



HAL
open science

Etablissement d'intervalles de référence de paramètres radiographiques utilisés dans le cadre du diagnostic de la fourbure chez les équidés

Chloé Lignani

► **To cite this version:**

Chloé Lignani. Etablissement d'intervalles de référence de paramètres radiographiques utilisés dans le cadre du diagnostic de la fourbure chez les équidés. Médecine vétérinaire et santé animale. 2021. dumas-04480306

HAL Id: dumas-04480306

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04480306v1>

Submitted on 27 Feb 2024

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

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

ETABLISSEMENT D'INTERVALLES DE REFERENCE DE PARAMETRES RADIOGRAPHIQUES UTILISES DANS LE CADRE DU DIAGNOSTIC DE LA FOURBURE CHEZ LES EQUIDES

THESE

pour obtenir le titre de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

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

par

LIGNANI Chloé

Directrice de thèse : Mme Elodie LALLEMAND

JURY

PRESIDENT :
M. Paul BONNEVIALLE

Professeur à l'Université Paul Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :
Mme Elodie LALLEMAND
Mme Séverine BOULLIER

Maître de Conférence à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

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

Liste des directeurs/assesseurs de thèse de doctorat vétérinaire

Directeur : Professeur Pierre SANS

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. BERTAGNOLI Stéphane, *Pathologie infectieuse*
- M. BOUSQUET-MELOU Alain, *Pharmacologie, thérapeutique*
- M. BRUGERE Hubert, *Hygiène et industrie des aliments d'origine animale*
- Mme CHASTANT-MAILLARD Sylvie, *Pathologie de la reproduction*
- M. CONCORDET Didier, *Mathématiques, statistiques, modélisation*
- M. DELVERDIER Maxence, *Anatomie pathologique*
- M. ENJALBERT Francis, *Alimentation*
- Mme GAYRARD-TROY Véronique, *Physiologie de la reproduction, endocrinologie*
- Mme HAGEN-PICARD Nicole, *Pathologie de la reproduction*
- M. MEYER Gilles, *Pathologie des ruminants*
- M. SCHELCHER François, *Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour*
- Mme TRUMEL Catherine, *Biologie médicale animale et comparée*

PROFESSEURS 1^{ère} CLASSE

- M. BAILLY Jean-Denis, *Hygiène et industrie des aliments*
- Mme BOURGES-ABELLA Nathalie, *Histologie, anatomie pathologique*
- Mme CADIERGUES Marie-Christine, *Dermatologie vétérinaire*
- M. DUCOS Alain, *Zootecnie*
- M. FOUCRAS Gilles, *Pathologie des ruminants*
- M. GUERIN Jean-Luc, *Aviculture et pathologie aviaire*
- M. JACQUIET Philippe, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme LACROUX Caroline, *Anatomie pathologique, animaux d'élevage*
- Mme LETRON-RAYMOND Isabelle, *Anatomie pathologique*
- M. LEFEBVRE Hervé, *Physiologie et thérapeutique*
- M. MAILLARD Renaud, *Pathologie des ruminants*

PROFESSEURS 2^{ème} CLASSE

- Mme BOULLIER Séverine, *Immunologie générale et médicale*
- M. CORBIERE Fabien, *Pathologie des ruminants*
- Mme DIQUELOU Armelle, *Pathologie médicale des équidés et des carnivores*
- M. GUERRE Philippe, *Pharmacie et toxicologie*
- Mme MEYNADIER Annabelle, *Alimentation animale*
- M. MOGICATO Giovanni, *Anatomie, imagerie médicale*
- Mme PAUL Mathilde, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. RABOISSON Didier, *Médecine de population et économie de la santé animale*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. BERGONIER Dominique, *Pathologie de la reproduction*
- Mme BIBBAL Delphine, *Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale*
- Mme CAMUS Christelle, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. JAEG Jean-Philippe, *Pharmacie et toxicologie*
- M. LYAZRHI Faouzi, *Statistiques biologiques et mathématiques*
- M. MATHON Didier, *Pathologie chirurgicale*
- Mme PALIERNE Sophie, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- Mme PRIYMENKO Nathalie, *Alimentation*
- M. VOLMER Romain, *Microbiologie et infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES CLASSE NORMALE

- M. ASIMUS Erik, *Pathologie chirurgicale*
- Mme BRET Lydie, *Physique et chimie biologiques et médicales*
- Mme BOUHSIRA Emilie, *Parasitologie, maladies parasitaires*
- M. CARTIAUX Benjamin, *Anatomie, imagerie médicale*
- M. CONCHOU Fabrice, *Imagerie médicale*
- Mme DANIELS Hélène, *Immunologie, bactériologie, pathologie infectieuse*
- Mme DAVID Laure, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. DIDIMO IMAZAKI Pedro, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. DOUET Jean-Yves, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
- Mme FERRAN Aude, *Physiologie*
- Mme GRANAT Fanny, *Biologie médicale animale*
- Mme JOURDAN Géraldine, *Anesthésie, analgésie*
- M. JOUSSERAND Nicolas, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme LALLEMAND Elodie, *Chirurgie des équidés*
- Mme LAVOUE Rachel, *Médecine Interne*
- M. LE LOC'H Guillaume, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
- M. LIENARD Emmanuel, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme MEYNAUD-COLLARD Patricia, *Pathologie chirurgicale*
- Mme MILA Hanna, *Elevage des carnivores domestiques*
- M. NOUVEL Laurent, *Pathologie de la reproduction*
- M. VERGNE Timothée, *Santé publique vétérinaire, maladies animales réglementées*
- Mme WARET-SZKUTA Agnès, *Production et pathologie porcine*

INGENIEURS DE RECHERCHE

- M. AUMANN Marcel, *Urgences, soins intensifs*
- M. AUVRAY Frédéric, *Santé digestive, pathogénie et commensalisme des entérobactéries*
- M. CASSARD Hervé, *Pathologie des ruminants*
- M. CROVILLE Guillaume, *Virologie et génomique cliniques*
- Mme DEBREUQUE Maud, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme DIDIER Caroline, *Anesthésie, analgésie*
- Mme DUPOUY GUIRAUTE Véronique, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- Mme GAILLARD Elodie, *Urgences, soins intensifs*
- Mme GEFRE Anne, *Biologie médicale animale et comparée*
- Mme GRISEZ Christelle, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme JEUNESSE Elisabeth, *Bonnes pratiques de laboratoire*
- Mme PRESSANTI Charline, *Dermatologie vétérinaire*
- M. RAMON PORTUGAL ~~...~~ *Innovations thérapeutiques et résistances*
- M. REYNOLDS Brice, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme ROUCH BUCK Pétra, *Médecine préventive*

REMERCIEMENTS

A mon président de thèse,

Monsieur le Professeur Paul BONNEVIALLE

Professeur à l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Praticien hospitalier

Unité de Traumatologie Orthopédie Purpan,

Qui nous a honorés de sa présence en tant que Président de Jury.

Hommages respectueux.

A mon jury de thèse,

A Madame le docteur Elodie LALLEMAND,

Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,

Chirurgie des équidés,

Qui nous a fait l'honneur de diriger cette thèse.

Merci de m'avoir proposé ce sujet de thèse, de toujours avoir été disponible et de m'avoir soutenue au cours de la réalisation de ce travail.

A Madame le docteur Séverine BOULLIER,

Professeure à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,

Immunologie-Vaccinologie,

Qui nous a fait l'honneur de participer à notre jury de thèse,

Sincères remerciements.

Table des matières

TABLES DES ILLUSTRATIONS	9
INTRODUCTION.....	11
PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....	12
I. GENERALITES SUR LA FOURBURE.....	12
A. <i>Qu'est-ce que la fourbure ?</i>	12
B. <i>Bases d'anatomie</i>	12
C. <i>Notions de biomécanique du pied</i>	17
D. <i>Signes cliniques</i>	18
E. <i>Gradation du stade</i>	19
F. <i>Evolution chronologique</i>	19
G. <i>Examens complémentaires</i>	21
II. LA PLACE DE LA RADIOGRAPHIE LORS D'UN CAS DE FOURBURE.....	24
A. <i>Standardiser l'examen radiographique</i>	24
B. <i>Lecture des images obtenues</i>	26
C. <i>La prise de mesures</i>	28
D. <i>Influence sur le pronostic</i>	36
DEUXIEME PARTIE : ETUDE CLINIQUE.....	38
I. INTERETS ET OBJECTIFS DE L'ETUDE	38
II. MATERIEL ET METHODE	39
A. <i>Les chevaux inclus dans l'étude</i>	39
B. <i>Radiographies sélectionnées</i>	39
C. <i>Mesures radiographiques effectuées</i>	40
D. <i>Analyses statistiques</i>	41
III. RESULTATS ET INTERPRETATION.....	42
IV. DISCUSSION	56
CONCLUSION.....	60
BIBLIOGRAPHIE.....	62
ANNEXES	65

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1 : Conformation du sabot – face solaire (Houliez 1995)	13
Figure 2 : Conformation extérieure du doigt en termes d’orientation (Houliez 1995).....	14
Figure 3 : Vue tridimensionnelle de la couronne et de la paroi (Kainer 1989)	15
Figure 4 : Structures profondes du pied (DELERUE 2016).....	16
Figure 5 : Forces exercées sur la phalange distale à l’appui (Vandenhout 2004)	17
Figure 6 : Attitude caractéristique d’un cheval atteint de fourbure aiguë des antérieurs (Courtois 2007)	19
Figure 7 : Phases chronologiques d’évolution de la fourbure (Hood 1999).....	21
Figure 8 : Vue latéro-médiale du phlébogramme d’un cheval sain (Caure 2009).....	23
Figure 9 : Vue dorso-palmaire à l’horizontale du phlébogramme d’un cheval sain (Caure 2009)	23
Figure 10 : Positionnement du pied sur une cale pour une incidence radiographique latéromédiale (Redden 2003b)	25
Figure 11 : Marqueurs radiographiques pour l’identification de la bande coronaire, de la paroi dorsale de la boîte cornée, et de la surface de la cale (Eggleston 2012)	25
Figure 12 : Radiographie en incidence latéro-médiale d’un pied atteint de fourbure chronique (Collins et al. 2010).....	27
Figure 13 : Radiographie en incidence latéromédiale d’un pied sain.....	29
Figure 14 : Radiographie en incidence latéro-médiale d’un pied atteint de fourbure (Sherlock, Parks 2013).....	30
Figure 15 : Radiographie en incidence latéro-médiale d’un pied atteint de fourbure (Sherlock, Parks 2013).....	31
Figure 16 : Radiographie en incidence latéro-médiale d’un pied atteint de fourbure (Sherlock, Parks 2013).....	32
Figure 17 : Radiographie en incidence latéromédiale d’un pied atteint de fourbure (Sherlock, Parks 2013).....	33
Figure 18 : Radiographie en incidence latéro-médiale d’un pied sain.	33
Figure 19 : Radiographie en incidence dorso-palmaire d’un pied atteint de fourbure (Sherlock, Parks 2013).....	34
Figure 20 : Radiographie en incidence dorso-palmaire d’un pied atteint de fourbure (O’Grady 2010).	35
Figure 21 : Radiographie en incidence dorso-palmaire à 65° d’un pied atteint de fourbure chronique (Caure 2009).....	35
Figure 22 : Radiographie en incidence dorso-palmaire à 60° d’un pied atteinte de fourbure chronique (Caure 2009).....	36
Figure 23: Mesures radiographiques utilisées lors de l’étude.	40

Tableaux

Tableau 1: Intervalles des sept mesures radiographiques calculées sur la totalité de l’échantillon de 264 radiographies de pied, moyenne ± écart-type.....	42
---	----

Tableau 2: Intervalles de valeurs de distance et d'angle de pieds normaux de chevaux. Valeurs tirées de diverses études ainsi que de la présente étude.	43
Tableau 3: Intervalles de mesures radiographiques en fonction de la race du cheval, moyenne \pm écart type.	51
Tableau 4 : Intervalles des sept mesures radiographiques calculées sur la totalité de l'échantillon en fonction du sexe, mâle ou femelle.	53
Tableau 5 : Intervalles des sept mesures radiographiques calculées sur la totalité de l'échantillon en fonction de la latéralité du pied, droit ou gauche.	53
Tableau 6 : Intervalles de deux mesures radiographiques calculées sur la totalité de l'échantillon en fonction de la tranche d'âge à laquelle appartient le cheval.	54
Tableau 7 : Intervalles de deux mesures radiographiques calculées sur la totalité de l'échantillon en fonction de la tranche d'âge à laquelle appartient le cheval.	55
Tableau 8 : Intervalles de deux mesures radiographiques calculées sur la totalité de l'échantillon en fonction de la tranche d'âge à laquelle appartient le cheval.	55

Graphiques

Graphique 1 : Nombre de pieds de chevaux composant l'échantillon total, classés suivant la race du cheval.	44
Graphique 2: Tendence centrale des valeurs de la mesure IDA (en mm) en fonction des races de chevaux.	45
Graphique 3: Tendence centrale des valeurs de la mesure IDB (en mm) en fonction des races de chevaux.	46
Graphique 4: Tendence centrale des valeurs de la mesure ES (en mm) en fonction des races de chevaux.	47
Graphique 5: Tendence centrale des valeurs de l'angle SA (en degré) en fonction des races de chevaux.	48
Graphique 6: Tendence centrale des valeurs de l'angle S (en degré) en fonction des races de chevaux.	49
Graphique 7: Tendence centrale des valeurs de l'angle T (en degré) en fonction des races de chevaux.	49
Graphique 8: Tendence centrale des valeurs de l'angle H (en degré) en fonction des races de chevaux.	50
Graphique 9 : Nombre de pieds de chevaux composant l'échantillon total, classés suivant l'âge du cheval.	54

INTRODUCTION

La fourbure est une affection très douloureuse de la boîte cornée des sabots des équidés conduisant parfois à l'euthanasie. De plus en plus présente en France, elle représente la deuxième cause de mortalité chez les chevaux. La fourbure peut toucher les quatre membres, mais dans la majorité des cas, ce sont les membres thoraciques qui sont atteints, avec une atteinte uni ou bilatérale, ce qui peut s'expliquer par le fait qu'ils portent plus de 60% du poids du cheval (Reed, Bayly, Sellon 2010). Au vu de la complexité de sa prise en charge une fois les lésions internes établies, une attention toute particulière est portée à cette affection, notamment pour essayer d'anticiper les contextes favorables à son développement et évaluer au plus vite l'apparition de lésions internes.

Dans le contexte d'une fourbure, la radiographie reste un examen complémentaire de choix. Elle nous permet d'objectiver jusqu'à un certain niveau de précision les altérations des structures internes du pied du cheval, informations qu'un examen clinique externe ne pourrait nous apporter. L'examen radiographique intervient alors à différents stades au cours de la prise en charge d'une fourbure : tant au moment du diagnostic, que du pronostic et par la suite il se révèle être indispensable pour la prise en charge kinésithérapeutique et le suivi de l'évolution du pied.

L'objectif principal de cette étude est d'établir des intervalles de référence de mesures radiographiques sur des pieds de chevaux, afin de définir les critères structuraux d'un pied sain de cheval. Nous discuterons également des facteurs de variations, comme la race, le sexe et l'âge du cheval ainsi que la latéralité du pied, qui peuvent conditionner les valeurs des mesures radiographiques obtenues.

La première partie de ce manuscrit permettra de poser les bases théoriques de ce sujet. Nous résumerons dans un premier temps l'anatomie des structures internes du pied, le tableau clinique d'un cas de fourbure avec sa gradation et son évolution, et nous terminerons sur l'utilisation des examens complémentaires. Dans un second temps, nous aborderons uniquement l'examen radiographique du pied avec la mise en place d'un protocole standardisé, les nombreuses mesures possibles à effectuer à posteriori sur ces images radiographiques et l'influence qu'elles peuvent porter sur le pronostic de l'animal.

En deuxième partie, nous présenterons l'étude réalisée sur des radiographies de pieds antérieurs de chevaux sains, sur lesquelles certaines des mesures radiographiques présentées précédemment ont été réalisées. Les objectifs de cette étude seront alors détaillés, avec le choix de l'échantillon et la méthodologie utilisée pour la réalisation de ces mesures radiographiques. Les résultats obtenus seront alors présentés et discutés à la fin de cette partie.

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. GENERALITES SUR LA FOURBURE

A. Qu'est-ce que la fourbure ?

Définition

La fourbure, du nom anglais « laminitis », a pour définition littérale : une réponse inflammatoire localisée dans les structures lamellaires de la face interne de la paroi de la boîte cornée. En médecine vétérinaire, le mot fourbure est utilisé pour qualifier une affection définie d'après un ensemble de signes cliniques caractéristiques, que l'on abordera en suivant dans ce manuscrit. La fourbure est en effet un phénomène pathologique complexe qui implique d'une part une réponse inflammatoire et d'autre part une dégénérescence et nécrose des lamelles dermiques et épidermiques de la paroi du sabot. Ces phénomènes pathologiques sont étroitement liés à une atteinte du système vasculaire du pied, avec une alternance de phase d'ischémie et de reperfusion. (Smith 2009). Cette atteinte de l'appareil lamellaire du pied se définit par un désengrènement entre le podophylle (lamelles dermiques) et le kéraphylle (lamelles épidermiques), qui entraîne alors une absence de support de la troisième phalange dans la boîte cornée.

Le rattachement de ces deux tissus est la clé de la solidité du maintien de l'intégrité du pied face à de nombreuses forces de tractions subies, que nous détaillerons plus loin dans ce manuscrit.

L'étiologie de la fourbure peut être multiple. Elle peut faire suite à d'autres affections qualifiées d'affection primaire comme une colique, une surcharge en grain, une métrite, une pleuropneumonie, une infection accompagnée d'endotoxémie, ou bien encore une surcharge d'un membre due au report de poids du membre controlatéral suite à une cause de type boiterie sévère ou fracture (Reed, Bayly, Sellon 2010).

B. Bases d'anatomie

La connaissance de l'organisation des différentes structures anatomiques du pied est primordiale lors de la compréhension du mécanisme complexe qu'est la fourbure.

Le pied d'un cheval est composé d'une boîte cornée, structure externe, et de structures profondes non visibles sans l'utilisation d'examen d'imagerie.

La boîte cornée

La boîte cornée peut être apparentée à un prolongement de l'épiderme cutané. C'est le revêtement externe du pied. Elle est divisée en trois parties : la paroi, la sole et la fourchette.

La sole est la face distale de la boîte cornée. Celle-ci est convexe, en forme de croissant, avec une partie dorsale le corps, prolongée par deux branches, une médiale et une latérale.

La fourchette se situe également sur la face distale de la boîte cornée. Elle est le revêtement du coussinet digital. De forme triangulaire, avec un apex pointu en partie dorsale puis un corps qui se divise en deux branches (latérale et médiale) séparées par une lacune médiane. La fourchette est enchâssée entre le corps de la sole et les barres.

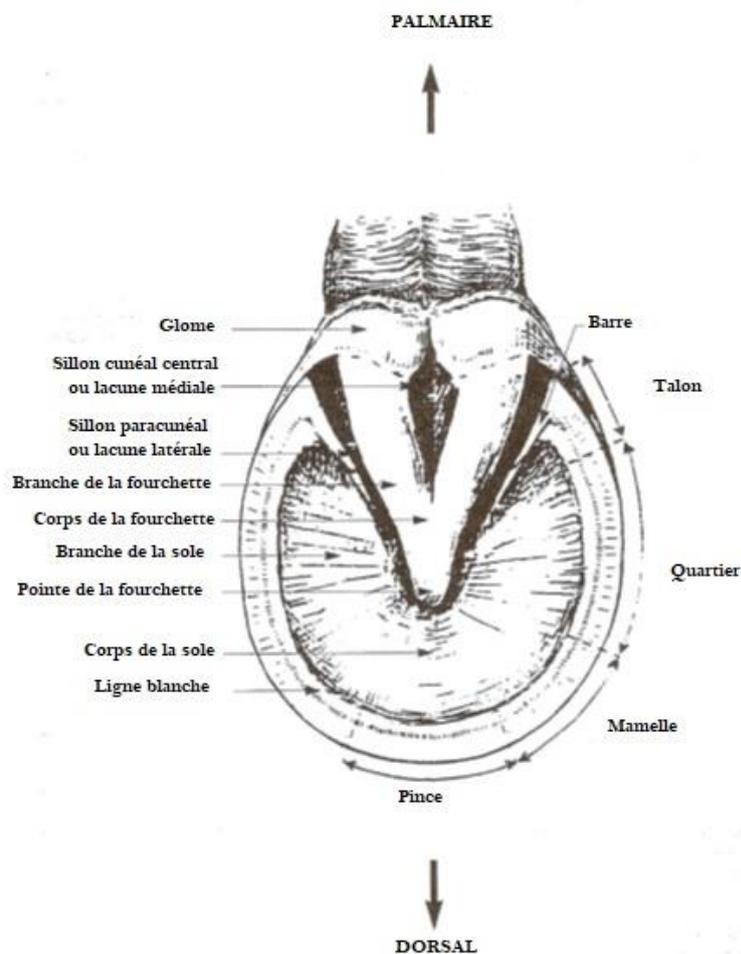


Figure 1 : Conformation du sabot – face solaire (Houliez 1995)

La paroi entoure les structures profondes du pied et les protège. Elle permet également l'appui au sol de ce dernier. La paroi est produite par le bourrelet coronal, situé dans la partie la plus proximale du pied, à la jonction avec l'épiderme cutané. Elle a une croissance continue tout au long de la vie du cheval.

La conformation externe de la paroi est divisée en plusieurs parties suivant leur localisation :

En partie proximale se situe le périople sur une largeur d'environ 2 centimètres.

Le bord dorsal, nommé également ligne de pince, est dans le prolongement du bord dorsal du paturon.

Le bord palmaire pour les membres thoraciques ou plantaire pour les pelviens, est qualifié de ligne de talon. Ce bord est quasi parallèle au bord dorsal.

Les mamelles sont en région dorso-abaxiale : ces deux régions entourent la pince.

Puis les quartiers sont en région abaxiale : ils encadrent les talons.

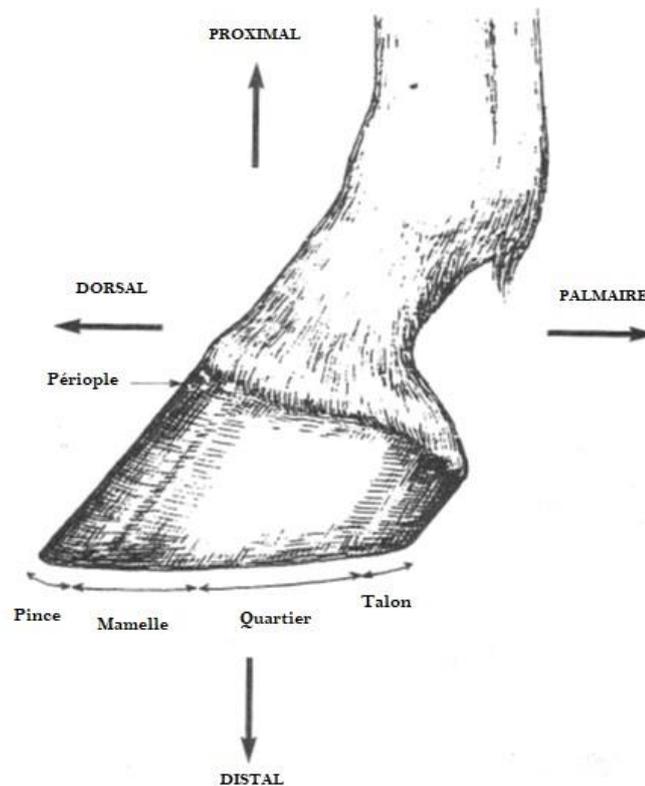


Figure 2 : Conformation extérieure du doigt en termes d'orientation (Houliiez 1995)

L'aspect interne de la paroi est constitué du **kéraphylle**. Le bourrelet coronal, en partie proximale du pied, produit les 550 à 600 lamelles épidermiques primaires qui le constituent.

Ces lamelles sont parallèles entre elles, minces, et orientées proximodistalement. Chacune porte 100 à 150 lamelles épidermiques secondaires (qui sont produites par le podophylle). Ces lamelles secondaires sont orientées perpendiculairement aux lamelles primaires. L'ensemble de ces lamelles s'engrène avec celles du podophylle : la cohésion est maintenue grâce à un réseau d'hémidesmosomes (Houliez 1995).

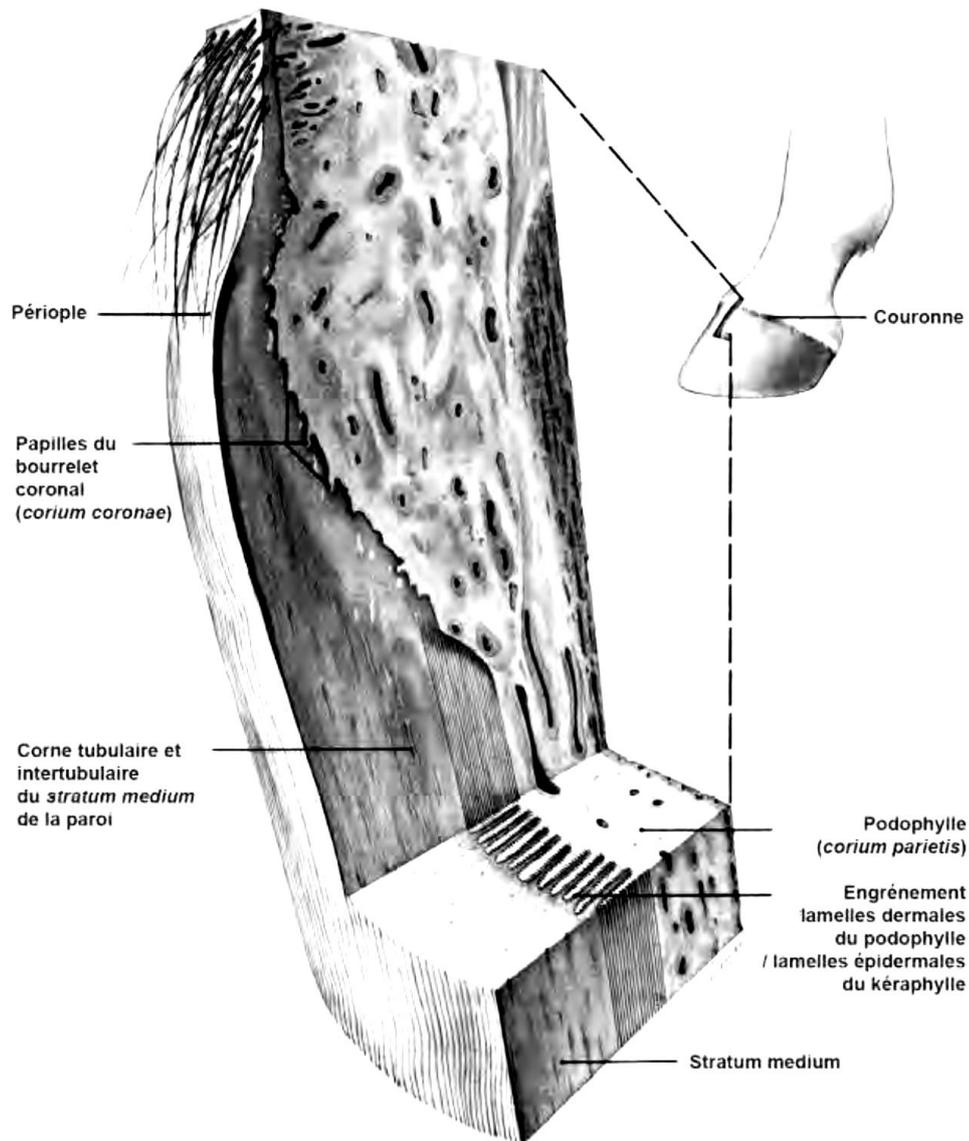


Figure 3 : Vue tridimensionnelle de la couronne et de la paroi (Kainer 1989)

Les structures profondes du pied

Les structures profondes du pied sont nombreuses : on peut y compter les trois os de l'articulation inter-phalangienne distale (la phalange moyenne, la phalange distale et l'os sésamoïde distal ou os naviculaire) mais également de nombreux ligaments, le coussinet digital, les cartilages unguinaires, les terminaisons des tendons fléchisseur profond et extenseur dorsal du doigt, des synoviales, des vaisseaux ainsi que des nerfs. (Chateau et al. 2007)

Le podophylle est le tissu servant d'assise à la paroi. Il couvre toute la face pariétale de la phalange distale et assure la solidarisation entre la paroi et les structures profondes du pied (notamment la phalange distale). Cette solidarisation est permise par l'engrènement entre les lamelles épidermiques du kéraphylle et les 550 à 600 lamelles dermiques parallèles qui constituent le podophylle. Ainsi la phalange distale est suspendue dans la boîte cornée grâce à cet engrènement. Le podophylle est un tissu vivant qui a une vascularisation très riche, notion importante à avoir lorsque l'on s'intéresse à la physiopathologie de la fourbure. (Chateau et al. 2007)

L'appareil complémentaire du pied, une des parties profondes de celui-ci, est constitué du coussinet digital et des cartilages unguulaires. Le coussinet digital est intercalé entre le tendon fléchisseur profond du doigt et la fourchette. Il est encadré par deux cartilages unguulaires, un latéral et un médial, qui prennent attache sur les processus palmaires de la phalange distale et viennent couvrir les côtés de l'articulation phalangienne distale.

L'articulation inter-phalangienne distale assure l'union de la phalange distale (P3), de la phalange moyenne (P2) et de l'os sésamoïde distal. La cohésion de l'ensemble est assurée par la capsule articulaire et les ligaments sésamoïdiens et collatéraux. Le tendon extenseur dorsal du doigt vient se terminer sur le processus extensorius de la troisième phalange. Le tendon fléchisseur profond du doigt quant à lui vient s'insérer sur la surface semi-lunaire de la phalange distale. (Chateau et al. 2007)

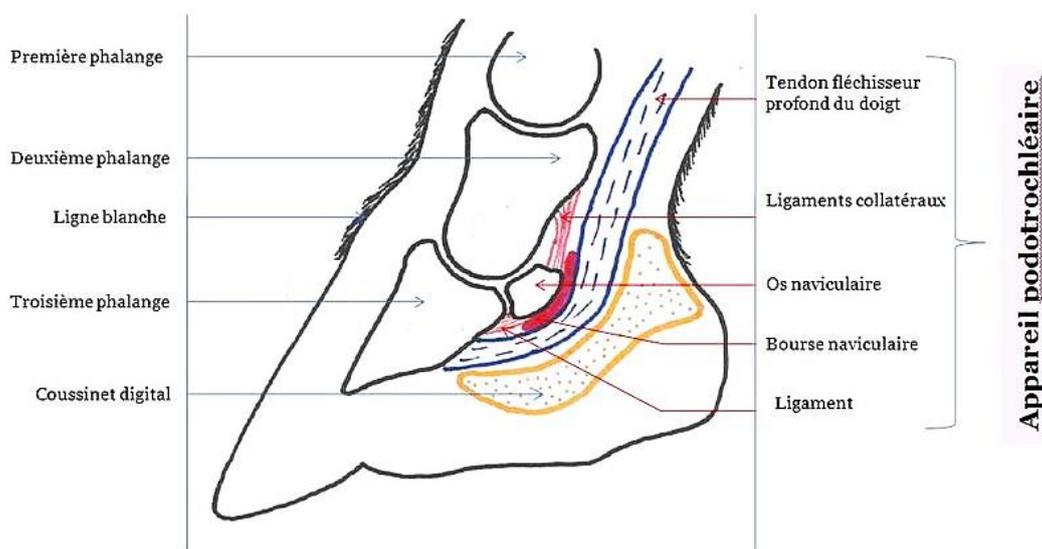


Figure 4 : Structures profondes du pied (DELERUE 2016)

C. Notions de biomécanique du pied

Quelques notions de biomécanique sont essentielles afin de saisir l'importance de la solidarisation entre le kéraphylle et le podophylle, les contraintes que cet engrenement supporte dans un pied sain et celles qu'il ne peut donc pas supporter si son intégrité est compromise.

L'architecture du pied, autant externe qu'interne, permet à la phalange distale une discrète descente dans la boîte cornée ainsi que de faibles mouvements de rotation autour de la partie dorsale du bord solaire, lorsque le pied est mis sous contrainte, donc au cours de sa phase d'appui au sol.

On peut dénombrer au minimum 5 forces s'appliquant sur la phalange distale :

- Une force de tension exercée par les lamelles dermiques
- Une force de tension exercée par le tendon fléchisseur profond du doigt
- Une force de compression par la phalange moyenne
- Une force exercée par la sole et la fourchette au contact du sol
- Une force de tension, au niveau du processus extensorius, exercée par le tendon extenseur dorsal du doigt

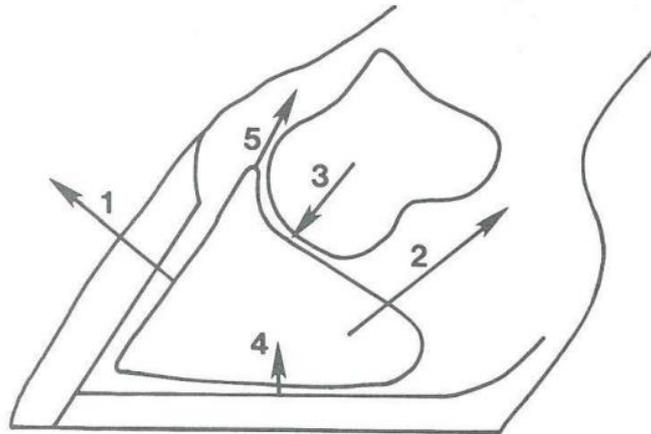


Figure 5 : Forces exercées sur la phalange distale à l'appui (Vandenhout 2004)

1. Force de soutien des lamelles dermales ; 2. Tension du tendon fléchisseur profond ; 3. Compression de la deuxième phalange (liée au poids du cheval) ; 4. Compression de la sole ; 5. Tension du tendon extenseur dorsal

C'est l'engrenement des lamelles du kéraphylle avec celles du podophylle qui supporte la majorité de ces forces et qui permet la suspension de la phalange distale au sein de la boîte cornée. Ainsi, si son intégrité est atteinte, les forces exercées notamment par le poids du cheval et par la tension due au tendon fléchisseur profond du doigt ne sont plus absorbées, et la phalange distale se retrouve alors sous fortes contraintes, ce qui peut provoquer sa descente et sa rotation dans la boîte cornée.

(Houliez 1995)

D. Signes cliniques

Comme décrit précédemment : la fourbure est une affection définie d'après un ensemble de signes cliniques caractéristiques.

Tout d'abord, un cheval atteint de fourbure va présenter des **signes cliniques généraux** qui sont évocateurs d'une toxémie. L'équidé peut présenter un abattement, une anorexie, une grande répugnance à se déplacer ainsi qu'un potentiel amaigrissement dans le cas de fourbure chronique, car la douleur est catabolique. Les muqueuses sont souvent congestionnées, une hyperthermie plus ou moins importante de 39,5 à 40°C peut être rapportée, avec une augmentation de la fréquence respiratoire (80-100 mpm) et de la fréquence cardiaque (80-120 bpm). Des troubles du transit sont possible, se traduisant par de la diarrhée ou de la constipation.

Certains **signes cliniques locaux**, présents également lors d'autres affections du pied, peuvent être retrouvés lors d'une fourbure : de la chaleur sur la face dorsale de la boîte cornée, un pouls digité bondissant synonyme d'une augmentation de la différence entre la pression artérielle digitale systolique et diastolique due à une vasoconstriction, et une sensibilité accrue à la pince exploratrice (liée à la descente de la phalange distale). Lors de grade très sévère, une compression de la sole et/ou la présence de dépression en couronne peut être objectivée, traduisant la rotation et/ou l'effondrement de la phalange distale (Reed, Bayly, Sellon 2010). Ceci reste rare, mais dans des cas plus grave, la phalange distale peut traverser la sole. Exceptionnellement, le désengrènement peut être tel que le cheval perd son sabot et se retrouve avec la dernière phalange à nu.

Le **signe clinique fonctionnel caractéristique** de la fourbure est la position antalgique dans laquelle se place l'équidé : avec un report de poids sur les membres pelviens et la partie palmaire des membres thoraciques (dans le cas d'une fourbure des membres antérieurs). La démarche du cheval peut être évocatrice d'une fourbure : on dit que le cheval marche comme sur des œufs, ses foulées sont raccourcies et il pose le pied de manière anticipée (Reed, Bayly, Sellon 2010).

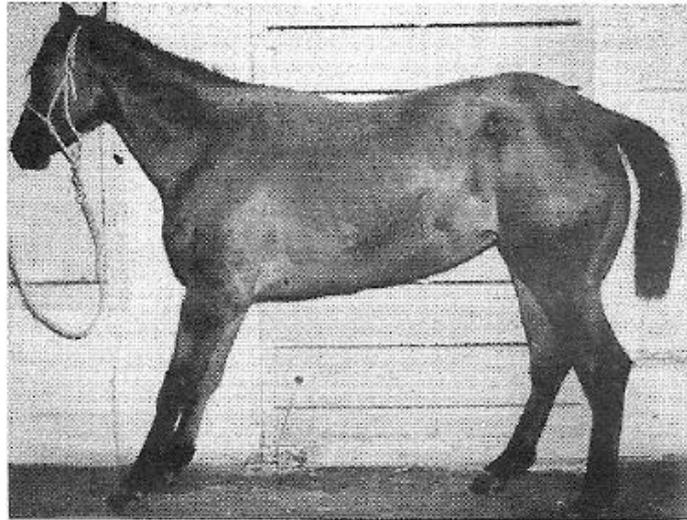


Figure 6 : Attitude caractéristique d'un cheval atteint de fourbure aiguë des antérieurs (Courtois 2007)

E. Gradation du stade

Une classification fut établie par Obel en 1948 (Obel 1948) afin de grader différents stades de fourbure en fonction des signes cliniques fonctionnels :

- Grade 1 : le cheval piétine, évoque des signes d'inconfort en reportant le poids d'un pied sur l'autre. Aucune boiterie au pas n'est observée.
- Grade 2 : le cheval peut marcher mais il marche sur des œufs.
- Grade 3 : le cheval a de grandes difficultés à marcher et il résiste vigoureusement lorsque l'on veut lui prendre le pied.
- Grade 4 : il refuse complètement de bouger et peut rester couché la plus grande partie du temps.

Malheureusement, la fourbure n'est souvent détectée qu'au grade 3 par les propriétaires, sachant qu'au grade 4 il y a de grands risques de conserver d'importantes séquelles sur le tissu lamellaire.

F. Evolution chronologique

La fourbure est un processus évolutif, dépendant de la sévérité des lésions de l'appareil lamellaire du pied. Ainsi, quatre phases possibles sont identifiables, caractérisées chacune par certains signes cliniques et anomalies radiographiques (Hood 1999).

La **phase de développement** est le laps de temps entre la cause primaire et les premiers signes cliniques observables. Elle dure en moyenne 40 heures, période pendant laquelle les mécanismes pathologiques se mettent en place. C'est la seule phase où des mesures de prévention peuvent être mises en place et influencer l'initiation de la phase aiguë. Prévention, qui dans le cas de la fourbure, se trouve être beaucoup plus efficace que le traitement une fois

les signes cliniques apparus. Mais, ce développement reste dans la majorité des cas asymptomatique, et les cas de fourbure ne sont diagnostiqués qu'une fois les premiers signes cliniques survenus. D'où l'importance d'identifier des contextes à risque, comme lors d'une probable endotoxémie, d'un report de poids important sur un membre ... afin de mettre en place des mesures préventives au cas où un processus de fourbure serait en train de se mettre en place.

La **phase aiguë** débute avec les premiers signes cliniques : des signes de boiterie. Durant les 24 à 72 heures suivantes, il est primordial de limiter la sévérité des altérations digitales pour favoriser le passage en phase subaiguë et non en phase chronique.

La **phase subaiguë** intervient en l'absence de signes physiques et radiographiques de descente ou de rotation de la troisième phalange au-delà de 72 heures après la déclaration des premiers signes cliniques. Le tissu lamellaire reste très fragile car durant cette phase le processus de cicatrisation des lésions, apparues dans la phase aiguë, a lieu. Il faut cependant au minimum 8 à 12 semaines au tissu pour se solidariser de nouveau. Suivant l'étendue des lésions, cette cicatrisation peut être beaucoup plus longue. Concernant la prise en charge thérapeutique, l'objectif ici est de protéger au maximum le pied pour prévenir la rotation et la descente de la troisième phalange, et ainsi éviter de basculer dans la phase chronique. Si le cheval est en phase subaiguë, son pronostic est favorable et on peut espérer une récupération complète.

La **phase chronique** est définie quant à elle par la présence de signes physiques et/ou radiographiques de descente et/ou de rotation de la troisième phalange. Une fourbure en phase aiguë peut évoluer directement en phase chronique sans même passer par la phase subaiguë. Cette phase est synonyme d'un collapsus mécanique du pied. La dislocation de la phalange distale associée à une atteinte de l'intégrité de l'appareil lamellaire peut être visualisée sur des radiographiques de pied par le comblement de l'espace créé entre la phalange distale et la boîte cornée par de la kératine (Collins et al. 2010). Les objectifs thérapeutiques lors de cette phase sont divers : d'une part il faut gérer les nombreux soins nécessaires pour maintenir le cheval en bon état général et permettre sa rééducation en gérant les problèmes mécaniques de l'appui du pied par de la maréchalerie, cette prise en charge peut durer plusieurs années sans forcément atteindre une récupération totale ; d'autre part il ne faut pas oublier les problèmes vasculaires, septiques et les troubles métaboliques qui accompagnent la fourbure.

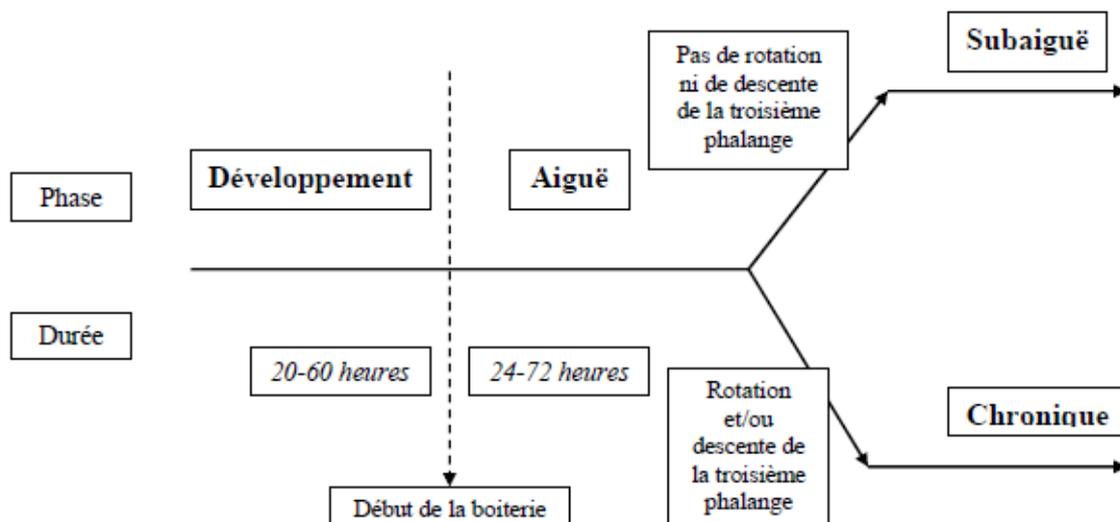


Figure 7 : Phases chronologiques d'évolution de la fourbure (Hood 1999)

Dans de nombreux cas, on observe une récurrence après un épisode de fourbure et ce malgré des signes d'amélioration. Les récurrences sont favorisées par une perte de la capacité de maintien de la paroi et de la phalange par le système lamellaire du pied. Cette fonction de maintien est difficilement évaluable car les dommages architecturaux sur le tissu lamellaire sont compliqués à objectiver. L'allongement des lamelles est objectivable indirectement par la mesure de la distance entre la paroi dorsale de la boîte cornée et la face dorsale de p3: d'où l'importance d'une bonne qualité radiographique, afin d'évaluer avec précision cette distance. L'objectivation de tout changement radiographique peut être synonyme d'une réorganisation histopathologique du pied.

G. Examens complémentaires

La radiographie

Il est primordial de garder à l'esprit l'importance d'un examen clinique méticuleux et de la prise en compte des commémoratifs avant d'utiliser tout type d'examen d'imagerie chez des chevaux suspectés atteints de fourbure (Sherlock, Parks 2013; Redden 2003a). L'évaluation clinique de l'animal et la prise en considération de ses commémoratifs semblent être des indicateurs pronostics plus fiables que les anomalies radiographiques (Hunt 1993; Pollitt 1996; Parks, O'Grady 2003).

La radiographie reste un examen de choix lors de suspicion de fourbure, car elle apporte de précieuses informations concernant les structures internes du pied. Elle permet d'objectiver en partie les lésions internes qui entrent en jeu dans l'évaluation de la sévérité de la fourbure et de définir un pronostic le plus juste possible. On peut ainsi évaluer s'il y a ou non rotation et/ou descente de la phalange distale dans la boîte cornée, et s'il y a d'autres anomalies tel qu'un abcès, une fourmière, une ostéite ... Cet examen est également indispensable pour la mise en

place de la prise en charge kinésithérapeutique la plus adaptée au cas, en suivant l'état du pied du cheval tout au long de l'évolution de la fourbure grâce à la répétition de prise d'images radiographiques. (Sherlock, Parks 2013; Rucker 2010)

Cependant il faut rester vigilant car en début d'évolution la fourbure peut ne présenter aucune anomalie radiographique. L'un des premiers signes que l'on peut observer est une augmentation de la distance entre la paroi dorsale de la boîte cornée et la paroi dorsale de la phalange distale (distances nommées IDA et IDB).

Dans un paragraphe suivant, nous détaillerons la méthode de prise de radiographie lorsque l'on se retrouve face à un cas de fourbure ainsi que la lecture de ces dernières et les différentes mesures réalisables qui peuvent nous aiguiller pour poser un diagnostic et un pronostic.

La vénographie

La vénographie digitale permet de visualiser le réseau vasculaire sanguin du doigt du cheval (Caure 2009). Cet examen apporte de précieuses informations pour déterminer la gravité de la fourbure, choisir l'approche thérapeutique, affiner le pronostic et monitorer la réponse au traitement mis en place (Rucker 2010). Il permet, notamment dans le cas de fourbure, d'évaluer l'étendue du déficit vasculaire du pied du cheval, qui a une bonne corrélation avec la gravité de l'atteinte de l'appareil suspenseur de la troisième phalange. Les altérations de la vascularisation peuvent être visibles avant même que l'on puisse discerner des anomalies radiographiques (Rucker 2010).

C'est un examen complémentaire de choix car il est facilement réalisable. Il suffit d'un équipement de radiographie ainsi que du matériel courant notamment pour l'injection du produit de contraste et la pose d'un garrot. Les radiographies sont prises immédiatement après avoir injecté le produit de contraste dans les veines digitales plantaires ou palmaires (D'Arpe, Bernardini 2010). Différentes incidences latéromédiales et dorsopalmaires sont prises afin de visualiser dans son ensemble le système vasculaire du pied.

Une attention particulière est portée notamment à l'arcade terminale, l'artère circonflexe de la sole, au réseau capillaire de la zone lamellaire (en dorsal sur la vue latérale, en latéral et médial sur la vue de face) et au plexus coronaire (Redden 2003b). La perfusion du réseau vasculaire digital est évaluée en tant que normale, diminuée ou perte de contraste sévère (Redden 2001).

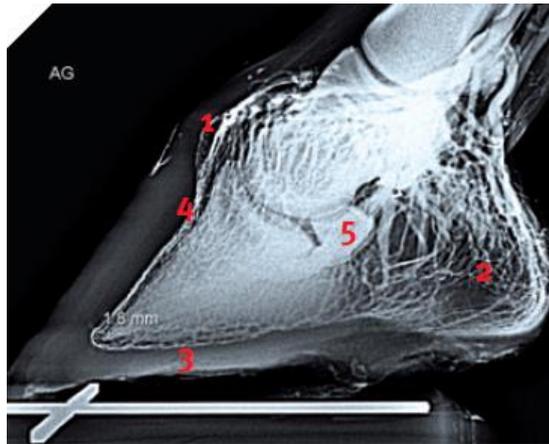


Figure 8 : Vue latéro-médiale du phlébogramme d'un cheval sain (Caure 2009)

1. Plexus coronaire ; 2. Plexus bulbaire ; 3. Vaisseaux circonflexes ; 4. Vaisseaux lamellaires dorsaux ; 5. Arc terminal

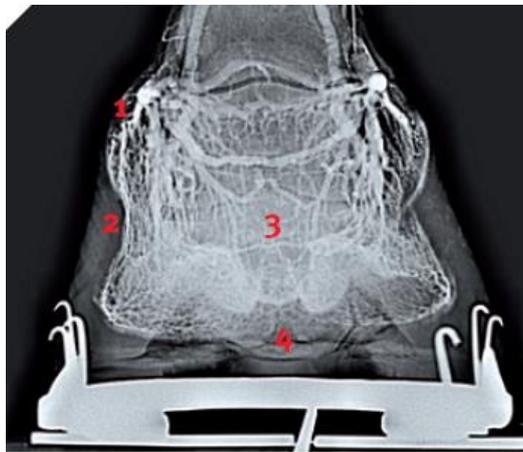


Figure 9 : Vue dorso-palmaire à l'horizontale du phlébogramme d'un cheval sain (Caure 2009)

1. Plexus coronaire ; 2. Vaisseaux lamellaires dorsaux ; 3. Arc terminal ; 4. Vaisseaux circonflexes

II. LA PLACE DE LA RADIOGRAPHIE LORS D'UN CAS DE FOURBURE

A. Standardiser l'examen radiographique

Afin de comparer les différentes radiographies de pied, que ce soit pour un même cheval au cours de l'évolution de sa fourbure, entre différents chevaux ou bien encore pour pouvoir se référer à des normes de valeurs de mesures établies, il faut standardiser l'examen radiographique.

Tout commence par la **préparation du pied** : ce dernier doit être défermé de préférence (Caure 2009), curé correctement, avec une fourchette et des barres proprement nettoyées et la mise en place de pâte dans les lacunes afin de chasser l'air de celles-ci (Caure 2009; Redden 2003b). Cette étape est obligatoire pour minimiser tout risque d'artéfact.

Redden (Redden 2003b) émet une réserve sur la nécessité de défermer le pied. Il est important d'identifier le but de notre examen et ce que l'on espère mettre en évidence, car ce n'est pas un acte anodin. Défermer un pied n'est pas indispensable pour une radiographie latéromédiale ou encore dorsopalmaire, mais s'avère obligatoire lors d'une vue dorso-palmaire à 65°. Par ailleurs, le fer peut apporter des informations importantes sur l'équilibre du pied, le point de bascule et les zones de charges en relation avec la ferrure mise en place. De plus, il est plutôt contre indiqué de défermer un cheval fourbu en phase aiguë.

Le cheval doit être **positionné en appui bipodal** sur des cales de même hauteur (Caure 2009; Redden 2003b). Porter un poids différent entre les deux membres altérerait les angles du paturon et de l'articulation inter phalangienne distale, ainsi que la relation entre la phalange distale et la boîte cornée (Redden 2003b). D'où l'importance d'avoir des cales de même hauteur et que l'appui sur les deux sabots soit identique. D'après Redden (Redden 2003b), la hauteur de la cale doit dépendre de la machine de radiographie utilisée. Pour déterminer cette hauteur idéale, il faut mesurer la distance entre le sol et le centre du collimateur (d'où sort le faisceau de rayons X) et y soustraire 2 cm car on veut que le faisceau soit centré sur la face palmaire de la phalange distale, face se trouvant à 1,5-2 cm du bord solaire de la paroi de la boîte cornée. D'autres auteurs ont décrit avoir utilisé des cales de 7 à 9 cm de haut (Linford, O'Brien, Trout 1993; Cripps, Eustace 1999a; Kummer et al. 2004a; Collins et al. 2011) ou bien de 20 cm de hauteur (Dyson et al. 2011; Smith et al. 2004).



Figure 10 : Positionnement du pied sur une cale pour une incidence radiographique latéromédiale (Redden 2003b)

L'utilisation de marqueurs lors de la réalisation de ces radiographies est nécessaire pour effectuer certaines mesures par la suite.

Un marqueur linéaire orienté à l'horizontal est placé sur la surface supérieure de la cale afin de visualiser correctement le contact entre le pied et le sol (la cale dans notre cas) (Redden 2003a). Il permettra de calculer avec précision des distances ainsi que des angles avec le sol, d'où l'importance d'un marqueur linéaire.

Le marqueur principal est celui qui permet de définir avec justesse la limite proximale de la paroi dorsale du pied. Pour cela, un marqueur linéaire radio opaque ou de la pâte barytée est utilisée et positionnée sur toute la face dorsale de la boîte cornée, partant de la couronne jusqu'au bout du pied ou au moins jusqu'à 1,5 cm du bout du pied, distance où se trouve théoriquement la base solaire de P3. Il est nécessaire que ce marqueur parte de la couronne car celle-ci doit pouvoir être localisée sur la radiographie afin de déterminer la descente de la troisième phalange. D'un point de vue pédagogique, Redden (Redden 2003a) conseille d'effectuer ce marquage pour toutes les radiographies latérales de pied afin d'entraîner l'œil à repérer la distance avec la paroi dorsale de la phalange distale, sans avoir besoin de la mesurer. (Reed, Bayly, Sellon 2010; Redden 2003b; Sherlock, Parks 2013)

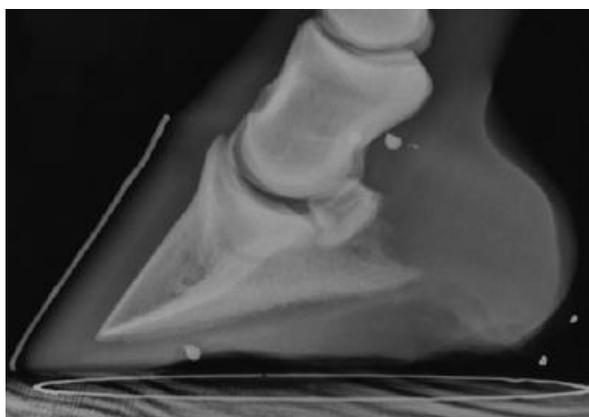


Figure 11 : Marqueurs radiographiques pour l'identification de la bande coronaire, de la paroi dorsale de la boîte cornée, et de la surface de la cale (Eggleston 2012)

Trois **incidences radiographiques** peuvent être réalisées : une latéromédiale, une dorsopalmaire à l'horizontale et une dorsopalmaire à 65°.

L'incidence latéromédiale a pour objectif principal la visualisation de P3 dans la boîte cornée : le faisceau de rayons X doit être perpendiculaire au plan sagittal du pied, centré à mi-distance entre les talons et la pince (Redden 2003a; K Thieme, Ehrle, Lischer 2015), 1,5 à 2 cm au-dessus de la surface d'appui du pied (c'est le niveau de la face palmaire de la troisième phalange) (Redden 2003b). Dans la mesure du possible, il faut accomplir des clichés de qualité optimale : quand les condyles des phalanges proximale et moyenne se superposent parfaitement, car une obliquité de plus de 5-10% revient à surestimer les angles de bascule sur des chevaux fourbus (Caure 2009; Redden 2003b) ; les autres critères étant quand les bords solaires latéral et médial de la troisième phalange sont superposés et quand l'os naviculaire est clairement défini avec un os compact distinct de la partie spongieuse (Dyson et al. 2011). Ces critères de qualité radiographique sont bien entendus à adapter en fonction de la pathologie du cheval : un cheval avec un syndrome naviculaire ne pourra pas avoir un os compact nettement distinct de la partie spongieuse de son os naviculaire.

L'incidence dorsopalmaire horizontale, dans notre cas de figure, a pour intérêt de visualiser la relation qu'a la troisième phalange avec la boîte cornée : le faisceau de rayons doit être à l'horizontal par rapport au sol et parallèle au plan sagittal du pied, centré 1,5-2 cm au-dessus de la surface palmaire de la boîte cornée (Redden 2003b).

L'incidence dorso-palmaire 65° rend possible l'évaluation de la marge distale de la troisième phalange, de l'articulation inter-phalangienne distale et de l'os naviculaire : il faut dans ce cas positionner le pied sur une cale inclinée de 65°, puis placer la cassette perpendiculairement au sol et au faisceau horizontal (Redden 2003b).

Lors de l'analyse de ces images, on peut différencier cinq grandes catégories de radiographie suivant les lésions identifiables :

- Sans anomalie observable
- Déplacement distal de la troisième phalange
- Rotation de la troisième phalange
- Rotation et descente de la troisième phalange
- Rotation de la troisième phalange avec des lésions chroniques secondaires.

L'examen radiographique se fait en deux temps : tout d'abord une lecture des images obtenues puis une prise de mesures afin d'être le plus précis possible que ce soit pour la pose d'un diagnostic, l'objectivation d'un pronostic ou bien l'évaluation de l'évolution d'un cas.

B. Lecture des images obtenues

Au cours de la lecture des images radiographiques, il faut s'attarder sur l'analyse des structures ostéo-articulaires du pied, de la boîte cornée et du chorion, ainsi que des tissus mous.

Les **structures ostéo-articulaires** peuvent se trouver modifiées par le contexte inflammatoire de la fourbure et par le déséquilibre des forces exercées sur le pied. On peut ainsi observer dans certains cas un remodelage de la troisième phalange, des lésions d'ostéolyse,

d'ostéite, la présence d'une fracture, la formation d'un séquestre ou bien encore la nécrose de la partie distale de P3. Ces lésions peuvent apparaître après 5 à 6 semaines d'évolution. Il est primordial de les prendre en compte dans la prise en charge thérapeutique et le pronostic évoqué avec le propriétaire. (Hood 1999)

La **boîte cornée** est un élément clé à analyser dans un contexte de fourbure. Sur une image radiographique, on peut apprécier la densité de la paroi dorsale et de la sole. Une ligne radio-opaque divise en deux parties égales la paroi dorsale de la plupart des chevaux sains, sur des radiographies de bonne qualité. Cette ligne symbolise la séparation entre le derme (chorion) et l'épiderme (couche cornée) de la paroi (Redden 2003a). Des lignes radio-transparentes peuvent être présentes sous la paroi dorsale : dans ce cas ces lignes montrent la séparation de l'appareil lamellaire et l'infiltration aérique comblant l'espace. C'est un de signes associés à la sévérité de la fourbure. Des déformations de la boîte cornée et du bourrelet coronal peuvent être également identifiées (Caure 2009) : par exemple lors d'un déplacement distal de la troisième phalange, l'effondrement de la bande coronaire peut être observée même si dans de nombreux cas, il est possible de le voir cliniquement et non sur des radiographies de pied (Sherlock, Parks 2013).

Il est indispensable d'évaluer les **tissus mous** du pied, leur épaisseur et leur radio opacité, car ils peuvent nous signifier la présence d'une congestion, d'un œdème, d'une collection d'exsudat inflammatoire ou encore la présence de gaz. Par exemple, une contracture du tendon fléchisseur profond peut être identifiée. Cette contracture peut faire suite à une pousse inégale entre les talons et la pince dans un contexte de fourbure. (Hood 1999; Sherlock, Parks 2013)

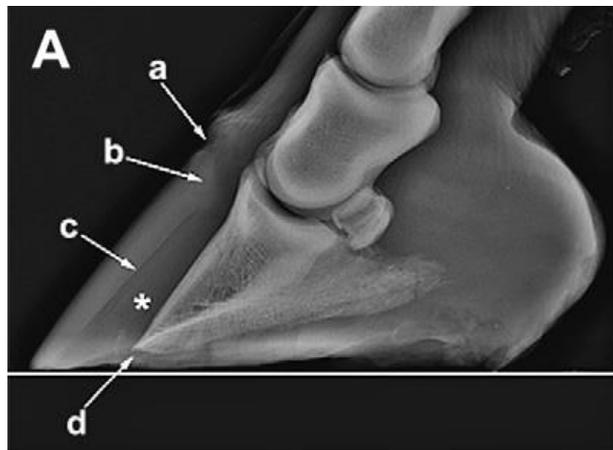


Figure 12 : Radiographie en incidence latéro-médiale d'un pied atteint de fourbure chronique (Collins et al. 2010).

Plusieurs anomalies sont visibles: a : dépression supra-coronale; b : compression et distorsion du chorion coronal entre la paroi du sabot et le processus extensorius de la troisième phalange, après déplacement distal de P3; c : ligne radiotransparente d'opacité aérique, signe de rupture de l'appareil suspenseur de P3 et de la séparation entre le kéraphylle et le podophylle; d : descente de P3 et pénétration de l'apex de P3 dans le chorion solaire.

C. La prise de mesures

Comme vu précédemment, trois incidences radiographiques peuvent être réalisées dans le cadre d'une évaluation de fourbure : une latéromédiale, une dorsopalmaire à l'horizontale et une dorsopalmaire à 65°. Nous allons principalement nous attarder sur la vue latéromédiale car elle permet d'obtenir le plus d'informations possible et que nous étudierons exclusivement des radiographies de cette incidence lors de notre étude. De nombreuses mesures de distance et d'angle sont réalisables sur ces radiographies et nous permettent d'apporter un poids au diagnostic voir au pronostic donné.

En vue latéromédiale, une multitude d'angles et de distances peuvent être calculés afin d'estimer la descente distale de P3 en l'occurrence.

L'**angle S** se situe entre la paroi dorsale du pied et le sol (ou la cale utilisée). Pour des membres antérieurs sains, l'intervalle de référence de cet angle est de $54^\circ \pm 4,3$ (Katharina Thieme, Ehrle, Lischer 2015), $50,5^\circ \pm 5$ (Cripps, Eustace 1999a), $52^\circ \pm 3,6$ (Kummer et al. 2006).

L'**angle T** est défini par l'angle entre le bord dorsal de la troisième phalange et le sol. En moyenne on s'attend à une valeur de $52,6^\circ \pm 4$ (Katharina Thieme, Ehrle, Lischer 2015), $49,4^\circ \pm 4,7$ (Cripps, Eustace 1999a), $49^\circ \pm 4$ (Kummer et al. 2006).

Les deux angles précédents nous permettent de calculer l'**angle H** ou **angle dorsal** qui est la différence entre l'angle T et l'angle S (Caure 2009). Il permet de mesurer la bascule de la troisième phalange. L'importance de cet angle est controversée par certains auteurs. Il ne faut pas se concentrer uniquement sur cette mesure pour évaluer l'état d'avancée d'une fourbure, toujours garder à l'esprit qu'il permet uniquement de déterminer la rotation de la phalange et qu'il peut être influencé notamment par un travail de maréchalerie ou une simple déformation de paroi. Déterminer l'état d'avancée d'une fourbure ne peut pas se réduire seulement à des mesures de pied mais doit toujours prendre en compte le tableau clinique dans son ensemble (Reed, Bayly, Sellon 2010). Cet angle dorsal doit être environ égal à 0° car la paroi dorsale et le bord dorsal de la troisième phalange doivent être parallèles (Dyson et al. 2011). L'angle H peut être négatif suivant les conformations de pied mais que très légèrement positif, sinon cela montrerait une bascule de P3 : $-2,8^\circ \pm 1,3$ (Kummer et al. 2006), $-0,86^\circ \pm 2,4$ (Cripps, Eustace 1999a).

L'**angle U** se trouve entre la droite passant par les centres des articulations interphalangiennes et le sol (Caure 2009). D'après Cripps et Eustace, il doit être égal en moyenne à $44,6^\circ \pm 5,24$ (Cripps, Eustace 1999a). Cet angle permet d'apprécier l'alignement des phalanges par rapport au sol.

L'**angle R** est la différence entre l'angle T et l'angle U (Caure 2009). Il permet d'évaluer l'alignement des phalanges. Il est égal $4,8^\circ \pm 6,1$ (Cripps, Eustace 1999a).

Pour l'**angle palmaire**, ou **angle SA**, deux alternatives de mesure peuvent être utilisées. La première est la mesure de l'angle entre la surface solaire de la troisième phalange et la sole du sabot. Celle-ci permet d'obtenir un angle qui ne dépend quasiment pas des mécanismes d'action du fer, nous renseignant sur la relation entre la troisième phalange et la boîte cornée. On peut ainsi obtenir des informations sur l'intégrité structurale des tissus mous de la région

des talons (le coussinet digital) (Redden 2003a). La deuxième alternative est de mesurer l'angle entre la surface solaire de la troisième phalange et le sol (la surface de la cale dans notre cas). L'angle est dans ce cas indicateur des effets mécaniques du fer sur le pied (Caure 2009; Redden 2003a). Pour l'angle palmaire, chez la majorité des chevaux normaux, la valeur de l'angle est positive car les processus palmaires de la troisième phalange sont plus hauts que l'apex de cette dernière. Dans le cas de pied bot ou fourbure par exemple, la mesure de l'angle peut augmenter. S'il y a une perte de structure dans la région des talons, dans le coussin digital, alors l'angle palmaire prend des valeurs négatives car les ailes de la troisième phalange sont alors plus basses que l'apex. Les valeurs de référence varient suivant les études : 2 à 10° pour Parks et O'Grady (Parks, O'Grady 2003), $6,1^\circ \pm 2,84$ pour Smith et al. (Smith et al. 2004), 3-5° pour Redden (Redden 2004). Il faut garder en tête que cette mesure dépend de la race du cheval, du parage du pied ainsi que de sa ferrure (Redden 2003a). Une étude sur 31 chevaux non boiteux de diverses races a montré qu'une augmentation de 1° de cet angle provoque une diminution de la force exercée par le tendon fléchisseur profond sur l'os naviculaire de 4% (Dyson et al. 2011). Notion importante à connaître lors de la prise en charge thérapeutique d'une fourbure et montrant l'importance de cet angle.

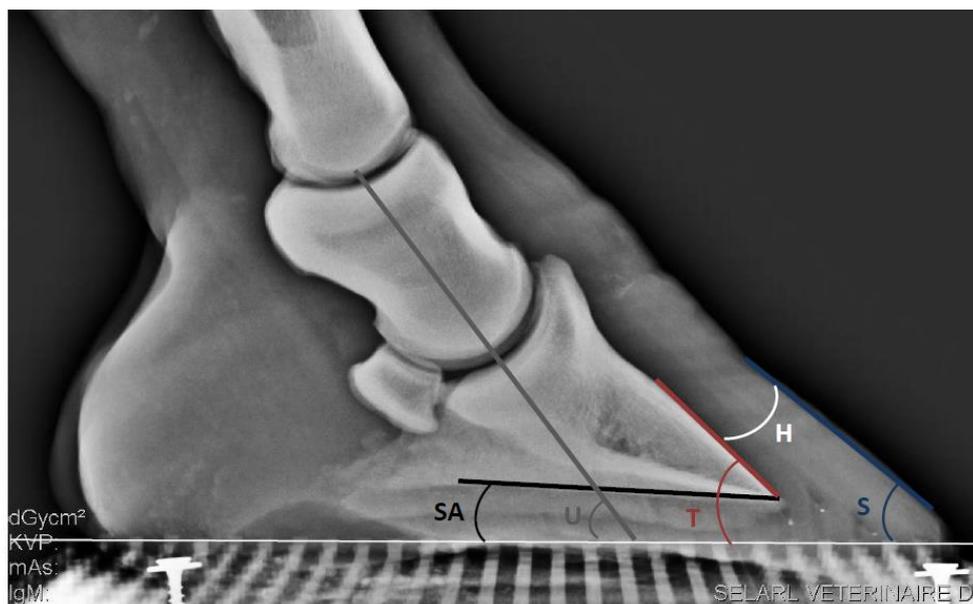


Figure 13 : Radiographie en incidence latéromédiale d'un pied sain.

Mesures des angles possibles pour l'interprétation d'une radiographie de pied atteint de fourbure.



Figure 14 : Radiographie en incidence latéro-médiale d'un pied atteint de fourbure (Sherlock, Parks 2013).

Mise en évidence de l'augmentation de l'angle **S**, **T**, **H** (angle dorsal), **U** et de l'angle **SA** (angle palmaire). Visualisation de la paroi dorsale de la boîte cornée, du bord dorsal et du bord solaire de la troisième phalange, ainsi que de la surface horizontale du sol grâce aux lignes blanches.

D'autres anomalies sont mises en évidence sur cette radiographie : diminution de l'épaisseur de la sole, augmentation de la longueur de la pince.

On peut également mesurer la **distance verticale** ou **CE**, qui sépare deux droites horizontales passant respectivement par le sommet du processus extensorius de la troisième phalange et la bande coronaire. Cette mesure est réalisable uniquement à l'aide d'un marqueur radio-opaque allant jusqu'à la limite proximale de la paroi dorsale de la boîte cornée. Elle est importante pour identifier un déplacement distal de la troisième phalange et elle est d'autant plus intéressante si on a une valeur de référence pour le cheval, avant ou au minima datant du début de l'épisode de fourbure (Caure 2009; Redden 2003a; Sherlock, Parks 2013). Les valeurs sont variables du fait de la diversité individuelle des chevaux (taille, race) (Cripps, Eustace 1999a). D'après Cripps et Eustace (Cripps, Eustace 1999a), les Pur-Sangs ont en moyenne une distance de 5,2 mm, avec des valeurs normales allant de 3,2 à 7,2 mm. Selon une étude sur une population composée de diverses races de chevaux, cette distance est en moyenne de 4,1 mm, avec des valeurs allant de 1,8 à 9,7 mm (Baxter 1994; Sherlock, Parks 2013). Un autre auteur décrit que les valeurs chez des chevaux sains se trouvent entre 0 et 15 mm (Redden 2003a).



Figure 15 : Radiographie en incidence latéro-médiale d'un pied atteint de fourbure (Sherlock, Parks 2013).

Mise en évidence du déplacement distal de la troisième phalange avec l'augmentation de la **distance verticale (CE)** (indiqué par la double flèche noire) entre la bande coronaire (indiquée par la flèche blanche et délimitée par un marqueur radio-opaque) et le processus extensorius.

D'autres anomalies sont mises en évidence sur cette radiographie : augmentation de l'épaisseur de la paroi dorsale, diminution de l'épaisseur de la sole, ligne radiotransparente dans la paroi dorsale de la boîte cornée, augmentation de la longueur de la pince.

L'**épaisseur de la paroi dorsale** de la boîte cornée se calcule par une droite perpendiculaire à la troisième phalange, du bord dorsal de cette dernière au bord dorsal du sabot. L'épaisseur se mesure en deux points, une mesure proximale sous le processus extensorius nommée **IDA** et une distale proche de l'apex de la troisième phalange, **IDB**. Chez un pied adulte sain, les deux valeurs doivent être identiques (Redden 2003a). Pour un pied immature, la mesure proximale peut être plus grande que la mesure distale. Il est toutefois possible que la mesure distale soit légèrement plus grande que la proximale (Kummer et al. 2006), notamment chez les chevaux de CSO. Une augmentation plus prononcée montre une rotation de la troisième phalange (Redden 2003a; Caure 2009). Cette mesure permet de nous renseigner sur l'intégrité de l'appareil lamellaire en face dorsale de la phalange, à utiliser avec l'angle palmaire pour décrire la bascule de la troisième phalange (Redden 2003b). Les mesures varient particulièrement suivant la race : les pur-sang, quarter horse et d'autres races légères ont des épaisseurs de paroi entre 14 et 18 mm (Linford, O'Brien, Trout 1993; Cripps, Eustace 1999a; Sherlock, Parks 2013; Redden 2003a) ; tandis que chez des races plus standard, avec un gabarit supérieur aux précédents, l'épaisseur de paroi va être supérieure, en moyenne à 20 mm (Redden 2003a) ; chez des races plus lourdes cette mesure peut monter jusqu'à 22 mm (Sherlock, Parks 2013). Lors de la prise de cette mesure, il faut être vigilant quant à un râpage excessif de la paroi, à prendre en considération lors de notre interprétation (Redden 2003a).



Figure 16 : Radiographie en incidence latéro-médiale d'un pied atteint de fourbure (Sherlock, Parks 2013).

Mise en évidence de l'augmentation de l'épaisseur de la paroi dorsale (**IDA et IDB**), indiquée par les deux doubles flèches blanches. Augmentation plus marquée en distal qu'en proximal.

Autres anomalies : diminution de l'épaisseur de la sole, augmentation de la longueur de la pince.

L'épaisseur de sole, ou **ES**, se mesure par une droite verticale de l'apex de la troisième phalange à la paroi solaire du sabot (Redden 2003a). Cette mesure permet d'évaluer la compression des tissus mous en regard de la sole, sachant que les vaisseaux du chorion solaire sont à 6 mm en dessous de la phalange. Chez un cheval avec des pieds sains, cette épaisseur de sole doit être d'au minimum 15 mm : il faut au minimum 10 mm entre la surface palmaire de la troisième phalange et les couches cornées de la sole pour qu'un remplissage vasculaire adéquat se fasse, et un minimum de 5 mm de sole cornée pour une bonne protection du chorion (Redden 2003a). D'après Linford, les pur-sang semblent avoir une sole plus fine : 11 mm (Linford, O'Brien, Trout 1993). Suite à des études de vénographie sur un large échantillon de chevaux, une sole de moins de 15 mm d'épaisseur est cliniquement significative. Les vénogrammes de chevaux avec une sole de moins de 15 mm montrent des altérations des papilles solaires : elles se courbent, sont comprimées ou bien absentes (Redden 2003a). L'altération de la vascularisation de la sole entraîne une diminution voire une inhibition de sa pousse.



Figure 17 : Radiographie en incidence latéromédiale d'un pied atteint de fourbure (Sherlock, Parks 2013).

Mise en évidence de la diminution de l'épaisseur de sole (flèches blanches).

Autres anomalies : augmentation de l'épaisseur de paroi dorsale, ligne radiotransparente d'opacité aérienne, dépression supra-coronale, augmentation des angles S, T, H, U et SA, augmentation de la longueur de la pince.

Lors d'une fourbure, les mesures sur lesquelles nous allons tout particulièrement porter notre attention sont les épaisseurs de paroi dorsale et de sole, la distance verticale, les angles palmaire et dorsal. On pourra observer une augmentation de IDB et une non correspondance avec IDA, une diminution de l'épaisseur de sole, une augmentation de la distance verticale, des angles palmaire et dorsal. Tous ces paramètres sont indicateurs d'une rotation ou d'une descente de la troisième phalange dans la boîte cornée. Concernant l'analyse des tissus mous, un halo de la bande coronaire et des lignes radio transparentes dans la paroi dorsale et solaire peuvent être observés, témoignant de l'atteinte du système lamellaire. Il faut tout de même interpréter ces mesures avec un certain recul sur le travail de maréchalerie effectué sur le pied, sur la race du cheval et la variation des mesures associées, et toujours se référer à la clinique que présente le cheval (Eustace 2010; Sherlock, Parks 2013)

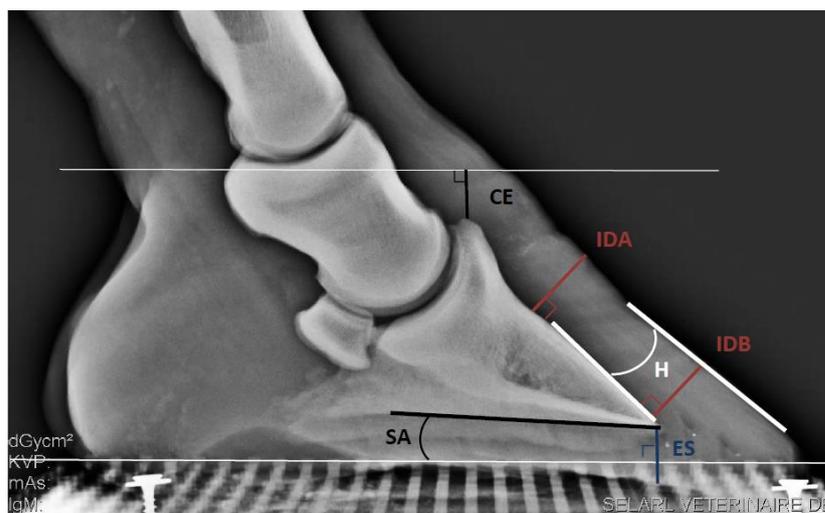


Figure 18 : Radiographie en incidence latéro-médiale d'un pied sain.

Mesures essentielles pour l'interprétation d'une radiographie d'un pied atteint de fourbure.

La vue dorsopalmaire horizontale pied posé permet-elle notamment de visionner un déséquilibre latéromédial de la troisième phalange. Elle se trouve parfois être la seule vue sur laquelle une fourbure peut être diagnostiquée. (Sherlock, Parks 2013)

La visualisation des espaces articulaires inter-phalangiens nous permet d'observer une compression et de la latéraliser. Si l'espace articulaire est rétréci en médial et élargi en latéral, une compression est alors présente en médial et la descente de la troisième phalange est plus importante en latéral. Ceci peut être significatif d'un **déplacement asymétrique de la troisième phalange**. Il faut tout de même interpréter cette compression avec prudence : elle peut être causée par la conformation anatomique distale du membre du cheval, qui peut avoir un varus ou un valgus marqué, et non par un déplacement de la troisième phalange. Ce déplacement peut également être objectivé par le tracé d'une ligne entre les foramens des canaux semi-lunaires de la troisième phalange : si cette ligne n'est pas parallèle au sol, alors on peut conclure à un déplacement asymétrique de la phalange (Simon 2016; Sherlock, Parks 2013). Cette méthode est plus fiable que la précédente et peut être révélatrice de problèmes de la symétrie du parage.

La visualisation des tissus mous est importante sur cette vue. Des zones aériques peuvent notamment être observées (Caure 2009).



Figure 19 : Radiographie en incidence dorso-palmaire d'un pied atteint de fourbure (Sherlock, Parks 2013)

Mise en évidence de l'élargissement de l'aspect médial de l'espace articulaire de l'articulation inter-phalangienne distale (2b) comparé au latéral (2a), pouvant être compatible avec un déplacement distal médial de la troisième phalange. L'espace articulaire latéral (1a) et médial (1b) de l'articulation inter-phalangienne proximale sont plus symétriques.

La bande coronaire est délimitée par de la pâte barytée.



Figure 20 : Radiographie en incidence dorso-palmaire d'un pied atteint de fourbure (O'Grady 2010).

Mise en évidence d'un déplacement asymétrique de la phalange distale par la construction d'une ligne entre les foramens des canaux semi-lunaires de la phalange distale : ligne non parallèle au sol sur cette radiographie.

On peut également réaliser une vue dorso-palmaire à 65° afin notamment d'examiner l'extrémité distale de la troisième phalange. Par ce cliché, il est possible d'observer d'éventuels remodelés, ostéopénies, ostéites ou fracture de la troisième phalange. L'ostéopénie par exemple est révélatrice d'une nécrose ischémique de la troisième phalange, conséquence des altérations du système vasculaire du pied lors d'une fourbure.



Figure 21 : Radiographie en incidence dorso-palmaire à 65° d'un pied atteint de fourbure chronique (Caure 2009)

Présence d'ostéite de l'apex de la troisième phalange.

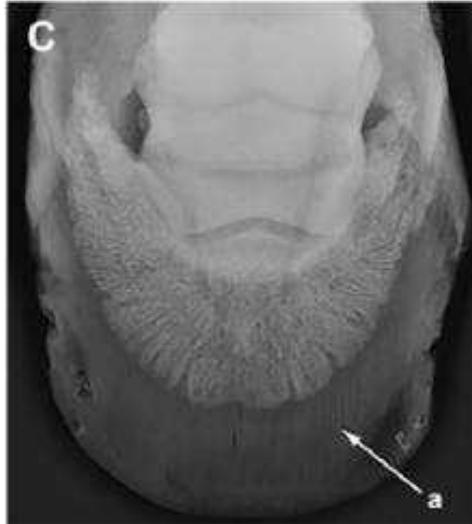


Figure 22 : Radiographie en incidence dorso-palmaire à 60° d'un pied atteint de fourbure chronique (Caure 2009).

Présence de fines lignes radio-transparentes quasi-parallèles : signe de la séparation physique entre le kératophylle et le podophylle.

D. Influence sur le pronostic

Suite à l'examen clinique, radiographique et à la prise de mesures, un pronostic peut tenter d'être posé. L'incidence latéromédiale reste la plus informative. Outre les mesures radiographiques, il est élémentaire de prendre en compte dans le pronostic la possibilité de contrôle de la douleur et les moyens financiers des propriétaires.

Stick en 1982 a établi des valeurs pronostiques de l'angle dorsal (angle H) : pour des chevaux présentant des angles de bascule inférieurs à 5,5°, de 6,8° à 11,5°, et supérieurs à 11,5°, le pronostic de retour à leur niveau de compétition initial est respectivement favorable, incertain et défavorable.

D'après Cripps et Eustace, le meilleur critère radiographique est la distance verticale (ou CE) (Cripps, Eustace 1999b). Le pronostic est favorable lorsque cette dernière est inférieure à 8 mm, mais défavorable si elle est supérieure à 15 mm .

D'après Caure (Caure 2009), les cas de fourbure avec une flexion inter-phalangienne distale plus sévère sont bien plus délicats à traiter que lorsque que le désengrènement n'entraîne qu'une rotation limitée de la troisième phalange.

Le pronostic dépend également de la compression qu'exerce la troisième phalange sur le réseau vasculaire en face distale du pied. Par exemple : plus l'angle palmaire est élevé, plus la compression en regard de l'apex de P3 est forte. L'épaisseur de sole joue un rôle crucial dans la préservation de la vascularisation, plus elle est épaisse, plus la vascularisation est peut-être sauvegardée. (Caure 2009)

L'épaisseur de sole est importante à surveiller tout au long d'une fourbure, car en fonction de la vitesse de rotation de la troisième phalange, celle-ci permettra au cheval de

bénéficier d'un laps de temps plus ou moins long avant que P3 ne traverse la paroi solaire. Cette vitesse d'évolution est notamment critique les trois premières semaines (Caure 2009).

Concernant l'évaluation des tissus mous, est de très mauvais pronostic l'apparition de zones aériques dans la paroi dorsale les tout premiers jours de la fourbure. Si celles-ci apparaissent en 10 à 14 jours, elles ne sont alors pas toujours associées à un mauvais pronostic (Caure 2009).

DEUXIEME PARTIE : ETUDE CLINIQUE

I. INTERETS ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

La fourbure est une affection avec de lourdes conséquences autant d'un point de vue pronostic sportif voir vital pour le cheval, que d'un point de vue investissement, qu'il soit temporel et financier, pour le vétérinaire, le maréchal et le propriétaire, avec une prise en charge lourde et souvent longue, sans garantie de récupération du niveau sportif du cheval ou bien juste d'un simple confort de vie quotidien.

Dans ce contexte, l'examen radiographique est primordial, autant pour le diagnostic de départ (même si les lésions ne sont pas toujours visibles en début d'évolution), pour le pronostic, que pour la mise au point d'un plan thérapeutique et du suivi de la réponse du cheval au traitement. La radiographie est aussi une aide précieuse lors du travail de maréchalerie et la pose d'une ferrure adaptée.

Avant de pouvoir identifier des anomalies radiographiques, il est important de connaître les caractéristiques d'un pied sain. Hors nous avons vu dans notre première partie que la race du cheval influençait de manière non négligeable les intervalles de référence normaux de certaines mesures. Il nous a donc paru intéressant de réaliser une étude visant à déterminer des intervalles de référence de mesures de pieds sains chez différentes races françaises/européennes pour pouvoir par la suite être à même de détecter avec précision les anomalies dues à une fourbure. Ces intervalles de mesures de référence pourront également s'appliquer à d'autres affections du pied ou même à orienter un travail de maréchalerie.

Il faut tout de même prendre en considération que les caractéristiques physiques d'un pied sont soumises à des facteurs de variation : suivant la race, le mode d'utilisation, l'âge et le poids principalement. Un autre aspect de cette étude sera donc d'examiner le rôle de certains paramètres dans les mesures réalisées.

II. MATERIEL ET METHODE

A. Les chevaux inclus dans l'étude

Pour cette étude, une banque de donnée de 264 radiographies de pieds sains de membre antérieur de chevaux a été constituée, avec un total de 136 chevaux, comportant 131 pieds de membre antérieur et 133 de membre antérieur gauche. Cette banque de donnée a été élaborée grâce aux ressources de la Clinique de Conques, Centre Hospitalier Vétérinaire Equin.

Des chevaux de profil différents, suivant leur race, ont été pris en compte. Ils étaient répartis comme suit :

- 104 pieds de Selle-Français,
- 64 de Pur-Sang Arabes,
- 24 de chevaux Belges (BWP, Zangersheide),
- 18 de chevaux d'origine constatée,
- 16 d'Anglo-arabes,
- 15 de chevaux Allemands (KWPN, Holsteiner, Oldenburger, Hanovrien),
- 13 de Trotteurs,
- 6 de chevaux de selle,
- 2 de Lusitaniens
- et 2 de Pur-Sang.

Concernant la tranche d'âge, les chevaux étaient âgés de 1 à 12 ans, avec un âge moyen de 5 ans. L'échantillon total était constitué de 106 pieds de juments et de 158 pieds d'hongre ou entier.

B. Radiographies sélectionnées

Les images radiographiques incluses dans cette étude ont toutes été prises à l'aide du même générateur, utilisé à la Clinique de Conques. Ces radiographies proviennent de bilans effectués dans le cadre d'une visite d'achat, sur des chevaux sains ne présentant pas d'affection de pied connue.

Les pieds ont été préparés : déferrés, curés correctement, avec une fourchette et des barres proprement nettoyées. Les chevaux ont ensuite été positionnés en appui bipodal sur des cales de même hauteur.

Seules des incidences latéromédiales ont été sélectionnées car les incidences dorsopalmaires ont été prises avec un angle de 65°, ce qui est standard pour une visite d'achat mais la vue dorsopalmaire de référence dans des cas de fourbure doit être prise à l'horizontale.

Il a donc été choisi de n'utiliser que les incidences latéromédiales. Celles-ci ont été prises avec un faisceau de rayons X perpendiculaire au plan sagittal du pied, centré à mi-distance entre les talons et la pince.

Une qualité des clichés sélectionnés la plus optimale possible a été recherchée : avec les condyles des phalanges proximale et moyenne qui se superposent, les bords solaires latéral et médial de la troisième phalange qui sont quasi superposés et l'os naviculaire qui est clairement défini avec un os compact distinct de la partie spongieuse.

C. Mesures radiographiques effectuées

Au total, sept mesures radiographiques ont été effectuées sur chacune des radiographies sélectionnées.

- L'**angle S** : entre la paroi dorsale du pied et la surface horizontale de la cale.
- L'**angle T** : entre le bord dorsal de la troisième phalange et la surface horizontale de la cale.
- L'**angle H** (angle dorsal) : la différence entre l'angle T et l'angle S (Caure 2009).
- L'**angle SA** (angle palmaire) : entre la surface solaire de la troisième phalange et la surface horizontale de la cale dans notre cas.
- Les **distances IDA et IDB** (épaisseur de la paroi dorsale) : par des droites perpendiculaires à la troisième phalange, du bord dorsal de cette dernière au bord dorsal du sabot. L'épaisseur se mesure en deux points : une mesure proximale sous le processus extensorius, IDA, et une distale proche de l'apex de la troisième phalange, IDB.
- La **distance ES** (épaisseur de la sole) : par une droite verticale de l'apex de la troisième phalange à la paroi solaire du sabot (Redden 2003a).

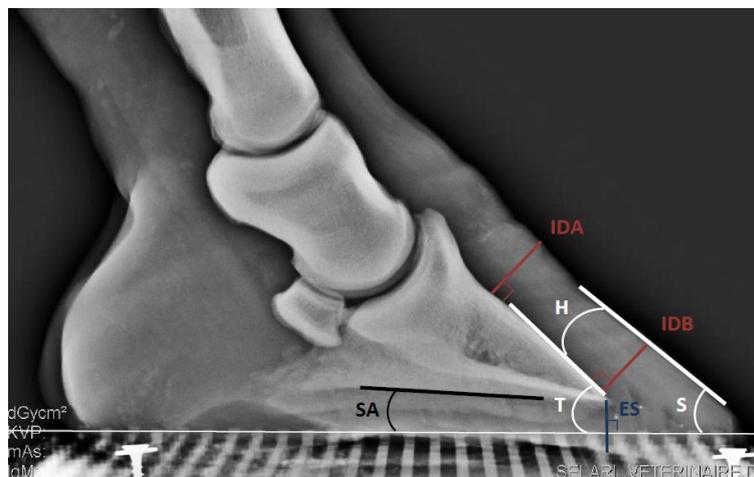


Figure 23: Mesures radiographiques utilisées lors de l'étude.

Radiographie en incidence latéro-médiale d'un pied sain de cheval.

Le choix de ces mesures s'est fait grâce à la partie étude bibliographique de cette thèse : plusieurs auteurs comme Caure, Redden, Eustace et Cripps ont montré l'importance de certaines de ces mesures pour objectiver une descente et/ou une rotation de la troisième phalange dans la boîte cornée. Il a donc été choisi d'étudier ces sept mesures, même si dans la réalité du terrain, les mesures utilisées par les praticiens varient lors de l'évaluation d'une radiographie de pied d'un cheval fourbu.

D. Analyses statistiques

Les analyses statistiques effectuées dans le cadre de notre étude ont été réalisées avec le logiciel R version 3.6.2 (2019-12-12).

La normalité des données a d'abord été évaluée pour chaque mesure avec un test de Shapiro-Wilk.

Ensuite, pour les effets membre et sexe, l'homogénéité des variances a été testée avec un test de Bartlett. Lorsque les deux conditions étaient réunies, un test de Student était alors réalisé pour comparer PG/PD et M/F. Lorsque le test de Bartlett montrait une non homogénéité des variances ou lorsque les données n'étaient pas normales, un test de Wilcoxon était alors réalisé.

L'effet de l'âge a été évalué à l'aide d'un modèle linéaire.

L'effet de la race a été évalué soit à l'aide d'une ANOVA suivie d'un test de Tuckey pour les données normales soit à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis le cas échéant.

La détermination des intervalles de référence a été réalisée à l'aide des macro-instructions Excel établies à cet effet : Reference Value Advisor (Geffré et al. 2011).

III. RESULTATS ET INTERPRETATION

Une étude statistique a été réalisée sur l'ensemble des données obtenues.

Dans un premier temps, des calculs d'intervalles de mesure pour chacune des sept mesures sur l'ensemble de l'échantillon ont été établies.

Puis, dans un second temps, ces mêmes intervalles ont été calculées pour des classes de chevaux établies suivant leur race. L'échantillon total est composé de dix classes de races de chevaux. Au vu du peu de données dans les classes Lusitanien (2 pieds), Pur-Sang (2 pieds) et Cheval de Selle (6 pieds), ces dernières ont été écartées lors de la comparaison des valeurs obtenues pour une même mesure suivant les catégories de race car les valeurs obtenues n'auraient pas été assez significatives pour pouvoir en parler individuellement. Ces dernières ont tout de même été conservées lors de l'établissement des intervalles de mesure sur l'ensemble de l'échantillon, afin de diversifier au maximum celui-ci. Des intervalles de référence ont été établis pour les chevaux Selle-Français, Arabe et Belge, au vu d'un nombre suffisant d'individus dans chacune de ces catégories de race.

En suivant, des intervalles de mesure et une étude statistique ont également été réalisés sur l'ensemble de l'échantillon afin d'étudier l'influence de la latéralité du pied, du sexe et de l'âge du cheval sur les mesures radiographiques.

Le tableau 1 représente les moyennes plus ou moins l'écart type obtenus pour chacune des sept mesures, sur l'**ensemble de l'échantillon** de cette étude, soit 264 pieds de chevaux.

Mesure	IDA (mm)	IDB (mm)	ES (mm)	SA (°)	S (°)	T (°)	H (°)
Moyenne ± écart type	17,65 ± 1,96	16,88 ± 2,02	13,19 ± 2,65	5,32 ± 2,69	50,16 ± 3,48	48,85 ± 3,37	-1,31 ± 2,18

Tableau 1: Valeurs des sept mesures radiographiques calculées sur la totalité de l'échantillon de 264 radiographies de pied, moyenne ± écart-type.

Le tableau 2 permet d'avoir une vue d'ensemble sur des intervalles de mesures décrits dans différentes études et de les comparer à ceux obtenus dans cette étude. Il est ainsi possible de constater que les intervalles de mesures obtenus dans cette étude sont sensiblement similaires à ceux décrits dans la littérature. On peut noter également une précision des mesures plus

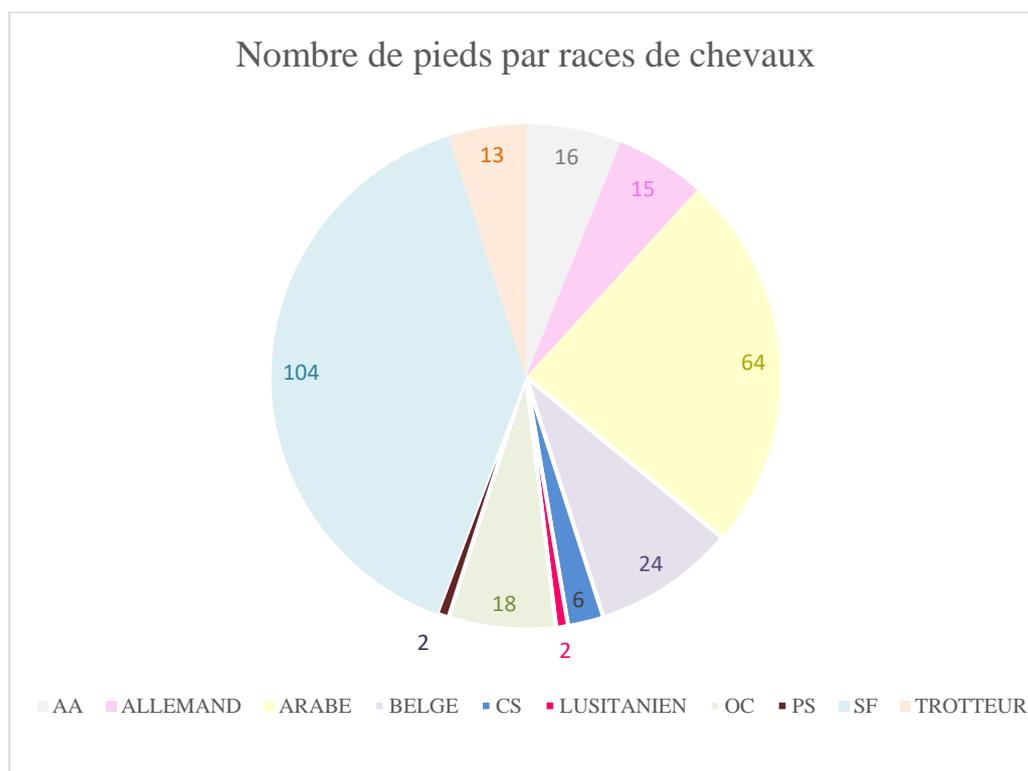
élevée : les intervalles de mesure étant plus réduits que ceux des autres auteurs, excepté pour la mesure de l'angle H.

	(Sherlock , Parks 2013)	(Redden 2003a)	(Smith et al. 2004)	(Cripps, Eustace 1999a)	(Kummer et al. 2006)	(Katharin a Thieme, Ehrle, Lischer 2015)	Etude
IDA – IDB (mm)	14 - 22			16,3 ± 2,4			17,26 ± 2,03
ES (mm)	> 11 – 15	> 15					13,19 ± 2,65
SA (°)		3 – 5	6,1 ± 2,84				5,32 ± 2,69
S (°)				50,5 ± 5,0	52 ± 3,6	54 ± 4,3	50,16 ± 3,48
T (°)				49,4 ± 4,7	49 ± 4	52,6 ± 4	48,85 ± 3,37
H (°)				-0,86 ± 2,4	-2,8 ± 1,3		-1,31 ± 2,18

Tableau 2: Intervalles de valeurs de distance et d'angle de pieds normaux de chevaux. Valeurs tirées de diverses études ainsi que de la présente étude.

La mesure pour laquelle une différence peut être notée est **l'épaisseur de sole (ES)**. Comme vu en première partie de ce manuscrit, il est décrit qu'il est nécessaire d'avoir une épaisseur de sole de minimum 15 mm afin de garantir une bonne vascularisation du pied. Hors, avec les chevaux de notre échantillon, les 15 mm d'épaisseur sont atteints dans la limite haute de l'intervalle de mesure et non comme un minimum. Cette mesure aurait pu être revue à la baisse si l'échantillon comprenait une majorité de petits chevaux, type pur-sang, car comme décrit dans des études précédentes (Linford, O'Brien, Trout 1993; Sherlock, Parks 2013), ils peuvent avoir des épaisseurs de sole s'abaissant jusqu'à 11mm d'épaisseur. Hors, la majorité des chevaux de cette échantillon est composée de Selle Français, chevaux Belges et Allemands : chevaux de corpulence bien supérieure à celle des Pur-Sangs.

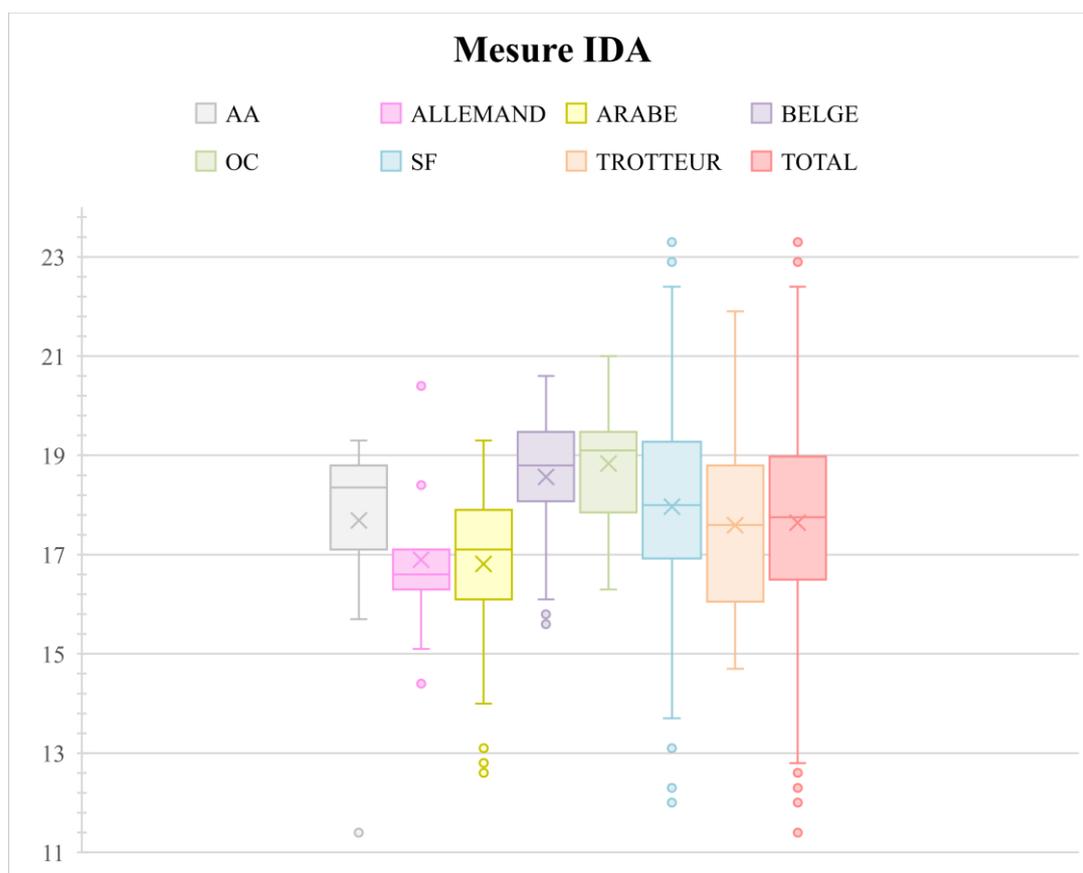
Le graphique 1 permet de comprendre et de prendre en compte pour la suite des résultats la proportion des différentes races qui composent l'échantillon total de cette étude. La tendance des valeurs de chaque race n'aura ainsi pas le même impact sur les résultats totaux. Par exemple, les chevaux Selle Français composant 39% de l'échantillon, influenceront bien plus les valeurs finales que les chevaux Allemands représentant seulement 6% de l'effectif.



Graphique 1 : Nombre de pieds de chevaux composant l'échantillon total, classés suivant la race du cheval.

Légende valable pour les graphiques 1 à 8: AA = Cheval Anglo-Arabe ; ALLEMAND = Cheval de race allemande (KWPN, Holsteiner, Oldenburger, Hanovrien) ; ARABE = Cheval Pur-Sang Arabe ; BELGE = Cheval de race belge (BWP, Zangersheide) ; CS = Cheval de Selle ; LUSITANIEN = Cheval Lusitanien ; OC = Cheval d'origine constatée ; PS : Cheval Pur-Sang ; SF = Cheval Selle Français ; TROTTEUR = Cheval Trotteur

Concernant la **mesure IDA**, l'ANOVA à un facteur a montré un effet significatif de la race ($p < 0,001$). Sur le graphique 2, on peut noter une concentration plus importante des valeurs pour les chevaux de races allemandes, alors qu'à taille d'échantillon de même ordre de grandeur, les Trotteurs et les Anglo-Araves ont une dispersion plus étendue de leurs valeurs. Un test de Tuckey nous a permis de mettre en évidence une différence significative des valeurs de IDA entre les chevaux arabes et respectivement les chevaux belges, OC et SF.

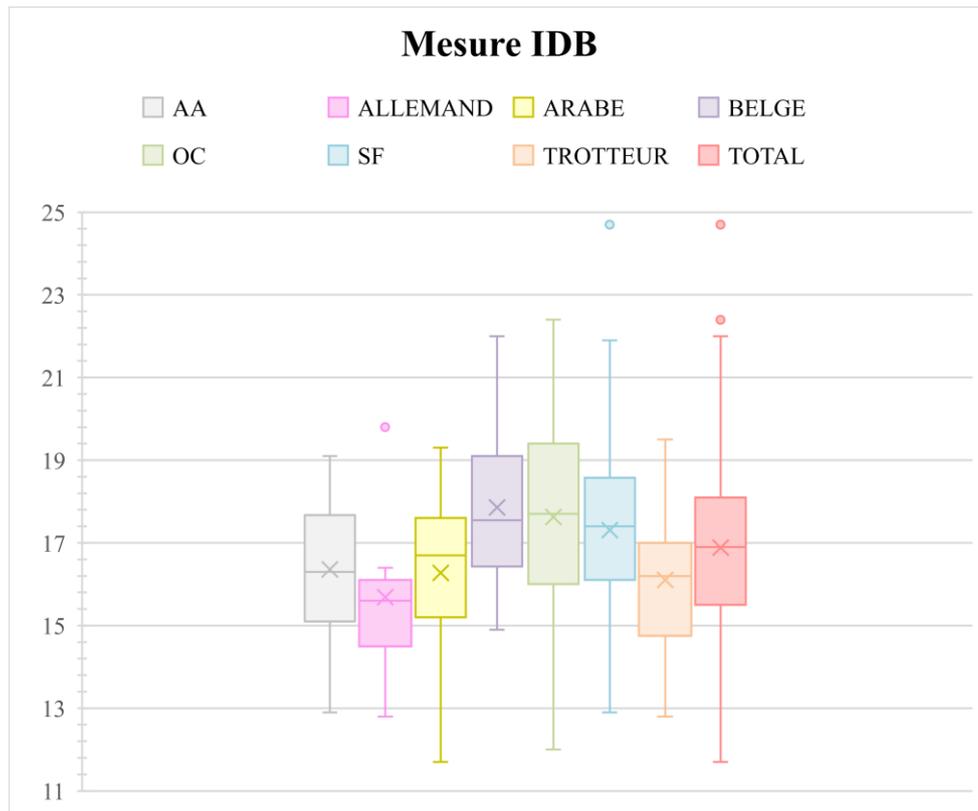


Graphique 2: Tendence centrale des valeurs de la mesure IDA (en mm) en fonction des races de chevaux.

Les graphiques 2 à 8 représentent la tendance centrale des différentes mesures suivant les catégories de race de chevaux. La tendance centrale des mesures sur l'échantillon total est également présente.

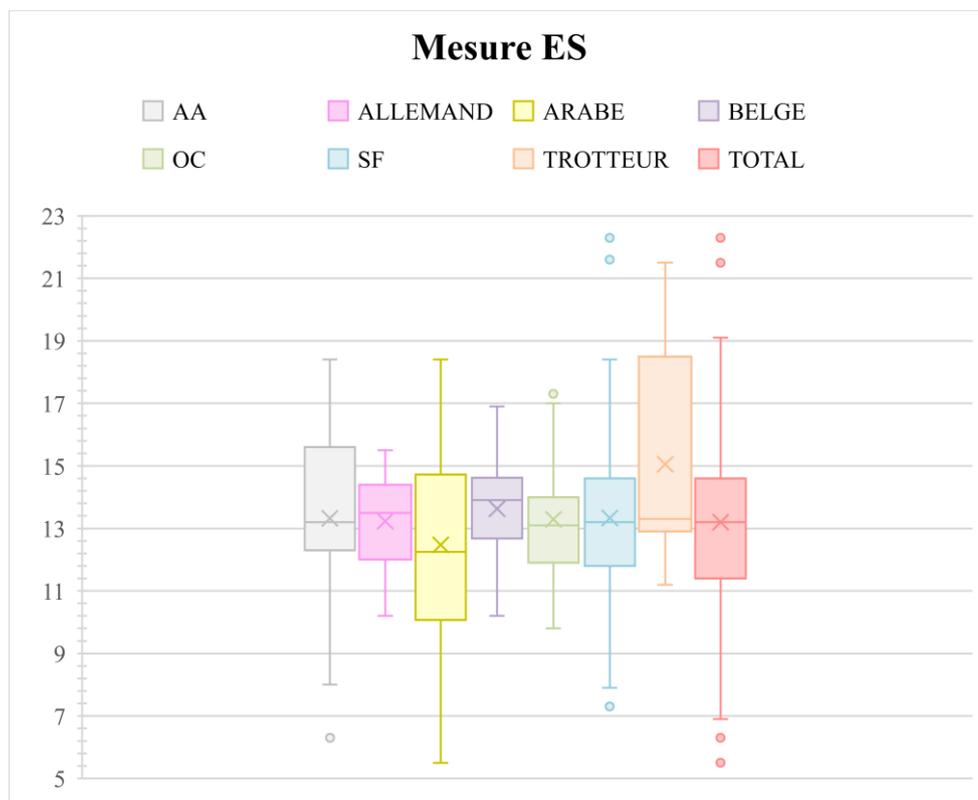
Légende valable pour les graphiques 2 à 8: TOTAL = Chevaux de toute race confondue.
 Boîtes construites par les valeurs des premiers, deuxième et troisième quartiles. La valeur de la moyenne est symbolisée par les croix présentes dans les boîtes. Les valeurs aberrantes sont représentées par les points.
 Axe des abscisses : valeurs de la mesure (en mm pour les distances, en degré pour les angles).

Pour la **mesure IDB**, l'ANOVA à un facteur a montré un effet significatif de la race ($p < 0,001$). Au vu du graphique 3, les chevaux belges, OC et Selle Français sont dans les valeurs plus hautes comparées aux chevaux allemands et aux trotteurs qui sont dans les valeurs basses de l'effectif. Le test de Tuckey a montré une différence significative entre les chevaux Allemand et Belge, Arabe et Selle Français, et Arabe et Belge.



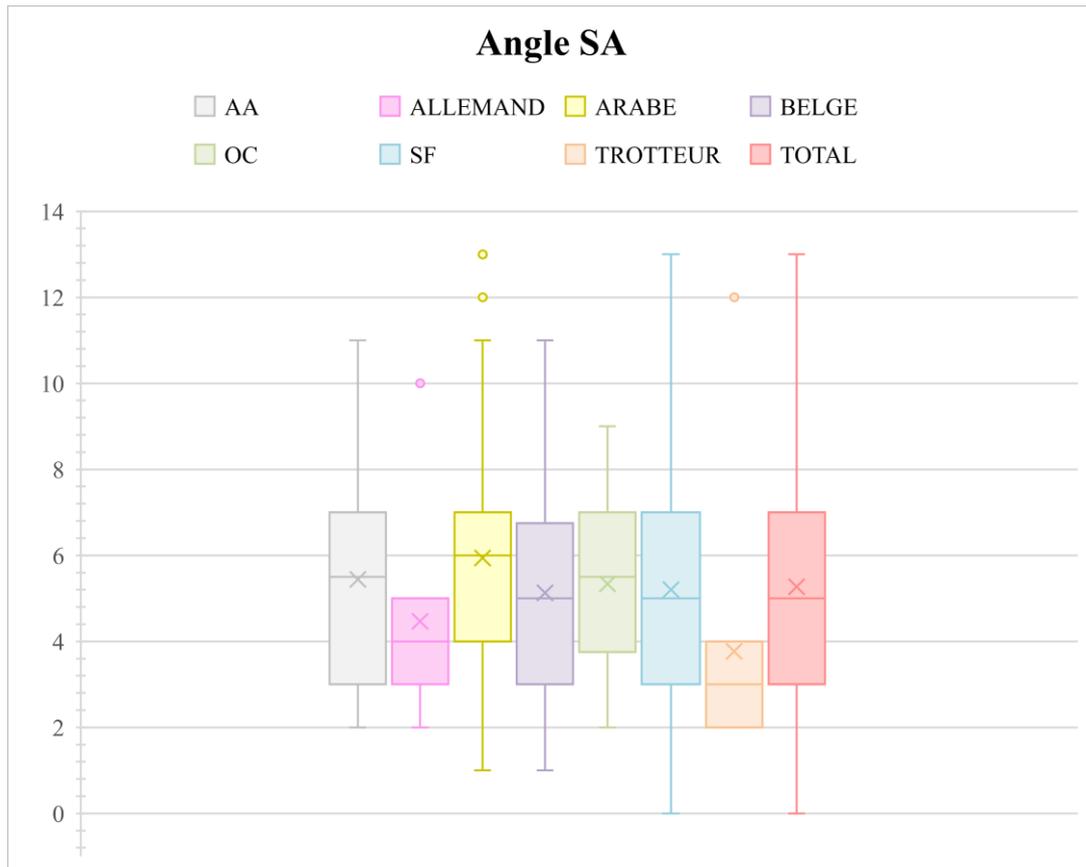
Graphique 3: Tendence centrale des valeurs de la mesure IDB (en mm) en fonction des races de chevaux.

Les valeurs de la **mesure ES** sont sensiblement dans le même intervalle pour six catégories de race sur sept : la septième, les Trotteurs, ont une répartition beaucoup plus étalée de leurs valeurs, avec une tendance centrale bien plus haute que celle de la totalité de l'échantif. 33% des Trotteurs de notre échantillon ont une valeur d'épaisseur de sole supérieure au troisième quartile de l'échantillon total. L'ANOVA à un facteur n'a cependant pas montré d'effet significatif de la race sur cette mesure ES ($p=0,11$), probablement par manque de données dans cette race.



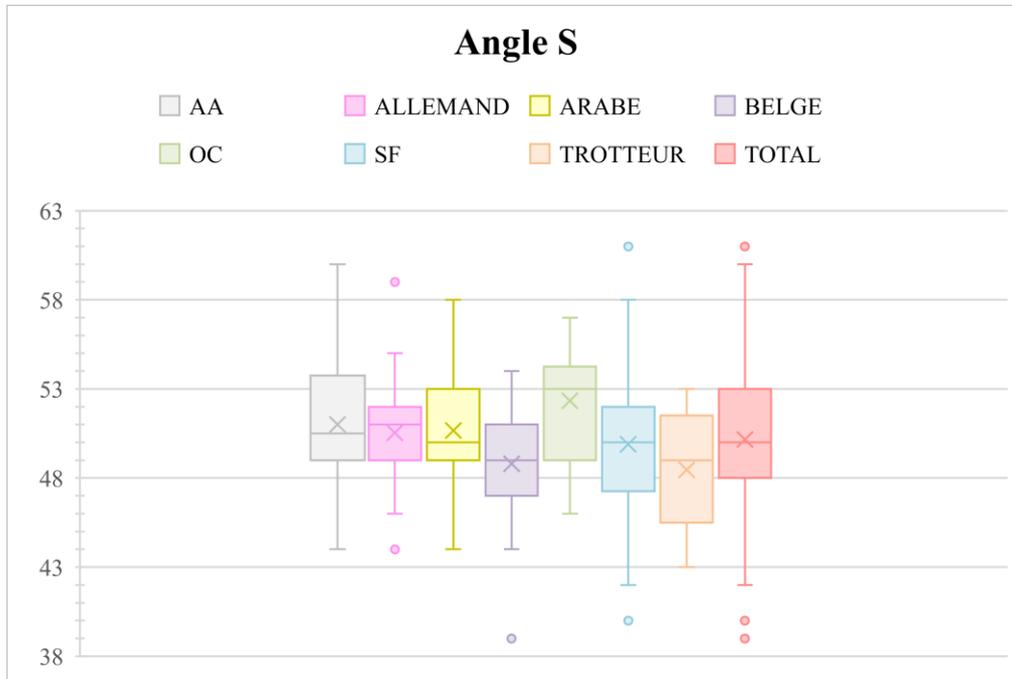
Graphique 4: Tendence centrale des valeurs de la mesure ES (en mm) en fonction des races de chevaux.

Dans les mesures d'angle, l'**angle SA** montre une tendance centrale de valeurs quasi identiques chez les Anglo-Arabs, les Pur-Sang Arabes, les races belges, les chevaux d'origine constatée et les Selle-Français comparé à la tendance centrale de l'ensemble des valeurs de l'échantillon. Seules les valeurs des chevaux Allemands et des Trotteurs sont dans la portion basse de l'effectif. Le test de Kruskal Wallis sur les valeurs de SA en fonction de la race a tout de même montré un effet significatif de la race sur l'angle SA ($p=0,025$).

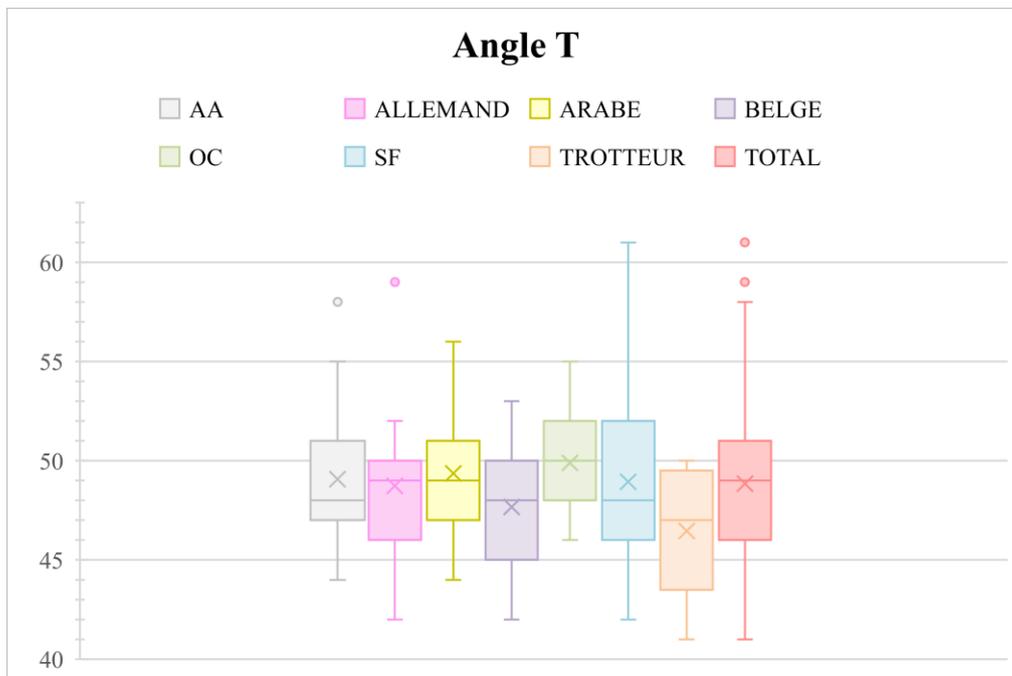


Graphique 5: Tendance centrale des valeurs de l'angle SA (en degré) en fonction des races de chevaux.

L'ANOVA à un facteur a montré un effet significatif de la race sur l'**angle S** ($p < 0,005$) mais le test de Kruskal-Wallis n'a pas permis de montrer un effet significatif pour l'**angle T**. Plus spécifiquement, le test de Tuckey a identifié des différences significatives entre chevaux de race Belge et OC pour l'angle S. D'après les deux graphiques suivants, les chevaux d'origine constatée et les Anglo-Arabs sont dans les valeurs hautes de l'échantillon, tandis que les Trotteurs occupent les valeurs les plus basses.

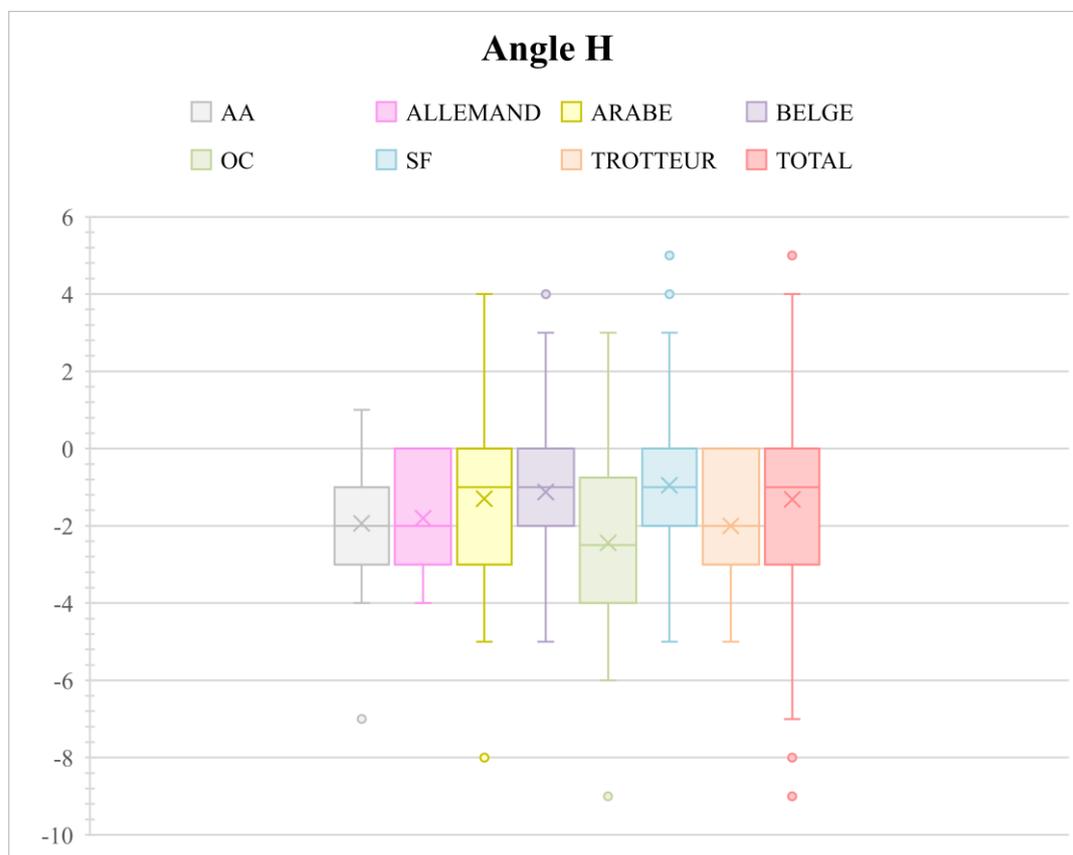


Graphique 6: Tendances centrales des valeurs de l'angle S (en degré) en fonction des races de chevaux.



Graphique 7: Tendances centrales des valeurs de l'angle T (en degré) en fonction des races de chevaux.

Pour l'**angle H**, les valeurs sont assez rapprochées suivant les races, excepté pour les chevaux d'origine constatée qui ont des valeurs plus basses que les six autres catégories de race. Cependant le test de Kruskal Wallis a permis de montrer un effet significatif de la race sur les valeurs de H ($p < 0,01$).



Graphique 8: Tendence centrale des valeurs de l'angle H (en degré) en fonction des races de chevaux.

Par choix, les différentes valeurs de chaque mesure suivant les races ont été illustrées par des graphiques (voir plus haut). Le tableau 3 regroupe tout de même les moyennes et écarts types de chaque mesure suivant chaque catégorie de race de chevaux, excluant celles des chevaux de selle, des lusitaniens et des Pur-Sangs trop peu nombreux.

%	RACE	IDA mm	IDB mm	ES mm	SA °	S °	T °	H °
100%	ECHANTILLON TOTAL	17,65 ± 1,96	16,88 ± 2,02	13,19 ± 2,65	5,32 ± 2,69	50,16 ± 3,48	48,85 ± 3,37	-1,31 ± 2,18
39%	SF	17,97 ± 2,16	17,31 ± 2,03	13,33 ± 2,62	5,34 ± 3,06	49,89 ± 3,65	48,94 ± 3,74	-0,95 ± 2,12
24%	ARABE	16,82 ± 1,58	16,27 ± 1,72	12,47 ± 2,94	5,94 ± 2,52	50,66 ± 2,82	49,36 ± 2,83	-1,30 ± 2,10
9%	BELGE	18,56 ± 1,32	17,85 ± 1,87	13,63 ± 1,58	5,13 ± 2,46	48,79 ± 3,30	47,67 ± 2,99	-1,13 ± 2,23
7%	OC	18,83 ± 1,27	17,62 ± 2,39	13,29 ± 2,11	5,33 ± 2,14	52,33 ± 3,14	49,89 ± 2,61	-2,44 ± 2,77
6%	AA	17,69 ± 1,96	16,36 ± 1,61	13,33 ± 3,09	5,44 ± 2,42	51,00 ± 3,72	49,06 ± 3,68	-1,94 ± 1,88
6%	ALLEMAND	16,89 ± 1,71	15,69 ± 1,97	13,23 ± 1,48	4,47 ± 1,81	50,33 ± 3,56	48,73 ± 3,79	-1,80 ± 1,37
5%	TROTTEUR	17,59 ± 2,01	16,10 ± 1,81	15,05 ± 3,31	3,77 ± 2,62	48,46 ± 3,48	46,46 ± 3,04	-2,00 ± 1,78

Tableau 3: Intervalles de mesures radiographiques en fonction de la race du cheval, moyenne ± écart type.

Suite à l'analyse de ces différents graphiques, mettant en lumière la tendance que prennent les valeurs des différentes mesures suivant les races de chevaux : il est compliqué d'établir un profil distinct des autres, pour une ou plusieurs races. Quelques orientations peuvent en être tout de même tirées.

Concernant les mesures d'épaisseur de paroi, les chevaux Belges semblent être dans la portion haute des valeurs avec de ce fait une épaisseur de paroi plus importante comparée aux autres races de cette étude. Les races allemandes semblent quant à elles prendre les valeurs les plus basses de l'effectif, elles auraient donc une épaisseur de paroi inférieure à la moyenne. Une différence significative existe quant à l'effet de la race sur les mesures IDA et IDB : avec des chevaux Arabes se démarquant des chevaux Belge et SF, ainsi que des valeurs significativement différentes pour IDA entre les Arabes et les OC, et pour IDB entre les Allemands et les Belges.

Il existe un effet significatif du facteur race sur les mesures d'angle S, SA et H avec notamment une différence significative des valeurs de S entre les chevaux Belges et OC.

Aucun effet de la race sur les valeurs d'ES et de T n'a pu être mis en évidence avec nos mesures.

Les **intervalles de référence** ont pu être calculés grâce aux macro-instructions Reference Value Advisor pour les races de chevaux avec plus de 20 mesures.

N =	RACE	IDA mm	IDB mm	ES mm	SA °	S °	T °	H °
104	SF	12,8 ; 22,6	13,2 ; 21,9	8,3 ; 19,7	0,6 ; 13,0	42,0 ; 56,8	42,6 ; 57,1	-5,0 ; 4,0
64	ARABE	12,7 ; 19,2	12,1 ; 19,2	6,3 ; 17,9	1,6 ; 12,4	45,3 ; 57,4	44,6 ; 56,0	-6,1 ; 3,4
24	BELGE	14,8 ; 20,7	14,7 ; 22,7	10,0 ; 16,8	0,8 ; 11,1	39,5 ; 54,1	ND	ND

Tableau 4: Intervalles de référence des mesures radiographiques en fonction de la race du cheval, min et max de 90%.

Le tableau ci-après permet de mettre en évidence les différences de mesure suivant le **sexe du cheval** : mâle ou femelle. Dans l'ensemble, les différentes valeurs entre les mâles et les femelles sont relativement homogènes. Les tests de Wilcoxon ou de Student ont cependant permis de montrer un effet significatif du sexe sur les distances IDA (Wilcoxon, $p < 0,01$), IDB (Student, $p < 0,05$) et ES (Student, $p < 0,01$). Il existe une augmentation de l'épaisseur de paroi, avec les mesures IDA et IDB, chez les mâles ; ainsi qu'une épaisseur de sole ES plus importante chez les femelles. A propos des valeurs d'angle, le test de Wilcoxon montre une tendance d'un effet du sexe sur l'angle T : observable dans le tableau ci-dessous, avec un angle T supérieur chez les femelles comparées aux valeurs retrouvées chez les mâles. Le test de Wilcoxon n'a pas

mis en évidence d'effet significatif du sexe sur les angles H et SA, tout comme le test de Student pour l'angle S.

Les différents écarts types des mâles sont plus grands que ceux des femelles. Ceci peut être expliqué par un nombre plus important de mâles que de femelles dans cette étude : 158 mâles contre 106 femelles, soit un total de 60% de mâles.

MESURE	IDA* (mm)		IDB* (mm)		ES* (mm)		S (°)		T (°)		SA (°)		H (°)	
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Moyenne ± Ecart type	17,9 ± 2,1	17,3 ± 1,7	17,1 ± 2,1	16,6 ± 1,8	12,8 ± 2,6	13,7 ± 2,6	50,0 ± 3,6	50,4 ± 3,3	48,5 ± 3,4	49,3 ± 3,3	5,5 ± 2,8	5,1 ± 2,4	-1,5 ± 2,4	-1,0 ± 1,8

Tableau 5 : Intervalles des sept mesures radiographiques calculées sur la totalité de l'échantillon en fonction du sexe, mâle ou femelle.

Légende : M : Mâle ; F : Femelle ; * : différence statistique suivant le sexe, p<0,05

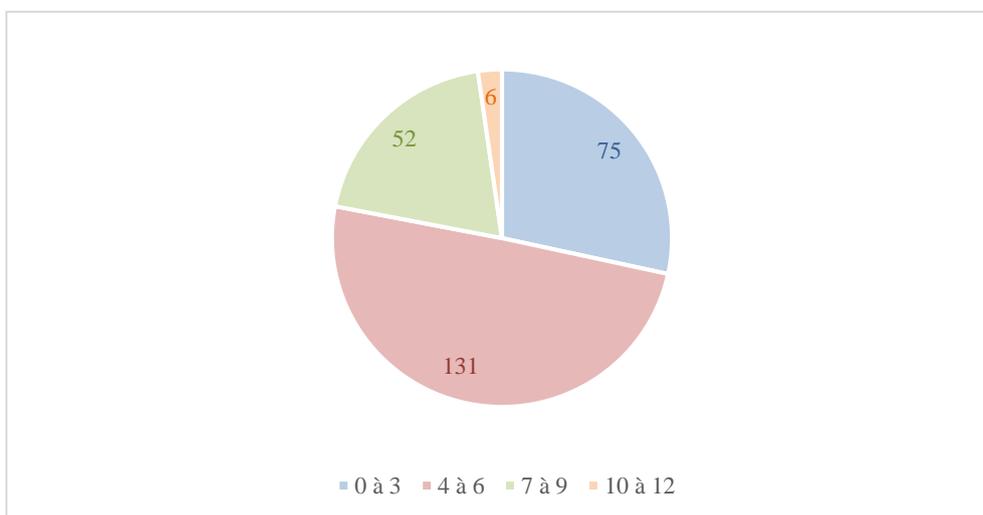
Le tableau 6 illustre les intervalles des différentes valeurs radiographiques en fonction de la **latéralité du pied** : droit ou gauche. Aucun effet significatif de la latéralité du pied sur les sept différentes mesures n'a été mis en évidence par les tests de Student et de Wilcoxon.

MESURE	IDA (mm)		IDB (mm)		ES (mm)		S (°)		T (°)		SA (°)		H (°)	
	D	G	D	G	D	G	D	G	D	G	D	G	D	G
Moyenne ± Ecart type	18,3 ± 1,7	17,5 ± 2,0	16,6 ± 0,9	16,9 ± 2,1	14,5 ± 1,1	13,3 ± 2,7	53,0 ± 7,1	50,1 ± 3,5	50,5 ± 5,7	48,9 ± 3,3	8,5 ± 2,1	5,4 ± 2,5	-2,5 ± 0,7	-1,2 ± 2,2

Tableau 6 : Intervalles des sept mesures radiographiques calculées sur la totalité de l'échantillon en fonction de la latéralité du pied, droit ou gauche.

Légende : M : Mâle ; F : Femelle

Le graphique 9 permet d'illustrer la proportion des différents âges qui composent l'échantillon total de cette étude. La plus grande proportion représentant 50% de l'effectif sont les chevaux entre 4 et 6 ans d'âge, tandis que la plus petite étant celle des chevaux entre 10 et 12 ans d'âge, représentant 2% de l'effectif.



Graphique 9 : Nombre de pieds de chevaux composant l'échantillon total, classés suivant l'âge du cheval

Le tableau 7 permet de visualiser l'épaisseur de paroi des pieds des chevaux suivant leur **âge**. Même si la tranche d'âge de 10 à 12 ans semble avoir une augmentation de la valeur de IDA, le modèle linéaire ne montre aucun effet significatif de l'âge sur cette mesure. Pour les valeurs de IDB, le modèle linéaire a mis en évidence un effet significatif de l'âge sur l'épaisseur de la paroi en position distale.

MESURE	IDA (mm)				IDB* (mm)			
	0 à 3	4 à 6	7 à 9	10 à 12	0 à 3	4 à 6	7 à 9	10 à 12
Moyenne ± écart type	17,6 ± 1,7	17,7 ± 1,9	17,5 ± 2,1	18,1 ± 4,1	16 ± 1,7	16,8 ± 1,9	17,5 ± 2,2	17,3 ± 2,5

Tableau 7 : Intervalles de deux mesures radiographiques calculées sur la totalité de l'échantillon en fonction de la tranche d'âge à laquelle appartient le cheval.

Légende : * : différence statistique suivant l'âge, $p < 0,05$

Le tableau 8 présente les valeurs des mesures ES et SA en fonction de l'âge du cheval. L'épaisseur de sole ES et l'angle palmaire SA semblent augmenter entre la tranche d'âge de 0 à 3 ans et le reste de l'effectif. En effet, le modèle linéaire pour les mesures ES et SA démontre un effet significatif de l'âge sur ces deux mesures.

MESURE	ES* (mm)				SA* (°)			
	0 à 3	4 à 6	7 à 9	10 à 12	0 à 3	4 à 6	7 à 9	10 à 12
Moyenne ± écart type	12,6 ± 2,7	13,5 ± 2,8	13,5 ± 2,2	13,4 ± 0,5	4,3 ± 2,6	5,3 ± 2,6	5,2 ± 2,3	7,7 ± 1,9

Tableau 8 : Intervalles de deux mesures radiographiques calculées sur la totalité de l'échantillon en fonction de la tranche d'âge à laquelle appartient le cheval.

Légende : * : différence statistique suivant l'âge, p<0,05

Le tableau 9 montre les tendances que prennent les valeurs de trois angles en fonction de l'âge des chevaux. Pour les angles H et S, un modèle linéaire a révélé un effet de l'âge sur ces angles au contraire de l'angle T.

MESURE	H* (°)				T (°)				S* (°)			
	0 à 3	4 à 6	7 à 9	10 à 12	0 à 3	4 à 6	7 à 9	10 à 12	0 à 3	4 à 6	7 à 9	10 à 12
Moyenne ± écart type	-2,2 ± 2,1	-1,3 ± 1,7	-0,6 ± 2,6	-1,5 ± 2,1	47,8 ± 3,3	49,2 ± 3,2	48,3 ± 3,6	47,8 ± 0,8	50 ± 3,8	50,5 ± 3	48,9 ± 4	49,3 ± 1,5

Tableau 9 : Intervalles de deux mesures radiographiques calculées sur la totalité de l'échantillon en fonction de la tranche d'âge à laquelle appartient le cheval.

Légende : * : différence statistique suivant l'âge, p<0,05

IV. DISCUSSION

L'objectif de cette étude était d'établir des intervalles de référence de mesures radiographiques afin d'obtenir les caractéristiques d'un pied sain. En suivant, avec la richesse de la base de donnée utilisée, il a été convenu d'étudier l'influence de différents paramètres de variation sur les intervalles de référence de ces mesures : la répercussion des paramètres race, sexe, latéralité du pied et âge du cheval.

Des tendances des sept mesures ont été obtenues, à l'aide de moyennes plus ou moins l'écart type, sur l'ensemble de l'échantillon. Des précisions quant à la tendance centrale des mesures, grâce aux trois quartiles, et aux bornes de l'échantillon, avec les valeurs minimales et maximales, sont également présentées en annexe. Ces intervalles de mesures correspondent dans l'ensemble à ceux trouvés dans la littérature, excepté pour la mesure ES.

Comme vu en première partie de ce manuscrit, une étude menée par Redden (Redden 2003a) a montré grâce à des vénogrammes les altérations vasculaires présentes chez des chevaux avec une sole de moins de 15 mm d'épaisseur. Hors dans notre étude, 79% des chevaux ont une épaisseur de sole inférieure à 15 mm. Une question se pose alors : est-ce que la norme d'un minimum de 15 mm d'épaisseur de sole peut être revue à la baisse ? Les chevaux français/européens ont-ils des épaisseurs de sole normales plus fines que les chevaux américains ? Il faut rappeler que les chevaux utilisés dans cette étude sont tous des chevaux sains, sans pathologie locomotrice connue au moment de la prise des images radiographiques. Nous pouvons alors nous demander si ces pieds de chevaux, cliniquement non sensibles, auraient tout de même des altérations vasculaires de leur sole, évaluables grâce à un vénogramme.

Cette étude nous a permis d'illustrer les valeurs des différentes mesures radiographiques suivant les races de chevaux, avec notamment la définition d'intervalles de référence pour les races Selle-Français, Arabe et Belge. Il a été possible de démontrer que le facteur de variation race avait un effet significatif sur les valeurs des mesures d'épaisseur de paroi, IDA et IDB, ainsi que sur les angles SA, S et H. Les chevaux de race belge ont une épaisseur de paroi supérieure à celle des autres races présentes. L'épaisseur de paroi des chevaux de race allemande s'avère représenter les valeurs basses de l'effectif. Les Trotteurs quant à eux possèdent des angles SA et S plus aigus comparé au reste de l'effectif. Dans un article de Thieme (Katharina Thieme, Ehrle, Lischer 2015), ce dernier compare des mesures radiographiques de pieds de poneys avec celles des Pur-Sangs de l'étude de Kummer (Kummer et al. 2006) et montre une augmentation en largeur de 20 à 31% des pieds de poney avec notamment une longueur de pince et une mesure CE plus élevées mais aucun effet race sur l'épaisseur de paroi ni l'épaisseur de sole. Cripps quant à lui (Cripps, Eustace 1999a), avec un échantillon composé en majorité d'Hanovriens, de poneys et de Pur-Sangs, montre un effet

significatif de la race sur les mesures d'épaisseur de paroi et la mesure CE, et une absence d'effet significatif sur les mesures d'angles S, T, U et H.

Lors de l'étude du facteur de variation sexe, des différences entre les mâles et les femelles ont pu être définies : comme une augmentation d'épaisseur de paroi chez les mâles, et une épaisseur de sole ainsi qu'un angle T supérieur chez les femelles. Dans l'étude de Thieme (Katharina Thieme, Ehrle, Lischer 2015) sur 81 poneys, aucun effet statistiquement significatif du sexe sur les mesures radiographiques n'avait pu être montré.

La comparaison des pieds droits et gauches, afin de rechercher une correspondance entre les pieds d'un même cheval ou une quasi permanente différence latéralisée, est illustrée par le tableau 6. Dans une étude de Kummer (Kummer et al. 2006) sur 40 chevaux, 70% des chevaux avaient une préférence d'appui sur leur pied gauche : entraînant ainsi un pied gauche plus large et plat, et un pied droit plus petit et haut. Dans notre étude, aucun effet significatif de la latéralité du pied sur nos mesures n'a pu être mis en évidence. Les chevaux de notre échantillon semblent avoir alors un certain équilibre entre leur côté latéral droit et latéral gauche.

Des tendances des mesures sont observées suivant l'âge du cheval. Les valeurs d'épaisseur de paroi IDB, d'épaisseur de sole ES et d'angle palmaire SA augmentent avec l'âge des chevaux, notamment entre la tranche d'âge de 0 à 3 ans et le reste de l'effectif qui compose cette étude. Les valeurs d'angle S et H sont également influencées par l'âge de l'individu. Redden et Butler (Redden 2003a; Butler et al. 1993) insistent sur le fait de tenir compte de l'âge de l'individu lors de l'interprétation des mesures radiographiques. Les études de Thieme et Kummer (Katharina Thieme, Ehrle, Lischer 2015; Kummer et al. 2006), portées respectivement sur 81 poneys et 40 chevaux demi-sang, n'ont, elles, pas montré d'effet de l'âge de l'individu sur les mesures radiographiques obtenues.

La question de répétabilité des mesures se pose lors de cette étude. En effet, ces valeurs sont dépendantes de nombreux paramètres de variation.

Le placement du pied du cheval peut influencer l'axe phalangien et de ce fait les mesures d'angle par la suite (Kummer et al. 2004b; Redden 2003b; Sherlock, Parks 2013).

De la qualité radiographique va dépendre l'exactitude du placement des mesures : une imprécision de l'épaisseur de sole peut être constatée si la limite de la sole n'est pas convenablement définie. La définition exacte de la limite de la sole sur nos radiographies a été un facteur d'imprécision lors de la prise de mesure de l'épaisseur de sole, car la cale utilisée ne permettait que d'estimer la surface solaire du pied. De plus, la qualité radiographique est définie par la justesse du profil obtenu lors de la prise d'une vue en incidence latéromédiale (Redden 2003b; Sherlock, Parks 2013). La rigueur de l'opérateur est alors mise en jeu : une obliquité proximodistale influence par exemple la mesure de la distance CE (Cripps, Eustace 1999a).

La définition même des mesures est primordiale, car suivant les auteurs, les mesures ne sont pas définies à l'identique. Il est donc important de prendre les mêmes repères anatomiques sur toutes les radiographies, que ce soit lors du suivi d'un même cheval ou entre deux individus. La localisation des mesures est plus ou moins manipulateur dépendant. Cripps et Eustace

(Cripps, Eustace 1999a) ont démontré que les valeurs des mesures variaient également au cours du temps pour un même opérateur. Dans notre étude, un unique opérateur a effectué la prise des mesures sur les 264 radiographies de pied, rendant ainsi la variabilité interindividuelle nulle dans notre étude. En contrepartie, il serait intéressant de s'intéresser à la transposabilité de nos résultats avec des opérateurs différents, pour s'assurer de la validité des intervalles de référence obtenus.

L'existence de tous ces facteurs de variation renforce le besoin de standardiser l'examen radiographique afin d'effectuer le même placement du cheval avant chaque radiographie, d'avoir la même exigence quant à la qualité radiographique, et d'uniformiser les repères anatomiques utilisés lors de la prise de mesure (Redden 2003b; Kummer et al. 2004b; Sherlock, Parks 2013). Thieme a décrit que la mise en place d'un tel protocole permet de réduire à un minimum le biais opérateur qui existe (K Thieme, Ehrle, Lischer 2015), et d'obtenir un examen radiographique voir un suivi radiographique le plus fiable possible.

Les radiographies constituant la base de donnée utilisée ont été prises au sein d'une même clinique, avec le même matériel et protocole de prise de radiographie, mais réalisées par différents vétérinaires. Il peut donc y avoir eu dans notre étude une variation dans le placement du cheval, de la cassette et du générateur comme abordé précédemment.

D'autre part, ces radiographies ayant été faites dans le contexte d'une visite d'achat, les rayons X ont été centrés sur l'articulation inter-phalangienne distale, ce qui permet d'avoir l'articulation parfaitement de profil. Or il est décrit par Redden (Redden 2003b), dans le contexte d'une évaluation d'un cas de fourbure, qu'il est préférable de centrer le faisceau de rayons X 1,5 à 2 cm au-dessus de la surface d'appui du pied : ainsi la face solaire de la troisième phalange sera parfaitement de profil. Ce postulat est à nuancer puisque différents auteurs suggèrent de centrer les rayons X sur l'os naviculaire pour obtenir le plus d'informations possibles de l'ensemble du pied (Butler et al. 1993; Kummer et al. 2004b).

Comme évoqué en première partie, un travail forcé en maréchalerie peut conduire à une modification des mesures impliquant la paroi dorsale de la boîte cornée : si celle-ci subit un parage trop agressif, l'épaisseur de paroi et les angles S et H se trouveront modifiés. Ici aucune donnée sur l'ancienneté du parage du pied n'était disponible, il n'a donc pas été possible d'évaluer l'impact du travail du pied sur nos mesures. Kummer (Kummer et al. 2006) a en effet démontré l'effet du parage sur les mesures radiographiques des pieds. Le parage a une incidence sur les mesures de distance des structures du pied : entraînant une diminution de 10% de la longueur de paroi dorsale de la boîte cornée, de 30% de la distance entre P3 et le sol, de 19 à 22% de la longueur de pince et de 30% de la distance entre P3 et le point de break over. De plus, le parage a une influence sur les mesures d'angle : avec une augmentation de 25 à 48% de l'angle H, de 3° pour l'angle T et de 2° pour l'angle S. Tous les pieds de notre étude étaient déferrés, ce qui nous permet de nous affranchir d'un facteur de variation des angles, créé par certaines ferrures.

La mesure CE, distance entre le processus extensorius de la troisième phalange et la bande coronaire, est décrite comme étant une des mesures essentielles pour évaluer la descente de la troisième phalange dans la boîte cornée (Caure 2009; Redden 2003a; Sherlock, Parks 2013). Cette mesure n'a malheureusement pas pu être effectuée dans notre étude au vu de l'absence de marqueur radio-opaque de localisation de la couronne.

Un autre facteur de variation aurait pu être intéressant à étudier : le poids des chevaux. L'influence ou non du poids sur la structure architecturale du pied serait utile à connaître notamment lors de l'analyse des mesures au sein d'une même catégorie de race, comme les chevaux de selle, ou même les Selle-Français parmi lesquels il existe une grande variation interindividuelle. Une étude de Thieme en 2015 portant sur 81 poneys (Katharina Thieme, Ehrle, Lischer 2015), a démontré l'existence d'une corrélation non pas avec le poids mais avec la taille au garrot : pour la plupart des mesures de distance effectuées sur les radiographies, celles-ci augmentaient avec la taille au garrot du poney. Cette corrélation ne s'appliquait pas aux mesures angulaires réalisées. Malheureusement, dans notre étude, ni le poids ni la taille des chevaux au moment de la prise des radiographies n'étaient renseignés dans la base de données utilisée à la Clinique de Conques.

CONCLUSION

Lors de l'évaluation d'un cheval fourbu, l'examen clinique et l'anamnèse restent des éléments incontournables pour une bonne appréciation du cas. L'examen radiographique intervient en suivant pour l'évaluation des dommages structuraux internes du pied qui aident : à poser un diagnostic, à orienter le pronostic, ainsi qu'à la mise en place d'une prise en charge kinésithérapeutique adaptée. Ces radiographies sont essentielles pour le suivi du cas, afin d'ajuster au mieux la prise en charge thérapeutique et le travail de maréchalerie suivant l'évolution du cas. La précision de ce suivi radiographique réside dans la fréquence des contrôles et dans l'évaluation des radiographies de pied via des mesures d'angle et de distance. Nous avons rappelé précédemment l'importance de la mise en place d'un protocole pour la réalisation de ces radiographies, afin de limiter les biais de variation et de pouvoir correctement comparer les mêmes mesures prises à différents stades d'évolution du cas.

Cette étude, basée sur 264 radiographies de pied antérieur de chevaux sains, a permis de montrer une bonne corrélation des intervalles de référence de mesures radiographiques obtenues avec des études précédentes. Elle a également permis de déterminer, pour 3 races de chevaux, des intervalles de référence pour 7 mesures qui pourront être utilisées lors de l'examen d'un pied atteint de fourbure ou d'une autre affection touchant les structures internes du pied.

Même si des généralités peuvent être faites afin d'obtenir des valeurs de référence globales, nous avons montré qu'un certain nombre de paramètres radiographiques sont influencés par la race, le sexe et l'âge du cheval. Il est donc primordial de toujours garder à l'esprit qu'il existe des fluctuations induites par ces facteurs de variation qu'il faut prendre en compte lors de l'interprétation de ces mesures radiographiques afin de modérer nos conclusions.

Enfin, il serait intéressant de poursuivre cette étude en ajoutant de nouveaux chevaux, afin d'avoir des intervalles de référence pour les chevaux les plus représentés parmi la population équine française, et en ajoutant le poids des chevaux, qui nous semble être un facteur important au regard de ces mesures.

BIBLIOGRAPHIE

BAXTER, G. M. Acute Laminitis. In: *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 1994. Vol. 10, n° 3, pp. 627-642.

BUTLER, J. A., COLLES, C. M., DYSON, S. J., KOLD, S. E. et POULOS, P. W. Clinical radiology of the horse. 1993

CAURE, S. Examen radiographique et phlébogramme : intérêt dans l'évaluation de la fourbure. In: *Pratique vétérinaire équine*. 2009. n° 41, 163, pp. p23-31.

CHATEAU, H., ROBIN, D, FALALA, S., DEGUEURCE, C., DENOIX, J.-M. et CREVIER-DENOIX, N. Anatomie et biomécanique du pied. In: *10th Geneva Congress of Equine medicine and surgery, Genève*. 2007. pp. 11-13.

COLLINS, S. N., DYSON, S. J., MURRAY, R. C., BURDEN, F. et TRAWFORD, A. Radiological anatomy of the donkey's foot: Objective characterisation of the normal and laminitic donkey foot. In: *Equine Veterinary Journal*. 2011. Vol. 43, n° 4, pp. 478-486.

COLLINS, S. N., VAN EPS, A. W., POLLITT, C. C. et KUWANO, A. The Lamellar Wedge. In: *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2010. Vol. 26, n° 1, pp. 179-195.

COURTOIS, P. A. *La fourbure chez le cheval d'endurance, enquête épidémiologique sur les saisons 2004 à 2007*. Thèse de doctorat vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alford, 2007.

CRIPPS, P. J. et EUSTACE, R. A. Radiological measurements from the feet of normal horses with relevance to laminitis. In: *Equine Veterinary Journal*. 1999b. Vol. 31, n° 5, pp. 427-432.

CRIPPS, P. J. et EUSTACE, R. A. Factors involved in the prognosis of equine laminitis in the UK. In: *Equine Veterinary Journal*. 1999a. Vol. 31, n° 5, pp. 433-442.

D'ARPE, L. et BERNARDINI, D.. Digital Venography in Horses and Its Clinical Application in Europe. In: *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2010. Vol. 26, n° 2, pp. 339-359.

DELERUE, M. Le syndrome naviculaire. In: www.equipedia.ifce.fr. 2016

DYSON, S. J., TRANQUILLE, C. A., COLLINS, S. N., PARKIN, T. D. H. et MURRAY, R. C. An investigation of the relationships between angles and shapes of the hoof capsule and the distal phalanx. In: *Equine Veterinary Journal*. 2011. Vol. 43, n° 3, pp. 295-301.

EGGLESTON, R. B. Value of Quality Foot Radiographs and Their Impact on Practical Farriery. In: *AAEP Annual Convention - Anaheim*. 2012. pp. 12.

EUSTACE, R. A. Clinical Presentation, Diagnosis, and Prognosis of Chronic Laminitis in Europe. In: *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2010. Vol. 26, n° 2, pp. 391-405.

GEFFRÉ, A., CONCORDET, D., BRAUN, J.-P. et TRUMEL, C. Reference Value Advisor: a new freeware set of macroinstructions to calculate reference intervals with Microsoft Excel. *Veterinary Clinical Pathology*. 2011. Vol. 40, n° 1, pp. 107-112.

HOOD, D. M. Laminitis in the Horse. In: *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 1999. Vol. 15, n° 2, pp. 287-294.

HOULIEZ, D. Anatomie et biomécanique du pied chez le cheval. 1995

HUNT, R. J. A retrospective evaluation of laminitis in horses. In: *Equine Veterinary Journal*. 1993. Vol. 25, n° 1, pp. 61-64.

KAINER, R. A. Clinical Anatomy of the Equine Foot. In: *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 1 avril 1989. Vol. 5, n° 1, pp. 1-27.

KUMMER, M., LISCHER, C., OHLERTH, S., VARGAS, J. et AUER, J. Evaluation of a standardised radiographic technique of the equine hoof. In: *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*. 2004. Vol. 146, n° 11, pp. 507-514.

KUMMER, M., LISCHER, C., OHLERTH, S., VARGAS, J. et AUER, J. Evaluation einer standardisierten Röntgentechnik zur Untersuchung des Pferdehufes. In : *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*. 2004a. Vol. 146, n° 11, pp. 507-514.

KUMMER, M., GEYER, H., IMBODEN, I., AUER, J. et LISCHER, C. The effect of hoof trimming on radiographic measurements of the front feet of normal Warmblood horses. In: *The Veterinary Journal*. 2006. Vol. 172, n° 1, pp. 58-66.

LINFORD, R. L., O'BRIEN, T. R. et TROUT, D. R.. Qualitative and morphometric radiographic findings in the distal phalanx and digital soft tissues of sound thoroughbred racehorses. In: *American Journal of Veterinary Research*. 1993. Vol. 54, n° 1, pp. 38-51.

OBEL, N. Studies on the histopathology of acute laminitis. In : *Studies on the histopathology of acute laminitis*. 1948.

O'GRADY, S. E. Farriery for Chronic Laminitis. In: *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2010. Vol. 26, n° 2, pp. 407-423.

PARKS, A. et O'GRADY, S. E. Chronic laminitis: current treatment strategies. In: *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2003. Vol. 19, n° 2, pp. 393-416.

POLLITT, C. C. Basement membrane pathology: a feature of acute equine laminitis. In: *Equine Veterinary Journal*. 1996. Vol. 28, n° 1, pp. 38-46.

REDDEN, R. F. Clinical and Radiographic Examination of the Equine Foot. In: *49th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, New Orleans, Louisiana*. 2003a. pp. 14.

REDDEN, R. F. Radiographic imaging of the equine foot. In: *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*. 2003b. Vol. 19, n° 2, pp. 379-392.

REDDEN, R. F. A technique for performing digital venography in the standing horse. In: *Equine Veterinary Education*. 2001. Vol. 13, n° 3, pp. 128-134.

- REDDEN, R. F., 2004. Preventing laminitis in the contralateral limb of horses with nonweight-bearing lameness. In: *Clinical Techniques in Equine Practice*. 2004. Vol. 3, n° 1, pp. 57-63.
- REED, S. M., BAYLY, W. M. et SELTON, D. C. *Equine internal medicine: third edition*. 3rd ed. 2010. pp. 529-544
- RUCKER, A. Clinical Applications of Digital Venography. In: *Journal of Equine Veterinary Science*. 2010. Vol. 30, n° 9, pp. 491-503.
- SHERLOCK, C et PARKS, A. Radiographic and radiological assessment of laminitis. In: *Equine Veterinary Education* . 2013. Vol. 25, n° 10, pp. 524-535.
- SIMON, F. *Gestion de la fourbure lors d'un décollement de lamelles chez le cheval*. Thèse de doctorat vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse. 2016.
- SMITH, B. P. *Large animal internal medicine*. 4th ed. 2009. St. Louis, Mosby Elsevier, 1872p.
- SMITH, S. S., DYSON, S. J., MURRAY, R. C. et WEEKES, J. Is there an association between distal phalanx angles and deep digital flexor tendon lesions? In: *Proceedings of the 50th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, Denver, Colorado, USA, 4-8 December*. 2004. pp. 328-331.
- THIEME, K, EHRLE, A et LISCHER, C. Morphometric measurements of the horses hoof – A review of the literature: In: *Pferdeheilkunde Equine Medicine*. 2015. Vol. 31, n° 2, pp. 108-118.
- THIEME, K., EHRLE, A. et LISCHER, C. Radiographic measurements of the hooves of normal ponies. In: *The Veterinary Journal*. 2015. Vol. 206, n° 3, pp. 332-337.
- VANDENHOUT, G. *Physiologie du pied du cheval et ferrure NBS*. Thèse de doctorat vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, 2004.

ANNEXES

Annexe 1: Ecart type, moyenne, médiane, quartiles, valeurs minimum et maximum de sept mesures radiographiques sur l'échantillon total. 65

Annexe 2: Ecart type, moyenne, médiane, quartiles, valeurs minimum et maximum de sept mesures radiographiques en fonction du sexe du cheval..... 66

Annexe 3: Ecart type, moyenne, médiane, quartiles, valeurs minimum et maximum de sept mesures radiographiques en fonction de la latéralité du pied..... 66

Annexe 4 : Ecart type, moyenne, médiane, quartiles, valeurs minimum et maximum de deux mesures radiographiques en fonction de l'âge du cheval. 67

Annexe 5 : Ecart type, moyenne, médiane, quartiles, valeurs minimum et maximum de deux mesures radiographiques en fonction de l'âge du cheval. 67

Annexe 6 : Ecart type, moyenne, médiane, quartiles, valeurs minimum et maximum de trois mesures radiographiques en fonction de l'âge du cheval. 68

MESURE	IDA (mm)	IDB (mm)	ES (mm)	S (°)	T (°)	SA (°)	H (°)
Ecart type	1,96	2,02	2,65	3,48	3,37	2,69	2,18
Moyenne	17,65	16,88	13,19	50,16	48,85	5,32	-1,31
Médiane	17,75	16,90	13,20	50,00	49,00	5,00	-1,00
Q1	16,50	15,50	11,40	48,00	46,00	3,00	-3,00
Q3	18,93	18,10	14,60	53,00	51,00	7,00	0,00
Valeur min	11,40	11,70	5,50	39,00	41,00	0,00	-9,00
Valeur max	23,30	24,70	22,30	61,00	61,00	19,00	5,00

Annexe 1: Ecart type, moyenne, médiane, quartiles, valeurs minimum et maximum de sept mesures radiographiques sur l'échantillon total.

Légende : Q1 : quartile 1 ; Q3 : quartile 3

MESURE	IDA (mm)		IDB (mm)		ES (mm)		S (°)		T (°)		SA (°)		H (°)	
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Ecart type	2,1	1,7	2,1	1,8	2,6	2,6	3,6	3,3	3,4	3,3	2,8	2,4	2,4	1,8
Moyenne	17,9	17,3	17,1	16,6	12,8	13,7	50,0	50,4	48,5	49,3	5,5	5,1	-1,5	-1,0
Médiane	18,0	17,1	17,3	16,7	13,1	13,6	50	50	48	49	5	5	-1,0	-1,0
Q1	16,7	16,3	15,5	15,5	11,2	11,9	48	48,2	46	47	4	3	-3,0	-2,0
Q3	19,2	18,4	18,5	17,6	14,4	15,3	53	52,7	51	51,7	7	7	0	0
Valeur min	11,4	12,3	12,0	11,7	5,5	7,9	40,0	39,0	41,0	42,0	0,0	0,0	-9,0	-5,0
Valeur max	23,3	21,1	24,7	21,2	21,6	22,3	61,0	59,0	61,0	59,0	19,0	12,0	5,0	4,0

Annexe 2: Ecart type, moyenne, médiane, quartiles, valeurs minimum et maximum de sept mesures radiographiques en fonction du sexe du cheval.

Légende : M : mâle ; F : femelle ; Q1 : quartile 1 ; Q3 : quartile 3

MESURE	IDA (mm)		IDB (mm)		ES (mm)		S (°)		T (°)		SA (°)		H (°)	
	D	G	D	G	D	G	D	G	D	G	D	G	D	G
Ecart type	1,7	2,0	0,9	2,1	1,1	2,7	7,1	3,5	5,7	3,3	2,1	2,5	0,7	2,2
Moyenne	18,3	17,5	16,6	16,9	14,5	13,3	53,0	50,1	50,5	48,9	8,5	5,4	-2,5	-1,2
Médiane	17,9	17,6	16,9	16,9	13,2	13,2	50	50	49	49	5	5	-1,0	-1,0
Q1	16,6	16,4	15,5	15,5	11,2	11,8	48	48	46	47	3	4	-3,0	-2,0
Q3	19,1	18,7	18,1	18,3	14,5	14,9	53	52	51	51	7	7	0	0
Valeur min	17,1	11,4	16,0	11,7	14,5	5,5	53,0	40,0	50,0	42,0	5,0	1,0	-3,0	-9,0
Valeur max	19,5	21,9	17,3	24,7	14,5	22,3	53,0	60,0	51,0	58,0	12,0	13,0	-2,0	5,0

Annexe 3: Ecart type, moyenne, médiane, quartiles, valeurs minimum et maximum de sept mesures radiographiques en fonction de la latéralité du pied.

Légende : D : Droite ; G : Gauche ; Q1 : quartile 1 ; Q3 : quartile 3

MESURE	IDA (mm)				IDB (mm)			
	0 à 3	4 à 6	7 à 9	10 à 12	0 à 3	4 à 6	7 à 9	10 à 12
Ecart type	1,7	1,9	2,1	4,1	1,7	1,9	2,2	2,5
Moyenne	17,6	17,7	17,5	18,1	16	16,8	17,5	17,3
Médiane	17,9	17,7	17,6	18,8	16	17	17,5	18,2
Q1	16,4	16,5	16,5	16,4	14,8	15,5	16,1	16,3
Q3	18,6	18,8	19	20,4	17,1	18,1	18,8	18,9
Valeur min	13,2	12,3	12	11,4	12,8	11,7	12,4	12,9
Valeur max	21,9	23,3	22,4	22,9	19,5	22,4	24,7	19,6

Annexe 4 : Ecart type, moyenne, médiane, quartiles, valeurs minimum et maximum de deux mesures radiographiques en fonction de l'âge du cheval.

Légende : Q1 : quartile 1 ; Q3 : quartile 3

MESURE	ES (mm)				SA (°)			
	0 à 3	4 à 6	7 à 9	10 à 12	0 à 3	4 à 6	7 à 9	10 à 12
Ecart type	2,7	2,8	2,2	0,5	2,6	2,6	2,3	1,9
Moyenne	12,6	13,5	13,5	13,4	4,3	5,3	5,2	7,7
Médiane	12,9	13,5	14	13,4	4	5	5	7,5
Q1	10,9	11,7	12,1	13,1	2	3,5	4	6,2
Q3	13,7	15,2	14,9	13,6	6	7	6	8
Valeur min	7,3	5,5	9,2	12,9	1	0	1	6
Valeur max	21,5	22,3	18	14,1	13	13	11	11

Annexe 5 : Ecart type, moyenne, médiane, quartiles, valeurs minimum et maximum de deux mesures radiographiques en fonction de l'âge du cheval.

Légende : Q1 : quartile 1 ; Q3 : quartile 3

MESURE	H (mm)				T (°)				S (°)			
	0 à 3	4 à 6	7 à 9	10 à 12	0 à 3	4 à 6	7 à 9	10 à 12	0 à 3	4 à 6	7 à 9	10 à 12
Ecart type	2,1	1,7	2,6	2,1	3,3	3,2	3,6	0,8	3,8	3	4	1,5
Moyenne	-2,2	-1,3	-0,6	-1,5	47,8	49,2	48,3	47,8	50	50,5	48,9	49,3
Médiane	-2	-1	-1	-0,5	48	49	48	48	50	50	49	49
Q1	-4	-2	-2	-2,5	45	47	46	47,2	47	49	46,7 5	48,2 5
Q3	0	0	1	0	50	51	51	48	53	53	51	49,7 5
Valeur min	-8	-5	-8	-5	41	42	42	47	43	42	39	48
Valeur max	2	3	5	0	55	59	58	49	57	59	60	52

Annexe 6 : Ecart type, moyenne, médiane, quartiles, valeurs minimum et maximum de trois mesures radiographiques en fonction de l'âge du cheval.

Légende : Q1 : quartile 1 ; Q3 : quartile 3

NOM : LIGNANI

PRENOM : CHLOE

TITRE : ETABLISSEMENT D'INTERVALLES DE REFERENCE DE PARAMETRES RADIOGRAPHIQUES UTILISES DANS LE CADRE DU DIAGNOSTIC DE LA FOURBURE CHEZ LES EQUIDES

RESUME :

La fourbure est une affection commune et grave qui sévit chez les chevaux. Un des examens complémentaires de choix tant pour le diagnostic du stade de fourbure et le pronostic, que pour la mise en place de traitement et de son suivi est la radiographie de pied. Des mesures d'angle et de distance peuvent être effectuées afin d'affiner la lecture de ces radiographies.

Nous avons réalisé au total 7 mesures radiographiques de pieds de membre antérieur de chevaux sains, afin de tenter de déterminer des intervalles de référence pour des chevaux évoluant sur le territoire français. Une comparaison des mesures suivant différents paramètres fut également conduite : suivant la race, le sexe et la latéralité du pied.

Nos résultats ont permis de déterminer des intervalles de référence pour ces 7 mesures dans 3 races de chevaux et de montrer que la race, le sexe et l'âge des chevaux peuvent influencer ces mesures.

MOTS-CLES : cheval – fourbure – mesures radiographiques

TITLE: ESTABLISHMENT OF REFERENCE INTERVALS OF RADIOGRAPHIC PARAMETERS USED IN THE DIAGNOSIS OF LAMINITIS IN EQUINE

ABSTRACT:

Laminitis is a common and serious pathology that affects horses. One of the most important complementary exam is the radiographic imaging of the equine foot. Radiographic imaging has a major role in establishing the diagnosis and the prognosis, as well as for the choice of treatment and its follow-up. Angle and distance measurements can be calculated to refine the reading of those X-rays.

Seven measurements were made on the x-ray of forelimb foot of healthy horses, in order to try to determine the normal ranges of those radiographic parameters for horses living in France. A comparison of the results according to different parameters was also conducted: depending on the race, the sex and the laterality of the foot.

Our results made it possible to determine reference intervals for these 7 measurements in 3 breeds of horses and to show that the breed, the sex and the age of the horses can influence these measurements.

KEYWORDS: horse – laminitis – radiographic parameters