7%	4	-	-	B	B
P ₁ PMp méd D	6	33,3%	2	66,7%	4	-	-	B	B

Tableau 43 : Tournai, enthèses fibreuses - Distribution des stades de cotation, mode et médiane pour chaque insertion.

La répartition des stades de cotation pour chaque enthèse fibreuse est présentée dans le tableau 43. Les insertions de l'humérus (HDE ; HRD), du fémur (FFS) ainsi que du ligament sésamoïdien distal sur les phalanges proximales (P₁SDa, P₁SDp) exposent peu de modifications enthésiques, le stade A étant majoritaire par rapport aux stades B et C. On constate de plus que les insertions humérales du *M. deltoideus* droit (HDE D) et des *Mm. teres major/latissimus dorsi* gauches (HRD G) n'exposent aucune altération.

Comme en témoignent les résultats obtenus pour le mode et la médiane, les enthèses moyennement altérées (stade B) sont majoritaires au niveau de l'insertion du ligament palmaire/plantaire sur les phalanges proximales aussi bien antérieures (P₁PMa) que postérieures (P₁PMp). Le ligament palmaire médial droit (P₁PMa méd D) fait cependant exception en affichant autant d'enthèses altérées (2 stades B) que d'enthèses exemptes de modification (2 stades A) alors que le stade A est sous-représenté pour les autres ligaments palmaires antérieurs (P₁PMa lat) voire inexistant (P₁PMa méd G, 7 enthèses cotées B).

Une faible proportion d'enthèses fibreuses fortement modifiées a été enregistrée sur les phalanges gauches des chevaux de Tournai (n = 7 stades C, figure 137). Ces dernières sont au nombre de quatre en position antérieure (P₁SDa G, n = 1 ; P₁PMa lat G, n = 3) et de trois en position postérieure (P₁SDp G, n = 1 ; P₁PMp lat G, n = 1 ; P₁PMp méd G, n = 1).

2. Analyse de l'asymétrie.

La distribution des stades de cotation diffère peu selon la position des enthèses fibreuses (figure 138).

Une légère asymétrie en faveur du côté gauche est observable chez les chevaux de Tournai (figure 138a). Seuls des changements enthésiques moyens ont été relevés au niveau du côté droit (n = 23) alors que le côté gauche affiche aussi bien des modifications moyennes (n = 25) qu'importantes (n = 7). En revanche, cette asymétrie n'est pas observable pour chaque zone d'insertion fibreuse. Seule l'insertion médiale du ligament palmaire semble faire montre d'une asymétrie : les 6 enthèses gauches ont été considérées comme altérées (P₁PMa méd G, tableau 43) alors que la répartition entre enthèses saines et altérées est équivalente à droite (P₁PMa méd D, 2 stades A et 2 stades B).

Bien que la différence soit peu marquée, les phalanges antérieures se démarquent des phalanges postérieures en affichant moins d'enthèses exemptes de modifications (soit 13 scores

A en antérieur contre 18 en position postérieure) (figure 138b). Ce sont notamment au niveau des ligaments palmaires/plantaires gauches (P₁PMa G ; P₁PMp G) que se distinguent les positions antérieure et postérieure. La presque totalité des enthèses antérieures affichent des changements enthésiques : parmi les 14 enthèses médiales et latérales observées, seul un stade A a été enregistré. En revanche, le ligament postérieur (P₁PMp G) a enregistré un nombre plus important d'insertions saines (tableau 43) : on dénombre un total de 6 stades A parmi les 15 qui ont été enregistrés (soit 3 stades A pour le ligament latéral, 3 stades A pour le ligament médial).

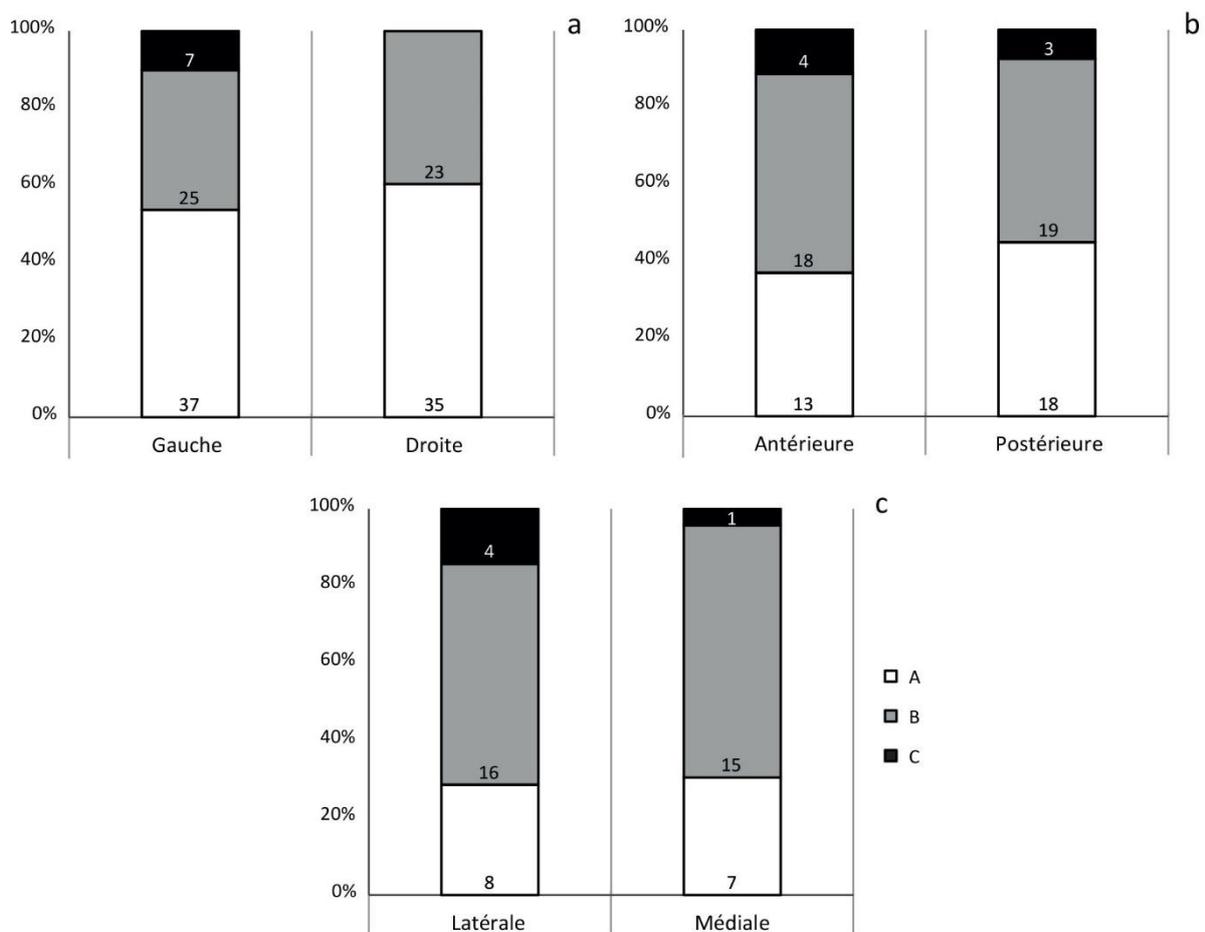


Figure 138 : Tournai, enthèses fibreuses - Analyse de l'asymétrie.

- a - Asymétrie Gauche/Droite.
- b - Asymétrie Antérieure/Postérieure.
- c - Asymétrie Latérale/Postérieure.

De même, les enthèses phalangiennes latérales et médiales ne diffèrent seulement que pour les modifications importantes (stade C, figure 138c). Avec un écart de trois enregistrements, l'asymétrie, légère, est en faveur de la position latérale avec 4 enthèses fortement remodelée contre 1 seule en position médiale. Le tableau 43 montre que ce « déséquilibre » n'est pas généralisable à l'ensemble des enthèses fibreuses des phalanges et se

limite au ligament palmaire gauche (P₁PMa lat et méd G). Contrairement au ligament médial pour lequel toutes les enthèses sont le siège de changements moyens (P₁PMa méd, 6 stades B), le ligament latéral arbore presque autant d'insertions moyennement (P₁PMa lat, 4 stades B) que fortement (3 stades C) altérées montrant ainsi que ce dernier est porteur d'atteintes plus sévères qu'en médial.

3. Influence de l'âge au décès.

On constate une nette augmentation du taux d'enthèses fibreuses altérées chez les chevaux âgés de 11 à 15 ans (figure 139). Alors que les animaux de moins de 10 ans affichent 26,1% de modifications (soit 12 stades B), cette fréquence s'élève à 55,4% pour les équidés plus âgés (soit 30 enthèses cotées B et 6 cotées C). Les quelques insertions fortement remodelées ont toutes été enregistrées dans la catégorie des 11-15 ans (score C, n = 6).

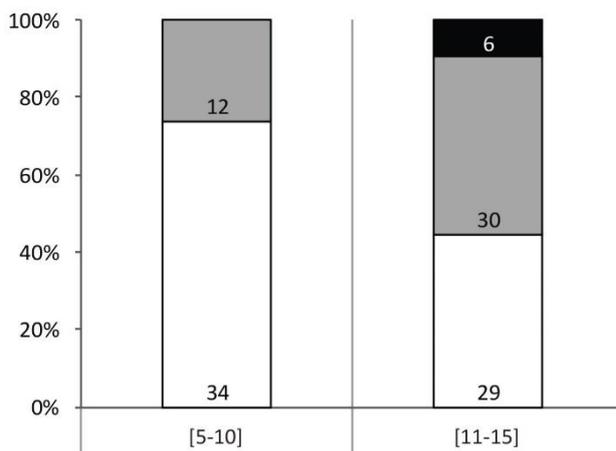


Figure 139 : Tournai, enthèses fibreuses - Répartition des stades A, B et C en fonction des différentes classes d'âge.

Individuellement, il est difficile de déterminer les enthèses fibreuses pour lesquelles l'apparition de modifications est impactée par l'âge au décès. Aucune insertion ne révèle de différence significative dans la répartition des stades de cotation entre les deux classes d'âge. En effet, les p-valeurs obtenues après application du test U de Mann-Whitney sont comprises entre 0,07 (insertion du *M. flexor digitorum superficialis* sur le fémur droit, FFS D) et 1 (par exemple, *M. deltoideus* gauche, HDE G) (tableau 44). Si différence il y a, celle-ci ne dépasse pas le nombre de 4 enthèses : par exemple, le muscle *flexor digitorum superficialis* droit regroupe 4 enthèses moyennement modifiées (score B) chez les chevaux âgés de 11 à 15 ans alors qu'elles sont absentes chez les équidés plus jeunes.

Pour les enthèses fibreuses des chevaux tournaisiens, les résultats indiquent une potentielle implication de l'âge au décès dans la formation des changements enthésiques, la fréquence totale d'enthèses modifiées étant plus importante chez les spécimens de plus de 10 ans (figure 139). En revanche, la petite taille des échantillons ne permet pas d'observer ce phénomène à l'échelle des enthèses individuelles.

	[5-10] (n = 4)			[11-15] (n = 5)			p-valeur
	Stade A	Stade B	Stade C	Stade A	Stade B	Stade C	
HDE G	3	1	-	3	1	-	1
HDE D	3	-	-	3	-	-	1
HRD G	4	-	-	3	2	-	1
HRD D	4	-	-	3	2	-	0,18
P₁SDa G	2	1	-	1	-	1	0,52
P₁SDa D	2	-	-	1	1	-	0,32
P₁PMa lat G	1	2	-	-	2	2	0,43
P₁PMa méd G	-	3	-	-	3	-	1
P₁PMa lat D	1	1	-	1	2	-	0,74
P₁PMa méd D	1	1	-	1	1	-	1
FFS G	2	-		2	3		0,18
FFS D	2	-		1	4		0,07
P₁SDp G	2	1	-	2	-	1	0,2
P₁SDp D	1	-	-	2	2	-	1
P₁PMp lat G	2	1	-	1	2	1	0,25
P₁PMp méd G	2	1	-	1	1	1	0,35
P₁PMp lat D	1	-	-	3	1	-	1
P₁PMp méd D	1	-	-	3	1	-	1

Tableau 44 : Tournai, enthèses fibreuses - Distribution des stades de cotation en fonction des différentes classes d'âge et p-valeurs associées pour chaque enthèse (test U de Mann-Whitney).

4. Comparaison avec les équidés actuels (catégories « Sans activité », « Monte », « Traction »).

Les chevaux de Tournai se distinguent nettement du groupe « Traction » en affichant une fréquence de changements enthésiques moindre. Ceux-ci portent un total de 43,3% d'enthèses modifiées (37,8% de stades B ; 5,5% de stades C) contre 60,2% pour les spécimens utilisés dans le cadre de travaux de traction (soit 39,7% de stades B et 20,5% de stades C) (figure 140). Malgré un taux d'enthèses fortement altérées deux fois moins important, les observations tendent à rapprocher les chevaux tournaisiens de la catégorie « Sans activité » (10% de scores C contre 5,5% pour les spécimens archéologiques, figure 140).

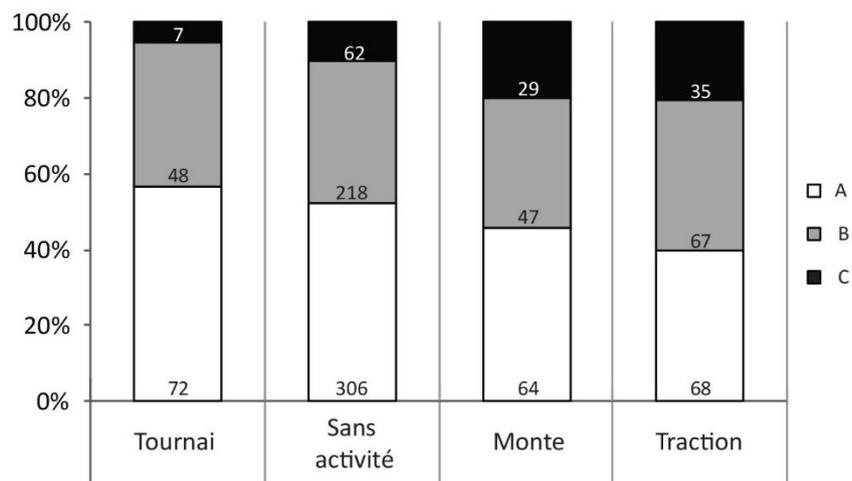


Figure 140 : Tournai, enthèses fibreuses - Répartition des stades de cotation pour chaque catégorie d'équidés.

Enthèses	<i>N enthèses cotées</i>				p-valeur		
	<i>Tournai</i>	<i>Sans activité</i>	<i>Monte</i>	<i>Traction</i>	Tournai - Sans activité	Tournai - Monte	Tournai - Traction
HDE G	8	34	8	9	0,67	0,54	0,72
HDE D	6	33	8	9	0,55	0,39	0,23
HRD G	10	34	7	10	0,054*	0,46	0,03
HRD D	10	33	7	10	0,34	0,69	0,03
P₁SDa G	6	32	8	9	0,5	0,94	0,37
P₁SDa D	5	33	8	10	0,1	0,3	0,61
P₁PMa lat G	8	32	8	9	0,93	0,26	0,71
P₁PMa méd G	6	32	8	9	0,79	0,048	0,1
P₁PMa lat D	6	33	8	10	0,77	0,27	0,64
P₁PMa méd D	4	33	8	10	0,63	0,86	0,88
FFS G	9	31	8	9	0,95	0,24	0,17
FFS D	9	31	8	8	0,29	0,78	0,82
P₁SDp G	7	32	7	10	0,26	0,23	0,6
P₁SDp D	6	33	8	10	0,32	0,87	0,89
P₁PMp lat G	8	32	7	10	0,56	0,49	0,74
P₁PMp méd G	7	32	8	10	0,38	0,32	0,44
P₁PMp lat D	6	33	8	10	0,11	0,76	0,19
P₁PMp méd D	6	33	8	10	0,79	0,03	0,16

Tableau 45 : Tournai, enthèses fibreuses - Comparaison avec les référentiels actuels par application du test U de Mann-Whitney.

Les différences significatives sont indiquées en **gras** ($p < 0,05$).

(*) indique les différences proches de la significativité ($0,05 \leq p < 0,06$).

Les chevaux de Tournai ont été comparés avec les catégories « Sans activité », « Monte » et « Traction » via l'application du test U de Mann-Whitney. Les p-valeurs obtenues sont rapportées dans le tableau 45. Les annexes 24, 25 et 26 présentent les résultats détaillés de ces analyses.

Les enthèses associées à des p-valeurs significatives et leur nombre diffèrent selon le groupe auquel sont comparés les chevaux tournaisiens.

Aucune différence statistiquement significative n'a été mise en évidence entre les chevaux de Tournai et les équidés exempts d'activité. Notons tout de même que l'insertion commune des *Mm. teres major/latissimus dorsi* sur l'humérus gauche (HRD G) expose une p-valeur égale à 0,054 indiquant une différence proche de la significativité entre ces deux groupes.

Les comparaisons de l'ensemble mérovingien avec les chevaux de monte d'une part et les équidés employés dans les activités de traction d'autre part ont révélé chacune des différences statistiquement significatives au niveau de deux enthèses.

L'insertion commune des *Mm. teres major/latissimus dorsi* sur les humérus gauche et droit (HRD G et D, $p \approx 0,03$, test U de Mann-Whitney) affichent des différences statistiquement significatives entre le groupe « Traction » et les chevaux de Tournai. C'est au niveau des insertions phalangiennes que ces derniers se distinguent des chevaux de monte via les enthèses des ligaments palmaire médial gauche (P₁PMa méd G, $p \approx 0,048$) et plantaire médial droit (P₁PMp méd D, $p \approx 0,03$).

Si l'on s'intéresse au nombre d'enthèses fibreuses associées à une p-valeur inférieure à 0,05 (test U de Mann-Whitney), une proximité des chevaux tournaisiens avec les chevaux non-utilisés par l'Homme semble se confirmer. En effet, aucune insertion n'a révélé de différence statistiquement significative entre ces deux groupes.

En raison du nombre réduit d'enthèses fibreuses considérées par notre méthode de cotation, notre raisonnement ne peut être appuyé avec un calcul des Mesures Moyennes des Divergences (ou MMD, cf. chapitres IV et V).

III. ENTHÈSES FIBROCARTELAGINEUSES (stades A, B et C).

1. Observations générales.

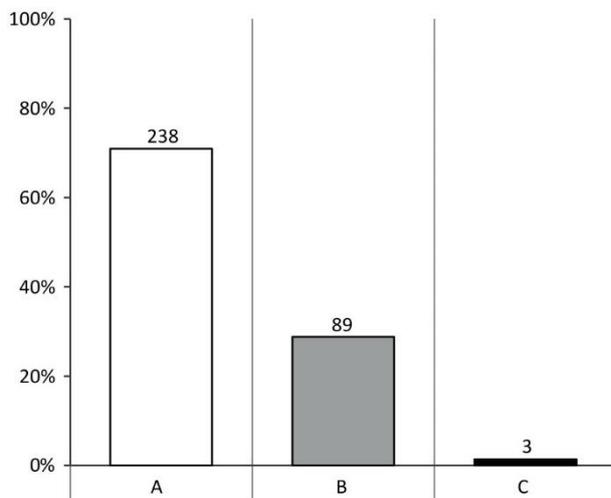


Figure 141 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses - Répartition des stades A, B et C.

La figure 141 fait état de 330 enthèses fibrocartilagineuses auxquelles les scores A, B ou C ont été attribués. Les insertions exemptes de modification sont majoritaires et regroupent 72,1% des cas (soit 238 stades A, figure 141). Des changements enthésiques ont été observés à de rares occasions. Les atteintes moyennes représentent 27% du total de l'échantillon (stade B, n = 89) alors que les altérations importantes sont sous-représentées avec seulement 3 stades C enregistrés (0,9%).

La distribution des stades de notation pour chaque enthèse est présentée dans le tableau 46. L'effectif total enregistré pour chacune varie de 2 (*e.g.* terminaison du *M. gluteus profundus* sur le fémur gauche, FFEP G) à 10 (*e.g.* *M. infraspinatus* sur la crête du tubercule majeur de l'humérus gauche, HIE G). Les calculs du mode et de la médiane indiquent que le stade A est le plus souvent attribué pour la majeure partie des enthèses. Les insertions du ligament collatéral sur l'humérus (HCL), des origines des ligaments collatéraux médial gauche et latéral droit sur les phalanges proximales antérieures (P₁CLa méd G, P₁CLa lat D), du *M. gluteus accessorius* sur le fémur droit (FFA D), du ligament patellaire latéral sur le tibia (TPL) ainsi que du ligament collatéral médial sur la phalange distale droite (P₃CLp méd D) ne font montre d'aucune altération chez les chevaux de Tournai.

Enthèses	<i>n</i>	Stade A		Stade B		Stade C		Mode	Médiane
		%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>		
SBB G	9	44,4%	4	55,6%	5	-	-	B	B
SBB D	6	66,7%	4	33,3%	2	-	-	A	A
RBB G	8	62,5%	5	37,5%	3	-	-	A	A
RBB D	8	62,5%	5	37,5%	3	-	-	A	A
HSC G	6	33,3%	2	66,7%	4	-	-	B	B
HSC D	8	50%	4	50%	4	-	-	A/B	A/B
HIE G	10	80%	8	20%	2	-	-	A	A
HIE D	8	75%	6	25%	2	-	-	A	A
HIEc G	6	50%	3	50%	3			A/B	A/B
HIEc D	7	71,4%	5	28,6%	2			A	A
HCL G	6	100%	6	-	-	-	-	A	A
HCL D	8	100%	8	-	-	-	-	A	A
HFD G	9	66,7%	6	33,3%	3	-	-	A	A
HFD D	10	80%	8	20%	2	-	-	A	A
HUL G	8	87,5%	7	12,5%	1	-	-	A	A
HUL D	8	87,5%	7	12,5%	1	-	-	A	A
UTB G	9	88,9%	8	11,1%	1			A	A
UTB D	9	77,8%	7	22,2%	2			A	A
P₁CLa lat G	8	75%	6	25%	2	-	-	A	A
P₁CLa méd G	6	100%	6	-	-	-	-	A	A
P₁CLa lat D	6	100%	6	-	-	-	-	A	A
P₁CLa méd D	4	75%	3	25%	1	-	-	A	A
P₂CLa lat G	3	33,3%	1	66,7%	2	-	-	B	B
P₂CLa méd G	3	66,7%	2	33,3%	1	-	-	A	A
P₂CLa lat D	5	60%	3	40%	2	-	-	A	A
P₂CLa méd D	4	50%	2	50%	2	-	-	A/B	A/B
P₃CLa lat G	4	50%	2	50%	2	-	-	A/B	A/B
P₃CLa méd G	5	40%	2	60%	3	-	-	B	B
P₃CLa lat D	4	75%	3	25%	1	-	-	A	A
P₃CLa méd D	3	66,7%	2	33,3%	1	-	-	A	A

Tableau 46 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses (1/2) - Distribution des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse.

Enthèses	n	Stade A		Stade B		Stade C		Mode	Médiane
		%	n	%	n	%	n		
CFEP G	7	57,1%	4	28,6%	2	14,3%	1	A	A
CFEP D	8	62,5%	5	37,5%	3	-	-	A	A
FFEP G	2	50%	1	50%	1	-	-	A/B	A/B
FFEP D	3	66,7%	2	33,3%	1	-	-	A	A
FFA G	3	66,7%	2	33,3%	1	-	-	A	A
FFA D	4	100%	4	-	-	-	-	A	A
FIP G	7	71,4%	5	28,6%	2	-	-	A	A
FIP D	5	80%	4	20%	1	-	-	A	A
FGC G	9	88,9%	8	11,1%	1	-	-	A	A
FGC D	7	85,7%	6	14,3%	1	-	-	A	A
TPL G	7	100%	7	-	-	-	-	A	A
TPL D	8	100%	8	-	-	-	-	A	A
P₁CLp lat G	6	66,7%	4	16,7%	1	16,7%	1	A	A
P₁CLp méd G	8	87,5%	7	-	-	12,5%	1	A	A
P₁CLp lat D	6	83,3%	5	16,7%	1	-	-	A	A
P₁CLp méd D	7	71,4%	5	28,6%	2	-	-	A	A
P₂CLp lat G	4	25%	1	75%	3	-	-	B	B
P₂CLp méd G	6	66,7%	4	33,3%	2	-	-	A	A
P₂CLp lat D	4	25%	1	75%	3	-	-	B	B
P₂CLp méd D	4	50%	2	50%	2	-	-	A/B	A/B
P₃CLp lat G	4	75%	3	25%	1	-	-	A	A
P₃CLp méd G	5	40%	2	60%	3	-	-	B	B
P₃CLp lat D	2	50%	1	50%	1	-	-	A/B	A/B
P₃CLp méd D	2	100%	2	-	-	-	-	A	A

Tableau 46 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses (2/2) - Distribution des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse.

Pour quelques enthèses, les observations ont conduit à l'enregistrement d'un nombre plus important d'insertions à surface altérée (mode et médiane renvoyant le stade B). Au niveau du membre thoracique, cette répartition des stades de cotation est observable pour l'origine du *M. biceps brachii* gauche sur la scapula (SBB G avec 5 stades B contre 4 stades A), la terminaison du *M. subscapularis* sur l'humérus gauche (HSC G: 4 stades B, 2 stades A), le ligament collatéral latéral gauche sur la deuxième phalange antérieure (P₂CLa lat G : 2 stades B, 1 A) et le ligament collatéral médial sur la phalange distale antérieure gauche (P₃CLa méd G : 2 stades A, 3 B). Pour le membre postérieur, on constate une distribution équivalente pour trois insertions phalangiennes : l'origine du ligament collatéral latéral sur les phalanges intermédiaires gauche (P₂CLp lat G) et droite (P₂CLp lat D), qui regroupent 3 stades B contre 1 seul stade A, ainsi que l'insertion du ligament collatéral médial gauche sur la phalange distale

(P₃CLp méd G) pour laquelle 3 insertions ont été considérées comme modifiées (stade B) sur les cinq observées chez les chevaux tournaisiens.

Notons enfin que les zones d'insertion fortement altérées sont très peu nombreuses chez les chevaux de Tournai (n = 3 soit 0,9% de stades C, figure 141) et sont toutes localisées sur les membres postérieurs (tableau 46). Un stade C a été enregistré pour l'origine du *M. gluteus profundus* gauche (CFEP G) ainsi que les insertions des ligaments collatéraux latéral et médial sur la phalange proximale postérieure gauche (P₁CLp méd et lat G).

2. Analyse de l'asymétrie.

Tout comme pour les enthèses fibreuses, il existe peu de différences dans la répartition des stades de cotation en fonction de la position des enthèses (figure 142).

On note une légère asymétrie en faveur du côté gauche (figure 142a). Ce dernier rassemble 30,5% d'enthèses modifiées (n = 49 stades B, n = 3 stades C) alors que leur proportion s'élève à 25,2% pour le côté droit (n = 40 stades B). En revanche, ce déséquilibre se limite aux insertions des *M. biceps brachii* sur la scapula (SBB), *M. subscapularis* sur l'humérus (HSC) et *M. infraspinatus* sur la convexité du tubercule majeur de l'humérus (HIEc) (tableau 46). Pour chacune de ces enthèses, le nombre de zones d'insertion présentant des modifications est supérieur à celui des enthèses saines pour le côté gauche (*e.g.* SBB gauche, 5 enthèses cotées B et 4 cotées A) alors que cette répartition est inversée pour les enthèses droites (*e.g.* SBB droite, 4 stades A contre 2 B).

Les insertions phalangiennes postérieures arborent une fréquence de changements enthésiques légèrement supérieure à celle des enthèses phalangiennes antérieures (respectivement 36,2% et 30,9%) (figure 142b). Cette asymétrie est visible au niveau de l'origine du ligament collatéral latéral sur la phalange intermédiaire droite (P₂CLa et P₂CLp lat D). Avec seulement 2 stades B pour 3 stades A, l'insertion antérieure présente un taux de changements enthésiques moindre que celle localisée sur la phalange postérieure. En effet, les enthèses présentant des changements enthésiques y sont majoritaires avec 3 stades B contre 1 stade A uniquement (P₂CLp lat D, tableau 46) indiquant par ce biais que le ligament postérieur serait plus à même à développer des lésions.

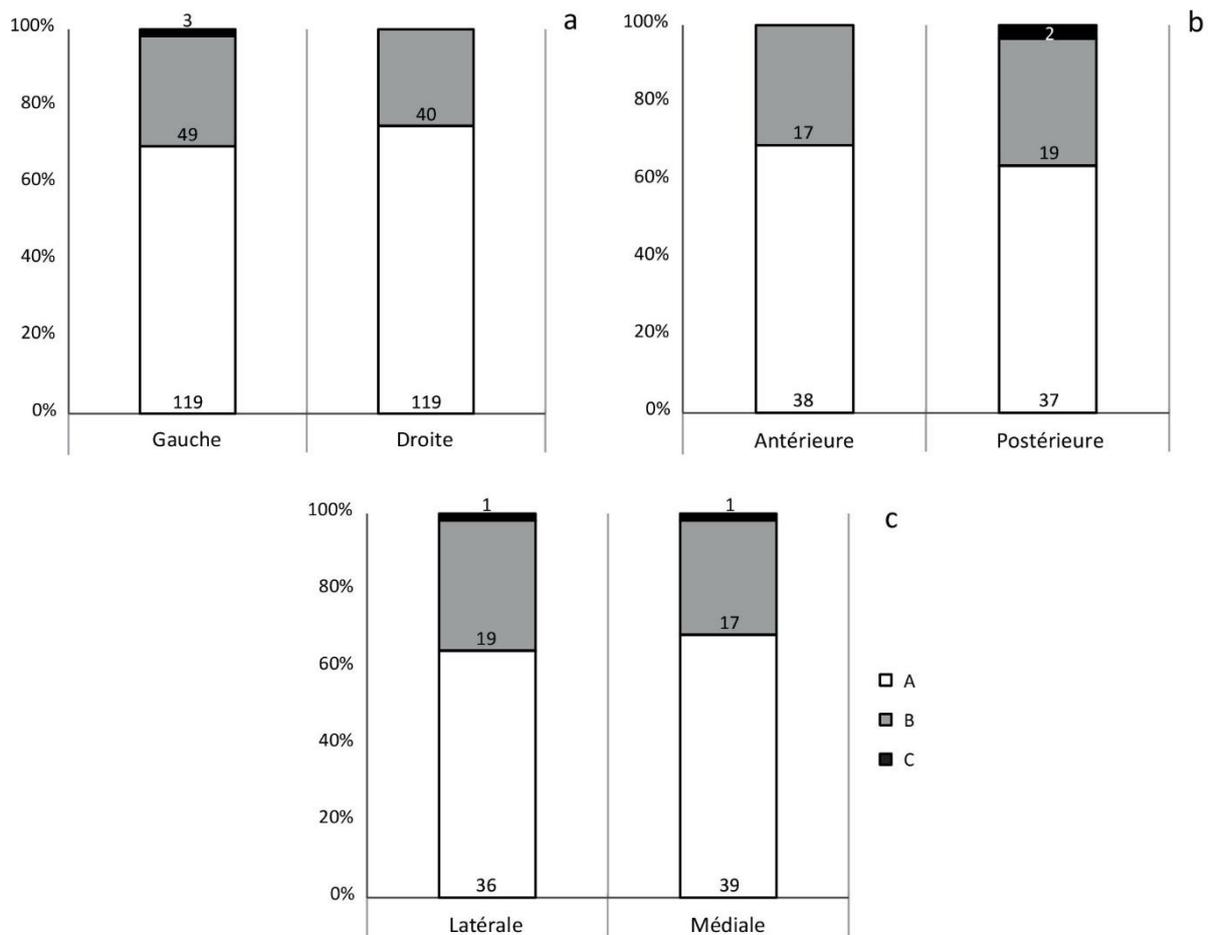


Figure 142 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses - Analyse de l'asymétrie.
a - Asymétrie Gauche/Droite.
b - Asymétrie Antérieure/Postérieure.
c - Asymétrie Latérale/Postérieure.

Enfin, on relève une légère asymétrie en faveur de la position latérale pour les enthèses phalangiennes (figure 142c). Cette tendance est observable au niveau des deuxièmes phalanges antérieure gauche (P_2CLa G) ainsi que postérieures gauche et droite (P_2CLp) pour lesquelles le nombre d'enthèses altérées est supérieur à celui des enthèses non modifiées (tableau 46). De manière plus isolée, on constate que le ligament collatéral gauche sur la phalange distale postérieure (P_3CLp) révèle une asymétrie en faveur de la position médiale : 3 enthèses enregistrées y ont été considérées comme altérées (P_3CLp méd G : 3 stades B contre 2 stades A) alors que cette distribution est inversée en position latérale, celle-ci affichant seulement un quart d'enthèses modifiées (P_3CLp lat G, 3 stades A, 1 stade B) (tableau 46).

3. Influence de l'âge au décès.

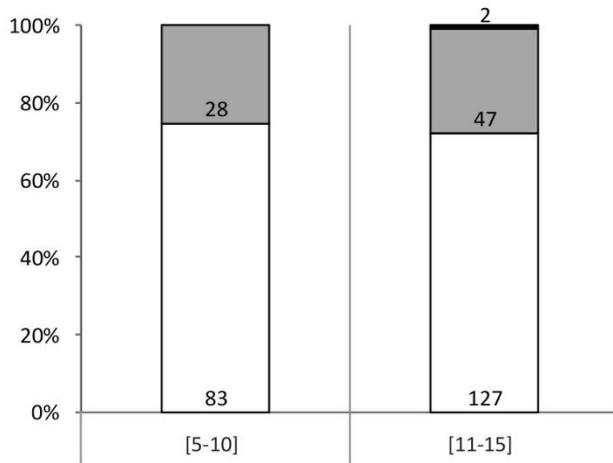


Figure 143 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses - Répartition des stades A, B et C en fonction des différentes classes d'âge.

La figure 143 montre que l'âge au décès n'impacte pas particulièrement l'apparition de modifications au niveau des enthèses fibrocartilagineuses chez les chevaux de Tournai. En effet, on note une légère hausse de la fréquence des changements enthésiques chez les chevaux âgés entre 11 et 15 ans avec 27,8% de stades B et C (n = 47 et 2 respectivement) alors que celle-ci s'élève à 25,2% dans la catégorie des 5-10 ans (n = 28 stades B).

Il n'y a pas de différence nette dans la répartition des stades de cotation en fonction de l'âge lorsque les enthèses sont considérées séparément (tableau 47). Si une différence est relevée, celle-ci ne dépasse pas le nombre de 3 enthèses cotées. D'après le test U de Mann-Whitney et malgré le faible nombre d'enthèses évaluées, seule la terminaison du *M. biceps brachii* gauche est associée à une p-valeur significative ($p \approx 0,04$, RBB G) : les chevaux de moins de 10 ans ont enregistré trois insertions modifiées (stade B) alors que ces dernières sont absentes chez les animaux âgés de 11 à 15 ans.

Contrairement aux enthèses fibreuses, l'âge au décès ne semble pas être un paramètre pouvant être à l'origine de modifications au niveau des enthèses fibrocartilagineuses chez les chevaux de Tournai. Cependant, compte-tenus des effectifs réduits de cette analyse, nos observations sont à considérer avec prudence.

	[5-10] (n = 4)			[11-15] (n = 5)			p-valeur
	Stade A	Stade B	Stade C	Stade A	Stade B	Stade C	
SBB G	2	2	-	2	2	-	1
SBB D	2	1	-	2	1	-	1
RBB G	1	3	-	4	-	-	0,04
RBB D	1	2	-	4	1	-	0,22
HSC G	1	2	-	1	2	-	1
HSC D	2	2	-	2	1	-	0,68
HIE G	2	2	-	5	-	-	0,09
HIE D	1	2	-	4	-	-	0,07
HIEc G	1	1		2	1		0,74
HIEc D	2	1		3	-		0,32
HFD G	3	-	-	2	3	-	0,11
HFD D	3	1	-	4	1	-	0,87
HUL G	4	-	-	3	1	-	0,32
HUL D	4	-	-	2	1	-	0,25
HCL G	4	-	-	4	-	-	1
HCL D	4	-	-	4	-	-	1
UTB G	4	-		3	1		0,32
UTB D	3	-		4	1		0,44
P₁CLa lat G	3	-	-	2	2	-	0,18
P₁CLa méd G	3	-	-	3	-	-	1
P₁CLa lat D	2	-	-	3	-	-	1
P₁CLa méd D	1	1	-	2	-	-	0,32
P₂CLa lat G	1	-	-	-	2	-	1
P₂CLa méd G	1	-	-	1	1	-	1
P₂CLa lat D	1	1	-	2	1	-	0,74
P₂CLa méd D	2	-	-	-	2	-	0,08
P₃CLa lat G	-	-	-	2	2	-	1
P₃CLa méd G	-	1	-	2	2	-	1
P₃CLa lat D	2	-	-	1	1	-	0,32
P₃CLa méd D	1	1	-	1	-	-	1

Tableau 47 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses (1/2) - Distribution des stades de cotation en fonction des différentes classes d'âge et p-valeurs associées pour chaque enthèse (test U de Mann-Whitney).

	[5-10] (n = 4)			[11-15] (n = 5)			p-valeur
	Stade A	Stade B	Stade C	Stade A	Stade B	Stade C	
CFEP G	1	1	-	2	1	-	0,74
CFEP D	1	1	-	3	1	-	0,58
FFEP G	-	1	-	1	-	-	1
FFEP D	-	-	-	1	1	-	1
FFA G	1	-	-	1	1	-	1
FFA D	1	-	-	1	-	-	1
FIP G	1	1	-	3	-	-	0,22
FIP D	-	-	-	3	-	-	1
FGC G	2	-	-	4	1	-	0,53
FGC D	1	-	-	3	1	-	1
TPL G	2	-	-	4	-	-	1
TPL D	2	-	-	5	-	-	1
P ₁ CLp lat G	2	-	-	2	-	1	0,41
P ₁ CLp méd G	3	-	-	3	-	1	0,39
P ₁ CLp lat D	1	-	-	3	1	-	1
P ₁ CLp méd D	2	-	-	2	2	-	0,26
P ₂ CLp lat G	1	-	-	-	2	-	1
P ₂ CLp méd G	1	-	-	3	1	-	1
P ₂ CLp lat D	-	-	-	1	2	-	1
P ₂ CLp méd D	-	-	-	2	1	-	1
P ₃ CLp lat G	-	-	-	3	-	-	1
P ₃ CLp méd G	-	1	-	1	2	-	1
P ₃ CLp lat D	-	-	-	1	1	-	1
P ₃ CLp méd D	-	-	-	1	-	-	1

Tableau 47 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses (2/2) - Distribution des stades de cotation en fonction des différentes classes d'âge et p-valeurs associées pour chaque enthèse (test U de Mann-Whitney).

4. Comparaison avec les équidés actuels (catégories « Sans activité », « Monte », « Traction »).

Les chevaux tournaisiens affichent une nette sous-représentation des modifications au niveau des enthèses fibrocartilagineuses avec environ un quart des enregistrements seulement (27,9% de stades B et C, figure 144). Au contraire des équidés modernes étudiés dans la seconde partie de cette thèse, il est important de noter la quasi-absence des atteintes sévères (0,9% de stade C) alors que celles-ci dépassent les 5% aussi bien chez les spécimens non-utilisés par l'Homme (4,9%, figure 144) que ceux impliqués dans des activités (7,9% pour les montures, 15,2% pour les animaux de trait).

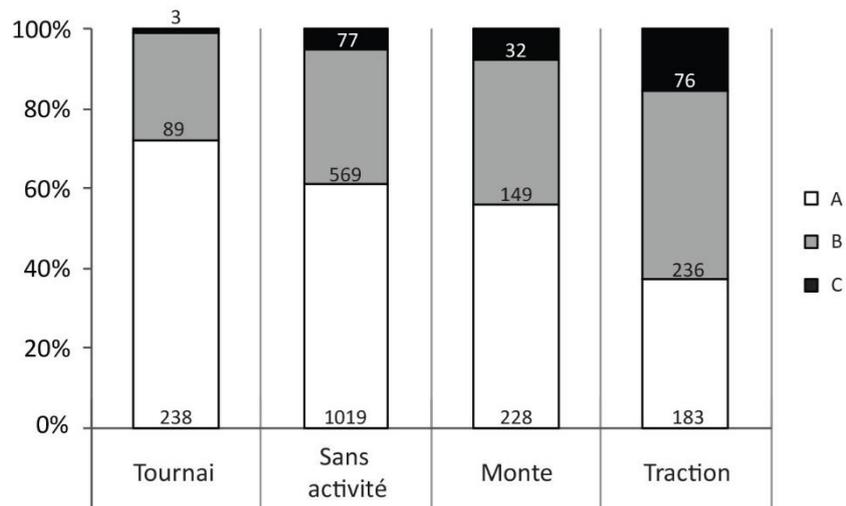


Figure 144 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses - Répartition des stades de cotation pour chaque catégorie d'équidés.

Les tendances générales observées ainsi que la distribution des stades de cotation pour chaque enthèse fibrocartilagineuse distinguent nettement les chevaux de Tournai des équidés utilisés dans des activités de traction. Ces derniers affichent en effet un taux d'enthèses altérées nettement plus important que celui des chevaux tournaisiens (notamment de stades C) quelle que soit la zone d'insertion considérée. Cette observation pourrait indiquer que les chevaux associés à Childéric I^{er} n'ont pas été employés comme animaux de trait.

Si la distribution générale des stades de cotation rapprocherait les chevaux tournaisiens des chevaux non utilisés par l'Homme, les tendances observées pour chaque enthèses montrent que le rapprochement des chevaux mérovingiens avec les catégories « Monte » ou « Sans activité » est bien plus complexe.

L'application du test U de Mann-Whitney indique que le nombre d'enthèses fibrocartilagineuses révélant des différences statistiquement significatives varient selon les paires testées ($p < 0,05$). Les résultats de cette analyse sont regroupés dans le tableau 48 et les détails présentés dans les annexes 24 à 26.

Les chevaux de Tournai montrent de nombreuses dissemblances avec les équidés utilisés dans le cadre d'activités de traction. En effet, ceux-ci diffèrent significativement au niveau de 11 enthèses fibrocartilagineuses ($p < 0,05$). Neuf d'entre elles sont portées par le membre thoracique : sont concernées les insertions des *M. ulnaris lateralis* (HUL G et D) et ligament collatéral latéral du coude sur l'humérus (HCL G et D) ainsi que certaines enthèses localisées sur les phalanges proximales (P₁CLa méd G, P₁CLa lat D), intermédiaires

(P₂CLa lat G) et distales (P₃CLa lat G et D). Pour le membre postérieur, des p-valeurs inférieures à 0,05 ont été calculées seulement pour les enthèses du *M. gluteus accessorius* sur le fémur droit (FFA D, p ≈ 0,008) et du ligament collatéral médial sur la phalange intermédiaire gauche (P₂CLp méd G, p ≈ 0,007).

Enthèses	N enthèses cotées				p-valeur		
	Tournai	Sans activité	Monte	Traction	Tournai - Sans activité	Tournai - Monte	Tournai - Traction
SBB G	9	33	8	9	0,28	0,42	0,09
SBB D	6	33	8	9	0,78	0,55	0,3
RBB G	8	30	8	10	0,27	0,86	0,36
RBB D	8	34	8	9	0,32	0,56	0,67
HSC G	6	34	6	9	0,31	0,09	0,6
HSC D	8	33	7	8	0,59	0,03	0,36
HIE G	10	33	8	9	0,78	0,19	0,91
HIE D	8	33	7	9	0,67	0,17	0,72
HIEc G	6	32	8	8	0,22	0,35	0,65
HIEc D	7	31	7	9	0,74	1	0,53
HFD G	9	33	7	9	0,45	0,4	0,36
HFD D	10	33	7	9	0,43	0,13	0,27
HUL G	8	32	7	10	0,37	0,2	0,02
HUL D	8	30	7	10	0,08	0,2	0,02
HCL G	9	34	8	10	0,36	0,12	0,04
HCL D	9	33	8	10	0,28	0,12	0,02
UTB G	9	31	8	10	0,71	0,09	0,08
UTB D	9	33	8	9	0,76	0,9	0,16
P ₁ CLa lat G	8	32	8	9	0,7	0,14	0,07
P ₁ CLa méd G	6	32	8	9	0,31		0,01
P ₁ CLa lat D	6	33	8	10	0,26	0,2	0,02
P ₁ CLa méd D	4	33	8	10	0,34	1	0,13
P ₂ CLa lat G	3	28	8	10	0,56	0,28	0,02
P ₂ CLa méd G	3	28	8	10	0,14	0,1	0,22
P ₂ CLa lat D	5	30	7	10	0,29	0,12	0,24
P ₂ CLa méd D	4	29	7	10	0,46	0,4	0,64
P ₃ CLa lat G	4	26	7	7	0,89	0,5	0,049
P ₃ CLa méd G	5	26	7	7	0,69	0,69	0,33
P ₃ CLa lat D	4	28	7	6	0,36	0,33	0,02
P ₃ CLa méd D	3	28	7	7	0,67	0,51	0,12

Tableau 48 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses (1/2) - Comparaison avec les référentiels actuels par application du test U de Mann-Whitney.

Les différences significatives sont indiquées en **gras** (p < 0,05).

Enthèses	N enthèses cotées				p-valeur		
	Tournai	Sans activité	Monte	Traction	Tournai - Sans activité	Tournai - Monte	Tournai - Traction
CFEP G	7	29	8	9	0,13	0,49	0,73
CFEP D	8	30	8	9	0,73	0,19	0,92
FFEP G	2	29	7	8	0,44	0,29	0,49
FFEP D	3	32	7	8	0,27	0,26	0,13
FFA G	3	32	8	10	0,55	0,79	0,27
FFA D	4	33	8	10	0,02	0,29	0,008
FIP G	7	31	8	9	0,24	0,45	0,84
FIP D	5	31	8	9	0,26	0,84	0,61
FGC G	9	34	8	10	0,02	0,51	0,18
FGC D	7	34	8	10	0,11	0,37	0,3
TPL G	7	32	8	10	0,41	0,35	0,4
TPL D	8	33	7	9	0,25		
P ₁ CLp lat G	6	32	8	10	0,09	0,32	0,59
P ₁ CLp méd G	8	32	8	10	0,26	0,93	0,08
P ₁ CLp lat D	6	33	8	10	0,38	0,72	0,29
P ₁ CLp méd D	7	33	8	10	0,4	0,88	0,49
P ₂ CLp lat G	4	26	8	10	0,5	0,57	0,69
P ₂ CLp méd G	6	26	8	9	0,01	0,25	0,007
P ₂ CLp lat D	4	30	8	9	0,67	0,57	0,75
P ₂ CLp méd D	4	30	8	9	0,38	0,71	0,19
P ₃ CLp lat G	4	25	7	9	0,57	0,33	0,18
P ₃ CLp méd G	5	26	7	9	0,1	0,92	0,88
P ₃ CLp lat D	2	26	7	9	0,67	0,87	0,67
P ₃ CLp méd D	2	26	7	8	0,32	0,29	0,13

Tableau 48 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses (2/2) - Comparaison avec les référentiels actuels par application du test U de Mann-Whitney.

Les différences significatives sont indiquées en **gras** ($p < 0,05$).

Les zones d'insertion associées à des p-valeurs statistiquement significatives ($p < 0,05$) sont bien moins nombreuses lorsque l'on compare les chevaux de Tournai aux catégories « Sans activité » et « Monte ».

Les onze spécimens archéologiques se distinguent des équidés non utilisés par l'Homme via trois enthèses du membre pelvien : les terminaisons des *M. gluteus accessorius* sur le fémur droit (FFA D, $p \approx 0,02$) et *M. gastrocnemius* gauche (FGC G, $p \approx 0,02$) ainsi que l'origine du ligament collatéral médial sur la phalange intermédiaire gauche (P₂CLp méd G, $p \approx 0,01$).

Seule la terminaison du *M. subscapularis* droit (HSC D) permet de distinguer significativement les chevaux de Tournai des chevaux utilisés comme montures ($p \approx 0,03$, test U de Mann-Whitney). De plus, il est intéressant de noter que les enthèses du *M. infraspinatus* sur la convexité du tubercule majeur de l'humérus droit (HIEc D) et du ligament collatéral médial sur la phalange proximale droite (P₁CLa méd D) sont associées à une p-valeur égale à 1 indiquant une forte similarité entre les chevaux associés à Childéric I^{er} et le groupe « Monte » à leur niveau.

Si les tendances générales observées tendent à rapprocher les spécimens mis au jour à Tournai avec les équidés non utilisés par l'Homme de nos référentiels (catégorie « Sans activité »), les résultats du test U de Mann-Whitney pour chaque enthèse pourraient indiquer une proximité avec les animaux utilisés comme montures (groupe « Monte »). Bien qu'une dissociation nette des chevaux tournaisiens avec la catégorie « Traction » ne fait pas de doute, il semble en revanche plus difficile de déterminer si oui ou non ces animaux ont été utilisés comme montures.

5. Comparaison des chevaux de Tournai avec des équidés actuels : analyse par mesure moyenne des divergences (*Mean Measures of Divergence*, MMD).

Les mesures moyennes de divergences (MMD) ont été appliquées afin de compléter l'analyse précédente dans le but de classifier le groupe de Tournai par rapport aux catégories « Sans activité », « Monte » et « Traction » établies dans la deuxième partie de cette thèse (chapitre IV). Les MMD permettent de mesurer la dissemblance entre deux ou plusieurs échantillons via le calcul d'une distance biologique les séparant (Irish, 2010 ; pour plus de détails, voir le chapitre IV). Pour effectuer cette comparaison, les paramètres retenus sont identiques à ceux établis lors de l'étude des référentiels (cf. chapitre V).

a. Enthèses fibrocartilagineuses gauches.

Les résultats obtenus après analyses des enthèses fibrocartilagineuses gauches indiquent une proximité des chevaux de Childéric avec le groupe « Monte » tout en se démarquant nettement des animaux appartenant à la catégorie « Traction » (figure 145).

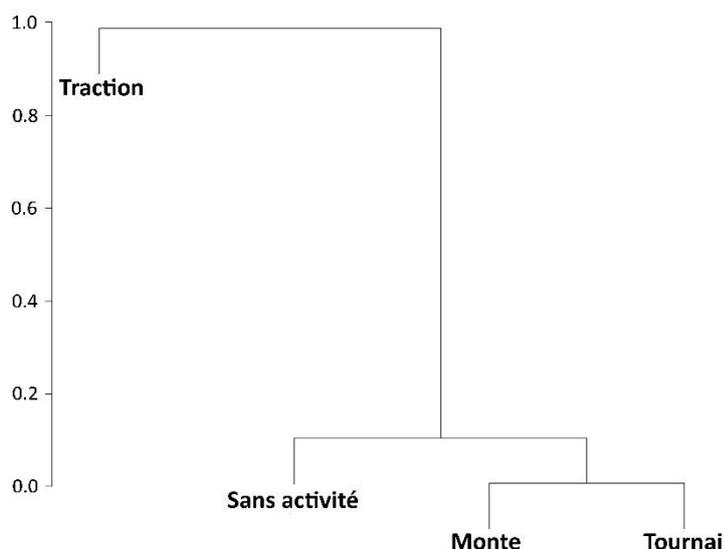


Figure 145 : Tournai, MMD et enthèses fibrocartilagineuses gauches - Classification des trois catégories sur base des MMD calculées (méthode de Ward).

Statistiquement significative, la divergence moyenne entre les équidés tournaisiens et les animaux de trait est la plus importante avec une MMD égale à 0,783 (tableau 49). Le tableau 50 révèle que le groupe « Tournai » s'en distingue au niveau des insertions du *M. ulnaris lateralis* (HUL, $p \approx 0,025$), du ligament collatéral médial sur la phalange proximale antérieure (P₁CLa méd, $p \approx 0,007$) et la phalange intermédiaire postérieure (P₂CLp méd, $p \approx 0,01$) après application du test exact de Fisher.

	Tournai	Sans activité	Monte	Traction
Tournai	0	0,176	0,018	0,783
Sans activité	0,176	0	0,099	0,636
Monte	0,018	0,099	0	0,669
Traction	0,783	0,636	0,669	0

Tableau 49 : Tournai, MMD et enthèses fibrocartilagineuses gauches - Valeurs des MMD. Les résultats statistiquement significatifs sont indiqués en gras.

Une proximité entre les chevaux de Tournai et les chevaux actuels utilisés comme montures est mise en évidence (figure 145). Ces deux groupes affichent la divergence moyenne la moins importante de l'analyse avec une valeur égale à 0,018 (non significative, tableau 49). Les résultats du test exact de Fisher pour chaque enthèse vont de pair avec cette observation : aucune zone d'insertion ne permet une distinction statistiquement significative entre les catégories « Tournai » et « Monte » (tableau 50).

La distance Tournai-Sans activité est « intermédiaire » à celles décrites par rapport aux deux catégories précédentes (tableau 49, MMD = 0,176, résultat significatif). Le tableau 50 montre que les chevaux exempts d'activités et leurs pairs tournaisiens diffèrent significativement au niveau des insertions du *M. gastrocnemius* sur le fémur (FGC, $p \approx 0,02$)

et du ligament collatéral médial sur la phalange intermédiaire postérieure (P₂CLp méd, $p \approx 0,02$).

Enthèses	Tournai - Sans activité	Tournai - Monte	Tournai - Traction
HSC	0,4	0,24	1
HIE	1	0,48	1
HFD	0,66	0,59	0,64
HUL	0,65	0,28	0,025
HCL	1	0,21	0,09
RBB	0,41	0,62	0,64
P ₁ CLa lat	0,65	0,47	0,15
P ₁ CLa méd	0,57	1	0,007
P ₃ CLa méd	1	1	0,52
FIP	0,41	0,57	1
FGC	0,024	0,58	0,3
TPL	1	1	1
P ₁ CLp lat	0,17	0,54	0,63
P ₁ CLp méd	0,36	1	0,07
P ₂ CLp méd	0,023	0,59	0,011

Tableau 50 : Tournai, MMD et enthèses fibrocartilagineuses gauches - Résultats du test exact de Fisher par paire de catégories d'équidés pour chaque zone d'insertion. Les résultats significatifs sont indiqués en **gras** ($p < 0,05$).

b. Enthèses fibrocartilagineuses droites.

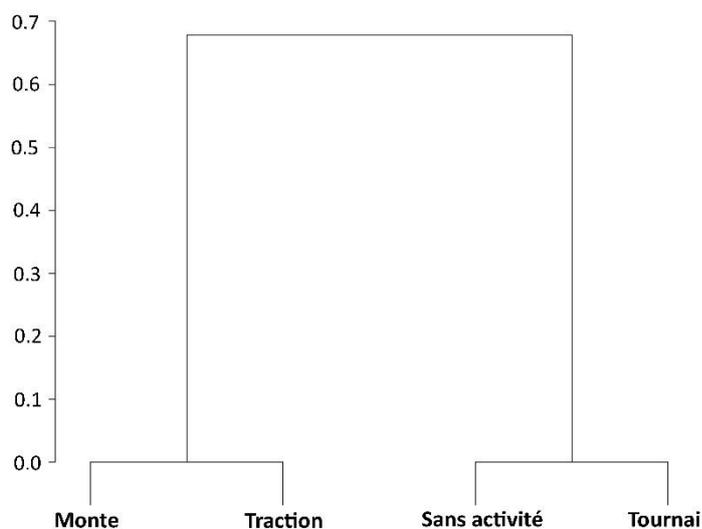


Figure 146 : Tournai, MMD et enthèses fibrocartilagineuses droites - Classification des trois catégories sur base des MMD calculées (méthode de Ward).

Contrairement aux enthèses fibrocartilagineuses gauches, deux groupes se distinguent lors du calcul des MMD (figure 146). Les chevaux tournaisiens montrent ici une proximité avec les équidés exempts d'activité. Ils se distinguent en revanche des spécimens modernes utilisés comme montures ou comme animaux de trait.

Le groupe « Tournai » se distingue nettement des chevaux de traction en affichant la divergence moyenne la plus élevée avec une valeur de 0,649 (valeur significative, tableau 51). L'application du test exact de Fisher (tableau 52) révèle que ces deux groupes diffèrent significativement au niveau des enthèses humérales du *M. ulnaris lateralis* (HUL, $p \approx 0,025$) et du ligament collatéral latéral du coude (HCL, $p \approx 0,033$) ainsi que l'insertion du ligament collatéral latéral sur la phalange intermédiaire antérieure (P₂CLa lat, $p \approx 0,022$). Notons de plus que l'origine du *M. gluteus profundus* sur l'os coxal expose une p-valeur statistiquement proche de la significativité (CFEP, $p = 0,05$) indiquant ainsi une possible distinction entre chevaux tournaisiens et équidés de trait au niveau de cette insertion.

	Tournai	Sans activité	Monte	Traction
Tournai	0	0,041	0,36	0,649
Sans activité	0,041	0	0,334	0,414
Monte	0,36	0,334	0	0,019
Traction	0,649	0,414	0,019	0

Tableau 51 : Tournai, MMD et enthèses fibrocartilagineuses droites - Valeurs des MMD.
Les résultats statistiquement significatifs sont indiqués en **gras**.

La distance calculée entre les catégories « Tournai » et « Monte » est nettement moindre que celle mesurée entre les chevaux tournaisiens et les équidés impliqués dans des activités de traction. Statistiquement significative, celle-ci affiche une valeur égale à 0,36 (tableau 51). Seule l'origine du ligament collatéral latéral sur la phalange intermédiaire antérieure fait montre de différences statistiquement significatives entre ces deux groupes avec l'obtention d'une p-valeur de 0,045 après application du test exact de Fisher (tableau 52). Notons qu'au contraire certaines enthèses présentent un taux de changements enthésiques similaires entre les deux catégories en exposant une p-valeur égale à 1 d'après le test exact de Fisher (e.g. *M. infraspinatus* sur l'humérus, HIEc ; *M. triceps brachii* sur l'ulna, UTB ; *M. iliopsoas* sur le fémur, FIP).

Enthèses	Tournai - Sans activité	Tournai - Monte	Tournai - Traction
HSC	0,7	0,08	1
HIEc	1	1	0,63
HFD	0,7	0,16	0,35
HUL	0,11	0,28	0,025
HCL	0,56	0,21	0,033
UTB	1	1	0,34
RBB	0,37	0,62	0,35
P ₂ CLa lat	0,3	0,045	0,022
<u>CFEP</u>	0,7	0,62	<u>0,05</u>
FIP	0,36	1	1
FGC	0,11	0,57	0,34
TPL	0,56	1	1
P ₁ CLp lat	0,4	1	0,59
P ₁ CLp méd	0,58	1	1

Tableau 52 : Tournai, MMD et enthèses fibrocartilagineuses droites - Résultats du test exact de Fisher par paire de catégories d'équidés pour chaque zone d'insertion.

Les résultats significatifs sont indiqués en gras ($p < 0,05$).

Les résultats proches de la significativité sont soulignés ($0,05 \leq p < 0,06$).

C'est avec la catégorie « Sans activité » que les chevaux de Childéric exposent la divergence moyenne la plus faible avec une MMD statistiquement non significative de 0,041 (tableau 51). Aucune enthèse ne permet de distinguer statistiquement ces deux groupes, les p-valeurs obtenues à l'issue du test exact de Fisher étant comprises entre 0,12 (HUL et FGC) et 1 (UTB) (tableau 52).

CHAPITRE IX

OSTÉOBIOGRAPHIE DES CHEVAUX TOURNAISIENS

Examen paléopathologique

Cet examen paléopathologique vient compléter l'étude des changements enthésiques développée dans le chapitre précédent via l'apport d'éléments supplémentaires visant à identifier la fonction des chevaux de Tournai. De plus, les pathologies osseuses et dentaires ne témoignant pas uniquement de l'exploitation d'un cheptel, cette analyse donne l'occasion de préciser l'identité de ces équidés et leur place auprès du groupe humain par le biais de leur état sanitaire.

L'inventaire mené dans le chapitre VII révèle que les pathologies décrites ne se limitent pas aux affections vertébrales comme annoncé dans les premières publications relatives aux chevaux de Tournai (Brulet, 1991 ; Gabriel et al., 1995). Diverses et variées, elles méritent d'être explorées au regard des données archéologiques et connaissances vétérinaires dont on dispose. Tout comme pour les modifications enthésiques, on privilégie une approche populationnelle pour les pathologies qui le permettent afin, d'une part, d'exclure de potentiels écueils liés aux variations individuelles et, d'autre part, d'identifier de possibles aspects récurrents, inaccessibles sur un squelette isolé, pouvant aider à l'interprétation de ces lésions.

Les deux premiers points seront consacrés aux affections du squelette axial, plus particulièrement aux atteintes vertébrales ainsi que dentaires et orales détectées chez les chevaux de Tournai. Les pathologies du squelette appendiculaire seront ensuite traitées. Notre attention se portera sur les atteintes articulaires, l'ossification du *ligamentum interosseum* des métapodiens ainsi que des quelques cas d'exostoses. Les pathologies traumatiques ainsi que les réactions périostées seront examinées séparément car identifiées aussi bien au niveau du squelette axial qu'appendiculaire.

I. LES PATHOLOGIES VERTÉBRALES.

Les atteintes pathologiques vertébrales chez les équidés sont parmi les plus répertoriées dans la littérature archéozoologique (*e.g.* Bartosiewicz & Bartosiewicz, 2002; Levine, 2005; Müller, 1985; Stevanović et al., 2015). Plus de la moitié des chevaux associés à Childéric sont porteurs de lésions vertébrales diverses (n = 12 chevaux, tableau 53) : spondyloses (n = 10), lésions dégénératives des articulations synoviales vertébrales (n = 7), conflits des processus épineux (n = 5), exostoses au niveau de l'atlas (n = 4) ainsi que fissure du corps vertébral (n = 1).

Anomalies	nspécimens	Individus
Spondylose		
<i>Spondylosis deformans</i>	9	1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 3.1, 3.2, 3.4, 3.10
<i>Spondylosis ankylopoetica</i>	4	1.2, 1.4, 3.1, 3.5
Arthrose	8	1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 2.3, 3.1, 3.2, 3.4, 3.10
Conflit des processus épineux	5	1.2, 1.4, 2.4, 3.2, 3.4
Exostoses (Atlas)	4	1.3, 1.5, 3.1, 3.2
Fissure du corps vertébral	1	3.4

Tableau 53 : Récapitulatif des anomalies vertébrales observées chez les chevaux de Tournai.

1. *Spondylosis.*

Les spondyloses sont des maladies ankylosantes ou dégénératives des articulations vertébrales se traduisant par l'apparition d'ostéophytes (Boden & Andrews, 2015; Meehan et al., 2009). De nos jours, ces atteintes articulaires sont observables chez de nombreuses espèces dont l'Homme (Samsel et al., 2014), les mammifères domestiques (chien : Latham & Losey, 2019; Morgan, 1967 ; cheval : Collar et al., 2014; Draper & Finno, 2016; Jeffcott, 1980; Townsend et al., 1986) et sauvages (*e.g.* cétacés : Lagier, 1977; Sweeny et al., 2005 ; primates non-humains : Nunn et al., 2007 ; carnivores : Nunn et al., 2007). Certaines publications indiquent que les espèces fossiles n'étaient pas épargnées par ce type de lésions (*e.g.* Bjorkengren et al., 1987; Xing et al., 2015).

Les spondyloses sont couramment répertoriées sur les restes d'équidés en contexte archéologique. Bien que leur étiologie soit multifactorielle, les chercheurs mettent généralement en relation leur présence avec une utilisation possible de ces animaux par les groupes humains (Baron, 2018; Bartosiewicz & Bartosiewicz, 2002; Bulatović et al., 2014; Janeczek et al., 2014; Levine, 2005; Lignereux & Bouet, 2015; Marković et al., 2019; Onar et

al., 2012). Deux types de spondyloses sont particulièrement documentés dans la littérature paléopathologique.

Spondylosis (chronica) deformans (ou spondylose déformante) est une maladie vertébrale dégénérative caractérisée par la formation d'ostéophytes de taille variable sur les bords des corps vertébraux (Bartosiewicz & Gál, 2013). Apparaissant suite à une dégénération de l'*annulus fibrosus* du disque intervertébral, les ostéophytes peuvent se projeter au-delà de la vertèbre qui en est le siège et, dans les cas les plus avancés, conduire à sa fusion avec les vertèbres adjacentes (Latham & Losey, 2019; Morgan, 1967).

Spondylosis ankylopoetica (ou spondylose ankylosante) est une condition inflammatoire caractérisée par la formation de ponts osseux entre les articulations synoviales des vertèbres (Bartosiewicz & Gál, 2013). Selon Y. Lignereux et C. Bouët en 2015, les structures dorsales (processus épineux et articulaires, arcs vertébraux, processus transverses) sont les premières cibles de cette ankylose qui se poursuit ensuite ventralement via l'ossification du *ligamentum longitudinale ventrale*. Contrairement à la spondylose déformante, les disques intervertébraux demeurent intacts lors de la progression de la maladie.

Quatre chevaux et un poulain ont été exclus du traitement statistique, la majeure partie de leurs vertèbres étant manquantes (1.6, 1.7, 2.1, 2.2, 3.8 ; cf. annexe 22). De même, malgré une colonne vertébrale quasi-complète, les poulains 3.6, 3.7 et 3.9 ne sont pas compris dans nos observations en raison du mauvais état de conservation de bon nombre de leurs vertèbres.

Parmi les 13 chevaux tournaisiens retenus, seuls trois animaux sont exempts de spondylose (2.3, 2.4 et 3.3 ; tableau 54). La sévérité des atteintes a été évaluée à l'aide de la méthode établie en 1967 par J.P. Morgan (figure 147). Celle-ci comprend cinq stades et vise à enregistrer le degré de développement des ostéophytes marginaux identifiables au niveau des corps vertébraux :

- 0 : absence d'ostéophyte (les atteintes se limitent aux tissus mous) ;
- 1 : présence d'ostéophytes, ces derniers se limitent à l'extrémité de la vertèbre ;
- 2 : les ostéophytes se projettent au-delà de la vertèbre ;
- 3 : les ostéophytes se projettent et atteignent la vertèbre adjacente ;
- 4 : ankylose, les ostéophytes des deux vertèbres se rejoignent et fusionnent.

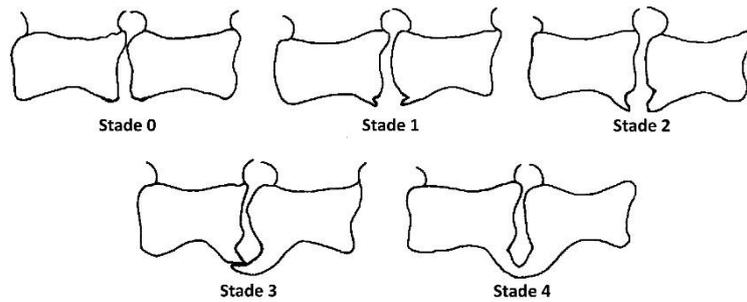


Figure 147 : Tournai, cotation de la spondylose - Stades de cotation établis par J.P. Morgan en 1967 (illustrations modifiées d'après Morgan, 1967).

Les ankyloses ne se limitant pas au corps vertébral, L. Bartosiewicz et G. Bartosiewicz font le choix de subdiviser le dernier stade en 5 scores afin de préciser la ou les différentes parties de la vertèbre impliquées (Bartosiewicz & Bartosiewicz, 2002) :

- a : ossification des ligaments *supraspinalia* des processus épineux et *intertransversaria* sur les processus inter-transversaires ;
- b : fusion des petites articulations par ossification des ligaments courts des articulations apophysaires ;
- c : formation d'ostéophytes entre les corps vertébraux résultant de l'ossification de la lame externe de l'*annulus fibrosus*. Cette formation affecte les processus vertébraux adjacents et les conjonctifs vertébraux périphériques ;
- d : ankylose complète entre les bords latéraux et ventral des corps vertébraux ;
- e : ossification visible du *ligamentum longitudinale ventrale* donnant à la colonne vertébrale un aspect en bambou (« *Bamboo spine* », Bartosiewicz & Bartosiewicz, 2002).

Les résultats de nos observations sont présentés dans les tableaux 54 et 55.

Les altérations sont rares et légères dans la moitié crâniale de la colonne (tableau 54). Deux des atteintes identifiées se situent au niveau des vertèbres cervicales du cheval 1.2 et entre les vertèbres thoraciques 5 et 6 du cheval 1.3. Les cas de spondylose sont nettement plus nombreux et sévères dans la seconde partie de la colonne thoracique ainsi qu'au niveau des vertèbres lombaires.

Sur les 297 jonctions vertébrales cotées, seules 50 présentent des lésions de type spondylose (soit 16,9%, tableau 55). S'exprimant généralement sous forme de petits ostéophytes sur les bords des corps vertébraux, les lésions légères ont été observées dans 10,1% des cas, aussi bien au niveau des portions cervicale, thoracique que lombaire de la colonne vertébrale. Les

jonctions vertébrales arborant des atteintes moyennes à importantes sont plus rares : elles représentent 2,7% (stade 2 ; n = 8) et 1,7% (stade 3 ; n = 5) des enregistrements. Trois des jonctions qui se sont vues attribuer le stade 3 sont localisées entre les 17^{ème} vertèbre thoracique et 2^{nde} vertèbre lombaire. Sept cas d'ankylose (soit 2,4%) ont été mis en évidence chez les chevaux 1.2, 1.4, 3.1 ainsi que 3.5. La majeure partie de ces fusions implique les T17 et T18 (n = 3) ainsi que des vertèbres lombaires (L3-L4 et L5-6). Parmi les blocs formés, les fusions sont localisées en diverses zones de la vertèbre (tableau 54) :

- Une ossification du bord latéral des corps vertébraux des 13^{ème} et 14^{ème} vertèbres thoraciques (cheval 1.2, stade 4c) ;
- Une fusion des processus transverses par ossification des *ligamenta intertransversaria* (stade 4a) observée chez les chevaux 1.4 (L5-L6) et 3.1 (T17-T18) ;
- Une ankylose des processus articulaires des 3^{ème} et 4^{ème} vertèbres lombaires pour le cheval 1.2 (stade 4b) ;
- Plusieurs zones vertébrales peuvent à l'occasion être impliquées comme observé entre les vertèbres thoraciques 17 et 18 (spécimens 1.2, 1.4 ; stade 4ab) ainsi qu'entre les 5^{ème} et 6^{ème} vertèbres lombaires (cheval 3.5 ; stade 4ac).

L'absence de certaines portions vertébrales ainsi que le mauvais état de conservation de certaines vertèbres empêchent d'appréhender pleinement la répartition de *spondylosis deformans* et *spondylosis ankylopoetica* dans la population équine de Tournai (tableau 54, cases grisées). Parmi les portions restantes, seules 16,9% de jonctions intervertébrales enregistrées ont révélé des ostéophytes sur les bords des corps vertébraux (tableau 55). Les atteintes importantes se concentrent aux alentours de la jonction thoraco-lombaires ainsi que dans la portion lombaire (T17 jusque L6).

Le cheval 1.2 expose de nombreuses vertèbres atteintes : les atteintes s'étendent de la 11^{ème} thoracique jusqu'à la 5^{ème} lombaire.

Cheval	C1-C2	C2-C3	C3-C4	C4-C5	C5-C6	C6-C7	C7-T1	T1-T2	T2-T3	T3-T4	T4-T5	T5-T6	T6-T7	T7-T8	T8-T9	T9-T10	T10-T11	T11-T12	T12-T13	T13-T14	T14-T15	T15-T16	T16-T17	T17-T18	T18-L1	L1-L2	L2-L3	L3-L4	L4-L5	L5-L6	L6-S1
1.1																				1	1										1
1.2					1		1											1	3	4c	2	2	1	4ab	3	3	1	4b	1		
1.3												1					1	1	1												
1.4																		1	2	3	1	1	1	4ab						4a	
1.5																												1			2
2.3																															
2.4																															
3.1																				1	1	1		4a							
3.2																2	1	2	1	1									2		
3.3																															
3.4																		1						3	2						1
3.5																															4ac
3.10																										1	1	1			1

Tableau 54 : Étude de la spondylose - Localisation des cas de spondylose chez les chevaux de Tournai (cotation d'après Morgan, 1967, modifiée par Bartosiewicz & Bartosiewicz, 2002). Les cas d'ankylose (*spondylosis ankylopoetica*) sont indiqués en **gras**. Les jonctions vertébrales non enregistrables sont grisées (vertèbres manquantes ou fortement altérées).

Stade	n	%
0	247	83,2%
1	30	10,1%
2	8	2,7%
3	5	1,7%
4	7	2,4%

Tableau 55 : Étude de la spondylose - Fréquences des stades attribués chez les chevaux de Tournai (d'après la méthode de JP. Morgan, 1967, modifiée par Bartosiewicz & Bartosiewicz, 2002).

Les spondyloses observées chez les chevaux de Tournai sont semblables à celles des chevaux actuels. Elles prennent place en différentes zones de la colonne vertébrale, des lésions légères pouvant côtoyer des atteintes plus sévères voire des ankyloses de vertèbres adjacentes (cas des chevaux 1.2 et 1.4, tableau 54).

Les atteintes des vertèbres cervicales (et de la première moitié des vertèbres thoraciques) sont quasi-inexistantes et légères. Ceci est loin d'être surprenant, les recherches vétérinaires attestant de la rareté des *spondylosis* au niveau des vertèbres cervicales (Draper & Finno, 2016). La majeure partie des lésions ont été identifiées dans la deuxième moitié de la colonne vertébrale, entre les 10^{ème} et 18^{ème} vertèbres thoraciques avec trois des ankyloses identifiées entre T17-T18 et dans une moindre mesure au niveau des vertèbres lombaires (tableau 54). Les chercheurs interprètent l'apparition de *spondylosis* comme un moyen pour la colonne vertébrale de stabiliser l'espace intervertébral en réponse à une dégénération de l'*annulus fibrosus* (Ciepluch et al., 2015). En effet, la deuxième moitié de la portion thoracique concentre le maximum des mouvements latéraux et de rotation axiale de la colonne vertébrale (Townsend et al., 1986) induisant des contraintes accrues au niveau des disques intervertébraux. La fusion de vertèbres adjacentes (*Spondylosis ankylopoetica*) chez le cheval est généralement associée à la combinaison de surcharges mécaniques et de l'âge avancé de l'animal.

Chez nombre de chevaux tournaisiens, les spondyloses sont concomitantes à d'autres anomalies vertébrales.

2. Conflits des processus épineux.

Rappelons tout d'abord que les processus épineux, de par leur structure, ont été particulièrement sujets à des fragmentations post-mortem empêchant d'évaluer la réelle distribution des conflits de ces processus chez les chevaux de Tournai.

Le conflit des processus épineux (« *kissing-spine* ») se définit comme un rapprochement et une mise en contact de deux ou plusieurs processus épineux qui se suivent. Cette anomalie se caractérise par une zone de remodelage osseux prenant la forme de réactions périostées locales, d'une éburnation ainsi que l'apparition d'une pseudarthrose. Dans des cas extrêmes, une fusion des sommets des processus épineux peut être observée (Townsend et al., 1986). Cette anomalie a été identifiée chez cinq équidés au sein de notre échantillon (tableau 56).

Cheval	Localisation	
	Thoraciques	Lombaires
1.2	T12-T18	L1-L2
1.4	T12-T14	
2.4	T10-T11	
3.2	T8-T9	
3.4	T13-T14	

Tableau 56 : Localisation des conflits des processus épineux identifiés chez les chevaux de Tournai.

Grand nombre des conflits se situent au niveau de la moitié caudale de la portion thoracique notamment entre les 12^{ème} et 14^{ème} vertèbres thoraciques (tableau 56).

Le cheval 3.2 se distingue des autres spécimens en arborant un conflit des processus épineux en amont de cette zone, à savoir entre ses 8^{ème} et 9^{ème} vertèbres thoraciques (chapitre VII, figure 128b/c ; tableau 56). Cette atteinte s'accompagne d'une réaction inflammatoire au niveau des insertions du ligament inter-épineux avec notamment la présence de trois « cavités » sur le bord crânial du processus épineux de la T9 (chapitre VII, figure 128c). La formation de ces kystes peut avoir été induite par le frottement anormal et répété des deux processus provoquant de possibles douleurs à cet animal. Le cheval 1.2 est le seul animal présentant un « *kissing-spine* » au niveau des vertèbres lombaires (vertèbres lombaires 1 et 2, tableau 56).

Les conflits des processus épineux (ou « *kissing-spine* ») sont des atteintes vertébrales identifiées par les praticiens vétérinaires comme causes possibles de douleurs dorsales conduisant à une baisse de performance chez le cheval sportif (Cousty et al., 2010; Jeffcott, 1980; Walmsley et al., 2002). Contrairement aux spondyloses, le « *kissing-spine* » est en revanche bien moins documenté en contexte archéologique (Onar et al., 2012; Stevanović et al., 2015). Les recherches vétérinaires menées sur des échantillons composés essentiellement de chevaux de selle (courses, dressage, CSO...) indiquent que les conflits de processus épineux se situent préférentiellement entre les 12^{ème} et 18^{ème} vertèbres thoraciques (Clayton & Stubbs, 2016; Jeffcott, 1980) et, dans une moindre mesure, au niveau des vertèbres lombaires (Townsend et al., 1986). Pour les chevaux tournaisiens, nos relevés concordent avec les observations vétérinaires actuelles (tableau 56).

Deux facteurs, en partie liés, sont à considérer dans notre interprétation. Chez les chevaux de selle, la portion vertébrale comprise entre les T12 et T18 correspond à la zone sur laquelle la selle est déposée. Ainsi, il s'agit de la principale localisation supportant le poids du

cavalier. Le port de cette masse supplémentaire conduit à une lordose et des contraintes accrues dans cette zone (Jeffcott, 1980). L'interprétation doit, de plus, impliquer une réflexion anatomique/biomécanique. Les processus épineux des vertèbres thoraciques 12 à 18 se caractérisent par leur raccourcissement, leur élargissement, une orientation de plus en plus crâniale au fur et à mesure que l'on progresse dans la colonne vertébrale ainsi qu'une réduction des espaces inter-épineux (Barone, 2000a). Chez le cheval sportif, le port du cavalier ainsi que la pratique d'exercices demandant une extension dorsale importante favorise de fait la mise en contact de ces processus épineux (Jeffcott, 1980 ; Townsend et al., 1986).

Ainsi, il n'est pas improbable que les conflits observés chez les chevaux associés à Childéric I^{er} découlent de l'action combinée de ces deux paramètres.

3. Arthrose des articulations vertébrales.

Les conflits des processus épineux ont généralement été mis en évidence en association avec des arthroses des articulations synoviales vertébrales. Ces dernières étant généralement mieux préservées que les processus épineux, des atteintes dégénératives y ont été relevées chez huit chevaux de Tournai et se localisent sur les vertèbres thoraciques et lombaires (tableau 57). Elles peuvent prendre la forme d'une irrégularité des bords articulaires (chapitre VII, figure 130d), d'une extension de la surface articulaire (chapitre VII, figure 118b) et, dans quelques cas, d'une asymétrie de ces facettes pour une même vertèbre (chapitre VII, figures 125a, 34d). De plus, une ankylose de ces structures a été relevée chez certains spécimens (chevaux 1.2 et 3.1, tableau 54).

Cheval	Localisation	
	Thoraciques	Lombaires
1.2	T1-T7 ; T15-T16	
1.3	T13-T18	
1.4	T14-T15 ; T17-T18	L1
1.5	T15-T18	L1-L2
2.3	T2	
3.1	T13-T18	
3.2	T8-T9	
3.4	T14-T18	

Tableau 57 : Localisation des arthroses vertébrales chez les chevaux de Tournai.

Le tableau 57 montre que la grande majorité de ces lésions dégénératives se situent dans la moitié caudale de la portion thoracique, entre les 13^{ème} et 18^{ème} vertèbres thoraciques (6 chevaux sur les 8 atteints). Plus rares sont les altérations des processus articulaires situées dans les premières vertèbres thoraciques : les chevaux 1.2, 2.3 et 3.2 en sont les seuls porteurs. Une remarque similaire peut être émise concernant les vertèbres lombaires : des arthroses ont été relevées chez seulement deux spécimens (1.4 et 1.5, tableau 57).

À l'image des conflits des processus épineux, la localisation des atteintes dégénératives de processus articulaires vertébraux chez les chevaux de Tournai est similaire à celle observée chez les chevaux sportifs, les vétérinaires faisant état d'une fréquence accrue d'arthroses entre la 15^{ème} vertèbre thoracique et la 1^{ère} vertèbre lombaire (Cousty et al., 2010). Tout comme pour les deux altérations présentées précédemment, la présence d'arthrose vertébrale dans cette zone pourrait en partie être liée à des mouvements biomécaniques importants entre les T12 et T18 ainsi que des contraintes accrues dans cette zone (Cousty et al., 2010; Girodroux et al., 2009).

4. Exostose de l'atlas.

Des exostoses présentant différents degrés de développement ont été relevées sur quatre atlas (chevaux 1.3, 1.5, 3.1 et 3.2 ; figures 118, 120, 127 et 128, chapitre VII), toutes localisées sur le *tuberculum dorsale* et l'incisure crâniale de l'*arcus cranialis*. Ces exostoses sont fortement développées chez les spécimens 1.3, 3.1 et 3.2 et induisent une forte irrégularité de la surface de l'os. Chez le cheval 1.5, les atteintes sont asymétriques : les productions osseuses sont particulièrement marquées sur l'arc droit alors qu'elles sont plus légères sur l'arc gauche et le *tuberculum dorsale*.

Cette partie de l'atlas correspond à la zone d'insertion du muscle petit droit dorsal de la tête (*M. rectus capitis dorsalis minor* ; Budras et al., 2003). Ce dernier agit comme auxiliaire du muscle grand droit dorsal de la tête (*M. rectus capitis dorsalis major*, Barone, 2000b, p. 561) : lui-même associé au muscle semi-épineux de la tête (*M. semispinalis capitis*), il concourt aux mouvements d'extension et d'inclinaison latérale de la tête.

Il existe, à notre connaissance, peu de mentions d'exostoses sur cette partie de l'atlas dans la littérature archéologique (1 cas dans Müller, 1985, p. 31 ; Bertin et al., 2017; Putelat et al., 2017). L'étude paléopathologique des restes d'équidés découverts au Clos d'Ugnac (Aude, France), animaux supposément exploités comme bêtes de traction ou de bât, a livré un certain nombre de pièces présentant des altérations pathologiques dont un atlas d'âne exposant des

exostoses sur la face dorsale de son incisure crâniale (Bertin et al., 2017). De même, l'atlas de l'un des chevaux de la nécropole d'Odratzheim « *Sandgrube* » (Bas-Rhin) arbore des exostoses sur la face dorsale de son arc vertébral (Putelat et al., 2017). Ces dernières sont associées à un abcès ayant induit une ostéolyse importante dans cette même zone. Les exostoses relevées chez les chevaux de Tournai se distinguent clairement du cas décrit par O. Putelat et ses collaborateurs de par l'absence d'abcès sur le *tuberculum dorsale* et se rapprochent davantage des atteintes répertoriées dans les deux autres publications (Müller, 1985 ; Bertin et al., 2015).

De manière isolée, il est difficile d'attribuer une cause exacte à l'apparition de ces exostoses sur cette zone de l'atlas en raison de leur caractère aspécifique. Néanmoins, l'identification de ces exostoses localisées chez quatre de ces chevaux mérovingiens laisse supposer que leur apparition n'est pas due au hasard et qu'une étiologie commune en est leur origine. Nous pouvons tout d'abord exclure une étiologie infectieuse. Ces exostoses se limitent au *tuberculum dorsale* et l'*arcus cranialis* de l'atlas. Aucune autre atteinte osseuse, quel que soit son type, n'a été identifiée sur l'atlas même ou sur les pièces osseuses voisines.

Si l'hypothèse d'une utilisation de ces animaux comme montures est possible, il est imprudent de notre part de faire un lien direct entre cette exostose et monte du cheval. Il n'est pas exclu que ces exostoses soient apparues en réponse à une sur-sollicitation répétée des ligaments et muscles s'insérant à ce niveau de l'atlas. En revanche, son lien à l'exploitation de l'animal gagne à être démontré.

5. Une atteinte traumatique du corps vertébral.

Le cheval 3.4 présente une fissure localisée dans la partie dorsale de la *fossa vertebrae* de sa 18^{ème} vertèbre thoracique (chapitre VII, figure 130f). Ses bords ainsi que son centre montrent une légère irrégularité. Elle est associée à des productions ostéophytiques de taille variable localisées sur les bords latéraux du corps vertébral.

Ce type de lésion a été auparavant identifié chez des équidés provenant de contextes archéologiques et de périodes variés (Ambros & Müller, 1980 cité dans Müller, 1985 ; Baron, 2018; Bartosiewicz & Gál, 2013; Benecke, 1994 cité dans Bartosiewicz & Gál, 2013, p; 140; Levine, 2005; Müller, 1985; Pluskowski et al., 2010). Les vertèbres T12 à L6 sont les sièges de ces atteintes. Les archéologues émettent l'hypothèse que les fractures des corps vertébraux résulteraient d'une utilisation excessive de l'animal, notamment comme monture (Benecke, 1994), ou encore de la pratique d'une activité alors que ce dernier serait sellé de manière inadaptée (Müller, 1985). M.

Levine et ses collaborateurs ont découvert un nombre important de ces altérations chez des chevaux datés de la période Scythe (Levine, 2005). Les cavaliers scythes utilisant des selles particulières sans tapis comme intermédiaire, les auteurs ont proposé qu'une fissuration des épiphyses vertébrales pouvait être mise en lien avec le contact direct de ce type de selle avec les processus épineux. Cependant, cette interprétation doit être considérée avec prudence, ces atteintes ayant été identifiées chez des chevaux datés des périodes auxquelles ce type de selle n'était pas utilisé (Müller, 1985; Pluskowski et al., 2010).

Les vétérinaires affirment que les fractures des corps vertébraux sont fréquemment induites par des traumatismes physiques tels qu'une chute violente de l'animal à la réception d'un saut (Jeffcott, 1980; Townsend et al., 1986). Elles auraient une localisation préférentielle le long de la colonne vertébrale entre les T1 et T3, les T9 et T16 ainsi qu'entre les T18 et L6 (Haussler & Jeffcott, 2014). Les jeunes poulains semblent particulièrement sujets à des fractures compressives dans cette dernière portion (Weaver, 2012). La moelle épinière peut être potentiellement atteinte : les signes cliniques varient d'une paralysie des membres pelviens à une paraplégie aiguë. L'issue est généralement fatale, l'animal est euthanasié.

Pour le cheval 3.4, la présence de productions ostéophytiques sur les pourtours du corps vertébral indique que l'animal n'est pas décédé suite à cette lésion traumatique laissant le temps aux ostéophytes de se former. Il est difficile voire impossible de déterminer la cause exacte de cette fissure. De fait, il nous semble ici imprudent d'associer cette lésion à l'utilisation de l'animal comme monture.

Synthèse des pathologies vertébrales chez les chevaux de Tournai

Les anomalies vertébrales relevées chez les chevaux de Tournai sont similaires à celles décrites par les vétérinaires chez les chevaux actuels.

Spondyloses, conflits des processus vertébraux et arthrose des articulations synoviales vertébrales sont généralement associés chez un même cheval ce qui rejoint les observations menées chez des chevaux sportifs (Girodroux et al., 2009). Leur localisation préférentielle entre les 12^{ème} et 18^{ème} vertèbres thoraciques peut s'expliquer de diverses manières. Cette zone est sujette aux mouvements latéraux et de rotation axiale maximaux de la colonne vertébrale (Townsend et al., 1986). Chez le cheval de monte, ces vertèbres se situent dans la zone de port de la selle. De fait, l'addition d'une masse supplémentaire (la selle et le cavalier) sur cette portion de la colonne vertébrale vient s'ajouter aux contraintes biomécaniques liées aux mouvements de l'animal expliquant ainsi les possibles sur-sollicitations auxquelles les

vertèbres sont soumises (Cousty et al., 2010; Girodroux et al., 2009; Jeffcott, 1980). Les similarités relevées entre les chevaux tournaisiens et équidés sportifs actuels laissent penser que les étiologies à l'origine de leur apparition sont équivalentes. La localisation préférentielle de ces pathologies au sein de la colonne vertébrale pourrait indiquer que les chevaux associés à la tombe de Childéric I^{er} ont bien été utilisés comme montures. Il n'est pas improbable que certains de ces animaux aient eu des douleurs dorsales les rendant, à certains moments, réticents à être montés. En effet, les spondyloses, les arthroses vertébrales et dans une moindre mesure les conflits des processus épineux sont reconnus pour être de potentielles sources de douleurs dorsales pouvant conduire à terme à une baisse de performance (Clayton & Stubbs, 2016; Cousty et al., 2010; Girodroux et al., 2009; Jeffcott, 1980).

Le lien entre les exostoses sur l'atlas et l'activité est imprécis. L'identification de ces formations osseuses chez quatre chevaux de Tournai suggère une même cause à l'origine de leur développement. Si de rares cas ont été identifiés par les archéozoologues (Bertin et al., 2017; Müller, 1985; Putelat et al., 2017), les exemples de cette manifestation osseuse demeurent trop peu nombreux pour fournir une étiologie précise. Avant qu'un rapport entre exostoses de l'atlas et utilisation de l'animal puisse être supposé, cette liaison doit encore être explorée.

Les fissures des corps vertébraux doivent être interprétées comme marqueur d'activité avec grande prudence. Le cas identifié chez le cheval 3.4 contredit l'hypothèse émise par M. Levine en 2005 selon laquelle ce type de fracture est due au port inadapté d'une selle scythe sans tapis. Nos observations concordent avec certains cas observés chez des chevaux de périodes plus récentes (*e.g.* Baron, 2018; Müller, 1985; Pluskowski et al., 2010) indiquant par ce biais que le type de selle ainsi que son utilisation ne sont pas les uniques étiologies de cette lésion. Cette fissure peut tout aussi bien relever d'un évènement traumatique.

II. PATHOLOGIES ORALES ET ANOMALIES DENTAIRES.

Huit chevaux de Tournai sont porteurs d'anomalies dentaires de types et de sévérités variables au niveau des prémolaires et molaires (tableau 58). Celles-ci ont été observées aussi bien au niveau des dents (usure, caries) que des structures osseuses périphériques (parodontopathie).

Anomalies	Nombre de spécimens	Individus
Usure anormale		
Usure en biseau des P2	5	1.2, 1.5, 2.2, 3.4, 3.10
Autres dents	2	3.4, 3.10
Caries		
Caries périphériques	3	3.3, 3.5, 3.10
<i>Infundibulum necrosis</i>	1	3.4
Parodontopathie	2	1.2, 3.4
Dent surnuméraire	1	3.1
Fracture dentaire	1	3.4

Tableau 58 : Récapitulatif des lésions de la cavité buccale chez les chevaux de Tournai.

1. Les usures dentaires anormales.

L'usure dentaire correspond à l'attrition de la dent induite par la mise en contact de dents opposées au cours de la mastication. Considérée comme un processus physiologique normal, l'usure dentaire est étroitement liée à l'âge (Bartosiewicz & Gál, 2013). Cependant, ce dernier n'est pas le seul facteur impliqué dans son apparition et cette usure peut, dans certains cas, être perçue comme anormale. Des anomalies plus ou moins importantes de la surface occlusale peuvent être associées à une malocclusion en raison de l'absence congénitale d'une dent, d'une perte dentaire prématurée, d'un traumatisme ou d'une destruction dentaire partielle (Baker & Brothwell, 1980, p. 147). Cinq chevaux tournaisiens ont révélé des usures de la face occlusale. Celles-ci sont de deux sortes.

a. L'usure en biseau des secondes prémolaires (P2).

Nombre de ces atteintes ont été identifiées sur les prémolaires inférieures (P₂, partie mésiale) et prennent la forme d'une usure en biseau de quelques millimètres (chevaux 1.2, 1.5, 2.2, 3.10 ; tableau 58). Les archéozoologues associent les usures localisées sur les secondes prémolaires inférieures à des traces laissées par le port d'un mors (Bartosiewicz & Gál, 2013) et sont ainsi interprétées comme un marqueur de domestication et d'utilisation du cheval par les groupes humains passés (Baron, 2018; Bendrey, 2007a, 2011; Brown & Anthony, 1998; Bulatović et al., 2014; Outram et al., 2009; Taylor & Tuvshinjargal, 2018). Elles peuvent prendre la forme d'une exposition de l'émail sur la face mésiale de la P₂ (Baillif-Ducros & Yvinec, 2015; Bendrey, 2007a, 2011; Bulatović et al., 2014), de formations osseuses sur le diastème mandibulaire (Bendrey, 2007a) ou encore d'une usure en biseau de la face occlusale (Brown & Anthony, 1998). Certains chercheurs nuancent le caractère spécifique de cette

dernière manifestation en précisant que ce biseautage peut faire suite à la pratique d'un râpage dentaire¹⁷ visant à corriger la présence d'éventuelles surdents (Cross, 2018). Bien que l'existence de cette pratique remonte au VI^{ème} siècle avant JC (Cross, 2018), on dispose cependant de peu d'informations la concernant pour l'époque mérovingienne.

Les secondes prémolaires supérieures des équidés 1.2, 1.5 et 2.2 n'arborent aucun crochet (ou surdent) ayant pu causer une usure anormale de la face occlusale des prémolaires inférieures correspondantes. De plus, aucun de ces spécimens n'est porteur d'anomalie dentaire sévère qui aurait pu conduire à sa correction. Ainsi, il est probable que le biseautage observé chez ces chevaux soit du fait du port d'un mors. Pour l'individu 3.10, le lien entre l'usure en biseau relevée sur la P₂ et le port du mors demeure incertain. En effet, la présence d'une anomalie de la face occlusale des P² ne peut être attestée en raison de l'absence du crâne et donc des rangées dentaires supérieures (cf. annexe 22).

Le cheval 3.4 est porteur d'usures en biseau importantes sur ses secondes prémolaires inférieures (chapitre VII, figures 130a et b). Ces dernières coïncident avec la présence de surdent sur les P² correspondantes (chapitre VII, figure 130c). Bien que l'observation de ces anomalies ne signifie pas nécessairement que l'animal n'ait pas été harnaché, la relation directe « usure en biseau-port du mors » ne peut pas être clairement attestée.

Il serait intéressant, dans des études futures, d'observer ces dents au Microscope Électronique à Balayage (ou MEB). Dans une étude datée de 2011, R. Bendrey met en évidence via cette approche des résidus métalliques sur deux prémolaires arborant une exposition de l'émail confirmant ainsi que cette dernière était probablement liée au port d'un mors (Bendrey, 2011). Appliquer une démarche similaire sur les chevaux de Tournai pourrait compléter nos interprétations.

b. Autres usures anormales de la face occlusale et pathologies associées : le cas du cheval 3.4.

Outre les usures relevées au niveau des secondes prémolaires, certaines dents supérieures du cheval 3.4 présentent une usure anormale de leur face occlusale. Associées à des caries (voir III.2), il est possible que l'animal ait montré des difficultés masticatoires. Les usures

¹⁷ Le râpage dentaire est une pratique de dentisterie équine ayant pour but d'égaliser les surfaces occlusales afin de diminuer les risques de blessures voire d'infections des tissus mous de la cavité buccale.

anormales non traitées peuvent en effet s'aggraver et favoriser la formation de bouchons alimentaires entre les dents irrégulières.

Ce piégeage peut conduire, à termes, à une parodontopathie (ou maladie parodontale) qui correspond à une affection des tissus au contact de la dent (par ex., la gencive). Chez le cheval 3.4, celle-ci est étendue et identifiable via les nombreuses porosités visibles à proximité des bords alvéolaires des os maxillaires et mandibulaires ainsi qu'à une résorption de ce dernier traduisant une inflammation active aussi bien des tissus mous que de l'os lui-même. En l'absence d'intervention, on ne peut alors exclure que cet animal ait souffert de ces inflammations, l'empêchant de se nourrir convenablement et de supporter un éventuel harnachement.

Enfin, l'équidé 3.4 est porteur d'une fracture dentaire localisée sur la face linguale de la M³ gauche (chapitre VII, figure 130c). Il est peu probable que cette atteinte traumatique ait été induite par un évènement extérieur (*e.g.* choc, coup porté par un autre animal) en regard de sa position linguale. L'état de santé bucco-dentaire relativement moyen de ce spécimen pourrait avoir fragilisé la dent et favorisé la survenue de cette fracture.

2. Caries.

Les caries correspondent à une destruction progressive de l'émail, de la dentine et du cément initiée par l'activité microbienne à la surface de la dent (Miles & Grigson, 2011). La perte de la substance dentaire est précédée d'un assouplissement des tissus dentaires par dissolution partielle de la substance minérale. Chez les équidés, les caries se distinguent de celles observées chez l'Homme car elles s'installent tout d'abord au niveau du cément avant de s'étendre à l'émail et la dentine. Celles-ci sont de deux sortes.

Les **caries des lacs cémentaires** (ou *infundibulum necrosis*) correspondent à une lésion occlusale généralement identifiable sur les prémolaires et les molaires supérieures (Baker, 1974). Les cas les plus avancés conduisent à une destruction de l'émail périphérique puis de la dentine. Une infection de la cavité pulpaire ou des fractures dentaires secondaires à la nécrose avancée de l'*infundibulum* sont attestées par les vétérinaires (Baker, 1974; Dixon & Dacre, 2005). Cependant, ces caries localisées semblent fréquentes au niveau de l'*infundibulum* et souvent non agressives (Dixon & Dacre, 2005). Bien que leur(s) étiologie(s) demeure(nt) encore imprécise(s), une recherche récente suppose que leur apparition est liée à un défaut

initial du remplissage du cément de certaines dents (Borkent et al., 2017). La disparition du cément peut favoriser la formation de bouchons alimentaires dans cette zone.

Ce type de carie a été observé sur les P³, P⁴, M¹ et M² du cheval 3.4. Le degré d'avancement de la destruction du cément varie d'une dent à une autre. Le lac cémentaire antérieur est totalement détruit au niveau de la M¹. La nécrose du cément des lacs antérieurs et postérieurs est marquée pour les P³ et P⁴ mais ne semble pas atteindre l'émail périphérique.

Les **caries périphériques** sont des lésions macroscopiques témoignant d'une déminéralisation des tissus calcifiés et d'une destruction des tissus organiques sur les faces non-occlusales de la couronne dentaire (Dacre, 2006). Elles conduisent principalement à la disparition du cément périphérique, les atteintes de l'émail sous-jacent et de la dentine intervenant dans les stades les plus avancés (Erridge et al., 2012). Les chercheurs s'accordent sur l'idée que les caries périphériques relèvent d'une condition complexe d'origine multifactorielle (Jackson et al., 2018) et font, de fait, l'objet de nombreux travaux de recherches vétérinaires. Une corrélation entre le développement de lésions et une alimentation riche en fourrages à forte teneur en acides ajoutés ainsi qu'un accès moindre aux pâturages a été mise en évidence dans un certain nombre de travaux (Borkent & Dixon, 2017; Erridge et al., 2012; Gere & Dixon, 2010; Jackson et al., 2018). Bien qu'inexplorée, l'hypothèse d'une prédisposition génétique est de plus émise (Jackson et al., 2018).

Les caries périphériques se développent préférentiellement au niveau des molaires (Borkent et al., 2017; Lee et al., 2019). En 2019, L. Lee et collaborateurs ont démontré que leur localisation varie entre les dents mandibulaires et maxillaires. Les atteintes de la face linguale sont prépondérantes pour les dents supérieures tandis que c'est la face buccale qui est préférentiellement lésée pour les dents inférieures (Lee et al., 2019).

Des caries périphériques ont été identifiées chez trois chevaux de la fosse CV3 (tableau 59). La localisation des anomalies observées chez l'équidé 3.3 correspond à celle établie dans la littérature vétérinaire. Les dents maxillaires (P³-M³ gauches, P²-M³ droites) exposent des atteintes sur leur face linguale, les lésions étant particulièrement développées entre les P³ et M². Les dents inférieures font montre d'anomalies aussi bien au niveau de leurs faces vestibulaire (P₄-M₃) que linguale (M₂-M₃) (figure 129b). De même, le cheval 3.10 est porteur de caries périphériques étendues de la P₃ à la M₃ droites (face vestibulaire) et de la M₂ à la M₃ (face linguale). Pour le cheval 3.5, ces atteintes ont été identifiées sur la face vestibulaire des molaires. Cependant, la répartition de ces lésions au sein de la cavité buccale n'a pas pu être appréhendée en raison de l'absence d'une majeure partie de la tête chez ces deux équidés.

Cheval	Maxillaire		Mandibule	
	Dents	Face(s) atteinte(s)	Dents	Face(s) atteinte(s)
3.3	P ³ -M ³ gauche	Linguale	P ₄ -M ₃	Vestibulaire
	P ² -M ³ droite	Linguale	M ₂ -M ₃	Linguale
3.5			M ₁ -M ₃ gauches	Vestibulaire
3.10			P ₃ -M ₃ droites	Vestibulaire
			M ₂ -M ₃ droites	Linguale

Tableau 59 : Localisation des caries périphériques chez les chevaux 3.3, 3.5 et 3.10.

Au regard des similarités relevées avec les données vétérinaires, nous pouvons admettre que le processus à l'origine des caries des chevaux tournaisiens est le même que celui établi par les vétérinaires. Leur prépondérance au niveau des dernières dents pourrait s'expliquer par le pH salivaire supposément plus faible, donc plus acide, dans cette partie de la bouche (Borkent et al., 2017 ; Erridge et al., 2012 ; Lee et al., 2019). Aucun diastème anormal n'a été identifié, l'apparition de ces caries peut ne pas être associée à la présence de bouchons alimentaires persistants dans ces zones. En revanche, nous ne pouvons dire si ces lésions sont liées à la consommation d'une alimentation riche en acides ajoutés (foin, avoine). Nous ne disposons en effet d'aucune information relative à la diète de ces spécimens.

3. Un cas de polyodontie (ou dent surnuméraire, cheval 3.1).

Le cheval 3.1 est porteur d'une P¹ gauche surnuméraire (chapitre VII, figure 127a). Cette dernière présente des dimensions moindres à celles d'une prémolaire supérieure normale. Ses proportions sont en revanche nettement supérieures à celles auxquelles on pourrait s'attendre pour une dent de loup¹⁸.

La polyodontie peut résulter d'une division d'un germe dentaire suite à une anomalie développementale ou un traumatisme (fracture, avulsion dentaire). Les dents surnuméraires interviennent de manière isolée ou simultanée, symétrique ou non (Dixon et al., 2005). La prévalence exacte de cette anomalie est difficile à estimer chez le cheval bien qu'elle semble relativement rare (Dixon et al., 1999; Quinn et al., 2005). La présence d'une ou plusieurs dents surnuméraires peut conduire à une malocclusion, des parodontopathies et des difficultés dans la mastication (Baker, 2005). De fait, les vétérinaires préfèrent généralement extraire les dents concernées afin d'éviter la survenue de ces problèmes.

¹⁸ La première prémolaire (ou dent de loup) est considérée comme vestigiale et non surnuméraire chez le cheval (Dixon et al., 2005).

Compte tenu de l'absence de toute autre anomalie dentaire chez l'individu 3.1, il est probable que la présence de cette P¹ n'ait pas particulièrement gêné l'animal que ce soit pour la mastication ou l'utilisation d'un mors.

Conclusion sur les pathologies dentaires

À l'exception du cheval 3.4, qui rassemble un certain nombre d'affections buccales et dentaires étendues, l'état de santé bucco-dentaire semblait relativement bon pour les chevaux de Tournai. L'étude paléopathologique a mis en évidence la présence de quelques anomalies dentaires que l'on retrouve fréquemment chez les équidés actuels.

L'utilisation du mors comme élément de harnachement est attestée à la période mérovingienne (Baillif-Ducros & Yvinec, 2015). La présence d'une usure en biseau sur les prémolaires des animaux découverts à Tournai pourrait indiquer que ces animaux ont été harnachés et serait ainsi un autre marqueur d'utilisation de ces spécimens, notamment comme montures, par le groupe humain.

Il est risqué de mettre les autres usures observées, les parodontopathies ainsi que les caries en relation avec l'alimentation dont ont bénéficié ces chevaux. En effet, les causes de leur apparition sont multiples et il est complexe de déterminer la ou lesquelles prévalent à Tournai. À l'avenir, des analyses isotopiques complémentaires pourraient être envisagées afin d'étayer les connaissances relatives au régime de ces équidés.

III. LES ATTEINTES DU SQUELETTE APPENDICULAIRE.

1. L'arthrose.

Les arthropathies sont fréquemment décrites par les archéozoologues notamment chez le bœuf (Bartosiewicz et al., 1997; De Cupere et al., 2000; Onar et al., 2015; Telldahl, 2012) et le cheval (Bartosiewicz & Bartosiewicz, 2002; Janeczek et al., 2014, 2017; Marković et al., 2014). Parmi celles-ci, l'arthrose se définit comme une dégénérescence chronique et non infectieuse du cartilage articulaire (O'Connor, 2008) pouvant être à l'origine de douleurs et de boiteries (Bartosiewicz & Gál, 2013). Elle s'identifie par la présence de divers stigmates osseux (Baker & Brothwell, 1980; Bartosiewicz & Gál, 2013) :

- La présence d'ostéophytes à la périphérie voire sur la surface articulaire conduisant à son remodelage ainsi qu'à son extension ;
- Des exostoses en périphérie de la zone articulaire dont le développement excessif peut immobiliser l'articulation ;
- Des rainures parallèles sur la surface articulaire induites par la libération de morceaux de cartilage et d'os dans l'espace articulaire et creusent des « sillons » lors du mouvement du membre (cas sévères) ;
- Une éburnation (= surface polie et dense) induite par le frottement répété des surfaces sous-chondrales révélées par la dégénérescence du cartilage (cas sévères).

Cheval	Articulation	Position	Sévérité
1.1	Paturon (ou inter-phalangienne proximale)	Postérieure gauche	Moyenne
1.2	Jarret	Gauche/Droit	Légère
1.4	Jarret	Gauche	Moyenne
1.6	Jarret	Gauche	Légère
3.1	Jarret	Gauche/Droit	Légère
3.3	Jarret	Gauche	Légère
3.4	Coude	Gauche	Légère
	Boulet (ou métacarpo-phalangienne)	Gauche/Droit	Légère
3.10	Grasset (ou fémoro-tibiale)	Droit	Légère

Tableau 60 : Localisation des arthroses du squelette appendiculaire chez les chevaux de Tournai.

Des arthroses légères à moyennes ont été identifiées chez 8 chevaux (tableau 60). Les membres postérieurs regroupent la majorité des atteintes arthrosiques (9 articulations sur 12) avec une prédominance des cas au niveau de l'articulation du jarret (n = 5 articulations). Dans cet échantillon, les arthroses sont majoritairement asymétriques : elles se situent soit au niveau du côté gauche (n = 5) soit, dans une moindre mesure, du côté droit (n = 1). Les atteintes symétriques, plus rares, ont été identifiées chez les chevaux 1.2, 3.1 et 3.4.

L'arthrose n'intervient pas uniquement chez les animaux exploités dans le cadre d'activités humaines. Des recherches insistent en effet sur l'origine multifactorielle de cette maladie dégénérative (Bartosiewicz & Gál, 2013; Stevanović et al., 2015) : l'âge, le sexe, la masse corporelle, la conformation anatomique de l'animal, le type d'activités pour lesquelles il a été employé, son environnement de vie ou encore de potentielles prédispositions génétiques sont autant de paramètres à considérer. Ces manifestations articulaires peuvent, de plus, être

consécutives à d'autres anomalies osseuses telles que des nécroses, des traumatismes (fracture, luxation) ou encore des maladies métaboliques (Stevanović et al., 2015) : on parle alors d'arthrose secondaire.

Chez le bœuf et le cheval, les recherches font état d'atteintes préférentielles des articulations distales des membres (Bartosiewicz et al., 1997; Bartosiewicz & Gál, 2013). Les observations menées chez les chevaux tournaisiens confirment ces études avec 7 des 9 cas identifiés au niveau du jarret (n = 5), de l'articulation métacarpo-phalangienne (n = 1) ou inter-phalangienne (n = 1). À l'image des observations effectuées en médecine vétérinaire, il n'est pas étonnant de constater une prédominance des atteintes au niveau des os du jarret (n = 5). L'éparvin (ou ostéoarthrose du jarret) est une pathologie dégénérative affectant les os du tarse et faisant partie des traces les plus relevées par les archéozoologues (Stevanović et al., 2015). Cette arthrose cause fréquemment des boiteries chez les chevaux sportifs actuels et fait l'objet de nombreuses recherches (Björnsdóttir et al., 2000; Whitton, 2014): bien que le jarret soit une articulation à mouvements limités (Platt, 1997), les os du tarse, de par leur position, sont soumis à des forces compressives et de torsion non négligeables liées notamment à la fonction de propulsion du membre postérieur (Gabel, 1980).

Utiliser l'arthrose comme marqueur d'activité peut s'avérer périlleux en raison de son origine multifactorielle. Si un impact de l'activité pratiquée par l'animal est possible, d'autres paramètres doivent être pris en compte (Bartosiewicz & Gál, 2013 ; O'Connor, 2008).

Aucune des lésions relevées chez les chevaux de Tournai n'est associée à un traumatisme sévère du squelette appendiculaire (fracture, luxation) ou toute autre affection ayant conduit à leur développement (maladie métabolique, nécrose). Ceci nous permet, dans un premier temps, d'exclure l'hypothèse d'une arthrose secondaire quel que soit l'équidé considéré.

Nombre d'études précisent la nécessité de considérer la longévité de l'animal. L'âge moyen des chevaux tournaisiens se situe aux alentours de 10 ans. Les arthroses ont été identifiées uniquement chez des animaux adultes âgés de 6 à 15 ans (chevaux 3.3, 1.1, 1.2, 3.1, 3.4, 3.10, cf. chapitre VII). Sachant que l'espérance de vie d'un équidé peut atteindre 30 ans, il est admis que les individus associés à la tombe de Childéric I^{er} étaient en pleine force de l'âge au moment de leur décès. Les lésions relevées ne sont pas particulièrement sévères en regard du type d'atteintes (ostéophyte, déformation de la surface articulaire) et de leur étendue au sein de l'articulation (tableau 60). Ainsi, il est possible d'émettre l'hypothèse que les arthroses dégénératives relevées sont au stade précoce de leur développement. En revanche, la cause précise de leur apparition est difficilement identifiable.

2. L'ossification du *ligamentum interosseum* des métapodiens.

La méthode établie par R. Bendrey en 2007 a été utilisée pour évaluer le degré d'ossification du *ligamentum interosseum* entre les métapodiens chez les chevaux du quartier Saint-Brice (pour de plus amples détails, voir le chapitre II). La zone d'insertion du *ligamentum interosseum* est considérée comme non enregistrable lorsque le métapodien III ou II/IV correspondant manque. L'absence des métapodiens exclut les chevaux 2.1, 2.2 et 2.3 de l'analyse. De même, les animaux de moins de 5 ans ne sont pas pris en compte (poulains 3.6, 3.7, 3.8, 3.9). Les résultats de ces cotations pour les 14 spécimens retenus sont présentés dans le tableau 61. Le tableau 62 montre le dénombrement des stades de cotation en fonction de la position de la zone d'insertion ainsi que leurs fréquences.

Les enthèses exemptes de modifications sont majoritaires en rassemblant 84,3% des cotations (n = 57, tableau 62). La majeure partie des ossifications ont été enregistrées au niveau des métacarpiens (n = 13) alors que les métatarsiens font montre d'une seule insertion modifiée (tableau 62). Le stade 1 est très minoritaire avec seulement quatre zones d'insertion concernées (soit 5,6%, stades 1a et 1b confondus). Cinq chevaux sont porteurs d'une fusion d'un ou des métapodiens vestigiaux avec le métapodien principal (tableau 61 : spécimens 1.2, 3.1, 3.2, 3.3, 3.4). Dix insertions présentent une ossification ayant conduit à une ankylose (soit 14,1% de stades 2 attribués), toutes localisées au niveau des métacarpiens. Seule une insertion du *ligamentum interosseum* entre les métatarsiens III et IV arbore une ostéoformation et s'est vue attribuer le stade 1b. Aucune asymétrie nette entre, d'une part, les côtés gauche et droit et, d'autre part, les insertions médiale et latérale n'a été mise en évidence (tableau 62).

L'ossification du *ligamentum interosseum* entre les métapodiens est fréquemment relevée sur des restes d'équidés provenant de contextes archéologiques (Bendrey, 2007b) et a longtemps été interprétée comme un marqueur d'utilisation de ces animaux. Cependant, une recherche menée par R. Bendrey en 2007 sur 10 chevaux de Przewalski du zoo de Prague a démontré que l'apparition de cette ossification corrèle d'une part avec l'âge des équidés et, d'autre part, avec des contraintes fonctionnelles liées au port de la masse corporelle du cheval (cf. chapitre II).

Cheval	Métacarpe gauche		Métacarpe droit		Métatarse gauche		Métatarse droit	
	Latéral	Médial	Latéral	Médial	Latéral	Médial	Latéral	Médial
1.1								
1.2		2		2				
1.3								
1.4							1b	
1.5	1b							
1.6								
1.7				1b				
2.4								
3.1	2	1a	2	2				
3.2	2		2					
3.3		2		2				
3.4				2				
3.5								
3.10								

Tableau 61 : Répartition des stades de cotation du *ligamentum interosseum* des métapodiens chez les chevaux de Tournai.

Stade	Métacarpe gauche		Métacarpe droit		Métatarse gauche		Métatarse droit		Total	
	Latéral	Médial	Latéral	Médial	Latéral	Médial	Latéral	Médial	<i>n</i>	%
0	6	5	5	3	11	10	8	9	57	80,3%
1a	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1,4%
1b	1	0	0	1	0	0	1	0	3	4,2%
1c	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0%
2	2	2	2	4	0	0	0	0	10	14,1%

Tableau 62 : Fréquences d'attribution des stades de cotation du *ligamentum interosseum* en fonction de la position des métapodiens.

Les spécimens de Tournai révèlent des résultats similaires à ceux de R. Bendrey en 2007. Les métacarpiens rassemblent bon nombre des altérations dont la totalité des ankyloses répertoriées. Un unique cas d'ossification du *ligamentum interosseum* (sans fusion) est porté par le métatarsien (cheval 1.4, insertion latérale droite ; tableau 61). La prédominance de cette ossification en position antérieure peut être mise en lien avec l'idée que les 2/3 de la masse corporelle sont supportés par les membres antérieurs chez les mammifères quadrupèdes (Barone, 2000a) impliquant des stress biomécaniques accrus dans cette partie du squelette.

La corrélation avec l'âge est plus nuancée. La sous-représentation du stade 1 chez les chevaux de Childéric I^{er} peut surprendre en regard du nombre « important » de fusions entre métapodiens (score 2, tableaux 61 et 62). Chez les chevaux de Przewalski, le score 1 est très majoritaire chez les animaux âgés de 8 à 16 ans alors que les ankyloses prédominent chez les chevaux de plus de 20 ans (Bendrey, 2007b). À Tournai, les équidés présentant des ankyloses de leurs métapodiens sont âgés de 6-7 ans (cheval 3.3) à 13-15 ans (cheval 3.4). À la différence de l'échantillon de R. Bendrey, 41 insertions n'ont pu être enregistrées ce qui constitue un biais non négligeable empêchant d'estimer la réelle répartition des ossifications du *ligamentum interosseum* pour les chevaux de Tournai. Ceci pourrait de même expliquer la sous-représentation du stade 1.

Au contraire des chevaux de Przewalski du zoo de Prague, la présence d'une fréquence importante d'ankyloses de ce ligament chez les chevaux tournaisiens, âgés de moins de 20 ans, pourrait indiquer l'intervention de facteurs autres que l'âge au décès. Rappelons que l'apparition de modifications des zones d'insertions tendineuses et ligamentaires est d'origine multifactorielle (cf. chapitre I : conditions de vie, lésions traumatiques, etc...). Cependant, nous ne pouvons préciser davantage les paramètres impliqués dans l'ossification du *ligamentum interosseum* des métapodiens chez les animaux tournaisiens en raison du manque de recherches postérieures à la publication de R. Bendrey à ce sujet (Bendrey, 2007b). Quels sont ces paramètres ? Les tendances observées chez les chevaux tournaisiens peuvent-elles être en partie mises en lien avec leurs conditions de vie voire leur(s) fonction(s) ?

3. De rares exostoses du squelette appendiculaire.

Les quelques exostoses observées dans cette population sont toutes portées par le cheval 1.5 (tableau 63 ; chapitre VII, figures 120g et e).

Cheval	Os	Localisation
1.5	Pisiforme droit	Face médiale
	Métatarsien III gauche	Insertions du ligament collatéral métacarpo-phalangien latéral
	Phalange proximale postérieure gauche	

Tableau 63 : Localisation des exostoses identifiées chez le cheval 1.5.

Une exostose développée a été relevée sur la face médiale de l'os pisiforme droit (chapitre VII, figure 120e), zone d'insertion commune des ligaments pisi-crochu et pisi-métacarpien (Barone, 2000b). Sa forme incurvée, d'aspects lisse et plan, laisse penser que son développement a été limité en médial. L'os pisiforme constitue en partie le canal carpien qui voit passer la gaine tendineuse contenant les tendons des muscles *flexor digitorum superficialis* et *flexor digitorum profundus* (figure 148 d'après Denoix, 2019 ; Barone, 2000b). Il semble que cette structure ait contraint médialement cette ostéo-formation ce qui expliquerait ainsi son aspect particulier. La cause précise de cette lésion nous est en revanche inconnue. Limitée au pisiforme droit, il est possible de supposer une éventuelle atteinte des ligaments cités précédemment. Il n'est pas exclu que cette manifestation osseuse ait été à l'origine de douleurs pour le cheval 1.5.

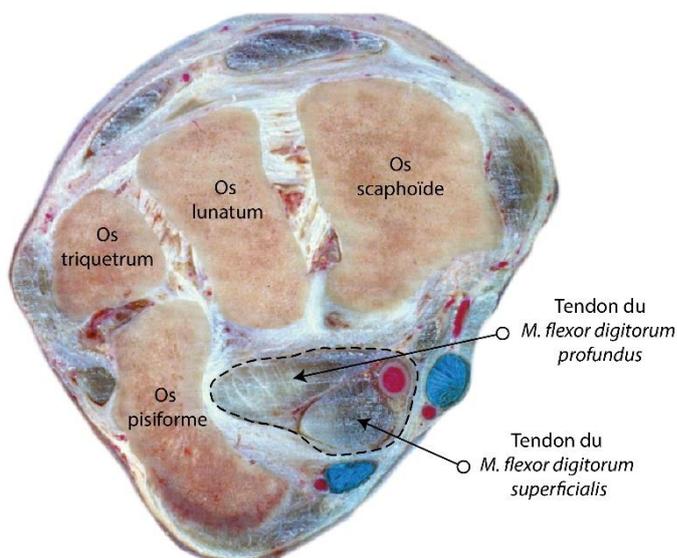


Figure 148 : Coupe transversale de la rangée proximale du carpe (cliché retouché à partir de Denoix, 2019, p. 72).

Les formations osseuses identifiées sur le membre antérieur gauche sont moins exubérantes. Accompagnées de microporosités, elles rendent la surface osseuse irrégulière et se limitent à l'emplacement de l'insertion du ligament collatéral métacarpo-phalangien latéral

(chapitre VII, figure 120g). Ces exostoses n'ont pas été observées sur le métacarpien ainsi que la phalange antérieure proximale droits. Cette asymétrie nous laisse penser que ces exostoses font suite à un évènement localisé ayant probablement conduit à une sollicitation anormale du ligament. En revanche, le caractère aspécifique de ces productions osseuses empêche d'établir les causes de leur apparition.

IV. LES ATTEINTES TRAUMATIQUES

Cheval	Os	Type
1.5	17 ^{ème} côte gauche	Fracture simple
3.9	18 ^{ème} côte droite	Fracture simple
3.3	Métatarsien III droit	Hématome

Tableau 64 : Localisation et type des atteintes traumatiques non vertébrales identifiées chez les chevaux de Tournai.

Trois atteintes traumatiques ont été identifiées (tableau 64).

Deux fractures simples des dernières côtes ont été relevées chez les individus 1.5 et 3.9. La côte gauche n°17 du cheval 1.5 est porteuse d'une fracture simple localisée dans le tiers proximal du corps costal (*corpus costae*). La présence d'un cal osseux, qui correspond à un épaissement de la zone traumatisée, indique une fracture réduite intervenue bien avant le décès de ce cheval. En revanche, la fracture observée sur la 18^{ème} côte droite du poulain 3.9 est non réduite. Les extrémités des deux fragments costaux, non « fusionnés », présentent des réactions périostées de part et d'autre de la ligne de fracturation. Ces dernières ont un aspect poreux, des bords irréguliers et sont plus importantes sur la face interne de la côte. L'ensemble de ces éléments indique que cette fracture, probablement bien plus récente que pour le cheval 1.5, était en cours de cicatrisation au moment du décès du jeune animal.

Une fracture correspond à une rupture de l'os face à un stress physique important auquel il ne peut répondre (Baker & Brothwell, 1980; Bartosiewicz, 2008). Ce type d'atteinte peut faire suite à un évènement traumatique soudain (fracture aigüe), une accumulation de contraintes répétées (fracture de fatigue) ou à un affaiblissement de l'os lié à une maladie (fracture pathologique) (Bartosiewicz & Gál, 2013, p. 47). Chez le cheval adulte, une chute ou un choc localisé (*e.g.* coup porté par un autre animal, objet) peuvent être à l'origine de fractures costales qui, selon leur localisation et leur grièveté, peuvent perforer le poumon et la cavité pleurale

(Hassel, 2007). Chez le poulain, des complications intervenues au cours du poulinage semblent être une cause fréquente de traumatismes de la cage thoracique, notamment entre les 3^{ème} et 8^{ème} côtes (Schambourg et al., 2003). En l'absence de prise en charge, ceux-ci sont potentiellement mortels pour le jeune animal (Hassel, 2007).

Il est complexe d'identifier une cause précise des fractures observées chez les chevaux tournaisiens. Pour le cheval 1.5, cette dernière peut résulter aussi bien d'une chute que d'un choc porté dans cette zone. La fracture identifiée chez le poulain 3.9 était en cours de cicatrisation, indiquant une apparition probable peu de temps avant sa mort. Âgé de 2 ans, l'hypothèse d'une lésion traumatique intervenue au moment de sa naissance peut être écartée. Une chute ou un coup peuvent, tout comme pour le spécimen 1.5, être à l'origine de cette anomalie.

Le métatarsien III droit de l'équidé 3.3 est porteur d'un hématome ossifié sur la face latérale de sa diaphyse (partie distale, figure 129g, chapitre VII). Ce type de lésion sur les métapodiens est courant chez le cheval et porte le nom de « suros » (Putelat et al., 2017). Celui-ci fait généralement suite à un coup ou un choc localisé provoquant un saignement sous-périosté. Lors de la cicatrisation, l'hématome est complété par de l'os néoformé régulier modifiant la densité et les contours de l'os cortical (Bartosiewicz & Gál, 2013).

Synthèse des atteintes traumatiques

La paléotraumatologie peut être particulièrement informative sur les soins prodigués aux cheptels, les maltraitances ou encore leur mise à mort (Bartosiewicz & Gál, 2008, 2013). Les atteintes traumatiques identifiées chez les chevaux de Tournai sont peu nombreuses et localisées. Il est peu probable qu'elles aient été à l'origine du décès de ces trois animaux. La fracture costale consolidée du cheval 1.5 et l'hématome ossifié du cheval 3.3 présentent un aspect non réactif, un degré de cicatrisation avancé indiquant que ces animaux ont survécu à leur survenue et que ces lésions sont intervenues longtemps avant leur décès. De même, si la fracture costale du poulain 3.9 est non cicatrisée, la présence de réactions périostées témoigne d'un processus de cicatrisation actif au moment du décès et que le traumatisme est intervenu avant la mort du jeune animal. Ces atteintes traumatiques relèvent davantage d'évènements accidentels et localisés pouvant tout aussi bien être liés à une chute de l'animal qu'à des coups portés par les autres animaux du cheptel (conflits intra-spécifiques) ou par lui-même (cas de l'hématome ossifié sur le métatarsien III).

Aucune lésion traumatique potentiellement liée au sacrifice de ces chevaux n'a été enregistrée. Les traumatismes témoignant d'une mise à mort se distinguent des lésions décrites précédemment par l'absence de cicatrisation. Ces traces *peri-mortem* se situeraient préférentiellement au niveau du crâne et des premières vertèbres cervicales (Bartosiewicz & Gál, 2013, p. 87). Bien que nombre des crânes des équidés de Tournai soient fragmentés ou incomplets, les quelques têtes bien préservées ne portent aucune trace de mise à mort. Il en est de même pour les vertèbres cervicales. Cependant, l'absence de trace ne signifie pas qu'un sacrifice n'a pas eu lieu. Ce dernier peut, par exemple, prendre la forme d'un égorgement et n'avoir laissé aucun indice décelable sur le squelette. Ainsi, l'hypothèse selon laquelle ces chevaux auraient été sacrifiés à l'occasion des funérailles du roi Childéric I^{er} (Brulet, 1991) ne peut être exclue sur l'absence seule de stigmates osseux associés à leur mise à mort.

V. LES RÉACTIONS PÉRIOSTÉES LOCALISÉES.

Les réactions périostées sont des formations osseuses visibles à l'œil nu témoignant d'un processus d'ostéogenèse réactionnelle provoqué par une stimulation anormale du périoste (Lé et al., 2006). Elles revêtent la forme d'une couche d'os néoformé induite par l'activité des ostéoblastes du périoste. Bien qu'elles soient parmi les anomalies le plus couramment répertoriées en contexte archéologique (Weston, 2012), l'apparition de réactions périostées peut être multifactorielle constituant ainsi une difficulté dans leur diagnostic différentiel (Davies-Barrett et al., 2019). Elles peuvent être associées à des maladies infectieuses (*e.g.* tuberculose, tréponématoses), un traumatisme (fracture, coup, coupure), une hémorragie ou encore une néoplasie (Weston, 2012).

De telles lésions ont été identifiées sur les côtes, les vertèbres (atlas, thoraciques et sacrum) et l'os coxal de deux chevaux découverts sur les sites de Viable Farms et de Downlands dans le sud de l'Angleterre (Bendrey et al., 2008). Leur localisation au sein du squelette a permis aux auteurs d'émettre l'hypothèse que ces dépôts sous-périostés résultaient d'une infection bactérienne systémique. Différents pathogènes pouvant être à l'origine de lésions similaires chez les animaux (Lignereux & Peters, 1997), leur caractère non-spécifique n'a cependant pas

permis de déterminer avec précisions quel était l'agent bactérien en cause (*Arcanobacterium pyogenes*, *Mycobacterium bovis*, *Brucella abortus* ou *Aspergillus* sp.)¹⁹.

Cheval	Os	Étendue
1.1	Métatarsien III gauche	Locale
1.5	10 ^{ème} vertèbre thoracique	Locale
3.9	18 ^{ème} côte droite	Locale

Tableau 65 : Localisation et étendue des réactions périostées identifiées chez les chevaux de Tournai.

Les réactions périostées enregistrées chez trois chevaux tournaisiens se distinguent de celles observées par R. Bendrey et collaborateurs (2008) par leur caractère localisé (tableau 65). Pour le cheval 3.9, cette anomalie est clairement associée à une fracture non réduite de la 18^{ème} côte droite et atteste que le traumatisme l'ayant induit est antérieur à la mort du poulain (cf. chapitre VII). Chez le cheval 1.1, la petite plage d'appositions périostées se limite au tiers distal de la diaphyse du métatarsien III gauche (face médiale). L'extrémité des membres présente une masse musculaire faible et comporte essentiellement des tendons ainsi que des ligaments. Cette zone est de fait particulièrement vulnérable à d'éventuelles blessures. Bien qu'aucune cause précise ne puisse être déterminée, le caractère non diffus, asymétrique des réactions périostées observées chez cet animal permet d'émettre l'hypothèse qu'elles font suite à un évènement traumatique *ante-mortem* localisé dans cette partie du métatarsien (coup, blessure ouverte ayant conduit à une infection des tissus mous périphériques puis extension à l'os, *etc...*). Les réactions périostées relevées chez le cheval 1.5 sont réparties de manière symétrique de part et d'autre du tiers proximal du processus épineux de la 10^{ème} vertèbre thoracique mais présentent en revanche des degrés de cicatrisation divers. Tout comme les cas décrits précédemment, il est fort probable qu'elles soient le résultat d'un phénomène localisé bien qu'il nous soit difficile d'en identifier précisément la cause.

¹⁹ Des analyses biomoléculaires ont été effectuées par R. Bendrey et ses collaborateurs afin de préciser leur diagnostic. Cependant, aucun pathogène n'a pu être clairement identifié en raison d'une mauvaise conservation de l'ADN (Bendrey et al., 2008).

CHAPITRE X

OSTÉOBIOGRAPHIE DES CHEVAUX TOURNAISIENS

Discussion

I. DES CHEVAUX EN BONNE SANTÉ ?

L'examen paléopathologique révèle que les chevaux de Tournai sont porteurs de pathologies osseuses (spondyloses, conflits des processus épineux, arthrose) et orales (caries, usures anormales, parodontopathie) similaires à celles observées actuellement en médecine vétérinaire. Bien que les conditions de vie des populations équines se soient métamorphosées au cours des siècles, nos investigations démontrent une persistance de ces affections aussi bien dans les groupes historiques que modernes.

Les chevaux de Tournai, âgés pour la plupart de moins de 15 ans, étaient en pleine force de l'âge au moment du décès. La majeure partie des atteintes squelettiques ont été enregistrées chez les chevaux adultes (cf. chapitre VII). L'individu 3.9, âgé de deux ans, est le seul poulain porteur d'une pathologie (fracture costale non réduite, chapitre VII, figure 135). Il serait tentant d'en déduire que les jeunes spécimens étaient en meilleure santé. Cependant, il ne faut pas omettre que les squelettes des spécimens immatures sont moins bien préservés que ceux des adultes (fragmentation, mauvais état de surface, pièces manquantes). Cet écueil taphonomique empêche de fait une appréciation réelle de l'état sanitaire des jeunes animaux tournaisiens.

À l'exception de quelques cas d'ankyloses vertébrales, aucun équidé ne présente de lésion sévère. Les atteintes traumatiques observées relèvent, selon nous, d'évènements accidentels et localisés. Les anomalies dentaires telles que les usures anormales ou les caries sont généralement mises en lien avec l'alimentation dont a bénéficié le cheptel. Cependant, les recherches récentes menées par les vétérinaires attestent de l'étiologie multifactorielle de ces manifestations dentaires. Nous l'avons vu dans le chapitre IX, en l'absence d'analyses complémentaires (isotopes, micro-usures), ces dernières ne peuvent donc pas nous informer sur la diète des chevaux de Tournai.

Il est possible que les lésions osseuses identifiées aient engendré des douleurs, gênes pour les chevaux (*e.g.* spondyloses, parodontopathies, exostoses). S'il est difficile de statuer sur leur intensité, il est peu probable qu'elles aient entraîné un handicap tel que l'animal devienne inutilisable. Rien n'indique, de plus, que les anomalies relevées soient la cause de leur décès.

II. DES CHEVAUX SACRIFIÉS ?

Les squelettes de ces équidés ont été mis au jour en connexion anatomique et complets ce qui permet, dans un premier temps, d'exclure l'hypothèse d'une mise à mort à des fins alimentaires. L'examen paléopathologique, qui complète l'analyse archéozoologique des années 90, n'a mis en évidence aucune trace d'abattage ou de découpe.

Une autre hypothèse pouvant expliquer le dépôt d'un certain nombre d'équidés complets serait une mortalité liée à une épizootie. En 2017, A. Roman-Binois définit ce terme comme « le développement et la propagation rapide d'une maladie dans une population animale donnée, frappant brutalement une région définie sur une période de temps limitée » (Roman-Binois, 2017, p. 20). Ces épisodes laissent généralement peu d'indices osseux et font l'objet de rares mentions dans les textes historiques rendant leur identification difficile en contexte archéologique (Renou et al., 2013; Roman-Binois, 2017). Les découvertes de Tournai rassemblent les trois critères établis par A. Roman-Binois dans son travail de thèse et qui pourraient orienter nos interprétations vers un dépôt lié à un phénomène épizootique à savoir (1) la simultanéité des dépôts et de l'enfouissement, (2) une population composée d'une seule espèce animale et (3) qui comporte un nombre conséquent d'individus concernés (plus de 3) (Roman-Binois, 2017, p. 108-109). Cependant, ces seuls paramètres ne suffisent pas et d'autres arguments viennent contredire l'hypothèse d'une mortalité de crise liée à une épizootie.

Tout d'abord, c'est la composition de la population qui retient l'attention. Il semble qu'il y ait eu une sélection en fonction du sexe (des mâles seuls) et de l'âge (exclusion des poulains de moins de 1 an et des chevaux très âgés). Or, on s'attendrait à ce que l'ensemble du cheptel soit atteint en cas d'épidémie sauf cas où celui-ci comporte uniquement des mâles à un moment t (par exemple, un groupe de cavalerie).

Les structures elles-mêmes sont à considérer. On note une certaine gestion de l'espace dans les fosses 1 et 3 malgré une orientation non préférentielle des corps (Brulet, 1991). En revanche,

la fosse 2 a révélé des chevaux alignés regardant vers l'emplacement supposé de la tombe de Childéric I^{er} dénotant du soin apporté à leur inhumation. De plus, ces fosses, creusées dans la roche, sont peu profondes ce qui contrasterait avec un enfouissement visant à gérer une mortalité de crise et d'éviter une éventuelle contagion. Enfin, leur agencement à distance équivalente de la tombe royale laisse supposer leur association à cette dernière. Ainsi, il s'agit ici d'un faisceau d'arguments venant contredire l'hypothèse d'une mortalité épidémique.

L'idée d'un sacrifice à l'occasion des funérailles de Childéric I^{er} est la plus probable. Les datations effectuées en 1987 confirment l'appartenance des tombes équinés à la première moitié de la période mérovingienne ce qui permet aux archéologues de suggérer une possible contemporanéité de la mort de ces animaux avec l'inhumation du roi en 481-482 AD (Gilot, 1987 ; Brulet, 1991). Bien qu'aucun indice de mise à mort n'ait été mis en évidence au cours de nos investigations, cette absence ne signifie pas que les chevaux tournaisiens n'ont pas été sacrifiés. En effet, certaines pratiques, telles que l'égorgement, la saignée ou l'affamement, peuvent ne pas laisser de traces osseuses. Nombre de ces équidés sont anatomiquement complets indiquant que ces derniers ont été inhumés simultanément et peu de temps après leur décès. Le dépôt de chevaux au cours de cérémonies funéraires se développe à partir de la moitié du V^{ème} siècle à l'est du Rhin (Müller, 1985; Müller-Wille & Vierck, 1972; Oexle, 1984). De fait, la pratique observée à Tournai n'est pas une exception. Le sacrifice d'un nombre important d'individus (ici, au moins 21 !) a sans aucun doute eu un impact économique non négligeable mais traduit en partie le caractère fastueux du rituel funéraire entourant la mort du roi Childéric I^{er} (Brulet, 1990, 1991).

III. DES CHEVAUX UTILISÉS COMME MONTURES ?

Les chercheurs ont émis l'hypothèse que les chevaux sacrifiés à l'occasion des funérailles de Childéric I^{er} provenaient des écuries personnelles du roi (Brulet, 1990, 1991). Dans les premiers rapports, ces équidés sont qualifiés à quelques reprises de « montures de guerre » ou de « montures de combat » (Brulet, 1991 : p. 34 et p. 192). Cependant, la fonction de ces chevaux n'a pas été vérifiée en regard des pathologies osseuses et dentaires relevées dans cette population. Rappelons qu'aucun élément de harnachement n'a été découvert en association avec ces chevaux.

1. Les changements enthésiques.

a. Remarques liées à l'échantillon.

Les chevaux associés à la sépulture de Childéric sont les premiers spécimens archéologiques à bénéficier d'une étude des changements enthésiques à partir de la méthode de cotation établie dans le cadre de cette thèse (cf. chapitre III). Ces équidés, tout comme nos référentiels modernes, sont bien porteurs d'atteintes localisées au niveau des zones d'insertion tendineuses et ligamentaires (figure 149). De fait, notre étude prouve que l'utilisation de notre approche basée sur les changements enthésiques ne se limite pas uniquement à l'analyse de spécimens modernes et qu'elle est applicable sur des restes équins issus de contextes archéologiques.

Ces chevaux étaient répartis dans trois fosses découvertes au cours des fouilles du quartier Saint-Brice de Tournai entre 1983 et 1986 (Brulet, 1990, 1991). Bien que les datations ne permettent pas d'établir si ces structures résultent d'un évènement unique, elles laissent penser que leur creusement est bien contemporain du décès de Childéric I^{er} (Gilot, 1987). L'ensemble de ces éléments permet de supposer que ces animaux étaient issus d'une même population équine et donc d'en déduire :

- Qu'ils ont été exposés à des conditions de vie similaires ;
- La présence d'une homogénéité génétique (limitation de potentielles variations inter-individuelles).

Contrairement aux individus composant nos échantillons de référence, nous sommes confrontés aux biais inhérents à l'étude d'une collection archéozoologique. Les chevaux de Tournai ont subi l'intervention de processus *post-mortem* qui, pour certains spécimens, ont impacté l'état de surface des pièces osseuses, voire leur persistance au sein de l'assemblage (annexes 21 et 22), empêchant l'enregistrement de certaines enthèses (stades NE et ABS).

Sur les 21 spécimens composant la collection, seuls 11 ont été retenus selon des critères de maturité squelettique (exclusion des poulains) et de conservation des restes (états de surface, représentation squelettique). Dans une recherche publiée en 2016 visant à évaluer notamment l'impact de la taille des échantillons étudiés sur l'obtention de résultats, C.Y. Henderson et E. Nikita remarquent que les fréquences de changements enthésiques peuvent être exagérées lorsque l'analyse est portée sur un ensemble fossile de taille réduite (Henderson & Nikita,

2016b). De fait, la réduction de près de moitié du nombre d'individus tournaisiens étudiés introduit un biais d'échantillonnage qu'il convient de ne pas omettre.

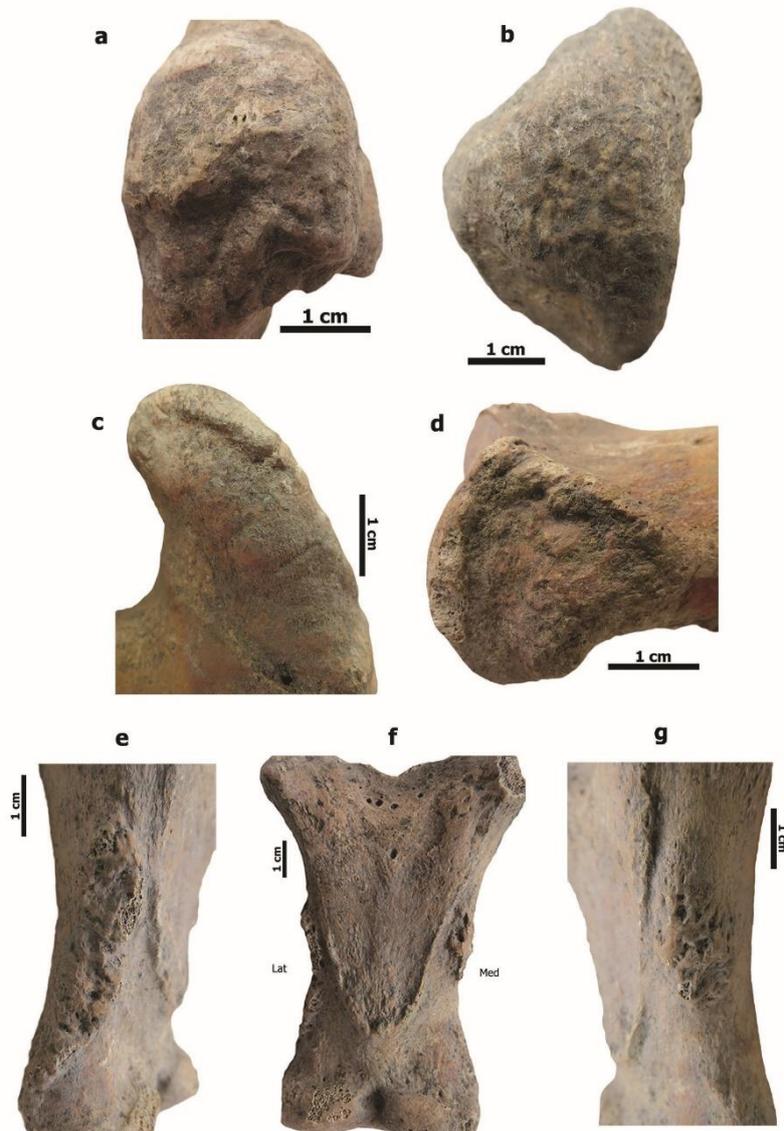


Figure 149 : Exemples d'enthèses modifiées observées chez les chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai.

- a : formation osseuse relevée au centre de l'origine du *M. biceps brachii* (stade B, scapula droite, vue ventrale, cheval 1.5) ;
- b : insertion du *M. triceps brachii* arborant une surface irrégulière (stade B, ulna droite, cheval 1.5) ;
- c : formation osseuse relevée sur le bord de l'insertion des *Mm. flexor digitorum superficialis/profundus* (stade B, humérus gauche, cheval 1.2) ;
- d : ostéoformation observée sur le bord de l'origine du ligament collatéral de l'articulation interphalangienne proximale (stade C, phalange postérieure gauche, vue latérale, cheval 1.1) ;
- e : formations osseuses fortement développées occupant la totalité de l'insertion du ligament palmaire (stade C, phalange proximale antérieure gauche, vue latérale, cheval 3.4) ;
- f : la quasi-totalité de l'insertion du ligament sésamoïdien distal oblique est visible sous forme de crête saillante (stade C, phalange proximale antérieure gauche, vue palmaire, cheval 3.4) ;
- g : l'insertion du ligament palmaire se distingue nettement de la surface osseuse via la présence de formations osseuses importantes (stade C, phalange proximale antérieure gauche, vue médiale, cheval 3.4).

b. Des paramètres non liés à l'activité sont-ils impliqués ?

Bien que l'étude des changements enthésiques puisse fournir des indices quant à l'implication ou non d'un équidé dans une activité particulière, nous avons démontré dans les chapitres V et VI que cette dernière n'est pas l'unique étiologie expliquant la présence d'altérations au niveau des zones d'insertion tendineuses et ligamentaires chez les équidés. On pourrait donc s'attendre à ce que ces facteurs s'expriment aussi chez les chevaux de Tournai.

Le paramètre « âge au décès » est considéré comme l'une des étiologies les plus fréquemment impliquées dans le développement de modifications enthésiques (Villotte & Knüsel, 2013) et les équidés ne font pas exception (Bendrey, 2007; Bindé et al., 2019; Taylor et al., 2015; chapitres V et VI de cette thèse). Si le facteur âge peut avoir un impact non négligeable, celui-ci a révélé des résultats « significatifs » uniquement pour les enthèses fibreuses des chevaux tournaisiens : les fréquences d'insertions modifiées sont accrues chez les chevaux de plus de 10 ans en comparaison aux équidés plus jeunes.

L'absence de différence pour les enthèses fibrocartilagineuses à Tournai ne signifie pas nécessairement que le paramètre « âge au décès » n'a aucune influence sur la formation de lésions à leur surface. En effet, les investigations menées sur des équidés modernes ont démontré que ce type d'enthèses n'est pas épargné par les processus liés à l'âge (cf. chapitre V.II.a ; chapitre VI.I.a). L'âge moyen des chevaux tournaisiens se situe aux alentours de 10 ans : les animaux de moins de 15 ans sont majoritaires tandis que ceux dépassant cet âge sont nettement sous-représentés (cheval 1.5, 16-17 ans). En revanche, les échantillons de références comportent de nombreux individus de plus de 15 ans. Outre les écueils discutés plus tôt liés à l'état de conservation de cet ensemble fossile, le fait que les chevaux de Tournai soient plutôt « jeunes » pourrait expliquer en partie la faible représentation des atteintes enthésiques dans cette population.

Les proportions corporelles (hauteur au garrot, masse corporelle) sont d'autres paramètres mis en cause. Dans les chapitres V et VI, il a été mis en évidence que nombre d'insertions tendineuses et ligamentaires présentaient des fréquences accrues de modifications enthésiques chez les équidés arborant une stature et/ou une masse corporelle élevée(s). Le cheval mérovingien belge est caractérisé par sa gracilité, sa grande taille (Brulet, 1991; Gabriel et al., 1995) et une masse corporelle d'environ 387 kg en moyenne pour les chevaux adultes (cf. chapitre VII). Des analyses morphométriques ont permis de préciser l'aspect de ces animaux et ont démontré leur proximité avec le cheval de race mongole et le cheval arabe

(Gabriel et al., 1995; Hanot et al., 2020). Cette promiscuité morphologique pourrait en partie expliquer les similarités observées dans les atteintes enthésiques entre les chevaux archéologiques et les catégories « Sans activité », composée essentiellement de chevaux de Przewalski, et « Monte » de nos référentiels.

Les chevaux de sexe déterminé sont tous des mâles. En revanche, la vérification de la présence de spécimens entiers et châtrés s'est avérée impossible (Boessneck, 1987). Pratique attestée depuis l'Antiquité, la castration peut avoir des conséquences morphologiques plus ou moins importantes selon l'âge auquel elle est réalisée (Barone, 2000a; Lacoste, 1851). N'ayant pu évaluer son impact sur la prévalence des changements enthésiques à l'aide de nos référentiels et identifier de potentiels castrats à Tournai, on ne peut éprouver l'intervention de ce facteur dans nos résultats.

En l'absence d'informations ayant trait à l'environnement dans lequel ont évolué les chevaux de Tournai, l'influence de ce paramètre n'a pu être vérifiée.

c. Identification de la fonction des chevaux de Tournai.

i. Enthèses fibreuses.

L'étude des enthèses fibreuses indique que les chevaux associés à Childéric n'auraient pas été employés pour la traction. Ils se distinguent en effet des équidés de trait modernes composant nos référentiels avec une prévalence de changements enthésiques bien moindre (stades B et C, chapitre VIII, figure 140). La répartition des stades de cotation ainsi que le test U de Mann-Whitney rapprocheraient les spécimens archéologiques des équidés non employés dans le cadre d'activités humaines (catégorie « Sans activité »).

Chez les chevaux du quartier Saint-Brice, les **ligaments palmaires** et **plantaires** arborent une prévalence de changements enthésiques importante (figure 150 ; chapitre VIII, tableau 43). Ceux-ci participent au soutènement du scutum moyen et complète l'action du tendon du *M. flexor digitorum superficialis* qui permet la flexion de la phalange intermédiaire sur la phalange proximale (Barone, 2000b ; annexe 4). De fait, on pourrait en déduire que ces structures étaient sur-sollicitées chez ces spécimens favorisant ainsi le développement de modifications. Cependant, il est possible que des paramètres autres que la pratique ou non d'une activité puissent expliquer les tendances observées (chapitres V et VI). Rappelons que les

ligaments palmaires et plantaires étaient associés à une prévalence importante d'insertions modifiées quel que soit le paramètre testé (âge au décès, sexe, environnement, hauteur au garrot, masse corporelle et activité) ce qui questionne leur fiabilité pour contribuer à l'identification de la fonction d'un animal (voir chapitre V). Il n'est donc pas surprenant d'observer une telle distribution des stades de cotation à Tournai.

Dans le chapitre V, les ligaments palmaires ont révélé des résultats significatifs dans le cadre de l'analyse de l'influence du ratio « Masse/Taille » sur l'apparition d'altérations (test de Kruskal-Wallis), la sévérité des atteintes enthésiques étant accrue chez les équidés associés à un ratio élevé (chapitre V, figure 73). En plus d'indiquer un potentiel impact des proportions corporelles sur le développement de changements enthésiques, ceci fournit un argument supplémentaire en faveur d'une origine multifactorielle de leur apparition.

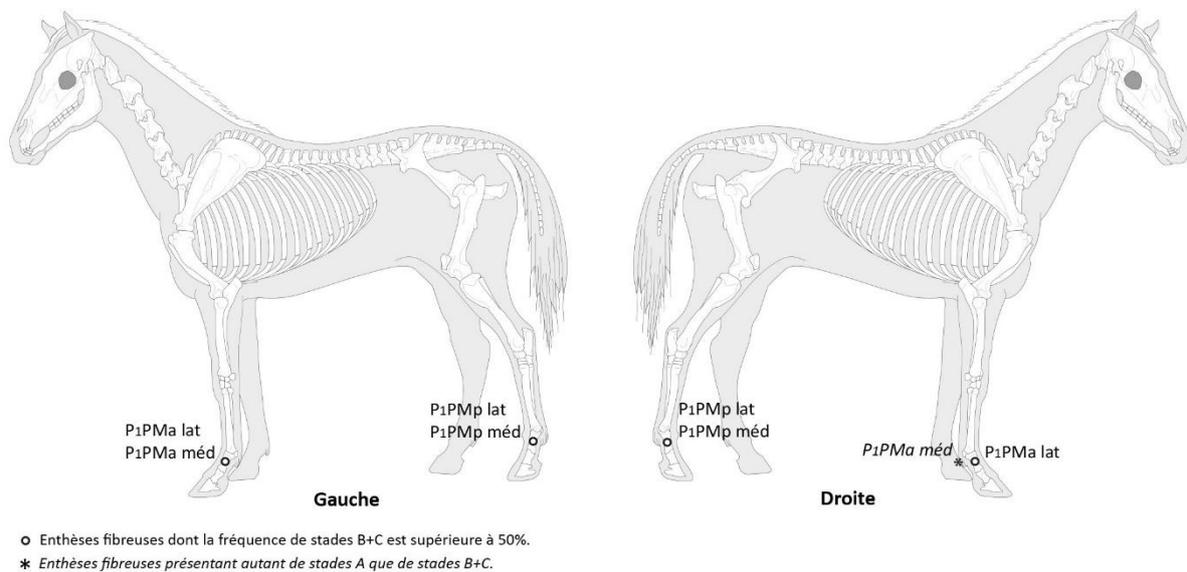


Figure 150 : Tournai - Localisation des enthèses fibreuses associées à une fréquence d'altérations (stades B+C) supérieure ou égale à 50%.

Ainsi, il est difficile de relier les observations au niveau des ligaments palmaires et plantaires à la fonction des chevaux tournaisiens.

ii. Enthèses fibrocartilagineuses.

Les taux d'atteintes enregistrés ainsi que les résultats statistiques pour chaque enthèse distinguent nettement les chevaux associés à Childéric I^{er} des équidés modernes impliqués dans les activités de traction (catégorie « Traction », figure 144, chapitre VIII). En revanche, les

résultats statistiques sont bien plus variables quand il s'agit de déterminer si les chevaux de Tournai étaient montés ou non :

- La fréquence totale de modifications enthésiques (chapitre VIII, figure 144) ainsi que les MMD pour les enthèses fibrocartilagineuses droites (chapitre VIII, tableau 51, figure 146) indiquent une proximité avec les équidés modernes exempts d'activité en lien avec l'Homme ;
- Les résultats du test U de Mann-Whitney pour chaque zone d'insertion (chapitre VIII, tableau 48) et le calcul des MMD pour les enthèses gauches (chapitre VIII, figure 145, tableau 49) les rapprochent en revanche du groupe composé de chevaux utilisés comme montures.

La figure 151 localise les 14 zones d'insertions présentant une proportion de changements enthésiques égale ou supérieure à celle des enthèses saines (d'après le tableau 46, chapitre VIII).

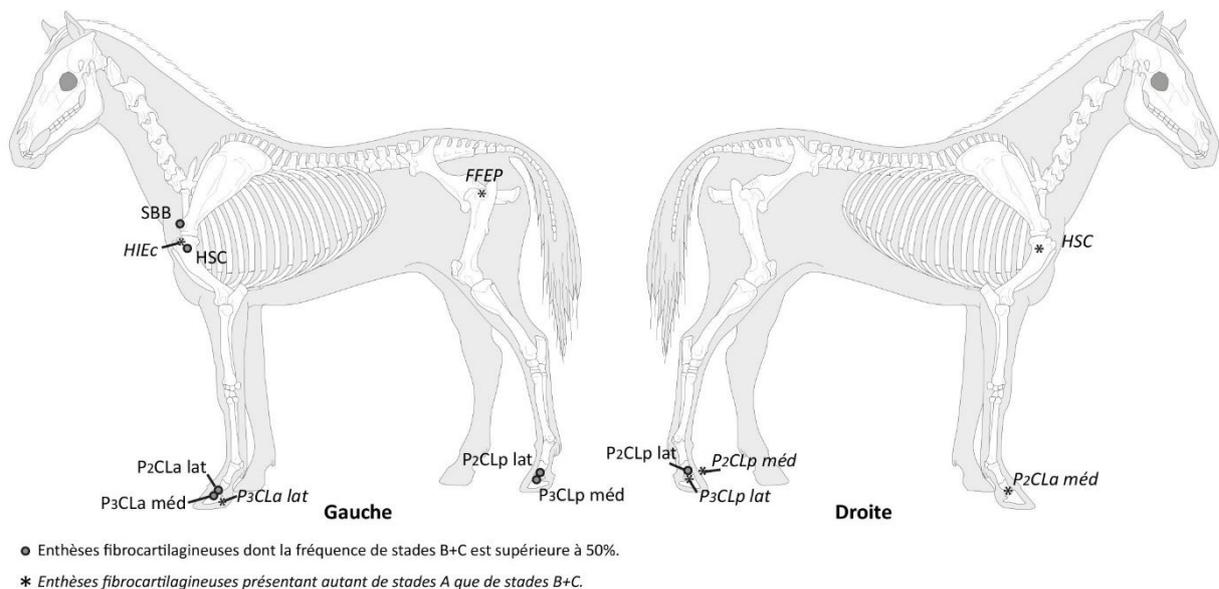


Figure 151 : Tournai - Localisation des enthèses fibrocartilagineuses associées à une fréquence d'altérations (stades B+C) supérieure ou égale à 50%.

Au niveau du membre pelvien, la terminaison du *M. gluteus profundus* gauche (FFEP G) est la seule enthèse des os longs à avoir enregistré autant d'insertions lésées que d'insertions exemptes d'altérations. Cependant, la distribution des stades de cotation y est ininterprétable. En effet, cette enthèse regroupe un nombre limité d'enregistrements

(chapitre VIII, tableau 6 ; 1 stade A et 1 stade B) du fait de la fragilité des reliefs osseux (ici, la convexité du grand trochanter) et des épiphyses des os longs face aux processus *post-mortem* dans cette collection (pour plus de détails, voir la discussion relative aux aspects taphonomiques dans le chapitre VII).

Dans les chapitres V et VI de cette thèse, les enthèses fibrocartilagineuses phalangiennes, et plus particulièrement celles du **ligament collatéral de l'articulation interphalangienne distale** (P₂CL, P₃CL), sont associées à des fréquences de changements enthésiques élevées quels que soient, d'une part, le paramètre éprouvé (âge au décès, dimorphisme sexuel, proportions corporelles et environnement de vie) et, d'autre part, la catégorie d'équidés considérée (« Sans activité », « Monte », « Traction »).

Le ligament collatéral de cette articulation fait l'objet de nombreuses investigations en médecine vétérinaire, ce dernier étant fréquemment le siège de lésions aussi bien au niveau des structures molles que de ses insertions (*e.g.* Dakin et al., 2009; Denoix et al., 2011; Young et al., 2012). Il est admis que l'extrémité distale du membre est particulièrement vulnérable aux sur-sollicitations et aux chocs en raison d'une masse musculaire réduite. Ce critère implique qu'une grande partie des atteintes ligamentaires et tendineuses se développent dans cette zone du squelette (Denoix et al., 2011; Parkes & Witte, 2015). Les chevaux associés à Childéric I^{er} ne semblent pas faire exception, les enthèses exemptes de modifications étant sous-représentées par rapport aux enthèses altérées.

Cependant, au contraire des animaux composant nos référentiels, les insertions enregistrées au niveau de ces phalanges sont peu nombreuses à Tournai avec des effectifs variant de 2 (par exemple, P₃CLp lat D, tableau 46, chapitre VIII) à 6 (P₂CLp méd G, tableau 46, chapitre VIII.). Altérations des surfaces osseuses voire absence de certaines phalanges ont probablement biaisé l'analyse empêchant de réellement apprécier les proportions enregistrées pour les enthèses phalangiennes. Ainsi, l'étiologie multifactorielle de la formation des changements enthésiques pour le ligament collatéral ainsi que les biais taphonomiques complexifient l'interprétation des observations à leur niveau en termes d'utilisation ou non des chevaux de Tournai dans le cadre d'activités humaines.

Les insertions tendineuses situées au niveau de l'épaule (figure 151) sont associées à des muscles participant au mouvement du membre thoracique au cours de la locomotion (annexe 4) via leur implication dans l'extension de l'épaule (*M. biceps brachii*, SBB ; dans une moindre mesure, *M. subscapularis*, HSC), la flexion du coude (*M. biceps brachii*, SBB), l'adduction du bras (*M. subscapularis*, HSC), son abduction ainsi que sa flexion (*M. infraspinatus*, HIEc). Chez les équidés, les membres antérieurs supportent environ les 2/3

de la masse corporelle (Barone, 2000a; Higgins & Martin, 2014). Cette caractéristique résulte en une position particulière de leur centre de gravité qui se situe à proximité des membres antérieurs chez l'animal au repos (Ross & Dyson, 2011, p. 4-6). Chez le cheval monté, l'ajout des masses de la selle et du cavalier combiné aux mouvements effectués durant l'exercice induisent un déplacement du centre de gravité vers les membres antérieurs augmentant ainsi les contraintes portées dans cette zone (Ross & Dyson, 2011). Si les chevaux associés à Childéric I^{er} étaient montés, ceci pourrait expliquer une atteinte préférentielle des enthèses des os longs du membre thoracique.

Cependant, il est important de rappeler que la fonction d'un muscle peut être multiple. En effet, les muscles *subscapularis* (HSC) et *infraspinatus* (HIEc) ne sont pas seulement impliqués dans le mouvement du membre antérieur et participent au maintien de l'articulation de l'épaule en limitant les mouvements transversaux de la tête humérale (Barone, 2000b ; cf. annexe 4). Dans une étude comparant des rennes non domestiqués issus de zoos et des spécimens vivant en liberté (Niinimäki & Salmi, 2016), les individus captifs présentent un niveau élevé de lésions pour les enthèses liées aux structures participant à la stabilisation de cette zone articulaire. D'après les auteures, les tendances observées seraient du fait d'une position statique répétée, d'une mobilité réduite en raison de l'environnement limité dans lequel les rennes concernés évoluent (Niinimäki & Salmi, 2016). De fait, si l'on se réfère aux conclusions de cette publication, les seuls relevés menés au niveau des insertions des muscles *subscapularis* et *infraspinatus* pourraient au contraire indiquer que les chevaux tournaisiens n'ont pas été exploités.

Lorsque les enthèses présentent des niveaux de remodelage importants et en l'absence de documentation sur les activités pratiquées par les équidés étudiés, on ignore quelle est la fonction du(des) muscle(s) sollicité(s) qui prévaut dans le développement de lésions. Ainsi, pour les chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai, les tendances enregistrées indiquent-elles que ces derniers :

- Étaient montés et avaient une grande mobilité (déplacements militaires, exercices fréquents...) ?
- Ou étaient soumis à des déplacements limités à l'image des animaux vivant en captivité (*M. subscapularis* et *M. infraspinatus*, Niinimäki & Salmi, 2016) ?

Malgré les écueils liés à l'étude d'un ensemble fossile, l'étude des changements enthésiques, notamment au niveau des insertions fibrocartilagineuses, fournit une première piste quant à la fonction présumée des chevaux de Tournai. Nos résultats s'accordent sur la

faible probabilité que ces animaux aient été employés dans des activités de traction. En revanche, leur rapprochement avec les chevaux de monte actuels s'avère bien plus complexe.

Ainsi, l'identification de la fonction des chevaux de Tournai sur la seule base des changements enthésiques demeure incomplète et nécessite le croisement de ces observations avec d'autres anomalies osseuses et dentaires qui y ont été relevées.

2. Apport de l'examen paléopathologique.

Selon nous, diverses lésions squelettiques viennent soutenir l'hypothèse que les équidés de Tournai ont été utilisés comme chevaux de selle. Considérées isolément, elles ne sont pas pathognomoniques d'une activité équestre précise mais leur observation simultanée et récurrente dans le groupe de Tournai permet de statuer sur l'emploi de ces équidés comme montures (figure 152).

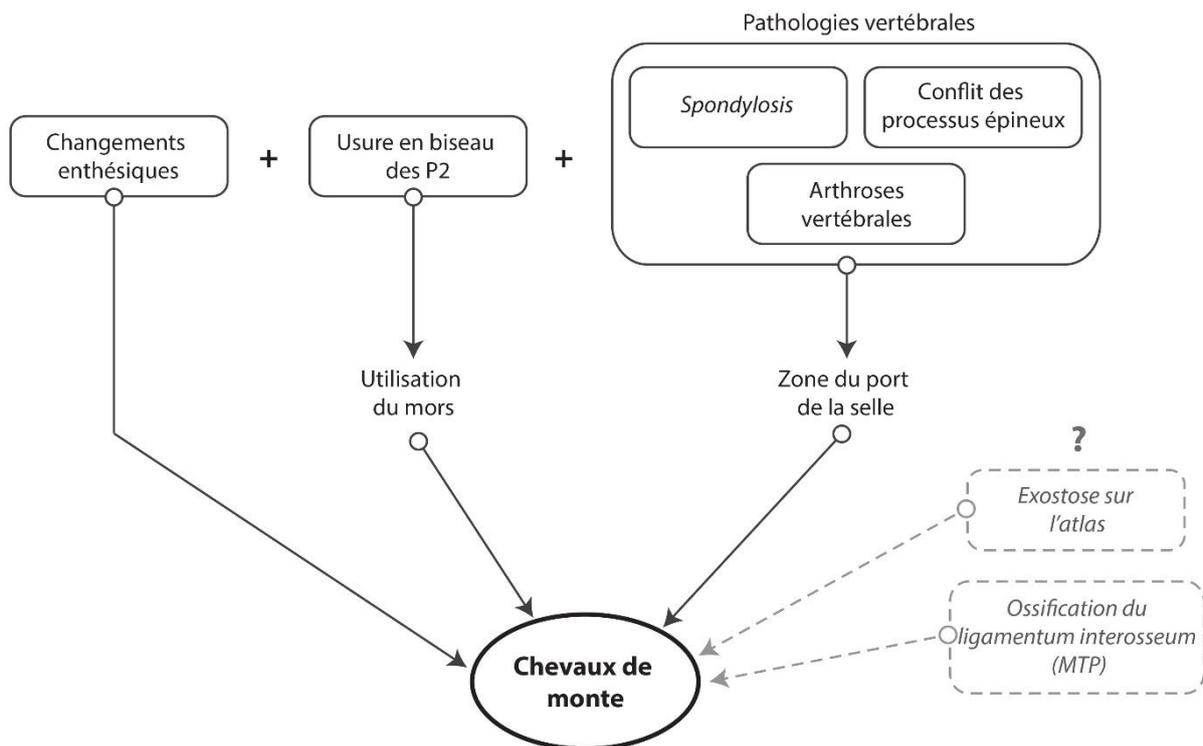


Figure 152 : Marqueurs osseux et dentaires contribuant à identifier la pratique de la monte chez les chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai.

La présence d'usure en biseau au niveau des secondes prémolaires chez au moins quatre chevaux de Tournai indique qu'ils ont probablement été harnachés et que ces traces font suite à l'emploi prolongé d'un mors. Si aucun de ces équidés n'a été inhumé avec son équipement,

ce type de matériel a été mis en évidence en contexte funéraire, au sein de sites datés de la même période (Oexle, 1984; Paust & Karl, 2018). Les chercheurs dénombrent trois types de mors (Baillif-Ducros & Yvinec, 2015; Koch & Hoops, 2003 dans Baillif-Ducros & Yvinec, 2015):

- Le mors à aiguilles, très directif, qui renforce le contrôle sur le cheval (figure 153) ;
- Le mors à anneaux, simple et souple, qui est utilisé avec les jeunes chevaux ;
- Le mors à pinces qui maximise le contact du cavalier avec son cheval via la courbure de ses canons.

Ainsi, en regard des usures observées sur les secondes prémolaires et des découvertes réalisées dans d'autres sites, il n'est pas exclu que cet équipement équestre ait été employé chez les chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai. En revanche, nous ne pouvons pas identifier le ou les type(s) de mors auxquels leur(s) cavalier(s) ont eu recours.



Figure 153 : Mors à aiguilles daté du début du VI^{ème} siècle mis au jour à Saint-Dizier, site « La Tuilerie », sépulture 11 (tiré de Baillif-Ducros & Yvinec, 2012).

Certaines pathologies vertébrales pourraient être, dans notre cas, révélatrices de la pratique de la monte. En effet, les chevaux associés à Childéric I^{er} sont porteurs de spondyloses (*spondylosis deformans* et *ankylopoetica*), d'arthrose des articulations synoviales vertébrales ainsi que de conflits des processus épineux préférentiellement localisés au milieu de la colonne vertébrale, plus particulièrement dans la zone supposée du port de la selle. Son usage est documenté chez les mérovingiens en regard des rares selles à arçon retrouvées en contexte archéologique (Baillif-Ducros & Yvinec, 2015; Nawroth, 2005 dans Baillif-Ducros & Yvinec, 2015). Semblables aux selles hunniques, ces dernières présentent un large pommeau à l'avant, un troussequin élevé à l'arrière ainsi qu'une assise bombée visant à préserver le dos de la monture et confèrent stabilité au cavalier lors du déplacement (figure 154).



Figure 154 : Reconstitution d'une selle à arçon datée du VII^{ème} siècle mise au jour à Wesel-Bislich, Allemagne, sépulture 446 (cliché tiré de Baillif-Ducros, 2018).

Les exostoses identifiées au niveau de l'atlas ainsi que les ossifications du *ligamentum interosseum* des métapodiens ont révélé des résultats surprenants chez les chevaux de Tournai (figure 152, texte grisé). Malheureusement, les données archéologiques et vétérinaires les concernant font défaut et leur lien à l'utilisation des chevaux ne peut être clairement établi. Il serait intéressant à l'avenir d'explorer cette liaison à partir de collections de références.

Nous pouvons donc en conclure que les chevaux déposés à l'occasion des funérailles du roi Childéric I^{er} ont probablement servi de montures. En effet, bien qu'aucun harnachement n'ait été découvert lors des fouilles de 1983-1986, l'étude des changements enthésiques, l'identification d'usure en biseau sur les P2 ainsi que l'enregistrement de pathologies vertébrales arguent en faveur de cette hypothèse (figure 152). Cependant, notre interprétation se limite à l'utilisation comme chevaux de selle. En effet, nous ne pouvons savoir dans quelle mesure ces équidés ont été employés : quelles étaient les fréquences de leurs entraînements ? Leur intensité ? Se déplaçaient-ils sur de grandes distances ? Dans quels types d'activités étaient-ils impliqués (*e.g.* guerre, transports) ?

IDENTIFICATION DES ACTIVITÉS ÉQUESTRES EN CONTEXTE
ARCHÉOLOGIQUE
OSTÉOBIOGRAPHIE DES CHEVAUX DU QUARTIER SAINT-BRICE, TOURNAI

Conclusion

Les chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai constituent un ensemble archéologique exceptionnel de par leur nombre, leur état de conservation (squelettes complets ou quasi-complets en connexion anatomique pour la plupart) mais aussi (et surtout !) leur association supposée avec la tombe du roi Childéric I^{er} (Brulet, 1990, 1991). Les premières investigations visaient à dresser l'identité de ces chevaux par le biais d'une estimation de leur âge au décès, d'une détermination du sexe et d'analyses morphométriques (Boessneck, 1987 ; Brulet, 1991 ; Gabriel et al., 1995 ; plus tard, Hanot et al., 2020). En revanche, les chercheurs n'ont fait qu'effleurer les questions ayant trait à l'état de santé et aux conditions de vie de ces chevaux.

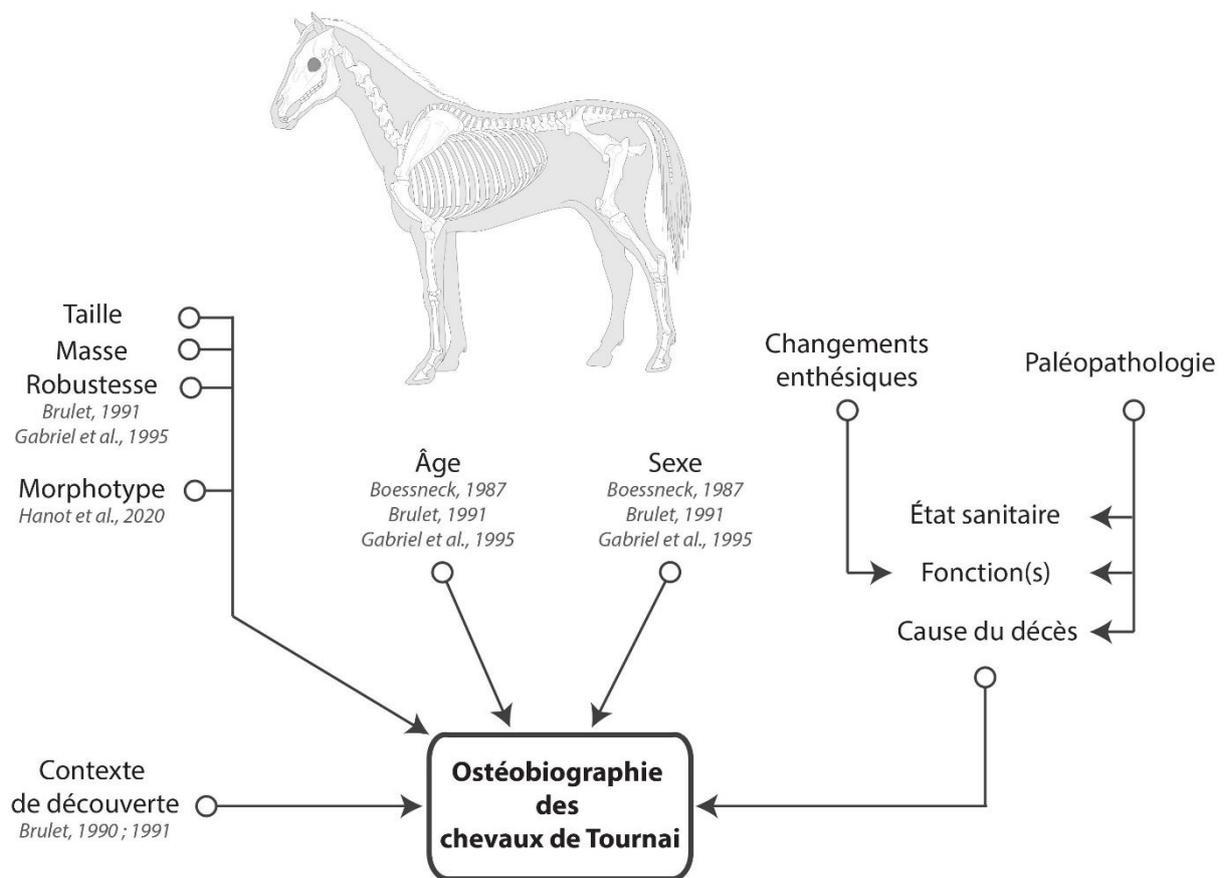


Figure 155 : Récapitulatif des éléments contribuant à l'élaboration de l'ostéobiographie des chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai.

La troisième partie de cette thèse complète donc les études menées à la fin des années 80 avec l'apport de données paléopathologiques inédites (figure 155).

Nous ne pouvions aborder la question de la fonction de ces chevaux sans l'inclure dans une démarche ostéobiographique plus large visant à discuter de l'état de santé de ces spécimens. Aucune anomalie osseuse ou dentaire sévère n'a été enregistrée ce qui nous a permis d'en déduire que l'état sanitaire apparent de cette population était bon au moment du décès. Sans oublier qu'un grand nombre d'affections ne laisse pas de trace osseuse et ne sont donc pas identifiables dans le registre archéologique, nos relevés laissent tout de même penser que ces chevaux étaient bien traités et que la cause de leur décès n'est pas liée à leur état sanitaire.

Les chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai sont les premiers spécimens archéologiques à faire l'objet d'une étude des changements enthésiques en usant de la méthode développée dans le présent travail (cf. chapitre III). Notre démarche a permis de discuter de la potentielle utilisation de ces animaux comme montures comme il est couramment admis pour les spécimens mis au jour dans des sites contemporains (Baillif-Ducros & Yvinec, 2015). Cette analyse d'un ensemble fossile a révélé l'absolue nécessité de croiser cette approche avec les connaissances archéologiques préexistantes (matériel équestre) ainsi que la présence d'autres marqueurs osseux en raison, d'une part, de l'effectif réduit sur lequel se basent nos observations et, d'autre part, des paramètres autres que l'activité intervenant dans l'apparition de modifications enthésiques. L'hypothèse d'un usage des chevaux de Tournai comme montures s'est précisée en combinant les résultats obtenus avec, notamment, la présence d'anomalies vertébrales dans la zone de dépôt de la selle (spondyloses, conflits des processus épineux, arthroses vertébrales) ainsi que d'usures en biseau sur les P2 identifiées chez certains spécimens et liées au port du mors.

Ainsi, notre étude montre l'intérêt d'intégrer un examen paléopathologique exhaustif aux analyses archéozoologiques classiques afin d'explorer les conditions de vie des populations animales passées. Actuellement, ce type de recherche se limite à des spécimens équins isolés (*e.g.* Bartosiewicz & Bartosiewicz, 2002; Bulatović et al., 2014; Marković et al., 2019) et il conviendrait de généraliser la démarche que nous avons ici employée (changements enthésiques, enregistrements des anomalies squelettiques). Il serait intéressant de mener des études comparatives d'équidés provenant de sites archéologiques contemporains puis, à termes, de sites datés de périodes diverses. Ceci contribuerait à l'apport de nouvelles connaissances documentant l'évolution géographique et temporelle de la place des équidés auprès des sociétés humaines, de leurs conditions de vie auprès des sociétés humaines.

Synthèse générale

Cette thèse explore le potentiel de l'étude des changements enthésiques pour discuter de la place des équidés dans les sociétés humaines passées, plus particulièrement par l'identification des fonctions auxquelles ils étaient dédiés. Si les modifications des zones d'insertion sont fréquemment étudiées en anthropologie biologique, leur emploi par les archéozoologues n'en est qu'à ses débuts, les quelques publications répertoriées pour le cheval se limitant à des entèses isolées (*ligamentum nuchae* sur l'os occipital ; *ligamentum interosseum* entre les métapodiens).

Cette recherche exploratoire démontre qu'il est possible d'observer des altérations au niveau des insertions du squelette appendiculaire des équidés et que la variabilité de ces atteintes (type, sévérité, étendue) permet leur enregistrement. Nos observations préliminaires ont conduit à la mise en place d'une nouvelle méthode de cotation applicable à l'ensemble des équidés et focalisée sur 23 entèses des os des ceintures (scapula, os coxal), des os longs (humérus, radio-ulna, fémur, tibia) ainsi que des phalanges. Ce protocole inédit a ensuite été appliqué sur des échantillons de référence constitués de squelettes d'équidés modernes documentés, impliqués ou non dans des activités de monte ou de traction. Leur étude a mis en évidence l'origine multifactorielle des changements enthésiques chez les équidés. En effet, s'ils offrent la possibilité de discuter de l'utilisation ou non d'un équidé par l'Homme, des facteurs tels que l'âge au décès, les proportions corporelles ou les conditions de vie devront être pris en compte dans les prochaines études portées aussi bien sur des spécimens modernes qu'archéologiques.

L'analyse des changements enthésiques peut ainsi contribuer à une meilleure compréhension des conditions de vie des équidés mis au jour en contexte archéologique comme l'illustre notre étude des chevaux associés à la tombe de Childéric I^{er} (fouilles du quartier Saint-Brice de Tournai, Belgique). Cependant, en raison du nombre réduit de spécimens composant le corpus et de l'origine multifactorielle des modifications des zones d'insertion, les investigations ne peuvent être conduites sur la seule base de ces lésions au risque de biaiser les interprétations finales. Un examen paléopathologique exhaustif, le premier réalisé sur les spécimens tournaisiens, vient ainsi compléter notre démarche. L'analyse des changements enthésiques ainsi que l'identification de pathologies vertébrales (*e.g.* spondyloses, conflit des processus épineux, arthroses) et d'usures en biseau sur les P₂ constituent des arguments supplémentaires en faveur de l'hypothèse d'une utilisation de ces animaux comme montures.

De plus, l'examen paléopathologique permet d'appréhender l'état sanitaire de ce groupe d'équidés. En pleine force de l'âge, les chevaux de Tournai étaient probablement en bonne santé au moment de leur décès (*e.g.* prévalence faible de lésions osseuses traumatiques, arthropathies rares et souvent faibles) et bénéficiaient de bons traitements de la part du groupe humain à l'origine de leur dépôt.

Ainsi, ces résultats prometteurs laissent entrevoir l'intérêt de l'étude des changements enthésiques pour explorer les fonctions des équidés et, plus largement, l'évolution des relations entre populations humaines et équinées dans le passé. En raison du potentiel de telles études, de nombreuses pistes de recherches méritent d'être explorées dans les années à venir.

Les tests intra- et inter-observateurs ont montré que la fiabilité de notre système de cotation était variable selon l'enthèse considérée. Il sera donc nécessaire d'accroître sa fiabilité afin d'en permettre son utilisation par divers observateurs et faciliter les comparaisons entre études indépendantes.

Le nombre de spécimens composant nos référentiels devra être accru. Ceci nous permettra de vérifier nos conclusions sur des échantillons plus larges, d'explorer l'impact de nouveaux paramètres qui n'ont pu être éprouvés dans ce travail (*e.g.* disciplines équestres diverses ou castration) mais aussi de déterminer dans quelle mesure chacun de ces facteurs est impliqué dans le développement de modifications enthésiques chez les équidés.

L'utilisation de méthodes d'imagerie (scan 3D, micro-tomodensitométrie) pourrait de même être envisagée.

Enfin, la dernière remarque a trait à l'emploi des changements enthésiques sur les collections d'équidés archéologiques. Si l'on souhaite explorer les variations temporelles et géographiques des interactions Homme-équidés passées, nos investigations devront obligatoirement se porter sur un nombre plus conséquent de spécimens archéologiques provenant de périodes, de contextes (*e.g.* funéraire, sacrificiel, zones d'équarrissage) et de localisations différents. À termes, l'emploi des modifications enthésiques dans le cadre d'études archéozoologiques pourrait trouver son intérêt dans les études s'intéressant à la domestication du cheval. En effet, l'origine, la localisation ainsi que les raisons de ce processus demeurent fortement discutées. Inclure les changements enthésiques dans les investigations portées sur ce sujet pourrait fournir de nouvelles données morphologiques venant compléter (ou nuancer) les connaissances déjà existantes.

Références bibliographiques

- Acosta MA, Henderson CY, Cunha E. 2017. The effect of terrain on enthesal changes in the lower limbs. *International Journal of Osteoarchaeology* **27**: 828–838. DOI: 10.1002/oa.2597
- Agresti A. 2002. *Categorical data analysis*. 2nd edition. John Wiley & Sons: New York.
- Alberdi MT, Prado JL, Ortiz-Jaureguizar E. 1995. Patterns of body size changes in fossil and living Equini (Perissodactyla). *Biological Journal of the Linnean Society* **54**: 349–370. DOI: 10.1111/j.1095-8312.1995.tb01042.x
- Aldrich ED, Goodrich LR, Monahan MK, Conway JD, Valdés-Martínez A. 2017. Radiographic localisation of the entheses of the equine stifle. *Equine Veterinary Journal* **49**: 493–500. DOI: 10.1111/evj.12609
- Alves C, Mendes D, Marques FB. 2019. Fluoroquinolones and the risk of tendon injury: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Clinical Pharmacology* DOI: 10.1007/s00228-019-02713-1
- Alves Cardoso F, Henderson C. 2013. The categorisation of occupation in identified skeletal collections: a source of bias? *International Journal of Osteoarchaeology* **23**: 186–196. DOI: 10.1002/oa.2285
- Alves Cardoso F, Henderson CY. 2010. Enthesopathy formation in the humerus: data from known age-at-death and known occupation skeletal collections. *American Journal of Physical Anthropology* **141**: 550–560. DOI: 10.1002/ajpa.21171
- Ambros C, Müller H-H. 1980. *Frühgeschichtliche Pferdeskelettfunde aus dem Gebiet der Tschechoslowakei*. Vydateľ'stvo Slovenskej Akademie Vied: Bratislava.
- Anderson JDC, Puchalski SM, Larson RF, Delco ML, Snyder JR. 2008. Injection of the insertion of the deep digital flexor tendon in horses using radiographic guidance. *Equine Veterinary Education* **20**: 383–388. DOI: 10.2746/095777308X329172
- Apostolakos J, Durant TJ, Dwyer CR, Russell RP, Weinreb JH, Alae F, Beitzel K, McCarthy MB, Cote MP, Mazzocca AD. 2014. The enthesis: a review of the tendon-to-bone insertion. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal* **4**: 333–342.
- Arbogast R-M, Clavel B, Lepetz S, Méniel P, Yvinec J-H. 2002. *Archéologie du cheval: des origines à la période moderne en France*. Errance: Paris.
- Ashton N. 2018. Partial avulsion of the ulnaris lateralis and enthesiopathy of the lateral epicondyle of the humerus in a Thoroughbred race horse. *Irish Veterinary Journal* **71**: 10. DOI: 10.1186/s13620-018-0120-6
- Audoin-Rouzeau F. 1994. *La taille du cheval en Europe de l'Antiquité aux temps modernes*. APDCA: Juan-les-Pins.
- Aydin SZ, Bas E, Basci O, Filippucci E, Wakefield RJ, Çelikel Ç, Karahan M, Atagunduz P, Benjamin M, Direskeneli H, McGonagle D. 2010. Validation of ultrasound imaging for Achilles enthesal fibrocartilage in bovines and description of changes in humans with spondyloarthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases* **69**: 2165–2168. DOI: 10.1136/ard.2009.127175
- Back W, Pille F. 2013. Chapter 8 - The role of the hoof and shoeing. In *Equine Locomotion (Second Edition)*, Back W and Clayton HM (eds). Elsevier Health Sciences; 147–174.
- Bailey SR, Elliott J. 2007. The corticosteroid laminitis story. 2. Science of if, when and how. *Equine Veterinary Journal* **39**: 7–11. DOI: 10.2746/042516407X166035
- Baillif-Ducros C. 2018. *La pratique de la monte à cheval au haut Moyen Âge (fin V-VIIIe siècle) dans le nord-est de la Gaule. État des connaissances archéologiques, recherche méthodologique sur le “syndrome du cavalier” et application d'un nouveau protocole d'étude aux populations mérovingiennes.*, Thèse de doctorat, Normandie Université

- Baillif-Ducros C, Truc M-C, Paresys C, Villotte S. 2011. Approche méthodologique pour distinguer un ensemble lésionnel fiable de la pratique cavalière. Exemple du squelette de la tombe 11 du site de « La Tuilerie » à Saint-Dizier (Haute-Marne), VI^{ème} siècle. *Bulletins et mémoires de la Société d'anthropologie de Paris* **24**: 25–36. DOI: 10.1007/s13219-011-0049-8
- Baillif-Ducros C, Yvinec J-H. 2015. Le cheval de monte aux VI^e-VII^e siècles en Gaule du nord. Croisement de données archéologiques et ostéologiques. *Archéopages* : 14–19. DOI: 10.4000/archeopages.927
- Baker GJ. 1974. Some aspects of equine dental decay. *Equine Veterinary Journal* **6**: 127–130. DOI: 10.1111/j.2042-3306.1974.tb03945.x
- Baker GJ. 2005. Abnormalities of development and eruption. In *Equine Dentistry*. Saunders Limited: Philadelphia; 69–77.
- Baker JR, Brothwell DR. 1980. *Animal diseases in archeology*. Academic Press: London.
- de Bakker E, Samoy Y, Gielen I, Ryssen VB. 2011. Medial humeral epicondylar lesions in the canine elbow. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* **24**: 9–17. DOI: 10.3415/VCOT-10-04-0052
- de Bakker E, Saunders J, Gielen I, Bree H van, Coppieters E, Ryssen BV. 2012. Radiographic findings of the medial humeral epicondyle in 200 canine elbow joints. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* **25**: 359–365. DOI: 10.3415/VCOT-11-09-0127
- Baron H. 2018. 8. Four equestrian burials from the Avar cemetery at Vienna Csokorgasse, Austria : The health of horses and dogs. In *Care or Neglect? Evidence of Animal Diseases in Archaeology*, Bartosiewicz L and Gál E (eds). Oxbow Books: Oxford; 116–133.
- Barone R. 2000a. *Anatomie comparée des mammifères domestiques - Tome 1 : Ostéologie*. Vigot: Paris.
- Barone R. 2000b. *Anatomie comparée des mammifères domestiques - Tome 2 : Arthrologie et myologie*. Vigot: Paris.
- Barrey E. 2014. Chapter 10 - Biomechanics of locomotion in the athletic horse. In *Equine Sports Medicine and Surgery (Second Edition)*, Geor KWHJKJ (ed). W.B. Saunders: Philadelphia; 189–211.
- Bartosiewicz L. 2008. Description, diagnosis and the use of published data in animal palaeopathology: a case study using fractures. *Veterinarija ir Zootechnika* **41**: 12–24.
- Bartosiewicz L, Bartosiewicz G. 2002. “Bamboo spine” in a Migration period horse from Hungary. *Journal of Archaeological Science* **29**: 819–830. DOI: 10.1006/jasc.2001.0715
- Bartosiewicz L, Gál E. 2008. Symptoms of aggression on animal bones from archaeological sites. *Animal welfare, etologia es tartastechnologia* **4**: 3–25.
- Bartosiewicz L, Gál E. 2013. *Shuffling Nags, Lame Ducks - The Archaeology of Animal Disease*. Oxbow Books: Oxford, UK.
- Bartosiewicz L, Neer W van, Lentacker A, Fabis M. 1997. *Draught cattle: their osteological identification and history*. Musée Royal de l’Afrique Centrale: Tervuren, Belgique.
- Bassage LH, Garcia-Lopez J, Currid EM. 2000. Osteolytic lesions of the tuber calcanei in two horses. *Journal of the American Veterinary Medical Association* **217**: 710–716. DOI: 10.2460/javma.2000.217.710
- Becker SK. 2016. Skeletal evidence of craft production from the Ch’iji Jawira site in Tiwanaku, Bolivia. *Journal of Archaeological Science: Reports* **9**: 405–415. DOI: 10.1016/j.jasrep.2016.08.017
- Belcastro MG, Mariotti V. 2017. A muscular imprint on the anterolateral surface of the proximal femurs of the Krapina Neandertal collection. *American Journal of Physical Anthropology* **162**: 583–588. DOI: 10.1002/ajpa.23140

- Belknap JK, Geor RJ (eds). 2017. *Equine laminitis*. John Wiley & Sons.
- Bendrey R. 2007a. New methods for the identification of evidence for biting on horse remains from archaeological sites. *Journal of Archaeological Science* **34**: 1036–1050. DOI: 10.1016/j.jas.2006.09.010
- Bendrey R. 2007b. Ossification of the interosseous ligaments between the metapodials in horses: a new recording methodology and preliminary study. *International Journal of Osteoarchaeology* **17**: 207–213. DOI: 10.1002/oa.875
- Bendrey R. 2008. An analysis of factors affecting the development of an equid cranial enthesopathy. *Veterinarija and Zootehnika* **41**: 25–32.
- Bendrey R. 2011. Identification of metal residues associated with bit-use on prehistoric horse teeth by scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray microanalysis. *Journal of Archaeological Science* **38**: 2989–2994. DOI: 10.1016/j.jas.2011.06.016
- Bendrey R. 2012. From wild horses to domestic horses: a European perspective. *World Archaeology* **44**: 135–157. DOI: 10.1080/00438243.2012.647571
- Bendrey R, Cassidy JP, Bokovenko N, Lepetz S, Zaitseva GI. 2011. A possible case of ‘poll-evil’ in an early Scythian horse skull from Arzhan 1, Tuva Republic, Central Asia. *International Journal of Osteoarchaeology* **21**: 111–118. DOI: 10.1002/oa.1099
- Bendrey R, Taylor GM, Bouwman AS, Cassidy JP. 2008. Suspected bacterial disease in two archaeological horse skeletons from southern England: palaeopathological and biomolecular studies. *Journal of Archaeological Science* **35**: 1581–1590. DOI: 10.1016/j.jas.2007.11.002
- Benecke N. 1994. *Der Mensch und seine Haustiere. Die Geschichte einer jahrtausendealten Beziehung*. Konrad Theiss Verlag: Stuttgart.
- Benjamin M, Evans EJ, Copp L. 1986. The histology of tendon attachments to bone in man. *Journal of Anatomy* **149**: 89–100.
- Benjamin M, Kaiser E, Milz S. 2008. Structure-function relationships in tendons: a review. *Journal of Anatomy* **212**: 211–228. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2008.00864.x
- Benjamin M, Kumai T, Milz S, Boszczyk BM, Boszczyk AA, Ralphs JR. 2002. The skeletal attachment of tendons-tendon ‘entheses.’ *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* **133**: 931–945. DOI: 10.1016/S1095-6433(02)00138-1
- Benjamin M, McGonagle D. 2001. The anatomical basis for disease localisation in seronegative spondyloarthropathy at entheses and related sites. *Journal of Anatomy* **199**: 503–526. DOI: 10.1046/j.1469-7580.2001.19950503.x
- Benjamin M, Newell RL, Evans EJ, Ralphs JR, Pemberton DJ. 1992. The structure of the insertions of the tendons of biceps brachii, triceps and brachialis in elderly dissecting room cadavers. *Journal of Anatomy* **180**: 327–332.
- Benjamin M, Qin S, Ralphs JR. 1995. Fibrocartilage associated with human tendons and their pulleys. *Journal of Anatomy* **187**: 625–633.
- Benjamin M, Ralphs JR. 1998. Fibrocartilage in tendons and ligaments - An adaptation to compressive load. *Journal of Anatomy* **193**: 481–494. DOI: 10.1046/j.1469-7580.1998.19340481.x
- Benjamin M, Toumi H, Suzuki D, Hayashi K, McGonagle D. 2009. Evidence for a distinctive pattern of bone formation in enthesophytes. *Annals of the Rheumatic Diseases* **68**: 1003–1010. DOI: 10.1136/ard.2008.091074
- Berthon W. 2019. *Bioarchaeological analysis of the mounted archers from the Hungarian Conquest Period (10th Century): horse riding and activity-related skeletal changes*, Thèse de doctorat, Szeged et École Pratique des Hautes Études

- Berthon W, Ritemard C, Tihanyi B, György P, Coqueugniot H, Dutour O. 2015. Three-dimensional microarchitecture of enthesal changes: preliminary study of human radial tuberosity. *Acta Biologica Szegediensis* **59**: 79–90.
- Berthon W, Tihanyi B, György P, Dutour O, Coqueugniot H. 2016. Can micro-CT and 3D imaging allow differentiating the main aetiologies of enthesal changes? In *The Talking Dead - New results from Central- and Eastern European Osteoarchaeology. Proceedings of the First International Conference of the Török Aurél Anthropological Association from Târgu Mureş, 13-15 november 2015*, Szilárd SG (ed). Mega Publishing House: Cluj-Napoca; 29–41.
- Berthon W, Tihanyi B, Kis L, Révész L, Coqueugniot H, Dutour O, Pálfi G. 2019. Horse riding and the shape of the acetabulum: insights from the bioarchaeological analysis of early Hungarian mounted archers (10th century). *International Journal of Osteoarchaeology* **29**: 117–126. DOI: 10.1002/oa.2723
- Bertin L, Saladié P, Lignereux Y, Moigne A-M, Boulbes N. 2017. The exploitation of equids in the middle ages on the Clos d’Ugnac archaeological site (Pennautier, Aude, France). *Journal of Archaeological Science: Reports* **15**: 179–193. DOI: 10.1016/j.jasrep.2017.07.026
- Bindé M, Cochard D, Knüsel CJ. 2019. Exploring life patterns using enthesal changes in equids: Application of a new method on unworked specimens. *International Journal of Osteoarchaeology* **29**: 947–960. DOI: 10.1002/oa.2809
- Bjorkengren A, Sartoris D, Shermis S, Resnick D. 1987. Patterns of paravertebral ossification in the prehistoric saber-toothed cat. *American Journal of Roentgenology* **148**: 779–782. DOI: 10.2214/ajr.148.4.779
- Björnsdóttir S, Axelsson M, Eksell P, Sigurdsson H, Carlsten J. 2000. Radiographic and clinical survey of degenerative joint disease in the distal tarsal joints in Icelandic horses. *Equine Veterinary Journal* **32**: 268–272. DOI: 10.2746/042516400776563590
- Boden E, Andrews A (eds). 2015. *Black’s Veterinary Dictionary*. 22nd edition. Bloomsbury Publishing: London.
- Boessneck J. 1987. Neue Befunde an den Pferdeskeletten von Tournai, Saint-Brice. *Documents d’Archéologie Régionale (Louvain)* **2**: 71–72.
- Bopp-Ito M, Deschler-Erb S, Vach W, Schibler J. 2018. Size diversity in Swiss Bronze Age cattle. *International Journal of Osteoarchaeology* **28**: 294–304. DOI: 10.1002/oa.2654
- Borkent D, Dixon PM. 2017. Equine peripheral and infundibular dental caries: a review and proposals for their investigation. *Equine Veterinary Education* **29**: 621–628. DOI: 10.1111/eve.12497
- Borkent D, Reardon RJM, McLachlan G, Smith S, Dixon PM. 2017. An epidemiological survey on the prevalence of equine peripheral dental caries in the United Kingdom and possible risk factors for its development. *Equine Veterinary Journal* **49**: 480–485. DOI: 10.1111/evj.12610
- Brown D, Anthony D. 1998. Bit wear, horseback riding and the Botai site in Kazakstan. *Journal of Archaeological Science* **25**: 331–347. DOI: 10.1006/jasc.1997.0242
- Brulet R (ed). 1990. *Les fouilles du quartier Saint-Brice à Tournai. 1. L’environnement funéraire de la sépulture de Childéric*. Publications d’Histoire de l’Art et d’Archéologie de l’Université Catholique de Louvain 73: Louvain-la-Neuve.
- Brulet R (ed). 1991. *Les fouilles du quartier Saint-Brice à Tournai. 2. L’environnement funéraire de la sépulture de Childéric*. Publications d’Histoire de l’Art et d’Archéologie de l’Université Catholique de Louvain 79: Louvain-la-Neuve.
- Brulet R. 2007. Tournai et la genèse du Haut Moyen-Âge. In *Villes et campagnes en Neustrie Sociétés-Économies Territoires-Christianisation*. Mémoires publiés par l’Association française d’archéologie mérovingienne: Tournai; 25–28.
- Budras K-D, Sack WO, Rock S. 2003. *Anatomy of the horse: an illustrated text*. Schlütersche: Hannover.

- Bulatović J, Bulatović A, Marković N. 2014. Paleopathological changes in an early iron age horse skeleton from the Central Balkans (Serbia). *International Journal of Paleopathology* **7**: 76–82. DOI: 10.1016/j.ijpp.2014.07.001
- Campanacho V, Santos AL. 2013. Comparison of the enthesal changes of the os coxae of Portuguese males (19th–20th centuries) with known occupation. *International Journal of Osteoarchaeology* **23**: 229–236. DOI: 10.1002/oa.2297
- Casado A, Punsola V, Gómez M, Diego M de, Barbosa M, Paz FJ de, Pastor JF, Potau JM. 2019. Three-dimensional geometric morphometric analysis of the distal radius insertion sites of the palmar radiocarpal ligaments in hominoid primates. *American Journal of Physical Anthropology* **170**: 24–36. DOI: 10.1002/ajpa.23885
- Cashmore LA, Zakrzewski SR. 2013. Assessment of musculoskeletal stress marker development in the hand. *International Journal of Osteoarchaeology* **23**: 334–347. DOI: 10.1002/oa.1254
- Chaplin RE. 1971. *The study of animal bones from archaeological sites*. London: Seminar Press.
- Chifflet J-J. 1655. *Anastasis Childerici I, Francorum regis, sive Thesaurus sepulchralis Tornaci Nerviorum effossus et commentario illustratus*. Plantiniana B. Moreti: Antverpiae.
- Chopin JB, Wright JD, Melville L, Robinson WF. 1997. Lateral collateral ligament avulsion of the humeroradial joint in a horse. *Veterinary Radiology & Ultrasound* **38**: 50–54. DOI: 10.1111/j.1740-8261.1997.tb01603.x
- Ciepluch MF, Costa RC da, Russell D. 2015. Imaging diagnosis - An atypical presentation of Diffuse Idiopathic Skeletal Hyperostosis (DISH) in a dog. *Veterinary Radiology & Ultrasound* **56**: E5–E8. DOI: 10.1111/vru.12124
- Claudepierre P, Voisin M-C. 2005. Les enthèses : histologie, anatomie pathologique et physiopathologie. *Revue du Rhumatisme* **72**: 34–41. DOI: 10.1016/j.rhum.2004.02.008
- Clayton HM, Hobbs S-J. 2017. The role of biomechanical analysis of horse and rider in equitation science. *Applied Animal Behaviour Science* **190**: 123–132. DOI: 10.1016/j.applanim.2017.02.011
- Clayton HM, Stubbs NC. 2016. Enthesophytosis and impingement of the dorsal spinous processes in the equine thoracolumbar spine. *Journal of Equine Veterinary Science* **47**: 9–15. DOI: 10.1016/j.jevs.2016.07.015
- Clegg PD. 2012. Musculoskeletal disease and injury, now and in the future. Part 2: Tendon and ligament injuries. *Equine Veterinary Journal* **44**: 371–375. DOI: 10.1111/j.2042-3306.2012.00563.x
- Clutton-Brock J. 1992. *Horse power: a history of the horse and the donkey in human societies*. Harvard University Press: Cambridge, MA.
- Cochet JBD. 1859. *Le tombeau de Childéric I^{er}, roi des Francs, restitué à l'aide de l'archéologie et des découvertes récentes*. Derache: Paris.
- Cohen ND, Mundy GD, Peloso JG, Carey VJ, Amend NK. 1999. Results of physical inspection before races and race-related characteristics and their association with musculoskeletal injuries in Thoroughbreds during races. *Journal of the American Veterinary Medical Association* **215**: 654–661.
- Cohen ND, Peloso JG, Mundy GD, Fisher M, Holland RE, Little TV, Misheff MM, Watkins JP, Honnas CM, Moyer W. 1997. Racing-related factors and results of prerace physical inspection and their association with musculoskeletal injuries incurred in Thoroughbreds during races. *Journal of the American Veterinary Medical Association* **211**: 454–463.
- Collar EM, Zavodovskaya R, Spriet M, Hitchens PL, Wisner T, Uzal FA, Stover SM. 2015. Caudal lumbar vertebral fractures in California Quarter Horse and Thoroughbred racehorses. *Equine Veterinary Journal* **47**: 573–579. DOI: 10.1111/evj.12334
- Cooper RR, Misol S, Stimmel P. 1970. Tendon and ligament insertion: a light and electron microscopic study. *The Journal of Bone and Joint Surgery* **52**: 1–21.

Cornevin C, Lesbre F-X. 1894. *Traité de l'âge des animaux domestiques d'après les dents et les productions épidermiques*. J.-B. Baillière et fils: Paris.

Cousty M, Retureau C, Tricaud C, Geffroy O, Caure S. 2010. Location of radiological lesions of the thoracolumbar column in French trotters with and without signs of back pain. *Veterinary Record* **166**: 41–45. DOI: 10.1136/vr.c70

Crişan MI, Damian A, Gal A, Miclăuş V, Cernea CL, Denoix J-M. 2013. Vascular abnormalities of the distal deep digital flexor tendon in 8 draught horses identified on histological examination. *Research in Veterinary Science* **95**: 23–26. DOI: 10.1016/j.rvsc.2013.03.006

Crook TC, Cruickshank SE, McGowan CM, Stubbs N, Wakeling JM, Wilson AM, Payne RC. 2008. Comparative anatomy and muscle architecture of selected hind limb muscles in the Quarter Horse and Arab. *Journal of Anatomy* **212**: 144–152. DOI: 10.1111/j.1469-7580.2007.00848.x

Cross PJ. 2018. 10. Where have all the mares gone? Sex and “gender” related pathology in archaeological horses: clues to horse husbandry and use practices. In *Care or Neglect? Evidence of Animal Disease in Archaeology*, Bartosiewicz L and Gál E (eds). Oxbow Books: Oxford; 155–175.

Crubézy É. 1988. *Interactions entre facteurs bio-culturels, pathologie et caractères discrets : exemple d'une population médiévale : Canac (Aveyron)*, Thèse de doctorat, Montpellier 1

Crubézy É, Goulet J, Bruzek J, Jelinek J, Rougé D, Ludes B. 2002. Épidémiologie de l'arthrose et des enthésopathies dans une population européenne d'il y a 7 700 ans. *Revue du Rhumatisme* **69**: 1217–1225.

Dabareiner RM, Chaffin MK, Quirham H, Carter GK. 2013. Enthesopathy and desmitis of the medial collateral ligament of the cubital joint in 4 horses. *Journal of the American Veterinary Medical Association* **242**: 1152–1158. DOI: 10.2460/javma.242.8.1152

Dacre IT. 2006. Caries of peripheral cementum. *Proceedings American Association of Equine Practitioners August* : 17–25.

D'Agostino MA, Palazzi C, Olivieri I. 2009. Enteseal involvement. *Clinical & Experimental Rheumatology* **27**: S50–S55.

Dakin SG, Dyson SJ, Murray RC, Tranquille C. 2009. Osseous abnormalities associated with collateral desmopathy of the distal interphalangeal joint: Part 1. *Equine Veterinary Journal* **41**: 786–793. DOI: 10.2746/042516409X434125

Dapoigny L. 2003. *Techniques chirurgicales de castration chez le cheval normal et cryptorchide*, Thèse d'exercice, École nationale vétérinaire d'Alfort: France

Davies-Barrett AM, Antoine D, Roberts CA. 2019. Inflammatory periosteal reaction on ribs associated with lower respiratory tract disease: a method for recording prevalence from sites with differing preservation. *American Journal of Physical Anthropology* **168**: 530–542. DOI: 10.1002/ajpa.23769

Davis CB, Shuler KA, Danforth ME, Herndon KE. 2013. Patterns of interobserver error in the scoring of enteseal changes. *International Journal of Osteoarchaeology* **23**: 147–151. DOI: 10.1002/oa.2277

De Cupere B, Lentacker A, Van Neer W, Waelkens M, Verslype L. 2000. Osteological evidence for the draught exploitation of cattle: first applications of a new methodology. *International Journal of Osteoarchaeology* **10**: 254–267. DOI: 10.1002/1099-1212(200007/08)10:4<254::AID-OA528>3.0.CO;2-#

Denoix J-M. 2014. *Biomécanique et gymnastique du cheval*. Vigot: Paris.

Denoix J-M. 2019. *Essentials of clinical anatomy of the equine locomotor system*. CRC Press: Boca Raton, FL.

Denoix J-M, Bertoni L, Heitzmann A-G, Wery N, Audigié F. 2011. Ultrasonographic examination of the collateral ligaments of the distal interphalangeal joint in horses: Part A: Technique and normal images. *Equine Veterinary Education* **23**: 574–580. DOI: 10.1111/j.2042-3292.2011.00306.x

- Denys C, Patou-Mathis M. 2014. Les agents taphonomiques impliqués dans la formation des sites paléontologiques et archéologiques. In *Manuel de taphonomie*, Denys C and Patou-Mathis M (eds). Errance: Arles; 31–64.
- Digard J-P. 2002. *Le cheval, force de l'homme*. Gallimard: Paris.
- Digard J-P. 2004. *Une histoire du cheval : art, technique, société*. Actes Sud. Arles.
- Dixon PM, Dacre I. 2005. A review of equine dental disorders. *The Veterinary Journal* **169**: 165–187. DOI: 10.1016/j.tvjl.2004.03.022
- Dixon PM, Easley J, Ekman A. 2005. Supernumerary teeth in the horse. *Clinical Techniques in Equine Practice* **4**: 155–161. DOI: 10.1053/j.ctep.2005.04.007
- Dixon PM, Tremaine WH, Pickles K, Kuhns L, Hawe C, McCann J, McGorum BC, Railton D i., Brammer S. 1999. Equine dental disease Part 2: a long-term study of 400 cases: disorders of development and eruption and variations in position of the cheek teeth. *Equine Veterinary Journal* **31**: 519–528. DOI: 10.1111/j.2042-3306.1999.tb03862.x
- Djukić K, Miladinovic-Radmilovic N, Draskovic M, Djuric M. 2018. Morphological appearance of muscle attachment sites on lower limbs: horse riders versus agricultural population. *International Journal of Osteoarchaeology* **28**: 656–668. DOI: 10.1002/oa.2680
- Djukić K, Milovanovic P, Hahn M, Busse B, Amling M, Djuric M. 2015. Bone microarchitecture at muscle attachment sites: the relationship between macroscopic scores of entheses and their cortical and trabecular microstructural design. *American Journal of Physical Anthropology* **157**: 81–93. DOI: 10.1002/ajpa.22691
- Djukić K, Milovanović P, Milenković P, Djurić M. 2020. A microarchitectural assessment of the gluteal tuberosity suggests two possible patterns in enthesal changes. *American Journal of Physical Anthropology* **172**: 291–299. DOI: 10.1002/ajpa.24038
- Dolgo-Saburoff B. 1929. Über Ursprung und Insertion der Skelettmuskeln. *Anatomischer Anzeiger* **68**: 80–87.
- Donlon DA. 2000. The value of infracranial nonmetric variation in studies of modern Homo sapiens: an Australian focus. *American Journal of Physical Anthropology* **113**: 349–368. DOI: 10.1002/1096-8644(200011)113:3<349::AID-AJPA6>3.0.CO;2-2
- Dörfl J. 1980a. Migration of tendinous insertions. I. Cause and mechanism. *Journal of Anatomy* **131**: 179–195.
- Dörfl J. 1980b. Migration of tendinous insertions. II. Experimental modifications. *Journal of Anatomy* **131**: 229–237.
- Drapeau MSM. 2008. Enthesis bilateral asymmetry in humans and African apes. *HOMO* **59**: 93–109. DOI: 10.1016/j.jchb.2007.12.004
- Draper ACE, Finno CJ. 2016. Cervical spondylosis deformans in two Quarter horses. *Equine Veterinary Education* **28**: 248–251. DOI: 10.1111/eve.12167
- Driesch von den A. 1976. *A guide to the measurement of animal bones from archaeological sites*. Harvard University Press: Cambridge, MA.
- Dutour O. 1986. Enthesopathies (lesions of muscular insertions) as indicators of the activities of Neolithic Saharan populations. *American Journal of Physical Anthropology* **71**: 221–224. DOI: 10.1002/ajpa.1330710209
- Dutour O. 1992. Activités physiques et squelette humain : le difficile passage de l'actuel au fossile. *Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris* **4**: 233–241. DOI: 10.3406/bmsap.1992.2319
- Dutour O. 2011. *La paléopathologie*. CTHS: Peronnas, France.

- Dyson S. 2002. Lameness and poor performance in the sport horse: dressage, show jumping and horse trials. *Journal of Equine Veterinary Science* **4**: 145–150. DOI: 10.1016/S0737-0806(02)70139-1
- Dyson S. 2012. Proximal injuries of the accessory ligament of the deep digital flexor tendon in forelimbs and hindlimbs: 12 horses (2006–2010). *Equine Veterinary Education* **24**: 134–142. DOI: 10.1111/j.2042-3292.2011.00307.x
- Dyson S, Blunden T, Murray R. 2008. The collateral ligaments of the distal interphalangeal joint: Magnetic resonance imaging and post mortem observations in 25 lame and 12 control horses. *Equine Veterinary Journal* **40**: 538–544. DOI: 10.2746/042516408X313661
- Dyson S, Murray R. 2012. Management of hindlimb proximal suspensory desmopathy by neurectomy of the deep branch of the lateral plantar nerve and plantar fasciotomy: 155 horses (2003–2008). *Equine Veterinary Journal* **44**: 361–367. DOI: 10.1111/j.2042-3306.2011.00445.x
- Dyson SJ. 2011. Chapter 40 - The elbow, brachium, and shoulder. In *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse (Second Edition)*, Ross MW and Dyson SJ (eds). W.B. Saunders: Philadelphia (PA); 456–474. DOI: 10.1016/B978-1-4160-6069-7.00040-7
- Dyson SJ, Kidd L. 1992. Five cases of gastrocnemius tendinitis in the horse. *Equine Veterinary Journal* **24**: 351–356. DOI: 10.1111/j.2042-3306.1992.tb02854.x
- Dyson SJ, Murray R, Schramme M, Branch M. 2004. Collateral desmitis of the distal interphalangeal joint in 18 horses (2001–2002). *Equine Veterinary Journal* **36**: 160–166. DOI: 10.2746/0425164044868693
- Dyson SJ, Weekes JS, Murray R. 2006. How useful is nuclear scintigraphy in the diagnosis and management of proximal suspensory desmitis in the horse? *Proceedings of the 52nd Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, San Antonio, Texas, USA, 2-6 December, 2006* **52**: 405–411.
- Eisenmann V, Sondaar P. 1998. Pliocene vertebrate locality of Çalta, Ankara, Turkey. 7. Hipparion. *Geodiversitas* **20**: 409–439.
- Eliashar E, Dyson SJ, Archer RM, Singer ER, Smith R KW. 2005. Two clinical manifestations of desmopathy of the accessory ligament of the deep digital flexor tendon in the hindlimb of 23 horses. *Equine Veterinary Journal* **37**: 495–500. DOI: 10.2746/042516405775314871
- Erridge ME, Cox AL, Dixon PM. 2012. A histological study of peripheral dental caries of equine cheek teeth. *Journal of Veterinary Dentistry* **29**: 150–156. DOI: 10.1177/089875641202900303
- Eshed V, Gopher A, Galili E, Hershkovitz I. 2004. Musculoskeletal stress markers in Natufian hunter-gatherers and Neolithic farmers in the Levant: the upper limb. *American Journal of Physical Anthropology* **123**: 303–315. DOI: 10.1002/ajpa.10312
- Evrard L, Bolen G, Maquet N, Busoni V. 2012. Ultrasonography of the collateral ligaments of the distal interphalangeal joint in horses: technique and reference images. *Journal of Equine Veterinary Science* **32**: 584–589. DOI: 10.1016/j.jevs.2012.02.003
- Feh C. 1988. Social behaviour and relationships of Prezewalski horses in Dutch semi-reserves. *Applied Animal Behaviour Science* **21**: 71–87. DOI: 10.1016/0168-1591(88)90101-3
- Felsenthal N, Rubin S, Stern T, Krief S, Pal D, Pryce BA, Schweitzer R, Zelzer E. 2018. Development of migrating tendon-bone attachments involves replacement of progenitor populations. *Development* **145**: 1–10. DOI: 10.1242/dev.165381
- Fernandez P. 2009. De l'estimation de l'âge individuel dentaire au modèle descriptif des structures d'âge des cohortes fossiles : l'exemple des Equidae et du time-specific model en contextes paléobiologiques pléistocènes. *Bulletin de la Société préhistorique française* **106**: 5–14. DOI: 10.3406/bspf.2009.13826
- Fernández-Jalvo Y, Andrews P. 2016. *Atlas of Taphonomic Identifications: 1001+ Images of Fossil and Recent Mammal Bone Modification*. Springer: Amsterdam. DOI: 10.1007/978-94-017-7432-1

- Firth EC. 2000. Tendinopathy in domestic animals. *Sports Medicine and Arthroscopy Review* **8**: 105–113.
- Fischer S, Lind L. 2015. The coins in the grave of King Childeric. *Journal of Archaeology and Ancient History* : 1–36.
- Foster A, Buckley H, Tayles N. 2014. Using enthesis robusticity to infer activity in the past: a review. *Journal of Archaeological Method and Theory* **21**: 511–533. DOI: 10.1007/s10816-012-9156-1
- Frowen P, Benjamin M. 1995. Variations in the quality of uncalcified fibrocartilage at the insertions of the extrinsic calf muscles in the foot. *Journal of Anatomy* **186**: 417–421.
- Gabel AA. 1980. Lameness caused by inflammation in the distal hock. *The Veterinary Clinics of North America. Large Animal Practice* **2**: 101–124. DOI: 10.1016/s0196-9846(17)30177-5
- Gabriel A, Mees G, Collin B. 1995. Étude morphométrique des squelettes équiens mérovingiens de Tournai. In *Le cheval et les autres équidés: aspect de l'histoire de leur insertion dans les activités humaines*. Presses de l'université de Liège: Liège; 103–131.
- Gao J, Messner K. 1996. Quantitative comparison of soft tissue-bone interface at chondral ligament insertions in the rabbit knee joint. *Journal of Anatomy* **188**: 367–373.
- Gao J, Messner K, Ralphs JR, Benjamin M. 1996. An immunohistochemical study of enthesis development in the medial collateral ligament of the rat knee joint. *Anatomy and Embryology* **194**: 399–406. DOI: 10.1007/BF00198542
- Gardeisen A, Chandezon C (eds). 2014. *Équidés et bovidés de la Méditerranée antique - Rites et combats, jeux et savoirs*. Lattes.
- Gardeisen A, Furet E, Boulbes N. 2010. *Histoire d'équidés: des textes, des images et des os*. Association pour le Développement de l'Archéologie en Languedoc-Roussillon.
- Gere I, Dixon PM. 2010. Post mortem survey of peripheral dental caries in 510 Swedish horses. *Equine Veterinary Journal* **42**: 310–315. DOI: 10.1111/j.2042-3306.2009.00024.x
- Gillis C. 2014. Chapter 20 - Soft tissue injuries: tendinitis and desmitis. In *Equine Sports Medicine and Surgery (Second Edition)*, Geor KWHJKJ (ed). W.B. Saunders: Philadelphia (PA); 399–418.
- Gilot É. 1987. Tournai, les fosses à chevaux de la terrasse Saint-Brice - Datation ¹⁴C. *Documents d'Archéologie Régionale (Louvain)* **2**: 67–70.
- Girodroux M, Dyson S, Murray R. 2009. Osteoarthritis of the thoracolumbar synovial intervertebral articulations: clinical and radiographic features in 77 horses with poor performance and back pain. *Equine Veterinary Journal* **41**: 130–138. DOI: 10.2746/042516408X345099
- Goble DO. 2011. Chapter 126 - Lameness in draft horses. In *Diagnosis and Management of Lameness in the Horse (Second Edition)*, Ross MW and Dyson SJ (eds). W.B. Saunders: Philadelphia (PA); 1058–1069. DOI: 10.1016/B978-1-4160-6069-7.00124-3
- Godde K, Taylor RJW, Gutierrez C. 2017. Enthesal changes and demographic/health indicators in the upper extremity of modern Americans: associations with age and physical activity. *International Journal of Osteoarchaeology* **28**: 285–293. DOI: 10.1002/oa.2653
- Grant PG, Buschang PH, Drolet DW, Pickerell C. 1980. Invariance of the relative positions of structures attached to long bones during growth: cross-sectional and longitudinal studies. *Cells Tissues Organs* **107**: 26–34. DOI: 10.1159/000145225
- Gresky J, Wagner M, Schmidt-Schultz TH, Schwarz L, Wu X, Aisha A, Tarasov PE, Schultz M. 2016. 'You must keep going' – Musculoskeletal system stress indicators of prehistoric mobile pastoralists in Western China. *Quaternary International* **405, Part B**: 186–199. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.04.035

- Greve L, Dyson S. 2013. The horse-saddle-rider interaction. *The Veterinary Journal* **195**: 275–281. DOI: 10.1016/j.tvjl.2012.10.020
- Gruyaert M, Pollard D, Dyson SJ. 2020. An investigation into the occurrence of, and risk factors for, concurrent suspensory ligament injuries in horses with hindlimb proximal suspensory desmopathy. *Equine Veterinary Education* **32**: 173–182. DOI: 10.1111/eve.13187
- Guadelli J-L. 1998. Détermination de l'âge des chevaux fossiles et établissement des classes d'âge. *Paléo* **10**: 87–93.
- Hanot P, Gerber S, Guintard C, Herrel A, Verslype L, Cornette R. 2020. Reconstructing the functional traits of the horses from the tomb of King Childeric. *Journal of Archaeological Science* **121**: 105200. DOI: 10.1016/j.jas.2020.105200
- Hanot P, Herrel A, Guintard C, Cornette R. 2017. Morphological integration in the appendicular skeleton of two domestic taxa: the horse and donkey. *Proceedings of the Royal Society B* **284**: 20171241. DOI: 10.1098/rspb.2017.1241
- Hanot P, Herrel A, Guintard C, Cornette R. 2018. The impact of artificial selection on morphological integration in the appendicular skeleton of domestic horses. *Journal of Anatomy* **232**: 657–673. DOI: 10.1111/joa.12772
- Harris EF, Sjøvold T. 2004. Calculation of Smith's Mean Measure of Divergence for intergroup comparisons using nonmetric data. *Dental Anthropology Journal* **17**: 83–93. DOI: 10.26575/daj.v17i3.152
- Harrison SM, Whitton RC, King M, Haussler KK, Kawcak CE, Stover SM, Pandey MG. 2012. Forelimb muscle activity during equine locomotion. *Journal of Experimental Biology* **215**: 2980–2991. DOI: 10.1242/jeb.065441
- Hassel DM. 2007. Thoracic trauma in horses. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice* **23**: 67–80. DOI: 10.1016/j.cveq.2006.11.006
- Haussler KK, Jeffcott LB. 2014. 21 - Back and pelvis. In *Equine Sports Medicine and Surgery (Second Edition)*, Hinchcliff KW, Kaneps AJ, and Geor RJ (eds). W.B. Saunders: Philadelphia; 419–456. DOI: 10.1016/B978-0-7020-4771-8.00021-1
- Havelková P, Hladík M, Velemínský P. 2013. Enthesal changes: do they reflect socioeconomic status in the early medieval Central European population? (Mikulčice – Klášteřisko, Great Moravian Empire, 9th – 10th century). *International Journal of Osteoarchaeology* **23**: 237–251. DOI: 10.1002/oa.2294
- Havelková P, Villotte S. 2007. Enthesopathies: test of reproducibility of the new scoring system based on current medical data. *Slovenská antropológia* **10**: 51–57.
- Havelková P, Villotte S, Velemínský P, Poláček L, Dobisíková M. 2011. Enthesopathies and activity patterns in the Early Medieval Great Moravian population: evidence of division of labour. *International Journal of Osteoarchaeology* **21**: 487–504. DOI: 10.1002/oa.1164
- Hawe C, McDiarmid AM. 1999. Tendonitis of the biceps brachii and intertubercular (bicipital) bursitis in a Thoroughbred racehorse. *Equine Veterinary Education* **11**: 60–62. DOI: 10.1111/j.2042-3292.1999.tb00922.x
- Hawkey DE. 1988. *Use of upper extremity enthesopathies to indicate habitual activity patterns*, Thèse de doctorat, Department of Anthropology, Arizona State University: Tempe
- Hawkey DE, Merbs CF. 1995. Activity-induced musculoskeletal stress markers (MSM) and subsistence strategy changes among ancient Hudson Bay Eskimos. *International Journal of Osteoarchaeology* **5**: 324–338. DOI: 10.1002/oa.1390050403
- Henderson CY. 2013a. Do diseases cause enthesal changes at fibrous entheses? *International Journal of Paleopathology* **3**: 64–69. DOI: 10.1016/j.ijpp.2013.03.007
- Henderson CY. 2013b. Technical note: quantifying size and shape of entheses. *Anthropological Science* **121**: 63–73. DOI: 10.1537/ase.121017

- Henderson CY, Alves Cardoso F. 2013. Special issue enthesal changes and occupation: technical and theoretical advances and their applications. *International Journal of Osteoarchaeology* **23**: 127–134. DOI: 10.1002/oa.2298
- Henderson CY, Mariotti V, Pany-Kucera D, Villotte S, Wilczak C. 2013. Recording specific enthesal changes of fibrocartilaginous entheses: initial tests using the coimbra method. *International Journal of Osteoarchaeology* **23**: 152–162. DOI: 10.1002/oa.2287
- Henderson CY, Mariotti V, Pany-Kucera D, Villotte S, Wilczak C. 2016. The new “Coimbra method”: a biologically appropriate method for recording specific features of fibrocartilaginous enthesal changes. *International Journal of Osteoarchaeology* **26**: 925–932. DOI: 10.1002/oa.2477
- Henderson CY, Mariotti V, Santos F, Villotte S, Wilczak CA. 2017. The new Coimbra method for recording enthesal changes and the effect of age-at-death. *BMSAP* **29**: 140–149. DOI: 10.1007/s13219-017-0185-x
- Henderson CY, Nikita E. 2016a. Accounting for multiple effects and the problem of small sample sizes in osteology: A case study focussing on enthesal changes. *Archaeological and Anthropological Sciences* **8**: 805–817. DOI: 10.1007/s12520-015-0256-1
- Henderson CY, Nikita E. 2016b. Accounting for multiple effects and the problem of small sample sizes in osteology: a case study focussing on enthesal changes. *Archaeological and Anthropological Sciences* **8**: 805–817. DOI: 10.1007/s12520-015-0256-1
- Henderson CY, Wilczak C, Mariotti V. 2017. Commentary: an update to the new Coimbra method for recording enthesal changes. *International Journal of Osteoarchaeology* **27**: 521–522. DOI: 10.1002/oa.2548
- Hernandez J, Hawkins DL, Scollay MC. 2001. Race-start characteristics and risk of catastrophic musculoskeletal injury in Thoroughbred racehorses. *Journal of the American Veterinary Medical Association* **218**: 83–86. DOI: 10.2460/javma.2001.218.83
- Higgins G, Martin S. 2014. *La locomotion du cheval - Un guide pratique pour entraîner son cheval*. Belin Equit: Berlin.
- Hillson S. 2005. *Teeth*. Second Edition. Cambridge University Press: Cambridge.
- Hull E, Niinimäki S, Salmi A-K. 2020. Differences in enthesal changes in the phalanges between ecotypes of fennoscandian reindeer. *International Journal of Osteoarchaeology* DOI: 10.1002/oa.2897
- Hureau F. 2010. *La castration du cheval normalement conformé: état des différentes alternatives disponibles en 2010. Étude rétrospective comparative de deux techniques: la castration inguinale et la castration laparoscopique*, Thèse d'exercice, Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort: Créteil
- Huskamp B, Nowak M. 1988. “Insertion-desmopathies” in the horse and some of their localizations. *Pferdeheilkunde* **4**: 3–12. DOI: 10.21836/PEM19880101
- Ibáñez-Gimeno P, Esteban-Trivigno SD, Jordana X, Manyosa J, Malgosa A, Galtés I. 2013a. Functional plasticity of the human humerus: shape, rigidity, and muscular entheses. *American Journal of Physical Anthropology* **150**: 609–617. DOI: 10.1002/ajpa.22234
- Ibáñez-Gimeno P, Galtés I, Jordana X, Fiorin E, Manyosa J, Malgosa A. 2013b. Enthesal changes and functional implications of the humeral medial epicondyle. *International Journal of Osteoarchaeology* **23**: 211–220. DOI: 10.1002/oa.2299
- Irish JD. 2006. Who were the ancient Egyptians? Dental affinities among Neolithic through postdynastic peoples. *American Journal of Physical Anthropology* **129**: 529–543. DOI: 10.1002/ajpa.20261
- Irish JD. 2010. The mean measure of divergence: its utility in model-free and model-bound analyses relative to the Mahalanobis D2 distance for nonmetric traits. *American Journal of Human Biology* **22**: 378–395. DOI: 10.1002/ajhb.21010

- Jackson K, Kelty E, Tennant M. 2018. Equine peripheral dental caries: an epidemiological survey assessing prevalence and possible risk factors in Western Australian horses. *Equine Veterinary Journal* **50**: 79–84. DOI: 10.1111/evj.12718
- Janeczek M, Chrószcz A, Onar V, Henklewski R, Piekalski J, Duma P, Czerski A, Całkosiński I. 2014. Anatomical and biomechanical aspects of the horse spine: The interpretation of vertebral fusion in a medieval horse from Wrocław (Poland). *International Journal of Osteoarchaeology* **24**: 623–633. DOI: 10.1002/oa.2248
- Janeczek M, Chrószcz A, Onar V, Henklewski R, Skalec A. 2017. Proximal interphalangeal joint ankylosis in an early medieval horse from Wrocław Cathedral Island, Poland. *International Journal of Paleopathology* **17**: 18–25. DOI: 10.1016/j.ijpp.2017.03.001
- Jeffcott LB. 1980. Disorders of the thoracolumbar spine of the horse - A survey of 443 cases. *Equine Veterinary Journal* **12**: 197–210. DOI: 10.1111/j.2042-3306.1980.tb03427.x
- Jorgensen KC, Mallon L, Kranioti EF. 2020. Testing inter- and intra-observer agreement of the original and revised Coimbra methods. *International Journal of Osteoarchaeology* **in press** DOI: 10.1002/oa.2907
- Jurmain R, Cardoso FA, Henderson C, Villotte S. 2012. Bioarchaeology's Holy Grail: the reconstruction of activity. In *A Companion to paleopathology*, Grauer A (ed). Wiley-Blackwell; 531–552. DOI: 10.1002/9781444345940.ch29
- Jurmain R, Villotte S. 2010. Terminology. Entheses in medical literature and physical anthropology : a brief review. University of Coimbra, CIAS-Centro de Investigaçao em Antropologia e Saude
- Karakostis FA, Hotz G, Scherf H, Wahl J, Harvati K. 2017. Occupational manual activity is reflected on the patterns among hand entheses. *American Journal of Physical Anthropology* **164**: 30–40. DOI: 10.1002/ajpa.23253
- Karakostis FA, Hotz G, Scherf H, Wahl J, Harvati K. 2018. A repeatable geometric morphometric approach to the analysis of hand enthesal three-dimensional form. *American Journal of Physical Anthropology* **166**: 246–260. DOI: 10.1002/ajpa.23421
- Kasashima Y, Takahashi T, Smith R KW, Goodship AE, Kuwano A, Ueno T, Hirano S. 2004. Prevalence of superficial digital flexor tendonitis and suspensory desmitis in Japanese Thoroughbred flat racehorses in 1999. *Equine Veterinary Journal* **36**: 346–350. DOI: 10.2746/0425164044890580
- Kazanski M, Périn P. 1988. Le mobilier funéraire de la tombe de Childéric I^{er}. État de la question et perspectives. *Revue archéologique de Picardie* **3**: 13–38. DOI: 10.3406/pica.1988.1528
- Kazanski M, Périn P. 2005. La tombe de Childéric : un tumulus oriental ? *Revue des études byzantines* **63**: 287–298.
- Keane KP, Munroe G. 2011. Chapter 124 - Lameness in the driving horse. In *Diagnosis and management of lameness in the horse (Second Edition)*, Ross MW and Dyson SJ (eds). W.B. Saunders: Saint Louis; 1205–1215. DOI: 10.1016/B978-1-4160-6069-7.00124-3
- Kennedy KAR. 1989. Skeletal markers of occupational stress. In *Reconstruction of Life from the Skeleton*, Iscan MY and Kenneth KAR (eds). Alan R. Liss: New-York; 129–160.
- Kiesewalter L. 1888. *Skelettmessungen am Pferde als Beitrag zur theoretischen Grundlage der Beurteilungslehre des Pferdes.*, Philosophische Dissertation, Universität Leipzig
- Kimura B, Marshall F, Beja-Pereira A, Mulligan C. 2013. Donkey domestication. *African Archaeological Review* **30**: 83–95. DOI: 10.1007/s10437-012-9126-8
- Knüsel CJ. 2000. Bone adaptation and its relationship to physical activity in the past. In *Human Osteology in Archaeology and Forensic Science*, Cox M and Mays S (eds). Greenwich Medical Media: London; 381–402.
- Knüsel CJ. 2006. “Of no more use to men than in ages before?”: the Investiture Contest as a model for funerary interpretation. In *Social Archaeology of Funerary Remains*. Oxbow Books: Oxford; 209–223.

- Koch JK, Hoops J. 2003. Pferdegeschirr. *Reallexikon der Germanischen Altertumskunde* **23**: 35–50.
- Kranenburg H-JC, Voorhout G, Grinwis GCM, Hazewinkel HAW, Meij BP. 2011. Diffuse idiopathic skeletal hyperostosis (DISH) and spondylosis deformans in purebred dogs: a retrospective radiographic study. *The Veterinary Journal* **190**: e84–e90. DOI: 10.1016/j.tvjl.2011.04.008
- Krantz GS. 1981. *The process of human evolution*. Schenkman Publishing Company Inc.: Cambridge.
- Lacoste J. 1851. *De la castration des chevaux*. Imprimerie de A. Chausin et cie: Toulouse.
- Lagier R. 1977. Spondylosis in the whale - An anatomicoradiological study of an osteophyte. *Scandinavian Journal of Rheumatology* **6**: 245–249. DOI: 10.3109/03009747709095459
- Lagier R. 1989. Spinal hyperostosis in comparative pathology. *Skeletal Radiology* **18**: 99–107. DOI: 10.1007/BF00350656
- Landis JR, Koch GG. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* **33**: 159–174. DOI: 10.2307/2529310
- Latham KJ, Losey RJ. 2019. Spondylosis deformans as an indicator of transport activities in archaeological dogs: a systematic evaluation of current methods for assessing archaeological specimens. *PLOS ONE* **14**: e0214575. DOI: 10.1371/journal.pone.0214575
- Launois MT, Vandeweerd J-MEF, Perrin RAR, Brogniez L, Desbrosse FG, Clegg PD. 2009. Use of computed tomography to diagnose new bone formation associated with desmitis of the proximal aspect of the suspensory ligament in third metacarpal or third metatarsal bones of three horses. *Journal of the American Veterinary Medical Association* **234**: 514–518. DOI: 10.2460/javma.234.4.514
- Lazaris S (ed). 2012. *Le cheval dans les sociétés antiques et médiévales. Actes des Journées d'étude internationales organisées par l'UMR 7044 - Étude des civilisations de l'Antiquité, Strasbourg, 6-7 novembre 2009*. Brepols Publishers.
- Lé M, Ardagna Y, Bello S, Dutour O. 2006. Une nouvelle méthode de quantification des réactions périostées en paléopathologie : l'indice pondéré d'atteinte périostée (IPAP). *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris* : 187–196.
- Lee L, Reardon RJM, Dixon PM. 2019. A post-mortem study on the prevalence of peripheral dental caries in Scottish horses. *Equine Veterinary Education* **31**: 96–101. DOI: 10.1111/eve.12783
- Levine MA. 1982. The use of crown height measurements and eruption-wear sequences to age horse teeth. In *Ageing and sexing Animal Bones from Archaeological sites*. BAR British Series; 223–250.
- Levine MA. 1983. Mortality models and the interpretation of horse population structure. In *Hunter-Gatherer economy in Prehistory. An European perspective.*, Bailey AR (ed). Cambridge University Press; 23–46.
- Levine MA. 2005. Domestication and early history of the horse. In *The Domestic Horse: The Origins, Development and Management of its Behaviour.*, Mills DS and McDonnell SM (eds). Cambridge University Press: Cambridge; 5–23.
- Lieverse AR, Bazaliiskii VI, Goriunova OI, Weber AW. 2013. Lower limb activity in the Cis-Baikal: entheseal changes among middle holocene siberian foragers. *American Journal of Physical Anthropology* **150**: 421–432. DOI: 10.1002/ajpa.22217
- Lignereux Y, Bouet C. 2015. Spinal hyperostosis and ankylosis in a Gallo-Roman horse from Iwuy 'Val-de-Calvigny' (Nord, France): 'Ankylosing spondylarthritis' (spondylarthritis ankylopoetica), 'deforming spondylarthrosis' (spondylarthrosis deformans) or 'DISH' (hyperostosis vertebralis ankylopoetica)? An archeozoological and comparative nosological review. *International Journal of Paleopathology* **9**: 38–51. DOI: 10.1016/j.ijpp.2014.12.002

- Lignereux Y, Peters J. 1997. Elements for the retrospective diagnosis of tuberculosis on animal bones from archaeological sites. In *Tuberculosis: Past and Present*. Golden Book Publisher Ltd: Tuberculosis Foundation, Hungary; 339–348.
- Linnartz L, Linnartz-Nieuwdorp E. 2017. The social organisation of natural herds of koniks (*Equus caballus*): subordinate stallions, rule or exception? *Lutra* **60**: 27–42.
- Lorans É (ed). 2017. *Le cheval au Moyen-Âge*. Presses Universitaires François-Rabelais.
- Mann HB, Whitney DR. 1947. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics* **18**: 50–60. DOI: 10.1214/aoms/1177730491
- Mariotti V, Belcastro MG. 2011. Lower limb enthesal morphology in the Neandertal Krapina population (Croatia, 130 000 BP). *Journal of Human Evolution* **60**: 694–702. DOI: 10.1016/j.jhevol.2010.12.007
- Mariotti V, Facchini F, Belcastro MG. 2004a. Enthesopathies - Proposal of a standardized scoring method and applications. *Collegium Antropologicum* **28**: 145–159.
- Mariotti V, Facchini F, Belcastro MG. 2007. The study of entheses: proposal of a standardised scoring method for twenty-three entheses of the postcranial skeleton. *Collegium Antropologicum* **31**: 291–313.
- Mariotti V, Facchini F, Giovanna Belcastro M. 2004b. Enthesopathies—proposal of a standardized scoring method and applications. *Collegium antropologicum* **28**: 145–159.
- Marković N, Stevanović O, Krstić N, Marinković D, Buckley M. 2019. A case study of vertebral fusion in a 19th-century horse from Serbia. *International Journal of Paleopathology* **27**: 17–23. DOI: 10.1016/j.ijpp.2019.07.007
- Marković N, Stevanović O, Nešić V, Marinković D, Krstić N, Nedeljković D, Radmanović D, Janeczek M. 2014. Palaeopathological study of cattle and horse bone remains of the ancient Roman city of Sirmium (Pannonia/Serbia). *Revue de Médecine Vétérinaire* **3–4**: 77–88.
- Martinelli MJ, Rantanen NW. 2009. Lameness originating from the equine stifle joint: a diagnostic challenge. *Equine Veterinary Education* **21**: 648–651. DOI: 10.2746/095777309X479238
- Martinez M, McDermott P, Walker R. 2006. Pharmacology of the fluoroquinolones: a perspective for the use in domestic animals. *The Veterinary Journal* **172**: 10–28. DOI: 10.1016/j.tvjl.2005.07.010
- Mason GJ. 1991. Stereotypies: a critical review. *Animal Behaviour* **41**: 1015–1037. DOI: 10.1016/S0003-3472(05)80640-2
- Matyas JR, Bodie D, Andersen M, Frank CB. 1990. The development morphology of a “periosteal” ligament insertion: growth and maturation of the tibial insertion of the rabbit medial collateral ligament. *Journal of Orthopaedic Research* **8**: 412–424. DOI: 10.1002/jor.1100080313
- Mazza B. 2019. Enthesal changes among late Holocene hunter-gatherers from the southern extreme of La Plata basin (Argentina). *Archaeological and Anthropological Sciences* **11**: 1865–1885. DOI: 10.1007/s12520-018-0638-2
- McDiarmid AM. 1998. Distal interphalangeal joint lameness in a horse associated with damage to the insertion of the lateral collateral ligament. *Equine Veterinary Education* **10**: 114–118. DOI: 10.1111/j.2042-3292.1998.tb00861.x
- McGonagle D, Benjamin M, Marzo-Ortega H, Emery P. 2002. Advances in the understanding of enthesal inflammation. *Current Rheumatology Reports* **4**: 500–506. DOI: 10.1007/s11926-002-0057-2
- McGowan C. 1999. *A practical guide to vertebrate mechanics*. Cambridge University Press.
- Meehan L, Dyson S, Murray R. 2009. Radiographic and scintigraphic evaluation of spondylosis in the equine thoracolumbar spine: a retrospective study. *Equine Veterinary Journal* **41**: 800–807. DOI: 10.2746/042516409X436592

- Méniel P. 1996. Importation de grands animaux romains et amélioration du cheptel à la fin de l'Âge du Fer en Gaule Belgique. *Revue archéologique de Picardie* **3**: 113–122. DOI: 10.3406/pica.1996.2179
- Méniel P. 2008. *Manuel d'archéozoologie funéraire et sacrificielle (Âge du Fer)*. Infolio: Paris.
- Meyer C, Nicklisch N, Held P, Fritsch B, Alt KW. 2011. Tracing patterns of activity in the human skeleton: an overview of methods, problems, and limits of interpretation. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology* **62**: 202–217. DOI: 10.1016/j.jchb.2011.03.003
- Michopoulou E, Nikita E, Henderson CY. 2017. A test of the effectiveness of the Coimbra method in capturing activity-induced enthesal changes. *International Journal of Osteoarchaeology* **27**: 409–417. DOI: 10.1002/oa.2564
- Michopoulou E, Nikita E, Valakos ED. 2015. Evaluating the efficiency of different recording protocols for enthesal changes in regards to expressing activity patterns using archival data and cross-sectional geometric properties. *American Journal of Physical Anthropology* **158**: 557–568. DOI: 10.1002/ajpa.22822
- Mikola K, Piras A, Hakala L. 2018. Isolated avulsion of the tendon of insertion of the infraspinatus and supraspinatus muscles in five juvenile labrador retrievers. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* **31**: 285–290. DOI: 10.1055/s-0038-1641132
- Milella M. 2014. The influence of life history and sexual dimorphism on enthesal changes in modern humans and African Great Apes. *PLOS ONE* **9**: e107963. DOI: 10.1371/journal.pone.0107963
- Milella M, Cardoso FA, Assis S, Perréard Lopreno G, Speith N. 2015. Exploring the relationship between enthesal changes and physical activity: a multivariate study. *American Journal of Physical Anthropology* **156**: 215–223. DOI: 10.1002/ajpa.22640
- Milella M, Giovanna Belcastro M, Zollikofer CPE, Mariotti V. 2012. The effect of age, sex, and physical activity on enthesal morphology in a contemporary Italian skeletal collection. *American Journal of Physical Anthropology* **148**: 379–388. DOI: 10.1002/ajpa.22060
- Miles AEW, Grigson C (eds). 2011. *Colyer's Variations and Diseases of the Teeth of Animals (revised ed.)*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Mitchell P. 2018. *The Donkey in Human History: An Archaeological Perspective*. Oxford University Press: Oxford.
- Molnar P. 2006. Tracing prehistoric activities: musculoskeletal stress marker analysis of a stone-age population on the Island of Gotland in the Baltic sea. *American Journal of Physical Anthropology* **129**: 12–23. DOI: 10.1002/ajpa.20234
- Molnar P. 2010. Patterns of physical activity and material culture on Gotland, Sweden, during the Middle Neolithic. *International Journal of Osteoarchaeology* **20**: 1–14. DOI: 10.1002/oa.1000
- Molnar P, Ahlstrom TP, Leden I. 2011. Osteoarthritis and activity - An analysis of the relationship between eburnation, Musculoskeletal Stress Markers (MSM) and age in two Neolithic hunter-gatherer populations from Gotland, Sweden. *International Journal of Osteoarchaeology* **21**: 283–291. DOI: 10.1002/oa.1131
- Morgan JP. 1967. Spondylosis deformans in the dog: a morphologic study with some clinical and experimental observations. *Acta Orthopaedica Scandinavica* **38**: 1–88. DOI: 10.3109/ort.1967.38.suppl-96.01
- Müller H-H. 1985. *Frühgeschichtliche Pferdeskelettfunde im Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik*. Museum für Ur-und Frühgeschichte Thüringens: Weimar.
- Müller-Wille M, Vierck H. 1972. *Pferdegrab und Pferdeopfer im frühen Mittelalter mit einem Beitrag von H Vierck: Pferdegräber im angelsächsischen*.

- Murray RC, Dyson SJ, Tranquille C, Adams V. 2006. Association of type of sport and performance level with anatomical site of orthopaedic injury diagnosis. *Equine Veterinary Journal* **38**: 411–416. DOI: 10.1111/j.2042-3306.2006.tb05578.x
- Muylaert A, Mainil J. 2014. Quinolones et fluoroquinolones : des décennies de développement et d'utilisation. Le point sur les molécules vétérinaires. Partie 2 : le regard du vétérinaire. *Annales de Médecine Vétérinaire* **158**: 73–87.
- Nawata K, Minamizaki T, Yamashita Y, Teshima R. 2002. Development of the attachment zones in the rat anterior cruciate ligament: changes in the distributions of proliferating cells and fibrillar collagens during postnatal growth. *Journal of Orthopaedic Research* **20**: 1339–1344. DOI: 10.1016/S0736-0266(02)00048-7
- Nawroth M. 2005. Steigbügel. *Reallexikon der Germanischen Altertumskunde* **29**: 547–551.
- Niinimäki S. 2011. What do muscle marker ruggedness scores actually tell us? *International Journal of Osteoarchaeology* **21**: 292–299. DOI: 10.1002/oa.1134
- Niinimäki S. 2012. The relationship between musculoskeletal stress markers and biomechanical properties of the humeral diaphysis. *American Journal of Physical Anthropology* **147**: 618–628. DOI: 10.1002/ajpa.22023
- Niinimäki S, Baiges Sotos L. 2013. The relationship between intensity of physical activity and enthesal changes on the lower limb. *International Journal of Osteoarchaeology* **23**: 221–228. DOI: 10.1002/oa.2295
- Niinimäki S, Narra N, Härkönen L, Abe S, Nikander R, Hyttinen J, Knüsel C, Sievänen H. 2017. The relationship between loading history and proximal femoral diaphysis cross-sectional geometry. *American Journal of Human Biology* **29**: e22965. DOI: 10.1002/ajhb.22965
- Niinimäki S, Salmi A-K. 2016. Enthesal changes in free-ranging versus zoo reindeer - Observing activity status of reindeer. *International Journal of Osteoarchaeology* **26**: 314–323. DOI: 10.1002/oa.2423
- Niinimäki S, Söderling S, Junno J-A, Finnilä M, Niskanen M. 2013. Cortical bone thickness can adapt locally to muscular loading while changing with age. *HOMO* **64**: 474–490. DOI: 10.1016/j.jchb.2013.07.004
- Nikita E. 2014. The use of generalized linear models and generalized estimating equations in bioarchaeological studies. *American Journal of Physical Anthropology* **153**: 473–483. DOI: 10.1002/ajpa.22448
- Nikita E, Mattingly D, Lahr MM. 2012. Sahara: barrier or corridor? Nonmetric cranial traits and biological affinities of North African late holocene populations. *American Journal of Physical Anthropology* **147**: 280–292. DOI: 10.1002/ajpa.21645
- Nikita E, Xanthopoulou P, Bertsatos A, Chovalopoulou M-E, Hafez I. 2019. A three-dimensional digital microscopic investigation of enthesal changes as skeletal activity markers. *American Journal of Physical Anthropology* **0** DOI: 10.1002/ajpa.23850
- Noldner LK, Edgar HJH. 2013. 3D representation and analysis of enthesal morphology. *American Journal of Physical Anthropology* **152**: 417–424. DOI: 10.1002/ajpa.22367
- Nolte M, Wilczak C. 2013. Three-dimensional surface area of the distal biceps enthesal, relationship to body size, sex, age and secular changes in a 20th century American sample. *International Journal of Osteoarchaeology* **23**: 163–174. DOI: 10.1002/oa.2292
- Nunn CL, Rothschild B, Gittleman JL. 2007. Why are some species more commonly afflicted by arthritis than others? A comparative study of spondyloarthritis in primates and carnivores. *Journal of Evolutionary Biology* **20**: 460–470. DOI: 10.1111/j.1420-9101.2006.01276.x
- Ober C, Schwarz G, Crăciun I, Danciu C, Cimpoieș I, Peștean C, Melega I, Oana L. 2018. Flexor enthesopathy of the elbow in three dogs: imaging and surgery. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Veterinary Medicine* **75**: 185–189. DOI: 10.15835/buasvmcn-vm:2018.0012

- O'Brien EJO, McAlpine JM, Schramme MC, Clegg PD, Archer RM, Guio CD, Smith RKW. 2018. Avulsion of the proximal digital annular ligament in five hindlimbs. *Equine Veterinary Education* **30**: 427–432. DOI: 10.1111/eve.12861
- O'Connor T. 2008. On the differential diagnosis of arthropathy in bovids. *Documenta Archaeobiologiae* : 165–186.
- Oexle J. 1984. Merowingerzeitliche Pferdebestattungen - Opfer oder Beigaben? *Frühmittelalterliche Studien* **18**: 122–172. DOI: 10.1515/9783110242171.122
- Oikawa M, Narama I. 1998. Enthesopathy of the radial tuberosity in two Thoroughbred racehorses. *Journal of Comparative Pathology* **118**: 135–143. DOI: 10.1016/S0021-9975(98)80005-4
- Onar V, Alpak H, Pazvant G, Armutak A, Chrószcz A. 2012. Byzantine horse skeletons of Theodosius Harbour: 1. Paleopathology. *Revue de Médecine Vétérinaire* **163**: 139–146.
- Onar V, Kahvecioglu O, Kostov D, Armutak A, Pazvant G, Chrószcz A, Gezer Ince N. 2015. Osteological evidences of Byzantine draught cattle from Theodosius Harbour at Yenikapi, Istanbul. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry* **15**: 71–80.
- O'Sullivan CB. 2007. Injuries of the flexor tendons: focus on the superficial digital flexor tendon. *Clinical Techniques in Equine Practice* **6**: 189–197. DOI: 10.1053/j.ctep.2007.08.005
- Otomo K. 1973. Histological studies on the insertion of the tendon on the distal phalanx of the horse. *The Japanese Journal of Veterinary Research* **21**: 1–14.
- al-Oumaoui I, Jiménez-Brobeil S, du Souich P. 2004. Markers of activity patterns in some populations of the Iberian Peninsula. *International Journal of Osteoarchaeology* **14**: 343–359. DOI: 10.1002/oa.719
- Outram AK, Stear NA, Bendrey R, Olsen S, Kasparov A, Zaibert V, Thorpe N, Evershed RP. 2009. The earliest horse harnessing and milking. *Science* **323**: 1332–1335. DOI: 10.1126/science.1168594
- Palmer JLA. 2019. *A sense of society. Enteseal change as an indicator of physical activity in the Post-Medieval Low Countries: potential and limitations.*, Thèse de doctorat (non publiée), Universiteit Leiden: Leiden
- Palmer JLA, Hoogland MHL, Waters-Rist AL. 2016. Activity reconstruction of post-medieval Dutch rural villagers from upper limb osteoarthritis and enteseal changes. *International Journal of Osteoarchaeology* **26**: 78–92. DOI: 10.1002/oa.2397
- Palmer JLA, Waters-Rist AL. 2019. Acts of life: assessing enteseal change as an indicator of social differentiation in postmedieval Aalst (Belgium). *International Journal of Osteoarchaeology* **29**: 303–313. DOI: 10.1002/oa.2740
- Parkes RSV, Witte TH. 2015. The foot-surface interaction and its impact on musculoskeletal adaptation and injury risk in the horse. *Equine Veterinary Journal* **47**: 519–525. DOI: 10.1111/evj.12420
- Partiot C. 2018. *Diversité biologique des enfants décédés en période périnatale et traitements funéraires au Kerma classique - Les exemples de la nécropole 8B-51 (Kerma classique, Soudan) et des cimetières de Blandy-les-Tours (Xe-XIe siècle, France) et de Provins (XIIIe-XVIIIe siècle, France)*, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux
- Patterson-Kane JC, Firth EC. 2009. The pathobiology of exercise-induced superficial digital flexor tendon injury in Thoroughbred racehorses. *The Veterinary Journal* **181**: 79–89. DOI: 10.1016/j.tvjl.2008.02.009
- Paust E, Karl H-V. 2018. Untersuchungen zu Pferdebestattungen und Reitausrüstungen der Merowingerzeit. In *Warlords oder amtsträger? Herausragende Bestattungen der späten Merowingerzeit*. Germanischen Nationalmuseums: Nürnberg; 144–153.
- Périn P, Kazanski M. 2007. La tombe de Childéric, le Danube et la Méditerranée. In *Villes et campagnes en Neustrie Sociétés-Économies Territoires-Christianisation*, Verslype L (ed). Mémoires publiés par l'Association française d'archéologie mérovingienne: Tournai; 29–37.

- Perréard Lopreno G. 2007. *Adaptation structurelle des os du membre supérieur et de la clavicule à l'activité*, Université de Genève DOI: 10.13097/archive-ouverte/unige:18785
- Perréard Lopreno G, Alves Cardoso F, Assis S, Milella M, Speith N. 2013. Categorization of occupation in documented skeletal collections: its relevance for the interpretation of activity-related osseous changes. *International Journal of Osteoarchaeology* **23**: 175–185. DOI: 10.1002/oa.2301
- Peterson J. 1998. The Natufian hunting conundrum: spears, atlatls, or bows? Musculoskeletal and armature evidence. *International Journal of Osteoarchaeology* **8**: 378–389. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1212(199809)8:5<378::AID-OA436>3.0.CO;2-I
- Pickersgill CH. 2000. *Epidemiological studies into orthopaedic conditions of the equine athlete.*, MVM Thesis, University of Glasgow, UK
- Pilliner S, Elmhurst S, Davies Z. 2009. *The horse in motion: the anatomy and physiology of equine locomotion.* John Wiley & Sons.
- Pinto C, Frazer GS. 2012. Chapter 14 - Reproduction. In *Equine Medicine, Surgery and Reproduction*, Mair TS, Love S, Schumacher J, Smith RK, and Frazer GS (eds). Elsevier Health Sciences; 283–308.
- Platt D. 1997. Review of current methods available for the treatment of bone spavin. *Equine Veterinary Education* **9**: 258–264. DOI: 10.1111/j.2042-3292.1997.tb01320.x
- Plevin S, McLellan J. 2014. The effect of insertional suspensory branch desmitis on racing performance in juvenile Thoroughbred racehorses. *Equine Veterinary Journal* **46**: 451–457. DOI: 10.1111/evj.12161
- Plowright E, Dyson S. 2015. Concurrent proximal suspensory desmopathy and injury of the proximal aspect of the accessory ligament of the deep digital flexor tendon in forelimbs or hindlimbs in 19 horses. *Equine Veterinary Education* **27**: 355–364. DOI: 10.1111/eve.12335
- Pluskowski A, Seetah K, Maltby M. 2010. Potential osteoarchaeological evidence for riding and the military use of horses at Malbork Castle, Poland. *International Journal of Osteoarchaeology* **20**: 335–343. DOI: 10.1002/oa.1048
- Putelat O, Koziol A, Bocherens H, Guintard C, Lorans É. 2017. Les chevaux de la nécropole d'Odratzheim "Sandgrube" (Bas-Rhin). Étude archéozoologique et ostéométrique. In *Le cheval au Moyen-Âge*. Presses Universitaires François-Rabelais; 319–344.
- Quast D. 2010. Ein spätantikes Zepter aus dem Childerichgrab. *Archäologisches Korrespondenzblatt* **40**: 285–296.
- Quast D. 2015. *Das Grab des fränkischen Königs Childerich I. in Tournai*. Römisch Germanisches Zentralmuseum: Mainz.
- Quinn GC, Tremaine WH, Lane JG. 2005. Supernumerary cheek teeth (n = 24): clinical features, diagnosis, treatment and outcome in 15 horses. *Equine Veterinary Journal* **37**: 505–509. DOI: 10.2746/042516405775314808
- Rabey KN, Green DJ, Taylor AB, Begun DR, Richmond BG, McFarlin SC. 2015. Locomotor activity influences muscle architecture and bone growth but not muscle attachment site morphology. *Journal of Human Evolution* **78**: 91–102. DOI: 10.1016/j.jhevol.2014.10.010
- Ramseier LC, Waldern NM, Wiestner T, Geser-von Peinen K, Weishaupt MA. 2013. Saddle pressure distributions of three saddles used for Icelandic horses and their effects on ground reaction forces, limb movements and rider positions at walk and tölt. *The Veterinary Journal* **198**: e81–e87. DOI: 10.1016/j.tvjl.2013.09.038
- Ransom JJ, Kaczensky P (eds). 2016. *Wild Equids: Ecology, Management, and Conservation*. Johns Hopkins University Press: Baltimore.
- Refai O. 2019. Entheseal changes in ancient Egyptians from the pyramid builders of Giza-Old Kingdom. *International Journal of Osteoarchaeology* **29**: 513–524. DOI: 10.1002/oa.2748

- Renou S, Beauval C, Maury M. 2013. Un bilan des connaissances sur les épizooties au Moyen Âge et un épisode de mort extraordinaire de bovins à Luxé (Charente) durant l'époque mérovingienne. In *Les dépôts d'ossements d'animaux en France, de la fouille à l'interprétation*. Éditions Monique Mergoïl: Montagnac; 133–143.
- Resnick D, Niwayama G. 1983. Entheses and enthesopathy. Anatomical, pathological, and radiological correlation. *Radiology* **146**: 1–9. DOI: 10.1148/radiology.146.1.6849029
- Robb JE. 1998. The interpretation of skeletal muscle sites: a statistical approach. *International Journal of Osteoarchaeology* **8**: 363–377. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1212(199809)8:5<363::AID-OA438>3.0.CO;2-K
- Roman-Binois A. 2017. *L'archéologie des épizooties : mise en évidence et diagnostic des crises de mortalité chez les animaux d'élevage, du Néolithique à Pasteur*, Thèse de doctorat, Université Panthéon-Sorbonne - Paris I
- Ross MW, Dyson SJ. 2011. *Diagnosis and management of lameness in the horse (Second Edition)*. W.B. Saunders. Elsevier Health Sciences: Saint Louis, MO.
- Rossel S, Marshall F, Peters J, Pilgram T, Adams MD, O'Connor D. 2008. Domestication of the donkey: Timing, processes, and indicators. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **105**: 3715–3720. DOI: 10.1073/pnas.0709692105
- Rothschild BM. 2019. Evidence-based criteria for palaeopathological recognition: new methodology suggests that the rotator cuff condition will be amenable to reliable identification in the archeologic record. *International Journal of Osteoarchaeology* **29**: 868–873. DOI: 10.1002/oa.2793
- Routh J, Strang C, Gilligan S, Dyson S. 2019. An investigation of the association between hindlimb conformation and suspensory desmopathy in sports horses. *Equine Veterinary Education* **0** DOI: 10.1111/eve.13089
- Rubenstein DI. 2011. Family Equidae (Horses and relatives). In *Handbook of the Mammals of the World. Volume 2, Hoofed Mammals*, Wilson DE and Mittermeier RA (eds). Lynx Edicions: Barcelone, Espagne; 106–143.
- Rufai A, Ralphs JR, Benjamin M. 1995. Structure and histopathology of the insertional region of the human achilles tendon. *Journal of Orthopaedic Research* **13**: 585–593. DOI: 10.1002/jor.1100130414
- Salaün G, McGregor A, Périn P. 2008. Empreintes inédites de l'anneau sigillaire de Childéric I^{er}: état des connaissances. *Antiquités Nationales* : 217–224.
- Salmi A-K, Niinimäki S. 2016. Enteseal changes and pathological lesions in draught reindeer skeletons - Four case studies from present-day Siberia. *International Journal of Paleopathology* **14**: 91–99. DOI: 10.1016/j.ijpp.2016.05.012
- Salmi A-K, Niinimäki S, Pudas T. 2020. Identification of working reindeer using palaeopathology and enteseal changes. *International Journal of Paleopathology* **30**: 57–67. DOI: 10.1016/j.ijpp.2020.02.001
- Samsel M, Kacki S, Villotte S. 2014. Palaeopathological diagnosis of spondyloarthropathies: insights from the biomedical literature. *International Journal of Paleopathology* **7**: 70–75. DOI: 10.1016/j.ijpp.2014.07.002
- Santana-Cabrera J, Velasco-Vázquez J, Rodríguez-Rodríguez A. 2015. Enteseal changes and sexual division of labor in a North-African population: The case of the pre-Hispanic period of the Gran Canaria Island (11th–15th c. CE). *HOMO - Journal of Comparative Human Biology* **66**: 118–138. DOI: 10.1016/j.jchb.2014.10.005
- Santos AL, Cardoso FA, Assis S, Villotte S. 2009. *Workshop in musculoskeletal stress markers (MSM) : limitations and achievements in the reconstruction of past activity patterns. Program-abstract book*. Centro de Investigação em Antropologia e Saúde: Universidade de Coimbra, Portugal.
- Santos F. 2018. *KappaGUI: an R-Shiny application for calculating Cohen's and Fleiss' Kappa*.
- Schambourg MA, Laverty S, Mullim S, Fogarty UM, Halley J. 2003. Thoracic trauma in foals: post mortem findings. *Equine Veterinary Journal* **35**: 78–81. DOI: 10.2746/042516403775467478

- Schamhardt HC, Merkens HW, Van Osch GJVM. 1991. Ground reaction force analysis of horses ridden at the walk and trot. *Equine exercise physiology* **3**: 120–127.
- Schneider H. 1956. Zur Struktur der Sehnenansatzonen. *Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte* **119**: 431–456.
- Schrader SA. 2012. Activity patterns in New Kingdom Nubia: an examination of enthesal remodeling and osteoarthritis at Tombos. *American Journal of Physical Anthropology* **149**: 60–70. DOI: 10.1002/ajpa.22094
- Schrader SA. 2015. Elucidating inequality in Nubia: an examination of enthesal changes at Kerma (Sudan). *American Journal of Physical Anthropology* **156**: 192–202. DOI: 10.1002/ajpa.22637
- Shackelford L, Marshall F, Peters J. 2013. Identifying donkey domestication through changes in cross-sectional geometry of long bones. *Journal of Archaeological Science* **40**: 4170–4179. DOI: 10.1016/j.jas.2013.06.006
- Shuler KA, Zeng P, Danforth ME. 2012. Upper limb enthesal change with the transition to agriculture in the southeastern United States: a view from Moundville and the central Tombigbee River valley. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology* **63**: 413–434. DOI: 10.1016/j.jchb.2012.09.002
- Slobodín G, Rozenbaum M, Boulman N, Rosner I. 2007. Varied presentations of enthesopathy. *Seminars in Arthritis and Rheumatism* **37**: 119–126. DOI: 10.1016/j.semarthrit.2007.01.004
- Smith MRW, Crowe OC, Ellson C, Turner SJ, Patterson-Kane JC, Schramme MC, Smith RKW. 2005. Surgical treatment of osseous cyst-like lesions in the distal phalanx arising from collateral ligament insertional injury. *Equine Veterinary Education* **17**: 195–200. DOI: 10.1111/j.2042-3292.2005.tb00369.x
- Steen SL, Lane RW. 1998. Evaluation of habitual activities among two Alaskan Eskimo populations based on musculoskeletal stress markers. *International Journal of Osteoarchaeology* **8**: 341–353. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1212(199809)8:5<341::AID-OA441>3.0.CO;2-B
- Stefanović S, Porčić M. 2013. Between-group differences in the patterning of musculo-skeletal stress markers: avoiding confounding factors by focusing on qualitative aspects of physical activity. *International Journal of Osteoarchaeology* **23**: 94–105. DOI: 10.1002/oa.1243
- Stephenson AL, Wu W, Cortes D, Rochon PA. 2013. Tendon injury and fluoroquinolone use: a systematic review. *Drug Safety* **36**: 709–721. DOI: 10.1007/s40264-013-0089-8
- Stevanović O, Janeczek M, Chrószcz A, Marković N. 2015. Joint diseases in animal paleopathology: Veterinary approach. *Macedonian Veterinary Review* **38**: 5–12. DOI: 10.14432/j.macvetrev.2014.10.024
- Stirland AJ. 1998. Musculoskeletal evidence for activity: problems of evaluation. *International Journal of Osteoarchaeology* **8**: 354–362. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1212(199809)8:5<354::AID-OA432>3.0.CO;2-3
- Sweeny MM, Price JM, Jones GS, French TW, Early GA, Moore MJ. 2005. Spondylitic changes in long-finned pilot whales (*Globicephala melas*) stranded on cape cod, Massachusetts, USA, between 1982 and 2000. *Journal of Wildlife Diseases* **41**: 717–727. DOI: 10.7589/0090-3558-41.4.717
- Taylor WTT, Bayarsaikhan J, Tuvshinjargal T. 2015. Equine cranial morphology and the identification of riding and chariotry in late Bronze Age Mongolia. *Antiquity* **89**: 854–871. DOI: 10.15184/aqy.2015.76
- Taylor WTT, Tuvshinjargal T. 2018. 9. Horseback riding, asymmetry, and changes to the equine skull: evidence for mounted riding in Mongolia's Late Bronze Age. In *Care or Neglect? Evidence of Animal Disease in Archaeology*, Bartosiewicz L and Gál E (eds). Oxbow Books: Oxford; 134–154.
- Telldahl Y. 2012. Skeletal changes in lower limb bones in domestic cattle from Eketorp ringfort on the Öland island in Sweden. *International Journal of Paleopathology* **2**: 208–216. DOI: 10.1016/j.ijpp.2012.09.002
- Thomas A. 2014. Bioarchaeology of the Middle Neolithic: evidence for archery among early European farmers. *American Journal of Physical Anthropology* **154**: 279–290. DOI: 10.1002/ajpa.22504

- Thomopoulos S, Genin GM, Galatz LM. 2010. The development and morphogenesis of the tendon-to-bone insertion: what development can teach us about healing. *Journal of musculoskeletal & neuronal interactions* **10**: 35–45.
- Thomopoulos S, Kim H-M, Rothermich SY, Biederstadt C, Das R, Galatz LM. 2007. Decreased muscle loading delays maturation of the tendon enthesis during postnatal development. *Journal of Orthopaedic Research* **25**: 1154–1163. DOI: 10.1002/jor.20418
- Tihanyi B, Bereczki Z, Molnar P, Berthon W, Révész L, Dutour O, György P. 2015. Investigation of Hungarian Conquest Period (10th c. AD) archery on the basis of activity-induced stress markers on the skeleton - preliminary results. *Acta Biologica Szegediensis* **59**: 65–77.
- Townsend HGG, Leach DH, Doige C e., Kirkaldy-Willis WH. 1986. Relationship between spinal biomechanics and pathological changes in the equine thoracolumbar spine. *Equine Veterinary Journal* **18**: 107–112. DOI: 10.1111/j.2042-3306.1986.tb03559.x
- Trump M, Siegenthaler E, Kircher PR, Fürst A, Theiss F. 2014. Comparison of radiographic changes of the proximal third metacarpal and metatarsal bones in horses with and without proximal suspensory desmitis. *Pferdeheilkunde* **30**: 671–676. DOI: 10.21836/PEM20140606
- Turner TA, Sage AM. 2002. Desmitis of the distal interphalangeal collateral ligaments: 22 cases. *Proceedings of American Association of equine Practitioners* **48**: 343–346.
- Van den Belt AJ, Becker CK, Dik KJ. 1993. Desmitis of the accessory ligament of the deep digital flexor tendon in the horse: clinical and ultrasonographic features. A report of 24 cases. *Zentralblatt fur Veterinarmedizin. Reihe A* **40**: 492–500. DOI: 10.1111/j.1439-0442.1993.tb00657.x
- Villotte S. 2008. *Enthésopathies et activités des hommes préhistoriques : recherche méthodologique et application aux fossiles européens du Paléolithique supérieur et du Mésolithique*, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux
- Villotte S, Assis S, Cardoso FA, Henderson CY, Mariotti V, Milella M, Pany-Kucera D, Speith N, Wilczak CA, Jurmain R. 2016. In search of consensus: terminology for enthesal changes (EC). *International Journal of Paleopathology* **13**: 49–55. DOI: 10.1016/j.ijpp.2016.01.003
- Villotte S, Castex D, Couallier V, Dutour O, Knüsel CJ, Henry-Gambier D. 2010. Enthesopathies as occupational stress markers: evidence from the upper limb. *American Journal of Physical Anthropology* **142**: 224–234. DOI: 10.1002/ajpa.21217
- Villotte S, Knüsel CJ. 2013. Understanding enthesal changes: definition and life course changes. *International Journal of Osteoarchaeology* **23**: 135–146. DOI: 10.1002/oa.2289
- Villotte S, Knüsel CJ. 2014. “I sing of arms and of a man...”: medial epicondylitis and the sexual division of labour in prehistoric Europe. *Journal of Archaeological Science* **43**: 168–174. DOI: 10.1016/j.jas.2013.12.009
- Villotte S, Perréard Lopreno G. 2012. Apprentissage et reproductibilité d’une méthode de cotation de l’aspect osseux des enthèses fibrocartilagineuses: résultats d’un test effectué lors du workshop de la Société Suisse d’Anthropologie (Genève, 25 et 26 Juin 2010). *Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie* **18**: 5–25.
- Wallace IJ, Winchester JM, Su A, Boyer DM, Konow N. 2017. Physical activity alters limb bone structure but not enthesal morphology. *Journal of Human Evolution* **107**: 14–18. DOI: 10.1016/j.jhevol.2017.02.001
- Walmsley JP, Pettersson H, Winberg F, McEvoy F. 2002. Impingement of the dorsal spinous processes in two hundred and fifteen horses: case selection, surgical technique and results. *Equine Veterinary Journal* **34**: 23–28. DOI: 10.2746/042516402776181259
- Waran NK. 2001. The social behaviour of horses. In *Social Behaviour in Farm Animals*, Keeling JL and Gonyou HW (eds). CAB International: Wallingford, Oxon; 247–274.

- Weaver MP. 2012. Chapter 18 - Orthopaedics 4. The back and pelvis. In *Equine Medicine, Surgery and Reproduction (Second Edition)*, Mair TS, Love S, Schumacher J, Smith RK, and Frazer G (eds). W.B. Saunders: Philadelphia; 389–397. DOI: 10.1016/B978-0-7020-2801-4.00018-3
- Webbon PM. 1973. Equine tendon stress injuries. *Equine Veterinary Journal* **5**: 58–64. DOI: 10.1111/j.2042-3306.1973.tb03195.x
- Wei X, Messner K. 1996. The postnatal development of the insertions of the medial collateral ligament in the rat knee. *Anatomy and Embryology* **193**: 53–59. DOI: 10.1007/BF00186833
- Weiss E. 2003. Understanding muscle markers: aggregation and construct validity. *American Journal of Physical Anthropology* **121**: 230–240. DOI: 10.1002/ajpa.10226
- Weiss E. 2004. Understanding muscle markers: lower limbs. *American Journal of Physical Anthropology* **125**: 232–238. DOI: 10.1002/ajpa.10397
- Weiss E. 2007. Muscle markers revisited: activity pattern reconstruction with controls in a central California Amerind population. *American Journal of Physical Anthropology* **133**: 931–940. DOI: 10.1002/ajpa.20607
- Weiss E. 2012. Examining activity patterns and biological confounding factors: differences between fibrocartilaginous and fibrous musculoskeletal stress markers. *International Journal of Osteoarchaeology* : 70–80. DOI: 10.1002/oa.2290
- Weiss E. 2015. The surface of bones: methods of recording enthesal changes. *Surface Topography: Metrology and Properties* **3**: 034003. DOI: 10.1088/2051-672X/3/3/034003
- Weiss E, Corona L, Schultz B. 2012. Sex differences in musculoskeletal stress markers: problems with activity pattern reconstructions. *International Journal of Osteoarchaeology* **22**: 70–80. DOI: 10.1002/oa.1183
- Wenisch E. 2012. *Les stéréotypies des animaux élevés en captivité: étude bibliographique.*, Thèse d'exercice, École Nationale Vétérinaire de Toulouse
- Weston DA. 2012. Nonspecific infection in paleopathology: interpreting periosteal reactions. In *A Companion to Paleopathology*. John Wiley & Sons, Ltd; 492–512. DOI: 10.1002/9781444345940.ch27
- Whitton C. 2014. 19 - Tarsus and stifle. In *Equine Sports Medicine and Surgery (Second Edition)*, Hinchcliff KW, Kaneps AJ, and Geor RJ (eds). W.B. Saunders; 367–398. DOI: 10.1016/B978-0-7020-4771-8.00019-3
- Wilczak CA. 1998. Consideration of sexual dimorphism, age, and asymmetry in quantitative measurements of muscle insertion sites. *International Journal of Osteoarchaeology* **8**: 311–325. DOI: 10.1002/(SICI)1099-1212(199809)8:5<311::AID-OA443>3.0.CO;2-E
- Wilczak CA, Mariotti V, Pany-Kucera D, Villotte S, Henderson CY. 2017. Training and interobserver reliability in qualitative scoring of skeletal samples. *Journal of Archaeological Science: Reports* **11**: 69–79. DOI: 10.1016/j.jasrep.2016.11.033
- Williams RB, Harkins LS, Hammond CJ, Wood JLN. 2001. Racehorse injuries, clinical problems and fatalities recorded on British racecourses from flat racing and National Hunt racing during 1996, 1997 and 1998. *Equine Veterinary Journal* **33**: 478–486. DOI: 10.2746/042516401776254808
- Woo EJ, Pak S. 2013. Degenerative joint diseases and enthesopathies in a Joseon Dynasty population from Korea. *HOMO - Journal of Comparative Human Biology* **64**: 104–119. DOI: 10.1016/j.jchb.2013.02.001
- Wright IM, Minshall GJ. 2012. Injuries of the calcaneal insertions of the superficial digital flexor tendon in 19 horses. *Equine Veterinary Journal* **44**: 136–142. DOI: 10.1111/j.2042-3306.2011.00417.x
- Xing L, Rothschild BM, Ran H, Miyashita T, Scott Persons W, Sekiya T, Zhang J, Wang T, Dong Z. 2015. Vertebral fusion in two Early Jurassic sauropodomorph dinosaurs from the Lufeng formation of Yunnan, China. *Acta Palaeontologica Polonica* **60**: 643–649. DOI: 10.4202/app.00001.2013

- Yonemoto S. 2016. Differences in the effects of age on the development of enthesal changes among historical Japanese populations. *American Journal of Physical Anthropology* **159**: 267–283. DOI: 10.1002/ajpa.22870
- Yoon JH, Brooks RL, Khan A, Pan H, Bryan J, Zhang J, Budsberg SC, Mueller POE, Halper J. 2004. The effect of enrofloxacin on cell proliferation and proteoglycans in horse tendon cells. *Cell Biology and Toxicology* **20**: 41–54. DOI: 10.1023/B:CBTO.0000021154.01035.f9
- Young AC, Dimock AN, Puchalski SM, Murphy B, Spriet M. 2012. Magnetic resonance and radiographic diagnosis of osseous resorption of the flexor surface of the distal phalanx in the horse. *Equine Veterinary Journal* **44**: 3–7. DOI: 10.1111/j.2042-3306.2012.00675.x
- Zelzer E, Blitz E, Killian ML, Thomopoulos S. 2014. Tendon-to-bone attachment: from development to maturity. *Birth Defects Research Part C: Embryo Today: Reviews* **102**: 101–112. DOI: 10.1002/bdrc.21056
- Zubrod CJ, Farnsworth KD, Tucker RL, Ragle CA. 2005. Injury of the collateral ligaments of the distal interphalangeal joint diagnosed by magnetic resonance. *Veterinary Radiology & Ultrasound* **46**: 11–16. DOI: 10.1111/j.1740-8261.2005.00002.x
- Zumwalt A. 2005. A new method for quantifying the complexity of muscle attachment sites. *The Anatomical Record Part B: The New Anatomist* **286B**: 21–28. DOI: 10.1002/ar.b.20075
- Zumwalt A. 2006. The effect of endurance exercise on the morphology of muscle attachment sites. *Journal of Experimental Biology* **209**: 444–454. DOI: 10.1242/jeb.02028

Liste des figures

Figure 1 : Zones tissulaires d'une enthèse fibrocartilagineuse.	36
Figure 2 : Récapitulatif de l'origine multifactorielle des changements enthésiques.	47
Figure 3 : Nombre de publications employant les changements enthésiques à la reconstitution des activités passées en anthropologie biologique et en archéozoologie entre 2003 et 2020	49
Figure 4 : Zones anatomiques définies par la méthode de Coimbra.	55
Figure 5 : Insertion du <i>ligamentum nuchae</i> - Zones définies dans le cadre du système de cotation établi par R. Bendrey en 2008	61
Figure 6 : Étapes d'élaboration de la méthode d'enregistrement des changements enthésiques chez les équidés.....	74
Figure 7 : Types de modifications enthésiques recherchées au cours des observations préliminaires	76
Figure 8 : Localisation des enthèses sélectionnées au sein du squelette.....	80
Figure 9 : Exemples d'atteintes de l'origine du <i>M. biceps brachii</i> sur la scapula.	83
Figure 10 : Exemples d'atteintes de l'enthèse du <i>M. subscapularis</i> sur l'humérus.....	84
Figure 11 : Exemples d'atteintes de l'insertion du <i>M. infraspinatus</i> sur l'humérus (convexité du tubercule majeur).....	86
Figure 12 : Exemples d'atteintes de l'insertion du <i>M. infraspinatus</i> sur l'humérus (crête du tubercule majeur)	87
Figure 13 : Exemples d'atteintes de l'insertion du ligament collatéral latéral du coude sur l'humérus.	88
Figure 14 : Exemples d'atteintes de l'insertion des <i>Mm. flexor digitorum superficialis/profundus</i> sur l'humérus.....	90
Figure 15 : Exemples d'atteintes de l'insertion du <i>M. ulnaris lateralis</i> sur l'humérus.	91
Figure 16 : Exemples d'atteintes de l'insertion du <i>M. triceps brachii</i> sur l'ulna	92
Figure 17 : Exemples d'atteintes de la terminaison du <i>M. biceps brachii</i> sur le radius	94
Figure 18 : Exemples d'atteintes de l'origine du <i>M. gluteus profundus</i> sur l'os coxal	95
Figure 19 : Exemples d'atteintes de la terminaison du <i>M. gluteus profundus</i> sur le fémur.....	97
Figure 20 : Exemples d'atteintes de la terminaison du <i>M. gluteus accessorius</i> sur le fémur	99
Figure 21 : Exemples d'atteintes de l'insertion du <i>M. iliopsoas</i> sur le fémur	101
Figure 22 : Exemples d'atteintes de l'insertion du <i>M. gastrocnemius</i> sur le fémur	102
Figure 23 : Exemples d'atteintes de l'insertion du ligament patellaire latéral sur le tibia.....	103
Figure 24 : Exemples d'atteintes de l'origine du ligament collatéral de l'articulation interphalangienne proximale sur la première phalange.	105
Figure 25 : Exemples d'atteintes de l'origine du ligament collatéral de l'articulation interphalangienne distale sur la phalange intermédiaire.	107
Figure 26 : Exemples d'atteintes de la terminaison du ligament collatéral de l'articulation interphalangienne distale sur la troisième phalange.	109
Figure 27 : Exemples d'atteintes de l'insertion du <i>M. deltoideus</i> sur l'humérus	111
Figure 28 : Exemples d'atteintes de l'insertion du <i>M. teres majors/latissimus dorsi</i> sur l'humérus.....	112

Figure 29 : Exemples d'atteintes du <i>M. flexor digitorum superficialis</i> sur le fémur	114
Figure 30 : Exemples d'atteintes du ligament palmaire/plantaire sur la phalange proximale.	115
Figure 31 : Exemples d'atteintes du ligament sésamoïdien oblique distal sur la phalange proximale.....	116
Figure 32 : Exemple d'insertion non enregistrable en raison de la présence de restes de tissus mous.....	117
Figure 33 : Test intra-observateur - Répartition des types d'erreurs de cotation	119
Figure 34 : Test inter-observateur - Cliché pris lors d'une séance de cotation.....	121
Figure 35 : Tests inter-observateurs - Répartition des types d'erreurs de cotation	122
Figure 36 : Tests inter-observateurs - Répartition des stades de cotation selon les observateurs.....	123
Figure 37 : Origine des spécimens composant le corpus de référence	135
Figure 38 : Équidés « Sans activité » - Espèces représentées dans le groupe « Sans activité »	137
Figure 39 : Équidés « Sans activité » - Répartition des spécimens selon le sexe	138
Figure 40 : Équidés « Sans activité » - Répartition des spécimens en fonction des classes d'âge	138
Figure 41 : Équidés « Sans activité » - Distribution des spécimens selon leur hauteur au garrot moyenne estimée.....	138
Figure 42 : Équidés « Sans activité » - Distribution des spécimens selon leur masse corporelle moyenne estimée.....	139
Figure 43 : Équidés « Sans activité » - Distribution selon le type d'environnement de vie	140
Figure 44 : Position du centre de gravité selon la masse appliquée sur le cheval	142
Figure 45 : Équidés « Activités » - Répartition des spécimens selon le type d'activité pratiquée	143
Figure 46 : Équidés « Activités » - Répartition des spécimens selon le sexe.	144
Figure 47 : Équidés « Activités » - Répartition des spécimens en fonction des classes d'âge.	144
Figure 48 : Équidés « Activités » - Catégories d'équidés représentées dans le groupe « Activités ».	145
Figure 49 : Équidés « Activités » - Distribution des spécimens selon leur hauteur au garrot moyenne estimée.....	145
Figure 50 : Équidés « Activités » - Distribution des spécimens selon leur masse corporelle moyenne estimée.....	146
Figure 51 : Enthèses fibrocartilagineuses - Fréquence générale des stades A, B et C chez les 61 équidés étudiés	153
Figure 52 : Enthèses fibrocartilagineuses - Fréquences des stades A, B et C pour chaque enthèse	155
Figure 53 : Enthèses fibreuses - Fréquence générale des stades A, B et C chez les 61 équidés étudiés	156
Figure 54 : Enthèses fibreuses - Fréquences des stades A, B et C pour chaque enthèse	156
Figure 55 : Enthèses fibrocartilagineuses - Répartition générale des stades A, B et C en fonction des différentes classes d'âge	158
Figure 56 : Enthèses fibrocartilagineuses - Fréquence des modifications enthésiques (stades B+C) pour chaque enthèse selon les classes d'âge.....	159
Figure 57 : Enthèses fibreuses - Répartition générale des stades A, B et C en fonction des différentes classes d'âge.....	161

Figure 58 : Enthèses fibreuses - Fréquence des modifications enthésiques (stades B+C) pour chaque enthèse selon les classes d'âge.....	162
Figure 59 : Localisation des enthèses ayant révélé des différences statistiquement significatives ou proches de la significativité en fonction de l'âge au décès.....	163
Figure 60 : Enthèses fibrocartilagineuses - Répartition générale des stades A, B et C en fonction du sexe	163
Figure 61 : Enthèses fibrocartilagineuses - Fréquence des modifications enthésiques (stades B+C) pour chaque enthèse en fonction du sexe.....	165
Figure 62 : Enthèses fibreuses - Répartition générale des stades A, B et C en fonction du sexe	166
Figure 63 : Enthèses fibreuses - Fréquence des modifications enthésiques (stades B+C) pour chaque enthèse en fonction du sexe.....	166
Figure 64 : Localisation des enthèses ayant révélé des différences statistiquement significatives en fonction du sexe.....	167
Figure 65 : Enthèses fibrocartilagineuses - Répartition générale des stades A, B et C en fonction du type d'environnement de vie.....	168
Figure 66 : Enthèses fibrocartilagineuses - Fréquence des modifications enthésiques (stades B+C) pour chaque enthèse selon le type d'environnement de vie.....	169
Figure 67 : Enthèses fibreuses - Répartition générale des stades A, B et C en fonction du type d'environnement de vie.....	170
Figure 68 : Enthèses fibreuses - Fréquence des modifications enthésiques (stades B+C) pour chaque enthèse selon le type d'environnement de vie.....	171
Figure 69 : Localisation des enthèses ayant révélé des différences statistiquement significatives en fonction des conditions de vie.	172
Figure 70 : Enthèses fibrocartilagineuses - Correspondance entre stades de cotation et le ratio Masse/Taille moyen.....	172
Figure 71 : Enthèses fibrocartilagineuses - Correspondance entre le ratio Masse/Taille moyen et les stades de cotation pour chaque enthèse.....	174-180
Figure 72 : Enthèses fibreuses - Correspondance entre stades de cotation et le ratio Masse/Taille moyen	182
Figure 73 : Enthèses fibreuses - Correspondance entre le ratio Masse/Taille moyen et les stades de cotation pour chaque enthèse.	183-185
Figure 74 : Localisation des enthèses ayant révélé des différences statistiquement significatives en fonction des proportions corporelles.	186
Figure 75 : Enthèses fibrocartilagineuses - Répartition des stades A, B et C selon la catégorie d'équidés	187
Figure 76 : Enthèses fibrocartilagineuses - Fréquence des changements enthésiques par enthèse selon la catégorie d'équidés.....	197
Figure 77 : Enthèses fibreuses - Répartition des stades A, B et C selon la catégorie d'équidés	201

Figure 78 : Enthèses fibreuses - Fréquence de changements enthésiques par enthèse selon la catégorie d'équidés.	205
Figure 79 : Localisation des enthèses ayant révélé des différences statistiquement significatives ou proches de la significativité entre les groupes « Sans activité », « Monte » et « Traction ».....	207
Figure 80 : Localisation des enthèses ayant révélé des différences statistiquement significatives ou proches de la significativité entre les groupes « Monte » et « Traction ».....	208
Figure 81 : Enthèses fibrocartilagineuses - Asymétrie gauche/droite pour chaque catégorie d'équidés....	210
Figure 82 : Enthèses fibrocartilagineuses - Analyse de l'asymétrie gauche/droite pour chaque enthèse selon le groupe d'équidés.....	210
Figure 83 : Enthèses fibreuses - Asymétrie gauche/droite pour chaque catégorie d'équidés.....	212
Figure 84 : Enthèses fibreuses - Analyse de l'asymétrie gauche/droite pour chaque enthèse selon le groupe d'équidés.	212
Figure 85 : Enthèses fibrocartilagineuses - Asymétrie latérale/médiale pour chaque catégorie d'équidés.	215
Figure 86 : Enthèses fibrocartilagineuses - Analyse de l'asymétrie latérale/médiale pour chaque enthèse selon le groupe d'équidés.	215
Figure 87 : Enthèses fibreuses - Asymétrie latérale/médiale pour chaque catégorie d'équidés.	216
Figure 88 : Enthèses fibreuses - Analyse de l'asymétrie latérale/médiale pour chaque enthèse selon le groupe d'équidés.	216
Figure 89 : Enthèses fibrocartilagineuses - Asymétrie antérieure/postérieure pour chaque catégorie d'équidés.....	217
Figure 90 : Enthèses fibrocartilagineuses - Analyse de l'asymétrie antérieure/postérieure pour chaque enthèse selon le groupe d'équidés.....	217
Figure 91 : Enthèses fibreuses - Asymétrie antérieure/postérieure pour chaque catégorie d'équidés.....	219
Figure 92 : Enthèses fibreuses - Analyse de l'asymétrie antérieure/postérieure pour chaque enthèse selon le groupe d'équidés.	219
Figure 93 : MMD, enthèses fibrocartilagineuses gauches - Classification des trois catégories sur base des MMD calculées (méthode de Ward).	221
Figure 94 : MMD, enthèses fibrocartilagineuses droites - Classification des trois catégories sur base des MMD calculées (méthode de Ward).	223
Figure 95 : Étapes composant la foulée chez le cheval. Exemple du membre antérieur.	248
Figure 96 : Exemples illustrant la diversité des pratiques équestres.	254
Figure 97 : Localisation de la ville de Tournai en Belgique.....	265
Figure 98 : Fac-similé de l'anneau sigillaire du roi Childéric I ^{er}	267
Figure 99 : Planche présentant les abeilles et la tête de taureau en or cloisonné découvertes dans la sépulture de Childéric I ^{er} (tiré de l' <i>Anastasis Childerici</i> , Chifflet, 1655).	268
Figure 100 : Quartier Saint-Brice, Tournai - Emplacement de la sépulture du roi Childéric I ^{er} , du tumulus le recouvrant et limites supposées de la nécropole mérovingienne.....	269

Figure 101 : Quartier Saint-Brice, Tournai - Secteurs fouillés entre 1983 et 1986	270
Figure 102 : Quartier Saint-Brice, Tournai - Localisation des tombes de chevaux par rapport à la sépulture royale	270
Figure 103 : Tombe de chevaux CV1, quartier Saint-Brice de Tournai	271
Figure 104 : Tombe de chevaux CV2, quartier Saint-Brice de Tournai	272
Figure 105 : Tombe de chevaux CV3, quartier Saint-Brice de Tournai	273
Figure 106 : Distribution des chevaux de Tournai en fonction des classes d'âge	276
Figure 107 : Hauteurs au garrot moyennes des chevaux au Haut Moyen-Âge en Europe	277
Figure 108 : Boîtes de dispersion des hauteurs au garrot estimées pour les chevaux de Tournai.	277
Figure 109 : Boîtes de dispersion des masses corporelles calculées pour les chevaux de Tournai.	278
Figure 110 : Boîtes de dispersion des valeurs de gracilité estimées pour les chevaux de Tournai	279
Figure 111 : Cheval 1.2 - Corrosion de la surface osseuse	281
Figure 112 : Cheval 1.1 - Corrosion de la surface de la phalange intermédiaire postérieure droite	282
Figure 113 : Cheval 1.5 - Cas d'une « fissure vertébrale » faisant suite à un évènement <i>post-mortem</i> probablement intervenu au cours de la fouille	283
Figure 114 : Cheval 1.1 - Stries produites pendant la fouille pouvant être confondues avec des stries liées au traitement de la carcasse de l'animal	283
Figure 115 : Crâne du cheval 2.4 prélevé en bloc lors des fouilles du quartier Saint-Brice	284
Figure 116 : Cheval 1.1 - Localisation des pathologies osseuses et plan de fosse	287
Figure 117 : Cheval 1.2 - Localisation des pathologies osseuses et plan de fosse	289-290
Figure 118 : Cheval 1.3 - Localisation des pathologies osseuses et plan de fosse	292
Figure 119 : Cheval 1.4 - Localisation des pathologies osseuses et plan de fosse	293-294
Figure 120 : Cheval 1.5 - Localisation des pathologies osseuses et plan de fosse	296
Figure 121 : Cheval 1.6 - Localisation des pathologies osseuses et plan de fosse	298
Figure 122 : Cheval 1.7 - Plan de fosse	299
Figure 123 : Cheval 2.1 - Plan de fosse	299
Figure 124 : Cheval 2.2 - Localisation des pathologies osseuses et plan de fosse	300
Figure 125 : Cheval 2.3 - Localisation des pathologies osseuses et plan de fosse	301
Figure 126 : Cheval 2.4 - Localisation des pathologies osseuses et plan de fosse	302
Figure 127 : Cheval 3.1 - Localisation des pathologies osseuses et plan de fosse	304
Figure 128 : Cheval 3.2 - Localisation des pathologies osseuses et plan de fosse	306
Figure 129 : Cheval 3.3 – Localisation des pathologies osseuses et plan de fosse	308-309
Figure 130 : Cheval 3.4 - Localisation des pathologies osseuses et plan de fosse	312-313
Figure 131 : Cheval 3.5 - Localisation des pathologies osseuses et plan de fosse	314
Figure 132 : Cheval 3.6 - Plan de fosse	314
Figure 133 : Cheval 3.7 - Plan de fosse	315
Figure 134 : Cheval 3.8 - Plan de fosse	316
Figure 135 : Cheval 3.9 - Localisation des pathologies osseuses et plan de fosse	317

Figure 136 : Cheval 3.10 - Localisation des pathologies osseuses et plan de fosse	319
Figure 137 : Tournai, enthèses fibreuses - Répartition des stades A, B et C.....	325
Figure 138 : Tournai, enthèses fibreuses - Analyse de l'asymétrie	327
Figure 139 : Tournai, enthèses fibreuses - Répartition des stades A, B et C en fonction des différentes classes d'âge.....	328
Figure 140 : Tournai, enthèses fibreuses - Répartition des stades de cotation pour chaque catégorie d'équidés.....	330
Figure 141 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses - Répartition des stades A, B et C.....	332
Figure 142 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses - Analyse de l'asymétrie.....	336
Figure 143 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses - Répartition des stades A, B et C en fonction des différentes classes d'âge.....	337
Figure 144 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses - Répartition des stades de cotation pour chaque catégorie d'équidés.....	340
Figure 145 : Tournai, MMD et enthèses fibrocartilagineuses gauches - Classification des trois catégories sur base des MMD calculées (méthode de Ward).....	344
Figure 146 : Tournai, MMD et enthèses fibrocartilagineuses droites - Classification des trois catégories sur base des MMD calculées (méthode de Ward).....	345
Figure 147 : Tournai, cotation de la spondylose - Stades de cotation établis par J.P. Morgan en 1967.....	352
Figure 148 : Coupe transversale de la rangée proximale du carpe	373
Figure 149 : Exemples d'enthèses modifiées observées chez les chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai	383
Figure 150 : Tournai - Localisation des enthèses fibreuses associées à une fréquence d'altérations (stades B+C) supérieure ou égale à 50%.....	386
Figure 151 : Tournai - Localisation des enthèses fibrocartilagineuses associées à une fréquence d'altérations (stades B+C) supérieure ou égale à 50%.....	387
Figure 152 : Marqueurs osseux et dentaires contribuant à identifier la pratique de la monte chez les chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai.....	390
Figure 153 : Mors à aiguilles daté du début du VI ^{ème} siècle mis au jour à Saint-Dizier, site « La Tuilerie »	391
Figure 154 : Reconstitution d'une selle à arçon datée du VII ^{ème} siècle mise au jour à Wesel-Bislich, Allemagne	392
Figure 155 : Récapitulatif des éléments contribuant à l'élaboration de l'ostéobiographie des chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai.....	393

Sauf mention contraire, l'ensemble des figures et clichés sont de l'auteur.

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition histologique des quatre zones tissulaires de l'enthèse fibrocartilagineuse	36
Tableau 2 : Systèmes de cotation proposés par S. Villotte en 2008.	53
Tableau 3 : Liste et définitions des changements enthésiques retenus dans la méthode de Coimbra	55
Tableau 4 : Système de cotation de l'insertion du <i>ligamentum interosseum</i> entre les métapodiens chez le cheval (Bendrey, 2007b).	59
Tableau 5 : Système de cotation de l'insertion du <i>ligamentum nuchae</i> proposé par R. Bendrey (2008).	60
Tableau 6 : Liste des enthèses retenues chez le renne dans le cadre du système de cotation créé par S. Niinimäki et AK. Salmi (2016)	63
Tableau 7 : Listes des enthèses phalangiennes étudiées par E. Hull, S. Niinimäki et AK. Salmi (2020). ...	65
Tableau 8 : Liste des enthèses sélectionnées	79
Tableau 9 : Test intra- et inter-observateurs - Qualité du jugement selon la valeur k	118
Tableau 10 : Test intra-observateur - Résultats par enthèse (stades A-B-C)	120
Tableau 11 : Tests inter-observateurs - Résultats pour chaque enthèse (stades A-B-C).	124
Tableau 12 : Dates d'éruption dentaire chez les équidés	130
Tableau 13 : Dates d'épiphyse chez les équidés	131
Tableau 14 : Nombre de crânes de juments présentant des canines vestigiales	132
Tableau 15 : Équations d'estimation de la hauteur au garrot établies par L. Kiesewalter (1888).	134
Tableau 16 : Équations d'estimation de la masse corporelle proposées par V. Eisenmann et P. Sondaar (1998).	134
Tableau 17 : Équidés « Sans activité » - Hauteurs au garrot estimées et valeurs associées pour chaque espèce d'équidés	139
Tableau 18 : Équidés « Sans activité » - Masses corporelles estimées et valeurs associées pour chaque espèce d'équidés	139
Tableau 19 : Équidés « Activités » - Hauteurs au garrot estimées et valeurs associées pour chaque espèce et type d'équidés.	146
Tableau 20 : Équidés « Activités » - Masses corporelles estimées et valeurs associées pour chaque espèce et type d'équidés	147
Tableau 21 : Valeurs de la hauteur au garrot, de la masse corporelle et du ratio Masse/Taille pour chaque spécimen du groupe « Activités ».	151
Tableau 22 : Groupe « Sans activité », enthèses fibrocartilagineuses - Fréquences des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse.	189-190
Tableau 23 : Groupe « Monte », enthèses fibrocartilagineuses - Fréquences des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse.	191-192
Tableau 24 : Groupe « Traction », enthèses fibrocartilagineuses - Fréquences des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse.	194-195

Tableau 25 : Groupe « Sans activité », enthèses fibreuses - Fréquences des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse.....	201
Tableau 26 : Groupe « Monte », enthèses fibreuses - Fréquences des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse.....	202
Tableau 27 : Groupe « Traction », enthèses fibreuses - Fréquences des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse.....	204
Tableau 28 : MMD, enthèses fibrocartilagineuses gauches - Valeurs des MMD	221
Tableau 29 : MMD, enthèses fibrocartilagineuses gauches - Résultats du test exact de Fisher par paire de catégories d'équidés pour chaque zone d'insertion.....	222
Tableau 30 : MMD, enthèses fibrocartilagineuses gauches - Valeurs des MD globales pour chaque enthèse, classées de manière décroissante en fonction de leur pouvoir discriminant.....	222
Tableau 31 : MMD, enthèses fibrocartilagineuses droites - Valeurs des MMD	223
Tableau 32 : MMD, enthèses fibrocartilagineuses droites - Résultats du test exact de Fisher par paire de catégories d'équidés pour chaque zone d'insertion.....	224
Tableau 33 : MMD, enthèses fibrocartilagineuses droites - Valeurs des MD globales pour chaque enthèse, classées de manière décroissante en fonction de leur pouvoir discriminant.....	225
Tableau 34 : Tableau récapitulatif des enthèses présentant des différences statistiquement significatives ou proches de la significativité en fonction des paramètres testés	228-230
Tableau 35 : Hauteur au garrot, masse corporelle et p-valeurs associées pour chaque sexe.....	234
Tableau 36 : Résultats des datations pour chaque tombe de chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai.....	274
Tableau 37 : Liste des chevaux découverts lors des fouilles du quartier Saint-Brice de Tournai.....	275
Tableau 38 : Hauteur au garrot des chevaux de Tournai - Valeurs moyennes, maximales et minimales ..	278
Tableau 39 : Masse corporelle des chevaux de Tournai - Valeurs moyennes, maximales et minimales ...	278
Tableau 40 : Gracilité des chevaux de Tournai - Valeurs moyennes, maximales et minimales.....	279
Tableau 41 : Répartition des stades de cotation toutes enthèses fibrocartilagineuses confondues chez les chevaux de Tournai	323
Tableau 42 : Répartition des stades de cotation toutes enthèses fibreuses confondues chez les chevaux de Tournai.....	324
Tableau 43 : Tournai, enthèses fibreuses - Distribution des stades de cotation, mode et médiane pour chaque insertion.....	325
Tableau 44 : Tournai, enthèses fibreuses - Distribution des stades de cotation en fonction des différentes classes d'âge et p-valeurs associées pour chaque enthèse (test U de Mann-Whitney).....	329
Tableau 45 : Tournai, enthèses fibreuses - Comparaison avec les référentiels actuels par application du test U de Mann-Whitney.....	330
Tableau 46 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses - Distribution des stades de cotation, mode et médiane pour chaque enthèse	333-334

Tableau 47 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses - Distribution des stades de cotation en fonction des différentes classes d'âge et p-valeurs associées pour chaque enthèse (test U de Mann-Whitney).....	338-339
Tableau 48 : Tournai, enthèses fibrocartilagineuses - Comparaison avec les référentiels actuels par application du test U de Mann-Whitney.....	341-342
Tableau 49 : Tournai, MMD et enthèses fibrocartilagineuses gauches - Valeurs des MMD.....	344
Tableau 50 : Tournai, MMD et enthèses fibrocartilagineuses gauches - Résultats du test exact de Fisher par paire de catégories d'équidés pour chaque zone d'insertion	345
Tableau 51 : Tournai, MMD et enthèses fibrocartilagineuses droites - Valeurs des MMD.....	346
Tableau 52 : Tournai, MMD et enthèses fibrocartilagineuses droites - Résultats du test exact de Fisher par paire de catégories d'équidés pour chaque zone d'insertion	347
Tableau 53 : Récapitulatif des anomalies vertébrales observées chez les chevaux de Tournai	350
Tableau 54 : Étude de la spondylose - Localisation des cas de spondylose chez les chevaux de Tournai.	354
Tableau 55 : Étude de la spondylose - Fréquences des stades attribués chez les chevaux de Tournai.....	354
Tableau 56 : Localisation des conflits des processus épineux identifiés chez les chevaux de Tournai	356
Tableau 57 : Localisation des arthroses vertébrales chez les chevaux de Tournai.....	357
Tableau 58 : Récapitulatif des lésions de la cavité buccale chez les chevaux de Tournai	362
Tableau 59 : Localisation des caries périphériques chez les chevaux 3.3, 3.5 et 3.10	366
Tableau 60 : Localisation des arthroses du squelette appendiculaire chez les chevaux de Tournai.....	368
Tableau 61 : Répartition des stades de cotation du <i>ligamentum interosseum</i> des métapodiens chez les chevaux de Tournai	371
Tableau 62 : Fréquences d'attribution des stades de cotation du <i>ligamentum interosseum</i> en fonction de la position des métapodiens.....	371
Tableau 63 : Localisation des exostoses identifiées chez le cheval 1.5.....	373
Tableau 64 : Localisation et type des atteintes traumatiques non vertébrales identifiées chez les chevaux de Tournai	374
Tableau 65 : Localisation et étendue des réactions périostées identifiées chez les chevaux de Tournai ...	377

Liste des annexes

Annexe 1 : Listes des publications s'intéressant à l'utilisation des changements enthésiques en contexte archéologique entre 2003 et 2020.....	437
Annexe 2 : Article publié dans l' <i>International Journal of Osteoarchaeology</i> (Bindé et al., 2019).....	438
Annexe 3 : Création de la méthode de cotation - Liste des spécimens observés	453
Annexe 4 : Fonction(s) des muscles et ligaments associés aux enthèses retenues.....	455
Annexe 5 : Tests inter- et intra-observateurs - Liste des spécimens observés	465
Annexe 6 : Protocole de mesures	467
Annexe 7 : Référentiels - Ostéométrie pour l'estimation de la hauteur au garrot.....	469
Annexe 8 : Référentiels - Ostéométrie pour l'estimation de masse corporelle	475
Annexe 9 : Listes des spécimens composant les échantillons de référence	479
Annexe 10 : Étude des référentiels - Particularités des collections étudiées.....	485
Annexe 11 : Listes des spécimens étudiés mais non retenus pour les analyses statistiques	489
Annexe 12 : Étude des référentiels - Influence de l'âge au décès et développement de modifications enthésiques, résultats de l'ANOVA de Kruskal-Wallis par rangs	493
Annexe 13 : Étude des référentiels - Influence du sexe et développement de modifications enthésiques, résultats du test U de Mann-Whitney	497
Annexe 14 : Étude des référentiels - Influence du type d'environnement de vie et développement de modifications enthésiques, résultats du test U de Mann-Whitney.....	501
Annexe 15 : Étude des référentiels - Influence des proportions corporelles et développement de modifications enthésiques, ratio moyen par stade de cotation pour chaque enthèse et résultats de l'ANOVA de Kruskal-Wallis par rangs.....	505
Annexe 16 : Étude des référentiels - Comparaison des groupes « Sans activité », « Monte » et « Traction », résultats de l'ANOVA de Kruskal-Wallis par rangs.....	509
Annexe 17 : Étude des référentiels - Comparaison des groupes « Monte » et « Traction », résultats du test U de Mann-Whitney.....	513
Annexe 18 : Étude des référentiels - Analyse de l'asymétrie dans le développement de changements enthésiques, valeurs des <i>odds-ratios</i> pour chaque enthèse.....	517
Annexe 19 : Étude des référentiels - Résultats annexes des analyses par Mesure Moyenne des Divergences (ou MMD)	521
Annexe 20 : Chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai - Ostéométrie	523
Annexe 21 : Chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai - Représentation squelettique.....	525

Annexe 22 : Chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai - Liste des os manquants.....	529
Annexe 23 : Chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai - Influence de l'âge au décès et développement des changements enthésiques, résultats du test U de Mann-Whitney.....	535
Annexe 24 : Chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai - Comparaison avec le groupe « Sans activité »	539
Annexe 25 : Chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai - Comparaison avec le groupe « Monte ».....	543
Annexe 26 : Chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai - Comparaison avec le groupe « Traction ».....	547
Annexe 27 : Chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai - Résultats annexes des Mesures Moyennes de Divergence (MMD).....	551

Annexe 1 : Listes des publications s'intéressant à l'utilisation des changements enthésiques en contexte archéologique entre 2003 et 2020.

Année	Homme	Animal
2003	Weiss, 2003	
2004	Eshed et al., 2004 ; al-Oumaoui et al., 2004 ; Weiss, 2004	
2005		
2006	Molnar, 2006	
2007	Weiss, 2007	Bendrey, 2007
2008	Drapeau, 2008	Bendrey, 2008
2009		
2010	Alves Cardoso & Henderson, 2010 ; Molnar, 2010 ; Villotte et al., 2010	
2011	Havelková et al., 2011 ; Molnar et al., 2011 ; Niinimäki, 2011	Bendrey et al., 2011
2012	Milella et al., 2012 ; Niinimäki, 2012 ; Schrader, 2012 ; Shuler et al., 2012 ; Weiss et al., 2012	
2013	Alves Cardoso & Henderson, 2013 ; Campanacho & Santos, 2013 ; Cashmore & Zakrzewski, 2013 ; Davis et al., 2013 ; Havelková et al., 2013 ; Henderson, 2013, Henderson, Alves Cardoso et al. 2013 ; Henderson, Mariotti, et al., 2013 ; Henderson & Alves Cardoso, 2013 ; Ibáñez-Gimeno, Esteban-Trivigno, et al., 2013, Gimeno, Galtès et al., 2013 ; Lieverse et al., 2013 ; Niinimäki et al., 2013 ; Noldner & Edgar, 2013 ; Nolte & Wilczak, 2013 ; Perréard Lopreno et al., 2013 ; Stefanović & Porčić, 2013 ; Villotte & Knüsel, 2013 ; Woo & Pak, 2013	
2014	Nikita, 2014 ; Thomas, 2014 ; Villotte & Knüsel, 2014	
2015	Djukic et al., 2015 ; Michopoulou et al., 2015 ; Milella et al., 2015 ; Santana-Cabrera et al., 2015 ; Schrader, 2015	Taylor et al., 2015
2016	Becker, 2016 ; Henderson et al., 2016 ; Palmer et al., 2016 ; Villotte et al., 2016 ; Yonemoto, 2016	Niinimäki & Salmi, 2016 ; Salmi & Niinimäki, 2016
2017	Acosta et al., 2017 ; Henderson et al., 2017a ; Karakostis et al., 2017 ; Michopoulou et al., 2017 ; Niinimäki et al., 2017 ; Wilczak et al., 2017	
2018	Djukic et al., 2018 ; Godde et al., 2018 ; Karakostis et al., 2018	
2019	Nikita et al., 2019 ; Palmer & Waters-Rist, 2019 ; Refai, 2019 ; Rothschild, 2019	Bindé et al., 2019
2020	Djukić et al., 2020	Hull et al., 2020 ; Salmi et al., 2020

La recherche a été menée à partir du moteur de recherche *Google Scholar* le 13 juin 2020.

Mots-clés: « *entheseopathy* », « *musculoskeletal stress markers* », « *entheseal changes* »

Période: 2000-2020

Pour les études de restes humains, les investigations se limitent à sept revues : *International Journal of Osteoarchaeology*, *Journal of Archeological Science* et *Journal of Archeological Science : Reports*, *International Journal of Palaeopathology*, *American Journal of Physical Anthropology*, *Bulletins et Mémoire de la Société d'Anthropologie de Paris* et *HOMO*.

Pour les études axées sur les restes fauniques, toutes les revues ont été considérées.

Exploring life patterns using enthesal changes in equids: Application of a new method on unworked specimens

Marion Bindé  | David Cochard  | Christopher J. Knüsel 

UMR 5199 PACEA, "De la Préhistoire à l'Actuel: Culture, Environnement et Anthropologie", Université de Bordeaux, Pessac CEDEX, France

Correspondence

Marion Bindé, UMR 5199 PACEA, "De la Préhistoire à l'Actuel: Culture, Environnement et Anthropologie", Université de Bordeaux, Bâtiment B2, Allée Geoffroy Saint-Hilaire, CS50023, 33615 Pessac CEDEX, France.
Email: marion.binde@u-bordeaux.fr

Funding information

Unité Mixte de Recherche (UMR) 5199 PACEA (CNRS, University of Bordeaux); Science and Environment Doctoral School, University of Bordeaux; Interdisciplinary Doctoral Research from the Faculty of Biology, University of Bordeaux

Abstract

Understanding changes in the relationships between humans and horses through time and across geographic space is of great interest for researchers due to the fundamental economic, social, and symbolic importance of the horse for human societies. Altered muscular or ligamentous attachments serve as a means to explore this subject. Enthesal changes (ECs) are widely employed in biological anthropology for reconstructions of past activity patterns in human groups. This kind of analysis is far more rare in zooarchaeology, but interest has been increasing over the past decade, particularly for reindeer and equid remains.

This contribution introduces a new recording protocol focused on 23 entheses located on the equine appendicular skeleton. In this contribution, this protocol is applied to unworked equids of various species and from diverse contexts in order to develop a baseline to gauge the extent of such changes for broad archaeological application. Bone formation and erosion of the surface of the attachment and, in some cases, its margins are considered. Intraobserver and interobserver tests reveal a general level of agreement of between 70% and 80% with variations from one entheses to another. Examination of 27 complete skeletons of captive equids with no history of human use is investigated here to identify possible confounding factors, apart from activity, that influence the development of ECs. This study shows ECs to be age-related and influenced by sexual dimorphism. Both aetiologies must be considered in future analyses. Some attachments in these specimens appear not to be influenced by sex and/or age at death, and this is promising. It is clear, however, that further studies of equids with documented activities are necessary to achieve a better appreciation of the factors responsible for the appearance of ECs before being applied to archaeological remains.

KEYWORDS

enthesal changes, life patterns, horse, age effects, sexual dimorphism

1 | INTRODUCTION

Horse domestication greatly affected human societies by increasing their mobility, revolutionizing warfare and facilitating trade (Clutton-Brock, 1992). These valuable animals were employed in various ways: as mounts, pack, and draft animals. Discoveries of horse remains,

notably complete or near-complete skeletons, in funerary and sacrificial deposits demonstrate their strong link with human groups (e.g., Müller-Wille & Vierck, 1972). Documenting the variations of their use through time and across geographic space is of great interest for researchers in order to provide a better understanding of these interactions. Studies of bone remains, particularly palaeopathological

conditions, can provide important evidence as to the functions of these animals in past societies. Enamel alteration of the inferior second premolar by bit wear (Bendrey, 2007a, 2011; Outram et al., 2009), lesions of the axial skeleton (Bartosiewicz & Bartosiewicz, 2002; Janeczek et al., 2014; Levine, 2005; Lignereux & Bouet, 2015), arthropathies (e.g., for cattle Bartosiewicz, van Neer, Lentacker, & Fabis, 1997), and nasal deformities produced by the pressure of a bridle (Bartosiewicz & Gal, 2013; Taylor, Bayarsaikhan, & Tuvshinjargal, 2015) are often identified in horse remains from archaeological deposits and interpreted as activity markers. Moreover, biomechanical properties and shape of the long bones can also be exploited to address this type of research (Shackelford, Marshall, & Peters, 2013).

In order to identify activity patterns, this paper introduces a new method of analysis of equid remains based on enthesal changes (ECs). These correspond to bone modifications of the interface where tendons and ligaments meet bone (i.e., the enthesis), which are widely used by biological anthropologists. They are commonly called "enthesopathies" (Dutour, 1986) and "musculoskeletal stress markers", or "MSM" (Hawkey & Merbs, 1995), before the more neutral term "enthesal change" was recently adopted (Jurmain & Villotte, 2010). The two types of entheses differ in their histological composition and location in the skeleton. Fibrocartilaginous entheses are located on long bone epiphyses, carpal and tarsal bones, and vertebrae. They consist of four contiguous tissues that differ in their histological arrangement and mechanical properties. Their normal appearance is defined as a smooth and regular surface with a regular margin (Benjamin et al., 2002, 2006; Benjamin, Evans, & Copp, 1986). An exhaustive anatomical and pathophysiological documentation is available for these insertions as alterations of them often occur as injuries in sport and occupational medicine (see Villotte, 2008). Fibrocartilaginous entheses are thus preferential targets for reconstruction of socio-economic activities of past human populations (Henderson, Mariotti, Pany-Kucera, Villotte, & Wilczak, 2016; Villotte et al., 2010; Weiss, 2012).

Fibrous entheses are typical of long bone diaphyses. They can be periosteal or osseous. A normal appearance corresponds to a periosteal insertion on the bone surface and an irregular/rough appearance for the osseous enthesis (Benjamin et al., 1986). Moreover, recent studies show a greater correlation with confounding biological factors, such as age or sexual dimorphism, more than with activity patterns (Villotte, 2006; Weiss, 2012). As a consequence, they are not studied as often as modifications of fibrocartilaginous insertions (Henderson, 2013). Currently, these new methods do not consider fibrous entheses for the investigation of activity patterns as a consequence.

Development of numerous visual (Hawkey & Merbs, 1995; Henderson, Mariotti, Pany-Kucera, Villotte, & Wilczak, 2013; Henderson et al., 2016; Mariotti, Facchini, & Belcastro, 2007; Mariotti, Facchini, & Giovanna, 2004; Villotte, 2008), as well as metric or three-dimensional (for a review, see Weiss, 2015), methods highlight the great interest of researchers for these markers. ECs are often used for reconstructions of socio-economic activities and life conditions in past human groups (Al-Oumaoui, Jiménez-Brobeil, & Du Souich,

2004; Crubézy et al., 2002; Thomas, 2014; Villotte et al., 2010; Villotte & Knüsel, 2014). For some time, researchers considered that muscular overuse related to particular activities were correlated with the degree and extent of bone remodelling of these zones (Hawkey & Merbs, 1995; Kennedy, 1989).

Interest for reconstruction of past animal use based on ECs is more recent. Faunal remains were first used as models for the development of new methods (Zumwalt, 2005) or to discuss the validity of using ECs to reconstruct human activity patterns (e.g., Rabey et al., 2015; Zumwalt, 2006). Some researchers chose to develop the potential for the identification of past functions by applying the anthropological approach to horses (Bendrey, 2007b, 2008; Taylor et al., 2015) and reindeer (Niinimäki & Salmi, 2016; Salmi & Niinimäki, 2016). On the basis of previous results published in biological anthropology, their main goal was to establish baseline references with documented specimens to distinguish between wild and domesticated animals and for the identification of criteria that influence the development of ECs. In a paper focused on a zoo sample of Przewalski's horses, ossification of the interosseous ligament between metapodials shows a correlation with functional strains imposed by anatomical position (Bendrey, 2007b). Focus on the insertion of the nuchal ligament demonstrates that mounted horses can be distinguished from captive and feral animals as well as draught horses by a greater frequency of alterations (Bendrey, 2008; Taylor et al., 2015). Recent studies in modern reindeer populations reveal that some entheses of the appendicular skeleton distinguish zoo from free-ranging animals (Niinimäki & Salmi, 2016). Differences could be linked to the food intake and increased mobility from which free-ranging animals benefit.

However, there are limitations to analysis of ECs as indicators of activity. Some researchers emphasized the unclear link between a specific activity and muscle markings (Dutour, 1992; Robb, 1998; Villotte, 2008; see Knüsel, 2000, for a review). More recent publications based on medical and anatomical data emphasize that several factors can also contribute to the development of ECs (Villotte & Knüsel, 2013). In horses, ECs were found to be correlated with increasing age for the interosseous ligament between metapodials (Bendrey, 2007b) and the nuchal ligament (Bendrey, 2008). The latter appears not to be influenced by sexual dimorphism (Bendrey, 2008). Severe ECs in this location in a Scythian horse cranium were interpreted as the result of trauma followed by a bacterial infection (Bendrey, Cassidy, Bokovenko, Lepetz, & Zaitseva, 2011). However, because of the small size of these samples, analyses of other factors influencing ECs were only partly considered.

One of the goals of this contribution is to introduce a new scoring system developed for insertions of the appendicular skeleton of equids. Intraobserver and interobserver agreements are calculated in order to address the reproducibility of the approach. The analysis of skeletons of 27 captive equids with no history of human use provided the opportunity to identify potential confounding factors necessary to consider in future studies of activity patterns. On the basis of previous understandings, age and sexual dimorphism were expected to influence the development of ECs of the equine appendicular skeleton, and these factors were thus tested here.

2 | MATERIAL AND METHODS

2.1 | Recording method

Complete appendicular skeletons of 39 specimens consisting of horses, donkeys, mules, Przewalski's horses, and a lesser proportion of zebras from museum collections were recorded in an initial study (see Table S1). These observations permitted documentation of the occurrence of ECs and their variability among the different insertions and species. The recording method was created following recent methods established for human (Henderson et al., 2013, 2016; Villotte, 2006, 2008) and reindeer remains (Niinimäki & Salmi, 2016), based on the distinction between fibrous and fibrocartilaginous insertions. As far as we know, little documentation is available that distinguishes these types of entheses in animals (although see Oikawa and Narama, 1998, for the insertion of the *M. biceps brachii*). Knowledge of human anatomy was therefore employed to define them, and 18 fibrocartilaginous and five fibrous insertions of the scapula, humerus, radius and ulna, *os coxae*, femur, tibia, and phalanges were finally selected for study (Table 1).

The occurrence of alterations was assessed following the definitions provided by Henderson et al. (2016) and Villotte et al. (2016):

bone formation (BF), erosion (ER), vascularization as fine porosity (FPO) or macroporosity (MPO), cavitation (CA), and textural change (TC) were scored. Fibrocartilaginous entheses were divided into two zones, the margin (Z1) and the centre (Z2), which are often simultaneously modified. No cases of CA were found. TC was rarely observed and appeared to be part of normal anatomical variation for the surfaces of horse entheses. FPO and MPO were identified in numerous fibrocartilaginous insertions, but their appearance was highly variable. ER was rarely observed, and when it was observed, this was often simultaneously with BF. BF and surface deformations were commonly identified during this initial analysis. These were located on the margin of insertions as well as at their centre. These locations can be altered simultaneously or separately. On the basis of these observations, only BF and ER were retained for the recording protocol. When alterations of the centre and margin co-occurred, the higher score was retained in subsequent analyses. Similarly, the higher ER or BF score was attributed when these features were simultaneously present.

The entire insertion area was considered for fibrous entheses. BF and FPO/MPO were initially identified. Examination of the pathophysiological literature established that the vascular network of a tendon fixed to a fibrous insertion communicates with that of the

TABLE 1 List of entheses included in the scoring method

Type	Muscle/ligament	Origin/Insertion	Location	Code
Fibrocartilaginous	<i>M. biceps brachii</i>	Origin	Scapula: supraglenoid tubercle	SBB
	<i>M. subscapularis</i>	Insertion	Humerus: crest of the lesser tubercle	HSC
	<i>M. infraspinatus</i>	Insertion (1)	Humerus: crest of the greater tubercle	HIE
		Insertion (2)	Humerus: convexity of the greater tubercle	HIEc
	<i>M. extensor digitorum lateralis</i> and collateral ligament of elbow	Common origin	Humerus: capitulum, lateral surface	HEL
	<i>Mm. flexor digitorum superficialis/profundus</i>	Origin	Humerus: medial epicondyle	HFD
	<i>M. ulnaris lateralis</i>	Origin	Humerus: lateral epicondyle	HUL
	<i>M. triceps brachii</i>	Insertion	Ulna: olecranon process, tuberosity (caudal part, lateral and medial surfaces)	UTB
	<i>M. biceps brachii</i>	Insertion	Radial tuberosity	RBB
	<i>M. gluteus profundus</i>	Origin	Body of ilium	CFEP
		Insertion	Femur: convexity of the greater trochanter	FFEP
	<i>M. gluteus accessories</i>	Insertion	Femur: crest of the greater trochanter	FFA
	<i>Mm. iliopsoas</i>	Common insertion	Femur: lesser trochanter	FIP
	<i>M. gastrocnemius (caput mediale)</i>	Origin	Femur: medial supracondylar tuberosity	FGC
	Lateral patellar ligament	Insertion	Tibial tuberosity	TPL
	Collateral ligament of proximal interphalangeal joints	Origin	Proximal phalanges: distal end (lateral/medial insertion tubercles)	P1CLa/p med/lat
	Collateral ligament of distal interphalangeal joints	Origin	Intermediate phalanges: distal end (lateral/medial insertion tubercles)	P2CLa/p med/lat
		Insertion	Distal phalanges: lateral/medial insertion crest	P3CLa/p med/lat
Fibrous	<i>M. deltoideus</i>	Insertion	Humerus: deltoid tuberosity	HDE
	<i>Mm. teres major/latissimus dorsi</i>	Common insertion	Humerus: <i>teres major</i> tuberosity (diaphysis, medial surface)	HRD
	<i>M. flexor digitorum superficialis</i> ("planto-perforé")	Origin	Femur: supracondylar fossa	FFS
	Oblique sesamoidean ligaments	Insertion	Proximal phalanges: palmar/plantar surface (<i>trigonum phalangis proximalis</i>)	P1SDa/p
	Palmar ligaments of proximal interphalangeal joints	Insertion	Proximal phalanges: medial and lateral surfaces	P1PMa/p med/lat

bone; their presence is thus part of normal anatomical variation (Benjamin et al., 1986). Only BF was therefore retained in the recording protocol.

The normal anatomical appearance of most equid insertions does not fit the definition provided by Benjamin et al. (1986), particularly for fibrocartilaginous entheses. Skeletal remains of 15 immature equids aged from 50 days to 4.5 years permitted documentation of changes of the enthesal surface during growth and aided to define the variability of the normal anatomical appearance for each enthesis.

A recording system was created for each enthesis. The extent and developmental severity of BF and ER were considered and scored. Three stages were established: A (no or minor modifications), B (medium alterations), and C (severe changes). Two stages (A for absence of EC, B for their presence) were defined for three entheses (the insertion of the *M. infraspinatus* on the convexity on the greater tubercle of the humerus, the insertion of the *M. triceps brachii* on the humeral diaphysis, and the origin of *M. flexor digitorum superficialis* on the femoral diaphysis). In addition, the fibrocartilaginous insertion of *M. infraspinatus* on the crest of the humerus where BF develops at the margin was recorded. BF can also appear in rare cases on the surface, but only in severely altered entheses. Figure 1 illustrates each score.

The ECs of the *M. infraspinatus* crest are as follows:

- A: No modification, the margin is regular and smooth;
- B: Medium BF, the margin is distinct from the surrounding bone as an irregular margin; and
- C: High BF, the margin is clearly distinct from the bone surface with developed projections/enthesophytes.

Descriptions and illustrations for the other insertions are given in the Supporting Information (Appendices S1 and S2, figures S1 to S71). When taphonomic alterations or the remains of soft tissues

covered 25% or more of an enthesis, the enthesis was recorded as "nonrecordable" (NR). A lacking insertion site was scored as absent (ABS).

2.2 | Interobserver and intraobserver tests

Agreement is defined as the number of concordances between two recording sessions for the same observer (intraobserver) or two separate observers (interobserver) for each enthesis. Table 2 introduces the specimens used for each test. Nine complete skeletons of mature equids were recorded twice by the first author, with an interval of 1 year for the intraobserver test, and 648 insertions were analysed. Nonrecordable (N = 5) and missing (N = 54) insertions were excluded for the evaluation of agreement.

Interobserver tests assessed 11 equids during a 4-day session by three observers. One is the creator of the method (M. B.), the second is experienced in ECs but on human remains (C. J. K.), and the third is familiar with faunal remains but not with ECs (D. C.). The protocol was presented during a 3-hour session on the day before the beginning of the recording sessions. A document describing the method with illustrations was provided as visual support. Only the left anterior and posterior limbs were considered. Some 392 insertions were evaluated. Ninety-three entheses were nonrecordable because of soft tissue that obscured the site of attachment. NR and ABS scores were excluded in agreement estimations.

The level of agreement between observers (interobserver tests) or two recording sessions (intraobserver test) was measured as the percentage of agreements. Cohen's kappa for the intraobserver test and Fleiss's kappa for the interobserver tests were used for assessment of the strength of agreement, following Landis and Koch (1977). Moreover, percentages of the different kinds of errors between scores and recorded/nonrecordable entheses were also estimated (Figures 2 and 3). Frequencies were calculated with Microsoft

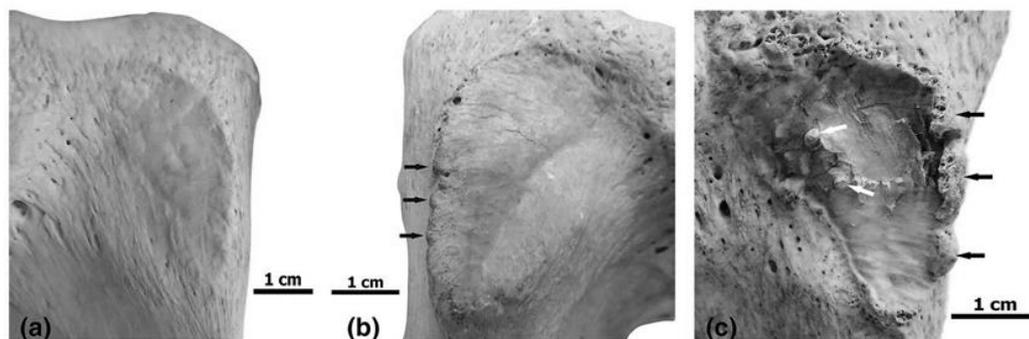


FIGURE 1 BF on the insertion of the *M. infraspinatus* on the crest of the humerus. (a) Score A. There is no alteration. The surface is smooth and the margin is unaltered and regular. (*Equus zebra hartmannae*, MfN Berlin, specimen ZMB_Mam_51820, right humerus). (b) Score B. Bone formations are identified on the cranial margin that is irregular, but not projecting, and distinct from the surrounding bone (black arrows). The surface is smooth and regular. (*Equus caballus przewalskii* × *Equus caballus*, MfH-ZNS Halle-Wittemberg, specimen E wld 5, left humerus). (c) Score C. Irregular bone projections on the cranial and proximal margins (black arrows). The surface also shows enthesophytes (white arrow). (*Equus asinus* × *Equus caballus*, MNHN Paris, specimen A-543, right humerus) [Colour figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

TABLE 2 List of specimens examined for reproducibility tests

Test	Location of collections	Collection number	Specie	Breed	Age (years)	Sex
Interobserver	RBINS	13075	<i>E. asinus</i>		18+	M
	RBINS	13076	<i>E. asinus</i>		18+	F
	RBINS	12970	<i>E. asinus</i>		30	F
	RBINS	13156	<i>E. asinus</i> × <i>E. caballus</i>		18+	M
	RBINS	16958	<i>E. caballus</i>	Pottok	10	F
	RBINS	13097	<i>E. caballus</i>	Shetland pony	7–9	F
	RBINS	13071	<i>E. caballus</i>	Camargue horse	9–10	F
	RBINS	3975	<i>E. caballus</i>	Arab horse	19+	M
	RBINS	17353	<i>E. caballus przewalskii</i>		Mature	M
	RBINS	16935	<i>E. caballus przewalskii</i> × <i>E. caballus</i>		10	M
Intraobserver	MfN	A3314	<i>E. caballus</i>	Arab-Gallizier	16–17	F
	MfN	1263	<i>E. caballus</i>	Exmoor pony	Mature	F
	MfN	1200	<i>E. caballus</i>	Dutch trotter	19–20	F
	MfN	3351	<i>E. caballus</i>		20+	F
	MfN	ZMB_Mam_60363	<i>E. caballus przewalskii</i> ^{as}		18	M
	MfN	ZMB_Mam_53127	<i>E. quagga boehmi</i>		13	M
	MfN	15963	<i>E. quagga burchelli</i>		Mature	F
	MfN	ZMB_Mam_55246	<i>E. zebra hartmannae</i>		10	F
	MfN	51820	<i>E. zebra hartmannae</i>		11–12	M

Note. Skeletons are curated in the Royal Belgium Institute of Natural Sciences in Brussels (RBINS) for interobserver tests and the Museum für Naturkunde of Berlin (MfN) for intraobserver tests.

^{as}Specimen included in the preliminary analysis.

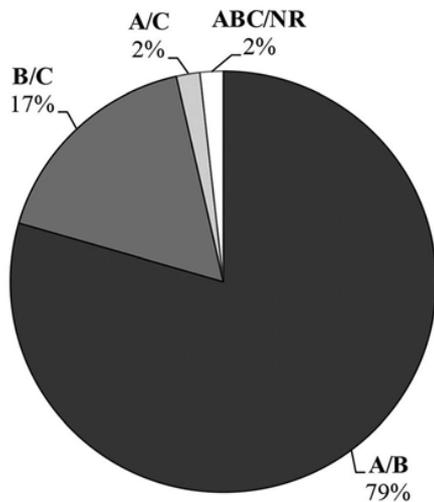


FIGURE 2 Types of errors for intraobserver tests

Excel 2016 on Windows; kappa coefficients were obtained using the R-package “KappaGUI” (Santos, 2018). Table 4 shows the results.

2.3 | Analysis of biological confounding factors

The sample comprised complete adult skeletons of 21 *Equus caballus przewalskii*, two *Equus caballus*, two hybrids of *Equus caballus przewalskii* and *Equus caballus*, and two *Equus asinus*, dating from the 20th century that lived in captive environments (zoos or menageries). These skeletons were chosen owing to their completeness and the

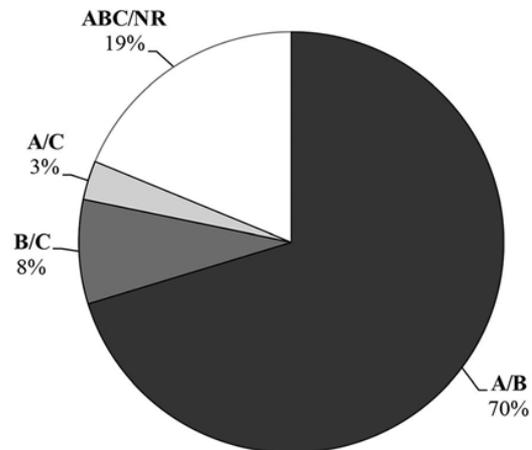


FIGURE 3 Types of errors for interobserver tests

absence of serious pathological lesions (fractures and arthropathies) that could impact biomechanical function. Most of these specimens possess documented age at death and sex; some are accompanied with information on body proportions. These skeletons are curated in various European institutions (for more details, see Table 3). The true age was not available for nine specimens, and the estimation was made following the occlusal wear of the incisors (Cornevin & Lesbre, 1894; Guadelli, 1998). Sex was determined on the basis of the presence/absence of developed canines and on pubic bone morphology (Barone, 2000).

Right and left elements were combined to augment the sample size for statistical analysis. Due to unequal samples, Mann–Whitney *U* tests (Mann & Whitney, 1947) were used to evaluate the influences of age and sex on ECs. Data were analysed using the statistical

TABLE 3 List of specimens and individual information about them

Location of collections	Collection number	Specie	Breed	Age (years)	Estimated age (years)	Sex
MNHN	1982-128	<i>E. asinus</i>	Baudet du Poitou		15	F
MNHN	2012-63	<i>E. asinus</i>	Baudet du Poitou	11		F
MfH	E wld 7	<i>E. caballus</i>		15		M
MNHN	1975-98	<i>E. caballus</i>	Icelandic pony	35		M
IfP		11 <i>E. caballus przewalskii</i>		20		F
IfP		18 <i>E. caballus przewalskii</i>		6		M
IfP		19 <i>E. caballus przewalskii</i>		24		M
IfP		7 <i>E. caballus przewalskii</i>		13		F
IfP		13 <i>E. caballus przewalskii</i>		8		M
IfP		15 <i>E. caballus przewalskii</i>		23		F
IfP		16 <i>E. caballus przewalskii</i>			20+	M
IfP		5 <i>E. caballus przewalskii</i>		20		M
MfN		60363 <i>E. caballus przewalskii</i>			18	M
MfH	E wld 1	<i>E. caballus przewalskii</i>			Mature	M
MfH	E wld 2	<i>E. caballus przewalskii</i>		9		F
MfH	E wld 4	<i>E. caballus przewalskii</i>		9		F
MNHN	1977-55	<i>E. caballus przewalskii</i>			10	F
MNHN	1962-228	<i>E. caballus przewalskii</i>		32		M
MNHN	1932-46	<i>E. caballus przewalskii</i>		29		F
MNHN	1980-29	<i>E. caballus przewalskii</i>		5		F
MNHN	1929-37	<i>E. caballus przewalskii</i>		20		F
MNHN	1973-109	<i>E. caballus przewalskii</i>			11.5	F
MNHN	1975-125	<i>E. caballus przewalskii</i>			9–10	F
MNHN	1973-109	<i>E. caballus przewalskii</i>			10–10.5	F
NHM		31592 <i>E. caballus przewalskii</i>			16+	M
MfH	E wld 5	<i>E. caballus przewalskii</i> × <i>E. caballus</i>		21		M
MfH	E wld 6	<i>E. caballus przewalskii</i> × <i>E. caballus</i>		14		M

Note. Skeletons are curated in various institutions: Museum für Haustierkunde "Julius Kühn," Martin Luther Universität in Halle-Wittenberg (MfH); Museum für Naturkunde of Berlin (MfN); Institut für Palaeoanatomie, Ludwig-Maximilians Universität in München (IfP); Naturhistorische Museum of Wien (NHM); and Muséum National d'Histoire Naturelle of Paris (MNHN).

program Statistica 7.1. The sample was split into two age classes: equids of less than 15 years of age at death ($N = 14$) and those more than 16 years of age at death ($N = 12$). Fourteen mares and 13 stallions comprise the total sample.

3 | RESULTS

Table 4 contains the descriptive analysis for intraobserver and interobserver tests for each enthesis.

Figures 2 and 3 provide the measurement errors for these tests.

Figure 4 shows the distribution of each score by observer for the interobserver test.

3.1 | Intraobserver test

Total interobserver agreement was 79.7%. Intraobserver agreement varied between insertions. The lowest concordance was calculated

for the gastrocnemius muscle (53.3%). The greatest agreement was estimated for both the *M. subscapularis* and the insertion of the *M. infraspinatus* on the convexity of the greater tubercle (94.1%). Following the kappa of Cohen, strength of agreement is between moderate and almost perfect. Errors between successive scores demonstrate higher frequencies of discordance (79% of disagreement between A and B scores; 17% between B and C scores). There were very few errors between nonrecordable and A–B–C stages (<5%).

3.2 | Interobserver tests

Total concordance is 73.6%. The percentage of agreed scores differs greatly depending on the insertion and the observer. The lowest agreement was calculated for the *M. extensor digitorum lateralis* (only 25% of agreement for interobserver for tests 1 and 3). Surprisingly, it is also one of the insertions that achieved a perfect concordance

TABLE 4 Descriptive analysis of interobserver and intraobserver tests

Enthesis	Intraobserver test			Interobserver tests					Quality of agreement	κ (Fleiss)	Quality of agreement
	N	%	κ (Cohen)	n	Interobserver 1 (%)	Interobserver 2 (%)	Interobserver 3 (%)	κ (Fleiss)			
<i>M. biceps brachii</i> (origin)	12	75	0.72	10	80	70	80	0.59	Moderate		
<i>M. subscapularis</i>	16	94.1	0.92	10	60	90	70	0.46	Moderate		
<i>M. infraspinatus</i> (crest)	15	88.2	0.82	11	72.7	90.9	81.9	-0.1	Poor		
<i>M. infraspinatus</i> (convexity)	16	94.1	0.91	11	100	100	100	1	Almost perfect		
<i>M. extensor digitorum lateralis</i> and collateral ligament of elbow	14	82.4	0.76	8	25	100	25	-0.13	Poor		
<i>Mm. flexor digitorum superficialis/profundus</i>	15	88.2	0.81	9	100	88.9	88.9	0.75	Substantial		
<i>M. ulnaris lateralis</i>	13	81.3	0.71	10	70	80	50	0.07	Slight		
<i>M. triceps brachii</i>	14	82.4	0.71	11	90.9	90.9	100	0.76	Substantial		
<i>M. biceps brachii</i> (termination)	11	64.7	0.61	10	60	90	70	0.46	Moderate		
<i>M. gluteus profundus</i> (origin)	10	62.5	0.64	11	54.5	54.5	46	0.16	Slight		
<i>M. gluteus profundus</i> (termination)	10	66.7	0.62	11	72.7	72.7	81.8	0.18	Slight		
<i>M. gluteus accessorius</i>	13	76.5	0.73	11	81.8	81.8	63.6	0.53	Moderate		
<i>Mm. iliopsoas</i>	15	88.2	0.85	10	40	70	60	0.16	Slight		
<i>M. gastrocnemius</i> (<i>caput mediale</i>)	8	53.3	0.62	11	81.8	63.6	72.7	0.49	Moderate		
Lateral patellar ligament	14	87.5	0.8	8	100	100	100	1	Almost perfect		
Collateral ligament of proximal interphalangeal joints	56	82.3	0.63	13	46.2	100	46.2	-0.22	Poor		
Collateral ligament of distal interphalangeal joints (origin)	48	73.4	0.67	20	45	45	40	-0.02	Poor		
Collateral ligament of distal interphalangeal joints (termination)	49	87.5	0.89	20	55	65	55	0.16	Slight		
<i>M. deltoideus</i>	15	88.2	0.78	11	81.8	90.9	90.9	-0.07	Poor		
<i>Mm. teres major/latissimus dorsi</i>	13	76.5	0.51	11	72.7	72.7	81.8	0.59	Moderate		
<i>M. flexor digitorum superficialis</i> ("planto-perforé")	11	64.7	0.45	9	77.8	88.9	66.7	0.55	Moderate		
Oblique sesamoidians ligaments	29	85.7	0.77	21	66.7	85.7	81	0.46	Moderate		
Palmar ligaments of proximal interphalangeal joints	61	89.7	0.89	42	64.3	64.3	69	0.37	Fair		

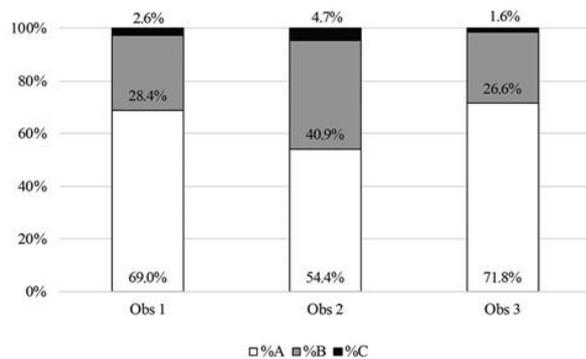


FIGURE 4 Distribution of scores for each observer

between observers (100%) for test 2. The enthesis for the *M. infraspinatus* muscle on the convexity of the greater tubercle (all observers), the *M. flexor digitorum* muscles on the humerus (interobserver test 1), the *M. triceps brachialis* (test 3), and lateral patellar ligament (all observers) and collateral ligament of the proximal interphalangeal joints (interobserver test 2) show perfect agreement. According to the kappa of Fleiss, most of the insertions show strengths of concordance between poor and moderate. Only four entheses show substantial or almost perfect agreement.

Disagreement between A and B scores demonstrate high frequencies (70%). Discordance between recordable and nonrecordable entheses is moderate, with 19% errors. Other kinds of disagreements show only slight percentage differences. Frequencies of scores differ between the different observers. Observers 1 and 3 both considered that around 70% of entheses are healthy and around 30% showed modifications. Observer 2 seems to “overrecord” the appearance of the enthesal area: Nearly 46% of the insertions were considered as altered.

3.3 | Confounding biological factors

Table 5 presents descriptive statistics for this study.

3.4 | The influence of age

Increasing frequencies of EC in specimens of older ages at death seem to be the general trend for a majority of insertions. However, differences between younger and older age classes is significant for only seven fibrocartilaginous attachments: the *M. subscapularis* ($U = 205.5$; $p < .01$), *M. gluteus profundus* on the femur ($U = 147$; $p < .01$), *M. gastrocnemius* ($U = 177$; $p < .01$), lateral patellar ligament ($U = 235$; $p = .013$), medial collateral ligament on the anterior intermediate phalanx ($U = 153$; $p < .01$), and the lateral insertion on the anterior ($U = 149$; $p = .033$) and posterior ($U = 138$; $p < .01$) distal phalanges. Significant differences were also found for three fibrous entheses: *M. deltoideus* ($U = 240.5$; $p = .012$), *M. teres major/lattissimus dorsi* ($U = 207$; $p < .01$), and medial palmar ligament of the posterior proximal phalanx ($U = 200$; $p = .019$). The difference for the *M.*

extensor digitorum lateralis of the humerus reaches near significance ($U = 283.5$; $p = .06$). The frequencies of ECs of scores B and C are significantly higher in equids of 16 years old or older compared with that in specimens from younger individuals, except for the origin of the collateral ligament on the second phalanx, which shows the opposite distribution of ECs, younger animals having greater scores than older animals. Some insertions thus do not show differences between young and old equids (insertions of the *M. biceps brachii*, *M. flexor digitorum superficialis/profundus* on the humerus, insertions of *M. triceps brachii*, *M. flexor digitorum superficialis* on the femur, and the medial collateral ligament on the posterior proximal phalanx).

3.5 | Differences between males and females

Four fibrocartilaginous insertions differ significantly between males and females, where males show higher frequencies of ECs: *M. triceps brachii* ($U = 213$; $p = .049$), *M. gluteus profundus* on the femur ($U = 159$; $p = .018$), and the lateral collateral ligament on anterior ($U = 149$; $p = .033$) and posterior ($U = 158$; $p = .031$) third phalanges. On the other hand, the fibrous insertions of *M. flexor digitorum superficialis* on the femur ($U = 176$; $p = .032$) and medial collateral ligament on the posterior proximal phalanx ($U = 209$; $p = .047$) differ significantly between both categories and show higher frequencies of ECs in mares. The distribution of scores does not differ between males and females for the origin of the *M. biceps brachii*, *M. subscapularis*, *M. extensor digitorum lateralis*, and some phalangeal insertions (origin of the lateral collateral ligament on anterior/posterior first phalanges and posterior oblique sesamoid ligaments).

4 | DISCUSSION

4.1 | The new method

Horses, donkeys, and their hybrids are often employed in human activities today in some places and more widely in the past. Identifying the important milestones—the timing of changes—in equid–human relationships is undocumented. In order to aid the identification of the use of these animals, a new recording method focused on insertions located on the appendicular skeleton of equids is proposed. This study considers the results of intraspecific and interspecific variability for insertions in equids. Consideration for the specifics of this variability permits application of this protocol on the various species of modern equids discovered in archaeological excavations.

Interobserver and intraobserver tests for each enthesal area were calculated to document the reliability of this approach. As documented previously (Villotte & Perreard, 2012), intraobserver tests generally show stronger agreements than do interobserver tests. Interobserver tests produce less satisfying results—with some entheses showing a low rate of agreement between observers for the origin of the collateral ligament on the intermediate phalanx and insertion of the collateral ligament on the humerus. Contrary to the results

TABLE 5 Frequencies of enthesis scores for fibrocartilaginous and fibrous entheses and results of the Mann–Whitney *U* test for age and sex

Type	Enthesis	Score	≤15 years		≥16 years		<i>p</i>	<i>U</i>	♂	♀	♂ (%)	♀ (%)	<i>p</i>	<i>U</i>
			old	old	old (%)	old (%)								
Fibrocartilaginous	SBB	A	17	16	60.7	72.7	.245	271	16	17	61.5	63.0	.44	290
		B	11	6	39.3	26.1			9	10	34.6	37.0		
		C		1	0.0	4.3			1		3.8	0.0		
	HSC	A	20	9	74.1	37.5	<.01	205.5	14	16	53.8	59.3	.511	294
		B	7	15	25.9	62.5			12	11	46.2	40.7		
		C			0.0	0.0					0.0	0.0		
	HIE	A	23	18	88.5	75.0	.22	270	19	24	73.1	92.3	.185	271
		B	3	6	11.5	25.0			7	2	26.9	7.7		
		C			0.0	0.0					0.0	0.0		
	HIEc	A	17	20	77.3	83.3	.662	262	20	19	76.9	86.4	.73	266
		B	5	4	22.7	16.7			6	3	23.1	13.6		
	HFD	A	22	19	81.5	82.6	.918	307	22	22	78.6	84.6	.4	282
		B	5	4	18.5	17.4			6	4	21.4	15.4		
		C			0.0	0.0					0.0	0.0		
	HUL	A	13	15	56.5	62.5	.679	259.5	20	13	76.9	56.5	.679	259.5
		B	10	9	43.5	37.5			6	10	23.1	43.5		
		C			0.0	0.0					0.0	0.0		
	HCL	A	27	21	100.0	87.5	.06*	283.5*	25	25	96.2	92.6	.643	314
		B		2	0.0	8.3			1	1	3.8	3.7		
		C		1	0.0	4.2			1		0.0	3.7		
	UTB	A	19	16	73.1	72.7	.978	285	15	22	62.5	84.6	.049	213
		B	7	6	26.9	27.3			9	4	37.5	15.4		
	RBB	A	22	18	84.6	81.8	.797	278	18	24	75.0	92.3	.278	256
		B	4	4	15.4	18.2			6	2	25.0	7.7		
		C			0.0	0.0					0.0	0.0		
	CFEP	A	12	8	46.2	40.0	.268	216	14	6	58.3	25.0	.266	220
		B	12	12	46.2	60.0			10	16	41.7	66.7		
		C	2		7.7	0.0			2		0.0	8.3		
	FFEP	A	8	2	33.3	9.5	<.01	147	3	8	12.5	34.8	.018	159
		B	14	11	58.3	52.4			13	13	54.2	56.5		
C		2	8	8.3	38.1			8	2	33.3	8.7			
FFA	A	13	5	46.4	22.7	.186	250	7	11	29.2	39.3	.891	302	
	B	15	15	53.6	68.2			15	17	62.5	60.7			
	C		2	0.0	9.1			2		8.3	0.0			
FIP	A	14	10	58.	43.5	.192	222	11	13	42.3	56.5	.305	233.5	
	B	8	13	33.3	56.5			13	10	50.0	43.5			
	C	2		8.3	0.0			2		7.7	0.0			
FGC	A	18	3	64.3	12.5	<.01	177	7	16	26.9	57.1	.116	260	
	B	10	18	35.7	75.0			16	12	61.5	42.9			
	C		3	0.0	12.5			3		11.5	0.0			
TPL	A	26	18	100.0	78.3	.013	234	21	25	84.0	96.2	.121	258.5	
	B		5	0.0	21.7			4	1	16.0	3.8			
	C			0.0	0.0					0.0	0.0			
P1CLa lat	A	22	17	84.6	73.9	.358	267	20	21	80.0	80.8	.829	291.5	
	B	4	6	15.4	26.1			5	5	20.0	19.2			
	C			0.0	0.0					0.0	0.0			
P1CLa med	A	24	18	92.3	78.3	.165	257	20	24	80.0	92.3	.165	257	
	B	2	5	7.7	21.7			5	2	20.0	7.7			
	C			0.0	0.0					0.0	0.0			
P1CLp lat	A	24	18	92.3	78.3	.165	257	21	23	84.0	88.5	.563	281.5	
	B	2	5	7.7	21.7			4	3	16.0	11.5			
	C			0.0	0.0					0.0	0.0			
P1CLp med	A	23	20	88.5	87.0	.873	294.5	21	24	84.0	92.3	.306	270	
	B	3	3	11.5	13.0			4	2	16.0	7.7			
	C			0.0	0.0					0.0	0.0			
P2CLa lat	A	6	5	25.0	22.7	.657	246	7	4	30.4	16.7	.348	215	
	B	12	14	50.0	63.6			12	15	52.2	62.5			
	C	6	3	25.0	13.6			4	5	17.4	20.8			
P2CLa med	A	3	1	12.5	4.8	<.01	153	2	2	9.1	8.3	.505	216	

(Continues)

TABLE 5 (Continued)

Type	Enthesis	Score	≤15 years old	≥16 years old	≤15 years old (%)	≥16 years old (%)	<i>p</i>	<i>U</i>	♂	♀	♂ (%)	♀ (%)	<i>p</i>	<i>U</i>
		B	11	18	45.8	85.7			16	14	72.7	58.3		
		C	10	2	41.7	9.5			4	8	18.2	33.3		
	P2CLp lat	A	2	2	9.1	10.5	.521	187	2	2	9.5	9.1	.521	187
		B	10	11	45.5	57.9			13	10	61.9	45.5		
		C	10	6	45.5	31.6			6	10	28.6	45.5		
	P2CLp med	A	4	2	18.2	10.5	.771	199.5	2	4	9.5	18.2	.771	199.5
		B	13	13	59.1	68.4			15	13	71.4	59.1		
		C	5	4	22.7	21.1			4	5	19.0	22.7		
	P3CLa lat	A	17	9	77.3	45.0	.033	149	10	17	45.5	77.3	.033	149
		B	5	11	22.7	55.0			12	5	54.5	22.7		
		C			0.0	0.0					0.0	0.0		
	P3CLa med	A	15	10	68.2	50.0	.236	180	10	16	45.5	72.7	.07	159
		B	7	10	31.8	50.0			12	6	54.5	27.3		
		C			0.0	0.0					0.0	0.0		
	P3CLp lat	A	21	9	87.5	45.0	<.01	138	11	20	52.4	83.3	.031	158
		B	3	11	12.5	55.0			10	4	47.6	16.7		
		C			0.0	0.0					0.0	0.0		
	P3CLp med	A	18	13	78.3	65.0	.339	199.5	15	18	68.2	78.3	.339	199.5
		B	5	7	21.7	35.0			7	5	31.8	21.7		
		C			0.0	0.0					0.0	0.0		
Fibrous	HDE	A	26	17	96.3	70.8	.012	240.5	20	25	76.9	92.6	.1	269
		B	1	5	3.7	20.8			5	1	19.2	3.7		
		C			0.0	8.3			1	1	3.8	3.7		
	HRD	A	21	10	77.8	41.7	<.01	207	14	17	53.8	63.0	.355	282
		B	6	14	22.2	58.3			12	10	46.2	37.0		
		C			0.0	0.0					0.0	0.0		
	FFS	A	17	17	77.3	77.3	1	242	22	14	91.7	63.6	.032	176
		B	5	5	22.7	22.7			2	8	8.3	36.4		
	P1SDa	A	10	8	38.5	34.8	.33	256	8	10	32.0	38.5	.33	256
		B	16	11	61.5	47.8			13	16	52.0	61.5		
		C		4	0.0	17.4			4		16.0	0.0		
	P1SDp	A	23	18	88.5	78.3	.339	268.5	20	23	80.0	88.5	.339	268.5
		B	3	5	11.5	21.7			5	3	20.0	11.5		
		C			0.0	0.0					0.0	0.0		
	P1PMa lat	A	4	2	15.4	8.7	.691	281	2	4	8.0	15.4	.581	274
		B	10	13	38.5	56.5			13	12	52.0	46.2		
		C	12	8	46.2	34.8			10	10	40.0	38.5		
	P1PMa med	A	5	3	20.0	13.0	.162	235.5	3	5	12.5	19.2	.162	235.5
		B	14	10	56.0	43.5			11	15	45.8	57.7		
		C	6	10	24.0	43.5			10	6	41.7	23.1		
	P1PMp lat	A	13	10	50.0	43.5	.574	273.5	15	10	60.0	38.5	.047	209
		B	11	9	42.3	39.1			6	14	24.0	53.8		
		C	2	4	7.7	17.4			4	2	16.0	7.7		
	P1PMp med	A	6	8	23.1	34.8	.019	200	8	6	32.0	23.1	.111	231.5
		B	20	11	76.9	47.8			14	19	56.0	73.1		
		C		4	0.0	17.4			3	1	12.0	3.8		

Note. Significance is denoted by numbers in bold ($p < .05$). Values close to the significance are denoted by an asterisk (*; $p < .06$).

of the intraobserver tests, the level of agreement is rarely "substantial" or "almost perfect" according to the Fleiss's kappa. Better results for intraobserver tests could be linked to the fact that the creator of the method, the first author, has greater experience with the criteria and their nuances for the evaluation of ECs. Therefore, differences in the level of experience with ECs can be the cause of the different levels of agreement. Observer 2, who is more experienced with the study of ECs in human remains, scores more entheses as altered compared with the two other observers

(Figure 4). Particularly for fibrocartilaginous entheses, these observations reveal that the definition of the normal anatomical appearance of most insertions in horses, which can be well developed with a slight irregularity of their surfaces, differs from the definition provided for human bones (Benjamin et al., 1986). Thus, slight irregularity can be recorded as ECs, whereas they are considered normal anatomical variation in horses. Discussions of ambiguous cases permitted the authors to improve the definition of this normal anatomical appearance for future users of this method.

Contradictory results between the rate of agreement and kappa coefficients were noted. Some insertions with high rates of agreement (e.g., Table 4: the insertions of *infraspinatus* and *deltoideus* muscles) show poor agreement according to kappa coefficients. The small sample size did not permit recording of the highest level of variability present in EC scores; C stage changes were rarely observed during test sessions. Negative kappa values can be seen as statistical bias produced by strong agreement for the more frequent categories (A and B) and strong disagreement for the more rarely observed category C scores. Kappa values should thus be interpreted with care, given these observations.

Disagreement between successive stages was higher between A and B scores in both recording sessions (Figures 2 and 3). This result reveals the difficulty in distinguishing the boundary between the different scores—here, particularly healthy versus moderately altered insertions. The great variability of ECs that is reduced by the definition of a few ordinal categories can be the cause of confusion (Davis, Shuler, Danforth, & Herndon, 2013) and necessitates a better understanding of boundaries of variation for each category. In interobserver tests, it is surprising to note a high level of confusion between recordable and nonrecordable insertions. Discussions reveal that soft tissue residues, which are commonly found in museum specimens, confound the visibility of insertions for observers who are unfamiliar with equine bones. Moreover, the fact that the presence of the numerous nonrecordable insertions ($N = 93$) increased the risk of confusion cannot be ignored.

If this new protocol is to be made more reliable, preliminary agreement tests need to be carried out on larger samples with a greater number of entheses recorded. Increasing interobserver agreement is necessary for comparing results of studies from independent users of this method. Training sessions with the author of this protocol need to be longer for providing a better knowledge of the variability of ECs. In order to help define observations, illustrations of each insertion showing different EC levels was added to the protocol.

This method can be applied in a wide variety of chronological and geographical contexts. ECs provide a new means for identification of past activities in equids, if they were employed as working animals and in which ways—riding, traction, or as pack animals, as well as attesting to their domesticated status. Future studies must consider that most archaeological equid remains are excavated as fragments. Although this study is focused on complete skeletons, the approach can be adapted for analyses of these assemblages.

4.2 | Analysis of confounding factors

These initial analyses based on documented modern skeletons of unworked equids highlight the differential influences of biological factors. Each insertion seems to be influenced differently following the various criteria. For most entheses, old equids show greater frequencies of ECs, but not all show significant differences. In this, these results correspond to those of previous studies of human ECs (Henderson et al., 2013, 2016; Villotte et al., 2010; Wilczak, 1998) and

horse remains (Bendrey, 2007b, 2008; Taylor et al., 2015). Age is identified as one of the main aetiological factors that correlates with the presence of ECs in bone samples, even given the difficulty in clearly identifying causal factors (Henderson et al., 2016; Villotte & Knüsel, 2013). Increasing ECs with age is commonly thought to be related to cumulative injury through the life course and a concomitant decrease in bone-remodelling capability. At the end of bone maturation, the reduced activity of osteoblasts produces alterations of the bone structure, decreased cortical thickness, and an increasing ruggedness of bone surface (Niinimäki & Baiges, 2013; Weiss, 2003). This could also be attributed to an increased stiffness of the tendon that modifies its structural properties (Jurmain, Cardoso, Henderson, & Villotte, 2012). In future studies focused on activity patterns in equids, it is suggested that specimens from older horses be removed from statistical analysis to avoid the possible influence of age.

Sexual dimorphism is another highly debated factor in biological anthropology (Niinimäki, 2012; Weiss, 2003). Some researchers interpret these differences as the results of sexual division of labor in past societies (al-Oumaoui et al., 2004; Villotte, 2008) in which males are generally involved in highly strenuous physical tasks. In this study, the equids lived under captive conditions and were not exploited for human use, and thus, this explanation can be excluded. In the study sample here, males generally show more ECs than do females. One possibility is that sexual dimorphism is influenced by hormonal activity. Oestrogen secretion favours bone growth and maturation in females, whereas testosterone increases muscular mass in males (Niinimäki, 2012). Another possibility is that body proportions can also produce differences between males and females: Sexual dimorphism in size in mammals generally favours males who possess larger body proportions. The male sample in this study showed a slightly superior average weight (295.9 kg) compared with that of mares (273.5 kg), and they probably have a greater muscular mass that requires more effort to produce movements (see Table S2). Age and sex analysis could not be undertaken independently because of the small sample size of this study. Males and females are unequally represented, with most of the males included in the ≥ 16 years of age-at-death age group. This bias might also explain some of the results, and at this point, the importance of this factor cannot be determined with confidence in equids. Moreover, there are other unknown aetiological effects as, for example, those linked to living conditions (Niinimäki & Salmi, 2016), genetic predisposition, and medical treatments (Schlecht, 2012). The specimens employed in this study lived in captivity where life conditions were probably different for equids from one collection to another. Unfortunately, detailed documentation of these conditions is lacking.

It is encouraging to note that some insertions do not seem to be affected by one or both parameters, age and/or sex. This is particularly the case for insertions on the humerus, the *M. infraspinatus* (convexity) and *M. flexor digitorum superficialis/profundus*, which do not show great variations between age classes as well as between males and females. These results show that (a) variations in frequencies of ECs are low whatever parameter is considered and that (b) the occurrence of ECs for these entheses could be produced by

"unknown" factors in unworked equids. In this last case, further studies on larger samples exploring the influence of activity patterns are necessary.

5 | CONCLUSION

This new illustrated approach to recording ECs is the first created and applied to a large number of equid appendicular skeleton entheses. At present, it can be widely applied whatever the equine species studied. Larger samples, with longer training sessions to familiarize researchers with the study material, are required to achieve better observational agreement. This protocol provides a potential means to identify factors that produce alterations of enthesal surfaces. Preliminary analysis of documented equids with no history of human use identified both age at death and sex as confounding factors that could influence the development of ECs. Both factors thus need to be considered in future studies aimed at identifying the human use of archaeologically retrieved equids. Nonetheless, some insertions, particularly those for *M. infraspinatus* and *M. flexor digitorum* on the humerus, do not seem to be influenced by age at death and sexual dimorphism. These provide promising results for aetiologies other than age at death and sex for ECs. Thus, this study highlights the importance of using documented baseline references to achieve a better aetiological understanding of ECs in equids before their application to unknown archaeological specimens. Analysis of a greater number of equids, without a history of human use, in addition to domesticated horses, are currently being studied using a modified version of the protocol presented in this paper.

ACKNOWLEDGEMENTS

Data collection was made possible by funding from Interdisciplinary Doctoral Research from the Faculty of Biology, University of Bordeaux; and financial support for international mobility from the Science and Environment Doctoral School, University of Bordeaux; and from the Unité Mixte de Recherche (UMR) 5199 PACEA (CNRS, University of Bordeaux). We are grateful to the researchers, curators, and assistant curators who provided access to collections and their assistance before and during research visits: Olivier Pauwels, Terry Welschaerts, and Sébastien Bruaux (IRSNB, Brussels); Jacqueline Studer and Jean-Christophe Castel (MHNG, Geneva); Henriette Obermaier (SAPM, München); Christiane Funk, Steffen Bock, and Anna Rosemann (MfN, Berlin); Renate Schafberg (MLU, ZNS, Halle-Saale); Erich Pucher and Konstantina Saliari (NHM, Wien); Joséphine Lesur, Christine Lefèvre, Aurélie Verguin, and Karyne Debue (MNHN, Paris); Claude Guintard (ONIRIS, Nantes); and Benoît Clavel (CRAVO, Compiègne). We also thank Frédéric Santos (UMR 5199 PACEA, CNRS) for his help and advice with the statistical analyses employed in this study. We would also like to thank the three anonymous reviewers for their helpful comments.

ORCID

Marion Bindé  <https://orcid.org/0000-0002-8044-7309>

David Cochard  <https://orcid.org/0000-0002-4548-3769>

Christopher J. Knüsel  <https://orcid.org/0000-0002-2506-3652>

References

- Al-Oumaoui, I., Jiménez-Brobeil, S., & Du Souich, P. (2004). Markers of activity patterns in some populations of the Iberian Peninsula. *International Journal of Osteoarchaeology*, 14, 343–359. <https://doi.org/10.1002/oa.719>
- Barone, R. (2000). *Anatomie comparée des mammifères domestiques—Tome 1: Ostéologie*. Paris: Vigot.
- Bartosiewicz, L., & Bartosiewicz, G. (2002). "Bamboo spine" in a migration period horse from Hungary. *Journal of Archaeological Science*, 29, 819–830. <https://doi.org/10.1006/jasc.2001.0715>
- Bartosiewicz, L., & Gal, E. (2013). *Shuffling nags, lame ducks: The archaeology of animal disease*. Oxford, UK: Oxbow Books.
- Bartosiewicz, L., van Neer, W., Lentacker, A., & Fabis, M. (1997). *Draught cattle: Their osteological identification and history*. Tervuren, Belgique: Musée Royal de l'Afrique Centrale.
- Bendrey, R. (2007a). New methods for the identification of evidence for biting on horse remains from archaeological sites. *Journal of Archaeological Science*, 34, 1036–1050. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.09.010>
- Bendrey, R. (2007b). Ossification of the interosseous ligaments between the metapodials in horses: A new recording methodology and preliminary study. *International Journal of Osteoarchaeology*, 17, 207–213. <https://doi.org/10.1002/oa.875>
- Bendrey, R. (2008). An analysis of factors affecting the development of an equid cranial enthesopathy. *Veterinaria et Zootechnika*, 41, 25–32.
- Bendrey, R. (2011). Identification of metal residues associated with bit-use on prehistoric horse teeth by scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray microanalysis. *Journal of Archaeological Science*, 38, 2989–2994. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.06.016>
- Bendrey, R., Cassidy, J. P., Bokovenko, N., Lepetz, S., & Zaitseva, G. I. (2011). A possible case of 'poll-evil' in an early Scythian horse skull from Arzhan 1, Tuva Republic, Central Asia. *International Journal of Osteoarchaeology*, 21, 111–118. <https://doi.org/10.1002/oa.1099>
- Benjamin, M., Evans, E. J., & Copp, L. (1986). The histology of tendon attachments to bone in man. *Journal of Anatomy*, 149, 89–100.
- Benjamin, M., Kumai, T., Milz, S., Boszczyk, B. M., Boszczyk, A. A., & Ralphs, J. R. (2002). The skeletal attachment of tendons—Tendon 'entheses'. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 133, 931–945. [https://doi.org/10.1016/S1095-6433\(02\)00138-1](https://doi.org/10.1016/S1095-6433(02)00138-1)
- Benjamin, M., Toumi, H., Ralphs, J. R., Bydder, G., Best, T. M., & Milz, S. (2006). Where tendons and ligaments meet bone: attachment sites ('entheses') in relation to exercise and/or mechanical load. *Journal of Anatomy*, 208, 471–490. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2006.00540.x>
- Clutton-Brock, J. (1992). *Horse power: A history of the horse and the donkey in human societies*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Cornevin, C., & Lesbre, F.-X. (1894). *Traité de l'âge des animaux domestiques d'après les dents et les productions épidermiques*. Paris: J.-B. Baillière et fils.
- Crubézy, É., Goulet, J., Bruzek, J., Jelinek, J., Rougé, D., & Ludes, B. (2002). Épidémiologie de l'arthrose et des enthésopathies dans une population européenne d'il y a 7 700 ans. *Revue du Rhumatisme*, 69, 1217–1225. [https://doi.org/10.1016/S1169-8330\(02\)00443-X](https://doi.org/10.1016/S1169-8330(02)00443-X)
- Davis, C. B., Shuler, K. A., Danforth, M. E., & Herndon, K. E. (2013). Patterns of interobserver error in the scoring of enthesal changes.

- International Journal of Osteoarchaeology*, 23, 147–151. <https://doi.org/10.1002/oa.2277>
- Dutour, O. (1986). Enthesopathies (lesions of muscular insertions) as indicators of the activities of Neolithic Saharan populations. *American Journal of Physical Anthropology*, 71, 221–224. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330710209>
- Dutour, O. (1992). Activités physiques et squelette humain: le difficile passage de l'actuel au fossile. *Bulletins et Mémoires de la Société d'anthropologie de Paris*, 4, 233–241. <https://doi.org/10.3406/bmsap.1992.2319>
- Guadelli, J.-L. (1998). Détermination de l'âge des chevaux fossiles et établissement des classes d'âge. *Paléo*, 10, 87–93. <https://doi.org/10.3406/pal.1998.1130>
- Hawkey, D. E., & Merbs, C. F. (1995). Activity-induced musculoskeletal stress markers (MSM) and subsistence strategy changes among ancient Hudson Bay Eskimos. *International Journal of Osteoarchaeology*, 5, 324–338. <https://doi.org/10.1002/oa.1390050403>
- Henderson, C. Y. (2013). Do diseases cause enthesal changes at fibrous entheses? *International Journal of Paleopathology*, 3, 64–69. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2013.03.007>
- Henderson, C. Y., Mariotti, V., Pany-Kucera, D., Villotte, S., & Wilczak, C. (2013). Recording specific enthesal changes of fibrocartilaginous entheses: Initial tests using the Coimbra method. *International Journal of Osteoarchaeology*, 23, 152–162. <https://doi.org/10.1002/oa.2287>
- Henderson, C. Y., Mariotti, V., Pany-Kucera, D., Villotte, S., & Wilczak, C. (2016). The new 'Coimbra method': A biologically appropriate method for recording specific features of fibrocartilaginous enthesal changes. *International Journal of Osteoarchaeology*, 26, 925–932. <https://doi.org/10.1002/oa.2477>
- Janeczek, M., Chrószcz, A., Onar, V., Henklewski, R., Piekalski, J., Duma, P., ... Calkosiński, I. (2014). Anatomical and biomechanical aspects of the horse spine: The interpretation of vertebral fusion in a medieval horse from Wrocław (Poland). *International Journal of Osteoarchaeology*, 24, 623–633. <https://doi.org/10.1002/oa.2248>
- Jurmain, R., Cardoso, F. A., Henderson, C., & Villotte, S. (2012). Bioarchaeology's Holy Grail: The reconstruction of activity. In R. Jurmain, F. A. Cardoso, C. Y. Henderson, & S. Villotte (Eds.), *A Companion to Paleopathology* (pp. 531–552). New York: Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781444345940.ch29>
- Jurmain, R., & Villotte, S. (2010). *Terminology. Entheses in medical literature and physical anthropology: A brief review*. CIAS—Centro de Investigação em Antropologia e Saúde: University of Coimbra. Available from: http://www.uc.pt/en/cia/msm/MSM_terminology3
- Kennedy, K. (1989). Skeletal markers of occupational stress. In M. Iscan, & K. Kennedy (Eds.), *Reconstruction of life from the skeleton* (pp. 129–160). New-York: Alan R. Liss.
- Knüsel, C. J. (2000). Bone adaptation and its relationship to physical activity in the past. In M. Cox, & S. Mays (Eds.), *Human osteology in archaeology and forensic science* (pp. 381–402). London: Greenwich Medical Media.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33, 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>
- Levine, M. A. (2005). Domestication and early history of the horse. In D. S. Mills, & S. M. McDonnell (Eds.), *The domestic horse: The origins, development and management of its behaviour* (pp. 5–23). Cambridge: Cambridge University Press.
- Lignereux, Y., & Bouet, C. (2015). Spinal hyperostosis and ankylosis in a Gallo-Roman horse from Iwuy 'Val-de-Calvigny' (Nord, France): 'Ankylosing spondylarthritis' (*spondylarthritis ankylopoetica*), 'deforming spondylarthritis' (*spondylarthritis deformans*) or 'DISH' (*hyperostosis vertebralis ankylopoetica*)? An archeozoological and comparative nosological review. *International Journal of Paleopathology*, 9, 38–51. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2014.12.002>
- Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics*, 18, 50–60. <https://doi.org/10.1214/aoms/1177730491>
- Mariotti, V., Facchini, F., & Belcastro, M. G. (2007). The study of entheses: Proposal of a standardised scoring method for twenty-three entheses of the postcranial skeleton. *Collegium Anthropologicum*, 31, 291–313.
- Mariotti, V., Facchini, F., & Giovanna, B. M. (2004). Enthesopathies—Proposal of a standardized scoring method and applications. *Collegium Anthropologicum*, 28, 145–159.
- Müller-Wille, M., & Vierck, H. (1972). Pferdegrab und Pferdeopfer im frühen Mittelalter mit einem Beitrag von H Vierck: Pferdegräber im angelsächsischen. *Bericht van de Rijksdienst Oudheidkundig Bodemonderzoek (Amersfoort)* 20-21, 20-21, 119–248.
- Niinimäki, S. (2012). The relationship between musculoskeletal stress markers and biomechanical properties of the humeral diaphysis. *American Journal of Physical Anthropology*, 147, 618–628. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22023>
- Niinimäki, S., & Baiges, S. L. (2013). The relationship between intensity of physical activity and enthesal changes on the lower limb. *International Journal of Osteoarchaeology*, 23, 221–228. <https://doi.org/10.1002/oa.2295>
- Niinimäki, S., & Salmi, A.-K. (2016). Enteseal changes in free-ranging versus zoo reindeer—Observing activity status of reindeer. *International Journal of Osteoarchaeology*, 26, 314–323. <https://doi.org/10.1002/oa.2423>
- Oikawa, M., & Narama, I. (1998). Enthesopathy of the radial tuberosity in two thoroughbred racehorses. *Journal of Comparative Pathology*, 118, 135–143. [https://doi.org/10.1016/S0021-9975\(98\)80005-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9975(98)80005-4)
- Outram, A. K., Stear, N. A., Bendrey, R., Olsen, S., Kasparov, A., Zaibert, V., ... Evershed, R. P. (2009). The earliest horse harnessing and milking. *Science*, 323, 1332–1335. <https://doi.org/10.1126/science.1168594>
- Rabey, K. N., Green, D. J., Taylor, A. B., Begun, D. R., Richmond, B. G., & McFarlin, S. C. (2015). Locomotor activity influences muscle architecture and bone growth but not muscle attachment site morphology. *Journal of Human Evolution*, 78, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2014.10.010>
- Robb, J. E. (1998). The interpretation of skeletal muscle sites: A statistical approach. *International Journal of Osteoarchaeology*, 8, 363–377. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1212\(199809\)8:5<363::AID-OA438>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1212(199809)8:5<363::AID-OA438>3.0.CO;2-K)
- Salmi, A.-K., & Niinimäki, S. (2016). Enteseal changes and pathological lesions in draught reindeer skeletons—Four case studies from present-day Siberia. *International Journal of Paleopathology*, 14, 91–99. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2016.05.012>
- Santos F. 2018. KappaGU: An R-Shiny application for calculating Cohen's and Fleiss' kappa. Unpublished document
- Schlecht, S. H. (2012). Understanding entheses: Bridging the gap between clinical and anthropological perspectives. *The Anatomical Record*, 295, 1239–1251. <https://doi.org/10.1002/ar.22516>
- Shackelford, L., Marshall, F., & Peters, J. (2013). Identifying donkey domestication through changes in cross-sectional geometry of long bones. *Journal of Archaeological Science*, 40, 4170–4179. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.06.006>
- Taylor, W. T. T., Bayarsaikhan, J., & Tuvshinjargal, T. (2015). Equine cranial morphology and the identification of riding and chariotry in late Bronze Age Mongolia. *Antiquity*, 89, 854–871. <https://doi.org/10.15184/aqy.2015.76>

- Thomas, A. (2014). Bioarchaeology of the Middle Neolithic: Evidence for archery among early European farmers. *American Journal of Physical Anthropology*, 154, 279–290. <https://doi.org/10.1002/ajpa.22504>
- Villot, S. (2006). Connaissances médicales actuelles, cotation des enthésopathies: nouvelle méthode. *Bulletins et mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 18, 65–85.
- Villot, S. (2008). *Enthésopathies et activités des hommes préhistoriques: recherche méthodologique et application aux fossiles européens du Paléolithique supérieur et du Mésolithique*, Unpublished doctoral thesis. Bordeaux: Université de Bordeaux 1.
- Villot, S., Assis, S., Cardoso, F. A., Henderson, C. Y., Mariotti, V., Milella, M., ... Jurmain, R. (2016). In search of consensus: Terminology for enthesal changes (EC). *International Journal of Paleopathology*, 13, 49–55. <https://doi.org/10.1016/j.ijpp.2016.01.003>
- Villot, S., Castex, D., Couallier, V., Dutour, O., Knüsel, C. J., & Henry-Gambier, D. (2010). Enthesopathies as occupational stress markers: Evidence from the upper limb. *American Journal of Physical Anthropology*, 142, 224–234. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21217>
- Villot, S., & Knüsel, C. J. (2013). Understanding enthesal changes: Definition and life course changes. *International Journal of Osteoarchaeology*, 23, 135–146. <https://doi.org/10.1002/oa.2289>
- Villot, S., & Knüsel, C. J. (2014). "I sing of arms and of a man ...": Medial epicondylitis and the sexual division of labour in prehistoric Europe. *Journal of Archaeological Science*, 43, 168–174. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2013.12.009>
- Villot, S., & Perreard, L. G. (2012). Apprentissage et reproductibilité d'une méthode de cotation de l'aspect osseux des enthéses fibrocartilagineuses: résultats d'un test effectué lors du Workshop de la Société Suisse d'Anthropologie (Genève, 25 et 26 Juin 2010). *Bulletin der Schweizerischen Gesellschaft für Anthropologie*, 18, 5–25.
- Weiss, E. (2003). Understanding muscle markers: Aggregation and construct validity. *American Journal of Physical Anthropology*, 121, 230–240. <https://doi.org/10.1002/ajpa.10226>
- Weiss, E. (2012). Examining activity patterns and biological confounding factors: Differences between fibrocartilaginous and fibrous musculo-skeletal stress markers. *International Journal of Osteoarchaeology*, 25, 70–80. <https://doi.org/10.1002/oa.2290>
- Weiss, E. (2015). The surface of bones: Methods of recording enthesal changes. *Surface Topography: Metrology and Properties*, 3, 034003. <https://doi.org/10.1088/2051-672X/3/3/034003>
- Wilczak, C. A. (1998). Consideration of sexual dimorphism, age, and asymmetry in quantitative measurements of muscle insertion sites. *International Journal of Osteoarchaeology*, 8, 311–325. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1212\(199809\)8:5<311::AID-OA443>3.0.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1212(199809)8:5<311::AID-OA443>3.0.CO;2-E)
- Zumwalt, A. (2005). A new method for quantifying the complexity of muscle attachment sites. *The Anatomical Record Part B: The New Anatomist*, 286B, 21–28. <https://doi.org/10.1002/ar.b.20075>
- Zumwalt, A. (2006). The effect of endurance exercise on the morphology of muscle attachment sites. *Journal of Experimental Biology*, 209, 444–454. <https://doi.org/10.1242/jeb.02028>

SUPPORTING INFORMATION

Additional supporting information may be found online in the Supporting Information section at the end of the article.

How to cite this article: Bindé M, Cochard D, Knüsel CJ. Exploring life patterns using enthesal changes in equids: Application of a new method on unworked specimens. *Int J Osteoarchaeol*. 2019;1–14. <https://doi.org/10.1002/oa.2809>

Annexe 3 : Création de la méthode de cotation - Liste des spécimens observés.

Collection	N°	Espèce	Race	Âge	Sexe
IRSNB	3975	<i>E. caballus</i>	Arabe	19 +	M
	12970	<i>E. asinus</i>		30 a.	F
	13071	<i>E. caballus</i>	Camargue	9-10 a.	F
	13075	<i>E. asinus</i>		18 +	M
	13076	<i>E. asinus</i>		18 +	F
	13097	<i>E. caballus</i>	Shetland	7-9 a.	F
	13156	<i>E. asinus x E. caballus</i>		18 a.	M
	16935	<i>E. caballus przewalskii x E. caballus</i>		10 a.	M
	16958	<i>E. caballus</i>	Pottok	10 a.	F
	17353	<i>E. caballus przewalskii</i>		5 +	M
	32166	<i>E. greyvi</i>		20 +	F
	14281	<i>E. caballus przewalskii</i>		2,5 a.	M
	14207	<i>E. caballus przewalskii</i>		3,5-4 a.	M
	14209	<i>E. caballus</i>	Basque	4,5-5 a.	F
	33386	<i>E. burchelli granti</i>		4,5-5 a.	F
1218	<i>E. burchelli böhmi</i>		4,5-5 a.	F	
IfP	1	<i>E. caballus przewalskii</i>		2,5 a.	M
	2	<i>E. caballus przewalskii</i>		1 a.	M
	3	<i>E. caballus przewalskii</i>		1 a.	M
	6	<i>E. caballus przewalskii</i>		2 a.	F
	8	<i>E. caballus przewalskii</i>		20 m.	M
	14	<i>E. caballus przewalskii</i>		3,5-4 a.	M

Collection	N°	Espèce	Race	Âge	Sexe
MHN	825.1-2102.11	<i>E. caballus</i>	Shetland	18-20 a.	F
	825.1-2102.7	<i>E. caballus</i>	Tarpan	19-20 a.	M
	825.1-2102.8	<i>E. caballus</i>	Shetland	26 a.	F
	825.1-2106.2	<i>E. asinus x E. caballus</i>		11 a.	F
	825.1-2106.1	<i>E. asinus x E. caballus</i>		8-9 a.	F
	825.1-2102.10	<i>E. caballus</i>	Poney	16-17 a.	M
	825.1-2104.4	<i>E. asinus</i>		6,5-7 a.	F
	825.1-2104.22	<i>E. asinus</i>	Âne de Provence	10-12,5 a.	M
	825.1-2104.43	<i>E. asinus</i>	Âne de Provence	22-24 a.	F
	825.1-2102.9	<i>E. caballus</i>	Dongola	12-13 a.	M
	825.1-2102.17	<i>E. caballus</i>	Poney	28 a.	F
	825.1-2104.14	<i>E. asinus</i>		20 +	F
	255.51	<i>E. caballus</i>	Anglais	20 +	M
	825.1-2102.13	<i>E. caballus</i>	Shetland.	50 j.	M
	825.1-2102.15	<i>E. caballus</i>		2-3 a.	M
	825.1-2104.23	<i>E. asinus</i>	Poitou x Berry	20-26 m.	M
	825.1-2102.24	<i>E. caballus przewalskii</i>		3,5 a.	F

Les squelettes sont issus des collections de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique (Bruxelles, IRSNB), de l'*Institut für Paläoanatomie* (Munich, IfP) et du Muséum d'Histoire Naturelle de Genève (MHN).

Les âges sont indiqués en jours (j.), mois (m.) et années (a.). L'échantillon comporte des mâles (M) et des femelles (F).

Annexe 4 : Fonction(s) des muscles et ligaments associés aux enthèses retenues

ENTHÈSES FIBROCARILAGINEUSES

Muscles

Muscle *biceps brachii* (SBB, RBB)

Origine : scapula, tubercule supraglénoidal.

Terminaison : tubérosité du radius.

Fonctions :

- Extension de l'épaule ;
- Flexion du coude ;
- Stabilisation du carpe via le *lacertus fibrosus*.

Muscle *subscapularis* (HSC)

Origine : scapula, fosse sous-scapulaire.

Terminaison : humérus, crête du tubercule mineur.

Fonctions :

- Principalement adduction du bras (peut concourir à le faire pivoter en dedans) ;
- Extension de l'épaule (Budras et al., 2003) ;
- Maintien de l'articulation scapulo-humérale et opposition aux déplacements transversaux de la tête humérale.

Muscle *infraspinatus* (HIE, HIEc)

Origines : scapula, fosse infra-épineuse et épine ainsi que cartilage scapulaires.

Terminaisons : humérus, crête (HIE) et convexité du tubercule majeur (HIEc).

Fonctions :

- Surtout abducteur du bras en concourant à sa rotation en-dehors et dans une moindre mesure à sa flexion ;
- Consolidation de l'articulation scapulo-humérale et limitation des déplacements transversaux de la tête de l'humérus.

Muscle *extensor digitorum lateralis* (HCL)

Origines : sur le ligament collatéral latéral du coude et tubérosité adjacente du radius.

Terminaison : face dorsale de la phalange proximale.

Fonctions :

- Extension du doigt ;
- Contribue à l'extension de la main dans son ensemble.

Muscle *ulnaris lateralis* (HUL)

Origine : humérus, sommet de l'épicondyle latéral.

Terminaisons :

- Tendon court : bord proximal de l'os pisiforme ;
- Tendon long : extrémité proximale du métacarpien IV.

Fonctions :

- Flexion du carpe et de la main ;
- Limite passivement l'extension du carpe et du métacarpien lors de l'appui du membre au sol.

Muscle *flexor digitorum profundus* (HFD)

Origines :

- Chef huméral : humérus, épicondyle médial ;
- Chef ulnaire : ulna, face médiale de l'olécrâne ;
- Chef radial : radius, partie moyenne de la face palmaire.

Terminaison : phalange distale, face palmaire (*linea semilunaris* ou ligne semi-lunaire).

Fonctions :

- Flexion successive des phalanges les unes sur les autres, du doigt sur le métacarpien et de la main sur l'avant-bras ;
- Pendant l'appui du membre, redressement du rayon digital et contribution à la propulsion ;
- Soutènement de la région du boulet et du rayon digital avec le concours du tendon du *M. flexor digitorum superficialis* et des muscles interosseux de la main (renforcé par la bride carpienne).

Muscle *flexor digitorum superficialis* (HFD)

Origine : humérus, épicondyle médial.

Terminaisons :

- Scutum moyen et phalange proximale (revers palmaire de l'extrémité distale) ;
- Phalange intermédiaire, revers palmaire de l'extrémité proximale.

Fonctions :

- Flexion de la phalange intermédiaire sur la phalange proximale ;
- Participe à la flexion du doigt sur le métacarpien et de la main sur l'avant-bras ;
- Avec le tendon du *M. flexor digitorum superficialis* et des muscles interosseux de la main, concourt au soutènement de l'articulation métacarpo-phalangienne lorsque le membre est à l'appui (rôle important).

Muscle *triceps brachii* (UTB)

Chez le cheval, le *M. triceps brachii* comporte trois chefs (long, latéral, médial).

Origines :

- Chef long : bord caudal de la scapula sur lequel il s'étend du voisinage de la cavité glénoïdale jusqu'à l'angle caudal de l'os ;
- Chef latéral : ligne tricipitale de l'humérus, s'étend du revers caudal du col à la tubérosité deltoïdienne
- Chef médial : corps de l'humérus, s'étend sur la face médiale (un peu au-dessus du tubercule du *M. teres major*) et la partie adjacente de la face caudale.

Terminaisons :

- Chef long : ulna, partie caudale de la tubérosité de l'olécrâne et peut déborder sur ses faces latérale et médiale ;
- Chef latéral : déborde le tendon du chef long et couvre en partie la face latérale de la tubérosité de l'olécrâne ;
- Chef médial : sur le tendon du chef long et sur la partie adjacente de la face médiale de la tubérosité de l'olécrâne par quelques faisceaux.

Fonctions :

- Chef long : principalement extenseur de l'avant-bras avec l'aide des autres chefs.

L'olécrâne représente un bras de levier favorable à cette extension. Lors de la phase de soutien, le triceps permet l'ouverture de l'angle du coude en mettant en jeu un levier du premier genre.

Pendant l'appui, il agit avec le même résultat mais par un levier du second genre.

Pendant la station, il assure l'extension de l'avant-bras en complétant l'action des muscles pectoraux et *biceps brachii* pour le maintien de l'ouverture de l'angle scapulo-huméral.

- Chef latéral : accessoire du chef long ;
- Chef médial : accessoire des chefs long et latéral.

Muscle *gluteus profundus* (CFEP, FFEP)

Origine : os ilium, face latérale du col et de l'épine sciatique ainsi que les empreintes d'insertions surmontant l'acétabulum (CFEP).

Terminaison : fémur, face médiale de la convexité du grand trochanter (FFEP).

Fonctions :

- Abducteur de la cuisse ;
- Accessoirement rotateur en dedans de la cuisse ;
- Participe à l'extension de ce rayon et complète l'action des autres muscles fessiers (moyen, accessoire et superficiel).

Muscle *gluteus accessorius* (FFA)

Ce muscle est uni au M. gluteus medius.

Origine : partie de l'aile de l'os ilium située ventralement à la ligne glutéale.

Terminaison : fémur, crête du trochanter.

Fonctions :

- Abducteur et rotateur en dedans du rayon fémoral ;
- Auxiliaire du *M. gluteus medius* dans l'extension du membre pelvien.

Muscle *iliacus* (FIP)

Origine : recouvre en grande partie la face pelvienne de l'os ilium (fosse iliaque) jusqu'au bord de la crête iliaque et à proximité de la ligne arquée ; elle atteint de même l'angle de la hanche.

Terminaison (commune avec celle du *M. psoas major*) : fémur, petit trochanter.

Fonctions :

- Auxiliaire du *M. psoas major* lorsque ce dernier agit sur la cuisse : ils sont fléchisseurs de ce rayon et en assurent la rotation latérale ;
- Lorsque son point fixe est au fémur, le *M. iliacus* intervient puissamment dans la flexion du bassin sur le fémur.

Muscle *psaos major* (FIP)

Origines:

- Corps des deux dernières vertèbres thoraciques ;
- Face ventrale des deux dernières côtes ;
- Face ventrale du corps des vertèbres lombaires (sauf la dernière) et de leurs processus transverses.

Terminaison (commune avec celle du *M. iliacus*) : fémur, petit trochanter.

Fonctions :

- Lorsque le point fixe est au niveau de la région lombaire :
 - o Fléchisseur de la cuisse sur le bassin ;
 - o Rotateur en-dehors du fémur, son action est particulièrement efficace lorsque la cuisse est en demi-flexion.
- Lorsque le point fixe se situe sur le fémur, fléchisseur de la région lombaire.

Muscle *gastrocnemius* (branche médiale, FGC)

Le muscle gastrocnemius est composé de deux chefs : un latéral et un médial.

Origines : sur le fémur :

- Chef latéral : tubérosité supracondyloire latérale ;
- Chef médial : tubérosité supracondyloire médiale.

Terminaison : sur le *tuber calcanei*, via le tendon calcanéen.

Fonctions :

- Extenseur principal du pied ;
- Soutien de l'angle tibio-tarsien (fonction particulièrement importante chez les Ongulés, favorisée par la hauteur du levier calcanéen) ;
- Lorsque le pied est en extension, ce muscle peut concourir à la flexion de la jambe sur la cuisse (fonction accessoire).

Ligaments

Ligament collatéral latéral du coude (HCL)

Origine : extrémité distale de l'humérus, sur le petit tubercule terminant la crête épicondyloire et dans la cavité d'insertion sous-jacente.

Terminaison : tête du radius, sur un fort relief latéral.

Le coude est spécialisé dans les mouvements opposés de flexion et d'extension (ginglyme). Chez les équidés, il s'agit d'une véritable articulation à ressort. La flexion et l'extension s'effectuent sous une forte tension des ligaments collatéraux qui croît jusqu'à un point d'équilibre au-delà duquel elles s'achèvent automatiquement.

Ligament patellaire latéral (TPL)

Origine : patella, sur le fibrocartilage parapatellaire latéral et sur le bord correspondant de l'os.

Terminaison : tibia, sommet de la tubérosité tibiale.

Le ligament patellaire latéral reçoit l'insertion du tendon terminal du muscle glutéofémoral (partie crâniale du muscle glutéobiceps).

Ligament collatéral de l'articulation inter-phalangienne proximale (P₁CL)

Origine : extrémité distale de la phalange proximale (empreinte d'insertion).

Terminaison : sur le bord correspondant de la partie proximale de la phalange intermédiaire.

L'articulation inter-phalangienne proximale (ou couronne) permet principalement les mouvements de flexion et d'extension.

Chez les équidés, les mouvements latéraux et de pivotement sont accessoires et de faible amplitude. Ils jouent tout de même un rôle fonctionnel important notamment lors de l'appui du membre au sol.

Ligament collatéral de l'articulation inter-phalangienne distale (P₂CL, P₃CL)

Origine : extrémité distale de la phalange intermédiaire (empreinte d'insertion).

Terminaison : crête unguiculaire de la phalange distale (empreinte d'insertion).

La flexion et l'extension sont les principaux mouvements réalisés par l'articulation inter-phalangienne distale.

De faibles mouvements latéraux et de pivotements sont possibles. Chez les équidés, ces derniers ont une réelle importance fonctionnelle car ils permettent l'appui normal du sabot quelles que soient les irrégularités du sol.

ENTHÈSES FIBREUSES

Muscles

Muscle *deltoideus* (HDE)

Origine : sur l'épine de la scapula, son bord dorsal, la face latérale du son cartilage ainsi que l'angle caudal de l'os.

Terminaison : tubérosité deltoïdienne.

Fonctions :

- Principal abducteur du bras ;
- Mouvement de rotation en-dehors du bras (mais l'amplitude est faible chez les Ongulés car le membre est fortement plaqué contre le thorax) ;
- Fléchisseur du bras lorsqu'action combinée avec l'action du *M. teres major*.

Muscle *teres major* (HRD)

Origine : scapula, angle caudal et partie adjacente du bord caudal.

Terminaison (commune avec celle du *M. latissimus dorsi*) : face médiale de l'humérus, sur la tubérosité du grand rond (*Tuberositas teres major*).

Fonctions :

- Adducteur du bras auquel il imprime une rotation en dedans (ce muscle est donc auxiliaire des muscles *latissimus dorsi* et *subscapularis*) ;
- Fléchisseur direct de l'humérus sur la scapula avec l'action combinée du *M. deltoideus*.

Muscle *latissimus dorsi* (HRD)

Origines : via son aponévrose :

- Sur le ligament supra-épineux thoraco-lombaire et sur le sommet des processus épineux des vertèbres thoraciques (sauf les premières) et des vertèbres lombaires ;
- Sur l'angle de la hanche et à la crête sacrale médiane (par l'intermédiaire du fascia glutéal) ;
- Sur la face latérale des premières côtes asternales par quelques faisceaux charnus.

Terminaison (commune avec celle du *M. teres major*) : face médiale de l'humérus, sur la tubérosité du grand rond (*Tuberositas teres major*).

Fonctions :

- Lorsque le point fixe se situe sur la colonne vertébrale, ce muscle tire le bras en direction caudale :
 - o Auxiliaire du *M. pectoralis ascendens* ;
 - o Antagoniste du *M. bacciocephalicus*.
- Lorsque le point fixe se situe sur l'humérus, il tire le tronc en position crâniale et participe à sa propulsion ;
- Participation possible aux mouvements inspiratoires en agissant sur les côtes ;
- Sa vaste aponévrose affermit la contraction des muscles spinaux.

Muscle *flexor digitorum superficialis* (ou « planto-perforé », FFS)

Origine : fémur, dans la fosse supracondyloire.

Terminaisons :

- Scutum moyen et phalange proximale (revers plantaire de l'extrémité distale) ;
- Phalange intermédiaire, revers plantaire de l'extrémité proximale ;
- Insertion de passage au niveau de la calotte calcanéenne sur les faces latérale et médiale du *tuber calcanei*.

Fonctions :

- Maintien des angles articulaires du tarse et de la région métatarso-phalangienne (action en partie passive mais efficace) ;
- Flexion de la phalange intermédiaire sur la phalange proximale et du doigt sur le métatarsien ;
- Participe l'extension du tarse et donc de l'ensemble du pied sur la jambe.

Ligaments

Ligament sésamoïdien distal oblique (P₁SD)

Origine : extrémité distale des os sésamoïdes.

Terminaison : face palmaire/plantaire de la phalange proximale.

La flexion et l'extension sont les principaux mouvements réalisés par l'articulation métacarpo-/métatarso-phalangienne.

Chez les ongulés, les mouvements latéraux sont réduits. L'adduction et l'abduction sont mieux perceptibles.

Ligament palmaire/plantaire de l'articulation inter-phalangienne proximale (P₁PM)

Origine : un des bords, médial ou latéral, et extrémité distale de la phalange proximale.

Terminaison : scutum moyen.

Fonctions : sa partie moyenne produit le scutum moyen. Ses extrémités participent au soutènement du scutum moyen et complètent l'action du tendon du muscle fléchisseur superficiel du doigt.

L'articulation inter-phalangienne proximale (ou couronne) permet principalement les mouvements principaux de flexion et d'extension.

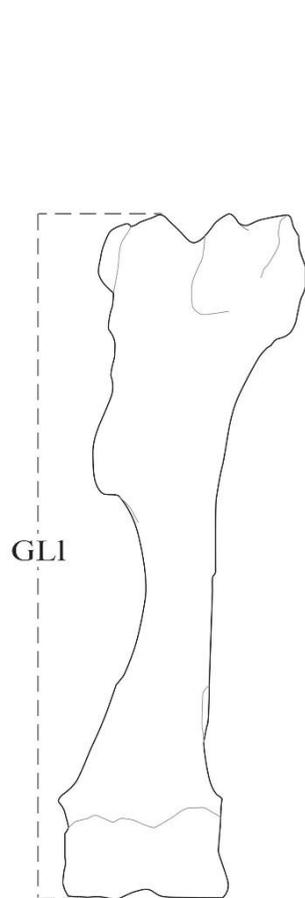
Chez les équidés, les mouvements latéraux et de pivotement sont accessoires et de faible amplitude. Ils jouent tout de même un rôle fonctionnel important notamment lors de l'appui du membre au sol.

Annexe 5 : Tests inter- et intra-observateurs - Liste des spécimens observés.

Test	Collection	N°	Espèce	Race	Âge	Sexe
Inter-observateur	IRSNB	13075	<i>E. asinus</i>		18 +	M
		13076	<i>E. asinus</i>		18 +	F
		12970	<i>E. asinus</i>		30 a.	F
		13156	<i>E. asinus x E. caballus</i>		18 +	M
		16958	<i>E. caballus</i>	Pottok	10 a.	F
		13097	<i>E. caballus</i>	Shetland	7-9 a.	F
		13071	<i>E. caballus</i>	Camargue	9-10 a.	F
		3975	<i>E. caballus</i>	Arabe	19 +	M
		17353	<i>E. caballus przewalskii</i>		Adulte	M
		16935	<i>E. caballus przewalskii x E. caballus</i>		10 a.	M
32166	<i>E. grenyi</i>		20 +	F		
Intra-observateur	MfN	A3314	<i>E. caballus</i>	« Arab-Gallizier »	16-17 a.	F
		1263	<i>E. caballus</i>	Exmoor	Adulte	F
		1200	<i>E. caballus</i>	Trotteur hollandais	19-20 a.	F
		3351	<i>E. caballus</i>		20 +	F
		ZMB_Mam_60363	<i>E. caballus przewalskii</i>		18 a.	M
		ZMB_Mam_53127	<i>E. quagga boehmi</i>		13 a.	M
		15963	<i>E. quagga burchelli</i>		Adulte	F
		ZMB_Mam_55246	<i>E. zebra hartmannae</i>		10 a.	F
51820	<i>E. zebra hartmannae</i>		11-12 a.	M		

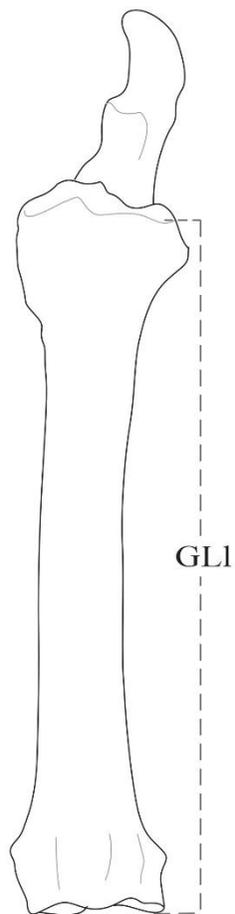
Les squelettes sont issus des collections de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique (Bruxelles, IRSNB) et du *Museum für Naturkunde* (Berlin, MfN). Les âges sont indiqués en années (a.).

Annexe 6 : Protocole de mesures (d'après Driesch von den, 1976).



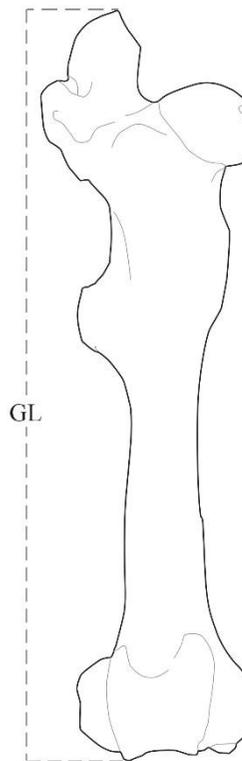
Humérus

GLI : grande longueur externe



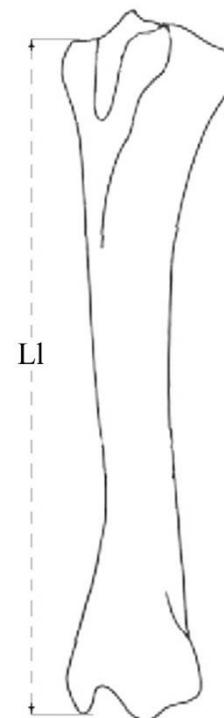
Radio-ulna

GLI : grande longueur externe



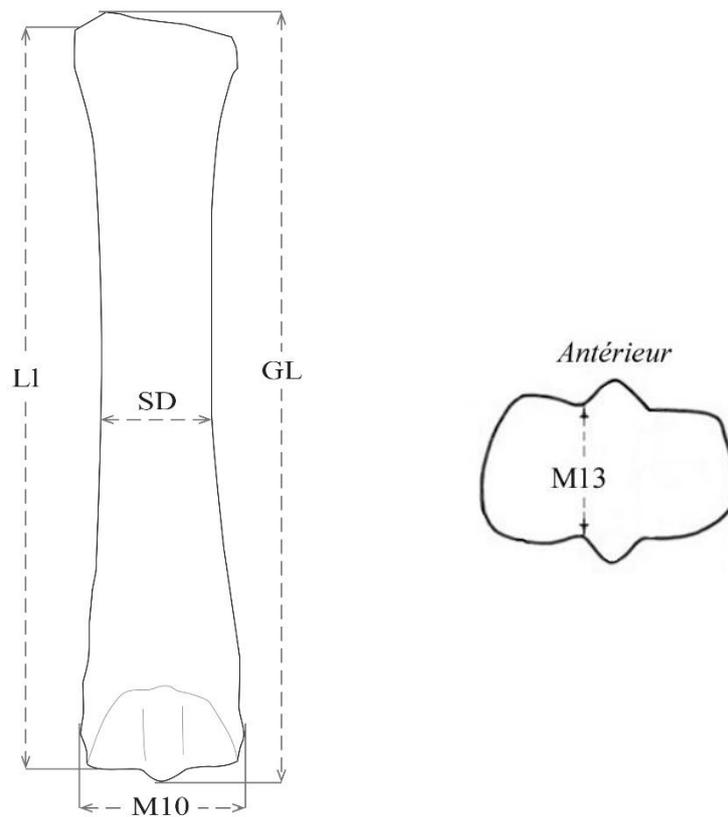
Fémur

GL : longueur maximale



Radio-ulna

LI : longueur externe



Métacarpien/Métatarsien III

LI : longueur externe

M10 : largeur sus-articulaire

M13 : épaisseur minimale du condyle interne

GL : longueur maximale (*)

SD : diamètre transversal de la diaphyse (*)

** Uniquement pour l'estimation de la robustesse des chevaux de Tournai (chapitres VII et VIII)*

Annexe 7 : Référentiels - Ostéométrie pour l'estimation de la hauteur au garrot (*en mm*).

Spécimens composant le corpus de référence (n = 61)

Catégorie « Sans activité » (1/2)

Collection	N°	Humérus (GLI)		Radio-Ulna (LI)		Métacarpien III (GLI)		Fémur (GL)		Tibia (LI)		Métatarsien III (GLI)	
		Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit
<i>IfP</i>	11	260	258,5	289,9	290,5	204,3	203,2	358	358	293	290,6	248	250
	18	268	266	301	302	211	210	356	357	298	296	253	253
	19	261	262	297	296	213	212	361	361	298	298	257	257
	7					209,2	208,5	368		298,4		253	252
	8					205,1	206,8					248	247
	13	264,4	264,1	301,6	301,5	215,5	216	358	358,5	298,3	300	260,2	259,2
	15	258,5	259	301,2	299,9	217	216,7	360	359	292,3	293	262,1	261,2
	16	259,6	257,8	293,4	291,5	208,5	209	361	363	296,1	295,4	254,1	253,2
	5	276,1	275,8		305,2		202,2	378	378		312,1		249,6
<i>MfN</i>	60363	258,16	257,89	288,23	288,88	199,17	198,96	358	359	301,23	301,18	243,89	244,77
	51820	254,02	254,48	287,9	288,31	192,24	191,21	370	368	297,7	298,21	218,06	217,84
	15963	243,37	243,48	275,85	274,88	190,83	191,66	347	348	277,56	277,94	222,8	222,72
	53127	257,8	257,24	278,75	279,15	210,1	210,02	374,5	375	296,66	296,56	235,45	236,12
<i>MfH</i>	E wld 1	257,19	258,17	300,33	301,92	211,87	211,84	361,4	362	299,5	299,66		256,46
	E wld 2	245			281	205,3	206,8	341,6	341,8		277	244,3	245,4
	E wld 4	254,8	253,2	293,8	293,9	212,6	211,7	361	360,6	302	302	256,4	255
	E wld 5	278	279	301,4	300,3	207,4	207,7	381,3	381,7	308,6	307,6	252,6	253
	E wld 6	254,3	256,3	287	287	203,5	203,1	355	356	287	286	247,8	248,6
	E wld 7	276	276,6	308,5	307,7	203,9	205	373	374	309,6	309,6	250	251,3

Catégorie « Sans activité » (2/2)

Collection	N°	Humérus (GLI)		Radio-Ulna (LI)		Métacarpien III (GLI)		Fémur (GL)		Tibia (LI)		Métatarsien III (GLI)	
		Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit
MNHN	1977-55	269	269,5	301	301	206	206,5	374	375	310	309	253,5	
	1962-228	278,5	278	304	303	214	214	376	375	300,5	300	254	253,5
	1932-46	243,5	244	283	283	208	208	346	344	285,5	285	250	251
	1980-29	267,5	267,5	300	299,5	208,5	208	366	365	300	300	252	252
	1929-37	247	248,5	288,5	287	209	209,5	352,5	350	282	281	248	248
	1973-109	254	254,5	289,5	289	189	189	345,5	344	283	284,5	228	228,5
	1975-125	259,5	259	298	297	207,5		359	359	299	298	254	253,5
	1975-98	268	269	301,5	302,5	185	185	373	373,5	309	308	233,5	234
	2012-63	289	288,5	323	324	202	202	384,5	384,5	325	324	241,5	242,5
	1932-64	265,5	266	296	296	204	203,5	370,5	372	305	306	233	
	1973-109	253	253	286	285,5	188	188	343,5	343	283	284	227,5	227,5
	1933-562	282	282	310,5	311,5	203,5	203	401	400	326	325	233	233
1929-35	253	253,5	286	285	204		356,5	356	287,5	287		246	
NHM	31592	263,81	264,9	301,93	299,55	211,69	210,73	369,76	370,74	310,85	309,25	254,79	253,82
CRAVO		276,15	276,24	313,28	313,38	203,06	202,99	387,45	389,45	316,1	316,6	244,4	245,35
PACEA	M.505	284	281	309,5	309,5	225	224	380,5	381	313	312,5	271	272
	M.508	258	257	289	288	194,5	193	350	352	281	281	236,5	235,5

Catégorie « Activités » (1/2)

Collection	N°	Humérus (GLI)		Radio-Ulna (LI)		Métacarpien III (GLI)		Fémur (GL)		Tibia (LI)		Métatarsien III (GLI)	
		Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit
<i>MfN</i>	1200	334	326	353,5	356	246,96	246,44	457	458	361,5		291,98	
	A3314	313,01	311,1	345	346	237,07	238,15	426	425	354,5	355,5	282,57	
<i>MfH</i>	E blg 6	341	340,5	367,5	368	249,8	247,32		472	380	380,5		295,65
	E arb 4	310	310,6		344,4	234,44	234,43	410	410		342,4		279,59
	E chr 1	217,4	217,7	252	251	180,4	180	295	295,1	257,9	257,4	220,3	220,5
	E arb 7	334,3	335	381,4		242,95	242,96	459	460,4		385,2		295,46
	E arb 2	337,7	340	361,6	363	245,6	245,4	465,3	464,4		369	288,2	288
	E mgl 2	282,4	283,2	313,3	315,3	213,5	213,4	381,5	384	309,2		257	258
	E blg 7	348,3	348,7			248,41	249,37		468,7	369	368,5	293,11	293,88
	E ml 1	280,4	279,4	298,4	299	209,8	208,7	382	381	309,4	310	249,2	249,4
	E mgl 3	271,6	271,5	294	294,5	207,5	207,3	365,8	366	302,8	302,4	252,4	252,5
	Ea pt 1	295,8	297,6	336,9	334,3	219,1	219,6	399,3	402,7	350	352	257,8	258,4
	Ehn mle 1	231,8	230	267,7	267,6	282,3	281	322,4	322	273	272,7	220	221
	E arb 6	354,2	352,2	382,2		269	268	481,5	480,4	390	392,5	317	318
	Ehn mle 2	238,1	237,9	266,4	264	180,6	180,3	336,6	335,6	283,2	283	220,5	220,4
	E pon 1	284,4	284,3	313	312,5	209	208	391,2	390	325,5	325	247,9	
	E pon 2	257,1		290,2		194,4	193,3		346,7	293	292,8	238,2	237,9
Eml mlt 1	267,9		299,7	298,8	204	203,8	379,3	379	305	305,2	250,7	250,4	
Eml mlt 3	344	346	361			256,4	466,2	467,9	376,5				

Catégorie « Activités » (2/2)

Collection	N°	Humérus (GLI)		Radio-Ulna (LI)		Métacarpien III (GLI)		Fémur (GL)		Tibia (LI)		Métatarsien III (GLI)	
		Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit
MNHN	1891-107	361	362	381	381,5	268,5	269,5	486	488	386	387	314	313
	1914-337	329,5	328	368	368	258,5	257	451	452	374	370,5	303	303
	1890-1178	336	338	353	354	251	251	460	458		367,5	290	291
<i>NHM</i>	1767	328,05		358,31		241,08		456,12		365,18		285,94	
ONIRIS	/												
	1A	351	349	372	370	252,28	253,45	474	475	366	365	295,07	295,36
	2	339	337,5	364	365	257,63	257,66	463	462	371,5	371	295,76	293,84
Saumur													

Spécimens étudiés mais non retenus pour les analyses (n = 26)

Catégorie « Non renseignée »

Collection	N°	Humérus (GLI)		Radio-Ulna (LI)		Métacarpien III (GLI)		Fémur (GL)		Tibia (LI)		Métatarsien III (GLI)	
		Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit
<i>IfP</i>	7	248	248,5	288		189,8	190	349	347	293	291	229,4	230
	13	326	324	362	362	254,3	256,5	447	448	370	369	297	299
			218	257	257	175		300	301,1	267	266	214,4	215
<i>MfN</i>	3351	253,8		287		189,2	189	353		282		229,4	230
MNHN	1900-108	264	263,5	300	298	191	190,5	363	363,5	296	297		237
	1911-145		266,5	299	299	195	194	357,5	355	303	304		

Catégorie « Sans activité »

Collection	N°	Humérus (GLI)		Radio-Ulna (LI)		Métacarpien III (GLI)		Fémur (GL)		Tibia (LI)		Métatarsien III (GLI)	
		Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit
<i>IfP</i>	9	204,3	205	223	224	151,6	152,5	288,3	289,1	230	229	189,4	190
<i>MfN</i>	60606	261,4	261,5	292	292	203	201,3	362	363	301	299	247,4	248
	105721			272	271	184,8	184,9						222
	55246	253	254		277	195,4	196,3	374	375,5	295	294		
	105722			269	267	196,7	195,6			272	274	226,3	228
MNHN	1935-486	250,5	251,5	284	281	206	207	351	349,5	279	280	247	248
	1975-124			286	285	202,5	203					247	247
	1982-128	297	296	330	330	207	207	392	393	344	344	241,5	243

Catégorie « Activités »

Collection	N°	Humérus (GLI)		Radio-Ulna (LI)		Métacarpien III (GLI)		Fémur (GL)		Tibia (LI)		Métatarsien III (GLI)	
		Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit	Gauche	Droit
<i>IfP</i>	1	202	197,5	211	210	147,7	148,2	286,2	286	215	214	180,4	181
	2	183,1	183,2	198	198	135	134	258	257	204	205	168,3	171
<i>MfN</i>	1263	230	230,9	265	265	174,9	175,1	328	327	261	260	212,8	213
<i>MfH</i>	E mgl 4	280	280,2	308	310	207,6	208,5	391	391,6		310		248
	E cldd 1	332		349		242	242,7		456	352		284	
MNHN	1927-235	315,5		362				434,5		365		303	
	1925-78	281	280					403	404	321			
	1997-07					265,5	266					314	315
	2005-717	348,5	347,5	368	368	265	266	477	478,5	378	378	310,5	
	A-543	313	312		349		242	425,5	426		355		287
<i>NHM</i>	A 538	334,5	335,9	342	343	248,2	249	453,8	454,4	361	361	290	289
	E 1058	297,4	296,9	342	340	235,8	235,8	421	421,9	353	355	280,4	281

Annexe 8 : Référentiels - Ostéométrie pour l'estimation de masse corporelle (en mm).

Spécimens composant le corpus de référence (n = 61).

Catégorie « Sans activité »

Collection	N°	MTC III gauche		MTC III droit		MTT III gauche		MTT III droit	
		MC10	MC13	MC10	MC13	MC10	MC13	MC10	MC13
<i>IfP</i>	11	45,05	26,35	45,06	26,31	43,85	25,16	45,56	25,94
	18	46,57	27,67	46,55	27,67	45,65	27,78	44,69	27,62
	19	43,63	27,47	43,61	27,55	42,1	26,9	42,29	26,96
	7	45,53	26,19	45,66	26,54	43,29	25,89	44,25	25,88
	8	43,59	25,88	43,62	26,64	42,76	25,72	43,2	25,76
	13	45,74	27,83	45,78	27,85	44,07	26,45	44,03	26,4
	15	43,44	27,08	43,46	27,13	42,94	25,97	42,81	25,94
	16	49,45	28,66	49,46	28,68	50,61	28,07	50,02	28,06
	5			45,75	27,37			45,8	25,74
<i>MfN</i>	60363	44,46	26,41	44,25	26,47	43,87	25,53	43,88	25,56
	51820	42,63	25,23	42,56	25,22	40,71	25,9	41,09	26,13
	15963	41,78	24,25	41,83	24,23	40,74	24,04	41,29	24,03
	53127	46,49	28,98	46,83	29,15	46,49	29	46,04	29,01
<i>MfH</i>	E wld 1								
	E wld 2	45,98	25,78	46,25	25,8	45,21	24,88	45,38	25,02
	E wld 4	45,62	27,07	45,66	27,13	46,68	26,21	46,66	26,14
	E wld 5	49,85	27,25	49,46		48,5		48,53	
	E wld 6	44,75	26,34	44,72	26,34	44,27	25,57	44,13	25,55
	E wld 7	46,61	26,93	46,62	26,89	47,07	27,69	47,09	27,45
<i>MNHN</i>	1977-55	46,47	26,92	46,9	27,19	45,92	26,11	46,54	26,65
	1962-228	46,82	29,18	46,78	29,33	45,81	28,34	45,78	28,39
	1932-46	44,74	25,49	44,54	25,49	44,05	25,02	44,08	25,28
	1980-29	45,49	27	45,3	27,05	45,37	25,66	45,27	25,66
	1929-37	43,65	26,4	43,84	26,68	42,62	25,3	42,71	25,49
	1973-109	43,91	24,89	44,12	24,92	42,75	24,39	42,89	24,75
	1975-125	46,13	26,26	46,1	26,11	45,32	25,61	45,28	25,57
	1975-98	45,48	26,99	46	27,51	46,87	27,66	46,94	27,69
	2012-63	43,99	27,33	44,33	27,19	43,09	27,35	43,5	27,19
	1932-64	43,45	26,88	43,43	26,81	42,37	26,88	42,38	26,9
	1973-109	43,87	24,87	44,3	24,94	43	24,4	43,06	24,68
	1933-562	44,44	27,38	44,34	27,12	42,9	26,33	43,69	26,25
1929-35		27,02					45,16	25,61	
<i>NHM</i>	31592	46,74	27,07	46,81	27,1	46,09	25,59	45,49	25,42
<i>CRAVO</i>		45,3	27,94	45,68	27,91	45,89	27,96	45,9	27,98
<i>PACEA</i>	M.505	48,26	29,74	48,09	29,58	46,96	28,44	46,41	28,02
	M.508	45,43	27,64	45,41	27,68	44,23	26,3	44,33	26,35

Catégorie « Activités »

Collection	N°	MTC III gauche		MTC III droit		MTT III gauche		MTT III droit	
		MC10	MC13	MC10	MC13	MC10	MC13	MC10	MC13
<i>MfN</i>	1200			55,03	34,67	56,69	35,08		
	A3314	51,06	28,14	51,22	28,22	52,1	29,47		
<i>MfH</i>	E blg 6								
	E arb 4								
	E chr 1	34,02	21,02	34,07	21,06	33,97	21,5	33,3	21,5
	E arb 7								
	E arb 2	62,19		62,21		60,59		60,59	
	E mgl 2	46,73	26,66	46,84	26,7	46,03	26,57	46,05	26,59
	E blg 7								
	E ml 1	46,15	26,47	46,18		46,57		46,17	26,48
	E mgl 3	44,79	27,36	44,96	27,67	45,1	27,44	45,12	27,46
	Ea pt 1	46,44	29,28	46,8	29,43	45,32	28,48	47,31	28,74
	Ehn mle 1			36,05	21,48	35,68	21,16	35,62	21,51
	E arb 6								
	Ehn mle 2	39,06	23,95	39,92		39,72	23,84	39,74	29,03
	E pon 1	48,31	28,25	48,33	28,23	47,12	27,04		26,9
	E pon 2	43,33	25,28	43,21	25,18	42,59	25,15	42,21	25,05
	Eml mlt 1	46,92	27,77	47,4		45,44	27,41	45,33	
	Eml mlt 3			56,9	33,31			55,4	32,62
MNHN	1891-107	69,53	39,43		39,49	70,8	39,27	70	39,28
	1914-337								
	1890-1178								
<i>NHM</i>	1767	65,62	36,87			64,32	37,12		
ONIRIS	ABS								
	1A	57,25	34,93	57,21	34,7	56,72	33,96	56,88	33,91
	2	55,54	34,59	55,66	34,44	55,71	34,4	55,75	34,05
Saumur									

Spécimens étudiés mais non retenus pour les analyses (n = 26)

Catégorie « Non renseignée »

Collection	N°	MTC III gauche		MTC III droit		MTT III gauche		MTT III droit	
		MC10	MC13	MC10	MC13	MC10	MC13	MC10	MC13
<i>IfP</i>	7	42,46	25,25	42,41	25,3	41,88		41,82	24,7
	13	55,68	32,65	55,66	32,67	56,94	32,56	56,94	32,6
		34,98	20,46			33,69	20,49	33,68	20,5
<i>MfN</i>	3351	44,34	25,43	44,88		45	25,23	45,02	
MNHN	1900-108	40,41	24,41	40,45	24,46			40,77	23,8
	1911-145	43,49	27,16	43,69	26,97	44,99	26,83	44,75	26,9

Catégorie « Sans activité »

Collection	N°	MTC III gauche		MTC III droit		MTT III gauche		MTT III droit	
		MC10	MC13	MC10	MC13	MC10	MC13	MC10	MC13
<i>IfP</i>	9	37,26	21,07	37,58	21,2	37,53	21,57	37,87	21,6
<i>MfN</i>	60606	41,72	25,85	41,79	25,87	41,78	25,19	42,07	25,2
	105721	36,28	22,99	36,25	22,94	35,78	22,34	35,74	22,3
	55246	42,58	25,22	42,24	24,99	41,98	25,65	42,44	25,7
	105722	42,29	24,63	42,92	24,44	41,65	24	41,75	24
MNHN	1935-486	45,05	26,55	46,99	26,65	43,17	24,67	43,86	24,5
	1975-124	43,66	24,9	44,69	25,43	44,08	24,97	43,98	24,3
	1982-128	46,66	29,04	46,3	29,19	44,76	29,38	44,79	29,5

Catégorie « Activités »

Collection	N°	MTC III gauche		MTC III droit		MTT III gauche		MTT III droit	
		MC10	MC13	MC10	MC13	MC10	MC13	MC10	MC13
<i>IfP</i>	1	36,67	22,1	36,65	22,17	37,56	21,61	37,62	21,7
	2	33,25	19,38	33,23	19,4	33,06	19,55	33,02	19,3
<i>MfN</i>	1263	37,69	22,28	37,79	22,19	39,45	21,97	39,21	21,9
<i>MfH</i>	E mgl 4	45,73	27,75	45,74	27,97	45,62	28,63	45,7	28,7
	E cldd 1	65,88	37,6	65,87	37,69	67,35	39,69	67,53	39,7
MNHN	1927-235	55,31	32,72			53,23			
	1925-78								
	1997-07	58,93	35,39	58,93	35,48	58,78	35,66	58,84	35,6
	2005-717	67,13	40,01	67,17	40,48	66,29	39,77		
	A-543			53,45	32,48			52,9	32,2
<i>NHM</i>	A 538	69,62	38,58	69,93	39,64	68,7	38,42	67,86	38,6
	E 1058	48,43	27,96	48,02	27,99	48,61	28,62	48,6	28,7

Annexe 9 : Listes des spécimens composant les échantillons de référence ($n = 61$).

Liste des abréviations (collections) :

- *Institut für Paläoanatomie* (Munich, *IfP*) ;
- *Museum für Naturkunde* (Berlin, *MfN*) ;
- *Museum für Haustierkunde « Julius Kühn »* (Halle, *MfH*) ;
- Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (MNHN) ;
- *Naturhistorisches Museum* (Vienne, *NHM*) ;
- Centre de Recherche Archéologique de la Vallée de l'Oise (Compiègne, CRAVO) ;
- École vétérinaire ONIRIS de Nantes (ONIRIS) ;
- Musée de la Cavalerie (Saumur) ;
- UMR 5199 PACEA (Bordeaux).

*Les âges sont indiqués en années (a.). Les âges, tailles et masses corporelles réelles sont indiquées par *.*

Catégorie « Sans activité » (1/2)

Collection	N°	Espèce	Lieu de vie	Âge	Sexe	Taille (en cm)	Masse (en kg)
IfP	11	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (Nürnberg)	20 a.*	F	127	271
	18	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (Hellabrunn)	6 a.*	M	130	307
	19	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (Berlin, Friedrichsfelde)	24 a.*	M	130	174*
	7	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (Nürnberg)	13 a.*	F	133	272
	13	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (Hellabrunn)	8 a.*	M	131	289
	15	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (Hellabrunn)	23 a.*	F	131	264
	16	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (Hellabrunn)	20 +	M	129	358
	5	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (Nürnberg)	20 a.*	M	132	320*
MfN	60363	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (Stendhal)	18 a.*	M	127	265
	51820	<i>E. zebra hartmannae</i>	Captivité (Berlin, Zoologischer Garten)	11-12 a.	M	124	239
	15963	<i>E. quagga burchelli</i>	NR	Adulte (5 +)	F	120	217
	53127	<i>E. quagga boehmi</i>	Captivité (Berlin, Zoologischer Garten)	13 a.	M	127	334
MfH	E wld 1	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (Halle)	Adulte (7 +)	M	130	
	E wld 2	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (Halle)	9 a.*	F	125	269
	E wld 4	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (Halle)	9 a.*	F	129	293
	<u>E wld 5</u>	<i>E. caballus przewalskii</i> x <i>E. caballus</i>	Captivité (Halle)	21 a.*	M	133	337
	<u>E wld 6</u>	<i>E. caballus przewalskii</i> x <i>E. caballus</i>	Captivité (Halle)	14 a.*	M	126	267
	<u>E wld 7</u>	<i>E. caballus</i>	Captivité (Halle)	15 a.*	H	132	309

Catégorie « Sans activité » (2/2)

Collection	N°	Espèce	Lieu de vie	Âge	Sexe	Taille (en cm)	Masse (en kg)
MNHN	1977-55	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (<i>Paris</i>)	10 a.	F	131	297
	1962-228	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (<i>Paris</i>)	32 a.*	M	133	329
	1932-46	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (<i>Paris</i>)	29 a.*	F	125	257
	1980-29	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (<i>Paris</i>)	5 a.*	F	130	281
	1929-37	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (<i>Paris</i>)	20 a.*	F	125	257
	1973-109	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (<i>Paris</i>)	11,5 a.	F	122	241
	1975-125	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (<i>Paris</i>)	9-10 a.	F	129	277
	1929-35	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (<i>Paris</i>)	Adulte (5 +)	M	125	269
	1975-98	<i>E. caballus</i> (Poney d'Islande)	Captivité (<i>Paris</i>)	35 a.*	M	126	308
	2012-63	<i>E. asinus</i> (Poitou)	Captivité (<i>Paris</i>)	11 a.*	F	135	280
	1932-64	<i>E. zebra hartmannae</i>	NR	12-18 a.	F	129	267
1933-562	<i>E. zebra hartmannae</i>		8-10 a.	M	134	274	
NHM	31592	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (<i>Hellabrunn</i>)	19 +	M	132	289
CRAVO		<i>E. caballus</i> (Konik)	Naturel (<i>Pagny-sur-Meuse</i>)	11 a.*	F	130*	309
PACEA	M.505	<i>E. caballus przewalskii</i>	Naturel (<i>Villaret, Lozère</i>)	27 a.*	F	137	343
	M.508	<i>E. caballus przewalskii</i>	Naturel (<i>Villaret, Lozère</i>)	19 a.*	M	123	286

Catégorie « Activités » (1/2)

Collection	N°	Espèce	Race	Activité	Âge	Sexe	Taille (en cm)	Masse (en kg)
<i>MfN</i>	1200	<i>E. caballus</i>	Trotteur hollandais	Ind.	30 a.*	F	157	568
	A3314	<i>E. caballus</i>	Arabe-Gallizier	Ind.	16-17 a.	F	150	379
<i>MfH</i>	E blg 6	<i>E. caballus</i>	Trait belge	Traction	18 a.*	M	161	
	E arb 4	<i>E. caballus</i>	Arabe-Gallizier	Monte	8 a.	M	147	
	E chr 1	<i>E. asinus</i>	Christienhofer	Traction	18 a.	F	110	135
	E arb 7	<i>E. caballus</i>	Pur-sang arabe	Monte	20 +	M	160	
	E arb 2	<i>E. caballus</i>	Arabe	Ind.	14 a.	F	158	
	E mgl 2	<i>E. caballus</i>	Mongole	Ind.	Adulte (8 +)	F	135	295
	E blg 7	<i>E. caballus</i>	Trait belge	Traction	17 a.*	M	160	
	E ml 1	<i>E. caballus</i>	Mongole	Ind.	20 +	F	133	290
	E mgl 3	<i>E. caballus</i>	Mongole	Ind.	10-11 a.	F	130	295
	Ea pt 1	<i>E. asinus</i>	Âne du Poitou	Traction	7-8 a.	F	143	334
	Ehn mle 1	<i>E. caballus x E. asinus</i>		Traction	25 a.*	F	126	148
	E arb 6	<i>E. caballus</i>	Pur-sang anglais	Monte	23 a.*	M	165*	
	Ehn mle 2	<i>E. caballus x E. asinus</i>		Traction	34 a.*	F	117	222
	E pon 1	<i>E. caballus</i>	Poney	Ind.	20 +	M	136	329
	E pon 2	<i>E. caballus</i>	Poney	Ind.	Adulte (5 +)	M	125	242
	Eml mlt 1	<i>E. asinus x E. caballus</i>		Traction	10-10,5 a.	F	131	308
Eml mlt 3	<i>E. asinus x E. caballus</i>		Traction	19 a.*	H	162	527	

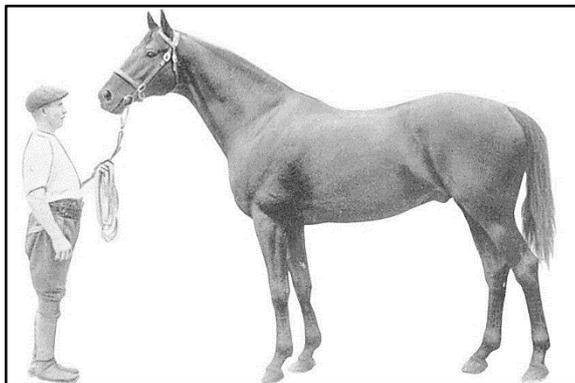
Catégorie « Activités » (2/2)

Collection	N°	Espèce	Race	Activité	Âge	Sexe	Taille (en cm)	Masse (en kg)
MNHN	1891-107	<i>E. caballus</i>	Boulonnais	Traction	14 a.*	M	169	937
	1914-337	<i>E. caballus</i>	Pur-sang anglais	Monte	14 a.*	M	160*	
	1890-1178	<i>E. caballus</i>	Percheron	Traction	Adulte (5 +)	M	158	
NHM	1767	<i>E. caballus</i>	Nöriker	Ind.	15-16 a.*	M	156	768
ONIRIS	/	<i>E. caballus</i>	Selle français	Monte	11 a.*	F		
	1A	<i>E. caballus</i>	Selle français	Monte	25 a.*	F	162*	515*
	2	<i>E. caballus</i>	Trotteur français	Monte	29 a.*	F	158*	532*
Saumur		<i>E. caballus</i>	Anglo-Arabe	Monte	27 a.*	M	162*	

Annexe 10 : Étude des référentiels - Particularités des collections étudiées.

Quelques célébrités (groupe « Activités »)

Dark Ronald (*Museum für Haustierrkunde « Julius Kühn », n°E arb 6*)

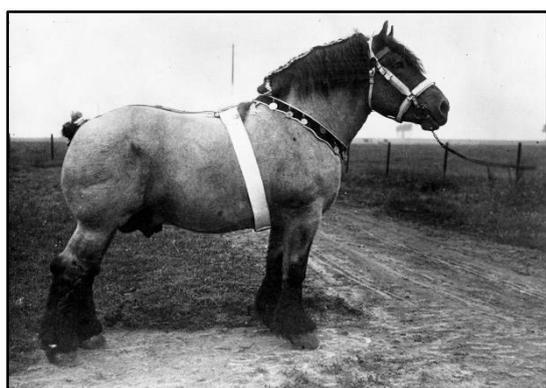


Dark Ronald
(source : MfH « Julius Kühn »).

Dark Ronald est un pur-sang anglais bai né en 1905 en Angleterre d'un étalon (Bay Ronald) et d'une jument (Darkie) de même race. Alors âgé entre 2 et 5 ans, il est connu pour avoir participé à une dizaine de courses et enregistré quatre victoires, notamment les *Royal Hunt Cup* et *Princess of Wales's Stakes* (1909). Sa carrière est cependant interrompue en raison de blessures tendineuses et de boiteries récurrentes. Mais si Dark Ronald est réputé

pour sa carrière dans les hippodromes, il l'est d'autant plus comme étalon reproducteur. En effet, celui-ci est connu pour avoir eu un grand impact dans l'obtention de chevaux de courses et d'autres disciplines hippiques (Allemagne, Angleterre, Australie). En raison de coliques, il a été abattu le 3 avril 1928 au Haras principal d'Altefeld (ville de Herleshausen, Allemagne).

Gaulois du Monceau (*Museum für Haustierrkunde « Julius Kühn », n°E blg 6*)



Gaulois du Monceau
(source : fotoglasplatten.zns.uni-halle.de, n°6182)

Gaulois du Monceau est un trait belge né le 10 juillet 1922 (Albion Dhor : père ; Aimée du Monceau : mère). Cet étalon, utilisé comme animal de trait, est connu pour avoir été champion de la race « Trait belge » en 1926. Il a été abattu le 8 octobre 1940 d'une balle dans la tête.

Rock-Sand (*Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, Grande Galerie d'Anatomie Comparée et de Paléontologie, n°1914-337*)



Rock-Sand
(source : Lepetz et Hanot, 2012).

Rock-Sand est un pur-sang anglais de robe baie né en 1900 en Grande-Bretagne (père : Sainfoin ; mère : Roquebrune). De 1902 à 1904, il a participé à 20 courses, dont 16 victoires, parmi lesquelles on retrouve les *Newmarket's Bedford Stakes* (1902), *Doncaster's Champagne Stakes* (1902), *Triple Crown* (1903) ou encore *Princess of Wales's Stakes* (1904). Il a ensuite été utilisé comme étalon reproducteur en Angleterre puis aux États-Unis à partir de 1906. Rock-Sand est décédé en France le 20 juillet 1914 suite à une maladie cardiaque.

Prisme (*Musée de la Cavalerie, Saumur*)

Prisme est un étalon anglo-arabe bai brun (25% de sang arabe) né de Vignemale (père) et de Prima (mère) le 20 mars 1890 dans les Hautes-Pyrénées. Dans un premier temps utilisé comme cheval de course (il aurait remporté 7 courses en 1893), il est ensuite employé pour l'instruction des cavaliers de l'École de Cavalerie de Saumur. Cet animal fait office d'étalon reproducteur à partir de 1894 et concourt largement à l'établissement des caractères de la race anglo-arabe en étant le père d'environ 60 étalons. Prisme est abattu le 28 juillet 1917 à l'âge de 27 ans.

Trois chevaux ayant vécu en milieu naturel.

Marais de Pagny-sur-Meuse (Meuse, France)

Site classé Natura 2000, le marais de Pagny-sur-Meuse est caractérisé par la présence d'une grande tourbière alcaline (substrat calcaire) et d'un marais eutrophe. Dès le début de sa protection à la fin des années 80, les problématiques de gestion biologique de ces milieux, notamment leur maintien à l'état ouvert, se sont révélées complexes (finances, sols rendant difficiles les interventions mécaniques...). Le choix d'une gestion par pâturage extensif équin a été retenu et trois chevaux Konik ont été introduits dans la tourbière en 1987 sur une zone de 25 ha. Cette démarche concourt de plus à la conservation de cette race.

Ochota (*CRAVO, Compiègne*)

Ochota est une jument Konik Polski née le 25 avril 1985 dans la réserve de l'Académie des Sciences de Pologne (P.A.N, Popielno, Mazurie). Elle fait partie des trois chevaux initialement introduits dans la tourbière le 22 mai 1987. Elle présentait les caractéristiques typiques de cette race à savoir une robe gris souris, des crins bicolores, une raie de mulot ainsi que des pattes légèrement zébrées. Elle a donné naissance à 7 poulains. Cette jument est décédée en 1996 des suites d'une parasitose (strongles) ayant entraîné un œdème abdominal important accompagné d'une mammite et de coliques. Elle était gestante au moment de son décès.

Domaine du Villaret, association TAKH (Lozère, France)

Fondée en 1990 à l'initiative de Claudia Feh, l'association TAKH a pour objectif de réintroduire le cheval de Przewalski (*Equus caballus przewalskii*) en Mongolie. En 1993, 11 chevaux provenant de zoos européens sont installés sur le domaine du Villaret dans le Parc National des Cévennes (Causse Méjean, Lozère).



Logo de l'association TAKH.

Étape nécessaire avant un potentiel départ pour la Mongolie, cette phase d'acclimatation leur permet d'acquérir les comportements sociaux des chevaux évoluant en liberté. Deux réintroductions d'individus nés sur le Causse ont été depuis réalisées en 2004 et 2005. Le troupeau est aujourd'hui constitué de 28 animaux en France et de 68 en Mongolie. Bien que les contacts avec l'Homme soient limités, les chevaux font l'objet d'un suivi régulier de la part des membres de l'association (observations comportementales, état de santé). Les données enregistrées sont autant d'informations qui peuvent se révéler précieuses dans le cadre d'analyses ostéologiques.

Sabrina (*PACEA, spécimen M. 505*)

Sabrina est née le 6 juin 1988 au Tierpark de Sababurg en Allemagne (père : 574 ; mère : 610). Âgée de 6 ans, elle fait partie des 11 chevaux à être transférés au domaine du Villaret en mai 1994. Elle donne naissance à 8 poulains entre 1994 et 2005. Les membres de TAKH ont relevé des boiteries récurrentes de son membre antérieur droit ainsi qu'une raideur des membres postérieurs dès son arrivée. De même, Sabrina se déplaçait avec difficultés en raison de pieds antérieurs longs, parfois seimes (présence d'une fente plus moins importante de la corne du sabot). La jument a reçu un traitement antibiotique en 1994 en réponse à une infection utérine.

Deux injections d'un contraceptif (PZP) lui ont été administrées en 2006 puis 2008 conduisant à sa stérilisation. Avant sa mort le 26 juillet 2015, la jument était fortement amaigrie dans les derniers mois de sa vie. L'épuisement ou une chute seraient les causes supposées de son décès.



Sabrina en août 2011
(cliché : H. Roche).

Epop (PACEA, spécimen M.508)



Epop en août 2013
(cliché : H. Roche).

Epop est un étalon né au Villaret le 25 juin 1999 (père : 2378, Malek ; mère : 2776, Églantine). Ce cheval avait la particularité de rester à proximité des individus gravement blessés ou âgés. S'intéressant rarement aux juments, il n'a, de fait, jamais eu de descendance. Les membres semblent avoir été rarement exposés à des anomalies précises (une boiterie du membre postérieur gauche en 2002).

En 2016 puis 2018, l'animal a reçu deux injections de cydectine (traitement antiparasitaire). À partir de 2015, les membres de l'association ont noté une condition corporelle fluctuante avec une tendance à l'amaigrissement. Epop est décédé le 15 avril 2018. La dégradation progressive de sa condition physique laisse penser qu'une surcharge parasitaire et un manque d'alimentation (certaines incisives manquantes du vivant de l'animal) seraient à l'origine du décès.

**Annexe 11 : Listes des spécimens étudiés mais non retenus pour les analyses statistiques
(n = 26).**

Liste des abréviations (collections) :

- *Institut für Paläoanatomie* (Munich, *IfP*) ;
- *Museum für Naturkunde* (Berlin, *MfN*) ;
- *Museum für Haustierkunde* « *Julius Kühn* » (Halle, *MfH*) ;
- Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (MNHN) ;
- *Naturhistorisches Museum* (Vienne, *NHM*) ;
- Centre de Recherche Archéologique de la Vallée de l'Oise (Compiègne, CRAVO) ;
- École vétérinaire ONIRIS de Nantes (ONIRIS) ;
- Musée de la Cavalerie (Saumur) ;
- UMR 5199 PACEA (Bordeaux).

*Les âges sont indiqués en années (a.) ou en mois (m.). Les âges, tailles et masses corporelles réelles sont indiquées par *.*

Catégorie « Non renseignée »

Collection	N°	Espèce	Âge	Sexe	Taille (en cm)	Masse (en kg)
<i>IfP</i>	7	<i>E. caballus</i>	Adulte (5 +)	M	122	236
	13	<i>E. caballus</i>	8 a.	M	158	521
		<i>E. asinus</i>	15 a.*	F	111	130
<i>MfN</i>	3351	<i>E. caballus</i>	20 +	F	122	260
MNHN	1900-108	<i>E. caballus</i> (Cheval du Tonkin)	10-13 a.	M	126	212
	1911-145	<i>E. caballus</i> (Cheval du Tonkin)	19 a.	M	128	280

Catégorie « Sans activité »

Collection	N°	Espèce	Lieu de vie	Âge	Sexe	Taille (en cm)	Masse (en kg)
<i>IfP</i>	9	<i>E. caballus</i> (Poney shetland)	Captivité (<i>Nürnberg</i>)	24 a.*	F	99	158
<i>MfN</i>	60606	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité (<i>Tierpark, Berlin</i>)	2,5-4 a.	F	128	239
	105721	<i>E. zebra</i>	Captivité	3-4 a.	F	118	162
	55246	<i>E. zebra hartmannae</i>	Captivité (<i>Tierpark, Berlin</i>)	10 a.*	F	125	241
	53127	<i>E. zebra hartmannae</i>	Captivité (<i>Tierpark, Berlin</i>)	3-4 a.	F	121	225
MNHN	1935-486	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité	21 a.*	M	125	265
	1975-124	<i>E. caballus przewalskii</i>	Captivité	26 m.*	F	129	249
	1982-128	<i>E. asinus</i> (Âne du Poitou)	Captivité (Paris)	15 a.	F	139	330

Catégorie « Activités »

Collection	N°	Espèce	Race	Activité	Âge	Sexe	Taille (en cm)	Masse (en kg)
<i>IfP</i>	1	<i>E. caballus</i>	Poney	Ind.	6 a.	M	95	161
	2	<i>E. caballus</i>	Poney shetland	Ind.	18 a.	M	88	115
<i>MfN</i>	1263	<i>E. caballus</i>	Poney exmoor	Ind.	Adulte (5 +)	F	113	172
<i>MfH</i>	E mgl 4	<i>E. caballus</i>	Mongole	Ind.	20 +	F	134	314
	E cldd 1	<i>E. caballus</i>	Clydesdale	Traction	8 a.*	M	155	850
MNHN	1927-235	<i>E. caballus</i>	Arabe	Ind.	20 +	M	155	508
	1925-78	<i>E. caballus</i>	Cheval de Norvège	Ind.	16-17 a.	M	137	
	1997-07	<i>E. caballus</i>	Ind.	Ind.	15-20 m.*	M	169	628
	2005-717	<i>E. asinus</i>	Âne du Berry	Ind.	16-17 a.	M	165	896
	A-543	<i>E. asinus x E. caballus</i>	Mulet	Ind.	Adulte (5 +)	M	151	474
<i>NHM</i>	A 538	<i>E. caballus</i>	Nöriker	Ind.	22,5 a.*	M	160*	700*
	E 1058	<i>E. asinus x E. caballus</i>	Mule	Ind.	20 +	F	148	342

Annexe 12 : Étude des référentiels - Influence de l'âge au décès et développement de modifications enthésiques, résultats de l'ANOVA de Kruskal-Wallis par rangs.

Enthèses fibrocartilagineuses (1/2), membre antérieur.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

*Les résultats proches de la significativité sont indiqués par *.*

	N Actifs [5-10]	N Actifs [11-19]	N Actifs [20 + [	Somme Rangs [5-10]	Somme Rangs [11-19]	Somme Rangs [20 + [	H	niv. p
SBB G	8	11	11	145,5	133	186,5	3,8	0,15
SBB D	8	11	12	95,5	218,5	182	5,17	0,08
RBB G	6	11	10	86	140	152	0,89	0,64
RBB D	8	11	12	140,5	137	218,5	4,98	0,08
HSC G	8	11	12	114,5	155,5	226	2,54	0,28
HSC D	7	11	12	96,51	164,5	204	0,91	0,63
HIE G	7	11	12	99	192	174	1,61	0,45
HIE D	7	11	12	91	188	186	2,21	0,33
HIEc G	6	11	12	66	222,5	146,5	11,27	0,003
HIEc D	5	11	12	55	191	160	4,4	0,11
HFD G	8	11	11	130	182,5	152,5	1,26	0,53
HFD D	7	11	12	110,5	171,5	183	0,03	0,98
HUL G	6	11	12	95	150	190	0,76	0,68
HUL D	6	10	12	87	131	188	0,71	0,70
HCL G	8	11	12	116	189,5	190,5	1,6	0,45
HCL D	7	11	12	94,5	178,5	192	1,37	0,50
UTB G	7	11	10	98	174	134	1,11	0,58
UTB D	8	10	12	118	170	177	0,69	0,71
P ₁ CLa lat G	7	11	11	102	152	181	1,28	0,53
P ₁ CLa méd G	7	11	11	91	172	172	1,43	0,49
P ₁ CLa lat D	7	11	12	106	174	186	0,05	0,98
P ₁ CLa méd D	7	11	12	98	169	198	1,33	0,51
P ₂ CLa lat G	6	8	11	91,5	93,5	140	1,04	0,6
P ₂ CLa méd G	6	8	11	117	114,5	93,5	12,45	0,002
P ₂ CLa lat D	6	11	11	109	161,5	135,5	2,5	0,29
P ₂ CLa méd D	6	11	10	88,5	186,5	103	4,69	0,1
P ₃ CLa lat G	6	8	9	93,5	82,5	100	3,1	0,21
P ₃ CLa méd G	6	8	9	85	86,5	104,5	1,18	0,55
P ₃ CLa lat D	6	9	10	86	116,5	122,5	0,41	0,82
P ₃ CLa méd D	6	9	10	86	104	135	0,8	0,67

Enthèses fibrocartilagineuses (2/2), membre postérieur.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

Les résultats proches de la significativité sont indiqués par *.

	N Actifs [5-10]	N Actifs [11-19]	N Actifs [20 + [	Somme Rangs [5-10]	Somme Rangs [11-19]	Somme Rangs [20 + [	H	niv. p
CFEP G	6	10	10	71	153	127	1,27	0,53
CFEP D	7	10	10	105	156	117	1,75	0,42
FFEP G	5	11	10	61,5	175	114,5	2,22	0,33
FFEP D	7	11	11	116	181,5	137,5	1,77	0,41
FFA G	7	11	11	116	148	171	0,84	0,66
FFA D	8	11	11	142	187,5	135,5	3,24	0,2
FIP G	7	10	11	103,5	147,5	155	0,06	0,97
FIP D	6	10	12	89	166,5	150,5	1,79	0,41
FGC G	8	11	12	152	204	140	5,85	0,053*
FGC D	8	11	12	142,5	206	147,5	4,2	0,13
TPL G	7	11	11	94,5	163	177,5	1,5	0,47
TPL D	8	10	12	104	160	201	1,2	0,33
P ₁ CLp lat G	7	11	11	94,5	163	177,5	1,5	0,47
P ₁ CLp méd G	7	11	11	101,5	159,5	174	1,64	0,44
P ₁ CLp lat D	7	11	12	101,5	159,5	204	3,11	0,21
P ₁ CLp méd D	7	11	12	106	158	201	1,05	0,6
P ₂ CLp lat G	4	10	9	57	115,5	103,5	0,62	0,73
P ₂ CLp méd G	4	10	9	48	129,5	98,5	0,58	0,75
P ₂ CLp lat D	6	9	12	102	124,5	151,5	1,47	0,48
P ₂ CLp méd D	6	9	12	85	148,5	144,5	2,21	0,33
P ₃ CLp lat G	6	8	9	99	86	91	5,04	0,08
P ₃ CLp méd G	6	8	9	78,5	85,5	112	0,85	0,65
P ₃ CLp lat D	6	7	11	90	95	115	2,6	0,27
P ₃ CLp méd D	6	7	11	75	103,5	121,5	1,79	0,41

Enthèses fibreuses.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	N Actifs [5-10]	N Actifs [11-19]	N Actifs [20 + [	Somme Rangs [5-10]	Somme Rangs [11-19]	Somme Rangs [20 + [	H	niv. p
HDE G	8	11	12	119	176	201	0,43	0,81
HDE D	7	11	12	98	183	184	0,93	0,63
HRD G	8	11	12	160	189	147	6,67	0,04
HRD D	7	11	12	143,5	180,5	141	6,82	0,03
P ₁ SDa G	7	11	11	93	163,5	178,5	0,65	0,72
P ₁ SDa D	7	11	12	122	187	156	2	0,37
P ₁ PMa lat G	7	11	11	104	163,5	167,5	0,15	0,99
P ₁ PMa méd G	7	11	11	125,5	177	132,5	2,75	0,25
P ₁ PMa lat D	7	11	12	98	194	173	1,22	0,54
P ₁ PMa méd D	7	11	12	104,5	190,5	170	0,91	0,64
FFS G	7	10	11	119	106	181	5,37	0,07
FFS D	7	10	11	126	96	184	9,98	0,01
P ₁ SDp G	7	11	11	95	170	170	0,47	0,79
P ₁ SDp D	7	11	12	109	163	193	0,34	0,84
P ₁ PMp lat G	7	11	11	113	151,5	170,5	0,5	0,78
P ₁ PMp méd G	7	11	11	76,5	180	178,5	2,78	0,25
P ₁ PMp lat D	7	11	12	116,5	144	204,5	1,59	0,45
P ₁ PMp méd D	7	11	12	121	167	177	0,49	0,78

Annexe 13 : Étude des référentiels - Influence du sexe et développement de modifications enthésiques, résultats du test U de Mann-Whitney.

Enthèses fibrocartilagineuses (1/2), membre antérieur.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	Somme Rangs Mâle	Somme Rangs Femelle	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Mâle	N Actif Femelle	2*(1-p) exact
SBB G	314	214	94	1,27	0,21	1,5	0,13	17	15	0,22
SBB D	290,5	237,5	117,5	0,38	0,71	0,45	0,65	17	15	0,71
RBB G	225	210	105	0	1	0	1	15	14	1
RBB D	274	287	121	-0,54	0,59	-0,81	0,42	17	16	0,61
HSC G	293,5	267,5	131,5	0,16	0,87	0,19	0,85	17	16	0,87
HSC D	298	230	110	0,66	0,51	0,78	0,44	17	15	0,53
HIE G	285	243	123	0,17	0,87	0,24	0,81	17	15	0,88
HIE D	286	242	122	0,21	0,84	0,33	0,74	17	15	0,85
HIEc G	274,5	221,5	116,5	0,1	0,92	0,14	0,89	17	14	0,92
HIEc D	287,5	177,5	86,5	1	0,32	1,45	0,15	17	13	0,32
HFD G	285	243	123	0,17	0,87	0,24	0,81	17	15	0,88
HFD D	299	229	109	0,7	0,48	0,85	0,4	17	15	0,5
HUL G	242	254	89	-1,19	0,23	-1,51	0,13	17	14	0,25
HUL D	237,5	197,5	84,5	-0,77	0,44	-0,89	0,37	17	12	0,44
HCL G	279,5	281,5	126,5	-0,34	0,73	-0,69	0,49	17	16	0,74
HCL D	278,5	249,5	125,5	-0,08	0,94	-0,13	0,9	17	15	0,94
UTB G	270	195	75	1,56	0,12	2,41	0,02	15	15	0,13
UTB D	300	228	108	0,74	0,46	0,95	0,34	17	15	0,48
P ₁ CLa lat G	239	257	103	-0,67	0,5	-0,98	0,33	16	15	0,52
P ₁ CLa méd G	262,5	233,5	113,5	0,26	0,8	0,4	0,69	16	15	0,8
P ₁ CLa lat D	293,5	234,5	114,5	0,49	0,62	0,73	0,47	17	15	0,63
P ₁ CLa méd D	303	225	105	0,85	0,4	1,68	0,09	17	15	0,41
P ₂ CLa lat G	225	153	75	0,73	0,46	0,83	0,4	15	12	0,49
P ₂ CLa méd G	214	164	86	0,2	0,85	0,23	0,82	15	12	0,87
P ₂ CLa lat D	252,5	182,5	91,5	0,55	0,58	0,61	0,54	16	13	0,59
P ₂ CLa méd D	247,5	158,5	67,5	1,38	0,17	1,53	0,12	15	13	0,17
P ₃ CLa lat G	153	172	62	-0,87	0,38	-1,01	0,31	13	12	0,41
P ₃ CLa méd G	159,5	165,5	68,5	-0,52	0,61	-0,6	0,55	13	12	0,61
P ₃ CLa lat D	180	198	60	-1,46	0,14	-1,69	0,09	15	12	0,15
P ₃ CLa méd D	186	192	66	-1,17	0,24	-1,35	0,18	15	12	0,26

Enthèses fibrocartilagineuses (2/2), membre postérieur.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	Somme Rangs Mâle	Somme Rangs Femelle	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Mâle	N Actif Femelle	$2^{*(1-p)}$ P exact
CFEP G	245	161	56	1,93	0,05	2,25	0,02	14	14	0,06
CFEP D	252,5	182,5	77,5	1,2	0,23	1,36	0,17	15	14	0,23
FFEP G	210,5	195,5	74,5	-1	0,32	-1,07	0,29	16	12	0,32
FFEP D	228,5	267,5	92,5	-1,09	0,28	-1,16	0,24	16	15	0,28
FFA G	256	240	104	0,63	0,53	0,72	0,47	15	16	0,55
FFA D	236	292	100	-1,06	0,29	-1,23	0,22	16	16	0,3
FIP G	261,5	203,5	108,5	-0,08	0,93	-0,10	0,92	17	13	0,93
FIP D	243,5	221,5	90,5	-0,84	0,4	-0,95	0,34	17	13	0,41
FGC G	258,5	302,5	105,5	-1,1	0,27	-1,23	0,22	17	16	0,28
FGC D	279	282	126	-0,36	0,72	-0,40	0,69	17	16	0,74
TPL G	263	233	113	0,28	0,78	0,54	0,59	16	15	0,8
TPL D	286	242	122	0,21	0,84	0,33	0,74	17	15	0,85
P ₁ CLp lat G	263	233	113	0,28	0,78	0,54	0,59	16	15	0,8
P ₁ CLp méd G	263,5	232,5	112,5	0,3	0,77	0,97	0,33	16	15	0,77
P ₁ CLp lat D	295,5	232,5	112,5	0,57	0,57	1,35	0,18	17	15	0,58
P ₁ CLp méd D	302	226	106	0,81	0,42	1,29	0,2	17	15	0,43
P ₂ CLp lat G	165,5	159,5	74,5	-0,19	0,85	-0,21	0,84	13	12	0,85
P ₂ CLp méd G	169	156	78	0	1	0	1	13	12	1
P ₂ CLp lat D	227,5	207,5	91,5	-0,55	0,58	-0,61	0,54	16	13	0,59
P ₂ CLp méd D	227,5	207,5	91,5	-0,55	0,58	-0,65	0,51	16	13	0,59
P ₃ CLp lat G	144	156	66	-0,35	0,73	-0,41	0,68	12	12	0,76
P ₃ CLp méd G	158	167	67	-0,6	0,55	-0,81	0,42	13	12	0,57
P ₃ CLp lat D	157,5	167,5	52,5	-1,34	0,18	-1,61	0,11	14	11	0,18
P ₃ CLp méd D	182,5	142,5	76,5	0,03	0,98	0,03	0,97	14	11	0,98

Enthèses fibreuses.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	Somme Rangs Mâle	Somme Rangs Femelle	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Mâle	N Actif Femelle	2*(1-p) P exact
HDE G	321	240	104	1,15	0,25	1,72	0,09	17	16	0,26
HDE D	317	211	91	1,38	0,17	2,19	0,03	17	15	0,18
HRD G	275	286	122	-0,5	0,61	-0,63	0,53	17	16	0,63
HRD D	286,5	241,5	121,5	0,23	0,82	0,27	0,79	17	15	0,82
P ₁ SDa G	282	214	94	1,03	0,3	1,15	0,25	16	15	0,32
P ₁ SDa D	278	250	125	-0,09	0,92	-0,11	0,92	17	15	0,94
P ₁ PMa lat G	262,5	233,5	113,5	0,26	0,8	0,28	0,78	16	15	0,8
P ₁ PMa méd G	257	239	119	0,04	0,97	0,04	0,97	16	15	0,98
P ₁ PMa lat D	278,5	249,5	125,5	-0,08	0,94	-0,08	0,93	17	15	0,94
P ₁ PMa méd D	295	233	113	0,55	0,58	0,59	0,55	17	15	0,6
FFS G	247,5	217,5	97,5	0,62	0,53	0,76	0,45	15	15	0,54
FFS D	271,5	193,5	102,5	0,33	0,74	0,44	0,66	17	13	0,74
P ₁ SDp G	269,5	226,5	106,5	0,53	0,59	0,7	0,48	16	15	0,60
P ₁ SDp D	269	259	116	-0,43	0,66	-0,69	0,49	17	15	0,68
P ₁ PMp lat G	298	198	78	1,66	0,1	1,87	0,06	16	15	0,1
P ₁ PMp méd G	281	215	95	0,99	0,32	1,13	0,26	16	15	0,34
P ₁ PMp lat D	291	237	117	0,40	0,69	0,44	0,66	17	15	0,71
P ₁ PMp méd D	274,5	253,5	121,5	-0,23	0,82	-0,26	0,8	17	15	0,82

Annexe 14 : Étude des référentiels - Influence du type d'environnement de vie et développement de modifications enthésiques, résultats du test U de Mann-Whitney.

Enthèses fibrocartilagineuses (1/2), membre antérieur.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	Somme Rangs Captif	Somme Rangs Naturel	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Captif	N Actif Naturel	2*(1-p) P exact
SBB G	463	33	27	1	0,32	1,18	0,24	28	3	0,35
SBB D	464,5	63,5	29,5	-0,91	0,37	-1,08	0,28	29	3	0,38
RBB G	356,5	49,5	31,5	-0,45	0,66	-0,62	0,53	25	3	0,67
RBB D	485,5	42,5	36,5	0,45	0,65	0,67	0,5	29	3	0,67
HSC G	482	46	40	0,23	0,82	0,27	0,79	29	3	0,86
HSC D	464,5	31,5	25,5	1,1	0,27	1,33	0,18	28	3	0,28
HIE G	443	53	37	-0,33	0,74	-0,46	0,64	28	3	0,78
HIE D	455,5	40,5	34,5	0,5	0,62	0,79	0,43	28	3	0,63
HIEc G	400,5	64,5	22,5	-1,24	0,21	-1,62	0,1	27	3	0,23
HIEc D	386	49	35	-0,29	0,77	-0,39	0,7	26	3	0,81
HFD G	454	42	36	0,4	0,69	0,69	0,49	28	3	0,73
HFD D	461,5	34,5	28,5	0,9	0,37	1,15	0,25	28	3	0,38
HUL G	414	51	36	-0,31	0,76	-0,42	0,67	27	3	0,79
HUL D	395	40	34	0,36	0,72	0,42	0,68	26	3	0,76
HCL G	481,5	46,5	40,5	0,19	0,85	0,46	0,64	29	3	0,86
HCL D	452,5	43,5	37,5	0,3	0,76	0,59	0,56	28	3	0,78
UTB G	397,5	37,5	31,5	0,54	0,59	0,82	0,41	26	3	0,61
UTB D	460	36	30	0,8	0,42	1,06	0,29	28	3	0,46
P ₁ CLa lat G	411	54	33	-0,52	0,6	-0,8	0,42	27	3	0,65
P ₁ CLa méd G	394,5	70,5	16,5	-1,66	0,1	-2,82	0,005	27	3	0,1
P ₁ CLa lat D	440	56	34	-0,53	0,59	-0,84	0,4	28	3	0,63
P ₁ CLa méd D	452,5	43,5	37,5	0,3	0,76	0,59	0,56	28	3	0,78
P ₂ CLa lat G	352	26	23	0,19	0,85	0,22	0,83	25	2	0,89
P ₂ CLa méd G	360	18	15	0,93	0,35	1,08	0,28	25	2	0,41
P ₂ CLa lat D	356	50	5	-1,87	0,06	-2,15	0,03	26	2	0,06
P ₂ CLa méd D	326	52	1	-2,22	0,03	-2,5	0,01	25	2	0,01
P ₃ CLa lat G	313	12	9	1,4	0,16	1,63	0,1	23	2	0,2
P ₃ CLa méd G	300,5	24,5	21,5	0,15	0,88	0,17	0,86	23	2	0,88
P ₃ CLa lat D	351,5	26,5	23,5	0,14	0,89	0,16	0,87	25	2	0,89
P ₃ CLa méd D	352,5	25,5	22,5	0,23	0,82	0,27	0,79	25	2	0,82

Enthèses fibrocartilagineuses (2/2), membre postérieur.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	Somme Rangs Captif	Somme Rangs Naturel	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Captif	N Actif Naturel	2*(1-p) P exact
CFEP G	377	29	26	0	1	0	1	26	2	1
CFEP D	378,5	27,5	24,5	0,13	0,89	0,15	0,88	26	2	0,89
FFEP G	307,5	70,5	7,5	-2,2	0,03	-2,38	0,02	24	3	0,02
FFEP D	402	63	24	-1,14	0,25	-1,23	0,22	27	3	0,28
FFA G	424	72	18	-1,6	0,11	-1,82	0,07	28	3	0,12
FFA D	419,5	76,5	13,5	-1,9	0,06	-2,2	0,03	28	3	0,05
FIP G	427	38	32	0,59	0,56	0,67	0,5	27	3	0,6
FIP D	385,5	49,5	34,5	-0,32	0,75	-0,37	0,71	26	3	0,76
FGC G	451,5	76,5	16,5	-1,75	0,08	-1,99	0,046	29	3	0,08
FGC D	454,5	73,5	19,5	-1,55	0,12	-1,74	0,08	29	3	0,13
TPL G	421,5	43,5	37,5	0,21	0,84	0,48	0,63	27	3	0,85
TPL D	454	42	36	0,4	0,69	0,69	0,49	28	3	0,73
P ₁ CLp lat G	423	42	36	0,31	0,76	0,6	0,55	27	3	0,79
P ₁ CLp méd G	420	45	39	0,1	0,92	0,33	0,74	27	3	0,95
P ₁ CLp lat D	451	45	39	0,2	0,84	0,47	0,64	28	3	0,88
P ₁ CLp méd D	424,5	71,5	18,5	-1,57	0,12	-2,46	0,01	28	3	0,12
P ₂ CLp lat G	254,5	45,5	23,5	-0,7	0,48	-0,77	0,44	21	3	0,5
P ₂ CLp méd G	242,5	57,5	11,5	-1,75	0,08	-2,09	0,04	21	3	0,08
P ₂ CLp lat D	358,5	76,5	7,5	-2,26	0,02	-2,56	0,01	26	3	0,02
P ₂ CLp méd D	387	48	36	-0,21	0,83	-0,26	0,79	26	3	0,87
P ₃ CLp lat G	290	10	7	1,57	0,12	1,87	0,06	22	2	0,14
P ₃ CLp méd G	305,5	19,5	16,5	0,65	0,51	0,88	0,38	23	2	0,54
P ₃ CLp lat D			0	0	1	0	1	24	1	0
P ₃ CLp méd D			0	0	1	0	1	24	1	0

Enthèses fibreuses.

	Somme Rangs Captif	Somme Rangs Naturel	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Captif	N Actif Naturel	2*(1-p) p exact
HDE G	472	56	37	-0,42	0,67	-0,62	0,54	29	3	0,71
HDE D	437,5	58,5	31,5	-0,7	0,48	-1,1	0,27	28	3	0,5
HRD G	465	63	30	-0,87	0,38	-1,12	0,26	29	3	0,42
HRD D	445,5	50,5	39,5	-0,17	0,87	-0,2	0,84	28	3	0,88
P ₁ SDa G	417,5	47,5	39,5	-0,07	0,94	-0,08	0,94	27	3	0,95
P ₁ SDa D	440	56	34	-0,53	0,59	-0,61	0,54	28	3	0,63
P ₁ PMa lat G	405	60	27	-0,93	0,35	-1,04	0,3	27	3	0,39
P ₁ PMa méd G	415,5	49,5	37,5	-0,21	0,84	-0,23	0,82	27	3	0,85
P ₁ PMa lat D	436	60	30	-0,8	0,42	-0,89	0,37	28	3	0,46
P ₁ PMa méd D	437	59	31	-0,73	0,46	-0,81	0,42	28	3	0,5
FFS G	364,5	41,5	35,5	0,15	0,88	0,19	0,85	25	3	0,89
FFS D	367,5	38,5	32,5	0,37	0,71	0,52	0,6	25	3	0,73
P ₁ SDp G	399	66	21	-1,35	0,18	-1,84	0,07	27	3	0,2
P ₁ SDp D	437	59	31	-0,73	0,46	-1,26	0,21	28	3	0,5
P ₁ PMp lat G	435	30	24	1,14	0,25	1,29	0,2	27	3	0,28
P ₁ PMp méd G	421	44	38	0,17	0,86	0,2	0,84	27	3	0,9
P ₁ PMp lat D	440	56	34	-0,53	0,59	-0,59	0,56	28	3	0,63
P ₁ PMp méd D	454	42	36	0,4	0,69	0,46	0,64	28	3	0,73

Annexe 15 : Étude des référentiels - Influence des proportions corporelles et développement de modifications enthésiques, ratio moyen par stade de cotation pour chaque enthèse et résultats de l'ANOVA de Kruskal-Wallis par rangs.

Enthèses fibrocartilagineuses (1/2), membre antérieur.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	<i>N</i> <i>Stade</i> <i>A</i>	<i>N</i> <i>Stade</i> <i>B</i>	<i>N</i> <i>Stade</i> <i>C</i>	Ratio moyen Stade A	Ratio moyen Stade B	Ratio moyen Stade C	niv. p
SBB G	10	5	1	2,1	3,5	2,34	0,019
SBB D	10	4	1	2,09	3,74	2,34	0,028
RBB G	9	7	1	2,77	2,55	3,62	0,442
RBB D	5	7	2	2,71	2,25	3,5	0,188
HSC G	7	9		2,86	2,67		0,711
HSC D	4	9		3,39	2,49		0,217
HIE G	16			2,75			
HIE D	12	2		2,34	4,59		0,028
HIEc G	12	3		2,4	3,24		0,386
HIEc D	10	4		2,73	2,47		0,671
HFD G	11	6		2,92	2,38		0,421
HFD D	9	6		2,69	2,55		0,906
HUL G	9	7	1	2,57	3,06	1,9	0,36
HUL D	5	9	1	2,14	2,99	1,9	0,28
HCL G	13	3	1	2,65	2,93	3,18	0,701
HCL D	11	4	1	2,84	2,5	3,18	0,828
UTB G	7	10		2,27	3,05		0,379
UTB D	6	8		2,5	2,66		0,518
P ₁ CLa lat G	12	3	1	2,83	1,57	1,18	0,169
P ₁ CLa méd G	11	5		2,87	2,32		0,141
P ₁ CLa lat D	13	2	1	2,86	1,57	1,18	0,031
P ₁ CLa méd D	11	5		2,55	2,7		0,533
P ₂ CLa lat G	1	9	7	1,94	3,1	2,36	0,249
P ₂ CLa méd G	1	9	7	1,94	3,2	2,23	0,125
P ₂ CLa lat D		9	6		2,63	2,41	0,738
P ₂ CLa méd D	1	6	8	1,94	3,02	2,26	0,323
P ₃ CLa lat G	1	13		2,18	2,94		0,385
P ₃ CLa méd G	3	11		2,15	3,09		0,186
P ₃ CLa lat D	1	11		2,18	2,82		0,469
P ₃ CLa méd D	2	11		2,26	2,82		0,554

Enthèses fibrocartilagineuses (2/2), membre postérieur.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	<i>N</i> <i>Stade</i> <i>A</i>	<i>N</i> <i>Stade</i> <i>B</i>	<i>N</i> <i>Stade</i> <i>C</i>	Ratio moyen Stade A	Ratio moyen Stade B	Ratio moyen Stade C	niv. p
CFEP G	4	8	2	1,96	2,45	2,98	0,314
CFEP D	3	8	3	1,86	2,33	3,05	0,196
FFEP G	3	6	4	1,82	2,61	3,23	0,29
FFEP D	2	7	4	1,57	2,51	2,58	0,205
FFA G	6	9	1	2,48	2,88	3,62	0,489
FFA D	8	7	1	2,32	2,75	3,62	0,308
FIP G	11	5		2,76	2,82		0,335
FIP D	11	4	1	2,49	2,62	3,62	0,208
FGC G	10	5		2,96	2,46		0,462
FGC D	10	5		2,66	2,46		0,806
TPL G	14	3		2,77	2,54		0,705
TPL D	12	1		2,52	2,19		0,592
P ₁ CLp lat G	11	5		2,68	2,39		0,865
P ₁ CLp méd G	10	6		2,4	2,92		0,329
P ₁ CLp lat D	12	5		2,75	2,69		0,792
P ₁ CLp méd D	12	5		2,66	2,91		0,493
P ₂ CLp lat G	2	10	4	2,65	2,64	2,45	0,888
P ₂ CLp méd G	2	12	2	2,65	2,65	2,18	0,635
P ₂ CLp lat D	1	11	3	1,94	2,86	2,54	0,54
P ₂ CLp méd D	2	11	2	2,65	2,76	2,68	1
P ₃ CLp lat G	5	10		2,01	2,9		0,141
P ₃ CLp méd G	7	8		1,93	3,2		0,021
P ₃ CLp lat D	5	10		2,56	2,9		0,54
P ₃ CLp méd D	6	9		2,05	3,39		0,025

Enthèses fibreuses.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	<i>N</i> Stade A	<i>N</i> Stade B	<i>N</i> Stade C	Ratio moyen Stade A	Ratio moyen Stade B	Ratio moyen Stade C	niv. p
HDE G	15	2		2,80	2,18		0,456
HDE D	15			2,64			
HRD G	10	5	2	2,28	3,62	2,78	0,372
HRD D	7	7	1	2,36	2,98	2,19	0,736
P ₁ SDa G	9	7		2,87	2,72		0,368
P ₁ SDa D	14	1	1	2,72	2,19	1,18	0,215
P ₁ PMa lat G	3	6	7	1,84	2,23	3,66	0,004
P ₁ PMa méd G	2	7	7	1,59	2,23	3,48	0,035
P ₁ PMa lat D	4	5	7	1,94	1,96	3,42	0,004
P ₁ PMa méd D	5	4	7	1,99	1,96	3,38	0,014
FFS G	7	9		2,54	2,97		0,427
FFS D	9	6		2,23	2,65		0,288
P ₁ SDp G	15	1		2,60	2,42		0,745
P ₁ SDp D	16	1		2,75	2,42		0,838
P ₁ PMp lat G	6	7	3	2,58	2,44	2,90	0,785
P ₁ PMp méd G	5	8	3	2,42	2,52	3,08	0,297
P ₁ PMp lat D	6	9	2	2,59	2,90	2,40	0,536
P ₁ PMp méd D	5	8	4	2,63	2,54	3,23	0,53

Annexe 16 : Étude des référentiels - Comparaison des groupes « Sans activité », « Monte » et « Traction », résultats de l'ANOVA de Kruskal-Wallis par rangs.

Enthèses fibrocartilagineuses (1/2), membre antérieur.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

*Les résultats proches de la significativité sont indiqués par *.*

	N Actifs Sans activité	N Actifs Monte	N Actifs Traction	Somme Rangs Sans activité	Somme Rangs Monte	Somme Rangs Traction	H	niv. p
SBB G	33	8	9	855	131	289	6,44	0,04
SBB D	33	8	9	790,5	212	272,5	1,81	0,4
RBB G	30	8	10	823	176	177	5,47	0,07
RBB D	34	8	9	920	220	186	2,01	0,37
HSC G	34	6	9	828,5	107,5	289	4,93	0,09
HSC D	34	7	8	695	245	236	8,91	0,01
HIE G	33	8	9	876,5	164	234,5	2,35	0,31
HIE D	33	7	9	823,5	143,5	258	2,86	0,24
HIEc G	32	8	8	768	192	216	0,52	0,77
HIEc D	31	7	9	707	169,5	251,5	1,63	0,44
HFD G	33	7	9	782	154	289	5	0,09
HFD D	33	7	9	781	206,5	237,5	1,5	0,47
HUL G	32	7	10	712	180,5	332,5	6,3	0,04
HUL D	30	7	10	675	151,5	301,5	3,3	0,19
HCL G	34	8	10	826	234	318	5,1	0,08
HCL D	33	8	10	774,5	224	327,5	6,17	0,045
UTB G	31	8	10	680,5	242	302,5	6,27	0,04
UTB D	33	8	9	802,5	190	282,5	2,76	0,25
P ₁ CLa lat G	32	8	9	749	152	324	12,73	0,001
P ₁ CLa méd G	32	8	9	728	152	345	17,98	< 0,01
P ₁ CLa lat D	33	8	10	774	201	351	7,83	0,02
P ₁ CLa méd D	33	8	10	735	210	381	16,03	< 0,01
P ₂ CLa lat G	28	8	10	767,5	186,5	127	10,9	0,004
P ₂ CLa méd G	28	8	10	640	154	287	3,1	0,21
P ₂ CLa lat D	30	7	10	742,5	133,5	252	1,33	0,51
P ₂ CLa méd D	29	7	10	667	147	267	1,06	0,59
P ₃ CLa lat G	26	7	7	605	127,5	87,5	6,95	0,03
P ₃ CLa méd G	26	7	7	585	127,5	107,5	3,31	0,19
P ₃ CLa lat D	28	7	6	637	149	75	4,97	0,08
P ₃ CLa méd D	28	7	7	651	147	105	3,42	0,18

Enthèses fibrocartilagineuses (2/2), membre postérieur.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

*Les résultats proches de la significativité sont indiqués par *.*

	N Actifs Sans activité	N Actifs Monte	N Actifs Traction	Somme Rangs Sans activité	Somme Rangs Monte	Somme Rangs Traction	H	niv. p
CFEP G	29	8	9	650	198,5	232,5	0,68	0,71
CFEP D	30	8	9	663	247	218	3,08	0,21
FFEP G	29	7	8	663,5	151,5	175	0,09	0,96
FFEP D	32	7	8	805,5	173,5	149	1,69	0,43
FFA G	32	8	10	811,5	257	206,5	3,61	0,16
FFA D	33	8	10	839	280	207	5,77	0,055*
FIP G	31	8	9	679	255,5	241,5	4,77	0,09
FIP D	31	8	9	712	227	237	1,54	0,46
FGC G	34	8	10	819	268,5	290,5	3,63	0,16
FGC D	34	8	10	860,5	234,5	283	0,79	0,67
TPL G	32	8	10	811	209	255	0,07	0,97
TPL D	33	7	9	865	157,5	202,5	2,64	0,27
P ₁ CLp lat G	32	8	10	744	192	339	9,34	0,009
P ₁ CLp méd G	32	8	10	712	196	367	18,57	< 0,01
P ₁ CLp lat D	33	8	10	775	225	326	7,72	0,02
P ₁ CLp méd D	33	8	10	799	213	314	3,54	0,17
P ₂ CLp lat G	26	8	10	631	196	163	3,76	0,15
P ₂ CLp méd G	26	8	9	572	212	162	2,83	0,24
P ₂ CLp lat D	30	8	9	742,5	215	170,5	2,17	0,34
P ₂ CLp méd D	30	8	9	723	222	183	1,77	0,41
P ₃ CLp lat G	25	7	9	570	135	156	2,07	0,36
P ₃ CLp méd G	26	7	9	628	119	156	4,64	0,1
P ₃ CLp lat D	26	7	9	617	133	153	3,18	0,2
P ₃ CLp méd D	26	7	8	582,5	145	133,5	1,92	0,39

Enthèses fibreuses.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	N Actifs Sans activité	N Actifs Monte	N Actifs Traction	Somme Rangs Sans activité	Somme Rangs Monte	Somme Rangs Traction	H	niv. p
HDE G	34	8	9	869	193	264	1,28	0,53
HDE D	33	8	9	819	204,5	251,5	0,8	0,67
HRD G	34	7	10	889	202	235	0,81	0,67
HRD D	33	7	10	888	202	185	4,1	0,13
P ₁ SDa G	32	8	9	809	161	255	1,81	0,4
P ₁ SDa D	33	8	10	781,5	210	334,5	4,01	0,13
P ₁ PMa lat G	32	8	9	828,5	147	249,5	2,59	0,37
P ₁ PMa méd G	32	8	9	884	158	183	3,7	0,16
P ₁ PMa lat D	33	8	10	801,5	261,5	263	2,39	0,3
P ₁ PMa méd D	33	8	10	816,5	226	283,5	0,78	0,68
FFS G	31	8	9	845	160	171	4,63	0,1
FFS D	31	8	8	788,5	181,5	158	1,81	0,4
P ₁ SDp G	32	7	10	800	157	268	0,69	0,71
P ₁ SDp D	33	8	10	815,5	220	290,5	1,57	0,46
P ₁ PMp lat G	32	7	10	791,5	187	246,5	0,14	0,93
P ₁ PMp méd G	32	8	10	765,5	278	231,5	4,85	0,09
P ₁ PMp lat D	33	8	10	881,5	164	280,5	1,61	0,45
P ₁ PMp méd D	33	8	10	977	139	210	7,11	0,028

Annexe 17 : Étude des référentiels - Comparaison des groupes « Monte » et « Traction », résultats du test U de Mann-Whitney.

Enthèses fibrocartilagineuses (1/2), membre antérieur.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	Somme Rangs Monte	Somme Rangs Traction	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Monte	N Actif Traction	2*(1-p) p exact
SBB G	51	102	15	-2,02	0,04	-2,22	0,03	8	9	0,046
SBB D	62	91	26	-0,96	0,34	-1,06	0,29	8	9	0,37
RBB G	72	99	36	-0,36	0,72	-0,4	0,69	8	10	0,76
RBB D	70	83	34	-0,19	0,85	-0,21	0,83	8	9	0,89
HSC G	60,5	59,5	14,5	1,47	0,14	1,63	0,1	6	9	0,14
HSC D	38,5	81,5	10,5	-2,03	0,04	-2,43	0,02	7	8	0,04
HIE G	64	89	28	-0,77	0,44	-1,38	0,17	8	9	0,48
HIE D	70	66	21	1,11	0,27	1,64	0,1	7	9	0,3
HIEc G	72	64	28	0,42	0,67	0,52	0,6	8	8	0,72
HIEc D	64,5	71,5	26,5	0,53	0,6	0,63	0,53	7	9	0,61
HFD G	46,5	89,5	18,5	-1,38	0,17	-1,64	0,1	7	9	0,17
HFD D	63,5	72,5	27,5	0,42	0,67	0,49	0,63	7	9	0,68
HUL G	67	86	31	0,39	0,7	0,44	0,66	7	10	0,74
HUL D	61,5	91,5	33,5	-0,15	0,88	-0,16	0,87	7	10	0,89
HCL G	98	73	18	1,95	0,05	2,35	0,02	8	10	0,05
HCL D	101	70	15	2,22	0,03	2,56	0,01	8	10	0,03
UTB G	76	95	40	0,00	1	0,00	1	8	10	1
UTB D	83	70	25	1,06	0,29	1,24	0,22	8	9	0,32
P ₁ CLa lat G	48	105	12	-2,31	0,02	-2,73	0,01	8	9	0,02
P ₁ CLa méd G	44	109	8	-2,69	0,01	-3,1	0,00	8	9	0,01
P ₁ CLa lat D	64	107	28	-1,07	0,29	-1,2	0,23	8	10	0,32
P ₁ CLa méd D	87	84	29	0,98	0,33	1,1	0,27	8	10	0,36
P ₂ CLa lat G	95,5	75,5	20,5	1,73	0,08	1,95	0,05*	8	10	0,08
P ₂ CLa méd G	94	77	22	1,6	0,11	1,84	0,07	8	10	0,12
P ₂ CLa lat D	74	79	24	1,07	0,28	1,24	0,22	7	10	0,31
P ₂ CLa méd D	72,5	80,5	25,5	0,93	0,35	1,09	0,28	7	10	0,36
P ₃ CLa lat G	59,5	45,5	17,5	0,89	0,37	1,47	0,14	7	7	0,38
P ₃ CLa méd G	56	49	21	0,45	0,65	0,63	0,53	7	7	0,71
P ₃ CLa lat D	58	33	12	1,29	0,2	1,76	0,08	7	6	0,23
P ₃ CLa méd D	59,5	45,5	17,5	0,89	0,37	1,14	0,25	7	7	0,38

Enthèses fibrocartilagineuses (2/2), membre postérieur.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	Somme Rangs Monte	Somme Rangs Traction	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Monte	N Actif Traction	$2*(1-p)$ exact
CFEP G	74	79	34	0,19	0,85	0,21	0,83	8	9	0,89
CFEP D	64	89	28	-0,77	0,44	-0,82	0,41	8	9	0,48
FFEP G	69	51	15	1,5	0,13	1,62	0,11	7	8	0,15
FFEP D	68	52	16	1,39	0,16	1,48	0,14	7	8	0,19
FFA G	58	113	22	-1,6	0,11	-1,84	0,07	8	10	0,12
FFA D	54	117	18	-1,95	0,05	-2,27	0,02	8	10	0,05
FIP G	79,5	73,5	28,5	0,72	0,47	0,98	0,33	8	9	0,48
FIP D	75	78	33	0,29	0,77	0,37	0,72	8	9	0,81
FGC G	83	88	33	0,62	0,53	0,75	0,46	8	10	0,57
FGC D	77,5	93,5	38,5	0,13	0,89	0,15	0,88	8	10	0,9
TPL G	77	94	39	0,09	0,93	0,16	0,87	8	10	0,97
TPL D	59,5	76,5	31,5	0	1			7	9	
P ₁ CLp lat G	76	95	40	0	1	0	1	8	10	1
P ₁ CLp méd G	80	91	36	0,36	0,72	0,41	0,68	8	10	0,76
P ₁ CLp lat D	68	103	32	-0,71	0,48	-0,85	0,39	8	10	0,51
P ₁ CLp méd D	68	103	32	-0,71	0,48	-0,85	0,39	8	10	0,51
P ₂ CLp lat G	90	81	26	1,24	0,21	1,49	0,14	8	10	0,24
P ₂ CLp méd G	85	68	23	1,25	0,21	1,47	0,14	8	9	0,24
P ₂ CLp lat D	84	69	24	1,15	0,25	1,36	0,17	8	9	0,28
P ₂ CLp méd D	84	69	24	1,15	0,25	1,36	0,17	8	9	0,28
P ₃ CLp lat G	62,5	73,5	28,5	0,32	0,75	0,38	0,71	7	9	0,76
P ₃ CLp méd G	59	77	31	-0,05	0,96	-0,06	0,95	7	9	1
P ₃ CLp lat D	62,5	73,5	28,5	0,32	0,75	0,38	0,71	7	9	0,76
P ₃ CLp méd D	61,5	58,5	22,5	0,64	0,52	0,73	0,46	7	8	0,54

Enthèses fibreuses.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	Somme Rangs Monte	Somme Rangs Traction	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Monte	N Actif Traction	2*(1-p) P exact
HDE G	64,5	88,5	28,5	-0,72	0,47	-0,98	0,33	8	9	0,48
HDE D	68,5	84,5	32,5	-0,34	0,74	-0,51	0,61	8	9	0,74
HRD G	66	87	32	0,29	0,77	0,34	0,74	7	10	0,81
HRD D	48,5	104,5	20,5	-1,42	0,16	-1,63	0,1	7	10	0,16
P ₁ SDa G	60	93	24	-1,15	0,25	-1,3	0,2	8	9	0,28
P ₁ SDa D	86	85	30	0,89	0,37	0,99	0,32	8	10	0,41
P ₁ PMa lat G	64,5	88,5	28,5	-0,72	0,47	-0,79	0,43	8	9	0,48
P ₁ PMa méd G	76	77	32	0,38	0,7	0,43	0,66	8	9	0,74
P ₁ PMa lat D	64	107	28	-1,07	0,29	-1,16	0,25	8	10	0,32
P ₁ PMa méd D	71,5	99,5	35,5	-0,4	0,69	-0,45	0,66	8	10	0,7
FFS G	73,5	79,5	34,5	0,14	0,89	0,17	0,86	8	9	0,89
FFS D	72	64	28	0,42	0,67	0,49	0,63	8	8	0,72
P ₁ SDp G	58	95	30	-0,49	0,63	-0,66	0,51	7	10	0,67
P ₁ SDp D	74,5	96,5	38,5	-0,13	0,89	-0,17	0,87	8	10	0,9
P ₁ PMp lat G	60,5	92,5	32,5	-0,24	0,81	-0,26	0,79	7	10	0,81
P ₁ PMp méd G	78,5	92,5	37,5	0,22	0,82	0,24	0,81	8	10	0,83
P ₁ PMp lat D	79,5	91,5	36,5	0,31	0,76	0,34	0,74	8	10	0,76
P ₁ PMp méd D	72	99	36	-0,36	0,72	-0,39	0,69	8	10	0,76

Annexe 18 : Étude des référentiels - Analyse de l'asymétrie dans le développement de changements enthésiques, valeurs des odds-ratios pour chaque enthèse.

ASYMÉTRIE GAUCHE-DROITE

Enthèses fibrocartilagineuses

	Sans activité	Monte	Traction
SBB	1	1,5	0,8
RBB	1,1	1	0,9
HSC	1,1	0,2	1,1
HIE	1,3		0,7
HIEc	1,1	0,9	0,8
HFD	0,6	0,3	1,3
HUL	0,6	1	1
HCL	0,7	1	0,8
UTB	0,6	2	0,9
P₁CLa lat	1	0	1,1
P₁CLa méd	1,7	0	1,1
P₂CLa lat	1	0,9	1
P₂CLa méd	1	1	1
P₃CLa lat	0,9	1,3	1
P₃CLa méd	1,1	1,3	1
CFEP	1,1	1	1
FFEP	1,1	1,2	0,8
FFA	0,8	1	0,9
FIP	1,1	0,5	1
FGC	1,1	0,7	1
TPL	0,6		
P₁CLp lat	1,5	0,5	1,3
P₁CLp méd	0,2	0,5	1,5
P₂CLp lat	1	1	1
P₂CLp méd	1,1	0,8	1
P₃CLp lat	1,2	1	1
P₃CLp méd	0,7	1,3	0,9
Total	1	0,8	1

Enthèses fibreuses

	Sans activité	Monte	Traction
HDE	1,2	1	1,5
HRD	0,8	1,5	0,6
P₁SDa	0,9	0,8	1,7
P₁PMa lat	1	1,3	1
P₁PMa méd	1	1,1	1,1
FFS	1,3	1,7	1,3
P₁SDp	1,7	0,6	1
P₁PMp lat	1	0,6	1,1
P₁PMp méd	1	0,6	1,1
Total	<i>1,1</i>	<i>1</i>	<i>1,2</i>

ASYMÉTRIE LATÉRALE-MÉDIALE

Enthèses fibrocartilagineuses

	Sans activité	Monte	Traction
P₁CLa G	1,2		0,9
P₁CLa D	2	1	0,9
P₂CLa G	0,9	0,9	1
P₂CLa D	0,9	1	1
P₃CLa G	0,9	1	1,2
P₃CLa D	1,2	1	1,2
P₁CLp G	3	1	0,8
P₁CLp D	0,4	1	1
P₂CLp G	1	1,2	1
P₂CLp D	1	1	1
P₃CLp G	1,7	1,0	1,2
P₃CLp D	1	1,3	1,1
Total	<i>1,3</i>	<i>1</i>	<i>1</i>

Enthèses fibreuses

	Sans activité	Monte	Traction
P₁PMa G	1,1	1	0,9
P₁PMa D	1	0,9	1
P₁PMp G	0,7	0,7	0,9
P₁PMp D	0,7	0,8	0,9
Total	<i>0,9</i>	<i>0,8</i>	<i>0,9</i>

ASYMÉTRIE ANTÉRIEURE-POSTÉRIEURE

Enthèses fibrocartilagineuses

	Sans activité	Monte	Traction
P₁CL lat G	2	0	1,3
P₁CL méd G	5	0	1,3
P₁CL lat D	3	1	1,5
P₁CL méd D	0,6	1	1,8
P₂CL lat G	0,9	1,2	1
P₂CL méd G	1	1,6	1
P₂CL lat D	0,9	1,3	1
P₂CL méd D	1,1	1,3	1
P₃CL lat G	1,2	1,3	1,5
P₃CL méd G	2,2	1,3	1,5
P₃CL lat D	1,4	1	1,5
P₃CL méd D	1,3	1,3	1,4
Total	<i>1,7</i>	<i>1,2</i>	<i>1,3</i>

Enthèses fibreuses

	Sans activité	Monte	Traction
P₁SD G	2,3	2,6	1,7
P₁SD D	4,2	2	1,3
P₁PM lat G	1,9	2,3	1
P₁PM lat D	1,8	1	1,1
P₁PM méd G	1,2	1,6	1
P₁PM méd D	1,2	0,9	1
<i>Total</i>	<i>2,1</i>	<i>1,7</i>	<i>1,2</i>

Annexe 19 : Étude des référentiels - Résultats annexes des analyses par Mesure Moyenne des Divergences (ou MMD)

ENTHÈSES FIBROCARILAGINEUSES GAUCHES

	HUL	HCL	P₁CLa lat	P₁CLa méd	P₃CLa lat	FIP	P₁CLp lat	P₁CLp méd
<i>N Monte</i>	7	8	8	8	7	8	8	8
<i>N Sans activité</i>	32	34	32	32	26	31	32	32
<i>N Traction</i>	10	10	9	9	7	9	10	10
% Monte	0.429	0.25	0	0	0.714	0.125	0.125	0.125
% Sans activité	0.281	0.088	0.188	0.156	0.462	0.094	0.094	0.031
% Traction	0.7	0.4	0.667	0.778	1	0.5	0.5	0.6

Nombre d'individus et fréquences relatives pour chaque variable active dans chaque groupe.

	Monte	Sans activité	Traction
Monte	<i>NA</i>	0.08	0.718
Sans activité	0.077	<i>NA</i>	0.873
Traction	0.113	0.068	<i>NA</i>

Valeurs des MMD et écart-types associés. Les résultats statistiquement significatifs sont indiqués en **gras**.

ENTHÈSES FIBROCARILAGINEUSES DROITES

	HSC	HCL	RBB	P₁CLa méd	P₃CLa lat	P₁CLp lat
<i>N Monte</i>	7	8	8	8	7	8
<i>N Sans activité</i>	33	33	34	33	28	33
<i>N Traction</i>	8	10	9	10	6	10
% Monte	1	0.25	0.625	0.25	0.571	0.25
% Sans activité	0.394	0.121	0.206	0.091	0.5	0.061
% Traction	0.625	0.5	0.667	0.7	1	0.4

Nombre d'individus et fréquences relatives pour chaque variable active dans chaque groupe.

	Monte	Sans activité	Traction
Monte	<i>NA</i>	0.373	0.231
Sans activité	0.089	<i>NA</i>	0.755
Traction	0.136	0.082	<i>NA</i>

Valeurs des MMD et écart-types associés. Les résultats statistiquement significatifs sont indiqués en **gras**.

Annexe 20 : Chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai - Ostéométrie.

MEMBRE ANTÉRIEUR

Humérus

		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10
G	GLI	290	282,7	299,5		285,3						296,9	295,5	292,4	289	324,5					266	286,6
D	GLI	291,4	281,8	299		288						296,5	295	291,8		326					267,5	287

Radius

		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10
G	LI		321	340		330		311				327		315	309,5	358,5		283,9	276			308
D	LI		326	336		328,5						330	327	313	310	357,7			278		309	310

Métacarpien III

		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10
G	GL		220	234,9		236,4		226,3				228		234,6	226,2	252,9		226	224,5		219,4	230
	LI		211,7	224,6		227,4		217,7				218,6	230	225,4	218,5	243,5		219,7	217,1		211,3	222
	SD		34,53	34,22		37,06		33,62					38,2	35,43	34,12	36,1		28,47	29,32		29,98	33,21
	MC10		48,56	51,12		49,49		47,93				48,65		51,88	50,94	55,03			42,85		45,25	49,22
	MC13		39,36	30,38		29,07		29,95				29,56		29,36	30,84	32,35		26,75	27,62		28,26	24,67
D	GL		218,5	232,3		236		226,4				229		234	226,9	252,9			225,4		220	230,4
	LI		211	222		227,5		216,9				219,2		224,1	218	242,5			217,6		211,7	221,9
	SD		35,39	34,44		36,88		34,69				36,02	37,48	35,48	33,71	36,07			29,21		29,83	32,7
	MC10		48,18			49,09		47,69				49,05	53,96	51,87	50,97	54,98			43,06		45,45	
	MC13		29,21			29,05		29,93				29,68	31,52	29,19	30,86	31,59			27,13		28,25	30,17

MEMBRE POSTÉRIEUR

Fémur

		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10
G	GL	401	395		411											442				317	374	
D	GL				412	398								410,5		440						403,5

Tibia

		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10
G	LI	334	329,5		329,5									324,5	325	362				275	322	322
D	LI	333	330,5		329								330,5	321	327	363		302		273,8	320	324

Métatarsien

		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	2.1	2.2	2.3	2.4	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10
G	GL	271,9	261,8	276,7	265,3		259,9							273	261,8	296				250,9	262	
	LI	264,9	257	270,4	259,4		252,2							265	255,2	292				245	256,4	261,3
	SD	33,55	30,17	35,02	33,06		29,46						34,1	33,27	30,58	32,93				25,28	28,94	31,42
	MT10	51,44	47,29	52,5	51,05		47,16							51,3	51,24	53,86				44,31	45,75	48,86
	MT13	28,04	28,13	31,13	29,19		29,46							29,17	29,78	31,44				26,73	28,24	30,56
D	GL	273	262,6		266,6								285,2	272,3	262,4	297	265			252,9	262,4	263,5
	LI	266,6	256,5		260,7								279,3	264,8	256,4	291,8	259,6			244,3	256,9	263
	SD		31,33		32,59								34,7	33,55	30,9	34,24	31,96			26,59	28,3	32,26
	MT10	50,42	47,24		51,09									51,5	51,25	54,77	49,54			43,21	45,79	49,49
	MT13	28,14	28,08		28,86								32,31	28,68	30,25	31,48	29,13				28,32	29,87

Annexe 21 : Chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai - Représentation squelettique.

Squelette axial

Cheval	Crâne	Mandibule	VC	VT	VL	VS	VCa	Côtes	Sternum	Hyoïde
1.1	1	2	7	18	6	5	1	36	1	
1.2	1	2	6	18	6	5	10	36	1	1
1.3	1	2	7	18				22	1	
1.4	1		0	13	6	5	3	20		1
1.5	1	2	7	18	6	5	3	29		
1.6										
1.7										
<i>Indéterminé</i>										
2.1	1	2	2							
2.2	1	2	4							
2.3	1	2	7	13				15		
2.4	1	2	7	14				18	1	
3.1	1	2	7	18	6	5	6	?	1	1
3.2	1	1	7	19	6	5	3	25	1	
3.3	1	2	7	18	6	5	4	34		
3.4	1	2	7	18	6	3		35		1
3.5		1	7	18	2	5		29		
3.6	1	2	7	15	5	5	1	35	1	1
3.7	1	2	4	14	6		1	5		1
3.8				3				2		
3.9	1	2	5	15	6	5	2	35	1	1
3.10		2	7	7	6	5		36	1	

Dents

Cheval	I1	I2	I3	C	P2	P3	P4	M1	M2	M3
1.1	4	3	4	NE	NE	NE	NE	NE	NE	NE
1.2	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4
1.3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4
1.4										
1.5	2	2	2	1	4	4	4	4	4	4
1.6										
1.7										
<i>Indéterminé</i>										
2.1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2.2	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4
2.3	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2
2.4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3.1*	3	3	2	4	4	4	4	4	4	4
3.2	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
3.3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3.4	1	1		3	4	4	4	4	4	4
3.5							1	1	1	1
3.6	2	4	3		4	4	4	4		
3.7					2	4	4	4		
3.8										
3.9	2	2	2		3	4	4	4	4	
3.10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

* Une P¹ gauche a été identifiée chez le cheval 3.1.

Ceinture et membre thoraciques

Cheval	Scapula	Humérus	Radio-Ulna	Carpe	Métacarpien	Phalange 1	Phalange 2	Phalange 3	Grands sésamoïdes	Petits sésamoïdes
1.1	2	2	1	1						
1.2	2	2	2	12	2	2	2	2	2	2
1.3	2	2	2	10	2	2	2	2	1	
1.4				1						
1.5	2	2	2	12	2	2	1		1	
1.6										
1.7			1	10	2	2	2	2	3	
<i>Indéterminé</i>										
2.1										
2.2										
2.3	2	2								
2.4	2	2	2	10	2	2	2	2	3	
3.1	2	2	2	4	2	1	2	2	2	1
3.2	2	2	2	8	2	2	2	2		
3.3	2	2	2	7	2	2			2	
3.4	2	2	2	7	2	2	1	2	2	2
3.5				1						
3.6	2	2	2	6	1	2	2	2		
3.7	2	2	2	3	2				2	
3.8	1	2	1							
3.9	2	2	2	9	2	2	2	1	1	
3.10	2	2	2		2			1		

Ceinture et membre pelviens

Cheval	Coxal	Fémur	Tibia (Fibula)	Patella	Tarse	Métatarsien	Phalange 1	Phalange 2	Phalange 3	Grands sésamoïdes	Petits sésamoïdes
1.1	2	2	2	2	12	2	2	2	2	2	2
1.2	2	2	2	2	10	2	2	2	2	2	2
1.3					2	1				1	
1.4	2	2	2 (1)	2	12	2	2	2	2	1	2
1.5	2	2		1							
1.6					6	1	1	1	1		
1.7											
<i>Indéterminé</i>								<i>1</i>	<i>1</i>		<i>1</i>
2.1											
2.2											
2.3											
2.4											
3.1	2	2	2 (1)	2	11	2	1	1	1		1
3.2	2	2	2	2	6	2	2	2	2	1	
3.3	2	2	2 (1)	2	10	2	2				
3.4	2	2	2	2	5	2	2	1	1	1	2
3.5	1	1	1		3	1	1	1	1	1	
3.6	2	2	2		9				1		
3.7	1				1		2	1	1		1
3.8	1	2	2		10	2					
3.9	2	2	2 (1)	1	4	2	2	2	1	2	
3.10	2	2	2	1	5	2					

Annexe 22 : Chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai - Liste des os manquants.

Chevaux de la fosse CV1

Fosse CV1 (1/2)	Dents	Squelette axial	Ceinture et membre antérieur	Ceinture et membre postérieur
1.1	Une incisive (I ² gauche ?)	Hyoïde Majorité des vertèbres caudales	Radio-ulna jusque phalange 3 gauche Radio-ulna (partie distale) jusque phalanges droites (sauf pisiforme droit) Os sésamoïdes	Fibulas Grands sésamoïdes droits
1.2	C inférieure droite	Partie caudale du crâne Atlas et quelques caudales	Triquetrum gauche Trapézoïde droit Grands sésamoïdes gauches	Fibulas Petits cunéiformes Métatarsien IV droit Grands sésamoïdes latéral gauche et médial droit
1.3	I ₁ droite I ₃ droite	Hyoïde Vertèbres lombaires Sacrum Vertèbres caudales Côtes 7 à 10, 14, 16 à 18 gauches Côtes 4, 6 à 10 droites	Triquetrums Trapézoïdes Métacarpiens II 3 grands sésamoïdes Petits sésamoïdes	Os coxaux Membres postérieurs 3 grands sésamoïdes Petits sésamoïdes
1.4	Totalité des dents	Mandibule Sternum Vertèbres cervicales Vertèbres thoraciques 1 à 5 Majorité des vertèbres caudales Côtes 1 à 9 gauches Côtes 1 à 7 droites	Scapulas Membres antérieurs (sauf pisiforme droit)	Fibula droite Métatarsien IV droit Grands sésamoïdes gauches Grand sésamoïde latéral droit
1.5	I et C supérieures C inférieure gauche	Hyoïde Sternum Majorité des vertèbres caudales Côtes 1, 14 à 16 gauches Côtes 2, 4, 18 droites	Triquetrum droit Hamatum droit Métacarpiens IV gauche et droit Phalange 2 droite Phalanges 3 Grands sésamoïdes médial gauche Grands sésamoïdes droits Petits sésamoïdes	Patella gauche Tibias jusque phalanges 3 Grands sésamoïdes Petits sésamoïdes

Fosse CV1 (2/2)	Dents	Squelette axial	Ceinture et membre antérieur	Ceinture et membre postérieur
1.6	Totalité des dents	Totalité du squelette axial	Ceinture et membre antérieur	Ceinture et membre pelviens droits Coxal gauche Fémur, tibia, fibula, patella gauches
1.7	Totalité des dents	Totalité du squelette axial	Scapula et humérus gauches Triquetrum, pisiforme et hamatum gauches Scapula, humérus, radio-ulna et pisiforme droits	Ceintures et membres pelviens
<i>Indéterminé</i>	Totalité des dents	Totalité du squelette axial	Ceintures et membres thoraciques	Ceintures et membres pelviens <i>sauf phalanges 2 et 3 droites</i>)

Chevaux de la fosse CV2

Fosse CV2	Dents	Squelette axial	Ceinture et membre antérieur	Ceinture et membre postérieur
2.1		Vertèbres cervicales 3 jusqu'aux caudales Hyoïde Sternum	Ceintures et membres thoraciques	Ceintures et membres pelviens
2.2	I ₂ droite	Vertèbres cervicales 5 jusqu'aux caudales Hyoïde Sternum	Ceintures et membres thoraciques	Ceintures et membres pelviens
2.3		Hyoïde Sternum Vertèbres thoraciques 14 à dernière caudale 11 côtes gauches 10 côtes droites	Radio-ulnas jusque phalanges 3	Ceintures et membres pelviens
2.4		Hyoïde Vertèbres thoraciques 15 à 18 Vertèbres lombaires, Sacrum Vertèbres caudales Côtes 2, 9 à 18 gauches Côtes 1, 6, 7, 15 à 18 droites	Triquetrum Pisiformes Métacarpiens II Métacarpien IV droit Grand sésamoïde médial droit	Ceintures et membres pelviens

Chevaux de la fosse CV3

Fosse CV3 (1/3)	Dents	Squelette axial	Ceinture et membre antérieur	Ceinture et membre postérieur
3.1	I ³ gauche I supérieures droites	Majorité des vertèbres caudales	Pisiformes Triquetrum Hamatum Trapézoïdes Semi-lunaire gauche Scaphoïde gauche Métacarpien II gauche Métacarpien IV droit Phalange 1 droite Grands sésamoïdes droits Petit sésamoïde gauche (?)	Fibula droite Petit cunéiforme gauche Métatarsiens II et IV droits Phalanges 1 droites Phalanges 3 droites Grands sésamoïdes Petit sésamoïde gauche (?)
3.2	I ₃ droite	Majorité des vertèbres caudales Côtes 1, 17, 18 gauches Côtes 1, 9, 10, 14 à 17 droites Hyoïde	Trapézoïdes Pisiforme, semi-lunaire, hamatum, capitulum droits Métacarpien II gauche Grands sésamoïdes Petits sésamoïdes	Fibulas Calcaneus, grand cunéiforme gauches Petits cunéiformes Cuboïdes Métatarsien II gauche Métatarsiens IV Grand sésamoïde latéral droit Grands sésamoïdes médiaux Petits sésamoïdes
3.3	I ¹ gauche	Hyoïde Sternum Majorité des vertèbres caudales Côtes 2 et 3 gauches (?)	Ulna droit Pisiformes Trapézoïdes Triquetrum, scaphoïde, hamatum gauches Métacarpiens IV Métacarpien II droit Phalange 2 gauche Phalange 3 gauche Grands sésamoïdes gauches	Fibula gauche Petits cunéiformes Métatarsiens II et IV Phalanges 2 Phalanges 3 Grands sésamoïdes Petits sésamoïdes

Fosse CV3 (2/3)	Dents	Squelette axial	Ceinture et membre antérieur	Ceinture et membre postérieur
3.4	I et C supérieures gauches I ³ droite I inférieures	Sternum Vertèbres sacrées 4 et 5 Toutes les vertèbres caudales Côtes 4, 6 et 15 gauches	Ulna gauche Pisiforme, triquetrum, semi-lunaire, hamatum, capitatum, trapézoïde gauches Hamatum droit Métacarpiens II et IV Phalange 2 gauche Grand sésamoïde médial droit Grand sésamoïde latéral gauche	Fibulas Naviculaire gauche Grand cunéiforme gauche Calcanéus droit Cuboïdes Petits cunéiformes Métatarsiens II et IV Phalange 2 gauche Phalange 3 indéterminée Grands sésamoïdes gauches Grand sésamoïde médial droit
3.5	Dents supérieures I et C inférieures Dents inférieures droites P ₂ et P ₃ gauches	Crâne Hémi-mandibule droite Sternum Hyoïde Vertèbres lombaires 1 à 4 Toutes les vertèbres caudales Côtes 3, 12, 14, 15, 17, 18 droites Côte 18 gauche	Scapulas Membres thoraciques (<i>sauf trapézoïde, métacarpiens II et IV gauches</i>) Grands sésamoïdes Petits sésamoïdes	Os coxal gauche Membre pelvien gauche (<i>sauf grand cunéiforme</i>) Patella droite Fibula droite Petit et grand cunéiformes, naviculaire, cuboïde droits Métatarsiens II et IV droits Grands sésamoïdes gauches Grand sésamoïde médial Petit sésamoïdes
3.6	I ₁ et I ₃ gauches I ₁ droite	Vertèbres thoraciques 2, 3 et 10 (?) Vertèbre lombaire 3 Majorité des vertèbres caudales Côte 15 droite	Ulna gauche Triquetrum gauche Métacarpiens II et IV Carpe jusque phalange 3 droits Grands sésamoïdes Petits sésamoïdes	Patellas Fibulas Métatarsiens Phalanges 1 et 2 Phalange 3 gauche Grands sésamoïdes Petits sésamoïdes
3.7	I supérieures P ² droite I inférieures P ₂ gauche	Vertèbres cervicales 3 et 5 4 vertèbres thoraciques (<i>position indéterminée</i>) Sacrum Majorité des vertèbres caudales Côte 2 et 4 à 18 gauches 15 côtes droites (<i>position indéterminée</i>)	Os du carpe gauche Triquetrum, pisiforme, trapézoïde, hamatum droits Métacarpiens II et IV droits Phalanges	Fémurs Patellas Tibias et fibulas Os du tarse (<i>sauf calcanéum gauche</i>) Métatarsiens (<i>sauf métatarsien IV gauche</i>) Phalanges

Fosse CV3 (3/3)	Dents	Squelette axial	Ceinture et membre antérieur	Ceinture et membre postérieur
3.8	Totalité des dents	Tête Hyoïde Sternum Colonne vertébrale (<i>sauf vertèbre thoracique 1 et deux autres thoraciques</i>) Côtes (<i>sauf 1 côte droite et 1 côte gauche de position indéterminée</i>)	Scapula gauche Radio-ulna gauche Métacarpiens jusque phalanges 3 Grands sésamoïdes Petits sésamoïdes	Os coxal droit Patellas Fibulas Petits cunéiformes Métatarsiens II et IV gauches Phalanges 2 et 3 droites Grands sésamoïdes Petit sésamoïde droit
3.9	I inférieures P ₂ gauche	Atlas Axis Vertèbres thoraciques 1, 11 et 12 Majorité des vertèbres caudales Côte 1 gauche	Hamatum gauche Triquetrum droit Trapézoïde droit Pisiformes Phalange 3 gauche Grand sésamoïde latéral gauche Grands sésamoïdes droits Petits sésamoïdes	Patella gauche Fibula droite Os du tarse gauches Calcanéum droit Cuboïde droit Métatarsiens II et IV Phalange 3 gauche Grands sésamoïdes droits Petits sésamoïdes
3.10	Dents supérieures M et P inférieures gauches I et C inférieures droites	Crâne Hyoïde Vertèbres thoraciques 7 à 17 Vertèbres caudales	Os du carpe gauches et droits Métacarpiens II et IV Phalanges 1 et 2 Phalange 3 (<i>position indéterminée</i>) Grands cunéiformes Petits cunéiformes	Patella gauche Fibulas Calcanéus, petit cunéiforme et cuboïde gauches Naviculaire, cuboïde, petit et grand cunéiformes droits Métatarsien II droit Phalanges Grands cunéiformes Petits cunéiformes

Annexe 23 : Chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai - Influence de l'âge au décès et développement des changements enthésiques, résultats du test U de Mann-Whitney.

Enthèses fibrocartilagineuses (membre antérieur).

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	Somme Rangs [5-10]	Somme Rangs [11-15]	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif [5-10]	N Actif [11-15]	2*(1-p) p exact
SBB G	18	18	8	0	1	0	1	4	4	1
SBB D	10,5	10,5	4,5	0	1	0	1	3	3	1
RBB G	12	24	2	-1,73	0,08	-2,05	0,04	4	4	0,11
RBB D	10	26	4	-1,04	0,30	-1,23	0,22	3	5	0,39
HSC G	10,5	10,5	4,5	0	1	0	1	3	3	1
HSC D	17	11	5	0,35	0,72	0,41	0,68	4	3	0,86
HIE G	15	30	5	-1,22	0,22	-1,69	0,09	4	5	0,29
HIE D	8	20	2	-1,41	0,16	-1,79	0,07	3	4	0,23
HIEc G	6,5	8,5	2,5	0,29	0,77	0,33	0,74	2	3	0,80
HIEc D	12	9	3	0,65	0,51	1	0,32	3	3	0,70
HFD G	9	27	3	-1,34	0,18	-1,59	0,11	3	5	0,25
HFD D	20,5	24,5	9,5	0,12	0,90	0,17	0,87	4	5	0,90
HUL G	16	20	6	-0,58	0,56	-1	0,32	4	4	0,69
HUL D	14	14	4	-0,71	0,48	-1,15	0,25	4	3	0,63
HCL G	18	18	8	0	1			4	4	
HCL D	18	18	8	0	1			4	4	
UTB G	16	20	6	-0,58	0,56	-1	0,32	4	4	0,69
UTB D	12	24	6	-0,45	0,65	-0,77	0,44	3	5	0,79
P ₁ CLa lat G	9	19	3	-1,06	0,29	-1,34	0,18	3	4	0,40
P ₁ CLa méd G	10,5	10,5	4,5	0	1			3	3	
P ₁ CLa lat D	6	9	3	0	1			2	3	
P ₁ CLa méd D	6	4	1	0,77	0,44	1	0,32	2	2	0,67
P ₂ CLa lat G			0	0	1	0	1	1	2	0
P ₂ CLa méd G			0	0	1	0	1	1	2	0
P ₂ CLa lat D	6,5	8,5	2,5	0,29	0,77	0,33	0,74	2	3	0,80
P ₂ CLa méd D	3	7	0	-1,55	0,12	-1,73	0,08	2	2	0,33
P ₃ CLa lat G			0	0	1	0	1	0	4	0
P ₃ CLa méd G			0	0	1	0	1	1	4	0
P ₃ CLa lat D	4	6	1	-0,77	0,44	-1	0,32	2	2	0,67
P ₃ CLa méd D			0	0	1	0	1	2	1	0

Enthèses fibrocartilagineuses (membre postérieur).

Les résultats significatifs sont notés en gras (p < 0,05).

	Somme Rangs [5-10]	Somme Rangs [11-15]	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif [5-10]	N Actif [11-15]	2*(1-p) p exact
CFEP G	6,5	8,5	2,5	0,29	0,77	0,33	0,74	2	3	0,80
CFEP D	8	13	3	0,46	0,64	0,56	0,58	2	4	0,80
FFEP G			0	0	1	0	1	1	1	0
FFEP D			0	0	1	0	1	0	2	0
FFA G			0	0	1	0	1	1	2	0
FFA D			0	0	1	0	1	1	1	0
FIP G	4,5	10,5	1,5	-0,87	0,39	-1,22	0,22	2	3	0,40
FIP D			0	0	1	0	1	0	3	0
FGC G	7	21	4	-0,39	0,70	-0,63	0,53	2	5	0,86
FGC D			0	0	1	0	1	1	4	0
TPL G	7	14	4	0	1			2	4	
TPL D	8	20	5	0	1			2	5	
P ₁ CLp lat G	5	10	2	-0,58	0,56	-0,82	0,41	2	3	0,80
P ₁ CLp méd G	10,5	17,5	4,5	-0,53	0,60	-0,87	0,39	3	4	0,63
P ₁ CLp lat D			0	0	1	0	1	1	4	0
P ₁ CLp méd D	5	16	2	-0,93	0,35	-1,12	0,26	2	4	0,53
P ₂ CLp lat G			0	0	1	0	1	1	2	0
P ₂ CLp méd G			0	0	1	0	1	1	4	0
P ₂ CLp lat D			0	0	1	0	1	0	3	0
P ₂ CLp méd D			0	0	1	0	1	0	3	0
P ₃ CLp lat G			0	0	1	0	1	0	3	0
P ₃ CLp méd G			0	0	1	0	1	1	3	0
P ₃ CLp lat D			0	0	1	0	1	0	2	0
P ₃ CLp méd D			0	0	1	0	1	0	0	0

Enthèses fibreuses.

	Somme Rangs [5-10]	Somme Rangs [11-15]	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif [5-10]	N Actif [11-15]	2*(1-p) p exact
HDE G	18	18	8	0	1	0	1	4	4	1
HDE D	10,5	10,5	4,5	0	1			3	3	
HRD G	20	25	10	0	1			4	5	
HRD D	16	29	6	-0,98	0,33	-1,35	0,18	4	5	0,41
P ₁ SDa G	8	7	2	-0,58	0,56	-0,65	0,52	3	2	0,80
P ₁ SDa D	4	6	1	-0,77	0,44	-1,00	0,32	2	2	0,67
P ₁ PMa lat G	10	18	4	-0,71	0,48	-0,79	0,43	3	4	0,63
P ₁ PMa méd G	10,5	10,5	4,5	0	1			3	3	
P ₁ PMa lat D	6,5	8,5	2,5	0,29	0,77	0,33	0,74	2	3	0,80
P ₁ PMa méd D	5	5	2	0	1	0	1	2	2	1
FFS G	5	23	2	-1,16	0,25	-1,34	0,18	2	5	0,38
FFS D	4	24	1	-1,55	0,12	-1,79	0,07	2	5	0,19
P ₁ SDp G	8	13	2	-1,09	0,28	-1,29	0,20	3	3	0,40
P ₁ SDp D			0	0	1	0	1	1	4	0
P ₁ PMp lat G	9	19	3	-1,06	0,29	-1,15	0,25	3	4	0,40
P ₁ PMp méd G	8,5	12,5	2,5	-0,87	0,38	-0,94	0,35	3	3	0,40
P ₁ PMp lat D			0	0	1	0	1	1	4	0
P ₁ PMp méd D			0	0	1	0	1	1	4	0

**Annexe 24 : Chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai - Comparaison avec le groupe
« Sans activité ».**

Enthèses fibrocartilagineuses (membre antérieur).

Les résultats significatifs sont notés en gras (p < 0,05).

	Somme Rangs Tournai	Somme Rangs Sans activité	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Tournai	N Actif Sans activité	2*(1-p) exact
SBB G	169,5	776,5	124,5	-0,85	0,39	-0,98	0,33	9	34	0,40
SBB D	118	702	97	-0,19	0,85	-0,23	0,82	6	34	0,87
RBB G	135	645	99	-0,87	0,38	-1,14	0,25	8	31	0,40
RBB D	151,5	794,5	115,5	-0,76	0,44	-1,04	0,30	8	35	0,45
HSC G	151	710	80	0,92	0,36	1,07	0,29	6	35	0,38
HSC D	188	715	120	0,51	0,61	0,60	0,55	8	34	0,63
HIE G	219	771	164	-0,17	0,87	-0,23	0,82	10	34	0,88
HIE D	182	721	126	0,32	0,75	0,47	0,64	8	34	0,77
HIEc G	142,5	637,5	76,5	0,88	0,38	1,10	0,27	6	33	0,39
HIEc D	147,5	632,5	104,5	0,27	0,78	0,38	0,71	7	32	0,79
HFD G	217,5	728,5	133,5	0,58	0,56	0,80	0,43	9	34	0,57
HFD D	199	791	144	-0,73	0,47	-0,90	0,37	10	34	0,48
HUL G	148,5	712,5	112,5	-0,64	0,52	-0,86	0,39	8	33	0,53
HUL D	119,5	660,5	83,5	-1,41	0,16	-1,67	0,09	8	31	0,16
HCL G	189	801	144	-0,39	0,69	-0,90	0,37	9	35	0,71
HCL D	180	766	135	-0,54	0,59	-1,07	0,29	9	34	0,61
UTB G	182,5	678,5	137,5	-0,20	0,84	-0,33	0,74	9	32	0,84
UTB D	191,5	754,5	146,5	-0,19	0,85	-0,26	0,80	9	34	0,85
P ₁ CLa lat G	177	684	123	0,30	0,77	0,43	0,67	8	33	0,78
P ₁ CLa méd G	105	675	84	-0,58	0,56	-1,01	0,31	6	33	0,58
P ₁ CLa lat D	105	715	84	-0,68	0,50	-1,10	0,27	6	34	0,52
P ₁ CLa méd D	89	652	57	0,52	0,60	0,98	0,33	4	34	0,63
P ₂ CLa lat G	57,5	470,5	35,5	0,52	0,61	0,60	0,55	3	29	0,62
P ₂ CLa méd G	69	459	24	1,26	0,21	1,43	0,15	3	29	0,23
P ₂ CLa lat D	114	552	56	0,98	0,33	1,10	0,27	5	31	0,35
P ₂ CLa méd D	82	513	48	0,64	0,52	0,71	0,48	4	30	0,55
P ₃ CLa lat G	61	435	51	-0,18	0,86	-0,20	0,84	4	27	0,89
P ₃ CLa méd G	74,5	453,5	59,5	-0,42	0,68	-0,48	0,63	5	27	0,69
P ₃ CLa lat D	81,5	479,5	44,5	0,74	0,46	0,86	0,39	4	29	0,47
P ₃ CLa méd D	54,5	473,5	38,5	0,32	0,75	0,38	0,71	3	29	0,76

Enthèses fibrocartilagineuses (membre postérieur).

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	Somme Rangs Tournoi	Somme Rangs Sans activité	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Tournoi	N Actif Sans activité	$2*(1-p)$ exact
CFEP G	166	537	72	1,28	0,20	1,46	0,14	7	30	0,21
CFEP D	167	613	117	0,24	0,81	0,28	0,78	8	31	0,82
FFEP G	41,5	486,5	21,5	0,66	0,51	0,71	0,48	2	30	0,53
FFEP D	72,5	593,5	32,5	0,97	0,33	1,05	0,29	3	33	0,35
FFA G	64	602	41	0,49	0,63	0,55	0,58	3	33	0,66
FFA D	120	621	26	2,00	0,046	2,28	0,02	4	34	0,046
FIP G	166,5	613,5	85,5	0,97	0,33	1,11	0,27	7	32	0,34
FIP D	116	587	59	0,93	0,35	1,08	0,28	5	32	0,37
FGC G	269,5	720,5	90,5	1,95	0,051	2,22	0,03	9	35	0,05
FGC D	191	712	82	1,37	0,17	1,56	0,12	7	35	0,18
TPL G	133	687	105	-0,37	0,71	-0,82	0,41	7	33	0,73
TPL D	152	751	116	-0,64	0,52	-1,14	0,25	8	34	0,54
P ₁ CLp lat G	145,5	634,5	73,5	0,99	0,32	1,71	0,09	6	33	0,33
P ₁ CLp méd G	181	680	119	0,43	0,67	1,15	0,25	8	33	0,69
P ₁ CLp lat D	134	686	91	0,42	0,68	0,91	0,36	6	34	0,70
P ₁ CLp méd D	163,5	697,5	102,5	0,57	0,57	0,88	0,38	7	34	0,58
P ₂ CLp lat G	53	443	43	-0,65	0,52	-0,71	0,48	4	27	0,55
P ₂ CLp méd G	148	413	35	2,15	0,03	2,52	0,01	6	27	0,03
P ₂ CLp lat D	65,5	564,5	55,5	-0,34	0,74	-0,38	0,70	4	31	0,75
P ₂ CLp méd D	87	543	47	0,78	0,44	0,93	0,35	4	31	0,47
P ₃ CLp lat G	69	396	45	0,43	0,67	0,51	0,61	4	26	0,70
P ₃ CLp méd G	57	471	42	-1,32	0,19	-1,70	0,09	5	27	0,20
P ₃ CLp lat D	25,5	409,5	22,5	-0,39	0,70	-0,47	0,64	2	27	0,71
P ₃ CLp méd D	39	396	18	0,77	0,44	0,97	0,33	2	27	0,49

Enthèses fibreuses.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

(*) indique les résultats proches de la significativité ($0,05 \leq p < 0,06$).

	Somme Rangs Tournoi	Somme Rangs Sans activité	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Tournoi	N Actif Sans activité	2*(1-p) p exact
HDE G	186	760	130	0,31	0,75	0,46	0,64	8	35	0,77
HDE D	114	706	93	-0,34	0,73	-0,59	0,55	6	34	0,75
HRD G	280	755	125	1,37	0,17	1,90	0,058*	10	35	0,18
HRD D	256	734	139	0,87	0,39	1,06	0,29	10	34	0,40
P ₁ SDa G	103,5	676,5	82,5	-0,64	0,52	-0,72	0,47	6	33	0,53
P ₁ SDa D	136,5	643,5	48,5	1,53	0,13	1,72	0,09	5	34	0,13
P ₁ PMa lat G	168	693	132	0	1	0	1	8	33	1
P ₁ PMa méd G	126	654	93	0,23	0,82	0,26	0,79	6	33	0,83
P ₁ PMa lat D	115	705	94	-0,30	0,76	-0,33	0,74	6	34	0,78
P ₁ PMa méd D	88	653	58	0,48	0,63	0,52	0,60	4	34	0,66
FFS G	183	637	138	-0,05	0,96	-0,06	0,95	9	31	0,97
FFS D	158,5	661,5	113,5	-0,84	0,40	-1,06	0,29	9	31	0,41
P ₁ SDp G	169	651	90	0,91	0,36	1,17	0,24	7	33	0,38
P ₁ SDp D	141	679	84	0,68	0,50	1,03	0,30	6	34	0,52
P ₁ PMp lat G	154,5	706,5	118,5	-0,44	0,66	-0,49	0,62	8	33	0,66
P ₁ PMp méd G	166,5	653,5	92,5	0,82	0,41	0,93	0,35	7	33	0,42
P ₁ PMp lat D	87	733	66	-1,36	0,17	-1,51	0,13	6	34	0,18
P ₁ PMp méd D	130	690	95	0,27	0,79	0,31	0,76	6	34	0,81

**Annexe 25 : Chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai - Comparaison avec le groupe
« Monte ».**

Enthèses fibrocartilagineuses (membre antérieur).

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	Somme Rangs Tournai	Somme Rangs Monte	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Tournai	N Actif Monte	2*(1-p) p exact
SBB G	88	65	29	0,67	0,50	0,81	0,42	9	8	0,54
SBB D	41	64	20	-0,52	0,61	-0,60	0,55	6	8	0,66
RBB G	69,5	66,5	30,5	0,16	0,87	0,18	0,86	8	8	0,88
RBB D	63	73	27	-0,53	0,60	-0,58	0,56	8	8	0,65
HSC G	48	30	9	1,44	0,15	1,68	0,09	6	6	0,18
HSC D	50	70	14	-1,62	0,11	-2,11	0,03	8	7	0,12
HIE G	103	68	32	0,71	0,48	1,30	0,19	10	8	0,51
HIE D	71	49	21	0,81	0,42	1,37	0,17	8	7	0,46
HIEc G	51	54	18	0,77	0,44	0,93	0,35	6	8	0,49
HIEc D	52,5	52,5	24,5	0	1	0	1	7	7	1
HFD G	82,5	53,5	25,5	0,64	0,53	0,85	0,40	9	7	0,54
HFD D	77	76	22	-1,27	0,20	-1,53	0,13	10	7	0,23
HUL G	55,5	64,5	19,5	-0,98	0,33	-1,28	0,20	8	7	0,34
HUL D	55,5	64,5	19,5	-0,98	0,33	-1,28	0,20	8	7	0,34
HCL G	72	81	27	-0,87	0,39	-1,55	0,12	9	8	0,42
HCL D	72	81	27	-0,87	0,39	-1,55	0,12	9	8	0,42
UTB G	67	86	22	-1,35	0,18	-1,70	0,09	9	8	0,20
UTB D	80	73	35	-0,10	0,92	-0,13	0,90	9	8	0,96
P ₁ CLa lat G	76	60	24	0,84	0,40	1,46	0,14	8	8	0,44
P ₁ CLa méd G	45	60	24	0	1			6	8	
P ₁ CLa lat D	39	66	18	-0,77	0,44	-1,27	0,20	6	8	0,49
P ₁ CLa méd D	26	52	16	0	1	0	1	4	8	1
P ₂ CLa lat G	22,5	43,5	7,5	0,92	0,36	1,07	0,28	3	8	0,38
P ₂ CLa méd G	25	41	5	1,43	0,15	1,67	0,10	3	8	0,19
P ₂ CLa lat D	41	37	9	1,38	0,17	1,56	0,12	5	7	0,20
P ₂ CLa méd D	28	38	10	0,76	0,45	0,84	0,40	4	7	0,53
P ₃ CLa lat G	27	39	11	0,57	0,57	0,68	0,50	4	7	0,65
P ₃ CLa méd G	34,5	43,5	15,5	0,32	0,75	0,40	0,69	5	7	0,76
P ₃ CLa lat D	28,5	37,5	9,5	0,85	0,40	0,98	0,33	4	7	0,41
P ₃ CLa méd D	19	36	8	0,57	0,57	0,65	0,51	3	7	0,67

Enthèses fibrocartilagineuses (membre postérieur).

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	Somme Rangs Tournoi	Somme Rangs Monte	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Tournoi	N Actif Monte	2*(1-p) P exact
CFEP G	61,5	58,5	22,5	0,64	0,52	0,70	0,49	7	8	0,54
CFEP D	56,5	79,5	20,5	-1,21	0,23	-1,32	0,19	8	8	0,23
FFEP G	13	32	4	0,88	0,38	1,05	0,29	2	7	0,50
FFEP D	21	34	6	1,03	0,31	1,13	0,26	3	7	0,38
FFA G	17	49	11	-0,20	0,84	-0,26	0,79	3	8	0,92
FFA D	30	48	12	0,68	0,50	1,05	0,29	4	8	0,57
FIP G	51,5	68,5	23,5	-0,52	0,60	-0,75	0,45	7	8	0,61
FIP D	36	55	19	0,15	0,88	0,20	0,84	5	8	0,94
FGC G	85,5	67,5	31,5	0,43	0,67	0,65	0,51	9	8	0,67
FGC D	62	58	22	0,69	0,49	0,90	0,37	7	8	0,54
TPL G	52,5	67,5	24,5	-0,41	0,69	-0,94	0,35	7	8	0,69
TPL D	64	56	28	0	1			8	7	
P ₁ CLp lat G	50,5	54,5	18,5	0,71	0,48	0,99	0,32	6	8	0,49
P ₁ CLp méd G	68,5	67,5	31,5	0,05	0,96	0,09	0,93	8	8	0,96
P ₁ CLp lat D	43	62	22	-0,26	0,80	-0,36	0,72	6	8	0,85
P ₁ CLp méd D	57	63	27	0,12	0,91	0,15	0,88	7	8	0,96
P ₂ CLp lat G	23	55	13	-0,51	0,61	-0,57	0,57	4	8	0,68
P ₂ CLp méd G	53	52	16	1,03	0,30	1,15	0,25	6	8	0,34
P ₂ CLp lat D	23	55	13	-0,51	0,61	-0,57	0,57	4	8	0,68
P ₂ CLp méd D	28	50	14	0,34	0,73	0,37	0,71	4	8	0,81
P ₃ CLp lat G	28,5	37,5	9,5	0,85	0,40	0,98	0,33	4	7	0,41
P ₃ CLp méd G	32	46	17	-0,08	0,94	-0,09	0,92	5	7	1,00
P ₃ CLp lat D	10,5	34,5	6,5	0,15	0,88	0,17	0,87	2	7	0,89
P ₃ CLp méd D	13	32	4	0,88	0,38	1,07	0,29	2	7	0,50

Enthèses fibreuses.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	Somme Rangs Tournai	Somme Rangs Monte	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Tournai	N Actif Monte	$2*(1-p)$ exact
HDE G	72	64	28	0,42	0,67	0,62	0,54	8	8	0,72
HDE D	42	63	21	-0,39	0,70	-0,87	0,39	6	8	0,75
HRD G	95	58	30	0,49	0,63	0,73	0,46	10	7	0,67
HRD D	93	60	32	0,29	0,77	0,40	0,69	10	7	0,81
P ₁ SDa G	45,5	59,5	23,5	0,06	0,95	0,08	0,94	6	8	0,95
P ₁ SDa D	41	50	14	0,88	0,38	1,04	0,30	5	8	0,44
P ₁ PMa lat G	77,5	58,5	22,5	1,00	0,32	1,12	0,26	8	8	0,33
P ₁ PMa méd G	57	48	12	1,55	0,12	1,97	0,048	6	8	0,14
P ₁ PMa lat D	37	68	16	-1,03	0,30	-1,09	0,27	6	8	0,34
P ₁ PMa méd D	27	51	15	0,17	0,87	0,18	0,86	4	8	0,93
FFS G	91,5	61,5	25,5	1,01	0,31	1,17	0,24	9	8	0,32
FFS D	78,5	74,5	33,5	-0,24	0,81	-0,28	0,78	9	8	0,81
P ₁ SDp G	60	45	17	0,96	0,34	1,21	0,23	7	7	0,38
P ₁ SDp D	46	59	23	0,13	0,90	0,16	0,87	6	8	0,95
P ₁ PMp lat G	58,5	61,5	22,5	-0,64	0,52	-0,70	0,49	8	7	0,54
P ₁ PMp méd G	48	72	20	-0,93	0,35	-0,98	0,32	7	8	0,40
P ₁ PMp lat D	43	62	22	-0,26	0,80	-0,31	0,76	6	8	0,85
P ₁ PMp méd D	59	46	10	1,81	0,07	2,12	0,03	6	8	0,08

**Annexe 26 : Chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai - Comparaison avec le groupe
« Traction ».**

Enthèses fibrocartilagineuses (membre antérieur).

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	Somme Rangs Tournai	Somme Rangs Traction	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Tournai	N Actif Traction	2*(1-p) p exact
SBB G	68	103	23	-1,55	0,12	-1,71	0,09	9	9	0,14
SBB D	40	80	19	-0,94	0,35	-1,05	0,30	6	9	0,39
RBB G	85	86	31	0,80	0,42	0,92	0,36	8	10	0,46
RBB D	76	77	32	0,38	0,70	0,43	0,67	8	9	0,74
HSC G	44	76	23	-0,47	0,64	-0,52	0,60	6	9	0,69
HSC D	60	76	24	-0,84	0,40	-0,92	0,36	8	8	0,44
HIE G	99	91	44	-0,08	0,93	-0,12	0,91	10	9	0,97
HIE D	69	84	33	-0,29	0,77	-0,37	0,72	8	9	0,81
HIEc G	48	57	21	0,39	0,70	0,45	0,65	6	8	0,75
HIEc D	54,5	81,5	26,5	-0,53	0,60	-0,63	0,53	7	9	0,61
HFD G	76,5	94,5	31,5	-0,79	0,43	-0,92	0,36	9	9	0,44
HFD D	89	101	34	-0,90	0,37	-1,11	0,27	10	9	0,40
HUL G	52,5	118,5	16,5	-2,09	0,04	-2,38	0,02	8	10	0,03
HUL D	52	119	16	-2,13	0,03	-2,40	0,02	8	10	0,03
HCL G	72	118	27	-1,47	0,14	-2,08	0,04	9	10	0,16
HCL D	67,5	122,5	22,5	-1,84	0,07	-2,41	0,02	9	10	0,07
UTB G	72,5	117,5	27,5	-1,43	0,15	-1,77	0,08	9	10	0,16
UTB D	72	99	27	-1,19	0,23	-1,41	0,16	9	9	0,26
P ₁ CLa lat G	55	98	19	-1,64	0,10	-1,82	0,07	8	9	0,11
P ₁ CLa méd G	27	93	6	-2,47	0,01	-2,79	0,01	6	9	0,01
P ₁ CLa lat D	33	103	12	-1,95	0,051	-2,27	0,02	6	10	0,06
P ₁ CLa méd D	20,5	84,5	10,5	-1,34	0,18	-1,50	0,13	4	10	0,19
P ₂ CLa lat G	33	58	3	2,03	0,04	2,28	0,02	3	10	0,049
P ₂ CLa méd G	27,5	63,5	8,5	1,10	0,27	1,22	0,22	3	10	0,29
P ₂ CLa lat D	49	71	16	1,10	0,27	1,18	0,24	5	10	0,31
P ₂ CLa méd D	33	72	17	0,42	0,67	0,47	0,64	4	10	0,73
P ₃ CLa lat G	31	35	7	1,32	0,19	1,97	0,049	4	7	0,23
P ₃ CLa méd G	37	41	13	0,73	0,46	0,97	0,33	5	7	0,53
P ₃ CLa lat D	31	24	3	1,92	0,055	2,41	0,02	4	6	0,07
P ₃ CLa méd D	22	33	5	1,25	0,21	1,57	0,12	3	7	0,27

Enthèses fibrocartilagineuses (membre postérieur).

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	Somme Rangs Tournai	Somme Rangs Traction	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Tournai	N Actif Traction	$2*(1-p)$ exact
CFEP G	62,5	73,5	28,5	0,32	0,75	0,34	0,73	7	9	0,76
CFEP D	71	82	35	-0,10	0,92	-0,10	0,92	8	9	0,96
FFEP G	13,5	41,5	5,5	0,65	0,51	0,69	0,49	2	8	0,53
FFEP D	25	41	5	1,43	0,15	1,51	0,13	3	8	0,19
FFA G	26,5	64,5	9,5	0,93	0,35	1,10	0,27	3	10	0,37
FFA D	46	59	4	2,26	0,02	2,63	0,01	4	10	0,02
FIP G	61	75	30	0,16	0,87	0,20	0,84	7	9	0,92
FIP D	40,5	64,5	19,5	0,40	0,69	0,51	0,61	5	9	0,70
FGC G	102,5	87,5	32,5	1,02	0,31	1,33	0,18	9	10	0,32
FGC D	71,5	81,5	26,5	0,83	0,41	1,04	0,30	7	10	0,42
TPL G	59,5	93,5	31,5	-0,34	0,73	-0,84	0,40	7	10	0,74
TPL D	72	81	36	0	1			8	9	
P ₁ CLp lat G	46,5	89,5	25,5	-0,49	0,63	-0,54	0,59	6	10	0,64
P ₁ CLp méd G	59	112	23	-1,51	0,13	-1,73	0,08	8	10	0,15
P ₁ CLp lat D	43	93	22	-0,87	0,39	-1,06	0,29	6	10	0,43
P ₁ CLp méd D	57	96	29	-0,59	0,56	-0,69	0,49	7	10	0,60
P ₂ CLp lat G	32	73	18	0,28	0,78	0,39	0,69	4	10	0,84
P ₂ CLp méd G	68	52	7	2,36	0,02	2,69	0,01	6	9	0,02
P ₂ CLp lat D	29,5	61,5	16,5	0,23	0,82	0,31	0,75	4	9	0,83
P ₂ CLp méd D	35	56	11	1,08	0,28	1,32	0,19	4	9	0,33
P ₃ CLp lat G	35,5	55,5	10,5	1,16	0,25	1,34	0,18	4	9	0,26
P ₃ CLp méd G	36,5	68,5	21,5	-0,13	0,89	-0,16	0,88	5	9	0,90
P ₃ CLp lat D	13,5	52,5	7,5	0,35	0,72	0,42	0,67	2	9	0,73
P ₃ CLp méd D	16	39	3	1,31	0,19	1,50	0,13	2	8	0,27

Enthèses fibreuses.

Les résultats significatifs sont notés en gras ($p < 0,05$).

	Somme Rangs Tournai	Somme Rangs Traction	U	Z	niv. p	Z ajusté	niv. p	N Actif Tournai	N Actif Traction	2*(1-p) p exact
HDE G	69	84	33	-0,29	0,77	-0,37	0,72	8	9	0,81
HDE D	42	78	21	-0,71	0,48	-1,20	0,23	6	9	0,53
HRD G	125	85	30	1,51	0,13	2,18	0,03	10	10	0,14
HRD D	130	80	25	1,89	0,059	2,19	0,03	10	10	0,06
P ₁ SDa G	41	79	20	-0,82	0,41	-0,90	0,37	6	9	0,46
P ₁ SDa D	43,5	76,5	21,5	0,43	0,67	0,51	0,61	5	10	0,68
P ₁ PMa lat G	68,5	84,5	32,5	-0,34	0,74	-0,37	0,71	8	9	0,74
P ₁ PMa méd G	60	60	15	1,41	0,16	1,63	0,10	6	9	0,18
P ₁ PMa lat D	47	89	26	-0,43	0,66	-0,47	0,64	6	10	0,71
P ₁ PMa méd D	31	74	19	0,14	0,89	0,15	0,88	4	10	0,95
FFS G	99	72	27	1,19	0,23	1,37	0,17	9	9	0,26
FFS D	83	70	34	0,19	0,85	0,22	0,82	9	8	0,89
P ₁ SDp G	67,5	85,5	30,5	0,44	0,66	0,52	0,60	7	10	0,67
P ₁ SDp D	50	86	29	-0,11	0,91	-0,13	0,89	6	10	0,96
P ₁ PMp lat G	72,5	98,5	36,5	-0,31	0,76	-0,34	0,74	8	10	0,76
P ₁ PMp méd G	70	83	28	0,68	0,49	0,77	0,44	7	10	0,54
P ₁ PMp lat D	40	96	19	-1,19	0,23	-1,30	0,19	6	10	0,26
P ₁ PMp méd D	63	73	18	1,30	0,19	1,41	0,16	6	10	0,22

Annexe 27 : Chevaux du quartier Saint-Brice de Tournai - Résultats annexes des Mesures Moyennes de Divergence (MMD).

ENTHÈSES FIBROCARILAGINEUSES GAUCHES

	HUL	HCL	P ₁ CLa lat	P ₁ CLa méd	P ₁ CLp lat	P ₁ CLp méd	P ₂ CLp méd
<i>N Tournai</i>	8	9	9	7	7	9	7
<i>N Sans activité</i>	33	35	33	33	33	33	27
<i>N Monte</i>	7	8	8	8	8	8	8
<i>N Traction</i>	10	10	9	9	10	10	9
% Tournai	0,125	-	0,222	-	0,286	0,111	0,286
% Sans activité	0,273	0,086	0,182	0,152	0,091	0,03	0,852
% Monte	0,429	0,25	-	-	0,125	0,125	0,625
% Traction	0,7	0,4	0,667	0,778	0,5	0,6	1

Nombre d'individus et fréquences relatives pour chaque variable active dans chaque groupe.

	Tournai	Sans activité	Monte	Traction
Tournai	<i>NA</i>	0,115	0.023	0.987
Sans activité	0.074	<i>NA</i>	0.079	0.788
Monte	0.119	0.075	<i>NA</i>	0.746
Traction	0.108	0.065	0.109	<i>NA</i>

Valeurs des MMD et écart-types associés. Les résultats statistiquement significatifs sont indiqués en **gras**.

Enthèses	MD globale
P₁CLa méd	6,257
P₂CLp méd	3,683
P₁CLa lat	3,361
P₁CLp méd	2,857
HUL	1,722
HCL	1,365
P₁CLp lat	0,96

Valeurs des MD globales pour chaque enthèse, classées de manière décroissante en fonction de leur pouvoir discriminant.

ENTHÈSES FIBROCARILAGINEUSES DROITES

	HSC	HUL	HCL	RBB	P ₁ CLa méd	P ₂ CLa lat	P ₂ CLa méd	P ₃ CLa lat	CFEP	P ₁ CLp lat	P ₂ CLp méd
<i>N Tournai</i>	9	8	9	8	5	6	5	5	9	7	5
<i>N Sans activité</i>	34	31	34	35	34	31	30	29	31	34	31
<i>N Monte</i>	7	7	8	8	8	7	7	7	8	8	8
<i>N Traction</i>	8	10	10	9	10	10	10	6	9	10	9
% Tournai	0.444	0.125	0	0.375	0.200	0.333	0.400	0.400	0.333	0.143	0.400
% Sans activité	0.382	0.452	0.118	0.200	0.088	0.742	0.867	0.483	0.484	0.059	0.806
% Monte	1	0.429	0.250	0.625	0.250	1	1	0.571	0.625	0.250	0.750
% Traction	0.625	0.700	0.500	0.667	0.700	1	1	1	0.889	0.400	1

Nombre d'individus et fréquences relatives pour chaque variable active dans chaque groupe.

	Tournai	Sans activité	Monte	Traction
Tournai	<i>NA</i>	0,129	0.388	0.934
Sans activité	0.075	<i>NA</i>	0.199	0.538
Monte	0.115	0.066	<i>NA</i>	0.122
Traction	0.107	0.058	0.99	<i>NA</i>

Valeurs des MMD et écart-types associés.
Les résultats statistiquement significatifs
sont indiqués en **gras**.

Enthèses	MD globale
P₂CLa lat	3,592
HSC	3,051
HCL	2,02
HUL	1,476
CFEP	1,286
RBB	1,188
P₁CLp lat	0,339

Valeurs des MD globales pour chaque enthèse, classées de manière décroissante en fonction de leur pouvoir discriminant.

APPORT DES CHANGEMENTS ENTHÉSIIQUES À L'IDENTIFICATION DES FONCTIONS ÉQUINES PASSÉES - RECHERCHE EXPLORATOIRE ET APPLICATION D'UNE NOUVELLE APPROCHE SUR LES CHEVAUX ASSOCIÉS À LA TOMBE DE CHILDERIC I^{er} (V^e-VI^e SIÈCLES, TOURNAI, BELGIQUE).

Les changements enthésiques correspondent à des atteintes des zones d'insertion des tendons et ligaments sur l'os (ou enthèses). Si ces altérations sont fréquemment employées comme marqueurs osseux d'activité en anthropologie biologique, ces dernières font l'objet d'un intérêt récent pour explorer les interactions entre l'Homme et les équidés. Intégrer ces marqueurs aux recherches archéozoologiques contribuerait à l'apport de nouvelles connaissances sur ce sujet notamment au travers des activités auxquelles étaient dédiés ces animaux. Ce travail propose une nouvelle méthode de cotation s'intéressant à 23 enthèses du squelette appendiculaire des équidés. Cette dernière est employée sur un corpus de 61 spécimens modernes documentés. Leur étude permet de mettre en évidence qu'il est possible de distinguer (1) les individus employés dans le cadre d'activités humaines de ceux qui en sont exempts ainsi que (2) les différentes fonctions pour lesquelles certains d'entre eux étaient employés (monte, traction). Il est démontré que la pratique d'une activité n'est pas la seule étiologie à intervenir dans le développement de changements enthésiques. En effet, des paramètres tels que l'âge au décès, les proportions corporelles ou les conditions de vie sont à considérer. Cette démarche est ensuite appliquée sur les 21 chevaux découverts au cours des fouilles du quartier Saint-Brice de Tournai (Belgique), en périphérie de l'emplacement supposé de la tombe du roi Childéric I^{er} décédé en 481-482. Associée à une étude paléopathologique approfondie, les analyses des modifications enthésiques contribuent à dresser l'ostéobiographie de ces équidés et obtenir des indices quant à leurs conditions de vie. Les anomalies osseuses et dentaires relevées laissent penser que ces animaux étaient en bonne santé au moment de leur décès. Les changements enthésiques fournissent un argument supplémentaire en faveur de l'hypothèse selon laquelle ces chevaux étaient utilisés comme montures. Nos recherches démontrent ainsi le potentiel de l'emploi de ces atteintes lors de l'étude des restes osseux d'équidés mis au jour en contexte archéologique.

Mots-clés : Changements enthésiques - Enthésopathie - Cheval - Relation Homme-équidés - Activités - Paléopathologie - Archéozoologie - Ostéobiographie - État sanitaire - Childéric I^{er}

THE CONTRIBUTION OF ENTHESEAL CHANGES TO THE IDENTIFICATION OF PAST EQUINE ACTIVITY-RELATED USE - EXPLORATORY RESEARCH AND APPLICATION OF A NEW APPROACH ON HORSES ASSOCIATED WITH THE BURIAL OF CHILDERIC I (5th-6th CENTURIES, TOURNAI, BELGIUM).

Enteseal changes are defined as bone modifications of the interface where tendons and ligaments meet bone (*i.e.* entheses). While they are widely used as activity markers by anthropologists, their study is far more rarely employed to explore past Human-Equids interactions. The inclusion of enteseal changes in zooarchaeological analyses could provide new insights into this subject, particularly with regard to the activities for which these animals were employed. A new scoring system based on 23 entheses located on the appendicular skeleton of equids is introduced. The study of 61 modern documented specimens shows that it is possible to distinguish (1) worked from unworked animals, and (2) the different functions for which some of them were exploited (riding, traction). Activity is not the only etiology involved in the development of enteseal changes: parameters such as age-at-death, body proportions and the environmental context must also be considered. This approach was then applied to the 21 horses found surrounding the tumulus of King Childeric I, who is thought to have died in 481-482 A.D., and excavated in the Saint-Brice district of Tournai (Belgium). In association with an exhaustive paleopathological study, analyses of enteseal changes contribute to the osteobiography of these equids and provide additional insight into their living conditions. The dental and skeletal health status of these animals was good when they died. In particular, enteseal changes argue in favor of the hypothesis that these horses were used as saddle animals. This research thus demonstrates the potential of enteseal changes to enhance the study of equid remains found in archaeological contexts.

Key-words: Enteseal changes - Enthesopathy - Horse - Human-equids interactions - Activity - Paleopathology - Zooarchaeology - Osteobiography - Health status - Childeric I