

VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON

Année 2011 - Thèse n°

***LA RADIOGRAPHIE DU JARRET CHEZ LE CHEVAL :
CONCEPTION D'UN SUPPORT PEDAGOGIQUE***

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)

et soutenue publiquement le 30 Juin 2011
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

RHEIN Alicia

Née le 02 Octobre 1986
à Clermont-Ferrand (63)



VetAgro Sup



VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON

Année 2011 - Thèse n°

***LA RADIOGRAPHIE DU JARRET CHEZ LE CHEVAL :
CONCEPTION D'UN SUPPORT PEDAGOGIQUE***

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)

et soutenue publiquement le 30 Juin 2011
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

RHEIN Alicia

Née le 02 Octobre 1986
à Clermont-Ferrand (63)



LISTE DU CORPS ENSEIGNANT

liste au 04-04-2011

ENSEIGNANTS CAMPUS VETERINAIRE DE VETAGRO SUP

NOM	Prénom	Grade	Unité Pédagogique
ALOGNINOUBA	Théodore	Professeur 1ere cl	Pathologie du bétail
ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	Maître de conférences hors cl	Gestion des élevages
ARCANGIOLI	Marie-Anne	Maître de conférences cl normale	Pathologie du bétail
ARTOIS	Marc	Professeur 1ere cl	Santé Publique et Vétérinaire
BECKER	Claire	Maître de conférences cl normale	Pathologie du bétail
BELLI	Patrick	Maître de conférences associé	Pathologie morphologique et clinique
BELLUCO	Sara	Maître de conférences cl normale	Pathologie morphologique et clinique
BENAMOU-SMITH	Agnès	Maître de conférences cl normale	Equine
BENOIT	Etienne	Professeur 1ere cl	Biologie fonctionnelle
BERNY	Philippe	Professeur 1ere cl	Biologie fonctionnelle
BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	Professeur 2eme cl	Biologie fonctionnelle
BOULOCHER	Caroline	Maître de conférences cl normale	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
BOURDOISEAU	Gilles	Professeur 1ere cl	Santé Publique et Vétérinaire
BOURGOIN	Gilles	Maître de conférences cl normale	Santé Publique et Vétérinaire
BRUYERE	Pierre	Maître de conférences Contractuel	Biotechnologies et pathologie de la reproduction
BUFF	Samuel	Maître de conférences cl normale	Biotechnologies et pathologie de la reproduction
BURONFOSSE	Thierry	Maître de conférences hors cl	Biologie fonctionnelle
CACHON	Thibaut	Maître de conférences Contractuel	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
CADORE	Jean-Luc	Professeur 1ere cl	Pathologie médicale des animaux de compagnie
CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	Maître de conférences cl normale	Santé Publique et Vétérinaire
CAROZZO	Claude	Maître de conférences cl normale	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
CHABANNE	Luc	Professeur 1ere cl	Pathologie médicale des animaux de compagnie
CHALVET-MONFRAY	Karine	Maître de conférences hors cl	Biologie fonctionnelle
COMMUN	Loic	Maître de conférences cl normale	Gestion des élevages
DELLIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	Professeur 2eme cl	Biologie fonctionnelle
DEMONT	Pierre	Professeur 2eme cl	Santé Publique et Vétérinaire
DESJARDINS PESSON	Isabelle	Maître de conférences Contractuel	Equine
DJELOUADJI	Zorée	Maître de conférences stagiaire	Santé Publique et Vétérinaire
ESCRIOU	Catherine	Maître de conférences cl normale	Pathologie médicale des animaux de compagnie
FAU	Didier	Professeur 1ere cl	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
FOURNEL	Corinne	Professeur 1ere cl	Pathologie morphologique et clinique
FRANCK	Michel	Professeur 1ere cl	Gestion des élevages
FRIKHA	Mohamed-Ridha	Maître de conférences cl normale	Pathologie du bétail
GANGL	Monika	Maître de conférences Contractuel	Equine
GARNIER	François	Professeur 1ere cl	Biologie fonctionnelle
GENEVOIS	Jean-Pierre	Professeur cl ex	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
GILOT-FROMONT	Emmanuelle	Professeur 2eme cl	Biologie Fonctionnelle
GONTHIER	Alain	Maître de conférences cl normale	Santé Publique et Vétérinaire
GRAIN	Françoise	Professeur 2eme cl	Gestion des élevages
GRANCHER	Denis	Maître de conférences hors cl	Gestion des élevages
GREZEL	Delphine	Maître de conférences cl normale	Santé Publique et Vétérinaire
GUERIN	Pierre	Professeur 2eme cl	Biotechnologies et pathologie de la reproduction
GUERIN-FAUBLEE	Véronique	Maître de conférences hors cl	Biologie fonctionnelle
HUGONNARD	Marine	Maître de conférences cl normale	Pathologie médicale des animaux de compagnie

liste au 04-04-2011

ENSEIGNANTS CAMPUS VETERINAIRE DE VETAGRO SUP

NOM	Prénom	Grade	Unité Pédagogique
JUNOT	Stéphane	Maître de conférences cl normale	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
KECK	Gérard	Professeur 1ere cl	Biologie fonctionnelle
KODJO	Angeli	Professeur 2eme cl	Santé Publique et Vétérinaire
LACHERETZ	Antoine	Professeur 1ere cl	Santé Publique et Vétérinaire
LAMBERT	Véronique	Maître de conférences cl normale	Gestion des élevages
LE-GRAND	Dominique	Maître de conférences hors cl	Pathologie du bétail
LEBLOND	Agnes	Professeur 2eme cl	Santé Publique et Vétérinaire
LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	Maître de conférences cl normale	Biotechnologies et pathologie de la reproduction
LEPAGE	Olivier	Professeur 1ere cl	Equine
LOUZIER	Vanessa	Maître de conférences cl normale	Biologie Fonctionnelle
MARCHAL	Thierry	Maître de conférences hors cl	Pathologie morphologique et clinique
MIALET	Sylvie	Inspecteur de la santé publique vétérinaire (ISPV) faisant fonction de MC	Santé Publique et Vétérinaire
MOUNIER	Luc	Maître de conférences cl normale	Gestion des élevages
PEPIN	Michel	Professeur 1ere cl	Santé Publique et Vétérinaire
PIN	Didier	Maître de conférences cl normale	Pathologie morphologique et clinique
PONCE	Frédérique	Maître de conférences cl normale	Pathologie médicale des animaux de compagnie
PORTIER	Karine	Maître de conférences cl normale	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
PROUILLAC	Caroline	Maître de conférences cl normale	Biologie fonctionnelle
REMY	Denise	Professeur 2eme cl	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
ROGER	Thierry	Professeur 1ere cl	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
SABATIER	Philippe	Professeur 2eme cl	Biologie fonctionnelle
SAWAYA	Serge	Maître de conférences cl normale	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
SERGENTET	Delphine	Maître de conférences cl normale	Santé Publique et Vétérinaire
THIEBAULT	Jean-Jacques	Maître de conférences hors cl	Biologie fonctionnelle
VIGUIER	Eric	Professeur 1ere cl	Anatomie Chirurgie (ACSAI)
VIRIEUX-WATRELOT	Dorothee	Maître de conférences Contractuel	Pathologie morphologique et clinique
ZENNER	Lionel	Professeur 2eme cl	Santé Publique et Vétérinaire

REMERCIEMENTS

A Monsieur le Professeur Marc JANIER

De la Faculté de Médecine de Lyon,
Pour m'avoir fait le grand honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse.
Mes hommages respectueux.

A Madame le Docteur Caroline BOULOCHER

De VetAgro Sup, Campus Vétérinaire de Lyon,
Pour avoir cru en mon projet et m'avoir permis de le mener à bien.
Pour avoir accompagné et encadré mon travail avec tant de disponibilité, de rigueur et de gentillesse et m'avoir soutenue durant toute cette année.
Mes sincères remerciements.

A Monsieur le Professeur Jean-Luc CADORE

De VetAgro Sup, Campus Vétérinaire de Lyon,
Pour avoir accepté de suivre et juger ce travail.
Pour votre soutien et vos encouragements.
Toute ma gratitude et mon respect.

A Monsieur le Professeur Robert BARONE

De VetAgro Sup, Campus Vétérinaire de Lyon,
Parce que vos schémas rendent l'anatomie si plaisante.
Mes hommages respectueux.

Aux Docteurs Vétérinaires Julien OLIVE, Aurélie THOMAS et Emilie SEGARD

Pour votre aide dans la réalisation de cette thèse.
Merci.

A MA MAMAN

Parce que si je n'avais qu'une seule personne à remercier ce serait toi.

Parce que tu as consacré ta vie à améliorer la mienne et mon avenir.

Parce que tu m'as offert bien plus que tout ce que j'aurais pu espérer et que tu m'as inculqué la valeur des choses, le respect des autres et l'envie de toujours faire de mon mieux.

Pour ton dévouement et ta générosité sans lesquels je ne serais pas vétérinaire aujourd'hui.

Pour ton importante contribution à la réalisation de ma thèse, tes multiples relectures et ton aide dans mes luttes acharnées contre Word.

Pour ton soutien et ta compréhension durant cette fin d'année si difficile pour moi.

Parce que tu es la personne qui compte le plus pour moi et que j'aime le plus au monde.

Simplement parce que pour moi tu es la meilleure mère qui soit.

Du fond du cœur, MERCI !

A Jean-Philippe

Parce que ta vie avec moi n'est pas toujours facile.

Parce que malgré mon caractère, le fait que je travaille trop, mon perfectionnisme insatiable et la distance qui nous sépare tu continues de m'aimer.

Pour m'avoir aidée à percer les secrets d'Excel et de la réalisation d'un site intranet.

Pour ta patience, tout dévouement et ton soutien, Merci.

A tous mes amis auprès de moi depuis si longtemps déjà

Amélie M., Virginie, Delphine, Julie, Amélie F., Aurore...

Pour votre soutien et votre amitié et car, malgré la distance, rien ne change entre nous.

Parce ce que je peux toujours compter sur vous et que vous pouvez toujours compter sur moi.

Merci de faire partie de ma vie.

A tous les proches qui m'ont soutenue

Une pensée particulière pour Papy et Mamy ainsi que pour Mr et Mme Bernigaud.

A mon groupe de clinique, évidemment !

Pour avoir partagé tant de choses durant ces cinq années.

Pour avoir fait nos armes ensemble et m'avoir supportée, moi, mon caractère, mon exigence.

Mention spéciale pour Béa !

A ma poulotte, Joséphine

Pour tous ces bons moments passés ensemble.

A mes amis de l'ENVL

Parce que ces cinq années resteront à jamais dans notre mémoire.

A mes amis de prépa

Parce que grâce à vous, malgré le travail, de ces deux années ne restent que de bons souvenirs.

En espérant que l'on continuera à se voir autant que possible.

A mes professeurs de prépa

Parce que vous avez cru en moi quand je n'y croyais plus.

Vos encouragements, votre aide et votre gentillesse m'ont aidée à atteindre mon but.

Mes sincères remerciements.

A toutes les personnes que j'ai eu l'occasion de côtoyer dans ma vie, en cliniques ou ailleurs

Pour tous ceux avec qui j'ai aimé travailler et qui ont aimé m'avoir à leurs côtés.

Pour tous ceux qui m'ont donné l'envie de faire ce métier.

Pour toutes ces choses que j'ai apprises et toutes ces rencontres enrichissantes.

Pour tous vos encouragements et votre soutien.

Mille fois merci !

A tous les animaux qui ont partagé ma vie

Car c'est bien grâce à vous que ma vocation est née et parce qu'avec vous la vie prend tout son sens.

Pour le réconfort et l'affection que vous avez toujours su m'apporter.

Merci.

TABLE DES MATIERES

LISTE DU CORPS ENSEIGNANT	3
REMERCIEMENTS	7
INTRODUCTION	27
1 LE PROJET	29
1.1 Présentation du projet	29
1.1.1 Principe	29
1.1.2 Manuscrit	29
1.1.3 Support pédagogique	31
1.1.3.1 Intérêt du support pédagogique	31
1.1.3.2 Choix du support	31
1.1.3.3 Contenu du support	31
1.2 Objectifs	33
1.3 Intérêt et pertinence du projet : enquête d'opinion auprès des étudiants vétérinaires de VetAgro Sup	33
1.3.1 Présentation du sondage	33
1.3.1.1 Objectifs de l'enquête	33
1.3.1.2 Réalisation, intérêts et limites du questionnaire	34
1.3.1.3 Présentation du questionnaire	35
1.3.1.4 Réalisation de l'enquête	37
1.3.2 Résultats du sondage	37
1.3.2.1 Tri des résultats	37
1.3.2.2 Réponses obtenues	37
1.3.3 Analyse des résultats du sondage	38
1.3.4 Conclusion et limites du projet	53
2 PRINCIPES GENERAUX DE LA RADIOGRAPHIE	55
2.1 Circonstances de réalisation et indications	55
2.2 Introduction aux différentes techniques	57
2.3 Bases physiques de la radiographie, une notion commune aux trois techniques : l'utilisation des rayons X	58
2.3.1 Rayons X	58
2.3.1.1 Définition	58
2.3.1.2 Formation	58

2.3.2	Appareil à rayons X	59
2.3.2.1	Tube radiogène.....	59
2.3.2.1.1	Cathode	59
2.3.2.1.2	Anode	59
2.3.2.1.3	Quelques principes physiques	59
2.3.2.1.4	Enveloppes de protection.....	60
2.3.2.2	Générateur haute tension	60
2.3.2.3	Console de contrôle.....	60
2.3.3	Formation de l'image.....	61
2.3.3.1	Atténuation des rayons X	61
2.3.3.2	Interactions entre les rayons X et la matière	61
2.3.3.2.1	Effet photoélectrique	61
2.3.3.2.2	Effet Compton	61
2.3.3.3	Géométrie de l'image radiologique.....	62
2.3.3.3.1	Agrandissement.....	62
2.3.3.3.2	Distorsion	62
2.3.3.3.3	Image non familière	62
2.3.3.3.4	Perte de la perception en profondeur.....	62
2.3.3.3.5	Ombres portées.....	62
2.3.3.3.6	Effacement des contours.....	62
2.3.4	Facteurs d'exposition.....	63
2.3.4.1	Intensité : milliampères secondes (mAs)	63
2.3.4.2	Tension : kilovolts (kV).....	63
2.3.4.3	Distance foyer-film	63
2.4	Radioprotection	64
2.4.1	Définition	64
2.4.2	Effet biologique des radiations ionisantes.....	64
2.4.3	Quantification des rayonnements	65
2.4.4	Sources des rayonnements.....	65
2.4.5	Règles de sécurité lors de l'utilisation de radiations ionisantes.....	65
2.4.6	Dispositifs réglementaires	67
2.4.6.1	Différentes organisations intervenant	67
2.4.6.2	Fonctionnement	67
2.4.6.3	Réglementation actuelle	68
2.5	Présentation des trois grandes techniques radiographiques : principe, matériel, acquisition des images en pratique et notion de qualité.....	70
2.5.1	Radiographie conventionnelle.....	70

2.5.1.1	Principe.....	70
2.5.1.2	Matériel : présentation, rôle, entretien	70
2.5.1.2.1	Film	70
2.5.1.2.2	Cassette	71
2.5.1.2.3	Grille antidiffusante.....	72
2.5.1.2.4	Ecrans	73
2.5.1.2.5	Chambre noire et développeuse	75
2.5.1.3	Acquisition des images en pratique	75
2.5.1.3.1	Obtention des radiographies.....	75
2.5.1.3.2	Numérisation des films conventionnels ou digitalisation	76
2.5.1.4	Notion de qualité des images obtenues et artéfacts	76
2.5.1.4.1	Qualité	76
2.5.1.4.2	Artéfacts	79
2.5.2	Radiographie numérique	81
2.5.2.1	Equipement général	81
2.5.2.2	Principes de bases	81
2.5.2.2.1	Conversion analogique-numérique	81
2.5.2.2.2	Traitement informatique.....	82
2.5.2.2.3	Affichage de l'image digitale	82
2.5.2.3	Présentation des deux grands types de radiographie numérique	82
2.5.2.3.1	CR (Computed Radiography) : radiographie numérique utilisant les ERLM ou radiographie informatisée	82
2.5.2.3.2	DR (Digital Radiography) : radiographie digitale	85
2.5.2.4	Traitement des images.....	86
2.5.2.5	Archivage, transmission des données	87
2.5.2.5.1	Stockage des images.....	87
2.5.2.5.2	Archivage et système de communication	87
2.5.2.5.3	Communication des images digitales en médecine	88
2.5.2.5.4	Système d'information en radiologie	88
2.5.2.6	Notion de qualité des images obtenues et artéfacts	88
2.5.2.6.1	Qualité	88
2.5.2.6.2	Artéfacts	90
2.6	Avantages et inconvénients de la radiographie conventionnelle et de la radiographie numérique	91
2.7	Lecture et interprétation des radiographies.....	95
2.7.1	Nomenclature des projections	95
2.7.2	Positionnement de l'image radiographique lors de la lecture	95

2.7.3	Evaluation de la qualité du cliché	95
2.7.4	Interprétation	96
2.7.4.1	Bases.....	96
2.7.4.1.1	Prérequis et notion de perception	96
2.7.4.1.2	Importance de la standardisation	96
2.7.4.1.3	Erreurs fréquemment commises.....	97
2.7.4.2	Etapas de lecture.....	97
2.7.4.2.1	Identification et évaluation de toutes les structures	97
2.7.4.2.2	Caractérisation des anomalies détectées.....	97
2.7.4.2.3	Mise en relation avec le contexte clinique	97
3	ANATOMIE DU JARRET	99
3.1	Introduction	99
3.2	Ostéologie du jarret	100
3.2.1	Situation du jarret dans la jambe du cheval	100
3.2.2	Composition du jarret.....	101
3.2.3	Description individuelle des différents os composant le jarret.....	101
3.2.3.1	Partie distale du tibia.....	101
3.2.3.2	Os du tarse.....	102
3.2.3.2.1	Talus	102
3.2.3.2.2	Calcanéus.....	103
3.2.3.2.3	Os central du tarse	103
3.2.3.2.4	Os tarsal I + II	104
3.2.3.2.5	Os tarsal III.....	104
3.2.3.2.6	Os tarsal IV.....	104
3.2.3.3	Partie proximale du métatarse.....	105
3.2.3.3.1	Extrémité proximale du métatarsien III.....	105
3.2.3.3.2	Extrémité proximale du métatarsien IV	106
3.2.3.3.3	Extrémité proximale du métatarsien II.....	106
3.3	Arthrologie du jarret	107
3.3.1	Bases anatomiques des articulations du jarret	107
3.3.1.1	Présentation générale	107
3.3.1.2	Moyens d'union.....	107
3.3.1.2.1	Capsule articulaire	107
3.3.1.2.2	Ligaments	108
3.3.2	Présentation des différentes articulations du jarret	112
3.3.2.1	Articulation tibio-tarsienne ou cruro-tarsienne	112
3.3.2.2	Articulation talo-calcanéenne	113

3.3.2.3	Articulation intertarsienne proximale	113
3.3.2.4	Articulation intertarsienne distale	114
3.3.2.5	Articulation tarso-métatarsienne	115
3.4	Myologie du jarret.....	116
3.4.1	Muscles de la jambe	116
3.4.1.1	Fascia jambier (fascia cruris)	116
3.4.1.2	Muscles crânio-latéraux	116
3.4.1.2.1	Muscle tibial crânial.....	117
3.4.1.2.2	Muscle troisième péronier ou corde fémoro-métatarsienne	117
3.4.1.2.3	Muscle extenseur dorsal du doigt	118
3.4.1.2.4	Muscle extenseur latéral du doigt.....	119
3.4.1.3	Muscles caudaux	119
3.4.1.3.1	Muscle gastrocnémien	119
3.4.1.3.2	Muscle soléaire.....	120
3.4.1.3.3	Muscle fléchisseur superficiel du doigt	120
3.4.1.3.4	Tendon calcanéen ou corde du jarret	121
3.4.1.3.5	Muscle poplité.....	121
3.4.1.3.6	Muscle fléchisseur latéral du doigt.....	121
3.4.1.3.7	Muscle fléchisseur médial du doigt	122
3.4.1.3.8	Muscle tibial caudal.....	122
3.4.2	Muscles courts du pied	122
3.4.3	Fascias et gaines du tarse	123
3.4.3.1	Sur la face dorsale du tarse	123
3.4.3.1.1	Bride tibiale ou rétinacle crural des extenseurs (retinaculum extensorum crurale).....	123
3.4.3.1.2	Bride tarsienne ou bride cuboïdienne ou rétinacle tarsien des extenseurs (retinaculum extensorum tarsale)	123
3.4.3.1.3	Bride métatarsienne ou rétinacle métatarsien des extenseurs (retinaculum extensorum metatarsale)	123
3.4.3.1.4	Synoviales.....	123
3.4.3.2	Sur la face latérale du tarse.....	124
3.4.3.3	Sur la face médiale du tarse	124
3.4.3.4	Sur la face plantaire du tarse.....	124
3.4.3.4.1	Fascia plantaire (fascia plantaris)	124
3.4.3.4.2	Gaine tarsienne ou gaine plantaire du tarse	124
3.5	Angiologie du jarret.....	125
3.5.1	Artères du pied du cheval	125
3.5.1.1	Système dorsal	125

3.5.1.2	Système plantaire.....	125
3.5.2	Veines du pied du cheval	125
3.6	Neurologie.....	126
3.6.1	Système dorsal.....	126
3.6.2	Système plantaire	126
4	RADIOGRAPHIE DU JARRET	127
4.1	Introduction	127
4.2	Principes généraux de la réalisation des radiographies et de l'anatomie radiographique du jarret.....	128
4.2.1	Réalisation des radiographies.....	128
4.2.1.1	Contention.....	128
4.2.1.2	Matériel	128
4.2.2	Anatomie radiographique du jarret.....	129
4.2.2.1	Notion d'os « sentinelle ».....	129
4.2.2.2	Anatomie radiographique de l'adulte	129
4.2.2.3	Anatomie radiographique du jeune	130
4.3	Réalisation des radiographies, anatomie radiographique et affections fréquemment identifiées vue par vue.....	132
4.3.1	Vue Dorso-Plantaire (DP).....	132
4.3.1.1	Réalisation de la radiographie.....	132
4.3.1.2	Anatomie radiographique de l'adulte	133
4.3.1.3	Anatomie radiographique du jeune	133
4.3.1.4	Affections fréquemment identifiées	134
4.3.2	Vue Latéro-Médiale (LM).....	134
4.3.2.1	Réalisation de la radiographie.....	134
4.3.2.2	Anatomie radiographique de l'adulte	135
4.3.2.3	Anatomie radiographique du jeune	136
4.3.2.4	Affections fréquemment identifiées	136
4.3.3	Vue Dorso-Latérale Plantaro-Médiale Oblique (DLPMO).....	137
4.3.3.1	Réalisation de la radiographie.....	137
4.3.3.2	Anatomie radiographique de l'adulte	138
4.3.3.3	Anatomie radiographique du jeune	138
4.3.3.4	Affections fréquemment identifiées	138
4.3.4	Vue Plantaro-Latérale Dorso-Médiale Oblique (PLDMO) ou Dorso-Médiale Plantaro-latérale Oblique (DMPLO)	139
4.3.4.1	Réalisation de la radiographie.....	139

4.3.4.2	Anatomie radiographique de l'adulte	140
4.3.4.3	Affections les plus fréquemment identifiées	140
4.3.5	Vue Latéro-Médiale fléchie (LM fl.)	140
4.3.5.1	Réalisation de la radiographie	140
4.3.5.2	Affections fréquemment identifiées	141
4.3.6	Vue Plantaro-Proximale Plantaro-Distale ou Skyline du tarse (Pl.-Prox. Pl.-Dist.)	141
4.3.6.1	Réalisation de la radiographie	141
4.3.6.2	Anatomie radiographique de l'adulte	142
4.3.6.3	Affections fréquemment identifiées	142
5	AFFECTIONS DU JARRET	143
5.1	Arthrose	144
5.1.1	Introduction	144
5.1.2	Prérequis	144
5.1.3	Définition	146
5.1.4	Epidémiologie	147
5.1.5	Pathogénie	148
5.1.5.1	Mécanisme pathogénique de l'arthrose	148
5.1.5.2	Facteurs biochimiques.....	149
5.1.5.3	Changements observés au niveau des structures anatomiques.....	150
5.1.5.3.1	Cartilage.....	150
5.1.5.3.2	Os.....	150
5.1.5.3.3	Membrane synoviale et capsule articulaire	150
5.1.6	Etiologie	151
5.1.6.1	Traumatismes	151
5.1.6.2	Conformation	151
5.1.6.3	Nutrition et endocrinologie.....	151
5.1.6.4	Maréchalerie	151
5.1.6.5	Affection ostéoarticulaire pré-existante	152
5.1.7	Signes cliniques.....	152
5.1.7.1	Anamnèse.....	152
5.1.7.2	Examen clinique	152
5.1.7.2.1	Examen clinique statique	152
5.1.7.2.2	Examen clinique dynamique	153
5.1.8	Diagnostic	154
5.1.8.1	Anesthésies sémiologiques	154
5.1.8.2	Examens d'imagerie	155

5.1.8.2.1	Radiographie	155
5.1.8.2.2	Scintigraphie	157
5.1.8.2.3	Echographie	157
5.1.8.2.4	IRM	158
5.1.8.3	Autres examens complémentaires	158
5.1.8.3.1	Analyses du liquide synovial et du sérum	158
5.1.8.3.2	Arthroscopie	159
5.1.9	Traitement	160
5.1.9.1	Traitement médical et traitement non chirurgical	161
5.1.9.1.1	Traitements par voie générale	161
5.1.9.1.2	Traitements intra-articulaires	164
5.1.9.1.3	Arthrodèse chimique	166
5.1.9.1.4	Exercice	166
5.1.9.1.5	Ferrure correctrice	166
5.1.9.1.6	Physiothérapie	167
5.1.9.2	Traitement chirurgical	168
5.1.9.2.1	Ténectomie cunéenne	168
5.1.9.2.2	Cautérisation de la rangée distale des os du tarse	168
5.1.9.2.3	Intervention de Wamberg	168
5.1.9.2.4	Névrectomie des nerfs tibial et fibulaire profond	168
5.1.9.2.5	Technique de fenestration	169
5.1.9.2.6	Forage intra-articulaire	169
5.1.9.2.7	Fusion au laser	170
5.1.10	Pronostic	170
5.2	Ostéochondrose (OC)	171
5.2.1	Introduction	171
5.2.2	Prérequis	171
5.2.3	Définition	173
5.2.4	Epidémiologie	174
5.2.5	Pathogénie	174
5.2.5.1	Mécanisme pathogénique général	174
5.2.5.2	Mécanisme moléculaire	175
5.2.5.3	Caractère dynamique de l'affection chez les jeunes	176
5.2.6	Etiologie	176
5.2.6.1	Exercice, contraintes biomécaniques et traumatismes	176
5.2.6.2	Echec de vascularisation	177
5.2.6.3	Facteurs nutritionnels et endocriniens	178

5.2.6.3.1	Energie.....	178
5.2.6.3.2	Protéines	179
5.2.6.3.3	Minéraux	179
5.2.6.4	Croissance et taille	180
5.2.6.5	Influence génétique.....	180
5.2.6.6	Autres facteurs	180
5.2.7	Prévention.....	181
5.2.8	Signes cliniques	181
5.2.8.1	Motifs de consultation	181
5.2.8.2	Anamnèse.....	182
5.2.8.3	Examen clinique	182
5.2.8.3.1	Examen clinique statique	182
5.2.8.3.2	Examen dynamique	183
5.2.8.3.3	Particularités des signes cliniques en fonction du site atteint	183
5.2.9	Diagnostic	184
5.2.9.1	Anesthésies sémiologiques	184
5.2.9.2	Examens d'imagerie	184
5.2.9.2.1	Radiographie	184
5.2.9.2.2	Echographie.....	187
5.2.9.2.3	IRM	188
5.2.9.3	Autres examens complémentaires.....	188
5.2.9.3.1	Arthroscopie	188
5.2.9.3.2	Analyse des biomarqueurs	188
5.2.10	Traitement	188
5.2.10.1	Traitement conservateur.....	188
5.2.10.2	Traitement chirurgical	188
5.2.10.3	Choix du traitement	189
5.2.10.3.1	Age.....	189
5.2.10.3.2	Sites atteints d'OC	189
5.2.11	Pronostic	190
5.3	Déviations angulaires	191
5.3.1	Définition	191
5.3.2	Pathogénie	191
5.3.3	Etiologie	192
5.3.4	Suivi du poulain.....	192
5.3.5	Signes cliniques	193

5.3.5.1	Anamnèse.....	193
5.3.5.2	Examen clinique	193
5.3.5.2.1	Examen clinique statique	193
5.3.5.2.2	Examen clinique dynamique	193
5.3.6	Examens complémentaires.....	194
5.3.6.1	Examens d'imagerie	194
5.3.7	Traitement	194
5.3.7.1	Traitement conservateur.....	195
5.3.7.2	Traitement chirurgical	196
5.3.8	Pronostic	198
5.4	Ossification incomplète et collapsus de l'os central du tarse et de l'os tarsal III	199
5.4.1	Définition	199
5.4.2	Pathogénie.....	199
5.4.3	Etiologie	199
5.4.4	Signes cliniques.....	200
5.4.4.1	Anamnèse.....	200
5.4.4.2	Examen clinique	200
5.4.4.2.1	Examen clinique statique	200
5.4.4.2.2	Examen clinique dynamique	200
5.4.5	Examens complémentaires.....	200
5.4.5.1	Examens d'imagerie	200
5.4.6	Traitement	201
5.4.7	Pronostic.....	201
5.5	Epiphysite.....	202
5.5.1	Définition	202
5.5.2	Pathogénie et étiologie.....	202
5.5.3	Signes cliniques.....	203
5.5.3.1	Anamnèse.....	203
5.5.3.2	Examen clinique	203
5.5.3.2.1	Examen clinique statique	203
5.5.3.2.2	Examen clinique dynamique	203
5.5.4	Examens complémentaires.....	203
5.5.4.1	Examens d'imagerie	203
5.5.5	Traitement	204
5.5.6	Pronostic.....	204
5.6	Kystes osseux sous-chondraux.....	205

5.6.1	Définition	205
5.6.2	Pathogénie	205
5.6.3	Etiologie	205
5.6.4	Signes cliniques	206
5.6.5	Examens complémentaires.....	206
5.6.5.1	Examens d'imagerie	206
5.6.6	Traitement	206
5.6.6.1	Conservateur	206
5.6.6.2	Chirurgical.....	207
5.6.7	Pronostic	207
5.7	Fractures des os de la rangée de la distale du tarse	208
5.7.1	Définition	208
5.7.2	Etiologie	208
5.7.3	Signes cliniques.....	209
5.7.3.1	Anamnèse.....	209
5.7.3.2	Examen clinique	209
5.7.3.2.1	Examen clinique statique	209
5.7.3.2.2	Examen clinique dynamique	209
5.7.4	Examens complémentaires.....	209
5.7.4.1	Anesthésies sémiologiques	209
5.7.4.2	Examens d'imagerie	210
5.7.5	Traitement	211
5.7.5.1	Traitement conservateur.....	211
5.7.5.2	Traitement chirurgical	211
5.7.6	Pronostic	211
5.8	Fractures du talus.....	212
5.8.1	Définition	212
5.8.2	Signes cliniques.....	212
5.8.2.1	Anamnèse.....	212
5.8.2.2	Examen clinique	212
5.8.3	Examens complémentaires.....	212
5.8.3.1	Anesthésies sémiologiques	212
5.8.3.2	Examens d'imagerie	213
5.8.4	Traitement	213
5.8.5	Pronostic	213
5.9	Fractures du calcaneus.....	214

5.9.1	Définition	214
5.9.2	Signes cliniques	214
5.9.3	Examens complémentaires.....	214
5.9.3.1	Examens d'imagerie	214
5.9.4	Traitement	215
5.9.5	Pronostic	215
5.10	Fractures des malléoles du tibia	216
5.10.1	Définition	216
5.10.2	Signes cliniques	216
5.10.3	Examens complémentaires.....	216
5.10.3.1	Examens d'imagerie	216
5.10.4	Traitement	217
5.10.5	Pronostic	218
5.11	Luxations articulaires	219
5.11.1	Définition	219
5.11.2	Etiologie	219
5.11.3	Signes cliniques	219
5.11.4	Examens complémentaires.....	219
5.11.4.1	Examens d'imagerie	219
5.11.5	Traitement	220
5.11.6	Pronostic	221
5.12	Atteintes des ligaments collatéraux.....	222
5.12.1	Définition	222
5.12.2	Etiologie	222
5.12.3	Signes cliniques	223
5.12.4	Examens complémentaires.....	223
5.12.4.1	Anesthésies sémiologiques	223
5.12.4.2	Examens d'imagerie	223
5.12.5	Traitement	224
5.12.6	Pronostic	225
5.13	Desmte proximale du ligament suspenseur du boulet	226
5.13.1	Définition	226
5.13.2	Signes cliniques	226
5.13.2.1	Anamnèse	226
5.13.2.2	Examen clinique	227
5.13.2.2.1	Examen clinique statique	227

5.13.2.2.2 Examen clinique dynamique	227
5.13.3 Examens complémentaires.....	227
5.13.3.1 Anesthésies sémiologiques	227
5.13.3.2 Examens d'imagerie	228
5.13.4 Traitement	229
5.13.5 Pronostic	230
5.14 Fractures d'avulsion au niveau de l'enthèse du ligament suspenseur du boulet.....	231
5.14.1 Définition	231
5.14.2 Signes cliniques	231
5.14.3 Examens complémentaires.....	231
5.14.3.1 Examens d'imagerie	231
5.14.4 Traitement	232
5.14.5 Pronostic	232
5.15 Ostéite et ostéomyélite du calcanéus.....	233
5.15.1 Définition	233
5.15.2 Etiologie	234
5.15.3 Prévention des ostéites/ostéomyélites secondaires à une intervention chirurgicale ...	234
5.15.4 Signes cliniques	234
5.15.5 Examens complémentaires.....	235
5.15.5.1 Examens d'imagerie	235
5.15.5.2 Autres examens complémentaires.....	236
5.15.6 Traitement	236
5.15.7 Pronostic	238
5.16 Ténosynovite de la gaine tarsienne	239
5.16.1 Prérequis.....	239
5.16.2 Définition	239
5.16.3 Signes cliniques	240
5.16.3.1 Anamnèse.....	240
5.16.3.2 Examen clinique	241
5.16.3.2.1 Examen clinique statique	241
5.16.3.2.2 Examen clinique dynamique	241
5.16.4 Examens complémentaires.....	241
5.16.4.1 Anesthésies sémiologiques	241
5.16.4.2 Examens d'imagerie	241
5.16.4.3 Autres examens complémentaires.....	243
5.16.5 Traitement	243

5.16.6	Pronostic.....	244
5.17	Arthrite septique.....	245
5.17.1	Définition.....	245
5.17.2	Signes cliniques.....	245
5.17.2.1	Anamnèse.....	245
5.17.2.2	Examen clinique.....	246
5.17.3	Examens complémentaires.....	246
5.17.3.1	Examens d'imagerie.....	246
5.17.3.2	Autres examens complémentaires.....	247
5.17.4	Traitement.....	248
5.17.5	Pronostic.....	249
5.18	Ostéosarcome, ostéochondrome.....	250
5.18.1	Définition.....	250
5.18.2	Signes cliniques.....	250
5.18.3	Examens complémentaires.....	250
5.18.3.1	Examens d'imagerie.....	250
5.18.3.2	Autres examens complémentaires.....	251
5.18.4	Traitement.....	251
5.18.5	Pronostic.....	252
	CONCLUSION.....	253
	BIBLIOGRAPHIE.....	255
	ANNEXES.....	265

LISTE DES ILLUSTRATIONS

TABLEAUX

Tableau 1 : Tableau synthétisant les réponses obtenues à la question 8.2.....	49
Tableau 2 : Tableau présentant les réponses obtenues à la question 8.3	50
Tableau 3 : Tableau présentant les réponses obtenues à la question 10	52
Tableau 4 : Rôles respectifs de l'employeur et de la personne compétente en radioprotection	68
Tableau 5 : Artéfacts communs et leurs causes en radiographie conventionnelle	79
Tableau 6 : Artéfacts communs et leurs causes en radiographie numérique.....	90
Tableau 7 : Avantages et inconvénients en radiographie conventionnelle	91
Tableau 8 : Avantages et inconvénients de la radiographie numérique.....	92
Tableau 9 : Avantages et inconvénients de la radiographie informatisée ou CR.....	93
Tableau 10 : Avantages et inconvénients de la radiographie digitale ou DR	94
Tableau 11 : Dénominations des os	100
Tableau 12 : Traitement de l'arthrose.....	161
Tableau 13 : AINS utilisables dans la gestion des affections myoarthrosquelettiques.....	162
Tableau 14 : AIS utilisables dans la gestion de l'arthrose	165

FIGURES

Figure 1 : Questionnaire envoyé aux étudiants vétérinaires de VetAgro Sup	35
Figure 2 : Graphique en secteurs représentant les réponses obtenues à la question 1.....	38
Figure 3 : Graphique en secteurs représentant les réponses obtenues à la question 2.....	39
Figure 4 : Histogramme représentant les réponses obtenues à la question 2 en fonction de celles obtenues à la question 1	40
Figure 5 : Graphique en secteurs représentant les réponses obtenues à la question 3.....	41
Figure 6 : Graphique en secteurs représentant les réponses obtenues à la question 4.....	42
Figure 7 : Histogramme représentant les réponses obtenues à la question 4 en fonction de celles obtenues à la question 1	43
Figure 8 : Graphique en secteurs représentant les réponses obtenues à la question 5.....	44
Figure 9 : Graphique en secteurs représentant les réponses obtenues à la question 6.....	45
Figure 10 : Histogramme représentant les réponses obtenues à la question 7	46
Figure 11 : Pyramide récapitulant l'intérêt que les étudiants portent à chaque partie de la thèse.....	47
Figure 12 : Graphique en secteurs représentant les réponses obtenues à la question 8.1.....	48
Figure 13 : Histogramme représentant les réponses obtenues à la question 8.2	49
Figure 14 : Graphique en secteur représentant les réponses obtenues à la question 9	51
Figure 15 : Graphique en secteurs représentant les réponses obtenues à la question 10.....	52

LISTE DES ANNEXES

- Tableau d'archivage des résultats obtenus au questionnaire utilisé dans le cadre de l'enquête d'opinion réalisée auprès des étudiants de VetAgro Sup, Campus Vétérinaire de Lyon.

LISTE DES ABREVIATIONS

- AH : acide hyaluronique
- AINS : anti-inflammatoires non stéroïdiens
- AIS : anti-inflammatoires stéroïdiens
- BID : deux fois par jour
- IM : intramusculaire
- IV : intraveineux/intraveineuse
- OC : ostéochondrose
- OCD : ostéochondrose disséquante
- OSM : ostéomyélite
- PO : per os
- QUID : quatre fois par jour
- SID : une fois par jour
- TID : trois fois par jour

INTRODUCTION

Le **jarret** du cheval est la zone anatomique des membres pelviens la **plus fréquemment atteinte d'affections**. L'**imagerie médicale** est **couramment utilisée** dans le diagnostic de ces affections, mais à cause de la **complexité anatomique** de cette structure composée de nombreux os, articulations, ligaments, tendons et bourses tendineuses, la réalisation et l'interprétation des examens d'imagerie restent délicates et nécessitent de bonnes connaissances anatomiques et surtout de l'expérience.

Différentes techniques d'imagerie peuvent être utilisées : la radiographie, l'échographie, la scintigraphie, le scanner à rayons X et l'imagerie par résonance magnétique (IRM). La plupart du temps la **radiographie** est l'examen de choix en première intention, suivie de l'échographie (en particulier lorsqu'une atteinte des tissus mous est suspectée). Les autres examens d'imagerie se développent beaucoup à l'heure actuelle et sont de plus en plus utilisés, mais leurs contraintes techniques et financières limitent encore leur démocratisation. La radiographie, malgré ses limites (superposition des structures sur un même plan et donc visualisation en 2D d'une structure en 3D, diminution de la densité osseuse visible qu'à partir de 30 à 50 % de déminéralisation et évaluation précise des tissus mous impossible), est une technique très intéressante dans la **détection** et l'**évaluation** des **lésions ostéoarticulaires**. Elle est par ailleurs **facilement accessible, peu onéreuse** et souvent suffisante, mais peut être, au besoin, complétée par d'autres examens complémentaires (autres examens d'imagerie, ponction et analyse du liquide synovial, arthroscopie...).

Le **vétérinaire équin** est ainsi régulièrement confronté à des **affections** touchant cette structure complexe qu'est le **jarret**. Cette thèse a pour objet de décrire la **radiographie du jarret chez le cheval** de la façon la plus **complète** possible (grâce au manuscrit), mais aussi d'une manière un peu plus **ludique** et **surtout interactive** (grâce au support pédagogique). Un soin particulier a été apporté au fait de présenter tous les **éléments nécessaires** à la compréhension de la radiographie du jarret et à son **emploi correct** en pratique et, bien que l'exhaustivité n'en soit pas l'objectif, j'espère que ce travail apportera les données essentielles aux lecteurs.

Les informations délivrées dans cette thèse (manuscrit et support pédagogique) portent sur les **principes généraux de la radiographie, l'anatomie du jarret, la radiographie du jarret** et enfin les **affections les plus fréquentes du jarret**. Au sein du support pédagogique, **treize cas cliniques réels**, agrémentés de « questions-réponses » portant sur quelques affections du jarret, permettent par ailleurs à l'utilisateur d'aborder plus **concrètement** les sujets évoqués auparavant et de se projeter dans la **réalité d'une consultation** vétérinaire.

Cette thèse étant destinée plus particulièrement aux étudiants vétérinaires, **un sondage a été réalisé** auprès de ceux de VetAgro Sup, Campus Vétérinaire de Lyon, dans le but de connaître leur intérêt pour ce projet (et en particulier pour le support pédagogique) et leurs besoins afin de répondre autant que possible à leurs **attentes**.

Ce vaste travail étant difficilement présentable en introduction, la première partie du manuscrit est consacrée à la **présentation du projet** et de ses **objectifs**, mais également à l'étude de son **intérêt** et de sa **pertinence pour les utilisateurs** (exploitation du sondage) ainsi qu'à l'évocation de ses **limites**. Les parties suivantes concerneront les sujets cités précédemment.

Cette thèse a donc réellement pour **objectif** que le lecteur puisse y trouver toutes les **données fondamentales** au sujet de la **radiographie du jarret**, mais également toutes les **informations complémentaires** lui permettant d'optimiser sa **pratique clinique**.

1 LE PROJET

1.1 Présentation du projet

1.1.1 Principe

Le principe de ce projet de thèse était de réaliser :

* Un **manuscrit très complet** comportant les parties suivantes :

- Principes généraux de la radiographie
- Anatomie du jarret du cheval
- La radiographie du jarret du cheval
- Les principales affections du jarret du cheval

* Un **support pédagogique** consultable en intranet et destiné aux étudiants vétérinaires. Ce site a pour objectif de présenter les informations contenues dans le manuscrit d'une façon plus synthétique et plus attrayante. Les informations poussées et détaillées sont consultables dans le manuscrit, téléchargeable à la demande par l'utilisateur.

Ce support a pour vocation de proposer une iconographie abondante et de qualité avec :

- Des schémas adaptés à l'information délivrée, dont la plupart ont été coloriés et re-légendés ainsi que des schémas réalisés durant mon travail de thèse.
- Des photographies.
- Des images anatomiques (photographies de squelettes) et radiographiques avec légendes interactives.
- Treize cas cliniques interactifs (avec radiographies) afin de permettre à l'utilisateur de s'entraîner sur des cas concrets.

* Un **sondage auprès des étudiants vétérinaires** de VetAgro Sup, afin de connaître leurs attentes et besoins et donc d'adapter au mieux le support pédagogique.

1.1.2 Manuscrit

Comme évoqué précédemment le manuscrit a pour objectif de délivrer un **maximum d'informations** concernant toutes les étapes intervenant dans la radiographie du jarret. Les sujets traités sont donc multiples :

- Principes généraux de la radiographie : circonstances de réalisation et indications de la radiographie, bases physiques de la radiographie, radioprotection, présentation des trois

grandes techniques de radiographie utilisées à l'heure actuelle, lecture et interprétation des radiographies.

- Anatomie du jarret du cheval : ostéologie, arthrologie, myologie, notions d'angiologie et de neurologie.

- Radiographie du jarret du cheval : principes généraux de la réalisation des radiographies et de l'anatomie radiographique du tarse, réalisation des radiographies et anatomie radiographique du tarse projection par projection (vues DP, LM, DLPMO, DMPLO/PLDMO, LM fléchie, PI-Prox. PI-Dist. ou skyline du tarse).

- Principales affections du jarret du cheval : dans cette partie sont abordées les affections pour lesquelles la radiographie du jarret présente un intérêt. Les deux principales sont étudiées en premier, il s'agit de l'arthrose et de l'ostéochondrose. Les affections juvéniles ostéoarticulaires (AJOA) autres que l'ostéochondrose : déviations angulaires, ossification incomplète des os central du tarse et tarsal III, épiphysite, kystes osseux sous-chondraux (classés selon leur origine dans les AJOA ou les affections traumatiques), sont ensuite décrites. Les fractures sont également présentées (fractures des os de la rangée distale du tarse, du calcaneus, du talus ou des malléoles du tibia) ainsi que les atteintes ligamentaires (luxations articulaires, atteintes des ligaments collatéraux, desmote proximale du ligament suspenseur du boulet et fracture d'avulsion au niveau de l'enthèse de ce dernier). Les atteintes inflammatoires et septiques sont ensuite étudiées : ostéite et ostéomyélite du calcaneus, arthrite et ténosynovite de la gaine tarsienne (idiopathique, traumatique ou septique). Un dernier paragraphe est consacré aux atteintes néoplasiques qui restent rares, mais qui existent néanmoins (ostéosarcome, ostéome, ostéochondrome).

Ce manuscrit n'a pas la prétention d'être exhaustif, mais il semblait important de ne pas parler uniquement de la radiographie du jarret *stricto sensu*.

Il paraissait en effet primordial de faire un point sur le **matériel** à utiliser, sur son **fonctionnement**, sur les **mesures de radioprotection** et les **obligations réglementaires** en découlant, mais aussi sur l'**évaluation de la qualité** des clichés et leur **interprétation**. Cette partie, qui de prime abord peut paraître rébarbative, s'avère cependant nécessaire à la réalisation, dans de **bonnes conditions**, de **clichés radiographiques d'une qualité suffisante** pour pouvoir être **interprétés correctement** dans le cadre d'une démarche diagnostique.

Un autre prérequis nécessaire à la lecture d'une radiographie est évidemment l'**anatomie** puisque sans maîtrise de cette dernière la **reconnaissance**, et donc *a fortiori* l'**évaluation des structures** présentes sur le cliché, est impossible sinon erronée ou imprécise.

La partie axée sur la radiographie du jarret permet quant à elle de se familiariser avec la **réalisation des vues** couramment utilisées en pratique et l'**anatomie radiographique**.

La dernière partie permet enfin d'aborder la finalité de l'examen radiographique puisque l'**identification des lésions et leur interprétation** ont bien comme but en pratique de tendre vers le **diagnostic de l'affection** dont souffre le cheval qui est présenté en consultation. Cette partie liste ainsi les affections du jarret les plus fréquemment rencontrées en évoquant évidemment les **signes radiographiques** pouvant être observés, mais également la **définition**, l'**épidémiologie**, l'**étiologie**, la **pathogénie**, les **signes cliniques**, le **diagnostic**, le **traitement** et le **pronostic** de l'affection en question.

Au sein du support pédagogique, de nombreuses illustrations (schémas, photographies, images radiographiques et tableaux) viennent s'ajouter au texte pour améliorer la **compréhension** et la **mémorisation** des données présentées afin d'optimiser par la suite, sur le terrain, la suspicion, le diagnostic et le traitement des affections du jarret du cheval.

1.1.3 Support pédagogique

1.1.3.1 *Intérêt du support pédagogique*

L'imagerie médicale est une discipline **très visuelle** qui nécessite pour son apprentissage, mais aussi son utilisation, la visualisation d'images de bonne qualité. L'idée d'utiliser un support informatique s'est donc faite assez naturellement, l'objectif étant de permettre au plus **grand nombre** d'accéder **rapidement** et **facilement** à de nombreux **clichés radiographiques** de **qualité supérieure** à la version papier. Au-delà de ce critère de qualité, le support informatique permet également de réaliser des **animations** et de présenter des informations de façon plus attrayante. Grâce à l'interactivité du support, une réelle **implication de l'utilisateur** est donc possible et chacun est libre d'utiliser cet outil pédagogique de la façon qui lui convient le mieux, ce qui n'est pas le cas avec un support fixe tel un poster, un carnet clinique ou un manuscrit.

1.1.3.2 *Choix du support*

A l'heure actuelle, les Ecoles Nationales Vétérinaires Françaises mettent à la disposition des étudiants un matériel informatique de bonne qualité et le « e-learning » se développe de plus en plus. Les deux formes les plus utilisées sont le **document hypermédia** (fichier de texte dans lequel peuvent être inclus des fichiers sons, images ou vidéos) et le **cd-rom**. Le cd-rom est de diffusion aisée, car les données sont gravées sur un disque compact et il n'est donc pas nécessaire de passer par un réseau. Il est cependant de réalisation technique complexe et ne peut pas être modifié après son édition. Le support hypermédia au contraire peut être mis à jour et son accessibilité sur un réseau ne nécessite pas d'emprunter le CD-Rom pour avoir accès au support pédagogique. Mon choix s'est donc porté vers le document hypermédia.

Le langage standard pour créer et reconnaître les documents hypermédias s'appelle « Hyper Text Markup Language » (HTML) et la consultation des pages HTML nécessite la connexion à un réseau : soit interne à une entreprise ou à une école (le réseau « intranet » de VetAgro Sup par exemple), ou plus étendu, voire mondial (le réseau Internet). L'interactivité se crée en principe grâce à des liens contenus dans ces fichiers vers d'autres parties du document. Dans le cas de mon travail le document hypermédia sert en fait de simple support (arborescence du site réalisée à l'aide du logiciel Komposer) car les informations pédagogiques ne sont pas présentées sur des pages HTML, comme c'est classiquement le cas, mais sur des **diaporamas en ligne** (diaporamas conçus avec le logiciel Power Point puis convertis en flash grâce au logiciel I Spring Free) qui m'ont permis de mettre en place de **nombreuses animations** (interactivité) et de **faciliter la navigation** puisque l'**accès aux diaporamas** se fait rapidement et simplement et que **plusieurs diaporamas** peuvent être ouverts en même temps.

1.1.3.3 *Contenu du support*

- **Texte**

Il reprend de façon simplifiée et synthétique les données essentielles présentes dans le manuscrit.

- **Iconographie**

- **Schémas** : la plupart des schémas sont issus de différents ouvrages et une majorité d'entre-eux à été modifiée. Certains schémas ont également été réalisés au cours de mon travail de thèse.
- **Photographies** : elles sont issues de différents ouvrages, de sites internet, de la banque d'images de la Clinéquine ou ont été prises par moi-même.
- **Radiographies** : toutes les radiographies utilisées sont issues des archives du Service d'Imagerie Médicale des Equidés de VetAgro Sup, Campus Vétérinaire de Lyon. Leur sélection ainsi que celle des cas cliniques s'est faite sur CLOVIS, le logiciel où est consigné l'ensemble des dossiers des animaux présentés en consultation à l'école. De nombreux critères ont dû être pris en compte dans le choix des radiographies et en particulier ceux déterminant leur intérêt pédagogique et leur qualité radiographique.

- **Animations**

- **Partie « Radiographie du jarret »** :

Les animations permettent de faire afficher ou disparaître, à la demande, les légendes des photographies de squelette, des schémas des radiographies et des clichés radiographiques normaux, afin de **se familiariser avec l'anatomie radiographique normale**. Cela permet **d'apprendre** et de **s'entraîner** puisque seules les légendes désirées par l'utilisateur s'affichent.

- **Partie « Cas cliniques »** :

Les animations permettent **d'interpréter les radiographies présentées de façon autonome** puisque **les clichés sont affichés sans légende**. La liste des structures anatomiques est présente à côté de l'image et le fait de cliquer sur l'une d'elles conduit soit à l'apparition de la mention « Aucune anomalie significative de cette structure n'est visible sur cette vue » soit lorsqu'une ou plusieurs lésions est/sont présente(s) à l'apparition **d'une diapositive zoomant sur la structure** en question. L'utilisateur peut alors chercher un peu plus précisément les anomalies existantes et ce n'est que **lorsqu'il le décidera** (en cliquant sur « R » pour réponse) **que la ou les lésions seront citées, décrites et légendées** sur la radiographie.

- **Cas cliniques**

Tout au long des cas cliniques, des « **questions-réponses** » sont intégrées afin de permettre une meilleure **compréhension du cas**, de **vérifier l'acquisition des connaissances** sur l'affection en présence ou le cas échéant de les **améliorer**. Ces questions sont posées de façon **simple** et la **réponse est totalement libre** (il ne s'agit pas d'une question à choix multiple), l'utilisateur n'est donc ni aidé, ni influencé, ce qui le place en condition réelle d'exercice. Elles permettent ainsi **à l'utilisateur de s'évaluer sur son niveau réel** de connaissances. L'affichage des questions et des réponses se fait à la demande et n'est pas obligatoire pour lire l'ensemble du cas clinique. Il s'agit donc d'un **mode de lecture totalement personnel** et les questions ne sont là que pour **orienter et aider** le lecteur dans sa démarche et son apprentissage. L'idée est en effet d'imposer **le moins de contraintes possible**, afin que chacun puisse utiliser le support de la façon qui lui convient le mieux. Des encarts « **Informations** » viennent s'ajouter afin d'indiquer la ou les parties du site ou du manuscrit intéressantes à consulter, d'apporter des informations aidant à la compréhension du cas ou de récapituler les points essentiels à retenir.

Le **but** de ces cas cliniques est de **mettre plus concrètement en pratique** (même si cela n'équivaudra évidemment jamais à une consultation sur le terrain) les **connaissances théoriques** et de **progresser** de façon plus ludique et plus motivante. La mise en situation lors de l'étude d'un **cas concret** faisant intervenir la **réflexion** du lecteur permet par ailleurs de **retenir** et de **comprendre** en général plus facilement les informations apportées, d'autant plus que l'**intérêt de la connaissance** de ces données est démontré par la mise en évidence de leur **importance en pratique, sur le terrain**.

Les cas choisis sont issus de consultations ayant eu lieu à la Clinéquine de VetAgro Sup, il s'agit de **cas réels très peu modifiés**, certains sont donc imparfaits (anamnèse peu développée, examen clinique parfois pas aussi détaillé que ce que l'on pourrait souhaiter, vue radiographique imparfaite ou non disponible, traitement sujet à discussion...). Cependant dans la pratique quotidienne ces aléas existent aussi et l'objectif n'est pas ici d'exposer un cas parfait où le cheval présente toutes les caractéristiques épidémiologiques, cliniques et radiographiques de l'affection dont il souffre, mais bien de **se replacer dans la réalité clinique quotidienne** avec toutes les **limites** que cela comporte (manque de temps, anamnèse incomplète, radiographies parfois interprétables, mais néanmoins imparfaites...). Les cas ont été choisis pour leur **intérêt pédagogique** et autant que possible sur la **qualité des clichés** radiographiques et des **données** disponibles. Les cas proposés permettent de couvrir une grande partie des **affections** présentées dans le manuscrit et portent en tout cas sur **celles que le praticien est le plus susceptible de rencontrer** au quotidien.

1.2 Objectifs

A l'issue de la lecture du support et de la résolution des cas cliniques, l'utilisateur doit normalement avoir acquis l'essentiel des notions concernant la **radiographie du jarret chez le cheval**. La présence du support sur le réseau intranet de l'école permet par ailleurs sa consultation à n'importe quel moment et depuis n'importe quel ordinateur relié au réseau interne, ce qui laisse la liberté à l'utilisateur de gérer sa formation comme il l'entend.

Au niveau du **support pédagogique**, la **simplicité des informations** apportées, l'**iconographie** abondante et l'**interactivité** stimulent l'**intérêt**, **mais aussi la motivation** de l'utilisateur. Ce dernier peut par ailleurs, s'il le désire, trouver des **informations plus détaillées** dans le **manuscrit** et ainsi approfondir ses connaissances. Les **cas cliniques** ont quant à eux pour but d'**aider à la mémorisation** des connaissances théoriques et de développer le raisonnement et la prise de décision intervenant dans une **démarche diagnostique**.

1.3 Intérêt et pertinence du projet : enquête d'opinion auprès des étudiants vétérinaires de VetAgro Sup

1.3.1 Présentation du sondage

1.3.1.1 Objectifs de l'enquête

Le but de ce sondage était de s'assurer tout d'abord que ce projet de thèse présentait un **intérêt** et une **utilité** pour les personnes auxquelles il était destiné et ensuite de connaître l'**opinion** de ces dernières afin d'**adapter** au mieux le support pédagogique à leurs attentes et besoins.

1.3.1.2 *Réalisation, intérêts et limites du questionnaire*

J'ai réalisé ce questionnaire seule, sans l'aide d'un statisticien (par manque de temps par rapport au reste du travail à faire dans ce projet de thèse) et certaines règles ont pu ne pas être strictement respectées, sa rigueur statistique me semble cependant correcte même s'il n'est pas exclu qu'elle puisse être (dans une certaine mesure) remise en question. L'**objectif** de ce sondage était cependant plus ici de **connaître le ressenti** et les **avis de mes collègues** que de réaliser un sondage parfait et peut être un peu moins informatif ou adapté aux questions et aux réponses intéressantes. J'ai malgré tout essayé de rendre le questionnaire le **plus rigoureux**, le plus **compréhensible** et le plus **clair** possible pour les personnes sondées en respectant au maximum les règles du sondage.

La réalisation du questionnaire a ainsi nécessité plusieurs étapes :

- **Choix et formulation des questions** : une attention particulière a été apportée à ce qu'elles couvrent l'ensemble du projet et qu'elles soient simples et informatives (chaque question a été posée dans un but précis et a été exploitée). Deux types de questions ont été posés :

* Des questions **fermées** pour lesquelles le choix des réponses est limité (plusieurs réponses sont proposées et la personne coche celle(s) qu'elle désire). Elles sont plus faciles à dépouiller et permettent de standardiser les réponses, mais ne permettent pas de nuances.

* Des questions **ouvertes** où la réponse est libre. Leur dépouillement et leur interprétation sont plus délicats, mais elles présentent l'intérêt d'obtenir une bonne qualité de réponse puisque le répondant peut exprimer sans contrainte son opinion, ses remarques ou encore ses suggestions.

La présence de ces deux types de questions était pour moi essentielle, car les premières permettent de **voir si le modèle proposé convient à la majorité** et, **face à un projet précis, de pouvoir cibler assez précisément les attentes des étudiants**, alors que les secondes rendent possible l'**adaptation** et la **personnalisation du projet** en fonction des remarques apportées par les futurs utilisateurs.

- **Réalisation du questionnaire** sous Microsoft Office Word 2007 avec mise en forme restreinte pour que seules les zones de réponse puissent être modifiées par les répondants.

- **Test sur dix étudiants de troisième et quatrième années** dans le but de valider la compréhension des questions, le temps et la qualité des réponses et de collecter leurs suggestions sur la façon d'améliorer le questionnaire.

- **Modification des questions** en fonction de leurs remarques afin d'augmenter la lisibilité des questions et l'efficacité du questionnaire.

- **Validation du questionnaire** par mes 1^{er} et 2^{ème} assesseurs.

- **Envoi du questionnaire aux étudiants et internes.**

1.3.1.3 *Présentation du questionnaire*

Figure 1 : Questionnaire envoyé aux étudiants vétérinaires de VetAgro Sup

Sondage thèse

Dans le cadre de ma thèse, je souhaite réaliser un **support pédagogique informatisé** sur la **radiographie du tarse du cheval**. Afin de connaître un peu plus précisément l'**intérêt** de ce travail pour vous, mais également d'**adapter ce support** le plus fidèlement possible à **vos attentes et vos besoins**, j'ai réalisé ce questionnaire.

Pour chaque question, cliquez sur la ou les réponses de votre choix et complétez si besoin les zones de texte grises. D'avance merci pour votre participation.

- En quelle **année** êtes-vous ?
 a) 1A b) 2A c) 3A d) 4A e) 5A * : f) Interne * : g) Autre :
 *précisez la filière : Canine (C), Equine (E), Bétail (B), Nacs (N), mixte (C/E, C/B, E/B...)
- Etes-vous intéressé(e) par la médecine vétérinaire équine ?
 a) Oui b) Non
- Pensez-vous avoir les connaissances pour réaliser et interpréter des radiographies du tarse chez le Cheval ?
 a) Complètement b) Suffisamment c) Insuffisamment d) Pas du tout
- Quelle(s) étape(s) vous semble(nt) poser le plus de difficultés ?
 a) Indications de la radiographie et choix des incidences
 b) Réalisation des radiographies
 c) Interprétation des radiographies
- Un site intranet ou internet sur la radiographie du tarse chez le cheval, comportant de nombreuses images légendées (radiographies, photos, schémas anatomiques et radiographiques...) en plus de textes explicatifs, vous paraît-il être un moyen utile pour perfectionner la maîtrise de la radiographie du tarse chez le cheval ?
 a) Oui b) Non
- Dans quelle(s) circonstance(s) pensez-vous avoir à consulter ce site ?
 a) En préparation avant un cas
 b) Après un cas
 c) Par curiosité pour améliorer vos connaissances sur le sujet
 d) Autre(s) :
- Parmi les parties suivantes, pouvez-vous indiquer pour chaque paragraphe votre avis concernant son intérêt en cochant la case correspondante :

Parties	Paragraphes	Très intéressant	Intéressant	Peu intéressant	Sans intérêt
Principes généraux de la radiographie	1. Circonstances de réalisation et indications	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2. Introduction aux différentes techniques	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3. Bases physiques de la radiographie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4. Radioprotection	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	5. Présentation successive des trois grands types de radiographie (FSR, CR, DR) : principe, matériel, acquisition des images en pratique et notion de qualité	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	6. Avantages et inconvénients des FSR, CR et DR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	7. Lecture et interprétation des radiographies	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anatomie du jarret du cheval	8. Ostéologie, Arthrologie, Myologie, Angiologie, Neurologie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Radiographie du tarse (vue par vue)	9. Réalisation de la radiographie	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	10. Anatomie radiographique de l'adulte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	11. Anatomie radiographique du jeune	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Etude des affections les plus fréquentes du tarse	12. Epidémiologie, Signes cliniques, Signes radiographiques, Etiologie et pathogénie, Traitement, Pronostic	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
--	---	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

8. L'idée de cette thèse est de réaliser un **manuscrit** traitant de façon détaillée les parties citées dans le tableau précédent et proposant de **nombreuses illustrations**. Le **site** aurait pour but de reprendre ces différentes parties et de rendre accessibles l'iconographie et les informations essentielles d'une manière plus synthétique et plus ludique.
- Ce modèle vous semble-t-il :
 a) Très satisfaisant b) Satisfaisant c) Peu satisfaisant d) Insatisfaisant
 - Certaines parties doivent-elles selon vous ne pas figurer du tout sur le site ? (mettre le(s) numéro(s) correspondant au(x) paragraphe(s)) :
 - Certaines parties doivent-elles y figurer absolument ? (mettre le(s) numéro(s) correspondant au(x) paragraphe(s)) :
 - Avez-vous des suggestions concernant le contenu et la forme du site ? (300 caractères maximum)
9. Quel type de légende sur les différentes images radiographiques vous conviendrait le mieux ?
- a) **Légende fixe** : l'utilisateur choisit d'afficher l'image sans légende ou avec toutes les légendes.
 - b) **Légende dynamique** : l'image est affichée vierge et c'est l'utilisateur qui, en cliquant sur le nom de la ou des structures qui l'intéressent (parmi la liste proposée), fait afficher la légende correspondante. Ainsi l'utilisateur peut afficher aucune, une, plusieurs ou toutes les légendes en même temps (au premier clic sur le nom de la structure la légende apparaît, au deuxième, elle disparaît).
 - c) Aucune légende sur la radiographie, mais simplement un **schéma explicatif** de la radiographie.
 - d) Les cas **b + c** en même temps et donc : une image légendée mettant en évidence une ou plusieurs structures à la demande + un schéma légendé de la radiographie.
 - e) Autre (200 caractères maximum) :
10. Une partie avec des cas cliniques réels sur des affections fréquentes du tarse est prévue. Elle comporterait pour chaque cas les parties suivantes s'affichant au gré de l'utilisateur : commémoratifs et anamnèse, examen clinique et locomoteur, images radiographiques non légendées, incidences, description des lésions et légende des images radiographiques, conclusion +/- traitement et pronostic.
- Cela vous semble-t-il être un moyen de formation ludique, efficace et intéressant pour aborder l'aspect pratique de la radiographie du tarse ?
- a) Oui
 - b) Non
11. **Espace libre** : vous pouvez faire ici des **commentaires** concernant les **questions** précédentes (reportez alors leur numéro en face du commentaire) ou **toute suggestion** en rapport avec la **réalisation d'un support pédagogique informatisé sur la radiographie du tarse du cheval**. (500 caractères maximum)

Merci !

1.3.1.4 *Réalisation de l'enquête*

- **Modalités d'administration du sondage** : le questionnaire, sous forme d'un fichier protégé Microsoft Office Word 2007, a été envoyé par courrier électronique, aux étudiants et internes de VetAgro Sup, Campus Vétérinaire de Lyon.
- **Durée de l'enquête** : le sondage a été envoyé pour la première fois le 17/11/2010, puis des relances ont été faites le 9/12/2010 et le 22/12/2010 afin d'obtenir un maximum de réponses. Les derniers sondages retournés ont été acceptés jusqu'au 31/12/2010. L'enquête a donc duré un mois et demi.
- **Personnes sondées** : le sondage a été adressé à l'ensemble des étudiants et internes, soit 119 étudiants de première année (1A), 128 de deuxième année (2A), 112 de troisième année (3A), 107 de quatrième année (4A), 107 de cinquième année (5A) dont 37 « 5A équine » (13 en filière équine pure et 24 en filière mixte équine) et 70 en « 5A autres » (sous entendu « autres filières ne comprenant pas de pratique équine » : carnivores, nouveaux animaux de compagnie et bétail) et 16 internes (dont 7 internes en clinique des équidés), soit un total de 589 personnes.

1.3.2 **Résultats du sondage**

1.3.2.1 *Tri des résultats*

- Chaque questionnaire s'est vu attribuer **un numéro** et ses réponses ont été consignées à la fin de l'enquête dans un tableur fait avec Microsoft Office Excel 2007 (présenté en annexe) qui a ensuite permis de générer les **graphiques** mettant en évidence les résultats obtenus à chaque question.
- Tout questionnaire retourné, avec **plus de deux questions** non répondues, a été **écarté** du sondage. En cas d'**absence de réponse** ou de **réponse ambiguë** (par exemple deux réponses à la même question alors qu'une seule réponse est autorisée) la question correspondante a été considérée **comme nulle** et sa réponse non prise en compte (cellules en jaune dans le tableur).

1.3.2.2 *Réponses obtenues*

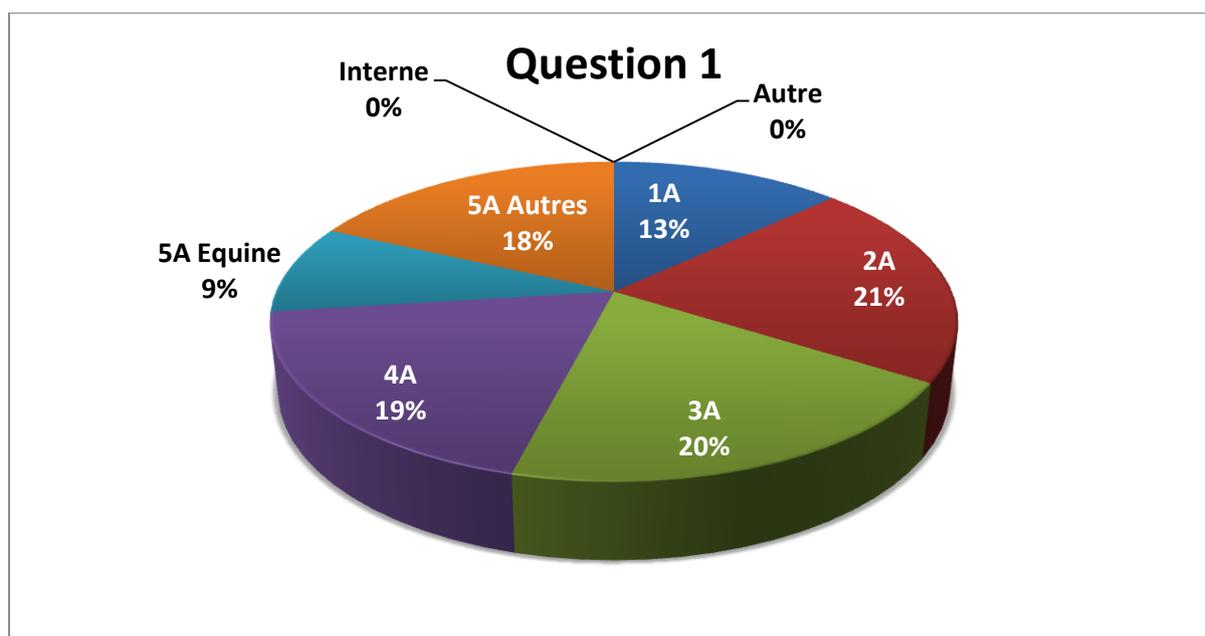
- 105** étudiants ont retourné le questionnaire renseigné, le taux de réponses a été de **17,82 %**.
- 1 questionnaire était dans un format non lisible et a donc été exclu d'emblée.
 - 4 questionnaires présentaient plus de deux réponses non complétées et ont donc été écartés du sondage.
- => **100 questionnaires** ont ainsi été pris en compte pour mon étude.
- Parmi l'ensemble de ces 100 questionnaires, **21 questions** au total n'ont pas été prises en compte (ambiguïté ou non réponse).
- Les résultats sont archivés dans le tableur présenté en annexe.

1.3.3 Analyse des résultats du sondage

Ce paragraphe présente, les **résultats** et leur **interprétation** question par question.

- **Question 1 : « En quelle année êtes-vous ? »**

Figure 2 : Graphique en secteurs représentant les réponses obtenues à la question 1

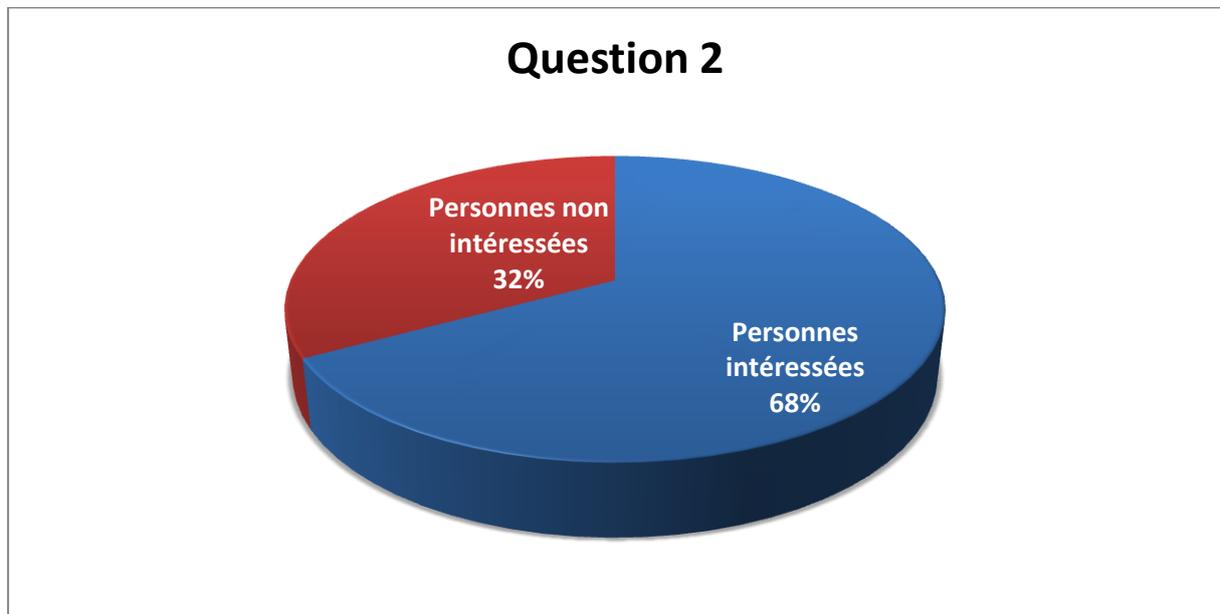


Cette première question avait comme objectif d'identifier la **promotion d'appartenance des personnes sondées** puis, de pouvoir vérifier si les réponses à d'autres questions étaient influencées par l'année d'étude du répondant (100 étudiants ont répondu). Cette question permet donc de connaître la répartition par promotion des personnes ayant renvoyé le questionnaire renseigné. On constate **l'absence de réponse des internes** (parmi les internes auxquels le sondage a été envoyé, il y avait seulement 7 internes en équipe, et on a vu qu'environ 17 % des personnes sondées ont répondu soit une probabilité de réponse inférieure à 1,2 pour 7, on peut également supposer qu'ils se sentent moins concernés que les étudiants, car ils ne seront plus là l'année suivante et/ou qu'ils possèdent déjà les connaissances nécessaires sur le sujet traité) et « **Autre** » (ce qui est normal puisque le sondage n'a en réalité été envoyé qu'aux étudiants et internes). Pour les autres catégories, la répartition est plutôt homogène avec environ **20 % de réponses** pour les étudiants de **deuxième, troisième et quatrième années**. Les étudiants de **première année** ont un peu moins répondu (**13 %**) alors que ceux en **cinquième année** (dont un tiers environ est en équipe pure ou mixte) ont été les plus nombreux à répondre (**28 %**). On peut logiquement supposer que le recul et l'expérience pratique manquant aux premières années et au contraire bien avancés chez les étudiants de cinquième année soient à l'origine de cette différence.

On peut en tout cas conclure que **l'ensemble des promotions d'étudiants a répondu** dans des **proportions assez proches**, ce qui montre l'implication et l'intérêt de tous pour ce projet. Cela permet de se faire une idée assez représentative des attentes des étudiants de tous les niveaux et renforce l'intérêt de rendre la thèse accessible et utile à l'ensemble des promotions.

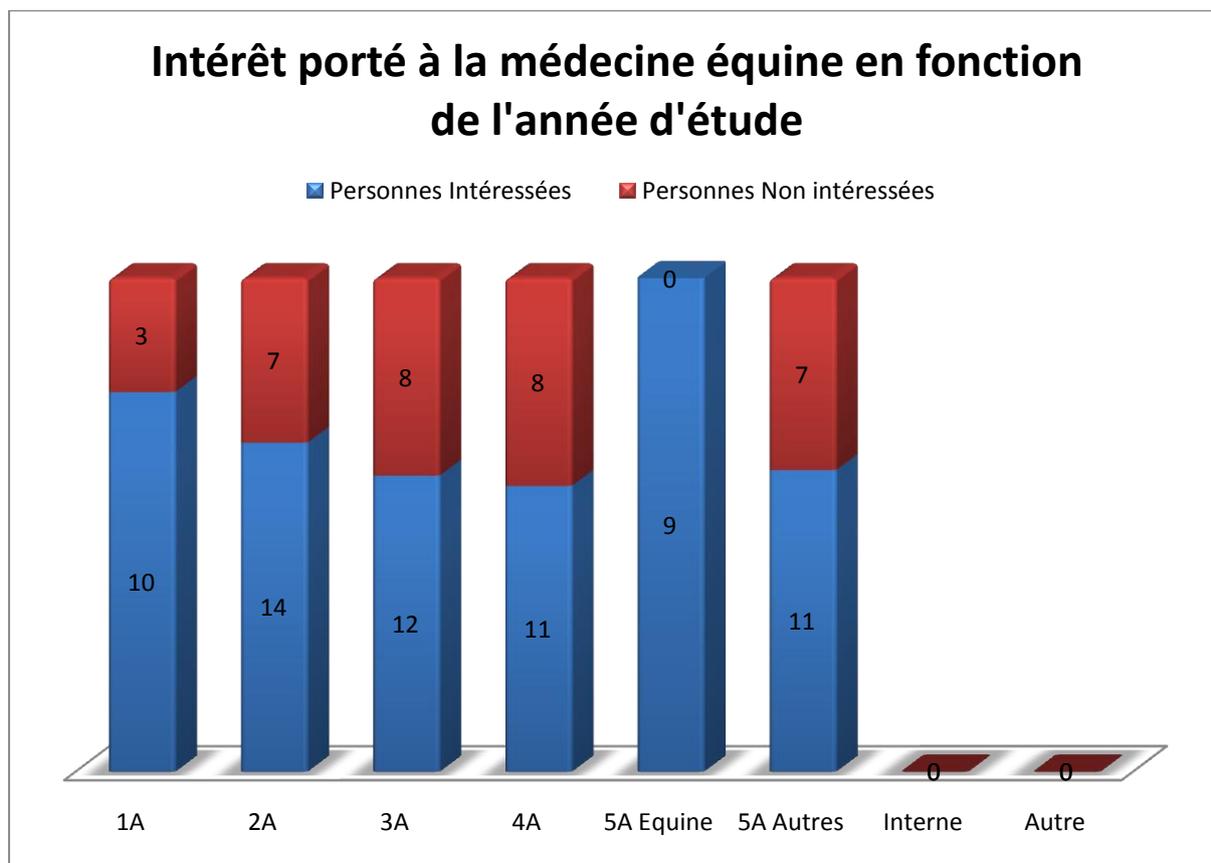
- **Question 2** : « Etes-vous intéressé(e) par la médecine vétérinaire équine ? »

Figure 3 : Graphique en secteurs représentant les réponses obtenues à la question 2



Cette question avait comme objectif d'identifier le pourcentage **des personnes sondées qui sont intéressées par la médecine équine**, afin de **connaître la proportion d'étudiants directement concernés par mon projet** (100 étudiants ont répondu). Le but était aussi de pouvoir vérifier si les personnes non intéressées par la médecine équine pouvaient néanmoins présenter un intérêt pour mon travail et de savoir si les réponses aux questions ultérieures étaient influencées par ces différences de préférence d'espèces. On peut voir que les **deux tiers** des personnes ayant répondu sont **intéressés par la médecine équine** et **qu'un tiers ne l'est pas**, mais a malgré tout pris le temps de remplir le questionnaire.

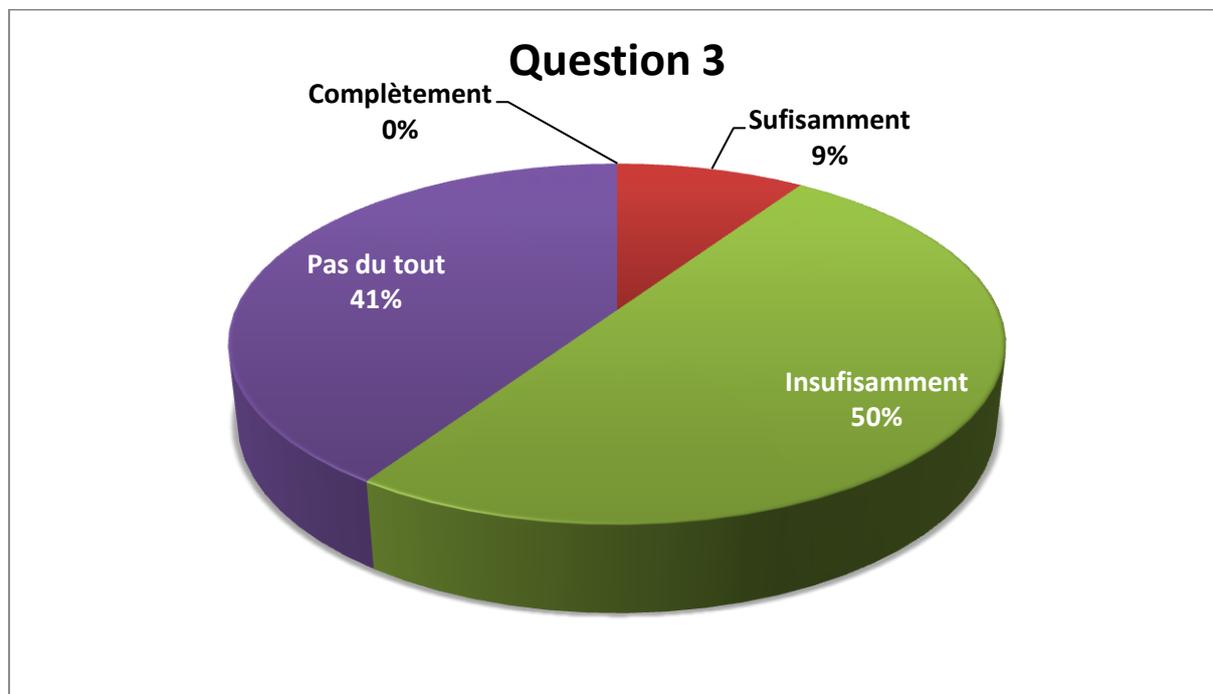
Figure 4 : Histogramme représentant les réponses obtenues à la question 2 en fonction de celles obtenues à la question 1



Ce graphique permet de visualiser la réponse à la question 2 en fonction de la réponse à la question 1. On s'aperçoit que tous les étudiants de la filière équine sont intéressés. Parmi les autres promotions, on remarque que la **répartition des réponses est assez harmonieuse entre les différentes années** avec en moyenne **62 %** d'intéressés parmi les promotions 2, 3, 4, 5A autres (67 % pour les 2A, 60 % pour les 3A, 59 % pour les 4A, 61 % pour les 5A autres qu'équine pure ou mixte). On peut en revanche noter que cette proportion est légèrement supérieure chez les étudiants de **première année** puisqu'elle atteint **77 %** (deux explications semblent possibles : on a vu que le taux de réponses des premières années est le plus faible, on peut supposer que, soit les personnes intéressées par l'équie se sont senties plus concernées par le projet et on plus facilement répondu que les autres, soit que leur recul sur le métier étant faible leur choix n'est pas encore défini et donc que la majorité reste intéressée par un plus grand nombre d'espèces que les étudiants des promotions suivantes). On peut en tout cas conclure que la **médecine équine intéresse environ deux tiers des étudiants et ce de façon assez homogène au sein des différentes promotions.**

- **Question 3 : « Pensez-vous avoir les connaissances pour réaliser et interpréter des radiographies du tarse chez le cheval ? »**

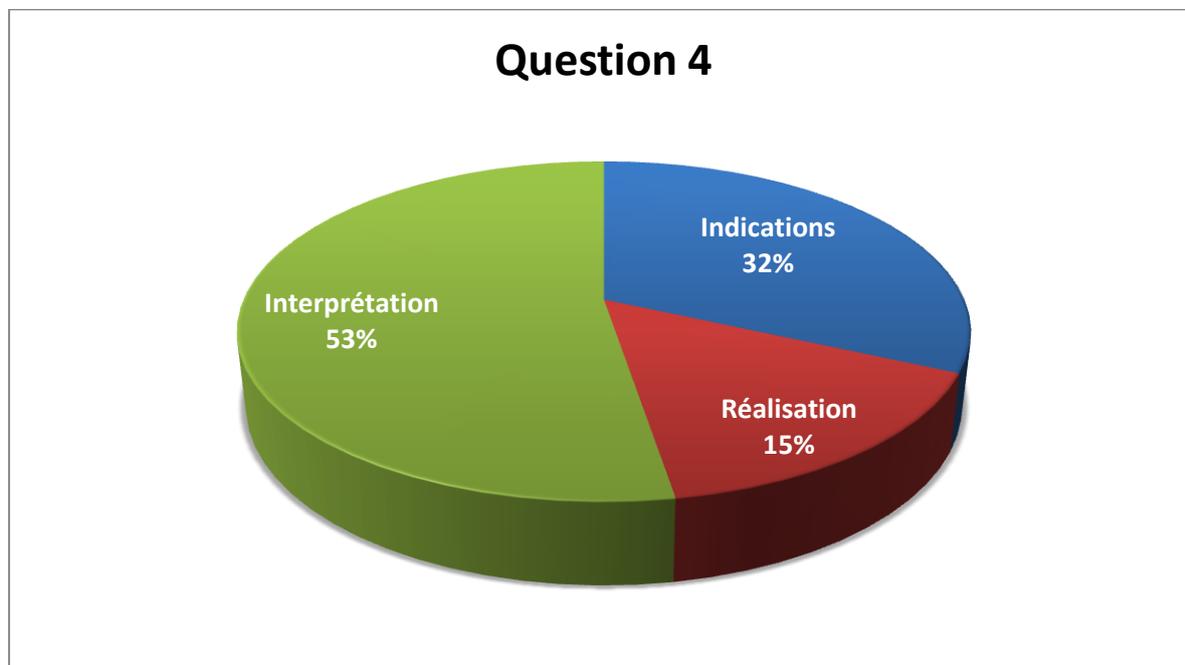
Figure 5 : Graphique en secteurs représentant les réponses obtenues à la question 3



Cette question avait comme objectif d'évaluer l'intérêt de mon projet sur le plan pédagogique afin de savoir s'il serait susceptible d'apporter des informations sur un sujet peu ou pas maîtrisé par les futurs utilisateurs (96 étudiants ont répondu). La réponse à cette question est très importante, car l'objectif de mon travail était avant tout de réaliser un support pédagogique réellement utile pour les étudiants et qui se devait donc d'apporter un « plus » par rapport aux connaissances acquises durant le cursus et non pas se révéler être un outil, certes intéressant, mais peu nécessaire en réalité. On constate qu'aucune des personnes sondées ne pense maîtriser totalement la radiographie du jarret et que seulement 9 % considèrent posséder les connaissances suffisantes pour l'utiliser en pratique. 91 % des étudiants sondés admettent ainsi ne pas être suffisamment (50 %), voire pas du tout (41 %), aptes à réaliser et interpréter correctement des radiographies du tarse chez le cheval. Cette question permet donc de justifier le sujet de la thèse qui porte sur un examen très couramment utilisé par les vétérinaires traitant des chevaux et qui reste globalement peu maîtrisé par les étudiants.

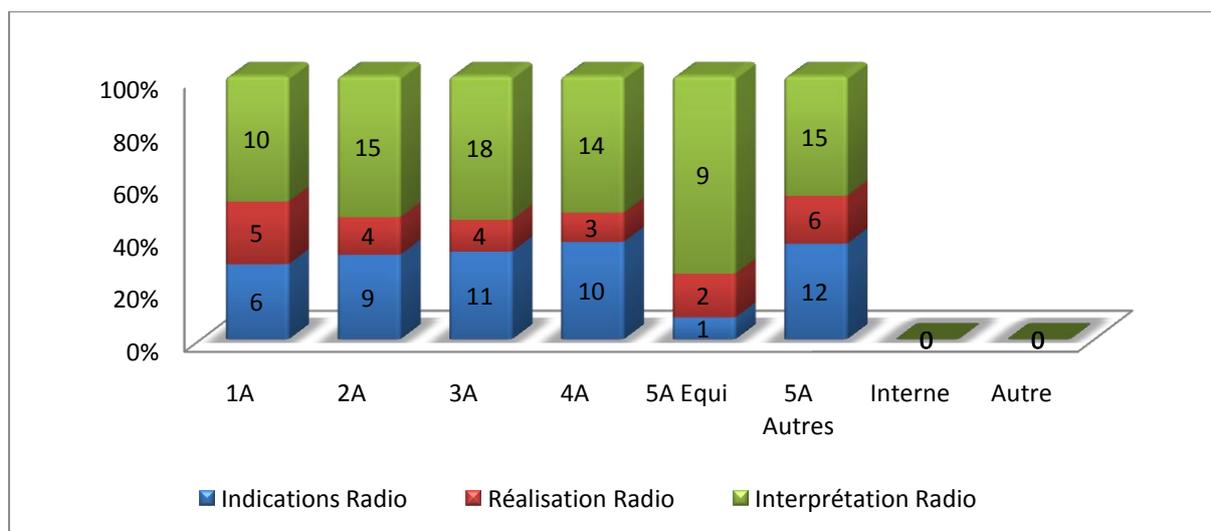
- **Question 4 : « Quelle(s) étape(s) vous semble(nt) poser le plus de difficultés : indications de la radiographie et choix des incidences et/ou réalisation des radiographies et/ou interprétation des radiographies ? »**

Figure 6 : Graphique en secteurs représentant les réponses obtenues à la question 4



Cette question avait comme objectif d'identifier les étapes de la radiographie du jarret posant plus ou moins de problèmes aux étudiants afin de réaliser un support qui tienne compte des **besoins réels des utilisateurs** (99 étudiants ont répondu). On remarque que la **réalisation des radiographies** est l'étape qui semble la moins critique pour la plupart des personnes sondées (15 % des réponses). La partie concernant les **indications et le choix des incidences** semble problématique pour un plus grand nombre de personnes (32 % des réponses). L'étape la plus délicate pour la majorité des étudiants (53 % des réponses) reste l'**interprétation des radiographies**. Les trois parties devront donc être traitées en prenant soin d'apporter une attention particulière à celle portant sur l'interprétation.

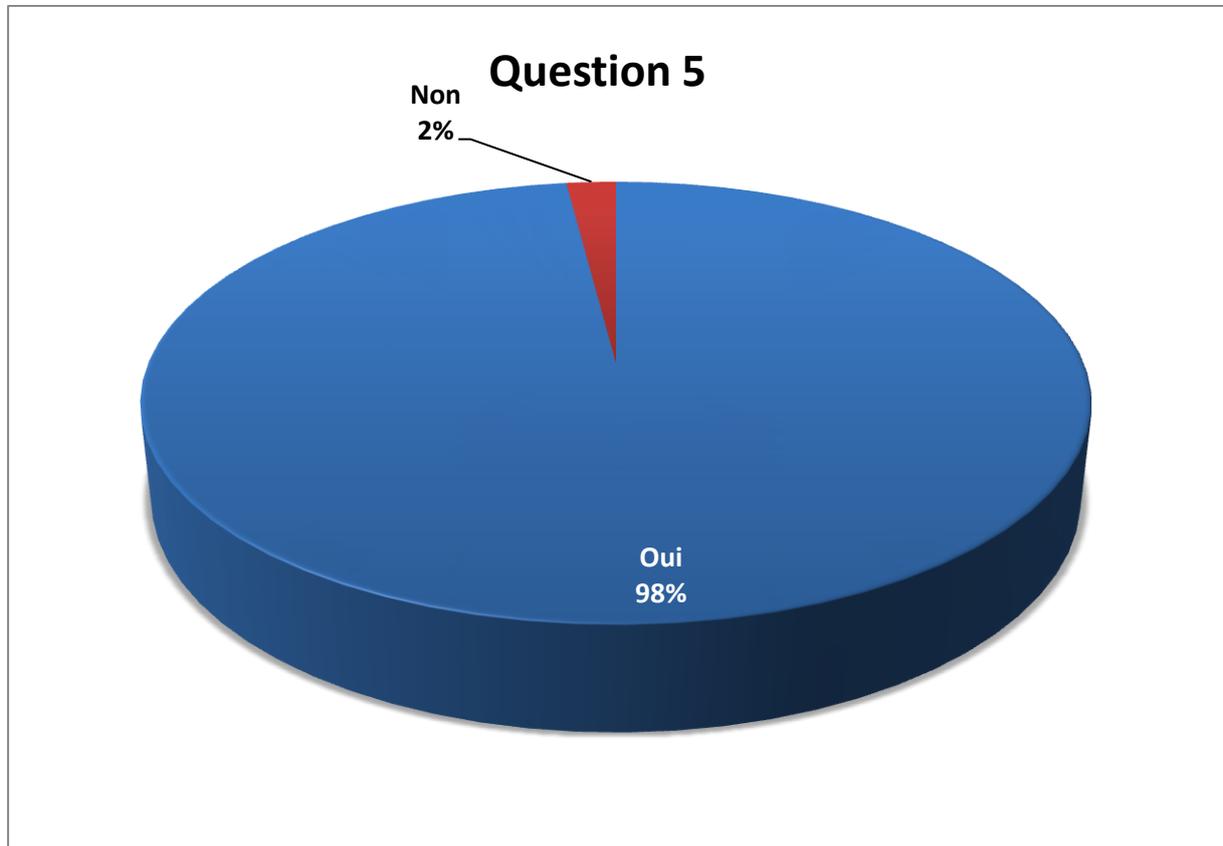
Figure 7 : Histogramme représentant les réponses obtenues à la question 4 en fonction de celles obtenues à la question 1



Ce graphique permet de visualiser les réponses à la question 4 en fonction de celles de la question 1. On peut lire en ordonnée le pourcentage des étapes posant le plus de difficultés et au sein des barres, le nombre de personnes en valeur absolue, pour lesquelles ces étapes posent problème. A noter, que plusieurs réponses étaient possibles et que pour certains étudiants toutes les étapes posaient problème. Ce graphique permet de voir si les **étapes problématiques varient ou non en fonction de l'année d'étude du répondant**. On peut ainsi remarquer que pour l'ensemble des promotions (dans des proportions par ailleurs tout à fait homogènes), à l'exception de la filière équine pure ou mixte, c'est l'**interprétation des radiographies** qui pose le plus de problèmes (environ 45 à 55 % des étudiants selon les années), puis ce sont les **indications des radiographies** (environ 29 à 37 % des étudiants selon les années), suivies de la **réalisation des radiographies** (environ 11 à 24 % des étudiants selon les années). Les étudiants de cinquième année en filière équine ont fourni des réponses un peu différentes puisque, bien que l'étape posant le plus de difficultés est également l'interprétation des radiographies, elle l'est très majoritairement (75 % environ) alors que la réalisation des radiographies vient en seconde position loin derrière (17 % environ), suivie des indications (8 % environ).

- **Question 5 : « Un site intranet ou internet sur la radiographie du tarse chez le cheval vous paraît-il être un moyen utile pour perfectionner la maîtrise de la radiographie du tarse chez le cheval ? »**

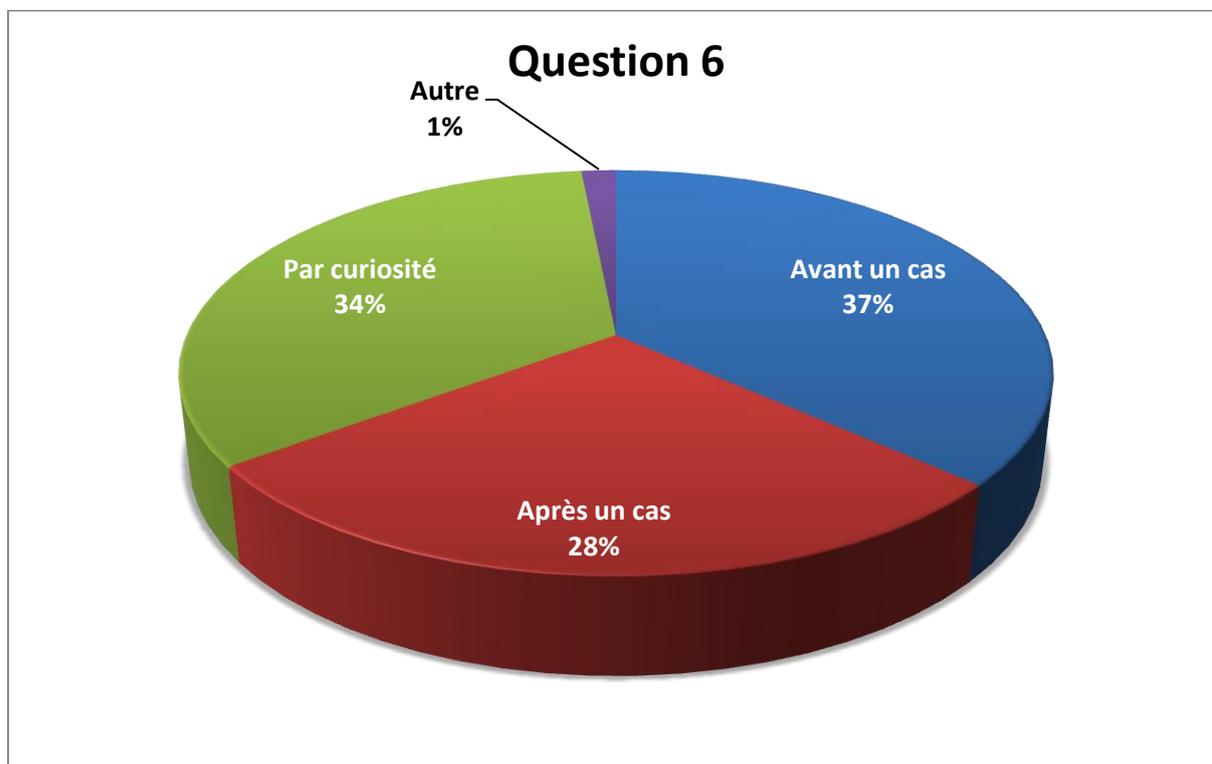
Figure 8 : Graphique en secteurs représentant les réponses obtenues à la question 5



Cette question avait pour but de savoir si la mise en place d'un tel support pédagogique constitue **selon les étudiants un outil *a priori* profitable pour eux** (100 étudiants ont répondu). **98 % des personnes sondées pensent qu'un site peut être utile** pour leur apprentissage et leur perfectionnement, ce qui conforte grandement l'intérêt qu'ils ont pour ce projet et laisse penser qu'ils seront susceptibles de consulter le site.

- **Question 6 : « Dans quelle(s) circonstance(s) pensez-vous avoir à consulter ce site : en préparation avant un cas et/ou après un cas et/ou par curiosité pour améliorer vos connaissances sur le sujet et/ou autre ? »**

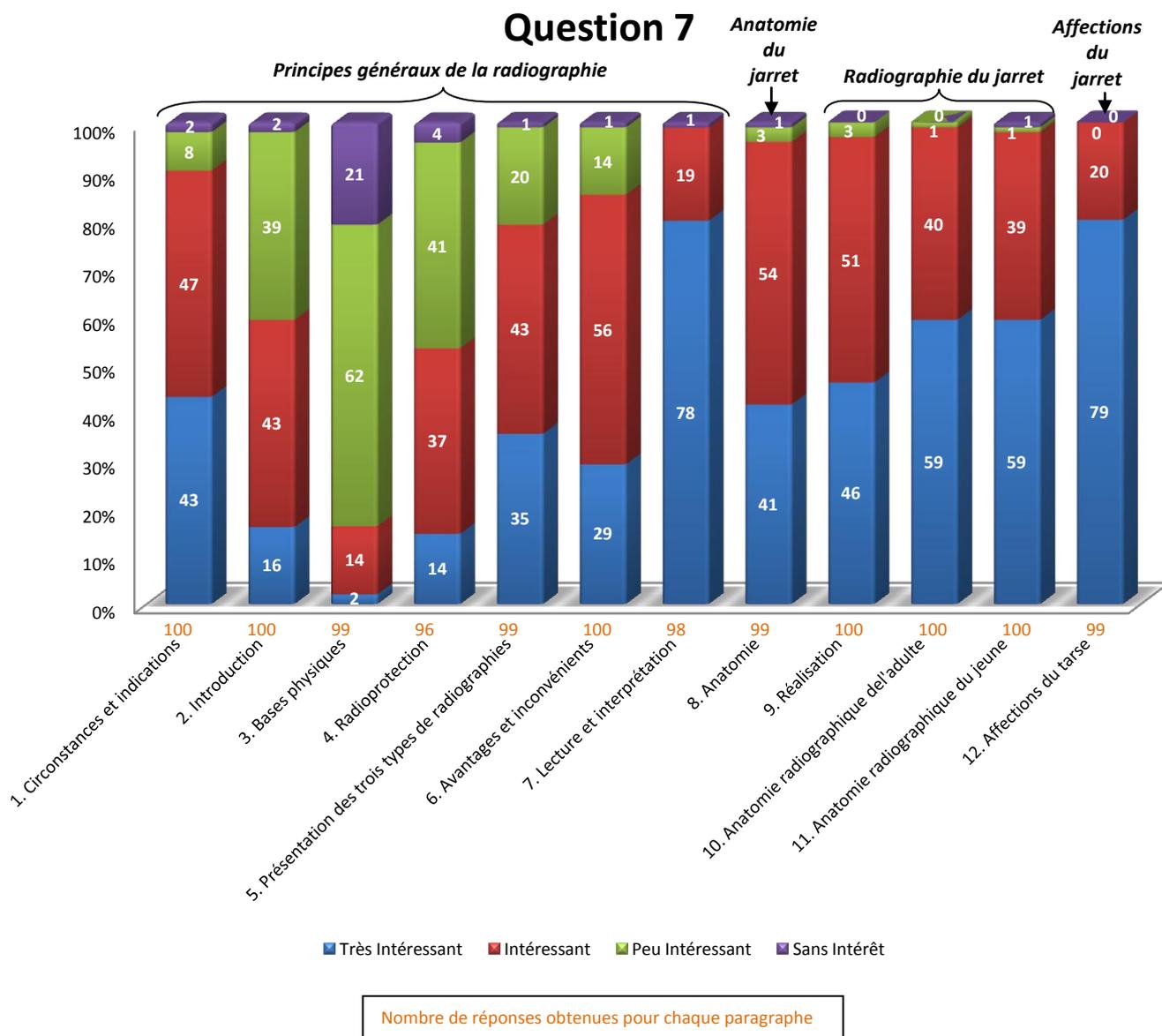
Figure 9 : Graphique en secteurs représentant les réponses obtenues à la question 6



Cette question avait pour but de connaître les **circonstances dans lesquelles les étudiants pensent être amenés à utiliser le site** (100 étudiants ont répondu). On voit que la répartition, en pourcentage, des réponses est homogène et que le **site est donc susceptible d'être consulté à de nombreuses occasions** et en particulier pour les trois proposées dans le questionnaire à savoir **avant et après un cas ou par curiosité**. Deux personnes ont rajouté « pendant un cas » et une « face à une radiographie que j'aurais éventuellement du mal à interpréter en clientèle ».

- **Question 7 : « Intérêt des personnes interrogées pour les différentes parties et paragraphes de la thèse »**

Figure 10 : Histogramme représentant les réponses obtenues à la question 7



Cette question avait comme objectif de **cibler précisément les attentes des étudiants et de savoir quelles parties les intéressent le plus** afin de les développer plus en détail et de leur accorder une plus grande importance dans le support informatique (96 à 100 étudiants ont répondu selon les paragraphes, les détails sont indiqués sur le graphique). Si on considère comme **favorables** les réponses « très intéressant (TI) » et « intéressant (I) » et comme **défavorables** les qualificatifs « peu intéressant (PI) » et « sans intérêt (SI) » on remarque que **la grande majorité (9 sur 12) des paragraphes semble présenter un intérêt certain** pour les personnes sondées. Parmi la partie « Principes généraux de la radiographie » deux parties apparaissent comme étant globalement **intéressantes à peu intéressantes** (Introduction et Radioprotection) et une comme **plus inintéressante qu'intéressante** et qui correspond à l'étude des bases physiques.

Si on étudie les parties une par une :

- **Principes généraux de la radiographie :**

* Les parties largement plébiscitées sont celles concernant l'**interprétation** (78 TI et 19 I => 97 favorables sur 100 réponses), et les **circonstances de réalisation et indications** (43 TI et 47 I => 90 favorables sur 99 réponses).

- Les parties globalement intéressantes à très intéressantes concernent les trois **techniques radiographiques** actuellement utilisées en pratique, avec leur **présentation** (35 TI et 43 I => 78 favorables sur 99 réponses), et la comparaison de leurs **avantages et inconvénients** respectifs (29 TI et 56 I => 85 favorables sur 100 réponses), les parties qui restent intéressantes, mais pour lesquelles les avis sont un peu plus mitigés portent sur l'**introduction des différentes techniques** (16 TS et 43 S => 59 favorables sur 100 réponses) et la **radioprotection** (14 TI et 37 I => 51 favorables sur 96 réponses).

- La partie qui n'intéresse pas ou peu les étudiants est celle traitant des **bases physiques** de la radiographie (62 PI et 21 SI => 83 défavorables sur 96 réponses).

- **Anatomie du jarret :**

Cette partie est pour la grande majorité **intéressante à très intéressante** (41 TI et 54 I => 95 favorables sur 99 réponses).

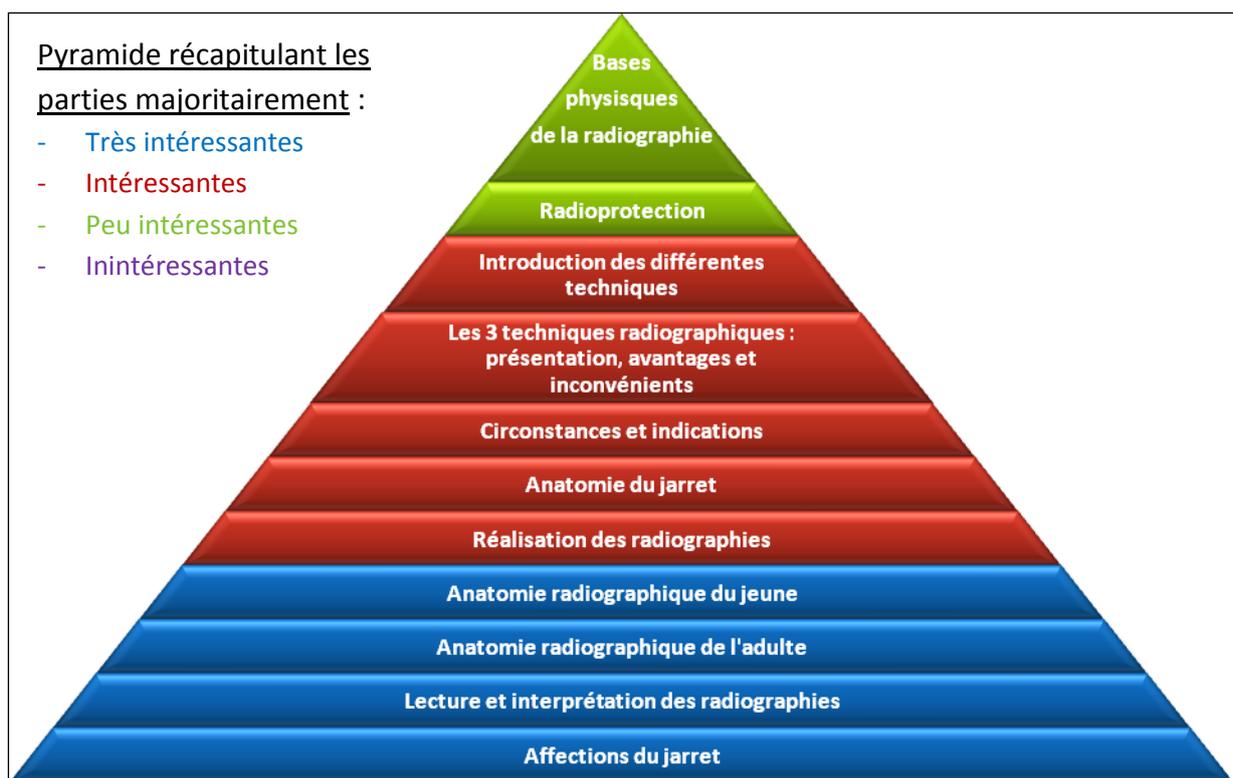
- **Radiographie du jarret :**

Les trois paragraphes de cette partie à savoir la réalisation des radiographies (46 TI et 51 I => 97 favorables sur 100 réponses), l'anatomie radiographique de l'adulte (59 TI et 40 I => 99 favorables sur 100 réponses) et celle du jeune (59 TI et 39 I => 98 favorables sur 100 réponses), sont très **largement plébiscités** par la grande majorité des étudiants.

- **Affections du jarret :**

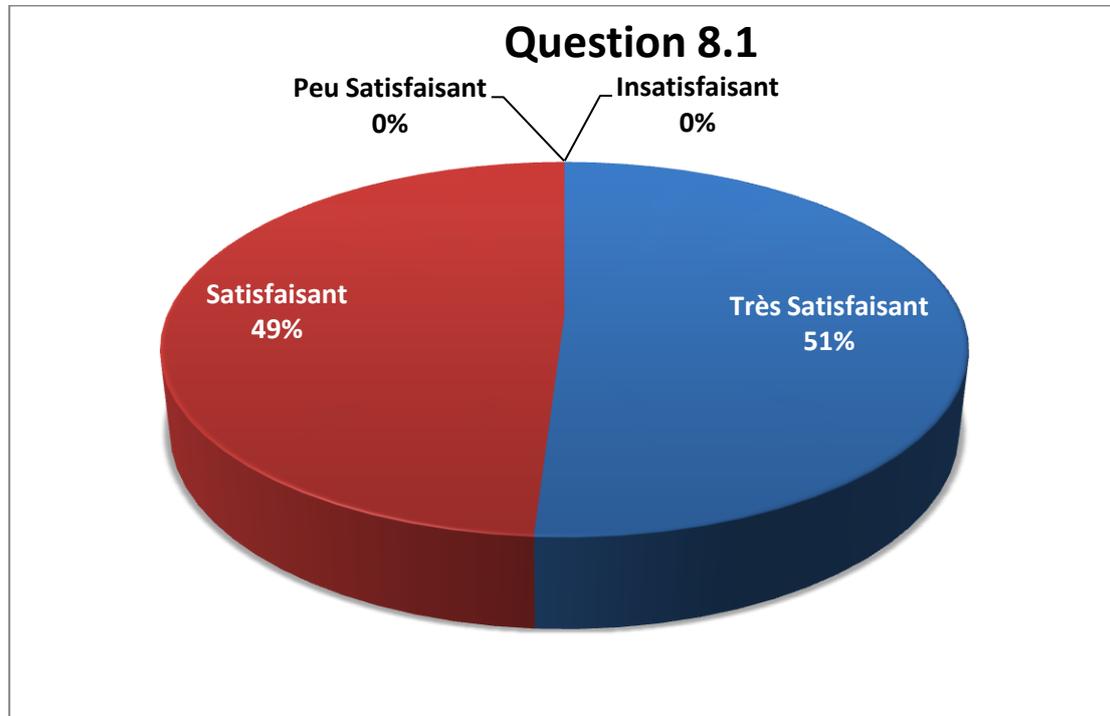
Cette partie est selon les 99 étudiants ayant répondu à cette question la **plus intéressante**, tous ont été **favorables** : 79 l'ont considérée comme très intéressante et 20 comme intéressante.

Figure 11 : Pyramide récapitulant l'intérêt que les étudiants portent à chaque partie de la thèse



- **Question 8.1** : « Le modèle prévu pour cette thèse (manuscrit et support pédagogique) vous semble-t-il : très satisfaisant, satisfaisant, peu satisfaisant ou insatisfaisant ? »

Figure 12 : Graphique en secteurs représentant les réponses obtenues à la question 8.1



Cette question avait comme objectif de vérifier si le **contenu et la forme du projet proposé conviennent aux étudiants interrogés** et s'il est donc à même de répondre au mieux à leurs attentes (100 étudiants ont répondu). Les réponses sont encourageantes puisque **100 % des personnes sont favorables** avec 51 % des répondants qui estiment ce modèle comme étant très satisfaisant et 49 % comme étant satisfaisant.

- **Question 8.2 : « Certaines parties doivent-elles selon vous ne pas figurer du tout sur le site et certaines doivent-elles y figurer absolument ? »**

(37 étudiants ont répondu à la première question et 74 étudiants ont répondu à la deuxième question, les autres sont sans opinion).

Figure 13 : Histogramme représentant les réponses obtenues à la question 8.2

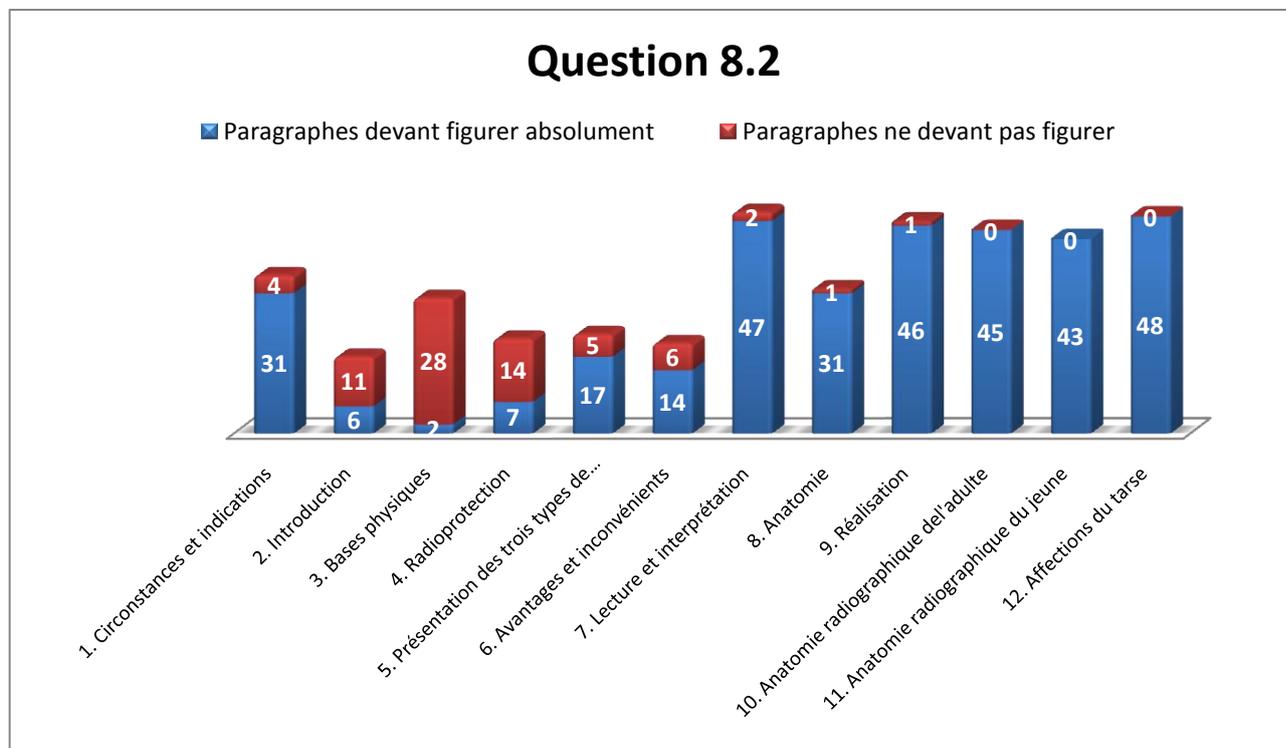


Tableau 1 : Tableau synthétisant les réponses obtenues à la question 8.2

Classement des réponses à la question 8.2	Réponses à la question 8.2 (couleur en fonction de la réponse à la q° 7)	Conclusion
Plus de 43 personnes considèrent que le paragraphe doit figurer et moins de 2 personnes pensent qu'il ne doit pas.	- Affections du jarret - Lecture et interprétation des radiographies - Réalisation des radiographies - Anatomie radiographique de l'adulte - Anatomie radiographique du jeune	Doit absolument figurer sur le support pédagogique
Plus de 31 personnes considèrent que le paragraphe doit figurer et moins de 4 personnes pensent qu'il ne doit pas.	- Anatomie du jarret - Circonstances de réalisation et indications	Doit absolument figurer sur le support pédagogique
Plus de 14 personnes considèrent que le paragraphe doit figurer et moins de 6 personnes pensent qu'il ne doit pas.	Les trois types de radiographie : - Présentation - Avantages et inconvénients	Doit figurer sur le support pédagogique, mais de façon plus limitée
Moins de 7 personnes considèrent que le paragraphe doit figurer et plus de 11 personnes pensent qu'il ne doit pas.	- Introduction - Bases physiques - Radioprotection	Peut ne pas figurer du tout

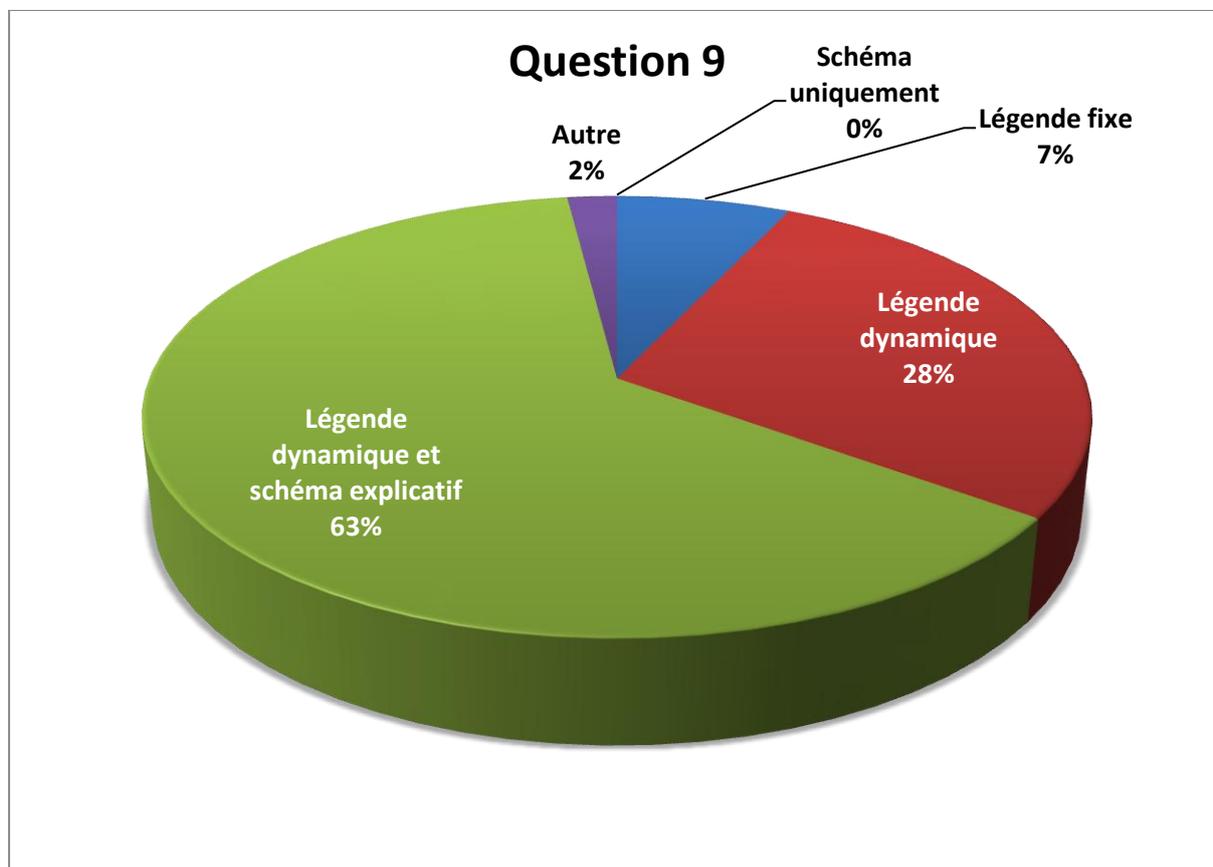
- **Question 8.3 : « Avez-vous des suggestions concernant le contenu et la forme du site ? »**

Tableau 2 : Tableau présentant les réponses obtenues à la question 8.3

Remarques formulées par les étudiants (retranscrites telles quelles)
- Mettre une recherche par mots-clefs , beaucoup de liens hypertextes internes entre les différents articles.
- Que le site reste très pratique . C'est dommage que ce ne soit que le tarse qui soit traité.
- Proposer des illustrations interactives (3D?) pour les rappels anatomiques et éventuellement des photos de dissections en complément des radios elles-mêmes. Trier par cas, avoir si possible plusieurs clichés pour un même cas .
- Des questions-réponses pour s'entraîner.
- Beaucoup d'images commentées .
- Utilisation de cas cliniques de manière pédagogique et démarche diagnostique.
- Présentation claire et synthétique , favoriser l'utilisation de liens dans le texte qui renvoient à l'anatomie (par exemple).
- Un cheminement possible en allant directement chercher ce qui nous intéresse (index) et un cheminement via des questions , des cas pratiques (les clichés sont montrés, il faut répondre à des questions).
- Limiter le texte , sinon on se démotive et on ne cherche pas à aller plus loin.
- Proposez une partie théorique et une partie d'entraînement avec un diaporama de radios sans légende dans un premier temps pour s'exercer à repérer les anomalies et les lésions, avec une correction sur la diapo suivante par exemple.
- Possibilité de quizz avec images à légender ?
- Il serait bien de mettre des cas cliniques sous forme de quizz , avec les réponses en lien , mais pas directement visibles, et avec surtout une réflexion sur les radiographies , avec la radio seule puis la radio avec mise en évidence de ce qu'il y avait à voir, puis comment l'interpréter.
- Mettre de nombreux exemples de radio du tarse avec interprétation en dessous, faire en sorte que cela soit le plus facile à lire possible (pas de paragraphes énormes, nombreuses photos).
<u>Conclusion</u>
* Site clair, synthétique, limiter le texte.
* Navigation simple, avec présence de liens hypertextes ou d'indications facilitant le cheminement au sein du site et la recherche d'informations.
* Iconographie abondante (schémas, radiographies, photographies).
* Partie pour s'entraîner : favoriser l'interactivité des cas cliniques, quizz : questions-réponses, donner à l'utilisateur la possibilité de localiser lui-même les structures ou les lésions avant d'afficher la réponse.

- **Question 9 : « Quel type de légende sur les différentes images radiographiques vous conviendrait le mieux : légende fixe, légende dynamique, aucune légende, mais seulement un schéma explicatif de la radiographie, une légende dynamique + un schéma légendé de la radiographie, Autre ? »**

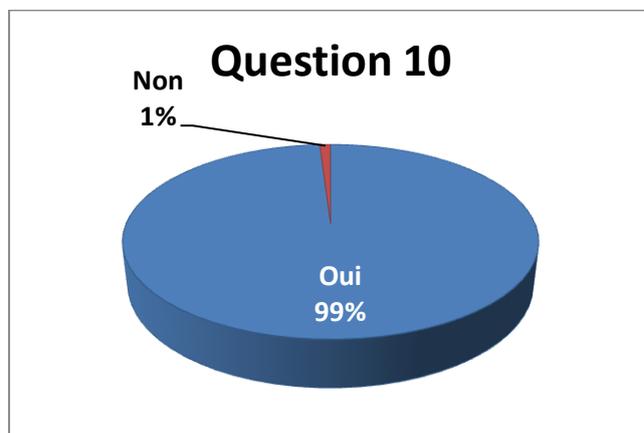
Figure 14 : Graphique en secteur représentant les réponses obtenues à la question 9



L'idée de départ était pour l'étude de l'anatomie radiographique normale, de **proposer pour chaque vue un ou plusieurs schémas puis une légende dynamique d'une radiographie**. Cette question avait donc comme objectif de **savoir si cette option été la plus adaptée** à la plupart des étudiants et devait être conservée ou si d'autres modèles leur convenaient mieux (100 étudiants ont répondu). On peut voir grâce au graphique que la **légende dynamique associée au schéma** est la formule **la plus plébiscitée** puisqu'elle remporte **63 %** des suffrages, suivie de la **légende dynamique** qui représente **28 %** des voix. La présence d'une **légende interactive** est donc un point fort qui sera à conserver dans le support puisque **91 %** des étudiants s'accordent sur le fait qu'elle doit être présente. Un étudiant a suggéré la présence d'un schéma se superposant à la radiographie.

- **Question 10** : « **Une partie avec des cas cliniques réels sur des affections fréquentes du tarse semble-t-elle être un moyen de formation ludique, efficace et intéressant pour aborder l'aspect pratique de la radiographie du tarse ?** »

Figure 15 : Graphique en secteurs représentant les réponses obtenues à la question 10



Cette question avait pour but de connaître l'intérêt des cas cliniques pour les étudiants et donc d'évaluer la pertinence de la présence de cette partie au sein du support pédagogique (100 étudiants ont répondu). La réponse obtenue est sans équivoque puisque **seulement une personne sur 100 n'est pas convaincue de l'intérêt de mettre en place un tel outil**. Cette question conforte donc l'importance de réaliser une partie comportant des cas cliniques puisqu'il s'agit *a priori* d'un **moyen de formation qui peut être profitable pour les étudiants**.

- **Question 10** : « **Espace libre (commentaires concernant les questions ou toute suggestion en rapport avec la réalisation du support pédagogique)** »

Tableau 3 : Tableau présentant les réponses obtenues à la question 10

Remarques formulées par les étudiants (retranscrites telles quelles)
- Faire en sorte que le support soit disponible au plus grand nombre et facilement , de sorte que dans 10 ans devant notre animal, on puisse aller le consulter en cas de doute depuis l'ordinateur de la clinique par exemple.
- Salut Alicia, à mon humble avis, comme tout support pédagogique, il ne remplacera jamais l'apprentissage à côté d'un vétérinaire expérimenté et compétent. C'est un point que nous sommes nombreux à défendre lors des réunions avec l'administration lorsqu'on nous parle de "e-learning" notamment. Cependant, un tel site peut être un premier outil vers la maîtrise des radiographies du tarse chez le cheval pour celui ou celle qui s'y intéresse ainsi une telle réalisation peut être d'un intérêt certain .
- Excellente idée !! Ça peut être très utile , surtout pour les futurs praticiens en équine.
- En espérant que cela sorte avant 2011 , bon courage !
- Bonne chance !
- Bon courage !!!
- J'aime bien par exemple le site de Barthez et le CD de Bayer sur l'imagerie de l'appareil digestif des carnivores domestiques. Je pourrais être intéressée par un support de ce genre pour le tarse du cheval .
- Je me demandais si ton support sera destiné à des vétos praticiens ou à de l' universitaire , est-ce que tu vas expliquer comment faire vraiment en clientèle ?
<u>Conclusion</u>
* Le support doit être disponible facilement et au plus grand nombre (étudiants et praticiens).
* C'est un outil utile, mais qui ne peut remplacer l'expérience pratique.
* D'après les étudiants malgré ses limites ce travail paraît être d'un intérêt certain à condition qu'il apporte un réel « plus » pour l'utilisation pratique de la radiographie.

1.3.4 Conclusion et limites du projet

L'ensemble des promotions d'étudiants a répondu dans des proportions assez homogènes et **deux tiers** des répondants affirment être **intéressés par la médecine équine**. Aucune des personnes interrogées ne pense maîtriser totalement la radiographie du jarret, et seul un faible pourcentage (9 %) considère posséder les connaissances suffisantes alors que la **majorité des étudiants** admet être **insuffisamment** (50 %), voire **pas du tout** (41 %), **apte à réaliser et interpréter correctement des radiographies du tarse** chez le cheval. La réalisation des radiographies est l'étape qui semble la moins critique pour la plupart des personnes sondées (15 %), la partie concernant les indications et le choix des incidences semble poser problème à un plus grand nombre de personnes (32 %). L'étape la plus délicate pour la majorité des étudiants (53 %) reste **l'interprétation des radiographies**. **98 %** des personnes sondées pensent qu'un **site pédagogique peut être utile** pour leur apprentissage et leur perfectionnement et qu'ils seront amenés à le consulter **avant, pendant et après un cas ou par curiosité**. Le **modèle proposé** pour ce projet **semble convenir à l'ensemble des répondants** puisque 100 % d'entre eux y sont favorables avec **51 %** des répondants qui estiment ce modèle comme étant **très satisfaisant** et **49 %** comme étant **satisfaisant**.

Grâce aux réponses des étudiants on peut désormais **classer les paragraphes** du plus indispensable (intérêt et présence sur le support) au moins essentiel : Affections du jarret, Lecture et interprétation des radiographies, Réalisation des radiographies, Anatomie radiographique de l'adulte, Anatomie radiographique du jeune, Anatomie du jarret, Circonstances de réalisation et indication, Les trois types de radiographie : Présentation, Avantages et inconvénients, Introduction, Bases physiques, Radioprotection.

D'après les remarques faites dans les réponses aux questions libres, **le site doit être clair et synthétique**. **Le texte doit être limité** et **la navigation et le cheminement simples**. Le support doit par ailleurs être **disponible facilement** et au **plus grand nombre** (étudiants et praticiens). Une **iconographie abondante** (schémas, radiographies, photographies) et la présence de **parties interactives** permettant de **s'entraîner** sont particulièrement appréciées, **seule une personne sur 100 n'est pas convaincue de l'utilité des cas cliniques**.

La réalisation de ce sondage a donc permis de confirmer la **pertinence** de ce projet en mettant en évidence **l'intérêt** que lui portent les étudiants qui ont répondu au sondage et qui laisse présager que le site pourra constituer un **outil utile** dans leur **apprentissage** et l'amélioration de leurs connaissances. Cette enquête a également permis de conforter le fait que le **modèle envisagé** était **adapté** au plus grand nombre et de mettre en exergue les **parties** sur lesquelles il faudra le plus s'attarder et celles qui devront être présentées plus brièvement. Les remarques à propos du site permettent de bien garder en tête qu'un **tel support ne peut être profitable** que s'il est **bien conçu, aisément accessible, interactif et ludique** et que s'il semble à même d'apporter un « plus » à la formation il ne pourra **jamais remplacer l'expérience pratique acquise** sur le terrain. La formation en clinique équine ne saurait en effet se limiter à un apprentissage purement théorique et la maîtrise des gestes techniques est également impérative. Ce travail semble donc présenter un **intérêt pédagogique certain**, mais aussi des **limites** liées à l'importante **formation pratique nécessaire** à un exercice vétérinaire de qualité et au fait que les **contraintes techniques et de temps** présentes lors de la réalisation du projet peuvent limiter la réalisation ou l'optimisation de certains outils.

2 PRINCIPES GENERAUX DE LA RADIOGRAPHIE

(2) (3) (4) (8) (15) (31) (61) (62) (70) (79) (84) (85) (90) (105) (111) (119)

2.1 Circonstances de réalisation et indications

- La **radiographie**, et en particulier celle de l'appareil locomoteur, est l'un des examens complémentaires le plus souvent utilisé par les vétérinaires équins

Le cheval est un animal susceptible de présenter des anomalies de l'appareil locomoteur innées ou acquises s'accompagnant ou non de signes cliniques et ce de manière assez courante. Cela s'explique par différentes raisons, tout d'abord certaines affections sont **congénitales** et plus ou moins héréditaires, d'autres sont quant à elles liées à l'aspect **sportif** de l'utilisation qui est faite du cheval. Il est effectivement indéniable que le caractère soutenu du travail chez les chevaux de haut niveau, quelle que soit la discipline, le risque de traumatismes (en particulier sur les épreuves de cross ou les courses hippiques), ou parfois le manque de cohérence dans le travail d'un cheval peuvent mener à l'apparition de lésions de l'appareil musculo-squelettique. Le **mode de vie** du cheval et son **habitus** l'exposent aussi aux lésions traumatiques, car, en tant que proie, il s'agit d'un animal qui peut être facilement effrayé et dont les réactions peuvent s'avérer imprévisibles, exagérées et parfois même violentes. Les chevaux vivant en groupe peuvent quant à eux se blesser lors de bagarres (morsures, coups de pied) et la vie en box peut conduire à l'acquisition de tics, de manies délétères (coups de pied dans les portes ou dans les murs) ou de lésions de décubitus par manque de litière. La gestion moderne des animaux (alimentation, confinement, gestion des sorties, critères de sélection en élevage...) constitue également un facteur prédisposant à certaines affections. Le **poids** et la **vitesse** du cheval (au travail ou se défoulant dans un pré) le rendent également plus à même que les petits animaux de compagnie à se blesser lors des chutes.

Les troubles musculo-squelettiques du cheval ont une importance remarquable en pathologie équine, d'une part du fait de leur relative **fréquence**, de l'**enjeu sportif** et **économique** que peuvent avoir les conséquences de ces lésions et d'autre part de la **difficulté qu'il existe parfois**

à **traiter** certaines d'entre elles (fractures, entorses graves) compte tenu du poids, de la taille et du caractère des chevaux.

- En rapport avec tous ces éléments, il est possible de distinguer différentes circonstances menant à effectuer un examen radiographique

* La **visite d'achat**.

* **L'agrément à la monte**.

* La présence d'un **problème locomoteur** (boiterie, diminution des performances...).

* L'existence d'une **plaie** assez profonde en regard d'un os ou d'une articulation.

* La présence d'une **déviat**ion et/ou **déform**ation de l'appareil musculo-squelettique.

* La réalisation d'un **geste technique**.

* La **recherche** fondamentale et appliquée.

- Indications et intérêts de la radiographie

* Dépister les anomalies afin d'éviter la **reproduction** du sujet (dans le cas d'une affection héréditaire), de **traiter** l'affection en présence, d'orienter la **carrière** du cheval et d'évaluer sa **valeur économique**. Cela est en particulier permis par les bilans radiographiques réalisés lors des visites d'achat et des examens en vue d'agrément pour la monte.

* Diagnostiquer une affection suspectée lors de l'examen clinique : mettre en évidence et caractériser la ou les lésions et ainsi permettre (en accord avec les connaissances disponibles sur l'affection en question et le contexte clinique) d'établir le diagnostic, de décider de la conduite à tenir et d'évaluer le **pronostic**.

La radiographie peut être **simple** ou plus rarement accompagnée de l'utilisation d'un **produit de contraste** permettant de souligner certaines structures qui deviennent alors visibles (myélographie, fistulographie, arthrographie...).

* Evaluer l'efficacité d'un traitement médical ou chirurgical et suivre l'évolution d'une affection.

* L'imagerie se révèle également utile lors de la réalisation de certains gestes techniques. L'emploi de l'échographie présente ainsi un intérêt certain lors des ponctions de LCR, myélographies, infiltrations articulaires profondes, biopsies... La radiographie peut aussi être utilisée pour permettre de vérifier la position d'une aiguille lors d'une infiltration (bourse, articulation...) ou d'un instrument lors d'une intervention chirurgicale.

* La recherche peut aussi avoir recours à la radiographie dans l'étude de **certaines affections locomotrices** : enquêtes épidémiologiques, caractérisation de l'aspect radiographique de telle ou telle lésion, effet de différents traitements et/ou de contraintes (type de travail ou de substance) favorisant ou améliorant une affection donnée... ou encore dans l'étude de **l'anatomie radiographique normale** et de ses variations physiologiques chez le jeune et l'adulte.

Les circonstances et les indications de l'imagerie de l'appareil locomoteur sont donc nombreuses et sont susceptibles d'aider de façon intéressante le clinicien dans sa démarche diagnostique et thérapeutique ainsi que l'éleveur dans la sélection des reproducteurs et le cavalier dans la gestion du travail de sa monture.

La radiographie permet surtout l'exploration des tissus « durs » : **os, insertions ligamentaires et tendineuses** et l'évaluation des articulations. L'échographie lui est complémentaire en permettant une meilleure visualisation des tissus « mous » : ligaments, tendons, bourses synoviales, capsule articulaire...

Avant d'aborder les particularités de l'examen radiographique du jarret, nous allons voir dans ce chapitre quels sont les **principes généraux de la radiographie**. En effet quelle que soit la région anatomique radiographiée, certaines bases sont primordiales à connaître avant de réaliser un examen radiographique. Afin d'obtenir des clichés de qualité diagnostique satisfaisante et ce dans de bonnes conditions, il est important de comprendre **comment se forme l'image**, de savoir utiliser correctement le **matériel d'imagerie** et de savoir ajuster les différents **paramètres** réglables. Il est tout aussi essentiel de connaître et respecter les règles de **radioprotection**, mais également une fois le cliché obtenu d'être en mesure d'en évaluer sa **qualité** et d'en donner une **interprétation** correcte. Ce chapitre a donc pour but d'exposer ces différents aspects et de présenter les **trois grandes techniques de radiographie médicale** les plus souvent employées à l'heure actuelle en pratique équine.

2.2 Introduction aux différentes techniques

(79)

On distingue à l'heure actuelle trois grands types de technologies utilisables pour la radiographie vétérinaire en pratique courante (de la plus ancienne à la plus récente) :

- * La **radiographie conventionnelle analogique ou FSR** (Film Screen Radiography).
- * La **radiographie numérique utilisant les ERLM** (Ecrans RadioLuminescents à Mémoire) ou **radiographie informatisée** ou **CR** (Computed Radiography).
- * La **radiographie numérique digitale** ou **DR** (Digital Radiography).

Pendant plus de 100 ans la radiographie conventionnelle utilisant le **système film-écran** a été la base de l'imagerie vétérinaire et les praticiens sont largement familiarisés avec cette technique basée sur l'utilisation d'un couple film-écran (traitement chimique des films, lecture sur négatoscope). Au début des années 70, l'apparition de la xérographie (technique finalement abandonnée compte tenu d'inconvénients non négligeables : taille importante, coût élevé, maintenance difficile) utilisant des procédés de chimie sèche a ouvert la voie à la découverte de nouvelles techniques d'imagerie. C'est ainsi qu'est apparue dans les années 1980 la première technologie d'imagerie numérique, la **CR** qui utilise des cassettes à **écran radioluminescent à mémoire**. Cette méthode nécessite, après l'exposition, une étape de développement de la cassette dans un **lecteur** dédié et permet l'**affichage de l'image sur un écran** d'ordinateur. Actuellement la **DR**, qui reste plus coûteuse, fait son apparition dans les cabinets vétérinaires (disponible depuis 2002 en imagerie équine). Elle utilise un **détecteur spécial** qui transforme directement l'énergie des rayons X en signal digital et permet l'**affichage direct de l'image radiographique sur l'écran** du moniteur (aucune étape de lecture par un autre appareil n'est nécessaire) (79).

2.3 Bases physiques de la radiographie, une notion commune aux trois techniques : l'utilisation des rayons X

(8) (70) (111)

2.3.1 Rayons X

(8) (111)

2.3.1.1 Définition

- * Ce sont des **rayonnements électromagnétiques** qui traversent les corps opaques à la lumière. Ils n'ont pas de charge, pas de masse, sont invisibles et ne peuvent pas être ressentis.
- * Ils se déplacent en **ligne droite** dans le vide ou la matière avec une **vitesse constante** pour un milieu donné.
- * Les interactions avec la matière traversée peuvent conduire à une **absorption**, une **diffusion** ou encore une **réflexion** de l'onde initiale.
- * Lors de leur absorption ou de leur déviation, les rayons X peuvent éjecter un électron et entraîner la formation d'ions positifs au sein de la matière traversée, c'est ce que l'on appelle le processus d'**ionisation** (néfaste pour les cellules => radioprotection).
- * Le rayon X est caractérisé par sa **longueur d'onde** (λ) (reliée à la **fréquence** (ν) et à la vitesse (c) : $c = \lambda \nu$) et son **amplitude**.
- * La **quantité d'énergie** (E) transportée par les rayons est égale au produit de la fréquence (ν) et de la constante de Planck ($h = 6,62 \times 10^{-34}$) : $E = h\nu$, elle est exprimée en électronvolts : eV (souvent en Kilo- ou Méga-électronvolts : keV ou MeV). Un électronvolt représente l'énergie d'un électron accéléré par une différence de potentiel de 1 volt.

⇒ **L'image radiographique résulte de la différence d'atténuation des rayons X dans le milieu traversé.**

2.3.1.2 Formation

- * Un **courant électrique** est utilisé pour chauffer un **filament**, autour duquel se forme alors un **nuage d'électrons** dont la taille augmente avec la chaleur du filament. Ce nuage est ensuite mis en mouvement grâce à l'application d'une **différence de voltage** (plusieurs dizaines de kV) entre la source (cathode) et la cible (anode) des électrons.
- * **L'émission de rayons X** résulte de l'impact sur une cible matérielle de ce **flux d'électrons** lancés à grande vitesse. Deux mécanismes différents existent :
 - **L'émission générale** (mode principal) : elle se produit lorsque **l'électron passe à côté du noyau**. Par sa charge ce dernier dévie et ralentit l'électron. La perte d'énergie qui en résulte se traduit par l'émission d'un ou plusieurs **rayons X**.

Ce faisceau est dit polychromatique, car les rayons X émis possèdent une énergie variable (l'énergie du rayon varie selon la vitesse de l'électron, la charge du noyau et la distance noyau-électron).

- **L'émission caractéristique** (mode mineur) : elle se produit lorsque l'**électron** émis vient **éjecter un électron de la couche profonde** (souvent K), qui est alors remplacé par un électron d'une couche plus superficielle (L ou M). La différence d'énergie de liaison entre les deux couches permet l'émission d'un **rayon X**.

* La **quantité de rayons X** produits dans un tube radiogène dépend de :

- La **quantité** d'électrons lancés sur la cible (liée à l'intensité du courant (mA) et du temps d'exposition (ms)).

- L'**énergie cinétique** des électrons (liée à la différence de potentiel appliquée entre la cathode et l'anode (kV)).

2.3.2 Appareil à rayons X

(8) (111)

L'appareil de radiologie est constitué de 3 éléments principaux qui sont le tube radiogène, le générateur haute tension et la console de contrôle.

2.3.2.1 *Tube radiogène*

2.3.2.1.1 *Cathode*

Elle est constituée par un filament spiralé composé le plus souvent de **tungstène** et de traces de **thorium**. Elle **émet les électrons** lorsqu'elle est amenée à haute température grâce à un courant électrique (thermo-émission), ces électrons sont ensuite dirigés vers l'anode grâce à une pièce creuse entourant le filament (pièce de concentration). La cathode est la **partie négative** du tube.

2.3.2.1.2 *Anode*

Elle constitue la **cible des électrons** et on appelle « **foyer** » la surface bombardée par les électrons. Elle est généralement faite de **tungstène** et sa surface est **oblique** par rapport au faisceau d'électrons afin d'optimiser la quantité de rayons X sortant de l'appareil. L'anode est la **partie positive** du tube.

2.3.2.1.3 *Quelques principes physiques*

* Les rayons X sont : - **émis par l'anode** dans toutes les directions,
- **pour certains**, arrêtés par l'anode elle-même et par les enveloppes du tube radiogène,
- principalement concentrés **perpendiculairement** à la surface de l'anode (anode réfléchissante).

* Plus la **taille du foyer** est **petite** plus la **finesse** (détail) de l'image est **grande**.

* Le **rendement** est très faible (environ 1 %) et une grande quantité de **chaleur** est produite (99 %).

* La **quantité de rayons X** produits dépend de la **taille du foyer**, du **flux d'électrons** (mesuré en mA) et de **l'énergie des électrons** (mesurée en kV). Plus cette quantité est importante plus le risque de surchauffe augmente et peut justifier l'utilisation d'une **anode tournante** qui limite ce phénomène en répartissant la chaleur sur une plus grande surface. Ce type d'anode permet ainsi d'augmenter la quantité des rayons X émis (puissance augmentée) et de diminuer la taille du foyer aux faibles puissances (finesse améliorée). Elle a pour inconvénients sa plus grande **fragilité** et son **poids** qui rendent son utilisation plus délicate avec des appareils portables.

2.3.2.1.4 *Enveloppes de protection*

Elles sont interrompues au niveau de la **fenêtre de sortie** qui permet de laisser s'échapper les rayons X. Au niveau de cette dernière, un **filtre d'aluminium** empêche les rayons X les moins énergétiques ou rayons « mous » (qui ne participeront pas à la formation de l'image) de passer (c'est ce que l'on appelle le durcissement du faisceau). Un **diaphragme** permet ensuite d'ajuster la taille du faisceau de rayons X qui est matérialisé par un **faisceau lumineux**.

2.3.2.2 *Générateur haute tension*

Le **courant** appliqué au niveau de la cathode permet la **mise en mouvement des électrons**. Le courant électrique disponible (tension exprimée en Volts : V) est **alternatif** et si celui-ci n'est pas redressé en courant **continu** on obtient pour un voltage donné (X Volts) une différence de potentiel entre la cathode et l'anode qui varie alternativement entre $-X$ V et $+X$ V. Dans ces conditions seul un faible nombre des électrons émis et donc par la suite des rayons X produits ont une énergie correspondant à celle attendue au voltage appliqué. Par ailleurs avec un courant alternatif la cathode serait alternativement positive et négative alors que l'anode resterait positive. Ainsi lorsque la cathode serait positive tous les électrons libres présents à la surface de l'anode seraient redirigés vers la cathode et pourraient créer des dommages sur cette dernière. **En radiologie le courant électrique alternatif doit donc être converti en courant continu.**

Le générateur haute tension permet ainsi de produire **entre la cathode et l'anode un courant constant**, de même direction et de tension réglable entre 50 et 120 kV. Un **redresseur** permet d'assurer une circulation du courant dans un **sens unique** et un **transformateur** assure le passage à un courant de **haute tension** (passage de 220 à 380 V à 50 à 120 kV).

2.3.2.3 *Console de contrôle*

C'est grâce à elle que l'on peut régler les paramètres d'exposition : la **tension** (kV), l'**intensité** (mA) et le **temps de pose** (ms). Elle contient le **déclencheur** qui permet de prendre le cliché.

2.3.3 Formation de l'image

(8) (111)

2.3.3.1 *Atténuation des rayons X*

Elle dépend de l'**épaisseur** et de la **composition** des structures à radiographier, mais aussi de l'**énergie des rayons X** (plus elle est grande et moins les rayons X sont atténués, ils sont alors dit « plus pénétrants »). A noter dès à présent que le **noircissement d'une image** augmente avec la **quantité de rayons X atteignant le film**.

Trois scénarios sont possibles :

- Les rayons **traversent** sans être affectés => zones les plus **noires** de l'image.
- Les rayons sont **arrêtés** => présence de différents **niveaux de gris** sur le cliché.
- Les rayons sont **déviés** => formation d'un **voile uniforme** sur l'image.

L'absorption des rayons X par une structure augmente lorsque l'épaisseur, la masse volumique et le numéro atomique de la zone traversée augmentent et que l'énergie des rayons X diminue.

Ces différences d'atténuation permettent de distinguer cinq types d'opacité à la radiographie : métal, os, tissus mous/eau, graisse et air.

2.3.3.2 *Interactions entre les rayons X et la matière*

2.3.3.2.1 *Effet photoélectrique*

Lorsqu'un **rayon X éjecte un électron d'une couche profonde**, il est **absorbé** et le surplus d'énergie se retrouve dans l'**énergie cinétique du photoélectron**. L'électron manquant est alors remplacé par un électron d'une couche plus périphérique et un rayon X de faible énergie est alors libéré. Cet effet provoque ainsi l'arrêt du rayon X, l'émission d'un photoélectron et la production d'un ion positif. Cet effet est augmenté lors de la traversée d'un **matériel dense** composé d'atomes de **numéro atomique élevé**. Il s'agit de l'effet prédominant lorsque l'énergie des rayons X est peu intense et donc pour des **tensions inférieures à 70 kV**. L'effet photoélectrique permet d'obtenir un **bon contraste**, mais l'**ionisation** produite est néfaste pour le patient.

2.3.3.2.2 *Effet Compton*

Lorsque le **rayon X** se rapproche d'un **électron périphérique**, ce dernier est éjecté et récupère une partie de l'énergie du rayon X. Le reste de l'énergie donne alors un rayon X de direction différente et d'énergie inférieure au rayon X de départ. Cet effet conduit donc à la déviations et l'atténuation de l'énergie du rayon X, ainsi qu'à l'émission d'un électron et d'un ion positif.

L'effet Compton dépend de la **densité du matériel** (mais pas du numéro atomique) traversé. Il est prépondérant avec des rayons X de forte énergie et donc pour des **tensions supérieures à 100 kV**. Cette diffusion du faisceau de rayons X est **néfaste**, car elle ajoute un voile uniforme sur l'image qui nuit à sa qualité (diminution du contraste par noircissement de l'image) et parce qu'elle constitue un risque pour les manipulateurs puisqu'elle se fait dans toutes les directions.

2.3.3.3 *Géométrie de l'image radiologique*

Certains facteurs géométriques modifient la représentation de l'objet sur le cliché par rapport à la réalité. Ils sont importants à reconnaître et à savoir limiter autant que possible afin de minimiser le risque d'erreurs lors de l'interprétation des images radiographiques.

2.3.3.3.1 *Agrandissement*

Il entraîne une **augmentation de la taille de l'image** par rapport à sa taille réelle. Ce phénomène est lié à la **divergence des rayons X** et peut être calculé en utilisant les propriétés des triangles équivalents. Il doit être limité au maximum, car il peut être source d'erreurs lors de l'évaluation de la taille des structures et qu'il diminue la finesse des détails. Il s'accroît lorsque la distance **source-objet diminue** ou que la distance **objet-film augmente**.

2.3.3.3.2 *Distorsion*

Elle se produit lorsque l'image représente un objet de **forme** ou de **position modifiée** par rapport à la réalité. Elle résulte d'un **agrandissement inégal des différentes parties** de la structure radiographiée. Ce phénomène diminue si le **film et l'objet** sont bien **parallèles**.

2.3.3.3.3 *Image non familière*

Il s'agit d'un objet familier qui apparaît sur l'image sous la forme d'un objet non identifiable par modification de la technique radiographique. C'est pourquoi en imagerie les **différentes projections sont standardisées**.

2.3.3.3.4 *Perte de la perception en profondeur*

L'image radiographique représente en **2D** sur une image plane l'ensemble des structures traversées par les rayons X. Il s'agit donc d'une projection où les **structures sont superposées**, où certains objets peuvent apparaître **déformés** et où l'image obtenue représente plus ou moins fidèlement la structure radiographiée. C'est pourquoi il faut toujours réaliser au minimum **deux vues orthogonales**, et si la zone anatomique étudiée est complexe, des **vues obliques** en plus.

2.3.3.3.5 *Ombres portées*

Ce phénomène se produit lorsque des parties de la structure radiographiée appartenant à différents plans se retrouvent superposées sur le cliché. Ces ombres portées représentent ainsi la **somme des atténuations des rayons X** des différentes structures traversées.

2.3.3.3.6 *Effacement des contours*

Lorsque deux structures de **même opacité** sont projetées l'une en contact de l'autre il est impossible de distinguer leurs contours sur l'image. Ce phénomène s'appelle le **signe de la silhouette positive**.

2.3.4 Facteurs d'exposition

(70)

Ils permettent de déterminer la **quantité** et la **qualité** des **rayons X** émis par l'appareil.

2.3.4.1 *Intensité : milliampères secondes (mAs)*

Le **courant** électrique qui chauffe le filament est mesuré en **mA**. Plus les mA sont élevés plus la **chaleur** augmente et plus la **quantité d'électrons** émis est importante, en conséquence la **quantité de rayons X** produits est également plus élevée. L'émission des rayons se faisant pendant un temps donné (appelé **temps d'exposition** et exprimé en **ms**), il est évident que plus ce **temps** est long pour des mA donnés plus la quantité de rayons émis l'est. On exprime donc la **quantité de rayons X** produits lors d'une exposition donnée en **mAs** (= mA x temps d'exposition en secondes).

Ainsi on peut avoir une même valeur de mAs soit en augmentant les mA et en diminuant les ms soit en faisant l'inverse. Le choix se fait en fonction de la **mobilité** de la partie à radiographier (cœur, poumon ou os par exemple) et de celle de l'animal (calme ou agité). Afin de diminuer le **flou cinétique** résultant de ces mouvements le temps de pose doit être diminué lorsque la mobilité augmente. L'**augmentation des mAs** permet :

* De diminuer le temps de pose et donc les artéfacts liés aux **mouvements** ainsi que le temps d'**exposition** du personnel et du patient.

* D'augmenter la quantité de rayons X émis et donc la qualité des clichés pour des zones anatomiques **épaisses**.

2.3.4.2 *Tension : kilovolts (kV)*

L'**énergie cinétique** des électrons qui partent du filament et qui atteignent le foyer de l'anode est proportionnelle à la **différence de potentiel mesurée en kV** entre l'anode et la cathode. Plus les kV augmentent et plus les électrons sont accélérés donc plus l'**énergie des rayons X** est importante et plus ces derniers sont **qualitatifs et pénétrants** (par diminution de la longueur d'onde des rayons). Ainsi plus les kV sont élevés plus le nombre de **rayons atteignant le film** est grand. **Augmenter les kV** peut donc permettre de **diminuer les mAs** tout en obtenant une densité radiographique comparable (cependant le contraste est affecté).

2.3.4.3 *Distance foyer-film*

Plus la distance foyer-film augmente plus l'**intensité des rayons diminue** (l'intensité du faisceau varie de façon inverse avec le carré de la distance). En conséquence quand la distance foyer-film est modifiée, les paramètres d'exposition doivent l'être aussi.

2.4 Radioprotection

(3) (4) (8) (31) (61) (62) (85) (90) (105) (111)

2.4.1 Définition

(4)

La radioprotection désigne l'ensemble des **règles**, des **procédures** et moyens de **prévention** et de **surveillance** visant à **empêcher** ou à **réduire** les **effets nocifs** des rayonnements ionisants produits sur les **personnes** directement ou indirectement, y compris lors des atteintes portées à l'**environnement**.

2.4.2 Effet biologique des radiations ionisantes

(8) (85)

Les radiations lèsent les tissus en ionisant les molécules vitales de la cellule et en particulier en créant des modifications de l'ADN (lésions chimiques et physiques), à l'origine de l'apparition de mutation ou de mort cellulaire.

En ce qui concerne les **rayons X**, le mécanisme lésionnel prépondérant consiste en l'**ionisation de molécules d'eau et d'oxygène**, qui entraîne la formation de **radicaux libres** provoquant des modifications structurales de l'ADN lors de leur recombinaison.

La **gravité des lésions** dépend de la **dose** d'exposition mais également de la **durée** au cours de laquelle la dose a été reçue. En effet, les tissus possèdent la capacité de réparer les lésions tissulaires lorsque ces dernières sont provoquées par de faibles doses de rayons X étalées dans le temps. Les **modifications de l'ADN** peuvent ainsi soit être **réparées** par la cellule, soit être à l'origine de **mutation** ou de **mort cellulaire**. Cependant tant que la cellule ne se divise pas, son fonctionnement peut rester normal et ce n'est que lorsqu'elle rentre en mitose, qu'elle va mourir faute de pouvoir se dupliquer (« mort retardée »). Le **pourcentage du corps exposé** au rayonnement et la **partie anatomique** soumise à l'effet des rayons X sont donc également des points clés. C'est pour cette raison que les zones du corps présentant un « turn-over » important (c'est-à-dire un renouvellement cellulaire non négligeable) comme par exemple les **cellules gonadiques**, les **cellules épithéliales** (en particulier celles du tractus **gastro-intestinal**) et les cellules **hématopoïétiques** sont les plus sensibles aux radiations. *A contrario* les muscles et le tissu nerveux sont les plus résistants.

En conclusion, la **sensibilité d'une cellule aux rayons X** est d'autant plus grande qu'elle se **divise**, que l'**énergie** et le **débit** de la dose sont élevés, que la dose reçue n'est pas **fractionnée** dans le temps et que le milieu est riche en **oxygène**.

Les **effets des faibles doses répétées** résident principalement dans le développement de **cancers**, de **mortalités embryonnaires**, d'**avortements** et de **malformations fœtales** chez la femme enceinte et l'existence d'un possible **risque génétique** (compte tenu des mutations engendrées par les radiations), ce dernier n'étant, pour l'heure, pas encore observé à l'échelle humaine.

2.4.3 Quantification des rayonnements

(8)

Pour quantifier les rayonnements ionisants **trois grandeurs** sont utilisées.

* **L'exposition** représente le **pouvoir d'ionisation dans l'air**. Elle est exprimée en Coulomb par kilogramme : **C/kg** (anciennement exprimée en röntgen (R) avec $1R=2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/Kg}$).

* **La dose absorbée** correspond à la **dose reçue** (énergie reçue par unité de masse). Elle est exprimée en **gray (Gy)** avec **1Gy=1J/kg** (anciennement exprimée en radiants (rad) avec $1\text{Gy}=100 \text{ rad}$). Elle varie en fonction de la **densité** et du **numéro atomique** des atomes de la matière traversée par les rayons.

* **L'équivalent dose** reflète les **effets biologiques** différents d'une même dose en fonction du rayonnement. A chaque type de radiation a ainsi été donné un **facteur de qualité FQ** reflétant le pouvoir pathogène (FQ de 1 pour les rayons X et Gamma). L'équivalent dose est exprimé en Sievert (Sv) avec **1 Sv = 1 Gy x FQ** (anciennement exprimé en rem avec $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$).

2.4.4 Sources des rayonnements

(8)

Les sources de rayons X dans l'environnement sont multiples (origine naturelle ou anthropique), mais la majeure partie de l'exposition est liée à une utilisation médicale. En **radiologie** le risque d'exposition est associé à la présence de **trois types de rayonnements** :

* **Le rayonnement primaire** unidirectionnel est **le plus intense** et aucune partie du corps ne doit y être exposée.

* **Le rayonnement de fuite** qui provient du **tube radiogène** et se disperse dans toutes les directions.

* **Le rayonnement diffusé** qui provient des **objets et êtres vivants traversés par le faisceau** de rayons X et qui est également présent dans toute la pièce.

2.4.5 Règles de sécurité lors de l'utilisation de radiations ionisantes

(8) (31) (111)

En raison des **effets biologiques**, non négligeables, provoqués par une exposition répétée à de faibles doses (cas du vétérinaire) ou unique à une dose élevée, l'**exposition** aux rayonnements ionisants **doit se justifier** sur un plan diagnostique ou thérapeutique et doit être **limitée au maximum** afin de minorer les doses reçues par le personnel (8) (31) (111).

Des règles de base suivant le **principe ALARA** (As Low As Reasonably Achievable) doivent être suivies afin que les **doses reçues** par les personnes **restent les plus faibles possible**. Ces règles sont exposées dans l'encadré suivant.

- Aucune partie des manipulateurs ne doit être exposée au rayonnement primaire, même protégée par du plomb.
 - Le temps d'exposition doit être limité au maximum.
 - La distance entre le personnel et l'appareil à rayons X doit être la plus grande possible.
- Des barrières composées de matériaux arrêtant les rayons X doivent être utilisées et ce de manière pertinente (8) (31) (111).

Des recommandations officielles au niveau national peuvent être faites par des organismes dédiés propres à chaque pays ou unions afin de préciser les principes dictés par la méthode ALARA. Le **NRCP** (National Council on Radiation Protection), un groupe scientifique gouvernemental présent aux Etats-Unis, propose par exemple les recommandations suivantes :

- * La dose équivalente reçue par un homme au cours de **sa vie** doit être inférieure au produit : **âge en années x 10 mSv**.
- * L'**absence d'exposition** d'ordre professionnel **avant 18 ans** doit être respectée.
- * La **dose équivalente** reçue par un homme au cours d'une **année** doit être au maximum de **50 mSv**.
- * Pour la **population** en général (à l'exclusion d'un usage médical) l'exposition aux radiations doit être limitée à moins de **1 mSv**.
- * Chez la femme enceinte, le **foetus** ne doit pas être exposé à plus de **0.5 mSv par mois** (111).

En pratique équine certaines particularités de l'exercice rendent la compréhension et le respect des règles de radioprotection particulièrement indispensables :

- * **Le nombre non négligeable de personnes souvent nécessaires à l'examen** (2 à 3 personnes en général) rend primordiale l'application de certains principes :
 - **Eloignement des personnes de la source de rayons X** (à noter que les personnes enceintes et les mineurs ne doivent pas être autorisés lors de l'examen).
 - Utilisation de **gants, tabliers, lunettes et protèges thyroïde en plomb**, emploi de **porte-cassettes**.
 - **Limitation des doses** et du **nombre de clichés**, utilisation du **diaphragme**.

Par ailleurs contrairement à la médecine humaine, ici l'objectif n'est pas tant de diminuer la dose reçue par le patient, mais de **limiter les rayonnements diffusés** qui irradient dans l'environnement et atteignent le personnel.

- * **Le caractère du cheval** intervient également car certains restent difficilement immobiles durant l'examen et peuvent obliger à répéter les clichés, augmentant ainsi l'exposition des personnes intervenantes. Afin de diminuer le flou et d'optimiser la qualité des images il faut donc une **contention adaptée** (emploi de tord nez, d'analgésiques, de tranquillisants, prise d'un membre) et il est possible de **diminuer le temps de pose**.

- * **La variabilité de morphologie pour une même zone anatomique** fait que les **paramètres d'exposition** adaptés à un cheval ne le seront pas toujours pour un autre ce qui peut aussi conduire à la **répétition** des clichés.

- * **La multiplication des clichés est parfois nécessaire** : soit lors de la réalisation de **bilans radiographiques** (visites d'achat, bilans pour les agréments à la monte ou avant mise à l'entraînement), soit parce que malgré un examen clinique statique et dynamique correctement mené la **localisation précise** de la lésion n'a pas pu être déterminée avec certitude (31).

La radiologie numérique peut présenter un intérêt en radioprotection en permettant la :

- * **Diminution des doses d'exposition** : il semble possible pour certains examens de **diminuer légèrement** les doses d'exposition. Cependant trop diminuer les constantes entraîne une augmentation de la granularité de l'image par effet Compton et donc une perte de sa qualité.

* **Diminution des temps d'exposition** : elle permet de limiter le flou cinétique et de **diminuer les rayons directs et diffusés** auxquels sont exposés les intervenants.

* **Diminution du nombre d'exams répétés** : elle est permise par la possibilité de traiter a posteriori les images initialement mal exposées grâce à leur grande latitude d'exposition qui **diminue l'impact des erreurs d'exposition** (31).

2.4.6 Dispositifs réglementaires

(3) (61) (62) (90) (105)

Compte tenu de la dangerosité des rayons X, il existe des mesures **réglementaires** (définies par le Code du travail et le Code de la santé publique) déterminant des normes pour la construction et l'installation d'appareils à rayons X et **législatives** ayant pour objet la protection des personnes. Le **Code du travail** précise entre autres des **doses limites légales annuelles à ne pas dépasser**, l'ensemble des textes est consultable sur le site de Légifrance.

2.4.6.1 Différentes organisations intervenant

Le **Comité Scientifique des Nations Unies pour l'étude des Effets des Rayonnements ionisants (UNSCEAR)** fait la synthèse des **publications scientifiques** sur les sources d'exposition et leurs effets, notamment sur les travailleurs. La **Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR)** rassemble des experts de différentes disciplines (médecins, physiciens, biologistes...). Cette instance non gouvernementale propose un mode de **gestion du risque radiologique** à partir des synthèses réalisées par l'UNSCEAR et les académies scientifiques nationales.

* Au niveau international : l'élaboration de **standards de radioprotection** est une des missions de l'**Agence Internationale pour l'Energie Atomique (AIEA)**.

* Au niveau national : l'**Institut National de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN)** fournit une **expertise** à l'AIEA dans la phase de préparation des projets et intervient également en **appui technique** à l'**Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN)**.

2.4.6.2 Fonctionnement

* L'Union européenne (UE) édicte ses propres normes en matière de radioprotection des travailleurs. Celles-ci prennent la forme de **directives**, élaborées par la **Commission européenne** avec l'appui d'un groupe d'**experts**.

* La France transpose les directives européennes dans le droit français : **Code du travail** et **Code de la santé publique**. Plusieurs **autorités ministérielles** sont impliquées et l'IRSN leur apporte un **appui technique et réglementaire**, dans les conditions spécifiées par les codes de la santé publique et du travail. L'IRSN participe aux travaux préparatoires de **rédaction des textes** et donne *in fine* son **avis** aux autorités françaises avant leur publication. Il s'attache à ce que la réglementation intègre les connaissances scientifiques nouvelles et les changements observés sur le terrain, ainsi que les progrès concernant les moyens de prévention et la surveillance des travailleurs exposés.

La réglementation prévoit des **contrôles périodiques** pour s'assurer du bon fonctionnement des installations (sécurité des équipements, mesures d'ambiance...). Ils sont réalisés par des **organismes agréés** ou par l'**IRSN**. Il revient à l'**ASN** et aux **inspecteurs du travail** de contrôler l'application de la réglementation par les employeurs.

2.4.6.3 Réglementation actuelle

Au niveau réglementaire la **détention et l'utilisation d'une source de rayonnements ionisants** doivent être signalées à la division territoriale de l'**ASN** sous forme de **déclaration ou de demande d'autorisation** préalablement à l'utilisation de la source (selon la loi 91-1414 du 31 décembre 1991, retranscrite dans le Code du travail Art.L4121-1). Pour la **déclaration/autorisation** de la source un **dossier radioprotection** doit être constitué.

L'**employeur** est responsable de la **santé** et de la **sécurité** des travailleurs, il assume les **responsabilités civile et pénale** de l'application de la réglementation en radioprotection. Le vétérinaire chef d'entreprise doit **désigner une personne compétente en radioprotection (PCR)**, mais reste responsable de la radioprotection dans son établissement. Une **formation initiale PCR** optionnelle a été mise en place récemment dans les Ecoles Nationales Vétérinaires Françaises et la certification des compétences doit être **renouvelée tous les 5 ans** avec :

* Un dossier de validation d'activité qui consiste à fournir des copies de justificatifs de l'activité PCR incluses dans le dossier radioprotection.

* 1,5 journée de mise à jour des connaissances réglementaires.

Tableau 4 : Rôles respectifs de l'employeur et de la personne compétente en radioprotection

Rôles respectifs de l'employeur et de la personne compétente en radioprotection	
<u>Employeur</u>	<u>PCR</u>
Désigne une « PCR » et lui fournit les moyens nécessaires à son activité.	Collabore avec le médecin du travail.
Collabore avec le médecin du travail.	Evalue les risques : met en œuvre les contrôles d'ambiance, du générateur, la dosimétrie.
Informe et forme les travailleurs.	Analyse les résultats.
Evalue les risques et les mesures de protection.	Aide à la définition des mesures de protection collective (locaux) ou individuelle (tabliers, gants...).
Délimite les zones et met en place l'affichage réglementaire.	Aide à délimiter les zones réglementées.
Classe les travailleurs.	Aide à la formation et au classement des travailleurs.
Met en place les moyens de surveillance requis (dosimètres).	Participe à la constitution du dossier de déclaration/autorisation.
Met en place un programme des contrôles externes et internes.	Participe au plan de prévention lors de la cohabitation d'entreprises extérieures et utilisatrices.
Déclare ou demande l'autorisation de détention et d'utilisation d'une source.	
Met en place une gestion documentaire.	
Réagit en cas de dépassement et d'inspection.	

Expert référent de la radioprotection, l'IRSN édite seul ou en collaboration avec l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), des **documents d'aide** à l'amélioration des pratiques professionnelles : guides, livrets, fiches techniques. L'Institut dispense des **formations** pour les travailleurs exposés et les acteurs impliqués dans leur radioprotection.

Des fiches pratiques dédiées à la radioprotection en pratique équine sont également disponibles sur le site **Le RadioBlog de l'AVEF**, elles permettent de faciliter l'organisation de la radioprotection, l'archivage des données et donc le respect de la réglementation.

Le vétérinaire doit pour respecter la réglementation remplir plusieurs obligations :

* **Etablir un classement des zones et des personnels** : la réglementation distingue une **zone dite contrôlée** délimitant l'espace autour de la source où le personnel est susceptible de recevoir des doses supérieures à **6mSv/an**, et une zone dite **surveillée** entourant cette dernière et dans laquelle le personnel est susceptible de recevoir des doses supérieures à **1mSv/an**. En ce qui concerne le **personnel**, celui recevant des doses de plus de **6mSv/an** est classé en **catégorie A** et celui recevant des doses comprises entre **1 et 6 mSv/an** appartient à la **catégorie B**.

* **Mettre en place une surveillance dosimétrique passive** : les dosimètres sont les témoins du respect de la **limitation des doses individuelles** reçues. Ils doivent être portés lors de la prise des clichés, **sous le tablier**, à hauteur de la **poitrine**. En tout sont nécessaires :

- Un dosimètre individuel et nominatif pour **chaque professionnel exposé**, entrant en salle au moment des clichés, qu'il soit salarié ou non.
- Un dosimètre témoin externe : **en dehors de la salle de radiodiagnostic**, dans la clinique, à l'abri de la lumière, de la chaleur et de l'humidité.
- Pour le **remplaçant occasionnel** un dosimètre « temporaire » numéroté et attribué à un individu donné pour une période donnée.

En plus, en **activité équine** est demandée la présence :

- d'un dosimètre ambiance générateur placé sur le **générateur**,
- d'un dosimètre ambiance tête placé **sur le tablier de la personne à la tête du cheval**.

Le **Laboratoire de Surveillance Dosimétrique (LSDOS)** de l'IRSN fournit des dosimètres, puis se charge de leur collecte, lecture, analyse et exploitation. Le **Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants (SISERI)** centralise quant à lui l'ensemble des résultats des mesures dosimétriques individuelles.

* **Doter chaque travailleur d'une carte individuelle de suivi médical**. Ce document réglementaire est attribué par l'IRSN à tout travailleur exposé aux rayonnements ionisants et comporte les dates des visites de la médecine du travail et les signatures du médecin en attestant. La carte reste en possession du travailleur. L'IRSN en garde une copie.

* **Mettre à disposition des moyens de protection individuelle**, c'est-à-dire, en pratique équine au moins 3 tabliers et deux paires de gants, et s'en servir. Les tabliers sont portés par la personne qui se trouve au tube radiogène, celle qui est à la cassette et celle qui tient le cheval. Les personnes tenant la cassette et l'appareil à rayons X portable, doivent en plus porter des gants et si possible des lunettes.

* **Posséder un générateur conforme** et situer l'installation dans un **local adapté** en portant une attention particulière à la **conformité de l'installation électrique** du générateur qui est un prérequis incontournable à l'installation (ligne dédiée, disjoncteur, prise à la terre, interrupteur coup de poing, lumière rouge à chaque issue).

* **Faire effectuer un contrôle technique de radioprotection initial et périodique**.

* **S'assurer au sein de la clinique du respect des bonnes pratiques**.

* **Mettre en place l'enregistrement des données concernant les clichés** à l'aide d'un cahier mentionnant la date, le nom du cheval, le type de cliché, le nombre total de clichés, le nom des personnes se trouvant au tube, à la cassette et à la tête du cheval.

2.5 Présentation des trois grandes techniques radiographiques : principe, matériel, acquisition des images en pratique et notion de qualité

(8) (31) (70) (84)

2.5.1 Radiographie conventionnelle

(8) (31) (70) (84) (111)

2.5.1.1 *Principe*

(70)

La radiographie utilise un film sensible à la lumière qui est exposé aux rayons X. Ce film est contenu dans une cassette entre deux écrans renforçateurs responsables de la conversion des rayons X en lumière visible. Ce couple film-écran permet la formation d'une image dite latente sur le film. Le film est ensuite développé afin de convertir l'image latente en une image visible.

2.5.1.2 *Matériel : présentation, rôle, entretien*

2.5.1.2.1 *Film*

(70)

- Rôle : la formation de l'image latente

Exposés aux rayons X et à la lumière, les cristaux de bromure d'argent en absorbent l'énergie et permettent la formation d'une image latente invisible en l'état. Cette **absorption d'un photon lumineux** par un cristal convertit l'**halogénure d'argent en argent métallique** qui donne après développement une couleur noire au film.

- Composition

- **Base** : couche centrale et transparente composée de polyester, elle forme un **support souple**. Elle est revêtue de chaque côté par une sous-couche fine permettant l'adhérence à l'émulsion.

- **Emulsion** : gélatine contenant des **microcristaux d'halogénure d'argent** dont les plus communément utilisés en radiographie médicale sont les cristaux de **bromure d'argent**.

- **Surcouche** transparente et protectrice.

Les films les plus souvent utilisés en pratique vétérinaire sont des **films bicouches** (les deux faces du film sont recouvertes par une émulsion photographique), mais il existe également des **films monocouches** aussi appelés films à mammographie (l'émulsion ne recouvre que l'une des deux faces), ces derniers sont réservés à la radiographie des structures les plus fines.

- Types

- **Films à utiliser avec écran** : ils sont fabriqués avec des cristaux d'argent sensibles à la lumière fluorescente émise par les écrans renforçateurs. Ils sont **sensibles** soit au **bleu** soit au **vert** selon le type d'écran utilisé.

- **Films utilisés sans écran** : ils sont directement exposés aux rayons X lors de leur utilisation. Ils sont donc plus sensibles aux radiations ionisantes que les films précédents. Comme le faisceau de rayons X n'est plus amplifié par un écran, l'exposition doit être supérieure, mais le détail de l'image est meilleur. Ce type d'écran est utilisé pour la radiographie de zones très fines.

- Vitesse

Elle varie avec la **taille des cristaux** et elle est choisie en fonction de l'exposition requise pour obtenir une image de densité correcte. On parle de **latitude du film** pour désigner la gamme d'exposition pour laquelle la densité obtenue est satisfaisante. On distingue trois grandes classes de film en fonction de leur vitesse :

- **Films rapides** : ils sont composés de **larges cristaux** et requièrent donc une **exposition** aux rayons X ou à la lumière **moins élevée**. En contrepartie l'image produite est plus **granuleuse** et présente **moins de détails**. La **latitude d'exposition** de ces films est également plus **faible**.

- **Films intermédiaires** : ce sont les plus utilisés, car ils permettent d'obtenir un compromis entre la vitesse et le grain de l'image. Leur **latitude** est **moyenne**.

- **Films lents** : ils sont formés avec des **petits cristaux** et nécessitent de ce fait une **exposition** aux rayons X ou à la lumière **plus élevée**. Ils produisent en revanche une image moins granuleuse et de meilleure définition. Leur **latitude** d'exposition est plus **grande**.

- Entretien

Les films doivent être rangés dans la **chambre noire**, verticalement, dans une **boîte étanche** à la lumière, à l'abri de la chaleur et de l'humidité.

2.5.1.2.2 Cassette

(70)

- Rôle

La cassette est une boîte rigide, solide, perméable aux rayons X, mais étanche à la lumière. Elle **protège ainsi le film** de la lumière et d'éventuels dommages au cours de l'examen et assure un **contact étroit** entre **le film et les écrans**.

- Composition

Les matériaux les plus utilisés pour le devant de la cassette (côté radiotransparent où arrivent les rayons) sont le polycarbonate, l'aluminium et le magnésium. La partie arrière est quant à elle souvent plus conséquente avec au moins une **couche de plomb** permettant de limiter les rayonnements diffusés et le phénomène de retour des rayons sur le film (rayons rétrodiffusés). Les deux côtés de la cassette sont revêtus de **mousse ou de feutre** sous pression afin d'assurer un contact film-écrans optimal. Il existe différentes tailles de cassettes disponibles.

- Entretien

La manipulation d'une cassette doit être soignée et il faut faire particulièrement attention **aux chutes, coups et à l'aspersion par des liquides**. Afin de mieux la protéger, il est possible de la placer dans un film plastique lors des examens et il est conseillé de la nettoyer régulièrement

avec un peu de savon et d'eau. Afin de détecter et de résoudre plus facilement un problème lié à une cassette il peut être **intéressant de les numérotter**, par exemple avec un marqueur noir dans le coin de l'écran afin que le numéro apparaisse sur chaque radiographie (le même numéro peut être rajouté sur l'extérieur de la cassette).

2.5.1.2.3 Grille antidiffusante

(70)

- Rôle

Elle permet de diminuer l'effet Compton et donc d'améliorer le **contraste** de l'image en arrêtant une partie du rayonnement diffusé (rayons ne participant pas à la formation de l'image).

- Composition

La grille consiste en une **alternance de bandes de plomb** (stoppant les rayons X) et de matériel intercalaire (fibre, plastique ou aluminium laissant passer les rayons X). L'épaisseur moyenne des lames est de 0,5 mm et le nombre de lames par grille va de 50 à 1500. Les lames de plomb sont alignées avec le faisceau primaire de rayons X afin de laisser passer les rayons s'en dégageant tout en arrêtant les rayons voyageant dans une autre direction. Il existe plusieurs types de grilles caractérisés par des tailles et des inclinaisons différentes des lamelles.

- Caractéristiques et utilisation

La grille est disposée **entre le patient et le film**, le faisceau de rayons X doit être dirigé perpendiculairement à elle.

- **Distance entre le foyer et la grille** : elle est habituellement précisée par le constructeur. Si cette distance n'est pas respectée, la quantité de rayons X provenant du faisceau primaire stoppée par la grille augmente et donc la quantité de rayons atteignant le film diminue. Un mauvais alignement de la grille avec le faisceau de rayons X, un mauvais centrage du faisceau sur la grille, une inclinaison du faisceau ou de la grille, ou l'emploi d'une grille focalisée utilisée à l'envers entraîne également des modifications importantes sur l'image.

- **Efficacité/rendement** : l'efficacité de la grille varie selon la **hauteur**, l'**épaisseur** et le **nombre de lames**. La grille a pour but de diminuer le rayonnement diffusé et d'améliorer la qualité de l'image, cependant elle peut devenir visible sur le cliché lorsque l'épaisseur des lames et l'espace entre elles augmentent. On définit un **rapport de grille** égal à la hauteur des lames divisée par la distance entre les lames. S'il augmente l'efficacité de la grille augmente aussi puisque l'angle pour lequel les rayons X peuvent passer est réduit (le plus souvent plus le nombre de lames par centimètre est grand plus les lames sont minces).

Plus une grille est fine moins elle est visible sur le cliché, mais moins elle est efficace.

Etant donné que certains rayons X du faisceau primaire sont absorbés par la grille il est nécessaire d'**augmenter un peu les facteurs d'exposition** lorsque l'on en utilise une.

- Types

Il existe différents types de grilles classés en fonction de l'orientation des lames :

- **Grilles linéaires** : les lames sont orientées longitudinalement et absorbent les rayons X non parallèles aux lames. Ce système permet de donner une angulation au faisceau de rayons X le long de la grille sans perdre de rayons provenant du faisceau primaire. Ces grilles équipent la plupart des unités avec table.

- **Grilles quadrillées** : elles sont formées par deux grilles linéaires superposées, le rapport de grille est donc augmenté (somme des rapports de chacune des grilles). Ces modèles ne peuvent pas être utilisés pour des vues obliques ou nécessitant une angulation du tube à rayons X.

Les grilles linéaires et quadrillées peuvent être focalisées ou à lames parallèles :

- **Grilles focalisées** : leurs lames sont légèrement inclinées avec une inclinaison croissante en allant vers l'extérieur (les lames du centre sont perpendiculaires). Ce système permet de ce fait le passage des rayons X divergents situés en périphérie du faisceau. Ces grilles doivent être utilisées avec une distance foyer-film spécifique et la position de la grille est primordiale (les rayons ne passent pas si elle est disposée à l'envers).

- **Grilles à lames parallèles** : leurs lames sont parallèles (en coupe transversale), ces modèles ne sont utilisés que pour de petits champs de rayons X ou pour de grandes distances foyer-film.

- **Grilles pseudofocalisées** : système à mi-chemin entre les deux types précédents, les lames sont parallèles, mais leur hauteur diminue en allant du centre vers les côtés. Cela permet de réduire l'absorption du faisceau primaire au niveau des bords de la grille.

Les grilles précédentes sont fixes et stationnaires, mais il existe un système permettant de mettre les grilles en mouvement (utilisation limitée aux appareils fixes) : le **système de Potter-Bucky**. Il s'agit d'un mécanisme donnant un mouvement de va-et-vient à la grille, à une vitesse constante et dans les limites du faisceau. Cela permet de limiter les rayonnements diffusés tout en rendant la grille invisible sur l'image (diminution des artéfacts de grille).

2.5.1.2.4 Ecrans

(8) (70)

- Rôle

Les écrans sont des feuilles de **cristaux luminescents** liés entre eux et montés sur une base de carton ou de plastique. Il y a deux écrans dans une cassette et le film est placé entre eux. Lorsqu'ils sont exposés aux rayons X les cristaux fluorescent et **convertissent ainsi les rayons X en lumière**, cette dernière exposant le film à son tour. Les écrans permettent ainsi d'**amplifier l'image** radiante et donc de diminuer la **quantité de rayons X** utilisés et le **temps de pose**.

- Composition

- **Base ou support** : support souple (en plastique par exemple) qui **permet l'attache à la cassette**, cette couche doit être robuste, résistante à l'humidité et ne doit pas se fissurer à l'usage.

- **Couche de cristaux** : elle est composée de cristaux luminescents répartis uniformément. Le **tungstate de calcium**, qui émet une lumière **bleue**, est toujours utilisé de nos jours. Il est solide et absorbe efficacement les rayons X, mais possède un taux de conversion des rayons X en lumière assez limité. Depuis les années 70, des cristaux luminophores du groupe des **terres rares** présentant une bien meilleure conversion sont utilisables. Cependant ces derniers nécessitent l'emploi de films particuliers, car ils émettent une lumière **verte** non absorbée par les films classiques.

- **Couche réfléchissante** : elle est constituée de substance blanche comme le **dioxyde de titane**. Son rôle est de **réfléchir, en direction du film, la lumière** émise par les cristaux.

- **Revêtement protecteur** (au contact du film) : couche transparente placée sur la surface de l'écran. Elle doit être facilement nettoyable et être suffisamment **solide** pour résister aux marques et abrasions.

- Caractéristiques et utilisation

Trois propriétés déterminent l'efficacité d'un écran :

- Un haut niveau d'**absorption des rayons X**.
- Une bonne **conversion rayons X=>lumière** avec une énergie et une couleur appropriées.
- Une absence ou quasi-absence de **rémanence** lorsque la radiation a cessé.

Les écrans possèdent deux caractéristiques qui évoluent en sens inverse : la **vitesse** et la **finesse** (résolution spatiale). Lorsqu'on utilise un générateur de faible puissance il est conseillé d'utiliser un écran rapide. Les écrans très fins doivent être employés seulement avec des foyers de petite taille. Par ailleurs plus la mobilité de l'objet radiographié est importante, plus l'utilisation d'un écran rapide est recommandée. A l'inverse des structures immobiles pourront être radiographiées avec des écrans lents et fins permettant l'obtention d'une image de meilleure qualité.

- ✓ Vitesse : facteurs de variation

La vitesse varie en fonction de la taille des cristaux, de l'épaisseur de la couche de cristaux, de l'efficacité de la couche réfléchissante et des colorants présents dans la couche de cristaux.

- **Taille des cristaux** : plus la taille du cristal est **importante** plus l'**émission lumineuse est grande**. Lorsqu'un rayon atteint un cristal celui-ci fluoresce dans sa totalité, donc plus les cristaux sont gros et plus le **nombre de rayons** nécessaires pour exposer le film est **petit**. Cependant plus la **taille des cristaux augmente** et plus le **détail de l'image diminue**. *A contrario* plus les cristaux ne sont petits, plus la finesse de l'image obtenue et la quantité de rayons X nécessaires sont importantes.

- **Epaisseur de la couche de cristaux** : lorsqu'elle augmente les **quantités de rayons absorbés** et de **lumière émise** augmentent, mais le **détail** de l'image **diminue** à cause de la dispersion des rayons lors de leur traversée de la couche.

- **Efficacité de la couche réfléchissante** : elle doit avoir une **capacité réfléchissante élevée** et une **capacité d'absorption** faible afin de transmettre le maximum de lumière au film.

- **Pigments présents dans la couche de cristaux** : dans certains écrans des pigments sont ajoutés au liant de la couche luminescente. Leur rôle est de **diminuer la dispersion latérale de la lumière** émise par les cristaux et donc d'améliorer le **détail** de l'image. Cependant cela réduit également l'intensité de la lumière émise et donc la **rapidité** de l'écran.

- ✓ Vitesse de l'écran : indices de vitesse

- **Ecrans lents ou de haute définition** : pour les examens nécessitant un **détail optimal** et pour lesquels le temps d'exposition n'est pas critique.

- **Ecrans intermédiaires** : les plus fréquemment utilisés. Ils permettent d'obtenir une **bonne résolution** avec des facteurs d'exposition relativement peu élevés.

- **Ecrans rapides** : ils permettent de **réduire le temps d'exposition** ou de radiographier des zones anatomiques épaisses pour lesquelles une **augmentation des facteurs d'exposition** est nécessaire. Lorsque la **vitesse de l'écran** est importante, un artéfact peut apparaître, il s'agit du **bruit quantique** qui donne un **aspect marbré** à l'image. Cela est dû au fait que ces écrans ne nécessitent que peu de rayons X pour obtenir la densité désirée sur l'image. Lorsque le nombre de rayons est insuffisant, tous les cristaux ne sont pas stimulés et cela entraîne des variations de la densité au niveau de la radiographie.

- Entretien

Compte tenu du coût et de la sensibilité des écrans, ces derniers doivent être **inspectés et nettoyés** régulièrement. Il est important de ne pas altérer les écrans et d'éviter la présence de contaminants (poils, poussière...) pouvant abîmer l'écran et former des artéfacts sur les radiographies. L'entretien doit se faire selon les instructions du constructeur. Par exemple, une brosse douce ou de l'air sous pression peuvent être utilisés pour éliminer les salissures et la couche protectrice peut être nettoyée avec des cotons imprégnés de solutions recommandées par le constructeur. Après nettoyage il est important de laisser la cassette ouverte en position verticale afin d'assurer un séchage parfait avant une nouvelle utilisation.

Les dommages faits sur l'écran étant indélébiles il est important de conserver les cassettes fermées entre les utilisations et de les manipuler avec délicatesse lors de l'insertion et du retrait des films.

2.5.1.2.5 Chambre noire et développeuse

(8)

* La chambre noire est une pièce **étanche à la lumière**, éclairée par une **lampe inactinique**. La zone où sont stockés et manipulés les films et les cassettes est dite zone « **sèche** ». La zone de développement est à l'inverse appelée zone « **humide** ». Il est primordial de vérifier régulièrement l'**étanchéité** de la salle (**test des clés** : clés posées sur un film vierge pendant 5 minutes dans la chambre fermée => les clés ne doivent pas apparaître sur le film pendant le développement).

* Le développement qui est la plupart du temps automatisé consiste à faire passer le film dans des **bains successifs** (avec dans l'ordre) :

- **Le révélateur** : il entraîne une réaction d'oxydoréduction transformant les **ions argent en argent** qui est de couleur noire.

- **L'eau** : elle permet un rinçage rapide du révélateur.

- **Le fixateur** : il arrête le développement et comme son nom l'indique, fixe l'image en éliminant les ions n'ayant pas réagi. Il rend donc le film transparent. Un film mal fixé gardera ainsi une couleur de base crème à rosée légèrement opaque.

- **L'eau** : elle permet d'**éliminer le fixateur**. Si cette étape n'est pas correctement réalisée, des traces de sulfure d'argent persistent et cristallisent en donnant une couleur jaune au film.

Un développement correct nécessite de bien maîtriser les produits et leur **concentration**, la **durée** et la **température** du développement. Le bon **état de la développeuse** doit être vérifié régulièrement (contrôles périodiques, réglages adéquats, changements des bains...).

2.5.1.3 **Acquisition des images en pratique**

2.5.1.3.1 Obtention des radiographies

Un **film vierge** est placé au sein de la **cassette** dans la chambre noire afin d'éviter toute exposition du film à la lumière. La cassette est ensuite **exposée aux rayons X** lors de l'examen radiographique après lequel le **film peut être retiré** de la cassette (toujours au sein de la chambre noire) et glissé dans la **développeuse** (la chambre noire doit rester fermée tant que le voyant de la développeuse est rouge). A l'issue du développement, la radiographie est affichée sur le **négatoscope** afin d'en évaluer sa qualité et d'en fournir une interprétation.

2.5.1.3.2 Numérisation des films conventionnels ou digitalisation

(31)

Le film acquis de façon classique peut être numérisé grâce à différents systèmes :

- Numérisation par des **scanners** soit par un faisceau laser à balayage (résolution de 2.5 à 5 lp/mm) soit par un système CDD (Couple Charge Device) (résolution de 2000 à 2500 pixels et 12 bits).
- Techniques plus artisanales et anecdotiques : utilisation de **caméras** ou d'**appareils photos numériques**.

2.5.1.4 **Notion de qualité des images obtenues et artéfacts**

(8) (70) (84) (111)

2.5.1.4.1 Qualité

(70)

Savoir évaluer la qualité d'une radiographie est primordial afin de pouvoir décider de la nécessité de **refaire le cliché** ou de pouvoir affirmer que sa qualité est suffisante pour permettre une **interprétation** correcte de l'image. Il faut ensuite savoir ce qui ne va pas sur le cliché et connaître quels sont les **paramètres à modifier** et dans quelle mesure pour corriger la ou les erreurs commises.

Le premier élément permettant d'obtenir des radiographies de bonne qualité est de bien connaître les **bases physiques** utilisées en radiographie afin de comprendre le mécanisme de formation des images et connaître les artéfacts possibles, ainsi que de savoir régler les facteurs d'exposition et **positionner** le tube à rayons X, la cassette et l'animal.

La qualité radiographique fait référence à la facilité à **percevoir les détails** sur une image et donc à obtenir le maximum d'informations importantes sur le plan diagnostique. Elle dépend de la **densité**, du **contraste** et des **facteurs géométriques** affectant les détails.

- Densité et contraste

(70)

- ✓ Densité radiographique

Elle désigne le **degré de noircissement** (les zones noires sur le film correspondent au dépôt d'argent métallique), qui dépend de la quantité de rayons X atteignant le film. La densité **augmente** (*diminue*) avec :

* L'augmentation (*la diminution*) du :

- **Nombre** de rayons X atteignant le film (mAs).
- **Pouvoir pénétrant** des rayons X (kV).
- **Temps** de développement et/ou de la **température** du développeur.

* La diminution (*l'augmentation*) de la **densité** et de l'**épaisseur** des tissus traversés.

- ✓ Contraste

On distingue le contraste **radiographique** qui correspond au contraste de l'image obtenue et le contraste du **sujet** qui dépend des caractéristiques intrinsèques des structures anatomiques radiographiées.

- Contraste radiographique

Il désigne la **différence de densité existante entre deux zones adjacentes sur une radiographie**. Plus cette différence est grande et plus le contraste est élevé (et plus l'échelle de gris est réduite). Au contraire, un cliché présentant de nombreuses nuances de gris est dit de faible contraste.

Le contraste radiographique dépend :

- Du **contraste du sujet**.
- De la tension appliquée (kV).
- Du **rayonnement diffusé**.
- Du type de **film** utilisé.

Plus les kV sont élevés, plus le pouvoir pénétrant des rayons est élevé et donc plus la quantité de rayons X atteignant le film est grande, en conséquence le contraste est plus faible. Les rayonnements diffusés (qui augmentent lorsque les kV augmentent) peuvent aussi diminuer le contraste, mais l'utilisation d'une grille ou d'un écran rapide peut permettre de minimiser leurs effets.

- Contraste du sujet

C'est la **différence de densité et de masse atomique entre deux structures** anatomiques adjacentes. Elle est liée au fait que la quantité de rayons X absorbés dépend de la **nature** (un os absorbe plus de rayons que les tissus mous) et de l'**épaisseur** des tissus (l'absorption est plus importante quand l'épaisseur augmente). Un contraste de sujet élevé contribue donc à augmenter le contraste radiographique.

✓ Ajustement de la densité et du contraste en pratique

- Réglage des facteurs d'exposition

* **mAs** : c'est le premier facteur affectant la **densité** et si son réglage est correct le contraste varie surtout en fonction des kV. Une valeur de **mAs insuffisante** entraîne une **sous-exposition** (augmentation de la pâleur globale de l'image) et au contraire, une valeur **excessive** conduit à une **surexposition** (augmentation de la noirceur globale de l'image).

* **kV** : ce paramètre affecte le **contraste** et la **densité**. Lorsque la valeur des **kV augmente**, la **densité augmente** (plus de rayons X atteignent le film), mais si cette valeur est **excessive** le **contraste diminue** (les rayons étant très pénétrants, ils traversent des tissus de densités différentes sans être atténués de façon significativement différente). A l'inverse **une diminution des kV diminue la densité** (moins de rayons X atteignant le film) et produit une image en gris et blanc.

* **Rayonnement diffusé** : il résulte de la présence de **rayons ne participant pas à la formation de l'image** et se dirigeant dans **toutes les directions** après avoir rencontré des objets situés dans le faisceau de rayons X. Ce phénomène entraîne une exposition de zones non désirées sur le film et **diminue le contraste**. L'origine de ce rayonnement est multiple, elle réside principalement dans le **patient** et le **matériel**. Ce phénomène s'accroît pour des **kV élevés** et lorsque le faisceau n'est pas correctement **diaphragmé**. Une **grille** peut être employée afin de limiter le rayonnement diffusé, ce qui est utile lors de la radiographie de zones épaisses nécessitant l'utilisation de kV élevés.

- Utilisation d'une grille

(8)

Elle permet de **diminuer l'effet Compton** et donc d'**améliorer le contraste** de l'image en arrêtant une partie du **rayonnement diffusé**. Elle est constituée d'une succession de lamelles en plomb dont la direction est identique à celle du faisceau primaire. De cette façon les rayons de

faible énergie, dont les directions sont aléatoires, sont arrêtés. Certaines caractéristiques de la grille sont importantes à connaître afin d'optimiser son utilisation :

* **L'épaisseur**, la **teneur en plomb**, la **hauteur des lamelles** et l'**intervalle** qu'il y a entre elles déterminent l'angle au-delà duquel les rayons sont stoppés. Il est à noter que plus l'épaisseur des lamelles augmente plus la trame de la grille risque d'être bien visible sur le cliché. Il est cependant possible d'utiliser en radiologie fixe, le **système de Potter** qui met la grille en mouvement lors de la prise du cliché et permet ainsi de rendre la trame invisible.

* **L'arrêt des rayonnements diffusés** implique néanmoins la nécessité d'**augmenter les paramètres d'exposition** pour obtenir un noircissement identique à celui obtenu sans grille. La grille doit être très bien **positionnée** sans quoi des artéfacts et une diminution du noircissement sont susceptibles d'apparaître (si la grille n'est pas bien alignée avec le faisceau primaire, elle va en effet stopper certains de ses rayons).

* En pratique équine l'utilisation d'une grille est préconisée à partir de **15 centimètres d'épaisseur**.

- Facteurs géométriques

(Cf. 2.3.3. « Géométrie de l'image radiographique »).

(70)

Ils sont source de **flou géométrique** et affectent donc le **détail**. Ils diminuent la définition des contours d'une structure anatomique et peuvent entraîner une **modification de l'image** par rapport à la réalité. Il est donc indispensable de les reconnaître et de savoir les limiter.

Les facteurs principaux sont l'**agrandissement** et la **distorsion**, ils sont limités si :

- Le sujet est parallèle au film et très proche de ce dernier.

- Le faisceau de rayons X est centré précisément et perpendiculaire au couple film-écran.

2.5.1.4.2 Artéfacts

Tableau 5 : Artéfacts communs et leurs causes en radiographie conventionnelle

(70) (84) (111)

Artéfacts communs et leurs causes en radiographie conventionnelle			
Artéfacts	Causes		
	Réalisation des prises de vues	Développement automatique	Matériel défaillant
Film trop noir	<ul style="list-style-type: none"> * Surexposition liée à des <u>kV</u> ou <u>mAs</u> trop élevés. * <u>Distance foyer-film</u> trop faible. * Couple <u>film-écran</u> inadapté. * Mauvaise estimation de l'épaisseur de la zone étudiée. 	<ul style="list-style-type: none"> * <u>Surdéveloppement</u> lié à un temps passé dans la développeuse et/ou à une température de développement trop élevés. * Régénération excessive des <u>bains</u>. 	<ul style="list-style-type: none"> * <u>Minuterie</u> mal réglée. * <u>Alimentation électrique</u> : survoltage. * Absence du <u>filtre</u> du faisceau.
Film trop clair	<ul style="list-style-type: none"> * Sous-exposition liée à des <u>kV</u> ou <u>mAs</u> insuffisants. * <u>Distance foyer-film</u> trop grande. * Combinaison <u>film-écran</u> inappropriée. * Mauvaise estimation de l'<u>épaisseur</u> de la zone à radiographier. 	<ul style="list-style-type: none"> * <u>Sous-développement</u> lié à un temps passé dans la développeuse et/ou à une température de développement trop faibles. * Régénération insuffisante des <u>bains</u>. * <u>Révéléateur</u> épuisé. 	<ul style="list-style-type: none"> * <u>Tube à rayons X</u> : défaillant. * <u>Alimentation électrique</u> : baisse de tension. * <u>Minuterie</u> mal réglée. * Une ou plusieurs <u>valves</u> brûlées.
Manque de contraste	<ul style="list-style-type: none"> * Trop de <u>kV</u> et/ou pas assez de <u>mAs</u>. * <u>Rayonnements diffusés</u> : non utilisation d'une <u>grille</u> pour des <u>kV</u> élevés (zone à radiographier épaisse). * <u>Rayons rétrodiffusés</u> : cassettes sans dos plombé. 	<ul style="list-style-type: none"> * <u>Développeuse</u> : produits chimiques trop anciens, température et/ou temps de développement trop importants. * <u>Chambre noire</u> : fuite de lumière, puissance de l'ampoule ou filtre de l'éclairage inadaptés. 	<ul style="list-style-type: none"> * <u>Film</u> : conditions de stockage inadaptées (chaleur et humidité trop élevées => voile sur le film, exposition à la lumière), film trop vieux, ou exposé à la lumière lors de manipulations.
Manque de détail, image floue, déformée, grossie	<ul style="list-style-type: none"> * <u>Distance foyer-film</u> trop grande. * Flou dû à un mauvais contact <u>film-écran</u>, à un <u>mouvement</u> du patient, de la cassette ou du tube à rayons X. * Distorsion de l'image causée par un <u>faisceau de rayons X</u> non dirigé au centre du film et/ou non perpendiculaire à ce dernier. * <u>Double exposition</u>. 		

<p>Présence de grosses lignes sur l'ensemble de l'image</p>	<p>* Liée à l'utilisation d'une <u>grille</u> : distance foyer-film hors des limites de focalisation de la grille, grille non alignée avec le faisceau central de rayons X, grille mise à l'envers.</p>	<p>* Marques noires de pression causées par les <u>rouleaux</u> lorsque le film reste coincé dans la développeuse.</p>	<p>* <u>Cassette</u> endommagée.</p>
<p>Densité inconstante</p>	<p>* <u>Collimation</u> du faisceau primaire. * Système de <u>Potter-Bucky</u> mal utilisé. * <u>Cassette</u> : fuite de lumière. * <u>Bruit quantique</u>. * Contact <u>film-écran</u> variable.</p>		<p>* <u>Anode</u> endommagée.</p>
<p>Marques noires localisées</p>		<p>* <u>Films</u> se collant les uns aux autres pendant le développement. * Marques de pression des <u>rouleaux</u>.</p>	<p>* <u>Film</u> : - Eraflures (formes linéaires) ou pliures (formes en croissant) sur le cliché, traces des doigts de l'utilisateur ou de surfaces de la chambre noire (contaminées par le révélateur), bords des films noirs (étanchéité boîte de stockage ou cassette). - Electricité statique (par déplacements rapides du film, frottements, air trop sec dans la chambre noire) : marques arborescentes ou en pointillés sur le film.</p>
<p>Zones claires localisées</p>		<p>* Présence de <u>bulles d'air</u> sur le film pendant le développement.</p>	<p>* <u>Film</u> : éraflures, traces de doigts, éclaboussures de fixateur avant le développement, contamination par du produit de contraste présent sur la table ou la cassette. * <u>Ecran</u> : rayures. * <u>Cassette</u> : présence de poils (forme de poils sur le film) ou de poussières (taches sur le film).</p>
<p>Radiographie jaune</p>		<p>* <u>Fixation</u> : films se collant les uns aux autres, fixation incorrecte => âge du film. * <u>Lavage</u> : incomplet => présence de résidus de fixation qui s'oxydent en poudre jaune tout en détruisant l'image.</p>	

2.5.2 Radiographie numérique

(2) (31) (79) (87) (119)

2.5.2.1 *Equipement général*

(2)

Le **générateur** de rayons X est le même que celui utilisé en radiographie conventionnelle et les mêmes **grilles** peuvent également être employées. Avec le système de **radiographie informatisée (CR)** les cassettes contiennent une **plaque d'imagerie** plutôt qu'un couple film-écran et doivent être lues après exposition par un **lecteur**. En **radiographie digitale (DR)** la **plaque d'imagerie** est indépendante de toute cassette et envoie directement (à l'aide d'un câble la reliant à l'ordinateur) le signal mesuré à partir du faisceau de rayons X, **sans étape de lecture** préalable. A ce matériel de « base » vient s'ajouter une **interface** d'utilisateur, ou un **poste de travail** informatique permettant d'entrer les informations relatives au patient. La radiographie numérique nécessite en effet du matériel informatique et des logiciels pour visionner les images et les interpréter. Les images capturées, considérées comme acceptables, sont en général transférées dans un **appareil de stockage** puis interprétées sur une **station de travail** parfois différente avec des moniteurs de haute qualité permettant d'afficher les images en haute résolution. Une interface permettant la connexion entre le système d'imagerie et le réseau de la clinique est également nécessaire.

2.5.2.2 *Principes de bases*

(2)

2.5.2.2.1 Conversion analogique-numérique

L'**information initiale** acquise après l'exposition aux rayons X est sous forme **analogique**. Les désavantages de ce format sont la présence de **bruit électronique** pouvant altérer le signal et la nécessité de **convertir l'information électrique en nombres** (format digital) qu'un ordinateur peut comprendre. C'est pourquoi un **convertisseur analogique-digital (ADC)** prend des échantillons du flux continu du signal analogique obtenu par l'équipement d'imagerie médicale et les convertit en signaux digitaux (numériques) grâce à un **système binaire** (les ordinateurs utilisent ce système car il est le plus simple à utiliser avec les technologies électroniques actuelles. Dans ce système les seuls entiers utilisés sont le 0 et le 1).

Les inconvénients de ce passage en données digitales sont la potentielle **perte d'informations** liée à l'**échantillonnage** et la **quantification** (cette dernière est liée au fait qu'un signal analogique est continu alors que les données digitales ont une limite finie de possibilités). Cependant les ADC utilisés pour l'imagerie médicale ont des **taux d'échantillonnage** élevés et une puissance suffisante qui permettent de rendre ces erreurs négligeables.

Ensuite pour l'**affichage sur l'écran** du moniteur les **données digitales sont reconverties en signaux analogiques** par un **convertisseur digital-analogique (DAC)**.

2.5.2.2.2 Traitement informatique

Chaque **nombre digital** est représenté dans une image sous la forme de minuscules carrés appelés **pixels**. L'ordinateur attribue ainsi une **nuance de gris à chaque pixel** en fonction de la **valeur du nombre** le représentant. La mémoire se compose de **bits** (binary digits) groupés en **bytes** (1 byte=8 bits). La **profondeur d'un bite** représente le **nombre de valeurs disponibles pour définir chaque pixel** : N bites ont 2^N possibilités pour représenter les données. Ainsi un ordinateur dont les pixels sont définis avec une profondeur de 1 bit peut seulement avoir des valeurs de 0 ou 1 représentant du blanc ou du noir. En imagerie médicale cela signifie que 8 bits représentent une échelle de gris de 256 nuances (2^8) allant de 0 (noir) à 255 (blanc). Néanmoins comme l'œil humain ne discerne qu'un nombre limité de nuances, une profondeur de bits excessive ne permet donc pas d'améliorer l'information.

2.5.2.2.3 Affichage de l'image digitale

Toutes les images digitales sont composées d'un **réseau de lignes et de colonnes** (appelé **matrice**), formant des **pixels**. La **taille** des pixels joue un rôle important dans la **résolution spatiale**, car elle détermine la possibilité de **distinguer deux objets adjacents**. Une meilleure résolution est obtenue en augmentant le nombre de pixels sans changer le champ de vision. La **matrice** représente un **tableau de valeurs** avec un minimum et un maximum correspondant aux **intensités lumineuses** respectivement les plus noires et les plus claires sur le moniteur. L'apparence d'une image digitale en termes de clarté et de noirceur peut être **changée après son obtention**, ce qui est l'un des avantages majeurs par rapport à la radiographie conventionnelle.

2.5.2.3 **Présentation des deux grands types de radiographie numérique**

2.5.2.3.1 CR (Computed Radiography) : radiographie numérique utilisant les ERLM ou radiographie informatisée

- Principe

(2) (119)

Une **plaque d'imagerie** revêtue d'une couche de cristaux **photostimulables** est contenue dans une **cassette** à l'aspect similaire à celles utilisées en radiographie conventionnelle. Lorsque les **rayons X** atteignent la plaque, les **électrons**, contenus dans les cristaux, passent à un **niveau d'énergie supérieur** et sont **stockés**, formant ainsi l'**image latente**. La cassette exposée est ensuite placée dans un lecteur spécifique qui extrait puis scanne la plaque avec un **laser rouge**. Au cours du balayage les **électrons retrouvent leur niveau d'énergie initial** en émettant une **lumière phosphorescente**. Cette lumière est alors détectée par un système optique puis **amplifiée et convertie en signal électrique** (proportionnel à l'intensité lumineuse émise par la plaque) par des **tubes photomultiplicateurs** présents dans le lecteur. Le **signal analogique** obtenu est ensuite converti en **données digitales** (nombres) par un **ADC** qui établit la valeur de chaque pixel (entre 0 et 1023 pour un scanner de 10-bit et entre 0 et 4095 pour un scanner de 12-bit). Les données sont transmises *in fine* à l'**ordinateur** permettant ainsi la **lecture de l'image** sur l'écran et/ou son impression sur un film. L'image obtenue représente les données

collectées à partir de **chaque pixel ayant une nuance de gris** correspondant au **degré d'atténuation** des rayons X au niveau des différentes structures anatomiques traversées. A la fin de l'étape de balayage, la plaque est exposée à une **lumière fluorescente de haute intensité** qui **efface l'image latente** et la plaque est insérée dans la cassette.

- Matériel

(31) (119)

- ✓ Détecteur

- Rôle

Le détecteur est formé par la **cassette** dans laquelle est inséré l'**ERLM** (Ecran RadioLuminescent à Mémoire) ou **scintillateur**. Ce détecteur stocke provisoirement l'énergie des rayons X et donne l'**image dite latente**.

- Composition

Il est composé de **4 couches** successives : une couche **protectrice**, une couche active de **particules photoluminescentes** (cristaux composés de Chlorure ou Iodure de Baryum Fluoré dopé à l'Europium), un **support de film en polyéthylène** et une couche **opaque protectrice**. Quand il est exposé aux rayons X, l'**europium libère des électrons** qui sont ensuite piégés dans des **centres de fluorure**. L'image latente obtenue par ce mécanisme est stable durant les premières heures avec une perte d'environ 25 % de l'émission lumineuse après 8 heures.

- Entretien

- Les **cassettes** doivent être rangées verticalement en étant posées sur la largeur (ne pas les empiler à plat les unes sur les autres). Une cassette sale ne doit jamais être insérée dans le lecteur. Un nettoyage régulier (mensuel par exemple) et systématique en cas de souillure peut se faire à l'aide d'un chiffon doux imbibé d'alcool. Il est par ailleurs conseillé de réaliser un examen régulier des détecteurs afin de relever la présence d'éventuelles anomalies ou défauts à l'intérieur ou l'extérieur de la cassette.

- Les **écrans** : ils sont en général réutilisables de 1000 à 1500 fois si ils sont conservés en bon état (stockage loin d'une source de rayons X, effacement systématique des écrans non utilisés dans les 24 h) et manipulés avec précaution. L'écran ne craint pas la lumière naturelle, mais si celui-ci a été exposé et contient une image latente cette dernière sera effacée en cas de mise à la lumière (en cas de nécessité de sortir le film de la cassette, il faut donc le faire avec un éclairage réduit même si la chambre noire n'est pas obligatoire). Il est de bon usage de nettoyer mensuellement les écrans avec un chiffon doux et de l'éthanol anhydre avant de les replacer secs dans la cassette. Une manipulation précautionneuse et la vérification régulière de l'absence de défauts sont recommandées.

- ✓ Lecteur

- Rôle

Il convertit l'**image latente** en **signal analogique** (luminescence) puis en **signal digital**. La cassette est introduite dans l'appareil qui **retire l'écran** exposé puis le transfère à l'**unité de lecture** dont le laser efface (une fois la lecture effectuée) les données présentes sur l'écran (flash de haute intensité lumineuse émis par une lampe à sodium). Ensuite il recharge la cassette avec un écran vierge (selon les lecteurs il peut s'agir du même écran ou d'un autre stocké dans l'appareil).

- Composition

Cf. 2.5.2.3.1. paragraphe « Principe ».

- Entretien

Le lecteur doit être rangé à l'abri de la poussière et être inspecté de façon globale tous les jours. Toutes les semaines, il est préférable de nettoyer les filtres et les ventilateurs et de faire l'inventaire des films et des produits chimiques. Un nettoyage plus poussé effectué tous les mois (purge des réservoirs et nettoyage des roulements) ainsi qu'une vérification annuelle ou semestrielle effectuée par un technicien spécialisé permettent de vérifier et de conserver la qualité du matériel.

- ✓ Station de travail

Elle permet le **post-traitement** de l'image. Depuis 1990 et l'apparition des systèmes **PACS**, le besoin d'imprimer les images s'est considérablement réduit. Par ailleurs la diminution des coûts des ordinateurs et moniteurs de haute résolution a permis de remplacer l'impression sur film par des stations de travail de diagnostic sur ordinateur.

- ✓ Enregistreur ou reprographe de l'image sur un film

- Acquisition des images en pratique

(31) (119)

La position de l'animal et le centrage du faisceau de rayons X sont tout aussi critiques qu'en radiographie conventionnelle pour obtenir des images de bonne qualité diagnostique. L'utilisation du diaphragme et le contrôle des rayonnements diffusés restent également des points clés. Pour imager les parties les plus épaisses du corps, une grille peut être utilisée.

- ✓ Exposition

Le choix des **kV** et **mAs** dépend de la région radiographiée, de la nature de la lésion recherchée, de la taille de l'animal et de la vitesse de l'écran. En général les constantes à appliquer pour une bonne exposition sont les mêmes que celles utilisées pour un écran de rapidité 250 en radiographie conventionnelle. Le contraste de l'image dépendant en partie du logiciel de traitement de l'image, la sélection des kV est moins critique qu'en radiographie conventionnelle. Pour les extrémités des chevaux, une tension comprise entre 80 et 100 kV est en général un bon compromis entre les rayons X émis par le générateur et ceux absorbés par la plaque.

- ✓ Nombre S

Il s'agit d'une **valeur numérique** assignée à l'image par le lecteur et qui traduit la **quantité de photons X** ayant atteint la plaque. Il peut donc être considéré comme un **index d'exposition** du patient (avec un matériel standard $S < 200$ traduit une surexposition et $S > 400$ traduit une sous-exposition). S varie en fonction d'un grand nombre d'éléments : les valeurs de kV et mAs, le positionnement, la collimation, les paramètres de pré-lecture, le type de lésion...

L'interface utilisateur requière la sélection de la région anatomique radiographiée, dans le menu de pré-réglage, avant introduction de la cassette dans le lecteur. Les systèmes CR sont utilisables avec un **gain photomultiplicateur** fixe ou automatique :

- Les systèmes les plus simples et les moins chers utilisent un réglage de gain photomultiplicateur **fixe**. Lors des examens la **distance foyer-film** doit être constante et l'utilisation d'un **tableau de constantes** est nécessaire.

- Les systèmes les plus sophistiqués et coûteux comprennent un mode de lecture **automatique** qui fournit des informations de réglage pour le gain photomultiplicateur. Ce système optimise le noircissement de l'image quel que soit le niveau d'exposition aux rayons X et permet de

simplifier les tableaux de constante. Aussi avec un système portable la distance foyer-plaque n'est plus critique, car la variabilité de la dose de rayons X en fonction de la distance foyer-plaque est automatiquement compensée. En mode automatique un positionnement non optimal de la plaque par rapport à l'animal est une cause fréquente de l'apparition d'artéfacts non modifiables en post-traitement et donc de réexposition. En effet si la zone d'intérêt est excentrée ce mode ne la détecte pas et échantillonne l'ensemble du cliché. Comme ce dernier lui apparaît comme étant sous-exposé, le lecteur renvoie l'image avec un S automatique augmenté rendant alors la zone d'intérêt très dense et surexposée.

L'utilisation du **mode automatique** est intéressante, mais nécessite donc des conditions d'examen très standardisées et un positionnement optimal lors de la prise des clichés. Ce mode est donc largement utilisé en humaine. Le **mode fixe** quant à lui n'exige que peu de modifications de la technique radiographique par rapport à la radiographie conventionnelle. Ce dernier est donc le mode le plus **couramment utilisé en pratique vétérinaire équine**. Un des avantages majeurs des ERLM par rapport à la radiographie conventionnelle est que lorsque les paramètres d'exposition utilisés lors de la prise du cliché sont inadéquats, il est souvent possible d'augmenter la qualité de l'image au cours du post-traitement.

2.5.2.3.2 DR (Digital Radiography) : radiographie digitale

- Principes

(2)

Il existe des détecteurs (capteurs plans) indirects et directs. Les **détecteurs indirects** convertissent l'énergie des rayons X en lumière qui est ensuite transformée en signal électrique. Les **détecteurs directs** quant à eux convertissent directement l'énergie des rayons X en impulsion électrique. La plaque d'imagerie est soit fixe (intégrée dans la table) soit portable (aucune cassette n'est nécessaire), elle est reliée à l'ordinateur par l'intermédiaire d'un câble. Grâce à une numérisation immédiate de la lumière ou de l'impulsion électrique, l'image digitale est disponible après un très court délai (environ 4 à 10 secondes) sur l'écran de l'ordinateur. Si l'image est acceptable, elle est ensuite transférée dans l'unité de stockage.

- Matériel

(79)

- ✓ Détecteur indirect

C'est le plus communément utilisé. Il est composé d'un détecteur à **écran plat (photodiode) au silicone amorphe** (a: Si) couplé à un **scintillateur** (écran renforceur) contenant de l'**oxysulfure de gadolinium** (Gd₂O₂S) ou de l'**iodure de césium** (CsI). Les millions de **pixels** électroniques contenus dans l'écran au silicone sont stimulés par la **lumière** provenant du scintillateur qui **convertit l'énergie des rayons X en énergie lumineuse**. Le **silicone amorphe** des pixels, stimulé par la lumière, émet un **signal électronique** qui est amplifié et envoyé à un **convertisseur analogique-digital** puis à un **processeur** afin de produire l'image radiographique numérique. Le processus ne prend que quelques secondes pour afficher l'image sur le moniteur. Les images peuvent ensuite être transférées à une **station de travail** possédant des moniteurs de haute qualité.

- ✓ Détecteur direct

Il permet de **convertir l'énergie des rayons X en signal électronique** par l'intermédiaire d'un **photoconducteur** tel le **sélénium** par exemple. La finesse de l'image est améliorée, car il n'y a pas de rayonnement diffusé provoqué par l'interaction entre les rayons X incidents et le

scintillateur. Alors que les fortes expositions produisent des images de qualité similaire entre les détecteurs directs et indirects, le **contraste** et la **détection des détails** seraient **supérieurs** avec les systèmes directs lors d'**exposition limitée**.

- Acquisition des images en pratique

La technique est la même que celle employée en CR à ceci près que l'image s'affiche quasiment immédiatement sur l'écran de l'ordinateur, sans étape de lecture préalable. La cassette est donc immédiatement réutilisable pour un nouveau cliché sans avoir à être effacée (une unique cassette est nécessaire).

2.5.2.4 *Traitement des images*

(2) (31) (119)

Les **données digitales**, obtenues à partir de la plaque, sont envoyées à une **station de traitement** où elles sont évaluées et manipulées par un **logiciel** (fourni par le vendeur) avant d'apparaître à l'écran. Des **algorithmes spécifiques** sont prédéfinis par le vendeur et l'utilisateur en fonction des **régions anatomiques étudiées**. Ces algorithmes définissent la résolution en **contraste**, la **densité optique**, le **type de contraste** (linéaire ou non), la **résolution spatiale**, la **résolution en fréquence** ainsi que le **degré d'amélioration des contours**. Les systèmes stockent les données brutes de manière à pouvoir appliquer de nouveaux algorithmes si celui initialement sélectionné s'avère être inadapté.

Les étapes du post-traitement sont chronophages, mais peuvent permettre d'améliorer le potentiel diagnostique des images. Néanmoins elles sont aussi à même de masquer certaines informations si elles sont mal maîtrisées.

Le post-traitement se fait classiquement en deux temps :

- ✓ 1^{er} temps

Il s'agit de l'ajustement de l'image au niveau du **contraste** et de la **densité**. La large latitude d'exposition enregistrée par la plaque d'imagerie produit une image initiale possédant une **très grande gamme de niveaux de gris**, qui n'est pas aussi satisfaisante pour l'œil humain que les images de haut contraste. De nombreux **algorithmes** utilisés pour **réduire l'échelle de gris** sont disponibles et permettent de choisir le contraste de l'image pour différentes parties anatomiques. L'ordinateur réalise ainsi un **histogramme de l'image** qui identifie la valeur de chaque pixel puis le compare à un histogramme « idéal » qui a été spécifié au préalable pour un algorithme de traitement particulier. Ce procédé a donc pour but d'**ajuster le noircissement de l'image** afin de **compenser une potentielle sous ou surexposition**.

- ✓ 2^{ème} temps

Cette étape s'occupe de la **résolution spatiale** et améliore la **résolution des contours**.

- Le lissage de l'image est fréquemment appliqué en premier afin de **réduire la granularité des zones faiblement exposées**. Il compare la valeur de chaque pixel à celles des pixels adjacents puis remplace la valeur du pixel étudié par une valeur moyenne ou médiane. Cela a pour effet de réduire les variations au sein de l'échelle de gris, en travaillant pixel par pixel. Ce lissage est surtout utile pour des images présentant un bruit important obtenu à de faibles doses d'exposition, mais il peut diminuer la qualité du détail pour des images obtenues à plus forte exposition. Ce procédé doit être programmable en fonction du niveau d'exposition et de la partie du corps examinée.

- Le masque flou de filtrage améliore ensuite les contours des objets au niveau des frontières de haut contraste. Tout d'abord une copie floue de l'image originale est soustraite de cette dernière afin de produire une image des contours. La résolution spatiale de cette image doit être réglable puisque c'est elle qui détermine la taille des objets qui seront préférentiellement améliorés. Une fois améliorée l'image des contours est rajoutée à l'image initiale. Ce filtrage augmente le bruit de l'image, ainsi, si la résolution spatiale choisie est un peu trop petite ou le facteur d'amélioration trop élevé, des marbrures peuvent apparaître dans les zones uniformes et créer des artéfacts. De la même façon, si la zone est large et le facteur d'amélioration trop élevé, des zones noires artificielles peuvent être visibles le long des frontières de haut contraste. En conséquence, il est important que les sélections de la taille du masque et du facteur d'amélioration soient optimisées pour la région d'intérêt. Une limite de cet outil est donc que seuls les objets appartenant à une certaine gamme de tailles peuvent être améliorés sur une même image. Cette limite peut néanmoins être surmontée en retraitant l'image pour des objets plus grands ou plus petits afin de créer une série de plusieurs images. Une approche alternative est rendue possible par la *Multi-Scale Image Contrast Enhancement* (MUSICA), qui est un algorithme avancé de traitement des images, dont le procédé est indépendant de la taille des objets qui vont être améliorés.

La station de diagnostic doit comporter des logiciels de manipulation avec au minimum :

- Rotation/réalignement des images.
- Ajustement de la luminosité et du contraste.
- Agrandissement de l'image (zoom).
- Inversion de l'image (des couleurs).
- Outils de mesure.

2.5.2.5 *Archivage, transmission des données*

(2) (31) (79) (119)

2.5.2.5.1 Stockage des images

(119)

Après le post-traitement, l'image brute et l'image traitée doivent être **archivées**. Compte tenu de la taille importante des images, des algorithmes de compression doivent être utilisés pour diminuer la taille du fichier image. Le stockage se fait sur support informatique et l'envoi peut se faire par courrier électronique. Un plan d'archivage permanent doit être déterminé. Le plus souvent l'archivage se fait sur des disques durs de haute capacité, les fichiers les plus anciens peuvent être conservés sur des DVD, des bandes numériques, ou à l'extérieur du site grâce à un fournisseur de stockage d'archives. L'impression sur des films avec une imprimante médicale de haute qualité est aussi possible, mais très coûteuse. Une méthode alternative consiste à imprimer les images sur du papier photographique avec une imprimante à jet d'encre, la qualité de l'image reste inférieure, mais est souvent suffisante pour imprimer des images post-traitées.

2.5.2.5.2 Archivage et système de communication

(2)

Un système complet, comprenant **matériel informatique et logiciels** dédiés à la radiographie numérique, permet l'archivage des images et la communication (**PACS** : *Picture Archiving and*

Communication System). Il permet la **capture** des images, leur **affichage** et **stockage** ainsi que les fonctions de **communication**. Des outils utiles (zoom, ajustement du contraste et de la luminosité, annotations, corrections, mesures) sont inclus. Le matériel informatique est souvent la part la plus coûteuse du PACS.

2.5.2.5.3 Communication des images digitales en médecine

(79) (87)

Le **DICOM** est un **format d'image spécifique et standard** (donc identique pour toutes les images médicales) qui a été conçu afin d'assurer la compatibilité entre les différents appareils d'imagerie médicale et systèmes PACS. Les informations concernant le patient, l'équipement, les réglages de la machine et les données des images sont contenues dans les fichiers DICOM.

Les logiciels DICOM mettent également à disposition des outils servant à la modification des images médicales et permettent de sauvegarder les images en format de fichiers standards (jpeg, tiff, bmp). En plus de l'aspect pratique et flexible de ce format universel, le DICOM permet la protection des données en participant à assurer l'authenticité des images (les images DICOM sont plus difficiles à éditer que les images en format classique.). La conformité au DICOM n'est pas obligatoire en médecine vétérinaire, mais compte tenu des avantages non négligeables de ce format tous les systèmes devraient idéalement fournir une déclaration de conformité DICOM.

2.5.2.5.4 Système d'information en radiologie

(2)

Un **RIS** (*Radiology Information System*) est un logiciel qui coordonne les **manipulations**, les **distributions** et le **stockage** des **données et images** concernant un patient donné. Le système comprend la plupart du temps les ordonnances, les rapports et le suivi des images. Un **HIS** (*Hospital Information System*) est un logiciel qui coordonne les aspects administratifs, financiers et cliniques de l'hôpital. Cela permet de diminuer la quantité de films et de papiers utilisés. L'intégration entre les 2 systèmes est primordiale pour maximiser l'efficacité et améliorer le suivi entre les images et les autres données portant sur un même patient.

2.5.2.6 **Notion de qualité des images obtenues et artefacts**

(2) (31) (79) (119)

Elle dépend bien sûr de la **position du patient**, de la **cassette** et du **faisceau de rayons X**. Une fois ces paramètres ajustés correctement, des facteurs extrinsèques au positionnement entrent en jeu, les deux principaux sont la **résolution spatiale** et la **résolution en contraste**.

2.5.2.6.1 Qualité

- Résolution spatiale

C'est la capacité d'un système d'imagerie à **discerner deux petits objets adjacents de contraste élevé**. Elle est déterminée par la **taille de la matrice** (produit du nombre de pixels par ligne et du nombre de pixels par colonne). Pour un écran d'une taille donnée, plus le nombre de pixels par image est grand (et donc plus la **taille du pixel** diminue) plus la résolution est grande. En radiographie conventionnelle, la résolution spatiale est exprimée en **nombre de paires de lignes visibles par millimètre** (pl/mm) et en radiographie numérique en **MTF**

(*Modulation Transfer Function*). Ce critère (pl/mm) est calculé en radiographiant des modèles formés de séries de lignes parallèles qui deviennent de plus en plus proches les unes des autres. En conséquence plus le pl/mm est grand plus la définition de l'image est bonne. En **radiographie conventionnelle** la résolution spatiale varie selon les caractéristiques du film et la combinaison film-écran, mais varie le plus généralement entre **5 et 15 pl/mm**. En **radiographie numérique** la résolution spatiale est limitée par la taille des pixels du détecteur qui peut aller de 100 à 200 μm correspondant respectivement à **5 et 2,5 pl/mm**. Cette perte de résolution spatiale n'est pas considérée comme importante au niveau clinique compte tenu de l'amélioration significative de la résolution en contraste obtenue en radiographie numérique.

- Résolution en contraste

C'est la capacité d'un système d'imagerie à **discerner deux petits objets adjacents de contraste faible**. Chaque **pixel** possède un **niveau de gris donné** (nombre de bits du pixel). Sur une image l'**ensemble des niveaux de gris** disponibles (nombre de niveaux de gris exprimé en bits) définit la **gamme dynamique ou latitude** de l'image. Au sein de cette gamme la **grandeur** et la **répartition des valeurs** de niveaux de gris rendent compte de la **résolution en contraste**. Par exemple un niveau de gris de 1 bit correspond à une image en noir et blanc (image à 2 niveaux) et les systèmes de radiographie numérique ont à l'heure actuelle des niveaux de gris de 10 à 12 bits (soit 2^{10} à 2^{12} ou 1024 à 4096 niveaux de gris). La **latitude** représente ainsi la **gamme d'exposition** permettant d'obtenir une **image de qualité diagnostique**. En radiographie numérique la large latitude et la possibilité d'ajuster le contraste et la noirceur de l'image après l'exposition sont des avantages majeurs. Cela permet en effet de bien visualiser à la fois les tissus mous et les tissus durs sur un même cliché, sans répéter les prises de vues comme c'est le cas en radiographie conventionnelle.

- Bruit de l'image

Le bruit résulte d'une **trop faible quantité de rayons X** atteignant la plaque ou le détecteur et conduit à l'obtention d'une image **granuleuse** ou **marbrée**. Il est lié à l'**efficacité de détection quantique** qui décrit le rendement de la conversion analogique-digital du signal entrant par rapport au signal sortant. Plus le rendement et/ou l'exposition sont faibles plus le bruit est important. L'augmentation du gain électronique à l'intérieur du lecteur, rendue nécessaire lors de faible exposition, tend à augmenter le degré de bruit du système. Pour maintenir un détail acceptable, l'exposition en CR doit être légèrement supérieure à celle utilisée en FSR pour un écran de 400. Les dernières générations de plaques ont un revêtement transparent à base de matière plastique recouvrant les deux côtés de la couche photosensible. Ce système permet d'augmenter la quantité de radiation absorbée et donc de diminuer l'exposition aux rayons X, tout en conservant la qualité de l'image. Ces plaques doivent être lues par un lecteur spécial possédant deux guides de lumière.

Le bruit provenant de la scintillation et des composants électroniques peut également altérer la qualité de l'image.

2.5.2.6.2 Artéfacts

Tableau 6 : Artéfacts communs et leurs causes en radiographie numérique

(2) (31) (79) (119)

Artéfacts communs et leurs causes				
Artéfacts	Causes			
	Prises des clichés	Lecture, impression	Post-traitement	Matériel
Image bruitée, granuleuse	* <u>Sous-exposition</u> .	* <u>Effet Compton</u> qui augmente avec l'épaisseur de la zone radiographiée, la taille du champ et les kV.	* Certaines conditions de <u>filtrage</u> .	* <u>Stockage</u> prolongé ou <u>exposition</u> à des radiations autres que celles provenant de l'appareil à rayons X.
Image fantôme				* <u>Effacement</u> absent ou incorrect de la plaque avant utilisation.
Points ou lignes blancs		* Présence de poussières sur le <u>miroir</u> qui dirige le laser. * Pousière sur le <u>guide de la lumière</u> du lecteur. La différence se fait en regardant si ces lignes sont présentes ou non sur l'écran de l'ordinateur.		* <u>Poussières ou rayures</u> => points blancs ou lignes blanches sur l'image finale accentués par le filtrage spatial.
Craquelures				* <u>Contraintes mécaniques</u> subies par les écrans (mauvaises manipulations).
Bandes de modulation		* <u>Désynchronisation</u> entre la vitesse de balayage du laser et celle de défilement de la plaque.		
Lignes noires au niveau des interfaces des contours			* Paramètres de <u>filtrage</u> trop grands => artéfacts à la limite des structures de densités très différentes.	
Artéfacts divers	* Orientation de la <u>cassette</u> (plaque à l'envers), <u>double exposition</u> .	* <u>Effets de « moiré »</u> liés à une interférence entre les fréquences spatiales de l'image et la fréquence du balayage de lecture. * <u>Effets de grille</u> . * <u>Artéfacts liés au système de pré-lecture ou de calibration</u> .	* Les structures de contraste bas et sans contours nets ne peuvent être supprimées.	

2.6 Avantages et inconvénients de la radiographie conventionnelle et de la radiographie numérique

Tableau 7 : Avantages et inconvénients en radiographie conventionnelle

(31) (119)

Radiographie conventionnelle analogique	
<u>Avantages</u>	<u>Inconvénients</u>
Le film conventionnel possède une excellente résolution spatiale (détails bien visibles).	Latitude d'exposition du couple écran-film limitée et non linéaire (gamme d'exposition dans laquelle le couple écran-film donne une image interprétable) rendant la qualité du cliché très dépendante de la technique radiographique. Par ailleurs la variabilité importante de l'épaisseur de la partie radiographiée peut conduire à la surexposition des parties les plus minces et la sous-exposition des parties les plus épaisses.
Le support matériel se révèle parfois plus pratique que le support informatique et permet la lecture du cliché même sans l'ordinateur.	Le film peut être mal rangé, égaré, altéré, ou non rapporté par le propriétaire lors des consultations. La copie du cliché n'est jamais exactement conforme et la diffusion du cliché (entre vétérinaires par exemple) est plus délicate.
Qualité des images plus que satisfaisante (par rapport à la radiographie numérique) si la technique radiographique est optimale.	Modification des clichés impossible après exposition, mesures à faire manuellement.
	Archivage et transmission des clichés plus fastidieux.
	Développement des clichés impossible en ambulante et de durée souvent supérieure à celle des techniques numériques.
Coût limité de l'installation.	Nécessité d'acheter des films , de posséder une chambre noire et une développeuse utilisant la chimie humide : coût, place, gestion, maintenance.
	Le couple écran-film remplit à lui seul trois fonctions : enregistrement, affichage et stockage des images.

Tableau 8 : Avantages et inconvénients de la radiographie numérique

(2) (79) (119)

Radiographie numérique	
<u>Avantages</u>	<u>Inconvénients</u>
Répétition des clichés moins fréquente (réglage des paramètres d'exposition moins critique et qualité des images supérieure) => amélioration de la productivité et de la radioprotection.	Résolution spatiale inférieure à celle obtenue en radiographie conventionnelle : inconvénient néanmoins peut être important sur le plan clinique et diagnostique, car compensé par les autres avantages.
Large latitude d'exposition : la réponse du détecteur est linéaire pour une large gamme d'exposition => impact moins important des sur et sous-expositions, bonne visualisation possible des tissus mous et durs sur un même cliché.	Une sous-exposition trop importante peut conduire à une augmentation du bruit et à la perte de détails nuisant au diagnostic. La surexposition peut empêcher de bien visualiser les aires de tissus mous les plus fines.
Post-traitement des images automatique et/ou manuel (algorithmes adaptés aux différentes parties anatomiques et outils de manipulation des images) => amélioration de la qualité de l'image (résolution spatiale et en contraste, bruit, gamme dynamique, contours) et de sa lecture (zoom, outils de mesures...).	
Relecture, archivage et transmission des images facilités.	
Archivage digital : système PACS, CD-Rom, DVD, bandes magnétiques, disques durs, impression sur film.	
Sécurité (perte et altération) et confidentialité des données à condition de disposer d'un système fiable et performant.	Sécurité et confidentialité des données pouvant être diminuées si système utilisé non optimal.
<i>A priori</i> assez rentable sur la durée.	Coût à l'achat considérable, maintenance annuelle chère. Coût plus réduit lorsque l'appareil à rayons X n'a pas besoin d'être changé lors du passage conventionnel à numérique.
Plus de film , de chambre noire et de développeuse utilisant la chimie humide.	
Fonctions d'enregistrement, d'affichage et de stockage des images séparées (plaque, lecteur (CR), station de travail). => Permet l'optimisation de chacune des étapes.	

Tableau 9 : Avantages et inconvénients de la radiographie informatisée ou CR

(31) (119)

Radiographie informatisée (Computed Radiography)	
<u>Avantages</u>	<u>Inconvénients</u>
Obtention des images sur place en ambulante si possession d'un système portable .	Obtention des images au retour au cabinet si lecteur fixe .
Il est <i>a priori</i> possible de conserver , sans perte significative de qualité et d'informations, l' image latente un à deux jours après exposition aux rayons X avant de la lire, ce qui peut se révéler utile en pratique équine ambulatoire.	Plaques d'imagerie fragiles si sorties des cassettes, risque d'importation de salissures dans le lecteur par l'intermédiaire de la cassette, nécessité de protéger la cassette des contaminants divers (en particulier, liquides, tels le sang et l'urine).
Cassette : taille et utilisation identiques à celles des cassettes utilisées en radiographie conventionnelle.	Pour obtenir un même niveau de détail qu'en radiographie conventionnelle, il peut parfois être nécessaire d' augmenter les constantes (par rapport à un couple film-écran de rapidité ≥ 400). Cet inconvénient est limité avec les dernières générations de plaques.
Résolution variable car les plaques ne se composent pas de pixels individuels, mais sont numérisées. La possibilité d'ajustement de la taille du faisceau laser et du taux de numérisation permet de produire des images de résolution standard ou haute.	Entraînement et expérience nécessaires pour une utilisation optimale du matériel.
Economies lors de l'utilisation : absence de film, de procédés chimiques, de pochettes et de procédures de classement papier. Investissement rentable à terme.	Investissement lors de l'installation.
	Temps d'acquisition des images variable selon les lecteurs : de 10 secondes à 3 minutes (fonction de la génération et du coût du lecteur).

Tableau 10 : Avantages et inconvénients de la radiographie digitale ou DR

(79)

Radiographie digitale (Digital Radiography)	
<u>Avantages</u>	<u>Inconvénients</u>
<p>Vitesse : obtention quasiment immédiate des images (quelques secondes) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - décision de répétition des clichés rapide, - décisions cliniques facilitées, - implication du propriétaire (visualisation du cliché), - productivité augmentée (nombre d'image/temps passé). 	<p>Coût initial et risque d'endommager le matériel en pratique équine (nécessite de prendre une bonne assurance).</p>
<p>Qualité de l'image supérieure à celle obtenue par CR.</p>	<p>Qualité de l'image dépendante :</p> <ul style="list-style-type: none"> - du matériel utilisé : matériel informatique, logiciels, techniques de post-traitement disponibles, - de l'utilisateur : technique de radiographie, utilisation du système.
	<p>Lors du passage à la radiographie digitale : temps passé à apprendre le fonctionnement, à se l'approprier et à l'optimiser.</p>
	<p>Attentes du propriétaire (++) ambulante) : la visualisation instantanée de l'image entraîne une demande de diagnostic/pronostic/thérapeutique rapide alors qu'une interprétation rigoureuse ne peut se faire que sur un écran de haute qualité parfois non disponible en ambulante (écran au cabinet).</p>
	<p>Détecteur relié à l'ordinateur portable par un câble pouvant représenter un danger potentiel et une manipulation plus délicate du détecteur.</p>
	<p>Détecteur : taille fixe, poids supérieur à celui d'une cassette classique (nécessite donc un temps d'adaptation, mais <i>a priori</i> ne constitue pas un souci majeur à terme).</p>

2.7 Lecture et interprétation des radiographies

(15)

2.7.1 Nomenclature des projections

Les projections sont nommées en fonction de la **direction** avec laquelle le faisceau de rayons X pénètre dans la région étudiée, du **point d'entrée au point de sortie**. Les vues obliques sont nommées de la même manière en insérant le **degré d'angle** utilisé entre les directions concernées.

2.7.2 Positionnement de l'image radiographique lors de la lecture

L'image doit toujours être orientée de la même façon afin de faciliter la détection des anomalies et la connaissance de l'anatomie radiographique normale pour une projection donnée. Les règles sont les suivantes :

- * Pour les vues latérales : la partie **crâniale** (rostrale) de l'animal doit être placée sur la **gauche**.
- * Pour les vues ventro-dorsales ou dorso-ventrales de la tête, du cou ou du tronc : la partie **crâniale** (rostrale) de l'animal doit être placée vers le **haut** avec le **côté gauche** de l'animal à **droite**.
- * Pour les vues latéro-médiales, médio-latérales et obliques des extrémités : la partie **proximale** du membre se place vers le **haut** et la partie **crâniale** ou **dorsale** sur la **gauche**.
- * Pour les vues caudo-crâiales (palmaro-dorsales, plantaro-dorsales) et crâio-caudales (dorso-palmaires et dorso-plantaires) des extrémités : la partie **proximale** du membre se place vers le **haut** et il n'y a pas de convention précisant le placement des parties latérale et médiale. Néanmoins il est **indispensable de toujours placer les clichés de la même façon**.

Remarque : la **portion latérale** (ou **dorsale** s'il s'agit d'une vue latéro-médiale ou médio-latérale d'un membre) de l'image est indiquée par la présence d'un marqueur métallique sur la radiographie.

2.7.3 Evaluation de la qualité du cliché

Il est avant tout nécessaire de lire les images dans un **environnement adapté** : pièce calme, sombre, avec un négatoscope ou un écran d'ordinateur approprié. Une **lampe** doit être disponible car elle permet d'apporter un éclairage supplémentaire pour l'évaluation des **zones**

surexposées ou de **contraste élevé** et qu'elle force le lecteur à se concentrer sur des **zones de taille réduite** en évaluant plus précisément la radiographie portion par portion.

Pour apprécier convenablement la qualité d'un cliché, il faut :

* Evaluer la position du faisceau de rayons X, de la cassette et du patient : toute la **région d'intérêt** ainsi que ses limites anatomiques avec les tissus adjacents doivent être visibles. Il ne doit pas y avoir de **rotation** ou d'**inclinaison** de la région examinée.

* Evaluer la technique radiographique : pour cela il est nécessaire de se poser plusieurs questions :

- La radiographie est elle trop **sombre** ou trop **claire** ?

- Est-ce lié à l'affection de l'animal ou à un problème technique ?

S'il s'agit d'un souci technique et que l'image est trop sombre, il faut alors répéter l'examen en diminuant les kV de 15 % ou les mAs de 50 %. Si au contraire elle est trop claire il faut augmenter les kV de 15 % ou multiplier les mAs par 2 (il est conseillé d'éviter de modifier les mA et les kV en même temps).

* Evaluer les autres erreurs techniques et les artéfacts pouvant compromettre la lecture (problèmes lors du développement des films le plus souvent).

* Passer continuellement en revue l'anatomie radiographique normale du cliché : analyser **l'ensemble de la radiographie** et toujours procéder de la même manière afin de se familiariser au maximum avec l'anatomie radiographique normale.

Les critères de qualité d'une radiographie et les artéfacts les plus fréquemment rencontrés ont été détaillés dans les paragraphes précédents.

2.7.4 Interprétation

2.7.4.1 Bases

2.7.4.1.1 Prérequis et notion de perception

L'évaluation doit être basée sur une **méthode d'étude constante**. L'**expérience** est une des alliées les plus précieuses pour lire correctement un cliché. S'habituer à se poser des questions sur les structures présentes et ne pas hésiter à se faire une liste afin de ne pas oublier d'éléments importants. De bonnes connaissances sont indispensables. Il faut faire particulièrement attention aux **biais de perception**, en gardant en tête que la radiographie est une représentation en **2-D** d'une zone anatomique. Lors de la lecture il faut également se méfier des anomalies trop évidentes qui ne sont parfois que des artéfacts de perception dus par exemple à des **effets d'optique** (lignes apparaissant courbées alors qu'elles sont droites, formes modifiées...). Ce phénomène ne peut être minimisé que par l'expérience qui permet d'avoir le recul nécessaire pour distinguer les fausses impressions de réelles anomalies.

2.7.4.1.2 Importance de la standardisation

Comme expliqué précédemment les clichés doivent toujours être **disposés et interprétés** de la **même façon**. Il est également indispensable de toujours réaliser au moins **deux vues orthogonales** de la structure étudiée, voire des **vues supplémentaires** pour les régions les plus

complexes (crâne, carpe et tarse) et d'utiliser des **projections standardisées**. Une fois le cliché obtenu il faut être capable d'en estimer la **qualité** et ensuite, si cette dernière est suffisante, de pouvoir **détecter et interpréter les éventuelles anormalités** en limitant le nombre de faux positifs et faux négatifs.

Il est pour cela nécessaire de maîtriser l'**anatomie radiographique normale** ainsi que les **variations anatomiques** (physiologiques et pathologiques) pouvant survenir.

2.7.4.1.3 Erreurs fréquemment commises

Les erreurs commises lors de l'interprétation sont de différentes natures :

* Erreurs de recherche : la **lésion n'est pas détectée**. Ces erreurs sont parfois dues au fait que l'on a tendance à rechercher les lésions surtout en périphérie du cliché et peuvent aussi être la conséquence d'une recherche trop axée sur ce que l'on s'attend à trouver (court-circuit d'une lecture complète et globale de la radiographie).

* Erreurs de reconnaissance/d'identification : la lésion est bien relevée, mais sa nature est **interprétée de façon erronée**.

* Erreurs liées à la prise de décision : l'importance qui est accordée à la lésion est trop importante ou au contraire sous-estimée.

* Erreurs égocentriques : en surestimant ses capacités et en ne suivant pas les informations reconnues, des erreurs peuvent être commises. Ces dernières peuvent être limitées en multipliant le nombre de lecteurs d'un même cliché.

2.7.4.2 **Etapes de lecture**

2.7.4.2.1 Identification et évaluation de toutes les structures

Il faut toujours faire une **lecture complète** même si une lésion est identifiée d'entrée de jeu afin de ne rien oublier. Il faut également bien faire attention à ce que pour un examen donné **toutes les projections nécessaires** soient réalisées et lues avant d'émettre une conclusion finale. L'évaluation de l'ensemble des structures présentes sur le cliché permet de distinguer celles qui sont normales de celles qui ne le sont pas afin de pouvoir **lister l'ensemble des anomalies existantes**.

2.7.4.2.2 Caractérisation des anomalies détectées

Pour chaque structure anormale identifiée, il faut définir ses **caractéristiques radiographiques** : taille, forme, nombre, localisation, contours, opacité... Il s'agit d'une étape importante, car toutes ces données peuvent orienter le praticien dans sa démarche diagnostique.

2.7.4.2.3 Mise en relation avec le contexte clinique

Une fois les anomalies relevées et caractérisées, il est nécessaire de les hiérarchiser et d'établir des liens entre elles et avec les signes cliniques observés.

Les anormalités corrélées au contexte clinique peuvent être classées en trois groupes :

- « **Fenêtre** » : la lésion est considérée comme **ancienne** et **sans répercussion** au moment de l'examen.

- « Miroir » : lésion **significative** et en lien avec le problème clinique **actuel**.

- « Image » : lésion **supposée être significative** au moment de l'examen et être **prédictive de l'évolution future** de l'affection.

Il est important lorsque cela est possible de **situer la lésion dans le temps** et son **impact** probable sur le **plan clinique**. La sensibilité et la spécificité de la lésion observée vis-à-vis de telle ou telle affection doivent également être considérées. Grâce à tous ces éléments radiographiques, au contexte clinique et aux connaissances en pathologie et en épidémiologie, un **diagnostic différentiel avec hiérarchisation des hypothèses pourra** être établi.

Une répétition des radiographies dans le temps peut être nécessaire, si l'anomalie clinique observée n'est pas encore corrélée à une anomalie radiographiquement visible, ou encore pour suivre l'évolution d'une affection (amélioration ou aggravation des lésions radiographiques) afin d'évaluer le pronostic, de décider de la mise en place, de la modification ou de l'arrêt d'un traitement ou encore de revenir sur ses hypothèses. Il est également important de savoir quels autres examens sont justifiés et pertinents à réaliser pour aller plus loin lorsque la radiographie ne permet pas à elle seule d'établir de manière suffisamment précise le diagnostic.

3 ANATOMIE DU JARRET

(6) (7) (33) (35) (36) (69)

3.1 Introduction

La bonne connaissance des **bases anatomiques** est un prérequis nécessaire et fondamental à la maîtrise des applications cliniques et radiologiques en médecine vétérinaire. Il est en effet indispensable de bien connaître l'anatomie normale des structures étudiées afin de pouvoir comprendre par la suite les mécanismes physiologiques et pathogéniques pouvant s'y dérouler, de mieux appréhender leur apparence radiographique et donc *in fine* d'optimiser la qualité des démarches diagnostiques et thérapeutiques.

Ce chapitre a donc pour but de rappeler les bases anatomiques de la région du jarret du cheval, en présentant successivement les éléments essentiels d'**ostéologie**, d'**arthrologie** et de **myologie**, ainsi qu'en rappelant brièvement quelques notions concernant l'**angiologie** et la **neurologie** de cette zone anatomique.

Les paragraphes qui vont suivre sont illustrés dans le support pédagogique à l'aide de schémas réalisés pour la majorité d'entre eux par le Docteur Robert BARONNE et issus de ses traités d'anatomie comparée des mammifères domestiques (6) (7). Dans un but de clarté, de cohérence avec les données apportées dans cette thèse et de concordance avec les nomenclatures actuelles, ces schémas ont été retravaillés, colorés et re-légués. Afin de rendre les informations plus lisibles et l'apprentissage plus aisé, un code couleur reposant sur les règles suivantes a été suivi : chaque os, muscle ou ligament est coloré d'une couleur propre qui reste la même tout au long de la thèse. Des couleurs supplémentaires viennent sur certains schémas plus détaillés préciser des zones particulières, par exemple pour un os : les sillons tendineux, tubérosités, surfaces articulaires... Par ailleurs, lors de leur étude, les surfaces articulaires d'un os donné sont colorées de la couleur de l'os auquel elles répondent. Ces zones particulières ne sont pas colorées sur tous les schémas afin de conserver une lisibilité maximale. Dans tous les cas une même couleur est toujours utilisée pour désigner une structure donnée.

En anatomie des **termes directionnels**, permettant de situer les structures anatomiques entre elles et des **plans de coupe**, sont utilisés. Un schéma présent dans le support pédagogique rappelle leur nom et la façon de les utiliser. A noter que l'on utilise les termes crânial et caudal lorsqu'il s'agit du tibia, mais dorsal et plantaire pour les structure situées distalement à ce dernier.

3.2 Ostéologie du jarret

(6) (36) (69)

3.2.1 Situation du jarret dans la jambe du cheval

Le jarret est formé par les **six os du tarse** formant un massif compact qui vient s'articuler en partie proximale avec l'**épiphyse distale du tibia** et en partie distale avec les **épiphyses proximales des os métatarsiens**. Sur une radiographie du jarret apparaissent donc les os du tarse, mais aussi les extrémités tibiales et métatarsiennes adjacentes. Il est donc important de maîtriser l'anatomie de l'ensemble de ces structures.

Tableau 11 : Dénominations des os

Dénominations actuelles, noms latins et correspondances avec les anciennes appellations en ostéologie		
Dénominations actuelles	Noms latins	Anciennes appellations
Tibia	<i>Tibia</i>	
Fibula	<i>Fibula</i>	Péroné
Talus (ou os tarsal tibial)	<i>Talus</i> <i>Os tarsi tibiale</i>	Astragale
Calcaneus (ou os tarsal fibulaire)	<i>Calcaneus</i> <i>Os tarsi fibulare</i>	Calcaneum
Os central du tarse	<i>Os tarsi centrale</i>	Scaphoïde Naviculaire
Os tarsal I	<i>Os tarsal primum</i>	Cunéiforme médial
Os tarsal II	<i>Os tarsal secundum</i>	Cunéiforme intermédiaire
Os tarsal I+II	<i>Os tarsal tertium</i>	Cunéiforme médio-intermédiaire Petit cunéiforme
Os tarsal III	<i>Os tarsal quartum</i>	Cunéiforme latéral Grand cunéiforme
Os tarsal IV	<i>Os tarsal IV</i>	Cuboïde
Processus coracoïde	<i>Processus coracoideus</i>	Apophyse ou bec du calcaneum

3.2.2 Composition du jarret

On distingue sur une radiographie du jarret **10 os** différents et **5 grandes articulations** :

* Contrairement aux carnivores et aux ruminants, seul le **tibia** participe à la formation du jarret chez le cheval. En effet chez cette espèce, la **fibula est atrophiée**, seul son corps qui reste rudimentaire et l'extrémité proximale sont présents. L'extrémité distale de la fibula est confondue avec le tibia et forme la **malléole latérale**.

* Les six os du tarse sont disposés sur **deux rangées** (de la plus proximale à la plus distale) entre lesquelles s'intercale l'**os central du tarse** :

- **Rangée proximale ou crurale** : composée du **talus** et du **calcanéus**, elle s'articule avec le tibia pour former l'**articulation tibio-tarsienne** ou **cruro-tarsienne**. Le talus et le calcanéus se répondent entre eux grâce à l'**articulation talo-calcanéenne**.

- **Pièce intermédiaire** : composée de l'**os central du tarse**, elle s'articule avec les os des rangées proximale et distale pour former respectivement les **articulations intertarsienne proximale** et **intertarsienne distale**.

- **Rangée distale ou métatarsienne** : composée des **os tarsal I+II**, **tarsal III** et **tarsal IV**, elle s'articule avec le tibia pour former l'**articulation tarso-métatarsienne**.

Au sein du tarse les différents os adjacents s'articulent à la fois entre eux et entre les rangées, de façon complexe.

* Chez le cheval le métatarse est composé de trois os : un **métatarsien principal** ou métatarsien **III** complété de chaque côté de sa surface plantaire proximale par **deux métatarsiens rudimentaires** plus courts (**latéral** ou **IV** et **médial** ou **II**). Les extrémités proximales de ces trois os viennent s'articuler avec les os de la rangée distale du tarse.

3.2.3 Description individuelle des différents os composant le jarret

3.2.3.1 *Partie distale du tibia*

- **Conformation** : l'extrémité de cet os est un peu aplatie dans le sens crânio-caudal.

- **Surfaces articulaires** : elles répondent au **talus** et sont représentées par la **cochlée tibiale** (*cochlea tibiae*) constituée de deux **gorges parallèles**, obliques en direction crânio-latérale (25 à 30° par rapport au plan sagittal) et séparées par un relief médian, appelé **tenon intermédiaire**. Ce dernier est plus saillant du côté crânial que caudal, il est échancré par une fossette synoviale nette chez le cheval. La cochlée est encadrée par deux malléoles : la **malléole latérale** (*malleolus lateralis*) d'origine fibulaire, qui est annexée au tibia, la **malléole médiale** (*malleolus medialis*) plus volumineuse appartenant au tibia. Chacune de ces deux malléoles est parcourue par un sillon de passage tendineux longitudinal appelé **sillon malléolaire** (*sulcus malleolaris*).

- **Insertions musculaires** : absence d'insertion musculaire sur l'extrémité distale.

- **Développement** : le tibia se développe à partir d'un centre diaphysaire et de trois centres épiphysaires propres au tibia : deux pour l'extrémité proximale et **un pour l'extrémité distale**. Le cheval possède également, pour l'extrémité distale du tibia, un **centre épiphysaire supplémentaire** d'origine fibulaire. L'épiphyse distale du tibia et le centre malléolaire de la

fibula (épiphyse distale de la fibula) se développent à la **fin du huitième mois de gestation**. Leurs soudures sont respectivement achevées vers l'âge de **deux ans** et de **trois à cinq mois**.

3.2.3.2 *Os du tarse*

- **Conformation** : les os du tarse forment un massif osseux allongé et irrégulier au sein duquel la mobilité entre les os est très limitée. A la jonction entre les os central du tarse, tarsal IV et tarsal III s'ouvre un canal vasculaire : le **canal tarsien** (*canalis tarsi*) ou **canal perforant du tarse** (*canalis tarsi perforans*).

- **Développement** : chaque os du tarse se développe à partir d'un **unique centre d'ossification** à l'exception du calcaneus qui possède en plus un **noyau épiphysaire pour sa tubérosité** et de l'os tarsal I+II qui résulte des centres d'ossification des os tarsal I et tarsal II. Lors du **quatrième** mois de gestation apparaissent les centres d'ossification du **calcaneus** et du **talus** puis à la fin du **cinquième** mois celui de l'**os tarsal IV**. Durant le **sixième** mois celui de l'**os central du tarse** et enfin au cours du **septième** mois celui de l'**os tarsal III**. Les noyaux des **os tarsal I et II** apparaissent au cours du **dernier mois** et fusionnent avant la naissance, alors que celui de l'**épiphyse calcaneenne** apparaît au moment de la **naissance** et se soude au noyau principal vers l'âge de **trois ans**.

3.2.3.2.1 *Talus*

- **Conformation et surfaces articulaires** : le talus est l'os **médial** de la **rangée proximale** du tarse, c'est un os massif, à peu près aussi large et épais que haut. Il s'articule dorso-proximale avec le **tibia**, plantaro-latéralement avec le **calcaneus** et distalement avec les **os central du tarse** et **tarsal IV**.

Le talus est divisible en trois grandes parties :

* **Le corps (*corpus tali*)** : portion moyenne et compacte du talus, c'est une partie massive, épaisse et plus ou moins cuboïde.

- **Sa face plantaire** comporte **quatre facettes** articulaires répondant au **calcaneus** et séparées par une excavation rugueuse appelée **sillon du talus** (*sulcus tali*). Ce sillon forme avec une dépression analogue présente sur le calcaneus, le **sinus du tarse** (*sinus tarsi*).

- **Sa face latérale** porte une zone d'insertion rugueuse.

- **Sa face médiale** plus développée, présente une face libre, irrégulière et rugueuse comportant plusieurs reliefs d'insertion ligamentaire dont un plus volumineux en partie distale : le **tubercule du talus** (*tuberculum tali*).

* **La trochlée (*trochlea tali*)** : dorso-proximale, elle comporte de volumineuses **lèvres sagittales** orientées dorso-latéralement (avec un angle de 12 à 15°) et encadrant une **gorge médiane** profonde. Elle s'articule avec les gorges et le tenon intermédiaire de la partie distale du tibia (cochlée tibiale).

* **La tête (*caput tali*)** : planiforme, allongée d'un côté à l'autre et légèrement convexe. Elle est portée par un col (*collum tali*) large et bref (et donc quasiment indiscernable). Elle présente **une large surface articulaire** pour l'**os central du tarse** et est creusée par une rainure d'insertion ligamentaire. Cette dernière est séparée par une petite crête osseuse, d'**une petite facette articulaire latérale** répondant à l'**os tarsal IV**.

- **Insertions musculaires** : absence d'insertion musculaire.

3.2.3.2.2 *Calcanéus*

- **Conformation et surfaces articulaires** : le calcanéus est l'**os latéral** de la **rangée proximale** du tarse, il est situé plantaro-latéralement au talus. Plutôt court et massif, il est allongé proximo-distalement et aplati d'un côté à l'autre. Il s'articule en partie dorso-médiale avec le **talus** et en partie disto-latérale avec l'**os tarsal IV**.

* **Face latérale** : aplatie, elle est légèrement excavée et à peu près lisse. Elle est renflée à son extrémité distale en un tubercule rugueux et peu saillant appelé **tubérosité d'insertion**.

* **Face médiale** : plus réduite que la face latérale, elle est prolongée en partie distale par une forte saillie osseuse en forme de plateau, qui borde la surface articulaire pour le talus. Ce relief nommé **sustentaculum du talus** (*sustentaculum tali*) épais et tubéreux, possède une surface proximale chevauchant le talus et une partie plantaire excavée formant un **sillon tendineux** pour le tendon du muscle **fléchisseur latéral du doigt**.

* **Bord dorsal** : c'est le bord le plus court, il est épais, lisse, convexe d'un côté à l'autre et souvent un peu concave en longueur. Il se termine distalement par le **processus coracoïde** (*processus coracoideus*) fort et saillant, formant une pointe. Ce dernier, porte une surface articulaire pour le talus (formée d'une facette proximale et médiale verticale et d'une facette plus ou moins perpendiculaire à cette dernière et grossièrement horizontale), il présente des rugosités d'insertions ligamentaires.

* **Bord plantaire** : plus long et plus étroit que le bord dorsal, il est rectiligne ou légèrement concave. Il est plutôt lisse et pourvu de quelques rugosités d'insertions ligamentaires.

* **Extrémité proximale** : elle forme la **tubérosité calcanéenne** (*tuber calcanei*). Il s'agit d'un prolongement renflé et très prononcé, qui s'étend de la partie proximale du calcanéus jusqu'au talus, pour former la proéminente pointe du jarret (*calx*) qui sert de levier aux muscles extenseurs du tarse et qui est divisé en deux lobes par une rainure transversale :

- **Lobe plantaire** : le plus épais, rugueux, il est destiné à l'attache de la **corde du jarret** (principalement constituée par le tendon terminal du muscle triceps sural). Il est plus ou moins excavé d'un côté à l'autre et renflé de part et d'autre de cette dépression.

- **Lobe dorsal** : généralement lisse, il est destiné au glissement préterminal du tendon du muscle triceps sural.

* **Extrémité distale** : volumineuse, élargie et irrégulière, elle est subdivisible en deux parties articulaires, angulairement raccordées. La partie dorsale, la plus large et la plus accidentée, répond au **talus** par **quatre facettes planiformes**. Une dépression nommée **sillon calcanéen** s'étend sous le processus coracoïde et se poursuit par une large excavation, séparant les facettes articulaires et concourant ainsi à former le **sinus du tarse**. La partie distale (grossièrement horizontale) possède latéralement **une surface articulaire** concave pour l'**os tarsal IV**.

- **Insertions musculaires** : insertion du **tendon du muscle gastrocnémien** sur le lobe plantaire du tuber calcanei. Ce tendon est couvert par la **calotte calcanéenne du muscle fléchisseur superficiel du doigt**, qui se fixe par une petite bride de chaque côté de cette tubérosité. On trouve également l'insertion du **tendon du muscle troisième péronier** ou corde fémoro-métatarsienne sur la partie latérale et distale du calcanéus.

3.2.3.2.3 *Os central du tarse*

- **Conformation et surfaces articulaires** : situé **entre le talus et l'os tarsal III**, l'os central du tarse est un os plat, large, elliptique et allongé transversalement. Il concourt à former avec les os tarsal IV et tarsal III, le **canal tarsien**.

* **Face proximale** : elle forme **une surface articulaire** concave et échancrée latéralement par une rainure d'insertion ligamentaire (donnant à la surface un aspect en U à deux branches inégales). Elle répond au **talus**.

* **Face distale** : elle est convexe, s'articule avec l'**os tarsal III** grâce à **deux fossettes** articulaires, l'une plantaire, ovalaire et concave et l'autre dorsale, convexe et allongée dans le sens transversal. Entre les facettes existe une forte excavation d'insertion ligamentaire. Sur la partie plantaro-médiale de la face distale se trouve **une petite facette** répondant à l'**os tarsal I+II**.

* **Bord latéral** : oblique, il comporte **deux facettes** articulaires planiformes répondant à l'**os tarsal IV**.

* **Bord plantaire** : il est irrégulier et renflé. Ce bord est pourvu de **deux tubercules** séparés par une forte dépression.

* **Bord dorsal et bord médial** : convexes et rugueux.

- **Insertions musculaires** : absence d'insertion musculaire.

3.2.3.2.4 *Os tarsal I + II*

- **Conformation et surfaces articulaires** : l'os tarsal I+II est situé sur la partie **plantaro-médiale** de la **rangée distale** du tarse. C'est un os irrégulier, aplati proximo-distalement dans sa partie dorsale et d'un côté à l'autre dans sa partie plantaire. Il résulte chez le cheval de la **fusion de l'os tarsal I et de l'os tarsal II** avant la naissance. La limite entre les deux os est d'ailleurs encore visible sous la forme d'un sillon présent au niveau de la face latérale de l'os. Chez certains chevaux les os tarsal I et tarsal II peuvent exceptionnellement ne pas être soudés.

* **Face proximale** : elle comporte **une facette** articulaire concave pour l'**os central du tarse**.

* **Face distale** : elle s'articule avec l'os **métatarsien III** par **une petite facette** et avec l'os **métatarsien II** par **deux surfaces articulaires** contigus.

* **Face latérale** : excavée, elle répond à l'**os tarsal III** grâce à **une facette articulaire**.

* **Face médiale** : rugueuse, convexe et libre.

- **Insertions musculaires** : insertion sur la partie latérale de l'os de l'une des branches du tendon terminal du **muscle tibial crânial**.

3.2.3.2.5 *Os tarsal III*

- **Conformation et surfaces articulaires** : il s'agit d'un os aplati, triangulaire, à pointe plantaire, situé entre l'**os central du tarse** et le **métatarsien III**.

* **Face proximale** : concave, elle présente **deux facettes** articulaires séparées par une excavation d'insertion ligamentaire et répondant à l'**os central du tarse**.

* **Face distale** : convexe, elle répond au **métatarsien III** grâce à **deux fossettes** articulaires (une dorsale, allongée, large et onduleuse et une plantaire, plus petite) séparées elles aussi par une excavation d'insertion ligamentaire.

* **Bord latéral** : comporte **deux facettes** articulaires en rapport avec l'**os tarsal IV**.

* **Bord médial** : possède **une facette** articulaire répondant à l'**os tarsal I+II**.

- **Insertions musculaires** : absence d'insertion musculaire.

3.2.3.2.6 *Os tarsal IV*

- **Conformation et surfaces articulaires** : l'os tarsal IV est l'os le plus **latéral** de la **rangée distale**, il est étroit d'un côté à l'autre et un peu étiré dans le sens dorso-plantaire. Il occupe la même hauteur que les os central du tarse et tarsal III.

- * **Face proximale** : elle présente **une facette articulaire latérale** pour le **calcaneus** et **une facette médiale** plus réduite qui répond au **talus**.
- * **Face distale** : elle comporte **une facette** articulaire en rapport avec le **métatarsien IV** et **une facette** plus petite répondant au **métatarsien III**.
- * **Bord médial** : il possède **quatre facettes articulaires**, deux distalement (une dorsale et une plantaire) pour l'**os tarsal III** et deux plus proximales (une dorsale et une plantaire) pour l'**os central du tarse**. Ce bord est parcouru par une gouttière qui participe à la formation du **canal tarsien**.
- * **Faces dorsale, plantaire et latérale** : rugueuses et convexes.
- **Insertions musculaires** : insertion sur la partie latérale libre de l'os d'une branche accessoire du **muscle troisième péronier** ou corde fémoro-métatarsienne. Quelques faisceaux du **ligament suspenseur du boulet** remontent également sur les os de la rangée distale du tarse.

3.2.3.3 *Partie proximale du métatarse*

Le métatarse est composé de trois os (*ossa metatarsalia*) : le **métatarsien III** ou métatarsien **principal** ou encore **os du canon**, encadré par les métatarsiens rudimentaires plus courts et beaucoup moins larges : les **métatarsiens II** ou **rudimentaire médial** et **IV** ou **rudimentaire latéral**. Le métatarsien IV est toujours un peu plus volumineux et long que le métatarsien II.

3.2.3.3.1 *Extrémité proximale du métatarsien III*

- **Conformation et surfaces articulaires** :

- * **Face proximale** : de forme plutôt circulaire, elle possède une large surface articulaire pour l'**os tarsal III** composée d'**une large facette dorsale** en forme de demi-cercle et d'**une plus petite facette plantaire** de forme ovale. Ces deux facettes sont séparées par une large fossette d'insertion ligamentaire qui se prolonge latéralement par un **sillon vasculaire** profond. On distingue également deux autres surfaces articulaires de taille beaucoup plus réduite, l'**une latérale** répondant à l'**os tarsal IV** et l'**autre médiale** répondant à l'**os tarsal I+II**.
- * **Face plantaire** : elle comporte **deux paires de surfaces** articulaires, l'**une latérale** répondant aux **métatarsien IV** et l'**autre médiale** en contact avec le **métatarsien II**.
- * **Face dorsale** : elle présente une **tubérosité** dorso-médiale d'insertion.
- * **Face latérale** : plutôt lisse, elle comporte un **sillon vasculaire** pour l'artère métatarsienne dorsale III. Ce sillon oblique en direction disto-plantaire descend vers l'interligne de l'os métatarsien IV.
- * **Face médiale** : rugueuse et irrégulière en partie proximale, elle est ensuite lisse.
- **Développement** : la partie proximale comporte **un unique centre d'ossification** qui apparaît au cours de la gestation et dont l'ossification est quasiment **terminée à la naissance** (le centre d'ossification principal des os métatarsiens est distal).
- **Insertions musculaires** : le **muscle tibial crânial** s'insère sur l'extrémité proximale par une terminaison commune à celle du **muscle troisième péronier**. Le **ligament suspenseur du boulet** s'insère quant à lui au niveau de la partie proximale de la face plantaire.

3.2.3.3.2 Extrémité proximale du métatarsien IV

Elle comporte proximalelement **une petite facette** articulaire pour l'**os tarsal IV** et médialement **deux facettes** (une dorsale et une plantaire) répondant au **métatarsien III**.

3.2.3.3.3 Extrémité proximale du métatarsien II

Elle comporte proximalelement **deux facettes** articulaires contiguës pour l'**os tarsal I+II** et dorso-latéralement **deux facettes** répondant au **métatarsien III**.

3.3 Arthrologie du jarret

(7) (19) (36)

3.3.1 Bases anatomiques des articulations du jarret

3.3.1.1 *Présentation générale*

- Le jarret est formé par le tibia, les os du tarse et les os métatarsiens qui s'emboîtent pour former **cinq articulations majeures** :

* Articulation **tibio-tarsienne** ou **cruro-tarsienne** (*articulatio tarsocruralis*) qui unit le tarse à l'extrémité distale de la jambe.

* Articulation **calcanéo-talienne** ou **talo-calcanéenne** (*articulatio talocalcanea*) qui unit le talus et le calcaneus.

* Articulation **intertarsienne proximale** (*articulatio intertarsea proximalis*) qui solidarise les os de la rangée proximale du tarse et l'os central du tarse.

* Articulation **intertarsienne distale** (*articulatio intertarsea distalis*) qui solidarise l'os central du tarse et les os de la rangée distale du tarse

* Articulation **tarso-métatarsienne** (*articulatio tarsometatarsea*) qui unit les os de la rangée distale du tarse et les os métatarsiens.

- Les mouvements au sein de ces articulations sont limités par la présence de la **capsule articulaire** du tarse, celle de très nombreux **ligaments** et également par la contention assurée par les **muscles** et surtout les **tendons** présents dans la région (Cf. 3.4 « *Myologie du jarret* »). L'ensemble des articulations intertarsiennes et tarso-métatarsienne est pratiquement immobile. Toute la **mobilité du jarret** est concentrée au niveau de l'**articulation tibio-tarsienne** qui forme une charnière parfaite. La conformation des surfaces articulaires et la puissance des ligaments collatéraux n'autorisent que des mouvements **de flexion et d'extension** : les mouvements de latéralité sont absents. Au cours des mouvements la tension des ligaments collatéraux augmente progressivement jusqu'à un point d'équilibre à partir duquel la flexion ou l'extension s'achève automatiquement. Ce mécanisme, grâce auquel le tarse fonctionne à la manière d'un ressort, est appelé **automatisme tarsien**.

3.3.1.2 *Moyens d'union*

3.3.1.2.1 *Capsule articulaire*

Vaste, elle forme un manchon autour du tarse. Elle s'attache juste proximale aux surfaces articulaires du tibia, sur le talus et très accessoirement sur le calcaneus. Elle est consolidée sur les côtés par des ligaments collatéraux latéraux et médiaux et se renforce dorsalement en une membrane fibreuse appelée **membrane commune dorsale** ou **ligament commun dorsal**. Elle forme du côté plantaire une **membrane tibio-tarsienne plantaire** ou **ligament plantaire proximal**.

✓ Ligament commun dorsal

- **Conformation** : plus mince dans sa partie disto-médiale, il est constitué de deux plans de fibres entrecroisées.
- **Origine** : il s'insère autour de la marge articulaire de la **portion distale du tibia**.
- **Parcours et rapports** : il s'attache au cours de son trajet sur les faces dorsales du **talus**, de l'**os central du tarse**, des **os tarsal III** et **tarsal IV** ainsi que sur le **ligament talo-métatarsien**. Sa face profonde est tapissée par diverses synoviales et principalement par la tibio-tarsienne, sa face superficielle est couverte par des tendons qui glissent au sein de gaines synoviales. Il est traversé par l'**artère pédieuse perforante**.
- **Terminaison** : il rejoint de chaque côté les **ligaments collatéraux** et gagne la partie dorsale du **métatarsien III**.

✓ Ligament plantaire proximal

- **Conformation** : dans sa partie moyenne, un **épaississement fibro-cartilagineux** sert de coulisse de glissement au tendon du muscle fléchisseur latéral du doigt puis au tendon perforant.
- **Origine** : il part du pourtour de la marge articulaire du **tibia**.
- **Parcours et rapports** : il rejoint les **ligaments collatéraux longs** de chaque côté et le faisceau calcanéen du **ligament collatéral médial court**.
- **Terminaison** : il s'attache sur la face plantaire du **talus** et sur le sustentaculum tali du **calcanéus**.

3.3.1.2.2 Ligaments

On distingue des ligaments collatéraux, dorsaux, plantaires et interosseux :

- Ligaments collatéraux

✓ Ligament collatéral latéral long (*ligamentum collaterale tarsi laterale longum*)

- **Conformation** : il forme un cordon épais qui s'élargit et s'aplatit vers le bas.
- **Origine** : il part du **tibia**, caudalement au sillon malléolaire fibulaire.
- **Parcours et rapports** : il délègue une expansion formant une **gaine** au niveau du sillon malléolaire et descend ensuite presque verticalement en s'insérant le long de son trajet sur le **talus**, le **calcanéus** et l'**os tarsal IV**. Il est longé en surface par les tendons des muscles fibulaires.
- **Terminaison** : il s'insère sur les **métatarsiens II** et **IV** et s'unit à la terminaison du **ligament plantaire long**.

✓ Ligament collatéral latéral court (*ligamentum collaterale tarsi laterale breve*)

- **Conformation** : ligament plus faible que le précédent.
- **Origine** : il s'insère sur la partie crâniale de la **malléole latérale**.
- **Parcours et rapports** : il court en direction disto-plantaire, en profondeur du ligament collatéral latéral long qu'il croise en X. La face profonde de ce ligament est en contact avec la synoviale tibo-tarsienne.
- **Terminaison** : il s'attache distalement par une branche sur la **face latérale du calcanéus** (faisceau calcanéen) et par une autre plus courte et plus dorsale sur la **face latérale du talus** (faisceau talien). Ces deux branches divergent en direction dorso-plantaire.

✓ Ligament collatéral médial long (*ligamentum collaterale tarsi mediale longum*)

- **Conformation** : épais et superficiel, il est un peu plus large que les ligaments collatéraux latéraux. Il est légèrement oblique en direction disto-plantaire et rayonné dans sa partie distale.

- **Origine** : il s'insère sur les parties caudale et moyenne de **malléole médiale** du tibia.

- **Parcours et rapports** : il s'attache le long de son trajet sur la **tubérosité médiale du talus**, l'**os central du tarse**, les **os tarsal I+II** et **tarsal III**.

- **Terminaison** : il se termine sur les parties proximales des **métatarsiens II** et **III**. Sa partie distale est renforcée du côté dorsal par une large et mince expansion qui appartient au ligament talo-métatarsien.

✓ Ligament collatéral médial court (*ligamentum collaterale tarsi mediale breve*)

- **Conformation** : un peu plus épais que son homologue latéral.

- **Origine** : il part de la **malléole médiale** un peu plus crânialement que le ligament collatéral médial long.

- **Parcours et rapports** : il court en direction disto-plantaire, sous le ligament collatéral médial long qu'il croise en X. On trouve à sa face profonde un faisceau accessoire grêle presque totalement enveloppé par la synoviale, et allant du revers distal de la malléole médiale du tibia à la partie proximo-médiale du talus.

- **Terminaison** : ce ligament se divise en deux branches s'insérant pour l'une, courte, sur la face **médiale du talus** (faisceau talien) et pour l'autre, un peu plus longue, sur l'extrémité **médiale du sustentaculum tali du calcanéus** (faisceau calcanéen).

✓ Ligament talo-calcanéen latéral (*ligamentum talocalcaneum laterale*)

Aplati et rayonné, il va de la **face latérale du calcanéus** à celle du **talus** et sa terminaison se confond avec celle du faisceau talien du ligament **collatéral latéral court**.

✓ Ligament talo-calcanéen médial (*ligamentum talocalcaneum mediale*)

Il est mince et caché en partie par le ligament collatéral médial.

• Ligaments dorsaux

✓ Ligament talo-métatarsien dorsal (*ligamentum talonaviculocuneo-metatarseum* ou *talocentrodismetatarseum*) ou Ligament talo-naviculaire dorsal (*ligamentum talonaviculare dorsale* ou *talocentrale dorsale*)

Large et puissant c'est le ligament dorsal le plus gros. Il s'insère sur le **tubercule médial du talus** puis s'étale sur l'**os central du tarse**, l'**os tarsal I+II** et l'**os tarsal III** avant de se terminer sur le **métatarsien III**. Il est couvert par la membrane fibreuse dorsale du tarse et se confond plantairement avec le ligament collatéral médial long.

✓ Ligament calcanéocuboïdien dorsal (*ligamentum calcaneocuboidale dorsale* ou *calcaneocuboideum dorsale*)

Ce ligament est absent chez le cheval.

✓ Ligament dorsal intermédiaire ou calcanéonaviculaire dorsal (*ligamentum calcaneonaviculare dorsale*)

Ligament faible, étroit et de petite taille unissant le **calcanéus** à l'**os central** du tarse.

- ✓ Ligament naviculo-cunéen dorsal (*ligamentum centrodistalia dorsalia* ou *cuneonavicularia dorsalia*)

Oblique en direction disto-latérale, il est uni au ligament talo-métatarsien qui le recouvre en partie.

- ✓ Ligaments intercunéens dorsaux (*ligamentum interdistalia dorsalia* ou *intercuneiformia dorsalia*)

Ils sont inclus dans le ligament talo-métatarsien.

- ✓ Ligament cuboïdo-naviculaire dorsal (*ligamentum centroquartale dorsale* ou *cuboideonaviculare dorsale*) et ligament cuboïdo-cunéen dorsal (*ligamentum quartodistale dorsale* ou *cuneocuboideum dorsale*)

Ils sont orientés transversalement et bordent l'entrée du canal tarsien.

- ✓ Ligament cuboïdo-métatarsien dorsal

Plat et très mince, il part de l'**os tarsal IV** pour se terminer sur le **métatarsien III**. Il est en partie caché par le ligament collatéral latéral long.

- Ligaments plantaires

- ✓ Ligament plantaire long (*ligamentum plantare longum*) ou calcanéométatarsien

Très épais, c'est le plus important et le plus long des ligaments plantaires. Il s'insère sur la partie proximale de la **surface plantaire du calcanéus** puis sur celle de l'**os tarsal IV** et se termine sur la tête du **métatarsien IV**. Il s'unit au ligament **collatéral long latéral**.

- ✓ Ligament calcanéocuboïdien plantaire (*ligamentum calcaneocuboideum plantare* ou *calcaneocentrale plantare*)

Il peut être considéré comme étant un faisceau profond du **ligament plantaire long**, il est étendu de la partie **plantaro-distale du calcanéus**, à la face plantaire et au tubercule de l'**os tarsal IV**.

- ✓ Ligament talo-calcanéen plantaire (*ligamentum talocalcaneum plantare*)

Épais, aplati et rubané il va de la partie **proximo-médiale du talus** au **sustentaculum tali**. Il est dédoublé à son extrémité médiale par une discrète expansion formant le ligament talo-calcanéen médial.

- ✓ Ligament calcanéonaviculaire plantaire

Il participe, avec les ligaments plantaires de la rangée distale du tarse et des articulations tarso-métatarsiennes, à la constitution du **ligament plantaire distal**.

- ✓ Ligament plantaire distal ou ligament tarso-métatarsien

Il s'insère sur la face plantaire de l'**extrémité distale du calcanéus** puis se fixe sur les **os de la seconde rangée du tarse** et gagne les **trois métatarsiens** avant de se prolonger distalement pour former la **bride tarsienne** (absente chez l'âne et le mulet) ou **ligament accessoire tarsien**. Il se confond latéralement avec le **ligament plantaire long**, il est en contact médialement avec le ligament **collatéral médial long** et recouvre distalement l'insertion du

ligament suspenseur du boulet. Sa face plantaire épaissie et parfois fibro-cartilagineuse participe à la constitution de la **gaine tarsienne** ou **gaine plantaire du tarse** (passage du tendon du muscle fléchisseur latéral du doigt). Cette gaine a sa face plantaire tapissée par le feuillet synovial de la gaine synoviale tendineuse.

- Ligaments interosseux

- ✓ Ligament calcanéocuboïdien interosseux (*ligamentum calcaneocuboideum interosseum* ou *calcaneoquartale interosseum*)

Ligament interosseux le plus fort, il prend origine sur le revers médial de l'extrémité **distale du calcanéus** et se termine sur la face **médiale de l'os tarsal IV** en déléguant un plus petit faisceau pour l'**os central** du tarse (faisceau calcanéocentral).

- ✓ Ligament talo-naviculaire interosseux

Plus large, mais plus mince et moins puissant que le précédent, sa présence n'est pas constante. Il s'insère sur la partie **distale du talus** puis sur la face **proximale de l'os central du tarse** et délègue fréquemment un faisceau à l'**os tarsal IV**.

- ✓ Ligament talocalcanéen interosseux (*ligamentum talocalcaneum interosseum*)

Ligament bref et très puissant, composé de plusieurs plans de fibres. Il est logé dans le sinus du tarse.

- ✓ Ligament naviculo-cunéen interosseux (*ligamentum centrodistale interosseum* ou *cuneonaviculare interosseum*)

Il va de l'échancrure rugueuse de la face distale de l'**os central du tarse** aux **os tarsal I+II** et **tarsal III**.

- ✓ Ligaments intercunéens interosseux (*ligamentum interdistalia interossea* ou *intercuneiformia interossea*)

Ils sont plus ou moins confondus avec le précédent et placés entre l'**os tarsal I+II** et **tarsal III**.

- ✓ Ligament cuboïdo-naviculaire interosseux (*ligamentum centroquartale interosseum* ou *cuboideonaviculare interosseum*) et Ligament cuboïdo-cunéen interosseux (*ligamentum quartodistale interosseum* ou *cuneocuboideum interosseum*)

Ils concourent à former le canal tarsien.

- ✓ Ligament tarso-métatarsien interosseux

Puissant et court, il est divisé en plusieurs faisceaux prenant leur origine sur les **os tarsal IV, I+II** et **III** et s'attachant dans l'excavation rugueuse comprise entre les branches du U dessiné par la surface articulaire du **métatarsien III** ainsi que sur les bords adjacents des **métatarsiens II et IV**.

3.3.2 Présentation des différentes articulations du jarret

3.3.2.1 Articulation tibio-tarsienne ou cruro-tarsienne

- **Conformation** : cette articulation est une diarthrose formant une **charnière parfaite** entre la **trochlée du talus** et la portion distale du **tibia**. Elle ne permet quasiment que des mouvements de flexion et d'extension.

- **Surfaces articulaires** (Cf. 3.2 « *Ostéologie du jarret* ») : l'extrémité distale du tibia porte la **cochlée tibiale** qui présente **deux gorges** parallèles, obliques crânio-latéralement et séparées par un **tenon intermédiaire**. Cette cochlée s'articule avec la **trochlée du talus** qui est formée par **deux lèvres** encadrant **une gorge** médiane.

- **Moyens d'union** (Cf. 3.3.1.2 « *Moyens d'union* ») :

* **Capsule articulaire** et membranes fibreuses dorsale et plantaire.

* **Ligaments collatéraux** latéraux et médiaux.

- **Moyens complémentaires d'union** (Cf. 3.4 « *Myologie du jarret* ») : constitués par les multiples et puissants **tendons** qui glissent à la surface du tarse.

* **Côté dorsal** : tendons des muscles **tibial crânial** et **extenseur dorsal du doigt** et de la **corde fémoro-métatarsienne**, maintenus sur la membrane dorsale par un système de brides et accompagnés d'éléments vasculaires et nerveux dont les principaux sont l'artère dorsale du pied et le nerf péronier profond.

* **Face latérale** : tendon de l'**extenseur latéral du doigt**.

* **Face médiale** : tendon du muscle **fléchisseur médial du doigt** passant au bord plantaire du ligament collatéral long.

* **Face plantaire** : tendon du muscle **fléchisseur latéral du doigt** passant du côté plantaro-médial du calcaneus et glissant à la surface du sustentaculum tali, dans la gaine tarsienne.

L'insertion de la **corde du jarret** sur le tuber calcanei constitue également un moyen d'union supplémentaire.

- **Synoviale tibio-tarsienne** : c'est la plus vaste, elle est comprise entre le tibia et le talus et délègue **trois culs-de-sac** communiquant entre eux et formant en cas d'hydropisie, des déformations molles appelées **vessigons articulaires du jarret**.

* **Le cul-de-sac dorsal** est situé au niveau du pli du jarret. Il s'étend médialement par rapport à un relief tendineux médian et forme une expansion dépressible de cinq à six centimètres de haut sur trois à quatre de large : « **la fontaine du jarret** ». On peut ponctionner facilement cet endroit, l'hydropisie de ce cul-de-sac donne le **vessigon articulaire du pli du jarret**.

* **Les deux culs-de-sac plantaires** sont situés de part et d'autre de la base du calcaneus dans l'angle que celui-ci forme avec le tibia. L'hydropisie de ces culs-de-sac donne le **vessigon articulaire du creux du jarret**.

La synoviale tibio-tarsienne envoie un prolongement à l'articulation **talo-calcaneenne** et communique avec la synoviale **intertarsienne proximale** peu étendue.

- **Sites de ponction** : l'articulation **tibio-tarsienne** est ponctionnée à l'aide d'une aiguille de trois centimètres de long plantée dans la **face médio-dorsale** au niveau d'une **dépression** palpable juste **distalement à la malléole médiale**. L'aiguille doit être insérée dans un plan **horizontal** et en direction **latérale**. Il faut faire attention à ne pas ponctionner la branche crâniale de la **veine saphène médiale**.

3.3.2.2 *Articulation talo-calcaneenne*

- **Conformation et surfaces articulaires** (Cf. 3.2 « *Ostéologie du jarret* ») : le talus et le calcaneus presentent chacun **quatre facettes** diarthrodiales permettant leur union. Entre ces deux os existent **trois articulations synoviales** articulaires, une applique le processus coracoïde du calcaneus à la face laterale ou latero-plantaire du talus (deux facettes), une autre mediale oppose le sustentaculum tali à la face plantaire du talus (une facette), la dernière distale et plus petite met en contact la tête du talus et la base du calcaneus (une facette).
- **Moyens d'union** (Cf. 3.3.1.2 « *Moyens d'union* ») : le talus et le calcaneus pratiquement immobiles l'un par rapport à l'autre, sont unis par les ligaments :
 - * Talo-calcaneen **interosseux**.
 - * Talo-calcaneen **latéral**.
 - * Talo-calcaneen **plantaire** ou **proximal**.
 - * Talo-calcaneen **medial**.
- **Synoviales** : cette articulation ne possède pas de synoviale propre. Les synoviales proximales, recouvrant les facettes du processus coracoïde, sont des diverticules de la synoviale tibio-tarsienne. Les deux synoviales distales sont quant à elles formées par une dépendance de la synoviale intertarsienne proximale.

3.3.2.3 *Articulation intertarsienne proximale*

- **Conformation** : articulation très peu mobile au sein de laquelle seuls de discrets mouvements de glissement sont permis. Il s'agit d'une articulation synoviale composée.
- **Surfaces articulaires** (Cf. 3.2 « *Ostéologie du jarret* ») :
 - * **Proximales** :
 - **Médialement** : la surface articulaire est formée par la **tête du talus**. Cette dernière est planiforme, à peine convexe dans le sens dorso-plantaire et très élargie d'un côté à l'autre. Cette surface répondant à l'**os central du tarse** est échancrée en son centre par une large excavation rugueuse qui la sépare d'une petite facette latérale pour l'**os tarsal IV**.
 - **Latéralement** : la surface articulaire est constituée par l'extrémité distale du **calcaneus**. De taille réduite, elle est planiforme ou légèrement excavée et répond à l'**os tarsal IV**.
 - * **Distales** :
 - **Médialement** : elle est formée par la surface articulaire de l'**os central du tarse** répondant au **talus**. Cette surface est échancrée par une large dépression rugueuse qui la sépare d'une petite facette latérale pour l'**os tarsal IV**.
 - **Latéralement** : la surface articulaire est formée par une zone planiforme ou discrètement convexe présente sur une partie de l'extrémité proximale de l'**os tarsal IV**. Cette surface répond au **calcaneus**.
- **Moyens d'union** (Cf. 3.3.1.2 « *Moyens d'union* ») :
 - * Ligaments **collatéraux longs**
 - * **Ligaments dorsaux** :
 - Ligament **talo-métatarsien**.
 - Ligament **dorsal intermédiaire**.
 - * **Ligaments plantaires** :
 - Ligament **plantaire long** ou **calcaneéo-métatarsien**.
 - Ligament **calcaneéo-cuboïdien plantaire**.
 - Ligament **plantaire distal** ou **tarso-métatarsien plantaire**.
 - * **Ligaments interosseux** :
 - Ligament **calcaneéo-cuboïdien interosseux**.
 - Ligament **talo-naviculaire interosseux**.

- **Synoviales** : il y a une unique synoviale **intertarsienne proximale** peu étendue qui communique avec la synoviale **tibio-tarsienne**. Elle délègue deux prolongements, un proximal pour l'articulation **talo-calcaneenne** distale et l'autre distal pour l'articulation **cuboïdo-naviculaire dorsale**.

3.3.2.4 *Articulation intertarsienne distale*

- **Conformation** : très peu de mouvements sont permis au niveau de ces articulations et uniquement de faibles mouvements de glissements existent. Cet ensemble joue un rôle dans l'amortissement lors de la locomotion. C'est une articulation rigide composée de plusieurs articulations formées entre l'os central du tarse et les os de la rangée distale du tarse :

* **Articulation naviculo-cunéenne** (*centrodistalis* ou *cuneonavicularis*) formée par l'os central, qui présente une surface à peine convexe occupant la plus grande partie de sa face distale et répondant aux os tarsal I+II et tarsal III.

* **Articulations intercunéenne** (*interdistale* ou *intercuneiformes*) unissant les os tarsal I+II et tarsal III par une seule facette.

* **Articulation cuboïdo-naviculaire** (*centroquartalis* ou *cuboïdonavicularis*) unissant l'os central du tarse et l'os tarsal IV par une facette plantaire et une facette dorsale, toutes deux ondulées.

* **Articulation cuboïdo-cunéenne** (*quartodistalis* ou *cuneocuboidea*) mettant en rapport l'os tarsal IV et l'os tarsal III par une facette dorsale et une facette plantaire (cette dernière n'est pas toujours présente).

- **Surfaces articulaires** (Cf. 3.2 « *Ostéologie du jarret* ») : les os de la seconde rangée s'affrontent par de multiples **facettes planiformes** séparées par des **dépansions rugueuses** qui servent à l'insertion de **ligaments interosseux**.

- **Moyens d'union** (Cf. 3.3.1.2 « *Moyens d'union* ») :

* **Ligaments dorsaux** en forme de petites bandelettes et qui se situent sous le ligament commun dorsal :

- Ligaments **naviculo-cunéens** dorsaux.
- Ligaments **intercunéens** dorsaux.
- Ligament **cuboïdo-naviculaire** dorsal.
- Ligament **cuboïdo-cunéen** dorsal.

* **Ligaments interosseux** :

- Ligament **naviculo-cunéen** interosseux.
- Ligaments **intercunéens** interosseux.
- Ligament **cuboïdo-naviculaire** interosseux.
- ligament **cuboïdo-cunéen** interosseux.

* **Ligaments plantaires** : Ligament plantaire **distal**.

- **Synoviales** : il existe une petite synoviale pour les articulations **intertarsiennes** de la seconde rangée du tarse. Elle est située entre les os central du tarse et les os tarsal I+II et tarsal III. Elle est spécialement affectée à l'articulation **naviculo-cunéenne**. Elle envoie un diverticule pour l'articulation **cuboïdo-naviculaire plantaire** et un autre pour l'articulation **cuboïdo-cunéenne plantaire**. Au niveau des articulations **cuboïdo-cunéenne dorsale** et **intercunéenne**, la synoviale est formée par un prolongement de la synoviale **tarso-métatarsienne**. La synoviale de l'articulation **cuboïdo-naviculaire** est quant à elle une dépendance de la synoviale **intertarsienne proximale**.

- **Sites de ponction** : l'articulation **intertarsienne distale** est injectée à l'aide d'une aiguille de trois centimètres de long plantée dans la face **médiale** au niveau d'une **petite dépression** souvent palpable, en regard de la partie **distale du tendon cunéen** et le long d'une ligne

imaginaire entre le **tubercule distal du talus** (palpable) et les parties **proximales des os métatarsiens II et III**. L'aiguille doit être insérée dans un plan **horizontal**, avec une direction légèrement **plantaire**.

3.3.2.5 *Articulation tarso-métatarsienne*

- **Conformation** : articulation rigide aux mouvements quasiment nuls. Elle est composée des articulations formées entre les os de la rangée distale du tarse et les os métatarsiens.

- **Surfaces articulaires** (Cf. 3.2 « *Ostéologie du jarret* ») : multiples et à peu près planes.

* **Proximales** :

- L'os **tarsal I+II** comporte deux facettes.

- L'os **tarsal III** comporte deux facettes.

- L'os **tarsal IV** comporte deux facettes.

* **Distales** :

- L'os **métatarsien IV** comporte une facette répondant à l'os tarsal IV.

- L'os **métatarsien III** comporte une facette pour l'os tarsal IV, deux facettes pour l'os tarsal I+II et deux facettes pour l'os tarsal III.

- L'os **métatarsien II** en contact grâce à deux facettes distinctes, avec l'os tarsal I+II.

- **Moyens d'union** (Cf. 3.3.1.2 « *Moyens d'union* ») : il s'agit des ligaments :

* **Talo-métatarsien** dorsalement.

* **Cuboido-métatarsien**.

* **Plantaire long et plantaire distal**.

* **Collatéraux**.

* **Interosseux** rejoignant les trois os de la rangée distale du tarse et les trois os métatarsiens.

- **Synoviales** : il existe une synoviale pour les articulations **tarso-métatarsiennes**. Celle-ci fournit deux petits prolongements distaux pour les articulations **intermétatarsiennes** et deux diverticules proximaux (un pour l'articulation **cuboido-cunéenne dorsale**, l'autre pour l'**articulation intercunéenne**).

- **Sites de ponction** : l'articulation tarso-métatarsienne est injectée sur la face **latérale** avec une aiguille de deux centimètres de long insérée à un centimètre **proximalement à la tête de l'os métatarsien IV** en direction **dorsale** et légèrement **disto-médiale**.

3.4 Myologie du jarret

(7) (36) (69)

3.4.1 Muscles de la jambe

Les muscles de la jambe, enveloppés par le **fascia jambier**, comprennent des muscles **extenseurs** et **fléchisseurs du tarse** et extenseurs et fléchisseurs du doigt. Ils sont regroupés en deux groupes musculaires, l'un situé **crânio-latéralement** au tibia et l'autre **caudalement** au tibia. Les angles de flexion des articulations du tarse et du doigt étant opposés, les muscles jambiers crâniens sont fléchisseurs pour le tarse et extenseurs pour le doigt alors que c'est le contraire pour les muscles jambiers caudaux.

La partie médiale de la jambe n'est pas recouverte par des muscles.

3.4.1.1 *Fascia jambier (fascia cruris)*

Il forme un **manchon fibreux** entourant les muscles de la jambe et se poursuivant au niveau du tarse par les fascias du pied. Il est constitué dans sa partie supérieure de **deux lames** superposées :

* La lame superficielle prolonge les fascias de la cuisse (*fascia lata et fascia fémoral*) et rejoint la lame profonde dans le bas de la jambe.

* La lame profonde recouvre le muscle gastrocnémien et s'attache avec lui sur le fémur. Des expansions distales de cette lame se prolongent jusqu'au calcaneus sous forme de lanières de renforcement de la corde du jarret. Elle forme également des cloisons délimitant les loges crâniale (contenant les muscles jambiers crâniens) et caudale (contenant les muscles jambiers caudaux) de la jambe. Au sein de la loge caudale se trouve le septum tibial caudal correspondant ainsi qu'une loge fibreuse, propre pour l'extenseur latéral du doigt.

3.4.1.2 *Muscles crânio-latéraux*

Ces muscles possèdent de longues bandes charnues et partent de la partie distale du **fémur** ou de la partie proximale du **tibia**. L'insertion de leurs tendons se fait sur le **métatarse** ou les **phalanges** et ils sont innervés (innervation motrice) par le nerf **péronier**.

* Muscles fléchisseurs du tarse :
- **Tibial crânial** (*m. tibialis cranialis*).
- **Troisième péronier** ou **corde fémoro-métatarsienne** (*m. peroneus tertius*).

* Muscles extenseurs du doigt :
- **Extenseur dorsal du doigt** ou **extenseur dorsal des phalanges** ou **long extenseur du doigt** (*m. extensor digitorum longus*).
- **Extenseur latéral du doigt** ou **extenseur latéral des phalanges** (*m. extensor digitorum lateralis*).

3.4.1.2.1 Muscle tibial crânial

- **Conformation** : situé **profondément**, c'est le muscle le plus **médial** de la partie crâniale du tibia, il est largement recouvert par les muscles troisième péronier et extenseur dorsal du doigt. Seul le bord médial affleure entre ces deux muscles et le bord crânial du tibia. Il occupe la fosse tibiale et son corps charnu **adhère à la corde fémoro-métatarsienne** dans sa moitié proximale. Il se termine distalement par un **tendon** se séparant en une **branche courte** et une **branche longue**.

- **Origine** : sur la partie proximale de la **fosse tibiale** située sous le condyle latéral du tibia.

- **Parcours** : il passe, avec les tendons du muscle extenseur dorsal du doigt et de la corde fémoro-métatarsienne, sous la **bride tibiale** ou **réтинacle crural des extenseurs** de la face **dorsale** du jarret et il devient ensuite plus superficiel après être passé dans l'**anneau de la corde fémoro-métatarsienne**, glissant à ce niveau grâce à une **synoviale vaginale**. En regard de la partie moyenne du talus, le muscle tibial crânial se poursuit en un fort tendon qui émerge entre les **branches médiale et intermédiaire du troisième péronier** et se divise en une **branche médiale** (branche longue ou accessoire ou cunéenne ou encore tendon cunéen) et une **branche latérale** (branche courte ou métatarsienne). La branche latérale du tendon est la plus volumineuse et s'unit à la branche correspondante de la corde fémoro-métatarsienne. La branche médiale, plus grêle, passe sur la face médiale du tarse où son glissement est facilité par la présence d'une petite synoviale subtendineuse dont l'hypertrophie peut former une déformation dépressible et bilobée appelée **vessigon cunéen du jarret**.

- **Terminaison** : la **branche latérale** s'insère sur la **tubérosité dorso-médiale** de l'extrémité proximale du **métatarsien III**. La **branche médiale** passe médio-distalement à la branche médiale du troisième péronier et s'insère sur l'**os tarsal I +II**.

- **Action** : flexion du tarse.

- **Innervation** : nerf péronier profond.

3.4.1.2.2 Muscle troisième péronier ou corde fémoro-métatarsienne

- **Conformation** : muscle exclusivement **fibreux** formant une lame inextensible très solide. Il est aplati dans le sens crânio-caudal et mesure trois à quatre centimètres de large. Il prolonge le tendon proximal du **muscle extenseur dorsal du doigt**. Il forme dans sa partie distale un **anneau** dans lequel passe le tendon du muscle tibial crânial, puis se divise en une **branche métatarsienne** et une **branche cuboïdienne** plus grêle.

- **Origine** : l'insertion du tendon se fait dans la **fosse de l'extenseur** située entre la lèvre latérale de la trochlée et le condyle latéral du **fémur**.

- **Parcours** : il court entre le muscle extenseur dorsal du doigt et le muscle tibial crânial auquel il adhère et passe ensuite sous la **bride tibiale** avec le muscle tibial crânial qu'il couvre et le muscle extenseur dorsal du doigt qui couvre son bord latéral. Il forme, en regard du talus, l'**anneau** que traverse le tendon du muscle tibial crânial puis se sépare en deux branches. La corde fémoro-métatarsienne ne possédant pas de vaginale propre, le glissement est donc uniquement assuré par la **synoviale vaginale du muscle tibial crânial**.

- **Terminaison** :

* La branche cuboïdienne ou branche latérale : plus longue et plus grêle, se dirige disto-caudalement et s'insère sur le **calcanéus** et l'**os tarsal IV**. Elle donne insertion à la **bride cuboïdienne ou réтинacle tarsien**.

* La branche métatarsienne ou branche médiale : la plus courte et la plus forte, elle s'insère sur la **tubérosité dorso-médiale** du **métatarsien III**. Elle est recouverte par la branche métatarsienne du muscle tibial crânial.

- **Action** : muscle important chez le cheval, chez lequel il constitue un composant essentiel de l'**appareil réciproque**. Il relie et solidarise les **articulations du tarse et du grasset**, de telle sorte que l'une de ces articulations ne peut pas être fléchie ou étendue sans que l'autre ne le soit aussi.

* Flexion du grasset : l'insertion proximale de la corde s'élève et comme celle-ci est quasiment inextensible, son extrémité distale et elle aussi élevée vers le haut, ce qui entraîne la flexion du jarret. Ce mécanisme passif s'ajoute à la flexion active permise par le muscle tibial crânial et la complète.

* Extension du grasset (membre à l'appui) : la corde s'oppose passivement à la flexion du grasset, elle réalise un système antagoniste de la corde du jarret.

3.4.1.2.3 Muscle extenseur dorsal du doigt

- **Conformation** : il possède un **corps charnu fusiforme** composé de multiples intersections fibreuses. Ce muscle est très élargi dans sa partie moyenne et aplati dans le sens crânio-caudal. Il se prolonge en partie distale du tibia par un long tendon d'abord cylindroïde puis aplati.

- **Origine** : il provient du **tendon du muscle troisième péronier** qui s'insère dans la fosse d'insertion de l'extenseur située entre la lèvre latérale de la trochlée et le condyle latéral du **fémur**.

- **Rapports** : il est situé en partie **crânio-latérale** de la jambe et recouvre le muscle tibial crânial et la corde fémoro-métatarsienne. Son tendon proximal passe avec cette dernière dans le **sillon tibial** ou **coulisse tibiale**, dans lequel il glisse à l'aide d'un **diverticule de la synoviale fémoro-tibiale latérale** (*recessus subextensorius*). Lors de son passage sur le tarse il passe successivement dans :

* **La bride tibiale** ou **réтинacle crural** : il y passe latéralement aux tendons du muscle tibial crânial et de la corde fémoro-métatarsienne.

* **La bride cuboïdienne** ou **réтинacle tarsien** : où il passe seul.

* **La bride métatarsienne** ou **réтинacle métatarsien** : où il passe avec le tendon du muscle extenseur latéral du doigt et l'insertion proximale du tendon du muscle court extenseur du doigt. Il est entouré par une **gaine synoviale** longue et étroite depuis la partie moyenne du tarse jusqu'à trois à quatre centimètres distalement à ce dernier. Cette bourse a son **cul-de-sac proximal** qui remonte à peine dans la région jambière, mais a son **cul-de-sac distal** qui descend jusqu'au quart proximal du métatarse.

Il est rejoint par le tendon du muscle **extenseur latéral du doigt** et la terminaison du muscle **court extenseur du doigt** au niveau de la partie moyenne du métatarse puis reçoit les deux branches du **muscle interosseux**.

- **Action** : il fléchit le tarse et étend le doigt.

- **Innervation** : nerf péronier profond.

- **Terminaison** : **face dorsale de la deuxième phalange** et **éminence pyramidale de la troisième phalange**.

3.4.1.2.4 Muscle extenseur latéral du doigt

- **Conformation** : il possède un **corps charnu fusiforme** de texture pennée et se prolonge par un tendon (cylindroïde puis plat) au niveau du quart distal de la jambe. Il est entouré d'une **gaine fibreuse** formée par le fascia jambier.
- **Origine** : sur toute la longueur de la **fibula**, sur le **ligament collatéral latéral du grasset**, sur les **parois de sa loge** et sur la **membrane interosseuse** de la jambe.
- **Rapports** : il s'étend superficiellement entre les muscles extenseur dorsal du doigt et fléchisseur latéral du doigt. Son tendon passe dans le **sillon malléolaire fibulaire** du tibia puis dans une gaine fibreuse, la **gaine latérale du tarse**. Son glissement dans cette gaine qui lui est propre est facilité par la présence d'une **synoviale vaginale**. Le **cul-de-sac proximal** de cette synoviale remonte jusqu'au quart distal de la jambe et le **cul-de-sac distal** descend jusqu'au niveau de la bride métatarsienne. Le tendon s'infléchit ensuite du côté dorsal, passe sous le **rétinacle métatarsien** des extenseurs ou **bride métatarsienne** avec le tendon du muscle extenseur dorsal du doigt avant de se terminer sur ce dernier. Dans cette dernière partie de son parcours, il est longé dorsalement par le muscle court extenseur du doigt et il croise superficiellement l'artère métatarsienne dorsale III.
- **Terminaison** : il se termine en rejoignant le tendon du muscle **extenseur dorsal du doigt** au niveau du quart proximal du métatarse (exceptionnellement beaucoup plus bas).
- **Action** : il fléchit le tarse et étend le doigt.
- **Innervation** : nerf péronier superficiel.

3.4.1.3 **Muscles caudaux**

Ces muscles partent de la partie distale du **fémur** et/ou proximale du **tibia** et de la **fibula**. Ils sont groupés en deux couches séparées par le septum tibial caudal du fascia jambier. La couche superficielle comprend les muscles gastrocnémien, soléaire et fléchisseur superficiel du doigt et la couche profonde les muscles poplités, fléchisseurs latéral et médial du doigt et le muscle tibial caudal. L'insertion de leurs tendons se fait pour les muscles **extenseurs** du tarse sur le **calcanéus** et pour les **fléchisseurs** du doigt, sur les **phalanges intermédiaire** et **distale**. Ils sont innervés (innervation motrice) par le nerf tibial.

- Muscles extenseurs du tarse :
 - * **Gastrocnémien** (*m. gastrocnemius*)
 - * **Soléaire** (*m. soleus*)
- Muscles fléchisseurs du doigt :
 - * **Fléchisseur superficiel du doigt** (*m. flexor digitorum superficialis*)
 - * **Fléchisseur profond du doigt** (*m. flexor digitorum profundus*) qui peut être divisé en trois têtes :
 - **Tibial caudal** (*m. tibialis caudalis*)
 - **Fléchisseur latéral du doigt** (*m. flexor digitorum lateralis*)
 - **Fléchisseur médial du doigt** (*m. flexor digitorum medialis*)

3.4.1.3.1 Muscle gastrocnémien

- **Conformation** : formé de **deux corps charnus fusiformes**, un latéral et un médial, tous deux élargis dans leur partie moyenne et rétrécis à leurs extrémités. Ces deux chefs forment, avec le

muscle soléaire, le **muscle triceps sural** (*m. triceps surae*) dont le tendon terminal entre dans la constitution de la **corde du jarret**. A la surface du chef latéral du muscle gastrocnémien, la lame profonde du fascia jambier se renforce en une forte lanière qui se divise distalement en deux plans.

- **Origine** : il s'insère sur les parties caudo-latérale (crête sus-condylienne latérale et pourtour de la fosse sus-condylienne) et caudo-médiale (crête sus-condylienne médiale) de l'extrémité distale du **fémur**, proximale aux condyles.

- **Parcours** : les deux chefs recouvrent le muscle fléchisseur superficiel du doigt qui est particulièrement **adhérent au chef latéral**. Ils encadrent le passage du nerf tibial, de l'artère et de la veine poplitée. Le glissement du tendon sur la tubérosité du calcanés est assuré par une petite **bourse synoviale subtendineuse**.

- **Terminaison** : les deux chefs se rejoignent pour se terminer en un **unique tendon gastrocnémien** (*tendo gastrocnemius*) qui constitue la plus grande partie du **tendon calcanéen commun** (*tendo calcaneus communis*) et vient s'insérer sur la **tubérosité du calcanés**. Les plans de la lanière de renforcement du fascia jambier se terminent pour l'un en rejoignant le tendon du muscle gastrocnémien et pour l'autre en rejoignant la lanière latérale provenant du muscle biceps fémoral et en s'insérant sur la corde fémoro-métatarsienne.

- **Action** : étend le tarse (principal extenseur du pied) et fléchit le doigt. Il intervient dans l'impulsion si le membre est à l'appui et dans la ruade si le membre est au soutien. La lanière du chef latéral contribue passivement à la station du membre postérieur.

- **Innervation** : nerf tibial.

3.4.1.3.2 Muscle soléaire

- **Conformation** : ce muscle situé sur la partie **latérale** de la jambe forme un **long faisceau**, grêle et rubané.

- **Origine** : revers caudal de l'extrémité proximale de la **fibula**.

- **Parcours** : il se dirige disto-caudalement et fusionne avec le **chef latéral du muscle gastrocnémien** pour former une partie du **tendon gastrocnémien**. Il est recouvert par le fascia jambier.

- **Terminaison** : il rejoint par un petit tendon celui du **gastrocnémien** dans le quart distal de la jambe.

- **Action** : faible auxiliaire du gastrocnémien.

- **Innervation** : nerf tibial.

3.4.1.3.3 Muscle fléchisseur superficiel du doigt

- **Conformation** : il est constitué d'un petit **corps charnu très fibreux** qui se prolonge en un tendon élargi, formant au niveau du calcanés, la **calotte calcanéenne**. Le tendon devient ensuite funiculaire dans la région du métatarse.

- **Origine** : tendon proximal court s'insérant dans la **fosse supracondyloire** sur la partie caudale du **fémur**.

- **Parcours** : il court profondément, entouré par les deux chefs du muscle gastrocnémien. Il **adhère particulièrement au chef latéral**, puis se déplace médialement pour devenir plus superficiel en partie caudale de la jambe. Il recouvre les muscles profonds de la région et la membrane fémoro-tibiale de l'articulation du grasset. Il forme distalement, avec le tendon du muscle gastrocnémien, la **corde du jarret**. Au niveau du calcanés, il s'élargit pour former une

calotte qui est tenue en place par les **rétinacles médial et latéral**. Une **bourse synoviale** est présente entre cette calotte et la tubérosité calcanéenne.

- **Terminaison** : le tendon distal (tendon perforé) se divise en **deux branches terminales** et gagne la **deuxième phalange**.

- **Action** : fléchit le doigt, aide à l'extension du tarse et à la flexion du grasset. C'est le composant majeur de la partie caudale de l'**appareil réciproque**.

- **Innervation** : nerf tibial.

3.4.1.3.4 *Tendon calcanéen ou corde du jarret*

La corde du jarret solidarise en grande partie et de façon passive les mouvements du grasset et du jarret. Elle réalise un **système antagoniste de la corde fémoro-métatarsienne**.

Elle est constituée par les tendons des muscles **gastrocnémien** et **soléaire** et le tendon du muscle **fléchisseur superficiel** qui forme la **calotte calcanéenne**. Le **fascia jambier** enveloppe l'ensemble de ces tendons et se renforce à leur surface sous forme de lanières puissantes. La **lanière latérale** prolonge le biceps fémoral et la **lanière médiale**, le semi-tendineux.

Plusieurs bourses assurent le glissement de la corde du jarret :

* Une **bourse sous-cutanée** au niveau de la surface de la calotte calcanéenne du planto-perforé.

* La **bourse calcanéenne du perforé** située entre la calotte calcanéenne, la tubérosité du calcanéus et la terminaison du tendon gastrocnémien.

* Une **bourse synoviale subtendineuse** située entre le tendon gastrocnémien et la tubérosité du calcanéus.

3.4.1.3.5 *Muscle poplité*

- **Conformation** : muscle épais, de forme **triangulaire**. Il est disposé de façon oblique, sur la face caudale de l'extrémité proximale du tibia.

- **Origine** : sur la face proximale et caudale du **tibia**.

- **Terminaison** : le tendon se termine sur une **fossette d'insertion** située en arrière de l'épicondyle latéral du **fémur**.

- **Action** : fléchit la jambe et concourt à sa rotation en dedans.

- **Innervation** : nerf tibial.

3.4.1.3.6 *Muscle fléchisseur latéral du doigt*

- **Conformation** : le **corps charnu est épais** et constitué de plusieurs lames fibreuses. Il est recouvert d'une forte aponévrose. Le tendon qui prolonge le corps charnu au niveau du quart distal du tibia, reçoit au-dessus du tarse le **tendon du muscle tibial caudal** et à mi-hauteur du métatarse, le **tendon fléchisseur médial du doigt** pour constituer le **tendon perforant** ou **tendon fléchisseur profond du doigt**. Ce dernier reçoit au même niveau, la **bride tarsienne** ou **ligament accessoire tarsien** (*lig. accessorium*) qui prolonge le ligament plantaire distal du tarse (cette bride parfois absente chez le cheval est inexistante chez l'âne et souvent absente chez le mulet).

- **Origine** : insertion sur la surface distale de la face caudale du **tibia**, sur l'extrémité proximale de la **fibula** et sur la **membrane interosseuse** de la jambe.

- **Parcours** : le corps charnu est couvert par les muscles gastrocnémien et fléchisseur superficiel du doigt. Le tendon passe en face plantaire dans la **gaine tarsienne** au niveau de laquelle il est enveloppé par une **vaste synoviale vaginale** dont le récessus proximal remonte à la face

caudale du tibia et le récessus distal descend jusqu'à la partie moyenne du métatarse. Lors d'hydropisie ces deux récessus forment le **vessigon tendineux de la gaine tarsienne**. Le tendon est ensuite rejoint par les tendons des **muscles tibial caudal** et **fléchisseur médial du doigt** ainsi que par la **bride tarsienne**.

- **Terminaison** : son tendon gagne la **face solaire de la troisième phalange**.
- **Action** : il fléchit le doigt et étend le jarret.
- **Innervation** : nerf tibial.

3.4.1.3.7 *Muscle fléchisseur médial du doigt*

- **Conformation** : **fusiforme** et penné, il est disposé obliquement à la **face caudale** du tibia.
- **Origine** : il s'insère sur le bord caudal de la **tubérosité latérale du tibia**.
- **Parcours** : il se situe entre le fléchisseur latéral du doigt et le poplité. Son tendon passe dans le **sillon malléolaire tibial** puis glisse sur une **synoviale vaginale** allongée, lors de son passage dans une gaine formée par le ligament collatéral médial long du tarse et le fascia plantaire. Il s'infléchit ensuite sur l'extrémité proximale du métatarsien II puis rejoint le tendon du muscle fléchisseur latéral du doigt.
- **Terminaison** : son tendon rejoint celui du muscle **fléchisseur latéral du doigt** et la **bride tarsienne** vers le milieu du métatarse pour constituer le **tendon perforant**.
- **Action** : auxiliaire du muscle fléchisseur latéral du doigt.
- **Innervation** : nerf tibial.

3.4.1.3.8 *Muscle tibial caudal*

- **Conformation** : muscle **grêle** au corps charnu **aplatis** et étroit adhérent au muscle fléchisseur latéral du doigt. Le muscle tibial caudal est considéré comme un faisceau accessoire de ce dernier.
- **Origine** : **tubérosité latérale du tibia**.
- **Parcours** : une dépendance du fascia jambier le sépare des muscles gastrocnémien et fléchisseur superficiel du doigt.
- **Terminaison** : il rejoint le tendon du muscle **fléchisseur latéral du doigt** au niveau du sustentaculum tali.
- **Action** : auxiliaire du muscle fléchisseur latéral du doigt.
- **Innervation** : nerf tibial.

3.4.2 **Muscles courts du pied**

Les muscles du pied sont très peu développés chez le cheval. Par contre des **fascias et des gaines** importantes permettent le fonctionnement de tendons appartenant à des muscles de la région jambière. Au niveau du tarse **un seul muscle court du pied** est présent. Il s'agit du ***muscle extenseur court du doigt (m. extensor digitorum brevis)*** : muscle court et charnu, de forme **triangulaire**, situé à la face dorsale de l'**extrémité proximale du métatarse**, entre les deux tendons extenseurs du doigt. Il prend origine à la **base du calcaneus** et sur la **membrane dorsale du tarse** et se termine à la face profonde du tendon du muscle **extenseur dorsal du doigt**, au voisinage de la terminaison du tendon du muscle extenseur latéral du doigt.

3.4.3 Fascias et gaines du tarse

3.4.3.1 *Sur la face dorsale du tarse*

Le fascia dorsal du pied (*fascia dorsalis pedis*) forme au niveau du jarret plusieurs **réтинacles** ou **brides**. Le glissement des tendons est assuré par la présence de **deux synoviales**.

3.4.3.1.1 Bride tibiale ou réтинacle crural des extenseurs (*retinaculum extensorum crurale*)

- **Conformation** : elle forme une bride fibreuse transversale, **large et épaisse**.
- **Disposition** : elle s'étend entre les **deux malléoles du tibia**.
- **Rapports** : elle permet le passage des tendons des muscles **extenseur dorsal du doigt** et **tibial crânial** ainsi que celui de la **corde fémoro-métatarsienne**.

3.4.3.1.2 Bride tarsienne ou bride cuboïdienne ou réтинacle tarsien des extenseurs (*retinaculum extensorum tarsale*)

- **Conformation** : elle forme un **anneau fibreux** plus étroit que le précédent.
- **Disposition** : elle se situe en regard de la **rangée distale des os du tarse**. Elle s'insère sur la **branche cuboïdienne** de la corde fémoro-métatarsienne, sur le **calcanéus** et sur l'**os tarsal IV**.
- **Rapports** : le tendon du muscle **extenseur dorsal du doigt** glisse sous cette bride.

3.4.3.1.3 Bride métatarsienne ou réтинacle métatarsien des extenseurs (*retinaculum extensorum metatarsale*)

- **Conformation** : c'est une **large** bride transversale.
- **Disposition** : elle joint l'extrémité proximale du **métatarsien III** à celle du **métatarsien IV**.
- **Rapports** : les tendons des muscles **extenseurs dorsal et latéral du doigt** passent sous elle et elle recouvre en partie le muscle court extenseur du doigt.

3.4.3.1.4 Synoviales

Le glissement des tendons est assuré par la présence de **deux synoviales** :

* Celle du tendon du muscle extenseur dorsal du doigt **longue et étroite**. Son **cul-de-sac supérieur** remonte à peine jusqu'au tibia et son cul-de-sac inférieur peut atteindre le quart proximal du métatarse.

* Celle du tendon du muscle tibial crânial plus **vaste**, va de l'extrémité distale de la jambe à la seconde rangée des os du tarse.

Le tendon distal du **muscle tibial crânial** possède également une **bourse cunéenne subtendineuse** sur laquelle il glisse, juste avant son insertion sur la face médiale du tarse.

3.4.3.2 *Sur la face latérale du tarse*

Le tendon du muscle extenseur latéral du doigt glisse :

* Dans une **gaine** formée par le sillon de la malléole latérale du tibia, le ligament collatéral latéral long du tarse et le fascia dorsal du pied.

* Grâce à une **synoviale vaginale** allongée et étroite dont le cul-de-sac proximal remonte jusqu'au quart distal de la jambe et le cul-de-sac distal descend jusqu'à la bride métatarsienne.

3.4.3.3 *Sur la face médiale du tarse*

Le tendon du muscle fléchisseur médial du doigt glisse :

* Dans une **gaine** formée par le sillon de la malléole médiale du tibia, le ligament collatéral médial long du tarse et le fascia plantaire.

* Grâce à une **synoviale vaginale** allongée dont le cul-de-sac distal atteint l'extrémité proximale du métatarsien II.

3.4.3.4 *Sur la face plantaire du tarse*

3.4.3.4.1 Fascia plantaire (fascia plantaris)

* La lame superficielle constitue au niveau du tarse le **rétinacle des fléchisseurs** (*retinaculum flexorum*). Elle participe sur la face latérale du tarse à la formation de la **gaine tarsienne** et sur la face médiale à la constitution de la **gaine** du tendon du muscle **fléchisseur médial du doigt**.

* La lame profonde adhère aux ligaments de la face plantaire du tarse.

Au niveau du calcanéus on trouve en allant de la surface à la profondeur :

* La **bourse sous-cutanée de la pointe du jarret**.

* La **calotte calcanéenne** du tendon fléchisseur superficiel du doigt entourée de son enveloppe lamellaire, de ses deux **branches calcanéenne** de fixation et de sa **bourse subtendineuse**.

* La terminaison du muscle gastrocnémien et sa **bourse subtendineuse**.

3.4.3.4.2 Gaine tarsienne ou gaine plantaire du tarse

- **Conformation** : gaine **large et épaisse**, c'est la **plus importante** des gaines du tarse.

- **Disposition** : elle est formée dorsalement par le **ligament plantaire proximal**, le **sustentaculum tali** et le **ligament plantaire distal**. Sa partie latérale est constituée par la face latérale du **calcaneus** et une expansion du **ligament plantaire distal**. Les faces médiales et plantaires sont quant à elles formées par le **rétinacle des fléchisseurs**.

- **Rapports** : passage du **tendon perforant**.

- **Synoviale** : une **vaste** synoviale vaginale (*vag. synovialis tendinis m. flexoris digitorum pedis lateralis*) enveloppe le tendon. Son **cul-de-sac proximal** remonte à la face caudale du tibia jusqu'au niveau de son quart distal. Son **cul-de-sac distal** descend jusqu'à mi-hauteur du métatarse. L'hydropisie de la synoviale provoque une hypertrophie du cul-de-sac proximal à l'origine d'une **tuméfaction allongée, molle et bilatérale** dans le **creux du jarret** ainsi qu'un gonflement du récessus distal provoquant un empâtement de la **partie supérieure de la région métatarsienne**. Cette hydropisie est appelée **vessigon tendineux de la gaine tarsienne**.

3.5 Angiologie du jarret

(35)

3.5.1 Artères du pied du cheval

3.5.1.1 *Système dorsal*

Il est constitué par l'**artère dorsale du pied** qui prolonge l'artère tibiale crâniale au niveau du rétinacle proximal des extenseurs. Cette artère court sur la face dorsale du jarret puis bifurque latéralement, avant de passer sous la bride tarsienne, accompagnée par le tendon du muscle extenseur dorsal du doigt. L'artère dorsale du pied se poursuit ensuite en l'**artère métatarsienne dorsale III** après avoir délégué un rameau formant l'**artère tarsienne perforante**. L'**artère métatarsienne dorsale III** passe sous la bride métatarsienne puis contourne l'extrémité proximale du métatarsien III, au niveau duquel est visible un **sillon vasculaire** accueillant l'artère. Cette artère se dispose ensuite entre les métatarsiens III et IV et se poursuit le long du métatarse avant de se diviser à l'extrémité distale de celui-ci. L'**artère tarsienne perforante** quant à elle s'engage dans le canal tarsien et traverse le tarse en direction dorso-plantaire avant de rejoindre l'arcade plantaire profonde.

3.5.1.2 *Système plantaire*

Il provient de l'anastomose entre l'**artère tibiale caudale** et le **rameau caudal de l'artère saphène** qui fournit deux **artères plantaires**, l'une latérale et l'autre médiale. Ces deux artères, plutôt grêles, encadrent le tendon du muscle fléchisseur latéral qu'elles longent, accompagnées des nerfs plantaires. Ces artères émettent ensuite chacune un fin rameau formant une **artère digitale commune plantaire (médiale ou latérale)** qui suit le tendon perforant. Lors de leur passage sous l'extrémité proximale du muscle interosseux elles s'anastomosent pour former l'arcade plantaire profonde qui émet ensuite deux rameaux artériels.

3.5.2 Veines du pied du cheval

Elles suivent approximativement le même trajet que les artères et on retrouve ainsi :

- Le système dorsal : il est formé par une **veine dorsale** du pied qui se poursuit en une **veine métatarsienne dorsale III** et une **veine tarsienne perforante**. La veine dorsale du pied se jette dans la **veine tibiale crâniale**.
- Le système plantaire : on retrouve deux **veines plantaires**, deux **veines digitales communes plantaires (médiale et latérale)** et une **veine tarsienne perforante**.

3.6 Neurologie

(33)

3.6.1 Système dorsal

Il est formé par les nerfs **digitaux communs** provenant du nerf **fibulaire superficiel** et par les nerfs **métatarsiens dorsaux médial et latéral** fournis par le nerf **fibulaire profond**. Ce système est complété par un rameau dorsal des nerfs **digitaux plantaires latéral et médial**. Ce système assure l'**innervation motrice** des muscles jambiers crâniens et l'**innervation sensitive** de toute la région crâniale et crânio-latérale du jarret. L'**innervation sensitive** de la partie crânio-médiale est quant à elle assurée par le **nerf saphène**.

3.6.2 Système plantaire

Il est constitué par les nerfs **digitaux plantaires latéral et médial**, poursuivant le **nerf tibial**. Ce système assure l'**innervation motrice** des muscles caudaux et l'**innervation sensitive** de toute la région caudale, caudo-médiale et caudo-latérale du jarret.

4 RADIOGRAPHIE DU JARRET

(11) (14) (21) (25) (38) (39) (47) (49) (51) (53) (70) (80) (84) (85) (88) (94) (95) (110) (113)
(114) (115)

4.1 Introduction

(88)

L'interprétation des radiographies du tarse est considérée comme étant l'une des plus difficiles pour les praticiens équinés du fait du grand nombre d'os présents et de leur variabilité en matière de forme. Par ailleurs l'anatomie et la pathologie de cette région semblent être souvent moins bien maîtrisées que celles d'autres parties du corps.

Il existe quatre vues standard qui sont les incidences **Dorso-Plantaire** (DP), **Latéro-Médiale** (LM), **Dorso-Latérale Plantaro-Médiale Oblique** (DLPMO) et **Plantaro-Latérale Dorso-Médiale Oblique** (PLDMO) ou **Dorso-Médiale Plantaro-Latérale Oblique** (DMPLO).

Il y a en plus 2 vues supplémentaires possibles qui sont les incidences **Latéro-Médiale en flexion** (LM fl.) et **Plantaro-Proximale Plantaro-Distale en flexion** ou **skyline du calcaneus** (PI-Prox PI-Dist).

Avant de présenter une étude détaillée de chaque projection, les éléments communs les caractérisant sont rappelés dans le paragraphe suivant.

4.2 Principes généraux de la réalisation des radiographies et de l'anatomie radiographique du jarret

(11) (25) (38) (51) (84)

4.2.1 Réalisation des radiographies

(11) (25) (51) (84)

La réalisation des radiographies, les principes de contention et le matériel utilisé sont les mêmes pour les différentes incidences.

4.2.1.1 Contention

* Le jarret doit être **propre** et **brossé** afin d'éviter la présence de débris externes radio-opaques pouvant compromettre l'interprétation des radiographies. **La queue peut être nouée** pour faciliter l'examen du jarret et la prise des clichés (84).

* Le cheval doit être bien **en appui sur ses quatre membres** avec les **canons parallèles** aux plans sagittal et frontal. Les **membres pelviens** doivent être suffisamment **écartés** pour permettre le placement de la cassette. Pour diminuer les mouvements du cheval il est possible de lui tenir un **membre levé**, de préférence le membre antérieur **ipsilatéral** (le fait de prendre le postérieur controlatéral rend le positionnement de l'appareil radiographique plus délicat pour certaines vues et modifie l'appui du membre radiographié) (25).

* Si une **douleur** empêche ou limite l'appui du membre étudié, l'utilisation d'un **analgésique** peut être conseillée, à condition bien sûr qu'une fracture ne soit pas suspectée (butorphanol associé à un α -2 agoniste par exemple) (25).

* Dans le cas d'un cheval **réticent** ou insuffisamment immobile, l'utilisation d'un tord nez et le recours à une **tranquillisation** peut s'avérer utile (détomidine par exemple) (25).

* Principes de sécurité : ne jamais se mettre en danger ! Tout cheval est susceptible de présenter des réactions inattendues, il est donc nécessaire de **ne jamais se placer derrière le cheval**, mais sur l'un de ses côtés et de rester **attentif** afin de pouvoir réagir rapidement en cas de problème (51).

* Radioprotection : les mesures détaillées dans la partie 2 « Principes généraux de la radiographie » paragraphe 2.4 « Radioprotection » doivent être respectées.

4.2.1.2 Matériel

* Machine à rayons X (le plus souvent portable en clientèle courante).

* Cassette 24 x 30 cm à écran lent. L'utilisation d'une grille n'est la plupart du temps pas nécessaire.

- * Marqueurs droit ou gauche (à placer latéralement sur le cliché ou dorsalement s'il s'agit d'une vue de profil).
- * Porte-cassette.
- * Tablier, protège-thyroïde, gants en plomb et éventuellement lunettes de protection.
- * Distance foyer-film : 1 mètre (11).

4.2.2 Anatomie radiographique du jarret

(25) (38) (51)

En ce qui concerne l'anatomie radiographique de l'adulte et du jeune, les caractères généraux sont décrits ici pour ensuite ne détailler dans les paragraphes suivants que les particularités propres à chaque incidence.

4.2.2.1 *Notion d'os « sentinelle »*

(51)

On qualifie ainsi l'os qui, sur une **vue donnée**, présente un **aspect radiographique toujours identique**. Son évaluation permet ainsi d'estimer rapidement et assez précisément la **qualité des clichés** et ce pour chaque projection.

4.2.2.2 *Anatomie radiographique de l'adulte*

(51)

L'anatomie du tarse est détaillée dans la partie 3 « *Anatomie du jarret* », un petit rappel des points essentiels à connaître est résumé ici.

* Le tarse est composé de **6 os individuels** : le **talus**, le **calcanéus**, l'**os central du tarse**, l'**os tarsal I+II**, l'**os tarsal III**, et l'**os tarsal IV**.

* On distingue **cinq articulations majeures** : l'articulation **tibio-tarsienne** ou **cruro-tarsienne**, l'articulation **talo-calcanéenne**, l'articulation **intertarsienne proximale**, l'articulation **intertarsienne distale** et l'articulation **tarso-métatarsienne** (les deux premières communiquent entre elles, ainsi que les deux dernières).

* Il y a **deux fosses synoviales**, l'une est adjacente au **tenon intermédiaire** du tibia et l'autre se situe dans la **gorge se trouvant entre les lèvres de la trochlée** du talus. Ces invaginations du cartilage articulaire dans l'os sous-chondral sont normales et ne doivent pas être confondues avec des kystes ou des plages de destruction osseuse.

* Il existe **quatre ligaments majeurs** : le **collatéral médial**, le **collatéral latéral**, le **commun dorsal** et le **plantaire**.

* Exceptionnellement certains chevaux ont de façon congénitale l'os tarsal I et l'os tarsal II non soudés ou l'os central du tarse et l'os tarsal III fusionnés.

4.2.2.3 Anatomie radiographique du jeune

(25) (38) (51)

✓ **Caractères généraux**

Par rapport à l'adulte les os sont plus **petits** et plus **arrondis**, mais aussi plus **poreux** et moins **denses**. L'**espace intra-articulaire** apparaît **plus large** que chez un adulte car il y a proportionnellement plus de cartilage présent.

Chez les **nouveau-nés** l'**ossification très incomplète** du **bord dorsal des os** se traduit à la radiographie par un contour **arrondi**. En conséquence sur un cliché de profil, les espaces articulaires de la rangée distale du tarse apparaissent légèrement **plus larges du côté dorsal** que du côté plantaire. Le bord devient ensuite peu à peu rectiligne voire concave, et à partir de l'âge **d'un mois** environ, les **marges articulaires** proximales et distales des os deviennent saillantes et forment de petites **crêtes** aux limites nettes. Ce n'est que progressivement qu'apparaissent sur ce bord dorsal, les **reliefs d'insertions ligamentaires** caractéristiques, tandis que les **interlignes articulaires s'amincissent**.

On observe **trois centres d'ossification** distincts : la **tubérosité du calcaneus** (*tuber calcanei*) s'ossifie entre **seize et trente-six mois**, l'**épiphyse distale du tibia** s'ossifie entre **dix-huit et vingt-quatre mois** et l'**épiphyse distale de la fibula** s'ossifie pendant la première année, le plus souvent entre **trois et huit mois**.

✓ **Tibia**

* A la **naissance**, la **malléole latérale** du tibia est **incomplètement ossifiée** et peut avoir un contour **irrégulier** et **rugueux** ainsi qu'une opacité **granuleuse**. Chez le **poulain nouveau-né**, elle est nettement **séparée du tibia** et sur la vue DP, elle apparaît grossièrement **triangulaire**. Il y a en effet un centre d'ossification propre pour la **malléole latérale du tibia** qui représente en fait l'**épiphyse distale de la fibula**. Cette **opacité ovale** bien délimitée sur les radiographies, fusionne avec le tibia vers **trois mois** d'âge et ne doit pas être interprétée comme étant une fracture. Chez un poulain de **deux mois**, la fusion de la malléole latérale à l'épiphyse distale du tibia est souvent déjà **bien avancée** : entre ce relief et l'épiphyse tibiale, le trait fin et radio-transparent de séparation est à peine décelable, au sein d'une zone radiodense. La **soudure** s'effectue en général **avant 6 mois**.

* Chez les jeunes poulains, la **malléole médiale** est de **densité hétérogène** et son contour est un peu **irrégulier**. D'abord **arrondie**, elle devient progressivement plus **tubéreuse**.

* Les **bords de la métaphyse distale du tibia** présentent un **contour un peu irrégulier** et la **plaque de croissance** (dont le tracé épouse la forme de la cochlée tibiale) est très **fine** à **quatorze mois**, et uniquement présente sous forme de **trace** à **dix-huit mois**. A l'âge de **deux ans**, la **soudure** de l'épiphyse distale du tibia au reste de l'os est normalement **complète**.

✓ **Talus**

* Chez le poulain, les **tubercules médiaux proximal et distal du talus**, présents chez l'adulte, ne sont **pas développés**.

* Chez le poulain en croissance, les **lèvres de la trochlée du talus** sont très **incomplètement ossifiées** et leurs **contours sont irréguliers**. Ces irrégularités peuvent être associées à des méplats et s'estompent le plus souvent à partir de l'âge d'**un mois**.

✓ **Calcanéus**

* Le relief du **tuber calcanei** se développe à partir d'un centre d'ossification qui lui est propre et qui, chez le jeune, est séparé du reste de l'os par la **plaque de croissance** visible sous la forme d'un espace radiotransparent. Chez le nouveau-né, ce noyau de **forme ovale**, recouvre à peine les deux tiers plantaires de l'extrémité du calcanéus. Chez les jeunes poulains, l'extrémité **proximo-dorsale** du noyau calcanéen a souvent un **contour légèrement irrégulier** et le bord **plantaire** de ce dernier (en particulier l'extrémité disto-plantaire) présente une **densité hétérogène**. Il est par ailleurs possible chez certains animaux, d'observer en regard de l'extrémité disto-plantaire, la présence d'une **zone d'ossification** circonscrite, **détachée** du reste du noyau, mais située dans son prolongement.

* Le **sustentaculum tali** à peine formé à la naissance, est progressivement souligné par un fin liseré radiodense.

* La **plaque de croissance du tuber calcanei s'amincit** peu à peu, alors que la **densité** de la région sous-chondrale distale à la plaque augmente. Durant les mois qui suivent, le **bord plantaire** et l'extrémité **proximo-dorsale** du calcanéus peuvent présenter une **densité légèrement hétérogène** et un **contour irrégulier** avec au niveau de la plaque de croissance, des limites proximales et distales très denticulées. En ce qui concerne le **noyau calcanéen** ce dernier devient plus globuleux dans sa partie plantaire et son **développement en deux temps** (en direction proximale, puis en direction dorsale), fait apparaître entre ces deux directions une **dépression** qui correspondra au **sillon transversal** retrouvé plus tard chez l'adulte. La soudure de ce noyau au reste de l'os n'est complète que vers l'âge de trente-six mois.

✓ **Os central du tarse, os tarsal III, os tarsal IV**

Ils peuvent être **facilement identifiés**, ils sont de forme arrondie avec des contours lisses et bien définis.

✓ **Os tarsal I+II**

Les **os tarsal I** et **tarsal II** sont moins aisément individualisables que les autres os chez les nouveau-nés. Parfois déjà soudés l'un à l'autre, ils sont **le plus souvent distincts** et il semblerait que la fusion reste souvent incomplète à 6 mois (chez certains chevaux adultes ils peuvent même ne pas être soudés).

✓ **Métatarsiens**

La plaque de croissance proximale de l'os métatarsien III est fermée à la naissance et n'est plus visible sur les radiographies.

4.3 Réalisation des radiographies, anatomie radiographique et affections fréquemment identifiées vue par vue

(11) (14) (21) (25) (39) (47) (49) (51) (53) (70) (80) (84) (85) (88) (94) (95) (110) (113) (114) (115)

4.3.1 Vue Dorso-Plantaire (DP)

(11) (14) (21) (25) (39) (47) (51) (53) (80) (84) (85) (88) (110) (113) (115)

4.3.1.1 *Réalisation de la radiographie*

- Position

* **Cassette** : elle doit être placée contre la face plantaire du tarse. La partie proximale doit être disposée de façon à comprendre la pointe du jarret et le centre de la cassette doit se trouver en regard de l'**os central du tarse**. Elle doit être **perpendiculaire au sol** tout en étant **parallèle à la face plantaire du métatarsien** (11) (25) (85) (88).

* Pour faciliter le placement de l'appareil à rayons X les **pieds** du cheval doivent être légèrement tournés vers l'**extérieur** (11) (25) (85) (88).

* **Faisceau de rayons X** : il doit être dans le plan sagittal du membre et être **horizontal** (25) (85) ou mieux incliné de **5 à 10° proximo-distalement** (25) (11) (85) (88) (les 2 vues peuvent être réalisées si nécessaire). Il doit être centré sur l'**os central du tarse** (11) (85) (88) ou l'**articulation intertarsienne distale** (25).

- Critères de qualité

(11) (51) (88)

* **Interlignes articulaires** visibles.

* **Tuber calcanei** visible en entier.

* Au niveau du métatarsien III : **enthèse du ligament suspenseur du boulet** (extrémité proximale et plantaire) et **vaisseaux nourriciers** (centre de la diaphyse) visibles.

* **Têtes des os métatarsiens II et IV** plus proximales avec une inclinaison du faisceau de 10° qu'avec une incidence horizontale.

* **Os « sentinelle »** : il s'agit de l'**os central du tarse**. Il prend environ 80 % de la largeur du tarse et apparaît superposé à la moitié médiale de l'os tarsal IV. Les articulations intertarsiennes proximale et distale doivent apparaître telles des lignes brillantes discrètement incurvées et présentant des degrés de clarté variables en fonction de l'angle et de la direction du faisceau de rayons X.

- Avantages

(11) (25) (80) (85)

* Les vues dorso-plantaires permettent de mettre plus particulièrement en évidence les structures suivantes :

- ✓ Faces latérale et médiale du tarse, du tibia distal, et du métatarse proximal.
- ✓ Articulations tibio-tarsienne, intertarsiennes et tarso-métatarsienne.
- ✓ Talus, os central du tarse, os tarsal III et os tarsal IV.

* Les vues dorso-plantaires sont les meilleures projections pour évaluer les **espaces articulaires** et pour évaluer l'**enthèse du ligament suspenseur du boulet**.

- Remarques

* Chez certains chevaux, il est impossible d'évaluer toutes les **articulations intertarsiennes distales** sur un même cliché compte tenu de l'**inclinaison des interlignes articulaires** (25).

* Une légère obliquité du faisceau de rayons X par rapport à l'axe sagittal permet mieux de mettre en évidence la malléole médiale (vue D15°LPMO) ou latérale (vue D15°MPL0) (25)

* Du fait de sa sous-exposition, le **calcanéus** est souvent non clairement visible (à cause de la partie distale du tibia qui forme une ombre empêchant son évaluation radiographique) (85).

- Conseils techniques

* Une erreur commune est de centrer le faisceau trop haut ce qui entraîne une projection oblique des espaces articulaires (84).

4.3.1.2 *Anatomie radiographique de l'adulte*

- ✓ Tibia

Les **malléoles médiale et latérale** sont visibles sous la forme de protubérances lisses et arrondies sur la partie proximale du tarse. Des irrégularités légères du contour peuvent traduire l'existence d'atteintes anciennes au niveau des attaches des **ligaments collatéraux du tarse** (25). La **malléole latérale** contient une gorge verticale pour le **tendon du muscle extenseur latéral du doigt** et la **malléole médiale**, qui est la plus large des deux, marque la limite crâniale de la gorge pour le **tendon du muscle fléchisseur médial du doigt** (85).

- ✓ Os central du tarse, os tarsal I+II, os tarsal III, os tarsal IV

La surface articulaire proximale concave de l'**os central du tarse** résulte de la superposition de sa partie plantaire avec le **talus**. Dans la région de l'os central du tarse et de l'os tarsal III on observe beaucoup d'opacités différentes et de lignes radio-opaques à cause de la superposition des **os tarsal I+II** et **tarsal IV** et des **extrémités proximales** des os **métatarsiens II** et **IV**. Les **bases de ces deux derniers os** sont inclinées et leurs articulations, respectivement avec l'os **tarsal I+II** et l'os **tarsal IV**, sont superposées au **tiers proximal de l'os tarsal III**. Des plages ovales plus radiotransparentes, bien définies et centrées sur les **articulations intertarsiennes proximale** et/ou **distale**, sont parfois présentes. Ces dernières représentent des **dépressions non articulaires** et ne doivent pas être confondues avec des lésions osseuses (25).

4.3.1.3 *Anatomie radiographique du jeune*

* La **malléole latérale** a un centre d'ossification propre qui s'unit à celui de l'épiphyse distale du tibia entre **trois et huit mois** d'âge (85).

* La plaque de croissance du tuber calcanei du **calcanéus** se ferme entre **vingt-deux et trente-six mois** d'âge (85).

* La plaque de croissance distale du **tibia** se ferme entre **dix-huit et vingt-quatre mois** d'âge (85).

* Chez le yearling les aspects médial et latéral des **espaces articulaires intertarsiens** peuvent varier d'un animal à l'autre sans que cela ne soit pathologique (14).

4.3.1.4 *Affections fréquemment identifiées*

* **Arthrose** sur les marges latérales et médiales des articulations intertarsiennes et tarso-métatarsienne, traduite par la présence d'**ostéophytes** et de **sclérose** ou de **lyse sous-chondrale**, ainsi que par la **diminution des interlignes articulaires** (11) (25) (115).

* **Ostéocondrose** : fragmentation des **malléoles médiale** (mais la meilleure vue reste la vue DLPMO) et **latérale** (très rare) du tibia (11) (115).

* **Fractures** de la **malléole latérale** du tibia (meilleure vue), de la portion distale de la **lèvre latérale du talus** (meilleure vue) et des os de la **rangée distale du tarse** (les vues DP et LM sont les meilleures vues) (39) (110) (115).

* Une **desmite proximale du ligament suspenseur du boulet** peut être suspectée lorsqu'une opacification est visible en partie proximale du métatarsien III (les vues DP et LM sont les meilleures vues), une **fracture d'avulsion** au niveau de l'enthèse de ce ligament peut aussi être détectée sur cette incidence (meilleure vue) (47).

* Chez le poulain elle permet de mesurer une **déviations angulaire** et de déterminer le point pivot de cette dernière (21) (53) (113) (115).

4.3.2 **Vue Latéro-Médiale (LM)**

(11) (14) (25) (39) (47) (51) (70) (80) (85) (88) (110) (115)

4.3.2.1 *Réalisation de la radiographie*

- Position

* **Cassette** : elle doit être placée avec le haut au niveau de la pointe du jarret et contre la face médiale du tarse, centrée sur l'**os central du tarse** (11) (70) (85).

* **Faisceau de rayons X** : il doit être **parallèle à la ligne des talons** et perpendiculaire à la cassette. Deux incidences différentes sont possibles :

=> Vue latéro-médiale 0° : le faisceau est **horizontal** et dirigé parallèlement à la ligne joignant les malléoles médiales et latérales du tibia ou à la ligne des talons. Le faisceau est centré sur le **talus** (25).

=> Vue latéro-médiale 10° (L10°Pr-MDiO) : incliné de **10° proximo-distalement**. Le faisceau est centré sur l'**articulation intertarsienne distale** (25).

Remarque : certains auteurs préconisent d'utiliser une inclinaison de seulement **3 à 5°** et de centrer le rayon sur l'**os central du tarse** (85) (88).

- Critères de qualité

(11) (51) (80) (88)

* **Interlignes articulaires** visibles.

* **Métatarsien III** bien perpendiculaire au sol.

* Superposition des **lèvres de la trochlée** du talus, base de la **lèvre médiale** du talus visible.

* **Os « sentinelle » : sustentaculum tali** qui apparaît avec un contour net et bien distinct et un intérieur relativement plus radiotransparent.

- Avantages

(11) (85)

* Cette vue permet de mettre plus particulièrement en évidence les structures suivantes :

- ✓ Faces dorsale et plantaire du tarse.
- ✓ Tenon intermédiaire du tibia.
- ✓ Contours des lèvres médiales et latérales de la trochlée du talus qui apparaissent superposées si le profil est parfait.
- ✓ Calcanéus bien dégagé (utilisation d'une lampe haute intensité intéressante car il est souvent surexposé).
- ✓ Articulations intertarsiennes (en particulier les parties dorsales des espaces articulaires).
- ✓ Extrémité proximale du métatarsien IV.

- Remarques

* Les os et les articulations du tarse ne sont pas horizontaux, mais sont inclinés **proximo-distalement** et **latéro-médialement**, afin d'être parallèle aux espaces articulaires il est donc conseillé d'incliner le faisceau de rayons X de **5 à 10° proximo-distalement** (25).

- Conseils techniques

* Une erreur commune est de centrer le faisceau **trop haut** sur le membre (70) (85).

4.3.2.2 *Anatomie radiographique de l'adulte*

- ✓ Talus

Les **lèvres latérales et médiales de la trochlée du talus** sont le plus souvent doucement **incurvées**, mais peuvent parfois être légèrement **aplaties** et ce en particulier chez les chevaux de race lourde. La **lèvre latérale** est reconnaissable, car juste après son extrémité distale une **large échancrure** bien distincte est visible. La **lèvre médiale** a quant à elle, à son extrémité distale une **protubérance** en « goutte d'eau », de taille variable (petite, avec ou sans ligne radio-opaque la traversant (traduisant la présence des vaisseaux nourriciers), large et arrondie ou encore pointue). Il est possible d'observer **une à deux opacités discrètes en région distale** qui ne doivent pas être confondues avec des foyers de fractures (25).

- ✓ Calcanéus

En fonction des facteurs d'exposition utilisés, un nombre variable de lignes plus radiotransparentes peut être identifié dans la région où le calcanéus et le talus sont superposés. Elles représentent les **articulations talo-calcanéenne et tibio-tarsienne** et ne doivent pas être interprétées comme étant des fractures (25).

✓ **Os central du tarse, os tarsal I+II, os tarsal III, os tarsal IV**

L'**os central** du tarse et l'**os tarsal III** ont des **formes assez régulières**, l'os central est visible dans la rangée proximale des os du tarse et l'os tarsal III occupe la majeure partie de la rangée distale. Les **os tarsal I+II** et **tarsal IV** sont quant à eux partiellement visibles sur cette vue, leurs projections sont **superposées**. Le contour légèrement irrégulier de la face plantaire de l'os tarsal IV est bien mis en évidence sur cette vue (25) (85).

✓ **Os métatarsiens**

La tête du **métatarsien IV** étant plus large que celle du **métatarsien II**, il apparaît sur cette vue particulièrement proéminent en région plantaire. Les os métatarsiens II et IV ne sont pas superposés (85).

4.3.2.3 *Anatomie radiographique du jeune*

- * Le centre d'ossification du tuber calcanei se ferme entre **vingt-deux et trente-six mois** (85).
- * Il existe des **variations radiologiques normales** pouvant être visibles chez un poulain :
 - **Aplanissement** de la surface dorsale de la **lèvre médiale** de la trochlée du talus.
 - Visualisation de l'espace articulaire de l'**articulation talo-calcaneenne**.
 - Variation de la **forme** de l'**éminence osseuse** de la partie distale de la **lèvre médiale** de la trochlée du talus.
 - Variation de la **forme** du **tenon intermédiaire** du tibia (14).

4.3.2.4 *Affections fréquemment identifiées*

- * **Arthrose** des articulations intertarsiennes et tarso métatarsienne (11) (25) (115).
- * **Ostéochondrose** : lésions sur le **tenon intermédiaire** du tibia (la vue de choix reste la vue DMPLO) et les **lèvres latérale et médiale de la trochlée du talus** (c'est la vue de choix) (115).
- * **Desmite proximale du ligament suspenseur du boulet** : suspectée lorsqu'une sclérose osseuse est visible au niveau de son enthèse (les vues DP et LM sont les meilleures vues) (47).
- * **Fractures des os de la rangée distale du tarse** : elles peuvent la plupart du temps être identifiées sur cette vue (les vues DP et LM sont les meilleures vues) (39) (110).
- * **Entésopathie au niveau de l'attache du ligament plantaire** : irrégularité des faces plantaires du calcaneus, de l'os tarsal IV et des os métatarsiens (25) (85).
- * Parfois une **petite production osseuse en forme d'éperon** est visible sur la face **dorso-proximale de l'os métatarsien III**. Il peut s'agir d'un **ostéophyte** ou d'un **entésophyte** sur le site d'attache du ligament dorsal tarso-métatarsien ou du tendon du muscle tibial crânial, signe d'une ancienne blessure. Si la production osseuse est en continuité avec la plaque osseuse sous-chondrale il s'agit probablement d'un ostéophyte. En l'absence d'autres signes radiographiques anormaux cela ne traduit pas nécessairement la présence d'arthrose (même s'ils peuvent y être associés). Un ostéophyte sans signification pathologique a en général des marges lisses et une opacité uniforme (25).

4.3.3 Vue Dorso-Latérale Plantaro-Médiale Oblique (DLPMO)

(11) (14) (25) (49) (51) (70) (80) (85) (88) (94) (95) (110) (115)

4.3.3.1 Réalisation de la radiographie

- Position

* **Cassette** : elle doit être placée avec le haut au niveau de la pointe du jarret et contre la face plantaro-médiale du tarse, centrée sur l'**os central du tarse**. Elle doit être **parallèle au canon** et perpendiculaire au faisceau de rayons X (11) (70) (85).

* **Faisceau de rayons X** : il doit être **horizontal** et faire un angle de **45° avec l'axe sagittal (D45°LPMO)** (11) (70) (80) (85) (88). Il est centré sur l'**os central du tarse** (11) (85) (88) ou sur l'**articulation intertarsienne distale** (25).

Remarques :

- Certains auteurs conseillent d'**incliner le faisceau de 3 à 5°** en direction du sol (85).
- D'autres proposent de faire une vue **D30°LPMO** (25) ou **D35°LPMO** (95).
- Selon une étude récente, la vue D30°LPMO serait la meilleure pour identifier des lésions d'ostéochondrose de la malléole médiale (plus que la D45°LPMO). Dans ce travail, la combinaison des vues D45°LPMO et D30°LPMO a permis de détecter 71 % lésions d'OC de la malléole médiale et 94 % de ces lésions étaient mieux visualisables sur la vue D30°LPMO. D'après cette étude la spécificité de la radiographie dans la détection des lésions d'OC de la malléole médiale est de 85 % (94).

- Critères de qualité

(11) (51)

* Interlignes articulaires visibles.

* Partie proximale de la trochlée du talus formant un M.

* **Os « sentinelle »** : **os tarsal IV**, le seul os des os de la rangée distale du tarse à s'étendre jusqu'à la rangée proximale.

- Avantages

(11) (85) (88)

* Cette vue permet de mettre plus particulièrement en évidence les structures suivantes :

- ✓ Face dorso-médiale du tarse (dont l'endroit où passe de façon oblique le tendon cunéen (branche médiale du tendon tibial crânial) avant d'aller s'insérer sur l'os métatarsien III et l'os tarsal I+II).
- ✓ Malléole médiale et tenon intermédiaire du tibia (fosse synoviale).
- ✓ Articulation tibio-tarsienne.
- ✓ Lèvre médiale de la trochlée du talus.
- ✓ Surface plantaro-latérale du calcaneus.
- ✓ Aspect dorso-médial de l'os central et de l'os tarsal III. Relation entre les os tarsal III et IV.
- ✓ Extrémité proximale de l'os métatarsien IV et ses articulations avec l'os tarsal IV et l'os métatarsien III.

- Remarques

Selon plusieurs études cette projection semble être la **meilleure** pour détecter la présence des **maladies articulaires dégénératives**, puisque les lésions associées à l'arthrose sont le plus fréquemment rapportées au niveau de la face **dorso-médiale du tarse** (49).

4.3.3.2 *Anatomie radiographique de l'adulte*

- ✓ Talus

Sur cette vue une **zone radiotransparente** de taille et de forme variable, représentant une **fosse synoviale**, est visible dans la **partie proximale de la gorge tarsale**. La **tubérosité médiale et distale du talus** est habituellement **lisse et légèrement arrondie** (25).

- ✓ Os central du tarse, os tarsal I+II, os tarsal III, os tarsal IV

* Il y a une **proéminence osseuse** sur la partie **dorso-médiale de l'os tarsal III** sur le site d'attachement d'un des **ligaments dorsaux du tarse**.

* L'**os sous-chondral** de la partie distale du **talus**, de l'**os central**, de l'**os tarsal III** et de la partie proximale de l'**os métatarsien III** apparaît relativement **sclérosé**.

* On note la présence de **dépansions non articulaires** sur les surfaces du **talus**, de l'**os central du tarse**, de l'**os tarsal III** et de l'**os métatarsien III** qui font apparaître une zone relativement **radiotransparente** dans le centre des articulations **intertarsiennes** et **tarso-métatarsienne**.

* L'ouverture **dorsale** du **canal tarsal** à travers lequel passe l'**artère perforante du tarse** et une branche du **nerf fibulaire profond** est visible sous la forme d'une **zone radiotransparente** bien définie (25).

4.3.3.3 *Anatomie radiographique du jeune*

* Il existe des variations radiologiques normales pouvant être visibles chez un poulain :

- **Aplatissement** de la surface dorsale de la **lèvre médiale** de la trochlée du talus.

- Variation de la **forme** de l'**éminence osseuse** de la partie distale de la **lèvre médiale** de la trochlée du talus.

- Variation de la **forme** du **tenon intermédiaire** du tibia.

- **Superposition** de la **tubérosité proximale, médiale** du talus et du **tenon intermédiaire** du tibia.

- Visualisation du canal tarsal (14).

4.3.3.4 *Affections fréquemment identifiées*

* **Arthrose** sur les espaces articulaires **intertarsiens** et **tarso-métatarsien** (11) (49) (115).

* **Ostéochondrose** : lésion fréquente sur le **tenon intermédiaire** du tibia (la vue de choix reste la vue DMPLO) et plus rare, mais possible sur la **malléole médiale du tibia** ou la **lèvre médiale du talus** (dans ces deux cas la vue DLPMO est la plus intéressante) (11) (115).

* **Fractures de la partie distale de la lèvre latérale du talus** : elles sont identifiables sur cette vue (110) (115).

* **Entésopathie du ligament collatéral médial court** : irrégularité de la tubérosité médiale et distale du talus (25).

4.3.4 Vue Plantaro-Latérale Dorso-Médiale Oblique (PLDMO) ou Dorso-Médiale Plantaro-latérale Oblique (DMPLO)

(11) (25) (39) (51) (70) (80) (84) (85) (88) (95) (110) (114) (115)

4.3.4.1 Réalisation de la radiographie

- Position

Pour la vue PLDMO :

* **Cassette** : elle doit être placée avec le haut au niveau de la pointe du jarret et contre la face dorso-médiale du tarse, centrée sur l'**os central** du tarse (85) (88).

* **Faisceau de rayons X** : il doit être horizontal ou incliné de 3,5° ou 10° disto-proximalement et faire un angle de **30° à 35° avec l'axe latéro-médial** (11) (25) (84) (85) (88) (95). Il est centré sur l'**os central du tarse** (85) (88) ou l'**articulation intertarsienne distale** (25).

Remarques :

- Certains auteurs proposent de faire un angle de **45°** entre le faisceau de rayons X et l'axe latéro-médial (70) (80).

- Il est possible de réaliser une vue **DMPLO** à la place de la vue PLDMO. Cette dernière est moins souvent employée en pratique car elle nécessite de mettre l'appareil à rayons X dorsalement et médialement au tarse en le plaçant quasiment sous le cheval, ce qui représente un danger pour l'appareil et pour la personne qui tient le tube radiogène. Il est donc recommandé de ne réaliser cette projection que si l'on connaît bien le cheval et/ou que celui-ci est tranquilisé et suffisamment calme (85).

- Critères de qualité

(11) (51)

* Interlignes articulaires visibles.

* Encoche distale de la lèvre latérale de la trochlée du talus visible.

* **Os « sentinelle » : os tarsal I+II** : il apparaît latéralement comprimé avec un contour dense et un intérieur relativement radiotransparent.

- Avantages

(11) (85)

* Cette vue permet de mettre plus particulièrement en évidence les structures suivantes :

- ✓ Face dorso-latérale du tarse.
- ✓ Malléole latérale et tenon intermédiaire du tibia.
- ✓ Lèvre latérale du talus.
- ✓ Sustentaculum tali.
- ✓ Os tarsal I+II, faces dorso-latérales de l'os central et de l'os tarsal III.
- ✓ Extrémité proximale de l'os métatarsien II et ses articulations avec l'os tarsal I+II et l'os métatarsien III.

4.3.4.2 *Anatomie radiographique de l'adulte*

On peut parfois voir l'extrémité distale d'une fibula incomplètement ossifiée (25).

4.3.4.3 *Affections les plus fréquemment identifiées*

- * **Arthrose** sur les interlignes articulaires **intertarsiennes** et **tarso-métatarsienne** (11).
- * **Ostéochondrose** : lésions sur le **tenon intermédiaire** du tibia ou sur la **lèvre latérale** du talus (c'est la meilleure vue dans les deux cas) (11) (115).
- * **Fractures** des **os de la rangée distale du tarse** (vue la plus intéressante après les vues DP et LM) (39, 110), et des **malléoles** (vue la plus intéressante après la vue DP) (115).
- * **Ostéite** et **ostéomyélite du calcaneus, ténosynovite de la gaine tarsienne** (la meilleure vue reste néanmoins la Pl.-Prox. Pl.-Dist.) (39) (110) (114).

4.3.5 **Vue Latéro-Médiale fléchie (LM fl.)**

(25) (39) (51) (85) (95) (110) (115)

4.3.5.1 *Réalisation de la radiographie*

- Position

(25)

* **Membre** : un assistant se tient en regard de l'abdomen du cheval en direction de la queue et tient le **canon** de telle sorte qu'il fasse un **angle de 50° avec le tibia** (25). En pratique on conseille de **fléchir le membre au maximum**.

* **Cassette** : elle doit être placée contre la **face médiale du tarse**.

* **Faisceau de rayons X** : il doit être parallèle au sol et centré sur l'**os central du tarse** (85) ou le **talus** (25).

- Avantages

(25) (85) (95)

* Cette vue permet de mettre plus particulièrement en évidence les structures suivantes :

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">✓ Aspect caudo-distal du tibia.✓ Articulation tibio-tarsienne.✓ Parties proximo-plantaires des lèvres de la trochlée du talus.✓ Portions dorsales du calcaneus : tuber calcanei et processus coracoïde. |
|--|

- Conseils techniques

(25) (85)

* Attention à ne pas mettre le membre en abduction afin d'éviter toute rotation du tarse.

4.3.5.2 *Affections fréquemment identifiées*

* **Fracture** ou **ostéochondrose disséquante** :

- Fracture du **calcanéus** (51).

- **Fragmentation ostéochondrale** ou **fracture** impliquant la surface proximo-plantaire de la trochlée du **talus**, en particulier de la lèvre médiale (souvent suite à un traumatisme ayant eu lieu lorsque le membre était fléchi) (95).

- Autres **fragmentations plantaires** localisées dans l'espace **tibio-tarsien** (95).

* **Arthrose** du **processus coracoïde** secondaire à une entorse sévère du ligament talo-calcanéen (51).

* **Ostéite, ostéomyélite du calcanéus, ténosynovite de la gaine tarsienne** : la vue LM fléchie n'est pas la projection de choix pour ces affections mais les lésions peuvent y être visibles (39) (110) (115).

4.3.6 **Vue Plantaro-Proximale Plantaro-Distale ou Skyline du tarse (Pl.-Prox. Pl.-Dist.)**

(25) (80) (84) (85) (88) (95) (110) (114) (115)

4.3.6.1 *Réalisation de la radiographie*

- Position

* **Cheval** : le postérieur est tenu **fléchi** avec le jarret le plus loin possible du cheval. Il est souvent utile de faire quelques flexions du membre au préalable et il est parfois nécessaire d'utiliser un analgésique. Le **canon** doit être **parallèle au sol** (25) (85).

* **Cassette** : elle doit être placée contre la face plantaire du tarse, parallèle à la **face plantaire de la tubérosité calcanéenne** (25) (85).

* **Faisceau de rayons X** : il doit être le plus **perpendiculaire** possible à la cassette. Le faisceau est en principe le plus vertical possible, mais il peut être légèrement incliné vers le sol en direction dorsale. Il doit être centré sur le **calcanéus** juste caudalement au tibia (25) (85). Certains auteurs conseillent d'incliner le faisceau de 60° (80) à 75° (88), en direction du sol, par rapport à la cassette.

- Avantages

(25) (85) (95)

* Cette vue permet de mettre plus particulièrement en évidence les structures suivantes :

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none">✓ Articulation talo-calcanéenne.✓ Sustentaculum tali.✓ Tubérosité calcanéenne. |
|--|

- Remarques

Dans une moindre mesure, sont aussi visibles (95) :

- Aspect plantaro-distal du tibia.

- Partie proximale de la lèvre médiale et gorge de la trochlée du talus.

- Conseils techniques

* Si la distance foyer-film est réduite à cause des contraintes techniques, il faut penser à **diminuer les facteurs d'exposition** (80) (84) (85).

* Compte tenu de la difficulté à avoir un rayon X parfaitement perpendiculaire à la cassette, une **distorsion** peut être créée et il faut donc en tenir compte lors de la lecture de l'image (80).

4.3.6.2 *Anatomie radiographique de l'adulte*

* A l'exception du calcaneus les autres structures sont sous-exposées et ne peuvent pas être évaluées correctement sur cette vue (25).

* Sur la face plantaro-médiale de la base du calcaneus se trouve le sustentaculum tali sur lequel passent le tendon **fléchisseur profond** et sa **gaine (gaine tarsienne)** (85).

* Le **ligament plantaire** s'étend le long de la face plantaro-latérale du calcaneus et se termine sur l'os tarsal IV et sur les os métatarsiens III et IV.

=> La possibilité de lésions de ces structures importantes rend primordial l'examen minutieux des bords médial et latéral du calcaneus et du sustentaculum tali (85).

4.3.6.3 *Affections fréquemment identifiées*

* **Ostéite** ou **Ostéomyélite** avec ou sans séquestre osseux après une plaie pénétrante. C'est une lésion assez commune associée sur la radiographie à des remaniements osseux aigus ou chroniques (85). Les lésions les plus fréquentes sont l'ostéite du **calcaneus** et l'ostéomyélite du **sustentaculum tali** (95). Cette vue est la plus intéressante.

* **Fractures** simples ou comminutives : fractures du calcaneus et fractures de la lèvre médiale de la trochlée en partie proximo-plantaire (95) (110) (115).

* **Ténosynovite de la gaine tarsienne** : la vue Pl.-Prox. Pl.-Dist. est la projection de choix pour cette affection (114) et pour les autres lésions des **tissus mous** avec gonflements (entre autres lors de bursite calcaneenne ou de tendinite du tendon gastrocnémien dans le but d'exclure une ostéite calcaneenne sous-jacente) (85) (95).

* Présence de **corps étrangers radio-opaques** après un traumatisme (85).

5 AFFECTIONS DU JARRET

(1) (5) (7) (9) (12) (13) (16) (17) (18) (19) (21) (22) (23) (24) (25) (26) (27) (28) (30) (32) (37) (39) (40) (41) (42) (43) (44) (45) (46) (47) (48) (50) (52) (53) (54) (55) (56) (57) (58) (60) (63) (64) (65) (66) (67) (68) (71) (72) (73) (74) (75) (76) (77) (78) (81) (82) (83) (86) (89) (91) (92) (93) (94) (96) (97) (98) (99) (100) (101) (103) (104) (106) (107) (108) (110) (113) (114) (115) (116) (117) (118) (120)

Dans cette partie vont être présentées les **principales affections du jarret** existant chez le cheval et pour lesquelles la **radiographie présente un intérêt**. Nous n'aborderons donc pas ici les affections pour lesquelles la radiographie ne permet ni la suspicion, ni le diagnostic, ni le suivi de l'évolution de l'affection.

Les deux premières affections présentées, à savoir, l'**arthrose** (affection dégénérative) et l'**ostéochondrose** (affection développementale), sont les deux entités de loin les plus fréquemment diagnostiquées au niveau du jarret du cheval. C'est pour cela qu'une grande importance a été accordée à leur description et que leur étude est plus détaillée que celle des autres affections.

Sont ensuite décrits :

- Les Affections Juvéniles Ostéoarticulaires (AJOA ou DOD pour Developmental Orthopedic Diseases pour les anglophones) autres que l'ostéochondrose : **déviations angulaires**, **ossification incomplète et collapsus de l'os central du tarse et de l'os tarsal III**, **épiphysite**.
- Les **kystes osseux sous-chondraux**, dont certains sont classés dans les AJOA.
- Les fractures : fractures des **os de la rangée distale du tarse**, du **calcanéus**, du **talus** et des **malléoles du tibia**.
- Les **luxations articulaires**.
- Les atteintes des **ligaments collatéraux**.
- Les affections du ligament suspenseur du boulet (LSB) : **desmite proximale** du LSB et **fractures d'avulsion** au niveau de l'enthèse du LSB.
- Les affections inflammatoires et infectieuses :
 - de l'os : **ostéite** et **ostéomyélite du calcanéus**.
 - des tendons : **ténosynovite de la gaine tarsienne**.
 - de l'articulation : **arthrite**.
- Les atteintes néoplasiques : **ostéosarcome**, ostéome, ostéochondrome.

5.1 Arthrose

(1) (12) (18) (19) (24) (25) (27) (30) (39) (42) (43) (55) (66) (71) (73) (74) (75) (106) (108) (115)

Autres dénominations : affection dégénérative articulaire, arthropathie dégénérative, éparvin osseux.

Dénominations anglophones : osteoarthritis, bone spavin, degenerative joint disease.

5.1.1 Introduction

L'arthrose est une cause courante de boiterie et de mauvaises performances chez le cheval. L'arthrose des articulations **intertarsienne distale** et **tarso-métatarsienne** est la cause la plus fréquente de boiterie du jarret.

L'arthrose est une affection des articulations synoviales, caractérisée par la présence d'une **dégénérescence du cartilage**, d'une **sclérose de l'os sous-chondral**, et de la formation d'**ostéophytes** associées à l'existence d'une **inflammation synoviale** et d'une **fibrose** des tissus mous péri-articulaires, plus ou moins importantes. Le rôle de l'inflammation est controversé, mais sa présence est relativement bien admise. L'arthrose est une affection dont la progression est habituellement assez lente.

Malgré de nombreuses études faites et en cours, l'étiologie et la pathogénie de cette affection ne sont pas précisément connues et il n'existe pas à l'heure actuelle de traitement permettant à coup sûr une rémission complète des signes cliniques. Les traitements administrés le plus fréquemment sont les anti-inflammatoires non stéroïdiens oraux et les médicaments intra-articulaires. Les traitements chirurgicaux sont généralement réservés aux chevaux qui ne répondent pas au traitement médical et ont augmenté le pronostic sportif de l'arthrose (succès du retour au niveau d'activité antérieur ou atteinte du niveau souhaité) (66) (106).

5.1.2 Prérequis

Anatomie (Cf. partie 3 « Anatomie du jarret »).

Le tarse est formé des cinq articulations suivantes :

- **Tibio-tarsienne** (ou cruro-tarsienne ou tarso-crurale) qui met en contact la cochlée tibiale et la trochlée du talus.
- **Talo-calcanéenne** qui appose les surfaces articulaires plantaires du talus et dorsales du calcaneus.
- **Intertarsienne proximale** : formée par l'articulation des surfaces distales du talus et du calcaneus avec les surfaces proximales de l'os central du tarse et de l'os tarsal IV.
- **Intertarsienne distale** : formée par l'articulation de la surface distale de l'os central du tarse avec les surfaces proximales de l'os tarsal III et de l'os tarsal I+II.
- **Tarso-métatarsienne** : formée des parties distales des os tarsal I+II, tarsal III et tarsal IV, s'articulant avec les parties proximales des os métatarsiens II, III et IV (106).

L'articulation saine

- Composition du cartilage

* Le cartilage articulaire ne contient qu'un seul type de cellule, le **chondrocyte** qui assure la synthèse et le renouvellement de la **matrice extracellulaire** (MEC). La MEC est constituée d'eau, de molécules d'**agrécanes** (elles forment 90 % des protéoglycanes du cartilage, elles sont composées d'une protéine centrale à laquelle s'attachent de multiples chaînes de glycosaminoglycanes, (majoritairement la chondroïtine sulfate et le kératane sulfate)) et le **collagène de type II** (90 % du collagène du cartilage). Les autres molécules sont minoritaires.

* La **nutrition du cartilage** adulte est exclusivement assurée par le liquide synovial, dont la composition est conditionnée par la membrane synoviale.

* Dans le cartilage **quatre zones** successives sont décrites de la surface articulaire vers l'os sous-chondral :

- La zone I superficielle ou tangentielle.
- La zone II de transition ou intermédiaire.
- La zone III radiée ou profonde.
- La zone IV calcifiée.

La composition du cartilage et l'agencement de ses éléments varient en fonction de la zone avec (en schématisant) une orientation des constituants parallèle à la surface au niveau de la couche superficielle et de plus en plus perpendiculaire en se dirigeant vers les couches profondes. Ces **différences de nature et de structure zonaires du cartilage** ont, entre autres, pour conséquence le fait que la résistance aux forces de cisaillement est la plus importante dans la couche superficielle alors que la résistance à la compression s'amplifie en allant vers les couches profondes.

Cette composition particulière serait le résultat des **contraintes mécaniques** exercées sur l'articulation durant les **premiers mois de la vie** et il semblerait que l'acquisition d'une résistance mécanique optimale du cartilage serait favorisée par la pratique, par le poulain avant son sevrage, d'un exercice modéré et régulier (et défavorisée par l'alternance efforts courts et intenses/repos strict).

- Fonctions du cartilage

* La résistance aux forces de **tension** du cartilage est permise par les fibres de **collagène**.

* La résistance aux forces de **compression** est conférée par les molécules d'**agrécanes** du fait de leur pouvoir de rétention de l'eau.

- Composition et rôles de la membrane synoviale

* Cette membrane recouvre l'ensemble des surfaces articulaires (à l'exception du cartilage articulaire). Elle est composée de synoviocytes A et B. Elle est vascularisée grâce à un réseau de petits capillaires.

* Elle a pour fonctions la synthèse des constituants du liquide synovial, l'acheminement des substances nutritives et l'élimination des déchets du métabolisme articulaire. Elle joue donc un rôle important dans le contrôle de l'environnement synovial, mais aussi dans la distribution et l'élimination des médicaments.

- Composition et rôles du liquide synovial

* La haute teneur en acide hyaluronique (AH) est responsable de la viscosité du liquide synovial et contribue à sa résistance aux forces de cisaillement et de compression.

* Il lubrifie les surfaces articulaires principalement grâce à une glycoprotéine, la lubricine et des phospholipides qui forment à la surface du cartilage un film protecteur, limitant les forces de friction à leur niveau.

* Lors de charges plus importantes, le cartilage exprime un film hydrostatique qui sépare les surfaces articulaires. La capacité à retenir l'eau, notamment grâce aux protéoglycanes, est donc primordiale pour assurer une lubrification efficace (30) (71).

5.1.3 Définition

(1) (39) (66) (106)

McIlwraith a défini en 1982 l'arthrose comme étant «une affection des articulations diarthrodales impliquant une **destruction du cartilage** accompagnée, à des degrés variés, de **sclérose de l'os sous-chondral** et de la formation d'**ostéophytes marginaux**» (74). L'arthrose a plus récemment été décrite comme résultant d'une **perturbation de l'équilibre** normal entre **dégradation et réparation** du cartilage et de l'os sous-chondral (66). L'inflammation associée est alors responsable des signes cliniques et la synovite, la libération de médiateurs de la dégradation et/ou l'influence mécanique ou biochimique de l'os sous-chondral peuvent (à des degrés variables en fonction des cas) jouer un rôle dans la pathogénie (71). L'arthrose **peut débiter** par une atteinte de l'**os** ou du **cartilage**, mais elle commence le plus souvent par une lésion de ce dernier (1).

L'arthrose peut être :

- **Primaire** : le développement de l'affection repose sur la **dégénérescence intrinsèque du cartilage** articulaire.

- **Secondaire** : il existe une **cause prédisposante** tel un **traumatisme** : traumatisme sévère seul ou répétition de petits traumatismes chez un cheval sensible (cheval atteint d'arthrite séreuse, cheval mal conformé, âgé...) (1).

En 1996 McIlwraith a proposé une nouvelle classification comprenant trois types distincts :

* **Type I** : associé à de la synovite et de la capsulite, il est commun au niveau des articulations distales du tarse. Il correspond à l'arthrose primaire précédemment décrite, mais comprend également les cas d'arthrose secondaire à des stress mécaniques répétés, situations dans lesquelles la synovite et la capsulite sont présentes.

* **Type II** : associé et souvent secondaire à d'autres atteintes comme des fractures intra-articulaires, des traumatismes, de l'ostéochondrose, une affection de l'os sous-chondral, des lésions kystiques sous-chondrales, ou encore une arthrite septique.

* **Type III** : caractérisé par une érosion accidentelle ou non progressive du cartilage (75).

L'éparvin osseux se traduit par la présence d'une **arthrose** et d'une **périostite** qui débutent préférentiellement au niveau de la face **dorso-médiale des os de la rangée distale du tarse**, mais qui peuvent s'étendre par la suite. Chez certains chevaux il peut se produire, après plusieurs mois, une **ankylose** (arthrodèse) complète de l'articulation, tandis que chez d'autres, la réaction périostée reste faible. L'installation d'une ankylose peut suffire à faire disparaître la boiterie (1).

Les articulations **intertarsienne distale** et **tarso-métatarsienne** sont les **plus communément affectées**, soit individuellement soit simultanément. L'arthrose de l'articulation **intertarsienne proximale** est **plus rare**, et lorsqu'elle existe, elle est le plus souvent associée à une arthrose distale du tarse. L'affection peut être **unilatérale**, mais est **généralement bilatérale**. L'arthrose des articulations **talo-calcaneenne** ou **tibio-tarsienne** est rare et peut occasionnellement exister seule (39).

L'éparvin a été divisé arbitrairement en éparvin vrai et éparvin occulte :

- **L'éparvin vrai** (bone ou jack spavin) décrit un cheval qui présente une **boiterie** localisée aux articulations de la rangée distale du tarse, un **élargissement** physique des **articulations** tarsiennes distales et des **signes radiographiques** d'arthropathie dégénérative.

- **L'éparvin occulte** (occult ou blind spavin) produit souvent les **mêmes caractéristiques cliniques**, mais les **signes radiographiques** d'affection dégénérative articulaire sont **absents**. Cependant des signes d'inflammation distale du tarse peuvent être visibles à la scintigraphie. Certains considèrent l'éparvin occulte comme une phase intermédiaire dans l'évolution de l'arthrose (1) (39) (106).

Le terme d'**arthrose/éparvin/arthropathie dégénérative juvénile** (juvenil spavin) est utilisé pour décrire l'arthrose précoce qui a une prévalence de 20 % chez les chevaux de moins de deux ans. Cette affection touche des individus **jeunes** au début ou avant la mise au travail (chevaux âgés de deux à trois ans) (39).

5.1.4 Epidémiologie

L'arthrose peut être rencontrée chez des chevaux de tout âge et de toute discipline. Cependant, elle atteint plus fréquemment les **chevaux matures** de sport et de loisir ou les chevaux **adultes** (et mêmes jeunes adulte si le niveau de l'activité pratiquée est élevé) qui sont montés de façon **intensive** au **galop** et au **canter**, qui font de l'**obstacle** ou encore ceux qui exécutent des **démarrages** et des **arrêts brusques** (chevaux de courses et de western).

Les chevaux travaillant avec les jarrets en position fléchie, comme les chevaux d'obstacle ou d'attelage, sembleraient selon certains auteurs plus à même de développer une **arthrose intertarsienne distale**, alors que les chevaux travaillant avec un jarret plus droit (trotteurs ou chevaux faisant des petites foulées en raison d'une boiterie) seraient au contraire plus sensibles à l'**arthrose tarso-métatarsienne**. Cependant d'autres études ne trouvent pas de différences entre le type d'activité et l'articulation atteinte. En terme d'incidence, l'affection est **très fréquente** chez les chevaux de saut d'obstacle et de western, **fréquente et souvent bilatérale** chez les chevaux d'endurance et de dressage, mais assez **peu fréquente** chez les chevaux de course.

Une **prédisposition héréditaire** est très fortement suspectée chez les **chevaux islandais**, race au sein de laquelle l'incidence de l'éparvin est très élevée par rapport aux autres races. Par ailleurs au sein de cette race, l'incidence ne serait pas modifiée par le type et la sévérité du travail, mais par l'âge du cheval, sa conformation (importance en particulier de l'angle formé par le tarse) et sa lignée (1) (39) (106).

5.1.5 Pathogénie

5.1.5.1 Mécanisme pathogénique de l'arthrose

Au sein des articulations saines, une certaine **quantité de contraintes** est nécessaire pour **lubrifier** l'articulation et stimuler la production de **protéoglycanes**. Cependant un niveau trop élevé de mise en charge est néfaste, car les chondrocytes ne sont alors plus capables de maintenir l'importante synthèse de protéoglycanes nécessaire. Il semble ainsi exister **un certain seuil pour la mise en charge** de l'articulation, en dessous duquel cette dernière est bénéfique, mais au-delà duquel elle est préjudiciable (66).

Lorsque l'articulation est soumise à des contraintes anormales (perte de stabilité ou de congruence, mauvaise conformation, traumatismes répétés ou intenses) s'exerçant sur un cartilage normal ou à des contraintes normales s'exerçant sur un cartilage anormal (vieillesse, ostéochondrose disséquante, inflammation des tissus mous), elle tente de se remodeler dans le but de devenir plus résistante et développe alors une **sclérose sous-chondrale**. Cela entraîne par la suite une **diminution de la capacité** de l'os sous-chondral à **absorber les chocs**. Cette dernière conduit à son tour à l'apparition de **forces de traction augmentées** au niveau du cartilage et cause des perturbations, menant à la **fibrillation** et à une **détérioration du cartilage**. L'arthrose apparaît ainsi progressivement lorsque le phénomène de dégradation du cartilage prend le pas sur le processus de réparation. L'élément clé est donc la **dégradation enzymatique** du cartilage qui conduit à des **modifications de ses qualités** intrinsèques et de ses **propriétés biomécaniques**. Le cartilage est alors plus fragile et plus sensible aux agressions de toute nature (66).

Une fois l'affection déclenchée, un cercle vicieux se met alors en place et permet l'auto-entretien de cette dernière :

Traumatisme, inflammation => altération du cartilage => stimulation des cellules de l'articulation (synoviocytes, fibroblastes, chondrocytes, polynucléaires neutrophiles et macrophages) => libération de médiateurs de l'inflammation dans la cavité synoviale (MMPs, IL-1, TNF- α , monoxyde d'azote, prostaglandines, débris de protéoglycanes, radicaux libres...) => diminution du métabolisme et augmentation du catabolisme au sein du cartilage, inflammation de l'articulation (synovite), douleur => libération des produits du catabolisme dans l'articulation => stimulation de la production de médiateurs de l'inflammation par les cellules de l'articulation (1) (106).

L'arthrose peut être exacerbée avec l'**âge** du fait de la réduction de la capacité de synthèse des chondrocytes qui s'amplifie au cours des années (66).

- Articulations à faible amplitude de mouvement versus articulations à forte amplitude de mouvement :

*** Particularités de l'arthrose dans les articulations peu mobiles :**

Un des processus pathogéniques proposé dans le développement de l'arthrose de ces articulations est que, comme le cycle cellulaire normal du **métabolisme** anabolique et catabolique requis pour l'homéostasie cartilagineuse dépend du **mouvement** existant dans l'articulation pour la **mise en charge cyclique du cartilage**, toute diminution supplémentaire de la mobilité, déjà réduite à l'origine, va prédisposer ces articulations à développer de l'arthrose. Etant donné que ces articulations ont une faible latitude de mouvement, les **forces** générées par les mouvements sont par ailleurs concentrées au niveau de **petites zones de cartilage** et d'**os sous-chondral** ce qui favorise également leur dégradation (66). Dans ces

articulations, l'étiologie pourrait être reliée à une **altération des charges** au niveau de certaines zones du cartilage et de l'os sous-chondral, à un **développement anormal des os** du tarse, ou à des **facteurs héréditaires** dans certaines races (chevaux islandais par exemple) (108). Les articulations à mouvements réduits présentent **peu de synovite**, une **nécrose du cartilage** avec **peu d'érosion**, une **lyse sous-chondrale** et une progression vers l'**ankylose** (66).

*** Particularités de l'arthrose dans les articulations très mobiles :**

L'arthrose est **rare** au niveau de ces articulations, elle est souvent **secondaire** à des lésions des **ligaments collatéraux**, une **fracture intra-articulaire**, de l'**ostéochondrose** ou un **processus septique** (108).

Les articulations à mouvements importants présentent de la **synovite**, des **érosions du cartilage**, une **sclérose de l'os sous-chondral** et une **fibrose capsulaire** (66).

5.1.5.2 *Facteurs biochimiques*

- **Cytokines et autres médiateurs de l'inflammation**

Les cytokines sont des **régulateurs biochimiques** libérés par les macrophages, les synoviocytes et les cellules du tissu conjonctif qui, à leur tour, stimulent les chondrocytes et les synoviocytes pour produire et sécréter des enzymes. Les cytokines sont supposées être un déterminant majeur des dommages articulaires survenant à la suite de blessures au niveau d'une articulation.

- **Interleukine-1 (IL-1)** : elle induit la libération de **métalloprotéinases** de matrice (MMPs), responsables de la destruction enzymatique du cartilage. Elle stimule également la production de **collagène** de type II et III par les fibroblastes, ce qui contribue à la fibrose de la capsule articulaire lors d'affection chronique.

- **Autres cytokines** influençant les MMPs et leurs inhibiteurs (tissue inhibitors of metalloproteinases (TIMPs)) incluant le Tumor Necrosis Factor alpha (TNF- α), le Transforming Growth Factor beta (TGF- β) et l'Insulin-like Growth Factor-1 (IGF-1) (66).

- La prostaglandine E2 (PGE2) joue également un rôle dans la cascade de dégradation du cartilage et dans l'homéostasie normale de ce tissu (71).

- **Enzymes**

Dans un cartilage normal, une **homéostasie** existe entre l'activité de synthèse anabolique des chondrocytes et la dégradation de la matrice par les enzymes. Ce sont les **chondrocytes** et les **synoviocytes de type B** qui produisent des **enzymes lytiques**, dont la plupart sont des protéases.

Ces protéases sont essentiellement des MMPs dont les collagénases, les agrécánases, les stromélysines, les gélatinases et les métalloprotéases membranaires. La formation et l'induction de ces MMPs sont influencées par la **cytokine IL-1**. Les MMPs sont supposées être impliquées dans la dégradation biochimique du cartilage articulaire qui précède une détérioration physique. Au sein d'une articulation normale les TIMPs équilibrent l'activité des MMPs.

Le **protéoglycane majeur**, responsable des propriétés mécaniques du cartilage est l'**agrécane**. Il s'agit d'un protéoglycane qui forme de larges agrégats en se liant de façon covalente au **hyaluronate**. Il représente environ 90 % de la masse de protéoglycanes présente dans la matrice extracellulaire du cartilage. Plusieurs MMPs sont capables de cliver l'un des sites de protéolyse des agrécanes (66).

- **Espèces activées de l'oxygène**

Les espèces activées de l'oxygène et de l'azote (dont les radicaux libres) interviennent dans de nombreux processus cellulaires comme la régulation des récepteurs, les activités enzymatiques, la liaison des facteurs de transcription et l'expression des gènes. Produites en excès, elles sont associées à de nombreuses affections dont les affections articulaires (71).

5.1.5.3 **Changements observés au niveau des structures anatomiques**

5.1.5.3.1 Cartilage

- **Au niveau macroscopique** : le cartilage lésé est grossièrement jaunâtre, terne, fissuré et ulcéré.
- **Au niveau microscopique** : une arthrose légère se traduit par une fibrillation de la surface du cartilage.
- **Au niveau biochimique** : la résistance aux forces de cisaillement est diminuée, des fentes (en général verticales) profondes apparaissent et une détérioration de la matrice se produit avec dégradation enzymatique des protéoglycanes. Au fur et à mesure que l'atteinte du cartilage progresse, de petits débris de cartilage, et par la suite d'os sous-chondral, sont libérés dans l'articulation, encourageant la réponse inflammatoire des synoviocytes et l'entretien du cycle de l'inflammation (66).

5.1.5.3.2 Os

- La **sclérose** de l'os sous chondral semble être le résultat de l'**adaptation de l'os** à la mise en charge cyclique de la plaque osseuse sous-chondrale.
- Les **ostéophytes** sont une manifestation commune de l'arthrose, il a cependant été montré chez le cheval qu'ils peuvent être présents sans qu'il n'y ait de lésions cartilagineuses et sous-chondrales associées. Les ostéophytes sont composés d'os recouvert de cartilage hyalin ou de fibrocartilage et se développent généralement sur les contours des **limites articulaires**. Ils peuvent apparaître rapidement à la suite d'une instabilité articulaire (en quelques jours), mais mettent souvent plusieurs mois avant d'être visibles sur les radiographies.
- Les **enthésophytes** sont des exostoses présentes au niveau des sites d'**attache des tissus mous** (tendons, capsules articulaires, ligaments) sur les surfaces osseuses. Ils peuvent exister seuls ou en association avec de l'arthrose (66).

5.1.5.3.3 Membrane synoviale et capsule articulaire

Lors d'inflammation ou de traumatisme chronique la **membrane synoviale s'hypertrophie** et les villosités synoviales deviennent plus proéminentes, la **capsule** quant à elle **se fibrose** peu à peu. Selon leur intensité, ces phénomènes sont à même d'entraîner **douleur** et **perte de mobilité** au niveau de l'articulation concernée (66).

5.1.6 **Etiologie**

5.1.6.1 **Traumatismes**

Un des facteurs étiologiques, supposé être commun dans l'apparition de l'arthrose, est le facteur traumatique. Cela peut être soit :

- Un **unique traumatisme** provoquant des lésions clairement identifiables d'une ou plusieurs structures articulaires.

- Des dommages plus insidieux causés par des **traumatismes plus faibles**, mais **multiples** et **répétés**. On parle alors de traumatisme d'usure, car il implique que les lésions sont secondaires à une activité quotidienne normale (66).

Des **compressions** et des **rotations répétées** des os du tarse, ainsi qu'une **tension excessive** sur les insertions des principaux ligaments de la face dorso-médiale du tarse, sont considérées comme étant des facteurs importants dans l'apparition de l'éparvin.

Certains suggèrent que les **forces de cisaillement** dues à des mouvements asynchrones des os du tarse prédisposeraient à l'arthrose (1).

De l'arthrose a été décrite chez un troupeau de poneys sauvages en Nouvelle-Zélande, démontrant bien le fait que cette affection peut survenir naturellement et ne nécessite pas forcément une implication de l'homme (27).

5.1.6.2 **Conformation**

Bien que l'arthrose se retrouve également chez des chevaux bien conformés, certaines conformations des membres postérieurs semblent prédisposer à son développement, comme par exemple les **jarrets clos**, les **jarrets coudés**, les **jarrets panards** ou encore une **rectitude excessive** des membres postérieurs (1) (39) (106).

5.1.6.3 **Nutrition et endocrinologie**

Les **carences en minéraux**, les **excès et déficits protéiques** ainsi que les **déséquilibres endocriniens** sont incriminés dans l'étiologie de l'éparvin (1).

5.1.6.4 **Maréchalerie**

Certains types de ferrures, telles que celles avec des **barres à l'extérieur** du talon ou des **crampons**, ou encore un parage inadéquat peuvent prédisposer les chevaux à l'arthrose distale du tarse (106).

5.1.6.5 *Affection ostéoarticulaire pré-existante*

Cause généralement moins fréquente, elle inclut principalement l'arthrose secondaire à une **arthrite septique** ou à une **ossification incomplète** de l'os central du tarse et de l'os tarsal III (39) (106). Ce facteur prédisposant est cependant le facteur principal en ce qui concerne l'**arthrose juvénile** pour laquelle un travail excessif ou le traumatisme d'usure ne peuvent être invoqués et cette affection est donc souvent incluse dans le groupe des affections orthopédiques liées au développement (71).

5.1.7 **Signes cliniques**

5.1.7.1 *Anamnèse*

Généralement, les chevaux sont présentés pour l'évaluation d'une **boiterie chronique** d'un ou des deux membres postérieurs. Cette boiterie est d'**apparition progressive**, souvent **intermittente** et de **faible degré**. L'éparvin osseux détermine une **tuméfaction** en face médiale du jarret qui peut parfois être très discrète. Lorsque le cheval se tient debout, il peut parfois présenter de façon périodique des flexions spasmodiques du jarret.

Dans la majorité des cas d'arthrose distale du tarse, l'atteinte est **bilatérale**. Cependant, la boiterie initiale peut être unilatérale ou toucher alternativement un côté, puis l'autre.

Dans les cas d'**éparvin débutant** ou d'**atteinte bilatérale**, il s'agit plutôt d'une **boiterie à froid**, qui s'améliore après une courte période d'exercice alors que dans les **cas plus sévères**, les **symptômes s'accusent** avec un accroissement de la **durée** et de l'**intensité** de l'exercice. Les boiteries s'améliorent ou se résolvent fréquemment avec du **repos**, mais récidivent lors du retour au travail. Les traitements à base d'**AINS** permettent en général de diminuer le degré de boiterie sauf dans les cas sévères.

Les signes fréquemment rapportés par les propriétaires sont le **refus** par le cheval de réaliser **certaines mouvements** et des **changements de comportement**. Ces signes incluent un cheval qui se **désunit** au galop, qui met de la **mauvaise volonté à galoper** et qui montre une **réticence à engager les postérieurs** (en particulier lors des ralentissements d'allure ou des tournants) ou qui se **défend** (ruades, refus à l'obstacle...). En équitation western le cheval peut **refuser de reculer**, d'effectuer un **arrêt brusque** ou de **tourner** dans une direction particulière.

Les propriétaires signalent fréquemment la présence d'une **dorsalgie** chez les chevaux atteints d'éparvin (1) (39) (106).

5.1.7.2 *Examen clinique*

5.1.7.2.1 *Examen clinique statique*

✓ Signes visibles au niveau du jarret

Chez de nombreux chevaux, **aucune anomalie n'est visible** à l'inspection ou à la palpation de la région du jarret. Lors de douleur tarsienne distale **chronique**, une **tuméfaction** résultant d'un épaissement des tissus mous péri-articulaires peut être présente, le plus souvent en région **médiale** ou **dorso-médiale** de la **partie distale** du tarse. Une distension de la capsule

articulaire peut également apparaître lorsque l'articulation tibio-tarsienne est impliquée (1) (39).

✓ Répercussions secondaires sur le reste de l'appareil musculo-squelettique

- **Au niveau du dos**

On observe fréquemment un **endolorissement** secondaire des **muscles épiauxiaux** de la région lombaire et parfois des **muscles glutéaux caudaux** (1) (39).

- **Au niveau des pieds**

Le sabot ou le fer peut être plus **usé du côté externe**, car le cheval a tendance à porter son poids du côté externe du pied pour soulager sa douleur. Ainsi chez certains chevaux si la garniture n'est pas adaptée, **le sabot s'évase en partie latérale** et un déséquilibre médio-latéral apparaît (1) (39).

✓ Test de Churchill

Le test de Churchill peut s'avérer utile, mais ne marche pas chez tous les chevaux et demande une certaine expérience. Le membre postérieur gauche est levé et maintenu avec la main droite, les doigts de la main gauche entourent la face médiale du jarret avec le pouce sur la face dorsale, à l'aide de l'index et du majeur de la main gauche une pression est appliquée sur la partie plantaire de la tête du métatarsien II. Ce test est spécifique d'une boiterie du jarret si le cheval fléchit le membre et le porte en abduction. Une pression digitale doit également être appliquée au niveau de la bourse cunéenne à la recherche d'une sensibilité de cette dernière. Ensuite la main gauche supporte le membre et le test est répété en positionnant les doigts de la main droite sur la partie plantaire de la tête du métatarsien IV.

Si le test est positif, une atteinte du jarret est fortement suspectée bien que sa localisation au sein du jarret ne puisse être précisée.

Cette sensibilité du métatarsien II est selon Churchill due au fait qu'à force de marcher en posant le sabot vers l'extérieur, une tension excessive est appliquée sur les structures médiales de l'articulation tarso-métatarsienne.

✓ Autres tests

Des douleurs associées à des points précis d'acupuncture peuvent aussi orienter le diagnostic (1) (39).

5.1.7.2.2 Examen clinique dynamique

Les signes cliniques varient considérablement d'un cheval à l'autre et ne sont pas forcément corrélés à la sévérité des lésions radiographiques observées (39).

✓ Intensité de la boiterie

La boiterie peut être **unilatérale** ou **bilatérale** et d'intensité **légère** à **sévère**. De subtils **changements de performance** sans boiterie évidente peuvent également être présents. A la longe, la boiterie est la plupart du temps **accentuée** lorsque le **membre boiteux** se trouve à **l'intérieur** du cercle, mais elle peut, chez certains chevaux, s'amplifier lorsque le membre est à l'extérieur. Le fait de faire longer le cheval aux deux mains peut révéler le caractère bilatéral d'une boiterie que l'on pensait jusqu'alors être unilatérale. La boiterie peut également être exacerbée lorsque le cheval est **monté** (39) (106).

✓ Anomalies d'allures observées

Le cheval doit être évalué de côté, de derrière et de devant afin de détecter tout type d'anomalie dans l'allure. La douleur provoquée par la flexion du jarret se traduit par :

- Un **abaissement de la trajectoire du pied** et un **raccourcissement de la phase antérieure** de la foulée. Le pied se pose au sol par la pince et cette dernière a souvent tendance à traîner au sol. L'usure du sabot s'accélère ainsi en face dorsale alors que les talons s'usent peu.
- Une **extension réduite du boulet** et une tendance du membre à glisser médialement pendant la protraction et latéralement pendant la phase d'appui.
- Des **mouvements asymétriques du tuber coxae**.

Cependant aucune de ces caractéristiques n'est pathognomonique de l'arthrose distale du tarse (1) (39).

✓ Test de flexion

Le test de flexion du jarret est en **général positif** (mais pas toujours). Ce test est **assez spécifique**, mais peut aussi être positif lors d'autres affections du jarret ou d'atteinte d'autres structures et en particulier du grasset. En effet, du fait de la présence de l'appareil réciproque, la flexion du jarret s'accompagne inévitablement de celle du grasset. A noter qu'une réponse fortement positive est inhabituelle lors d'arthrose du jarret et traduirait le plus souvent une atteinte du grasset. Pour la réalisation de ce test, le postérieur doit être tenu avec la région métatarsienne parallèle au sol pendant 60 à 90 secondes. La jambe peut être tenue au niveau de la pince du sabot ou juste en arrière du boulet, il faut éviter d'appliquer une pression sur les tendons fléchisseurs. Le cheval est ensuite observé sur une ligne droite au trot. La flexion de la jambe saine, ou la moins boiteuse, doit être effectuée avant celle de la jambe la plus atteinte et les réponses doivent être comparées. Il arrive chez certains chevaux que la boiterie soit la plus amplifiée lors du test de flexion du membre le plus sain étant donné que c'est ce dernier qui supporte le plus de poids lors de la locomotion (afin de soulager le membre le plus atteint) (1) (39).

5.1.8 Diagnostic

5.1.8.1 *Anesthésies sémiologiques*

- **Anesthésies intra-articulaires**

Elles sont **plus spécifiques** que les anesthésies péri-nerveuses. Compte tenu de la localisation préférentielle de l'arthrose du jarret, les anesthésies des articulations tarso-métatarsienne et intertarsienne distale sont les plus couramment effectuées. Dans certains cas l'anesthésie de l'articulation tibio-tarsienne peut être réalisée, en gardant en tête que cette dernière anesthésie également les articulations talo-calcaneenne et intertarsienne proximale puisque ces trois articulations communiquent entre elles.

Une **réponse négative** à l'anesthésie intra-articulaire **n'exclut pas une arthrose distale du tarse**, en effet, dans le cas de **lésions extensives de l'os sous-chondral** la réponse à l'anesthésie intra-articulaire est souvent très limitée. Il est à noter que chez certains chevaux, même en l'absence de modifications radiographiques, le traitement intra-articulaire peut améliorer la boiterie de façon plus importante que l'anesthésie intra-articulaire, mais l'inverse est également vrai chez d'autres chevaux.

A noter également que chez certains chevaux, le rétrécissement de l'espace articulaire de l'articulation intertarsienne distale, ou la présence de productions osseuses en région péri-articulaire, peut empêcher la réalisation de l'injection intra-articulaire. Le degré de **communication** entre les articulations **intertarsienne distale** et **tarso-métatarsienne** est variable. En conséquence il est théoriquement **préférable d'injecter ces deux articulations** (soit séparément soit simultanément). Cependant l'articulation tarso-métatarsienne est plus sûre et plus facile à injecter que l'articulation intertarsienne distale et il est donc parfois conseillé d'injecter cette articulation en premier. Ensuite si la boiterie n'est pas ou peu améliorée il est intéressant d'injecter l'articulation intertarsienne distale.

La plupart du temps, la boiterie ne disparaît pas complètement et la réponse est considérée comme **positive** lorsque la boiterie est améliorée d'**au moins 50 %**. Après l'injection il est nécessaire d'attendre entre **10 à 30 minutes** (selon les auteurs) avant de réévaluer le cheval (39).

- Anesthésies péri-nerveuses

On réalise l'**anesthésie jambière** qui correspond à l'anesthésie des **nerfs fibulaires superficiels** et **profonds** et du **nerf tibial**. Bien que non spécifique d'une douleur distale du tarse, elle est très utile dans la **confirmation de l'implication de l'atteinte du jarret dans la boiterie** (à condition que toute atteinte plus distale du membre soit exclue au préalable). Ces blocs sont assez faciles et sûrs à réaliser avec un peu d'expérience et permettent bien souvent une **amélioration plus importante de la boiterie** que les anesthésies intra-articulaires. L'amélioration est en général notée dans les **vingt minutes** suivant les injections. Parfois, la réponse est retardée et en l'absence d'amélioration de la boiterie il est conseillé d'attendre **une heure** avant de réévaluer le cheval et de faire de nouveaux blocs.

Selon certains auteurs, les chevaux présentant des problèmes de performance spécifiques sans boiterie franche sont susceptibles de mieux répondre au traitement intra-articulaire qu'aux anesthésies intra-articulaires ou péri-nerveuses (39).

5.1.8.2 Examens d'imagerie

5.1.8.2.1 Radiographie

Comme expliqué dans les paragraphes précédents, l'arthrose touche **principalement** les articulations **intertarsienne distale** et **tarso-métatarsienne**, occasionnellement l'articulation **intertarsienne proximale** et plus rarement les articulations **talo-calcaneenne** et **tibio-tarsienne**. L'atteinte est souvent bilatérale et il est donc recommandé de **radiographier les deux jarrets** si des anomalies sont constatées sur l'un d'eux (24) (25) (115). Les os atteints le plus fréquemment sont l'os central du tarse, l'os tarsal III et l'os métatarsien III (39).

Etant donné que les lésions débutent généralement en **partie dorso-médiale** des articulations, les vues **LM** et **DLP MO** sont les plus utiles. Cependant chez certains chevaux (et en particulier les islandais) les lésions peuvent être présentes en **partie dorso-latérale** des articulations, la vue la plus appropriée est alors la projection **DMP LO**. La vue **DP** est celle qui présente le **moins d'intérêt** compte tenu du fait que le contour de l'os tarsal III est naturellement irrégulier chez des chevaux sains (115).

Il est donc conseillé de réaliser les quatre vues standard : **DP, LM, DLPMO, DMPLO** car les lésions peuvent n'être visibles que sur une seule vue (Cf. partie 4 « Radiographie du jarret ») (25) (39).

- Signes radiographiques

* **Irrégularités et rétrécissement, voire perte de l'espace articulaire.**

Le rétrécissement de l'espace articulaire est parfois le seul signe visible, les espaces articulaires peuvent être totalement oblitérés (une ankylose de l'articulation est alors présente). Dans d'autres cas le rétrécissement s'accompagne d'une formation osseuse extra-articulaire, extensive et inactive formant un pont osseux entre les os de part et d'autre de l'espace articulaire (25) (115).

* **Irrégularités de la plaque osseuse sous-chondrale, lyse et/ou sclérose de l'os sous-chondral.**

L'arthrose des articulations peu mobiles du tarse possède des caractéristiques qui la distinguent de l'arthrose affectant d'autres articulations. Elle se traduit en effet par une **lyse sous-chondrale** plus que par une sclérose et les lésions actives ont le plus souvent des contours difficiles à distinguer à la radiographie alors que les lésions chroniques ont des contours plus définis.

Etant donné que les **irrégularités de la plaque osseuse sous-chondrale** sont fréquemment accompagnées de la formation d'ostéophytes au niveau des marges de l'articulation intertarsienne distale (mais pas de celles de l'articulation tarso-métatarsienne), l'observation de cette lésion sous-chondrale au niveau de l'articulation intertarsienne distale est donc susceptible d'être significative au niveau clinique. La seule présence d'un remodelage, ou de petites pointes osseuses aux contours lisses et non accompagnées de changement d'opacité des contours articulaire, est en revanche fréquemment observée au niveau de l'articulation tarso-métatarsienne, mais est le plus souvent sans conséquence clinique.

Indépendamment de sa localisation, la **lyse sous-chondrale** doit toujours être considérée comme étant associée à une douleur articulaire. Plus les lésions lytiques sont importantes et plus les signes cliniques sont susceptibles d'être présents (24) (25) (66) (115).

* **Entésophytes au niveau du canal perforant** (115).

* **Ostéophytes et/ou entésophytes péri-articulaires.**

Les ostéophytes de la partie dorsale ou latérale de l'articulation intertarsienne distale sont fréquemment responsables de boiteries. Les ostéophytes présents sur la partie latérale de l'articulation intertarsienne distale sont mieux visualisables sur les vues DP et DLPMO, empiétant sur le canal perforant du tarse. La formation d'ostéophytes sur le bord dorso-proximal de l'os métatarsien III peut ne pas refléter une atteinte articulaire dégénérative et sa signification doit être interprétée avec prudence. Cela peut en effet être un entésophyte associé à l'insertion du tendon du muscle tibial crânial ou du ligament tarso-métatarsien dorsal. Cependant s'il s'agit d'un ostéophyte, ce dernier peut témoigner de l'existence d'une arthrose ou dans certains cas être associé à une fracture articulaire incomplète de la partie proximale de l'os métatarsien III.

Les larges ostéophytes présents au niveau de la partie proximale du métatarsien III peuvent occasionnellement se fracturer, le fragment ne doit alors pas être confondu avec la présence d'une minéralisation dystrophique au sein du tendon du muscle tibial crânial (25) (115).

* **Proliférations osseuses péri-articulaires et néoformations périostées.**

La réaction périostée se produit le plus fréquemment sur la partie dorso-médiale des articulations et traduit le plus souvent la présence d'arthrose (25) (115).

* **Epanchement synovial.**

* **Collapsus dorsal léger des os central du tarse et tarsal III.**

Il est souvent associé à l'arthrose de l'articulation intertarsienne distale. L'étude de la forme de ces os doit donc être faite afin de savoir si l'arthrose développée est secondaire à la présence du collapsus de l'un ou de ces deux os (25).

La **signification clinique des lésions dégénératives observées sur les radiographies varie en fonction des chevaux**. Certains peuvent en effet présenter une boiterie sans lésions radiographiquement visibles alors que d'autres ne boiteront pas et présenteront pourtant des lésions à un stade avancé. Les anesthésies intra-articulaires (combinées dans certains cas à l'anesthésie de la bourse calcanéenne) peuvent aider à évaluer l'implication des lésions identifiées dans l'expression des signes cliniques observés (24) (25).

5.1.8.2.2 *Scintigraphie*

Elle peut être utilisée dans les cas où :

- Les chevaux ne présentent pas de boiterie franche.
- Les tests de flexion sont négatifs.
- Les réponses aux anesthésies sont limitées.
- Les radiographies n'ont pas permis de conclure.

Cette technique permet en effet de détecter des **modifications plus discrètes** que la radiographie. Elle est également intéressante pour **suivre la progression** de l'affection ou les **effets du traitement** mis en place. Le membre controlatéral est habituellement imagé pour comparaison (39) (115).

- **Signes observés** : prise de produit radiopharmaceutique (technétium) augmentée de façon focale ou diffuse :

* Du côté **médial** lors d'atteinte des articulations **intertarsienne distale** et **tarso-métatarsienne**.

* Du côté médial, mais **plus proximale et plantairement** lors de lésion de l'articulation **talo-calcaneenne** (115).

- **A noter** :

* Qu'une prise de contraste très focale peut traduire la présence d'une entésopathie du ligament intertarsien distal plus qu'une arthrose.

* Qu'étant donné que la prise de produit radiopharmaceutique peut se faire en association avec une boiterie primaire dont l'origine est une douleur située ailleurs dans le membre, les résultats doivent être interprétés avec précaution. De plus, la prise de produit pouvant n'être que légèrement augmentée dans les cas chroniques ou à progression lente, l'interprétation peut parfois se révéler difficile (24) (39).

5.1.8.2.3 *Echographie*

- **Signes échographiques**

* Dégénérescence et amincissement de la surface articulaire dans les zones de charge.

- * Ostéophytes et/ou entésophytes.
- * Epaissement de la capsule articulaire.
- * Membrane synoviale hyperplasiée et dans les cas chroniques, présence possible d'une métaplasie des synoviocytes pouvant conduire à la formation de chondromes synoviaux. Ces derniers apparaissent sous la forme de nodules cartilagineux pouvant s'ossifier et former des corps ovoïdes radio-opaques dans la capsule articulaire (115).

5.1.8.2.4 IRM

Elle permet d'obtenir des images sur lesquelles les changements pathologiques du cartilage, des ligaments, des tendons, des capsules articulaires, des muscles et des os sont visibles. Elle a de plus l'avantage de ne pas produire de rayonnements ionisants. C'est une technique idéale, mais les contraintes techniques et financières rendent son utilisation encore limitée (66).

5.1.8.3 *Autres examens complémentaires*

5.1.8.3.1 Analyses du liquide synovial et du sérum

✓ Diminution de la viscosité du liquide synovial

La viscosité du liquide synovial est due à la polymérisation de l'acide hyaluronique (AH). La présence d'arthrose ou d'inflammation, qui diminue la quantité et la polymérisation de l'AH, conduit à l'obtention d'un **liquide synovial dilué et moins visqueux** (66).

✓ Marqueurs synoviaux

Les comptages cellulaires effectués en routine ne sont pas très intéressants pour le diagnostic de l'arthrose, mais peuvent, dans les cas sévères, être utiles pour exclure la possibilité d'arthrite septique.

Lorsque l'homéostasie normale du métabolisme articulaire est altérée, des **macromolécules sont libérées** dans le liquide synovial à des niveaux plus élevés que dans les articulations saines. Ces biomarqueurs peuvent indiquer la réparation, la synthèse, la dégradation, une augmentation du turn-over de l'os ou une synovite et peuvent en conséquence être utiles pour quantifier ces processus, ce qui permet ensuite d'**évaluer le stade** de l'affection, de **suivre sa progression** ou de suivre les **effets du traitement** et donc d'établir plus précisément le **pronostic** (66).

Les biomarqueurs sont dits **directs** s'ils proviennent des tissus articulaires ou sont des enzymes agissant uniquement au niveau des tissus articulaires. Parmi ces marqueurs on peut citer :

- Des marqueurs directs du processus anabolique du cartilage : carboxypropeptide du collagène de type II (CPII) et épitope CS-846 de la chondroïtine sulfate.
- Des marqueurs directs du processus catabolique du cartilage : fragments du collagène de type II, glycosaminoglycanes (GAGs), kératane sulfate (KS) (valeur de ce dernier remise en question), COMP (*cartilage oligomeric matrix protein*), agrécanases et un membre des ADAMTs (*a disintegrin and metalloproteinase with thrombospondin motifs*).
- Des marqueurs directs du processus anabolique osseux : propeptides carboxy et amino-terminaux (PICP pour *procollagen I C-terminal peptide* et PINP pour *procollagen I N-terminal peptide*), ostéocalcine et phosphatase alcaline.

- Des marqueurs directs du processus catabolique osseux : ICTP (*type I collagen nonhelical telopeptide*), CTX-1 (*carboxy-terminal crosslinked telopeptides of type I collagen*), bone sialoprotein (BSP) et déoxyypyridinoline (DPYR).

Les marqueurs sont dits **indirects** s'ils ont une influence potentielle sur le métabolisme des tissus articulaires ou sur l'intégrité de la matrice cartilagineuse. Parmi ces marqueurs on peut citer des biomarqueurs indirects du métabolisme cartilagineux : parmi les cytokines : interleukine-1 (intérêt contesté), interleukine-6, tumor necrosis factor (TNF), parmi les métalloprotéinases matricielles (MMPs) : MMP-1, -2 et -9, parmi les autres médiateurs de l'inflammation : eicosanoïdes et notamment la prostaglandine E2 et l'IGF (71).

La liste des marqueurs présentée ici n'est pas exhaustive et des études sont encore nécessaires afin de savoir quels sont les marqueurs qui pourront réellement être utilisés à terme dans la pratique courante. Les travaux les concernant restent néanmoins très intéressants puisqu'ils permettent d'améliorer la compréhension du mécanisme pathogénique de l'arthrose.

5.1.8.3.2 Arthroscopie

L'arthroscopie permet une **visualisation directe** du cartilage, de la membrane synoviale, de la synovie et des ligaments intra-articulaires, elle est plus sensible que la radiographie pour évaluer les altérations légères à modérées du cartilage. Les fibrillations et érosions du cartilage sont visibles. Les articulations à faible amplitude de mouvement ne peuvent cependant pas être explorées par arthroscopie (66).

- **Signes arthroscopiques**

* Synovites aiguës : hyperhémie, parfois œdème et dépôts de fibrine.

* Synovites chroniques : villosités synoviales épaissies.

* Autres modifications pouvant être mises en évidence :

- **Villosités** de grande taille et en forme de polypes qui peuvent se détacher (« *grains de riz* »).

- **Lésions cartilagineuses** : fibrillation superficielle (« *wear lines* » : fines lignes parallèles présentes en surface du cartilage articulaire et dirigées dans le sens du mouvement de l'articulation. Leur signification dans les affections articulaires est incertaine) et érosions plus ou moins profondes pouvant mettre à nu l'os sous-chondral.

Les méthodes permettant de grader l'affection par arthroscopie sont issues de la médecine humaine et tiennent compte de la profondeur, de l'étendue et de la localisation des lésions. Une des classifications utilisables distingue 3 degrés, divisés chacun en deux sous catégories A et B, en fonction de l'importance du phénomène.

- Degré 1 : surface articulaire **intacte**.

- Degré 2 : surface articulaire **endommagée** encore appelée lésion ouverte. Ce grade est caractérisé par une interruption dans la surface articulaire sans mise à nu de l'os.

- Degré 3 : **mise à nu de l'os sous-chondral** (71).

Particularités de l'arthrose des articulations du tarse les moins fréquemment atteintes :

- Arthrose de l'articulation talo-calcaneenne

Elle est **inhabituelle**, il n'y a en général **pas de signes locaux**. La boiterie est résolue par une anesthésie péri-nerveuse des nerfs fibulaires et tibial et peut être améliorée par une anesthésie intra-articulaire de l'articulation tibio-tarsienne. Les anomalies radiographiques sont confinées à cette articulation et sont mieux identifiées sur les vues **LM** ou **DMPLO**, elles incluent des lyses de l'os sous-chondral ou de la sclérose et un rétrécissement de l'espace articulaire. Le pronostic est **réservé à mauvais** (39).

- Arthrose de l'articulation tibio-tarsienne

Elle peut être primaire ou se développer secondairement à de l'ostéochondrose, de l'arthrose distale du tarse ou encore à un traumatisme. Il peut y avoir une **distension de la capsule** de l'articulation tibio-tarsienne, mais cela n'est pas constant. La **boiterie** est d'intensité **légère à sévère**. Les chevaux présentant des érosions cartilagineuses focales, comprenant tout ou une partie de l'épaisseur du cartilage au niveau des parties supportant du poids dans la trochlée du talus, peuvent présenter des boiteries sévères. La boiterie est habituellement améliorée de façon partielle par l'anesthésie intra-articulaire. Chez les chevaux présentant de l'**arthrose primaire** de l'articulation tibio-tarsienne il n'y a généralement **pas d'anomalie visible à la radiographie** et à la scintigraphie. Chez les chevaux de course, l'examen scintigraphique révèle souvent une augmentation de la prise de produit radiopharmaceutique au niveau du tibia distal et du talus proximal, qui doit cependant être différenciée d'un traumatisme de l'os sous-chondral ou de fractures du tibia distal ou du talus. Le **diagnostic définitif** dépend de l'**examen arthroscopique** de l'articulation. Le pronostic pour la résolution de la boiterie et le retour à une fonction sportive complète est généralement **réservé à mauvais**. La réponse aux traitements intra-articulaires est souvent décevante (39).

5.1.9 Traitement

L'arthrose se caractérise par des lésions cartilagineuses associées à des changements au niveau de la capsule articulaire, de la synovie et de l'os sous-chondral. Le traitement mis en place doit donc concerner tous ces composants afin d'être le plus efficace possible.

Les finalités du traitement sont le contrôle de la **douleur**, la maximisation de la **fonction articulaire**, la prévention de la **progression des lésions** et théoriquement la facilitation du processus de **réparation** (73). Dans les cas d'arthrose avancée le traitement médical associé à l'exercice permettrait de favoriser le développement de l'**ankylose** des articulations atteintes et donc de diminuer, voire de faire disparaître, la douleur causée par l'arthrose, certains auteurs considèrent cependant que cette ankylose ne peut que rarement être obtenue sans chirurgie (55).

Tableau 12 : Traitement de l'arthrose

(73)

Différents traitements envisageables en fonction de l'objectif à atteindre	
<u>Objectif</u>	<u>Traitement</u>
Contrôle de la douleur	<ul style="list-style-type: none"> • AINS • AIS • Arthroscopie • Arthrodèse • Exercice • Ferrure • Physiothérapie • « Nouveaux » analgésiques
Contrôle de l'inflammation	<ul style="list-style-type: none"> • AINS • AIS • Hyaluronate de sodium • Tiludronate • Nouvelles molécules
Chondroprotection	<ul style="list-style-type: none"> • Glycosaminoglycanes polysulfates • Glucosamine et chondroïtine

Le traitement de l'arthrose peut être médical ou chirurgical, ce dernier est en général utilisé en seconde intention lorsque le traitement médical ne soulage pas suffisamment le cheval (106).

Le choix du traitement dépend du **degré de boiterie**, de l'existence d'**anomalies radiographiques**, de l'**utilisation du cheval**, des sorties en **compétition**, de la **réponse aux traitements** antérieurs, du **temps** disponible et des contraintes **financières** (39).

5.1.9.1 *Traitement médical et traitement non chirurgical*

Le traitement vise à **prévenir l'aggravation des lésions existantes** qui sont habituellement irréversibles. Le traitement médical le plus efficace comprend l'association de médicaments intra-articulaires, d'une ferrure correctrice, d'un exercice adapté et d'un anti-inflammatoire non stéroïdien par voie générale. Le tiludronate, les compléments à base de nutraceutiques, la physiothérapie et l'utilisation de « nouvelles molécules » peuvent venir s'ajouter au traitement de base. Une arthrodèse chimique peut également être envisagée (1) (106).

5.1.9.1.1 *Traitements par voie générale*

✓ Anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS)

Les AINS sont très efficaces pour fournir une **analgésie** et réduire l'**inflammation** chez les chevaux atteints d'arthrose. La **phénylbutazone** est l'AINS le plus utilisé en raison de son efficacité, de son accessibilité et de son prix peu élevé. Les AINS sont couramment utilisés **en association avec des médicaments intra-articulaires** (106).

Les complications à long terme de l'administration d'AINS (ulcération gastro-intestinale et toxicité rénale) doivent être prises en considération. Il est donc recommandé d'utiliser **la dose la plus réduite possible** et de **maximiser l'intervalle de temps entre les traitements** et ce en particulier chez les animaux âgés. L'objectif est d'utiliser les plus petites doses et fréquences possibles afin de limiter au maximum les effets secondaires néfastes, tout en gardant l'efficacité clinique. L'administration de phénylbutazone à **2,2 mg/kg SID** à long terme est en général bien tolérée (73). Certains auteurs recommandent de faire une cure d'AINS durant les jours précédents un effort intense (106). De récentes études ont montré que l'administration à long terme d'AINS à hautes doses pouvait contribuer à l'apparition de dysfonctionnements articulaires. Ces effets varient cependant en fonction des molécules et l'impact clinique lors d'utilisation raisonnée n'est pas prouvé à l'heure actuelle (73). Le tableau suivant présente les différents AINS utilisables, bien qu'en pratique la phénylbutazone reste la plus utilisée.

Tableau 13 : AINS utilisables dans la gestion des affections myoarthrosquelettiques

(43)

AINS utilisables dans la gestion des affections myoarthrosquelettiques chez le cheval		
Molécule	Posologie	Efficacité
Phénylbutazone = la plus utilisée (Inhibiteur COX-2 majoritaire)	2,2 mg/kg (douleur chronique) 4,4 mg/kg (douleur aiguë) PO ou IV SID à BID	Très bonne
Kétoprofène (Inhibiteur COX-2 majoritaire)	2,2 mg/kg IV, IM ou PO SID à BID	Très bonne
Carprofène (Inhibiteur COX-2 préférentiel)	0,7 mg/kg IV ou PO SID à BID	Très bonne
Védaprofène (Inhibiteur COX-1 et COX-2)	1 à 2 mg/kg PO ou IV SID à BID	Très bonne
Flunixin méglumine = plus coûteuse, donc moins utilisée (Inhibiteur COX-1 et COX-2)	1,1 mg/kg IV ou PO BID	Bonne
Firocoxib (Inhibiteur COX-2 majoritaire)	1,1 mg/kg PO ou IV SID	Bonne
Méloxicam (Inhibiteur COX-2 préférentiel)	0,6 mg/kg PO IV SID à BID	Bonne

✓ Hyaluronate de sodium (AH pour Acide Hyaluronique)

L'administration d'AH par voie intraveineuse améliore la **boiterie**, diminue l'**inflammation** et la **vascularisation** de la membrane synoviale. L'intérêt est que ce mode d'administration serait selon certains, susceptible de traiter plusieurs articulations en une seule injection. La posologie recommandée est de **40 mg une fois par semaine pendant 3 à 4 semaines**, suivie par la suite d'autres injections (moins fréquentes) au besoin, afin de maintenir le confort du cheval (73).

✓ Chondroprotecteurs

- **Glycosaminoglycane polysulfatés (PGAGS)**

Il semblerait qu'ils possèdent une action **anti-inflammatoire** (diminution de la synthèse des prostaglandines et interleukines, de la libération des radicaux libre, de l'activité du complément et de l'activité des enzymes lysosomiales) et une action de **stimulation du métabolisme du cartilage** (stimulation de la synthèse du hyaluronate, du collagène et des GAGs et de la réplication des chondrocytes). Leur **effet** est cependant dépendant de la **dose** administrée et de

l'**articulation** atteinte. L'administration intra-articulaire serait d'efficacité supérieure à l'administration par voie intramusculaire (IM) (Cf. 5.1.9.1.2 « *Traitements intra-articulaires* »).

Le traitement systémique aux PGAGs consiste en l'injection intramusculaire de **500 mg de PGAGs, une à deux fois par semaine pendant 4 à 6 semaines**, suivie d'un traitement de maintenance à **500 mg en IM, une à deux fois par mois** (73).

- **Pentosane sulfate**

Il possède une structure chimique similaire à celle des PGAGs et peut également être utilisé. La posologie recommandée est **de 2 à 3 mg/kg IM, une fois par semaine, pendant un mois** (73).

- **Glucosamine et chondroïtine**

La glucosamine entre dans la composition de nombreux éléments dont les GAGs et la chondroïtine sulfate (qui est le GAG le plus représenté au sein du cartilage). Il est suggéré que ces deux molécules agissent en **synergie** et que leur administration par voie orale **augmenterait le métabolisme et diminuerait le catabolisme du cartilage**. Cependant l'intérêt clinique de ces molécules varie grandement en fonction des études et leur efficacité n'est pas démontrée (73).

L'efficacité des chondroprotecteurs n'est pas formellement prouvée, mais de nombreuses études tendent à montrer que leur emploi est intéressant. Ils peuvent donc être utilisés **en complément du traitement de base**, il est cependant nécessaire de faire attention à la **qualité du produit** le contenant. Ces produits ne sont pas considérés comme des médicaments, mais comme des nutraceutiques et de ce fait aucune AMM (Autorisation de Mise sur le Marché) n'est nécessaire avant leur mise en vente. Il est donc préférable de bien se renseigner sur la qualité et la quantité des principes actifs présents (purification satisfaisante, dosages respectés) et sur leur association raisonnée avec les autres composés présents dans le produit (influence possible sur la biodisponibilité et l'efficacité des molécules), afin d'éviter d'acheter un produit inefficace où pouvant se révéler néfaste (73).

✓ Tiludronate

Le tiludronate est un biphosphonate. Il possède une activité **anti-ostéoclastique** qui limite la résorption osseuse et une action **anti-inflammatoire** (en limitant la libération d'oxyde nitrique et de radicaux libres par les macrophages activés et en inhibant également la sécrétion par les chondrocytes et les synoviocytes des enzymes dégradant le cartilage induites par l'interleukine-1). Il est utilisé lors d'arthrose précoce dans le but de diminuer les **phénomènes ostéolytiques**. Il est administré par voie **intraveineuse**, soit en une **perfusion unique** (1 mg/kg en environ trente minutes), soit en une **injection quotidienne pendant dix jours** (0,1 mg/kg SID).

Une étude de 2010 a été menée afin de confirmer l'effet et l'innocuité de l'administration de tiludronate en perfusion unique à 1 mg/kg dans le traitement de l'éparvin chez le cheval. Dans le cadre de ce travail 108 chevaux (87 étaient toujours inclus à la fin de l'étude) cliniquement atteints d'éparvin ont été répartis en deux groupes (un recevant le tiludronate et l'autre un placebo). L'étude menée sur des chevaux Anglais et Irlandais était multicentrique, randomisée et en double aveugle. Le score de boiterie de chaque cheval a été déterminé au début de l'étude et les chevaux ont ensuite reçu le traitement à J0 avant d'être réévalués 60 jours après (durant ces deux mois les chevaux suivaient un programme d'exercice contrôlé). Chez les chevaux ne présentant pas d'amélioration à J60 un second traitement (cette fois, non en aveugle) a été administré afin de réévaluer le cheval une nouvelle fois à J120. Dans ce travail le traitement au tiludronate associé à un programme d'exercice contrôlé s'est révélé efficace puisque les chevaux ayant reçu le tiludronate était significativement moins boiteux lors du premier contrôle que ceux ayant reçu le placebo. Suite au traitement du jour 60 le contrôle à J120 a par ailleurs montré une amélioration de la boiterie par rapport au J60. A l'exception de la présence d'ostéophytes péri-

articulaires, aucune différence significative n'a été mise en évidence en ce qui concerne les lésions radiographiques observées chez les chevaux traités et non traités (55).

5.1.9.1.2 Traitements intra-articulaires

Malgré une hygiène optimale, toute injection dans l'articulation peut conduire au développement d'un phénomène infectieux au sein de cette dernière, en particulier lors de l'injection de corticostéroïdes dont l'effet immunosuppresseur augmente encore le risque d'arthrite septique iatrogène. La ou les articulations atteintes doivent donc être infiltrées de façon **stérile** après une préparation chirurgicale du site de ponction. **L'injection concomitante d'un antibiotique** dans l'articulation est recommandée. Les sites d'injection pour chaque articulation sont présentés dans la partie 3 « *Anatomie du jarret* ».

✓ Anti-inflammatoires stéroïdiens (AIS)

Les AIS diminuent la **douleur** et l'**inflammation**, leur administration par voie intra-articulaire est considérée comme étant le **traitement médical le plus efficace** pour gérer les inflammations articulaires. Chez la grande majorité des chevaux ayant fait l'objet d'un diagnostic précis d'arthrose des articulations distales du tarse, le traitement intra-articulaire avec des corticostéroïdes entraîne généralement une importante amélioration. La réponse est cependant souvent limitée chez les chevaux présentant des lésions radiographiques sévères ou des anomalies à la scintigraphie sans lésions radiographiques. Les chevaux souffrant d'arthrose concomitante des articulations intertarsienne distale et tarso-métatarsienne peuvent nécessiter des injections dans les **deux articulations** et non pas seulement dans l'articulation tarso-métatarsienne étant donné que la communication entre les deux est inconstante.

Certains cliniciens pensent que lorsque la boiterie n'est pas améliorée (ou seulement pendant une courte période) par les injections intra-articulaires de corticostéroïdes, l'administration concomitante d'**acide hyaluronique** (voie intraveineuse ou intra-articulaire), ou de **glycosaminoglycannes polysoufrés** (voie intramusculaire) est bénéfique.

Il existe des controverses à propos des résultats obtenus lors de l'usage à long terme d'AIS. Actuellement, on ne connaît pas leur effet destructeur possible sur le cartilage articulaire et la notion selon laquelle ils accélèreraient la fusion des petites articulations du tarse n'est pas prouvée. Les effets secondaires sont par ailleurs variables en fonction des molécules et des doses utilisées. Les injections d'AIS peuvent *a priori* être **répétées deux à trois fois par an**. Chez certains chevaux il est possible de prévoir quand la boiterie va revenir et donc de traiter le cheval avant l'apparition de celle-ci. Bien que la bursite cunéenne ne soit pas souvent une cause primaire de boiterie, certains chevaux répondent mieux au traitement intra-articulaire si celui-ci est associé à un traitement de la bourse (1) (39) (106).

En pratique :

A la suite de l'injection, un repos de 3 ou 4 jours avec sorties en paddock, suivi de 3 ou 4 jours de travail monté léger avant de reprendre une activité normale. Certains cliniciens conseillent une mise au repos strict en box pendant une semaine avant le retour à l'exercice. L'administration de phénylbutazone (2,2 mg/kg SID) est parfois recommandée pendant 7 jours afin de diminuer la possibilité de douleur au niveau du site d'injection.

La plupart des chevaux ne présentent plus de signes cliniques en 7 à 10 jours et restent asymptomatique pendant 3 à 6 mois, selon la sévérité des lésions et de l'activité pratiquée (39).

Le tableau suivant présente les trois AIS les plus fréquemment utilisés pour le traitement de l'arthrose et rappelle leur posologie.

Tableau 14 : AIS utilisables dans la gestion de l'arthrose
(39) (73)

Différents AIS utilisables dans la gestion de l'arthrose du jarret chez le cheval		
<u>Molécule</u>	<u>Posologie</u>	<u>Efficacité</u>
Acétate de méthylprednisolone	60 mg par articulation (40 à 80 mg)	- Longue action. - Principale molécule utilisée lors d'atteinte d'articulations à faible amplitude de mouvement.
Triamcinolone	6 mg par articulation (3 à 12 mg)	- Non détectable 15 J après l'injection. - L'efficacité persisterait passé ce délai. - Principale molécule utilisée lors d'atteinte d'articulations à forte amplitude de mouvement.
Bétaméthasone	6 mg par articulation (3 à 9 mg)	- Courte durée d'action.

L'emploi d'AIS par voie intra-articulaire est donc l'un des volets clés du traitement à condition que leur utilisation soit raisonnée (hygiène des injections, mise au repos du cheval, travail adapté, justification des injections et espacement de ces dernières) (106).

✓ Hyaluronate ou Acide Hyaluronique (AH)

Le hyaluronate de sodium augmente la **viscosité du liquide synovial** et la **lubrification** de l'articulation, il possède également des actions **anti-inflammatoires** et **analgésiques**, il ne semble cependant pas avoir d'effet direct sur le cartilage. Son utilisation dans le traitement de l'arthrose peut donc se révéler utile. L'utilisation d'AH seule semble avoir des effets limités. En revanche **son association avec la méthylprednisolone est souvent employée**, car elle augmenterait la qualité et la durée des effets de cette dernière. L'AH pourrait par ailleurs prévenir les dégradations cartilagineuses causées par les AIS. L'efficacité de l'AH semble surtout intéressante dans les cas de **synovite ou de capsulite** d'intensité **légère à modérée**.

La posologie conseillée est de **20 mg par articulation** avec répétition possible des injections **2 à 3 semaines plus tard**. L'AH peut également être utilisé par voie intraveineuse (Cf. 5.1.9.1.1 « Traitements par voie générale ») (73).

✓ Diméthyl sulfoxyde (DMSO)

Les études ne permettent pas à l'heure actuelle de conclure quant à des effets bénéfiques de son application locale ou intra-articulaire dans la gestion de l'éparvin (73).

✓ Glycosaminoglycanes polysulfatés (PGAGs)

Le traitement aux PGAGs consiste en l'injection **intra-articulaire de 250 mg, 1 fois par semaine pendant 3 à 5 semaines**, suivi d'un traitement de maintenance à **500 mg en IM, une à deux fois par mois**. Le traitement intra-articulaire serait plus efficace que le traitement par voie générale, il est cependant plus susceptible de provoquer des arthrites (septiques ou aseptiques) et son utilisation doit donc se faire avec précaution (73).

5.1.9.1.3 Arthrodèse chimique

Le monoiodoacétate de sodium (MIA) entraîne l'**arthrodèse** de l'articulation dans laquelle il est injecté en causant la **mort des chondrocytes** et une **nécrose** éventuelle du cartilage.

La fusion chimique des articulations tarsiennes distales se fait par injection intra-articulaire de **100 à 192 mg** (selon les auteurs) de MIA après une arthrographie de contraste afin de confirmer la position de l'aiguille et l'absence de communication entre les articulations tarso-métatarsienne ou intertarsienne distale et intertarsienne proximale. Certains préconisent la mise sous traitement antibiotique et anti-inflammatoire avant de réaliser l'injection. Une étude portant sur 39 chevaux a montré que 88 % des chevaux présentaient une arthrodèse et une absence de boiterie à 12 mois et que 75 % des chevaux ne reboitaient toujours pas après 28 mois. (19). La douleur est très importante à la suite de l'injection, l'utilisation d'un **analgésique** (phénylbutazone par exemple) est donc indiquée pendant **10 à 14 jours**. Il est ensuite préconisé de **travailler le cheval pendant une à deux semaines** afin de favoriser la dégradation du cartilage, puis de mettre le **cheval au repos (box) pendant 1 à 2 mois**, les sorties doivent être restreintes jusqu'à 4 à 6 mois après l'injection, le retour à une **activité normale** est généralement permis **6 mois après** le traitement (39) (73) (106). Les désavantages de cette technique sont : le risque de développer une arthrose sévère des articulations intertarsienne proximale et tibio-tarsienne (d'où l'importance de bien vérifier l'absence de communication entre ces dernières et les articulations traitées), l'apparition d'une boiterie sévère, d'un épanchement synovial ou encore d'une arthrite septique (12).

5.1.9.1.4 Exercice

La pratique d'un **exercice régulier et léger** est recommandée afin de favoriser la **mobilité des articulations**, de stimuler le **métabolisme chondrocytaire** et d'améliorer le **développement musculaire**. Lors de **crises aiguës de douleur le repos en box** est conseillé. En revanche le reste du temps il est préférable de laisser le cheval en pâture, car le fait de rester en box est généralement associé, à terme, à une augmentation de la raideur et de la douleur. Afin de diminuer l'importance des contraintes biomécaniques sur les articulations, le **pooids** du cheval doit être optimal (éviter le surpoids), le travail doit se faire de préférence sur **terrains souples et réguliers**, les exercices réalisés ne doivent pas appliquer de tensions excessives sur les articulations et **l'intensité et la durée du travail** doivent être limitées. Un **échauffement** assez long au pas est par ailleurs conseillé avant la mise au travail (73).

5.1.9.1.5 Ferrure correctrice

Tout traitement doit être associé à un **parage** et une **ferrure correctrice** qui doit :

- Assurer un **équilibre médio-latéral** correct du pied.
- Favoriser le mouvement de bascule antérieure et l'élévation du talon afin de réduire le stress sur les petites articulations du tarse. Ceci peut être fait en raccourcissant la pince du sabot et en utilisant un fer à rolling antérieur.
- Une **branche externe garnie, plus large et plus longue** du côté latéral et/ou la mise en place de talonnette latérale permettent un soulagement des symptômes chez certains chevaux et tendent à diminuer les torsions excessives du membre. Ces conseils doivent cependant être évités pour les chevaux qui font des stops ou des tournants très rapides (39) (106).

5.1.9.1.6 Physiothérapie

Elle est de plus en plus utilisée en complément des autres méthodes thérapeutiques et de nombreuses techniques différentes existent à l'heure actuelle. Cependant le manque d'étude sur leur efficacité ne permet pas de conclure quant à leur réel intérêt dans le traitement de l'arthrose chez le cheval.

✓ Acupuncture

L'acupuncture s'avère en général très utile dans le contrôle de la douleur. Trois à cinq séances séparées de 1 à 4 semaines sont recommandées dans la plupart des cas (73).

✓ Ondes de choc extracorporelles

L'utilisation des ondes de choc extracorporelles est évoquée mais son efficacité à long terme n'est pas encore évaluée (1).

✓ Ultrasons

Les ultrasons favoriseraient le remodelage des os et le métabolisme cellulaire, ils auraient un effet analgésique à court terme. En chauffant les tissus les ultrasons augmentent par ailleurs le flux sanguin, diminuent la douleur et améliorent l'élasticité des tissus. Ils pourraient ainsi permettre de lever les contractures articulaires avant l'effort. Il n'existe pas d'études contrôlées, mais les expériences cliniques sont encourageantes (73) (106).

✓ Thérapie magnétique

Les thérapies à base de champ magnétique continu ou pulsé ont été proposées pour gérer la douleur. La preuve de leur efficacité dans le traitement de l'arthrose chez le cheval n'a pas encore été faite (73).

✓ Stimulation électrique transcutanée (TENS)

Cette technique aurait elle aussi un effet analgésique et son intérêt chez l'homme souffrant d'arthrose commence à être reconnu. Cependant aucune étude chez l'animal n'a permis de montrer son effet bénéfique dans le contrôle de la douleur chez le cheval (73).

De nouvelles pistes :

De nombreuses molécules sont à l'étude à l'heure actuelle :

- Nouveaux AINS.
- Molécules possédant *a priori* un effet anti-inflammatoire : tétracyclines, extraits de plantes, acides gras ω -3 et ω -6, S-adenosyl-L-méthionine, superoxyde dismutase.
- Molécules analgésiques : tramadol, fentanyl.

De nouvelles techniques d'administration sont également proposées et étudiées, en particulier afin d'augmenter la concentration en principe actif au niveau local et de la diminuer au niveau systémique. Cela pour améliorer l'efficacité du traitement tout en minorant ses potentiels effets secondaires sur l'ensemble de l'organisme :

- Patches.
- Ionophorèse.
- Photophorèse (73).

5.1.9.2 *Traitement chirurgical*

Si les thérapies médicales échouent, le traitement chirurgical est possible et plusieurs techniques sont disponibles : ténectomie cunéenne, intervention de Wamberg, cautérisation de la rangée distale des os du tarse, névrectomie. D'autres méthodes plus récentes sont fréquemment utilisées à l'heure actuelle : forages sous-chondraux pour réduire la pression intra-osseuse, forage des articulations affectées afin de provoquer leur arthrodèse, fixation interne de plaques orthopédiques ou de cylindres en acier inoxydable ou encore fusion par laser (39) (106).

5.1.9.2.1 *Ténectomie cunéenne*

Cette technique se réalise sur cheval debout ou couché. Elle consiste en l'excision d'une **section de la branche cunéenne** à partir de son origine sur le muscle tibial crânial. Un **repos de 2 mois** après la chirurgie est préconisé. La ténectomie permet de **supprimer la douleur** causée par le passage de la branche cunéenne au niveau de l'éparvin et de diminuer le **stress de torsion** auquel elle contribuerait. Les résultats sont variables et dépendent de la présence ou non d'une bursite cunéenne, la ténectomie permettrait une amélioration transitoire, mais pas à terme une résolution complète de la boiterie (1) (39) (106). Les avantages de cette technique sont sa facilité et sa rapidité de réalisation, la durée de convalescence courte et son coût peu onéreux, cependant elle a pour inconvénients de présenter un intérêt clinique parfois limité et peut provoquer un gonflement des tissus mous au niveau du site chirurgical (12).

5.1.9.2.2 *Cautérisation de la rangée distale des os du tarse*

Cette méthode **stimule l'ankylose** des articulations intertarsienne distale et tarso-métatarsienne car les pointes de feu sont introduites directement au contact des os lésés et dans la branche cunéenne afin de la sectionner s'il n'y a pas déjà eu de ténectomie (souvent la cautérisation est faite après une ténectomie n'ayant pas permis la résolution de la boiterie) (1).

5.1.9.2.3 *Intervention de Wamberg*

Il s'agit de **découper le périoste** dans la région de l'éparvin et d'en détruire théoriquement l'innervation. Wamberg a préconisé cette technique car il considère que l'essentiel de la douleur provient des tissus situés autour de l'os et non de l'os lui-même. Le principe est de réaliser sous anesthésie générale, une incision en côte de melon autour des exostoses de l'éparvin afin d'éliminer l'innervation et donc la douleur au niveau de cette région. Les résultats de cette technique ne semblent pas meilleurs que ceux de la technique précédente (1).

5.1.9.2.4 *Névrectomie des nerfs tibial et fibulaire profond*

La névrectomie du **nerf fibulaire profond** et la névrectomie **partielle du nerf tibial** soulagent la douleur et environ 60 % des chevaux retrouveraient leur niveau d'origine (1) (39) (106).

5.1.9.2.5 Technique de fenestration

L'objectif de cette technique est de **réaliser des forages au sein de l'os sous-chondral** afin de **diminuer la pression osseuse articulaire** qui est généralement augmentée lors d'arthrose. Cinq incisions cutanées sont réalisées distalement à l'articulation tarso-métatarsienne (intertarsienne distale), au niveau de chacune d'elles, un conduit présentant une direction oblique proximale de 30° est foré au travers de l'os métatarsien III (os tarsal III) puis traverse l'articulation tarso-métatarsienne (intertarsienne distale) et enfin l'os tarsal III (os central du tarse). Le délai de retour au travail est d'environ un mois et le succès serait de 50 % (18). Les avantages sont que cette technique ne nécessite pas d'équipement spécialisé et qu'elle est assez simple à réaliser, son inconvénient est que bien souvent elle ne permet pas l'arthrodèse de l'articulation (12).

5.1.9.2.6 Forage intra-articulaire

Le forage intra-articulaire utilisant la technique de **forage de trois trajets** est le traitement standard le plus utilisé à l'heure actuelle. Le principe est de réaliser, par abord médial, des **forages le long des surfaces articulaires** des articulations tarso-métatarsienne et intertarsienne distale afin de provoquer, le long des zones de forage, la création d'un **pont osseux** reliant les deux plaques sous-chondrales. La technique chirurgicale doit cependant être soignée afin de ne pas entraîner l'apparition de nouvelles néoformations osseuses péri-articulaires.

Il est important de **traiter les deux articulations** (intertarsienne distale et tarso-métatarsienne). Si l'articulation intertarsienne proximale est touchée, son arthrodèse chirurgicale est également indiquée, en même temps que celle des précédentes. La chirurgie se déroule sur cheval couché. Une ténotomie cunéenne peut être réalisée lors de la chirurgie.

Les articulations à souder sont repérées à l'aide d'aiguilles dont les positions sont vérifiées par contrôles radiographiques ou fluoroscopiques per-opératoires. Une fois l'articulation identifiée de manière certaine, un unique trou d'entrée est foré et la fraise est déplacée dans 3 directions différentes à partir de ce trou initial afin de léser le cartilage. Les deux jarrets peuvent être opérés lors de la même intervention, il suffit de changer le côté du décubitus entre le traitement des deux membres.

Après la chirurgie, un pansement protecteur et appliqué, le cheval est mis sous traitement antibiotique et des AINS peuvent être administrés pendant trois jours. Le retrait des points et du bandage se fait douze à quinze jours après l'intervention. Le cheval reste au repos strict au box pendant deux semaines, puis il peut marcher en main pendant deux semaines. Ce n'est qu'après, qu'une reprise progressive du travail est possible. Cette dernière va favoriser l'ankylose et donc la guérison qui survient en général au bout de 4 à 5 mois, mais parfois en un an. Lorsque l'articulation intertarsienne proximale est aussi touchée le pronostic est plus mauvais.

Le succès de cette technique est de plus de 65 %. L'obtention d'une arthrodèse complète nécessite souvent plus de 9 mois et la résolution de la boiterie prend en général un an (1) (39) (42) (73) (106).

Une étude parue en 2003 s'intéresse aux résultats obtenus avec cette technique sur 54 chevaux (1990-1999) atteints d'arthrose distale du tarse. Chez 59 % des chevaux, les résultats étaient satisfaisants et chez 6 % une amélioration a été observée, mais sans guérison, après l'intervention chirurgicale. Peu de complications postopératoires ont été mises en évidence.

Le pronostic à la suite de ce traitement est donc bon, cependant dans cette étude il s'est trouvé diminué lorsque :

- Les chevaux présentent une arthrose tarsienne distale à un stade avancé.
- Les chevaux présentent des causes concomitantes de boiterie des membres postérieurs (l'intérêt de la chirurgie dans ce cas est discutable, les résultats sont en général décevants).
- L'articulation intertarsienne proximale est atteinte.
- Des injections intra-articulaires ont été réalisées par le passé (42).

Les avantages de cette technique sont qu'elle ne requière pas de matériel très coûteux, qu'elle présente peu de complications en postopératoire et qu'elle donne de bonnes chances de succès. Ses inconvénients sont qu'elle ne permet en général pas l'arthrodèse complète de l'articulation traitée et que la technique chirurgicale utilisée reste délicate.

Certains auteurs proposent d'associer le forage à des techniques de stabilisation afin d'augmenter le succès de l'intervention. Cette stabilisation qui se fait grâce à la mise en place de vis ou de plaque (« finger-plate » ou « T-plate ») permettrait en effet d'améliorer l'arthrodèse de l'articulation traitée. Elle a néanmoins pour inconvénients d'augmenter le coût du traitement et le risque de complications du fait de la présence de l'implant (12).

5.1.9.2.7 *Fusion au laser*

Le laser est placé dans la région intra-articulaire afin d'obtenir la **destruction thermique du cartilage articulaire**. L'avantage de cette technique est qu'elle est peu invasive et que la période de convalescence et la douleur postopératoire sont donc réduites. Elle nécessite cependant de disposer d'un laser et lors d'arthrose sévère, le faisceau laser est parfois difficile à placer au sein de l'articulation. Les résultats sont prometteurs, mais le succès ne paraît pas supérieur à celui obtenu avec la technique de forage articulaire (12) (106).

Certains auteurs suggèrent d'associer la technique des trois forages et le laser, car cette combinaison pourrait selon eux permettre de soulager la douleur précoce ressentie par le cheval en postopératoire et liée aux forages tout en permettant d'obtenir une arthrodèse plus complète que celle permise par le laser utilisé seul (12).

5.1.10 **Pronostic**

Le pronostic est toujours **réservé** lors d'**atteinte tarsienne distale**, car la guérison complète est difficile à obtenir. Cependant, après une ankylose naturelle ou chirurgicale le cheval peut redevenir asymptomatique. Secondairement à l'arthrodèse des articulations intertarsienne distale et tarso-métatarsienne peuvent survenir des fractures des os central du tarse ou tarsal III ou encore une arthrose de l'articulation intertarsienne proximale.

Le pronostic est encore un peu **plus réservé** lorsque l'articulation **intertarsienne proximale** est touchée et/ou qu'une **lyse osseuse sous-chondral étendue** est présente.

Lorsque des lésions sont observées au niveau des **articulations talo-calcaneennes ou tibio-tarsiennes** le pronostic est **défavorable** (1) (39).

5.2 Ostéocondrose (OC)

(1) (5) (7) (9) (13) (17) (22) (23) (24) (28) (37) (44) (45) (48) (52) (56) (60) (65) (68) (72) (78) (89) (92) (94) (96) (98) (100) (101) (103) (104) (107) (115) (116) (117) (118)

5.2.1 Introduction

L'OC résulte d'une **perturbation de l'ossification enchondrale** au cours de laquelle l'ossification ne suit pas une progression homogène, mais se ralentit à certains endroits en créant des zones de cartilage retenu. Etant donné que l'OC est un défaut primaire du cartilage le terme employé devrait être **dyschondroplasie** pour désigner cette affection, l'ostéocondrose désignant la lésion en résultant. Cependant, certaines études tendent aujourd'hui à montrer que **l'épaississement du cartilage n'est pas systématique** et que certaines lésions seraient plutôt causées par une **rupture de la structure à la jonction** entre le cartilage et la plaque osseuse sous-chondrale. Bien que les lésions d'OC puissent exister au niveau des **surfaces articulaires** et des plaques de croissance ces premières sont, chez le cheval, les plus fréquemment affectées. Cette affection semble particulièrement fréquente chez les chevaux à sang chaud, les galopeurs et les trotteurs. L'incidence varie en fonction des articulations et des races, mais est généralement proche **de 20 à 25 %**. Les performances ne sont pas toujours affectées, mais les **pertes directes et indirectes** pour l'industrie équine sont énormes à cause de la perte du potentiel d'élevage (animaux écartés de la reproduction) et de la dépréciation marchande des **animaux atteints** (12) (78) (116).

5.2.2 Prérequis

Afin de bien comprendre ce qu'est l'ostéocondrose, il est nécessaire de connaître le mécanisme d'**ossification enchondrale** (ou **enchondrale**) qui permet aux os de se former et de croître au cours de la croissance de l'animal. On distingue trois grands types d'os : les os longs, les os courts et les os plats. Les deux premiers types sont présents dans le jarret avec le tibia et le métatarse pour les os longs et les os du tarse (talus, calcaneus, os central du tarse, os tarsal I+II, os tarsal III, os tarsal IV) pour les os courts. Chez l'**embryon** le futur os se forme tout d'abord sous la forme d'une **matrice cartilagineuse** entourée d'une fine couche de **tissu conjonctif** : le **périchondre**.

Le processus d'ossification se déroule ensuite en plusieurs étapes (qui se chevauchent dans le temps) :

- **La pré-ossification** : la formation cartilagineuse est envahie par des **vaisseaux sanguins** et l'**ossification du périchondre** débute pour former le **périoste**.
- **L'ossification primaire** : les cellules apportées par les vaisseaux se transforment en **ostéoblastes** qui forment un tissu **ostéide** qui va peu à peu **se minéraliser**. L'os formé est non lamellaire.
- **L'ossification secondaire** : l'os est remodelé pour former l'**os lamellaire**.

Ces étapes se déroulent à partir des **centres d'ossification**, dans le cas d'un os long par exemple :

- **Centre d'ossification diaphysaire** : il se forme dans la **partie moyenne** de l'os, grâce à l'invasion de ce dernier par les vaisseaux sanguins et les cellules mésenchymateuses.

En parallèle se forment en **position centrale** l'os d'origine **enchondrale** et en **périphérie**, l'os d'origine **périostale** (formé par le périchondre). **L'ossification s'étend** ensuite peu à peu en direction des **extrémités de l'os** (épiphyse).

- **Centre d'ossification épiphysaire** : situé en **position centrale dans l'épiphyse**, il se forme de la même façon que le centre diaphysaire, lorsque l'ossification de la diaphyse a déjà bien progressé. Au contraire de l'ossification longitudinale qui existait dans le centre précédent, ici **l'ossification se fait de manière radiaire et centrifuge**.

Lorsque l'ossification épiphysaire (et donc aussi diaphysaire) est terminée, le cartilage hyalin n'est plus présent qu'en deux endroits :

* La **surface articulaire**.

* La **plaque de croissance** située entre la diaphyse et l'épiphyse (métaphyse).

A la différence du centre diaphysaire, le centre épiphysaire possède donc deux types de chondrocytes : un destiné à former le cartilage articulaire et un destiné à former l'os spongieux et l'os sous-chondral de l'épiphyse.

Les petits **os du tarse** s'ossifient à partir d'un **unique centre d'ossification primaire** (à l'exception du calcaneus qui possède un centre d'ossification secondaire le séparant du tuber calcanei) dans lequel l'ossification se fait de façon **radiaire** (37).

Les chondrocytes au sein de la plaque de croissance forment des couches successives distinctes :

- La zone la plus éloignée de la diaphyse est appelée **zone de réserve ou de repos**.

- La zone adjacente est dite **proliférative** car les chondrocytes s'y divisent.

- La zone **hypertrophique** est celle où migrent les chondrocytes de la zone précédente pour s'y élargir et former des colonnes ordonnées.

- La zone dite de **calcification provisoire** : durant le processus d'hypertrophie, les chondrocytes sont entourés par une quantité de plus en plus importante de matrice extracellulaire qui se minéralise dans cette zone.

Les colonnes de chondrocytes sont ensuite envahies par des vaisseaux sanguins métaphysaires et de l'os se forme sur les restes des **colonnes de cartilage calcifié**. Le mélange de ce cartilage calcifié et d'os immature forme l'**os spongieux primaire** qui est ensuite remodelé progressivement pour former l'**os mature** de la métaphyse (13) (45).

Régulation de l'ossification enchondrale :

L'ossification enchondrale est régulée par un grand nombre de facteurs :

- Des enzymes (métalloprotéinases et cathepsines) de dégradation de la matrice extracellulaire (MEC) produites par les chondrocytes et qui assurent le turn-over des macromolécules composant la MEC.

- Des phosphatases alcalines (PAL) responsables de la minéralisation de la matrice.

- Des facteurs de croissance (TGF- β , IGF-1) qui jouent un rôle dans la prolifération et la différenciation des chondrocytes.

- Des minéraux : le cuivre, le phosphore et le calcium jouent un rôle dans la formation et la minéralisation de la MEC.

- Les hormones thyroïdiennes seraient impliquées dans la différenciation des chondrocytes et l'invasion des plaques de croissance par les vaisseaux sanguins.

- Le taux d'insuline augmenterait la durée de vie des chondrocytes (en régulant leur production de facteurs de croissance) et influencerait les taux d'hormones thyroïdiennes circulantes (65).

Le processus d'ossification enchondrale est très actif lors de la naissance puis **son intensité diminue progressivement** jusqu'à s'arrêter lorsque la croissance est terminée (ce moment varie en fonction des os). Au niveau de la surface articulaire la couche de cartilage ne s'ossifie jamais totalement, mais se réduit à terme à une fine couche de cartilage articulaire.

5.2.3 Définition

L'OC est un **défait d'ossification enchondrale** qui entraîne des irrégularités du front d'ossification et la persistance, par endroits, d'un **cartilage hypertrophié**. Cette affection est généralement rencontrée au niveau du **cartilage articulaire**, mais elle affecte parfois les cartilages épiphysaires (1).

* Au niveau du **cartilage articulaire**, la **nutrition du cartilage mature** se fait exclusivement par **diffusion à partir du liquide synovial**. Ainsi dans les parties profondes des zones de cartilage hypertrophié, la diffusion peut devenir insuffisante. Le cartilage risque alors de se **nécroser** et dans ces conditions, **trois types de lésions** sont susceptibles de se développer (9) (116) :

- **1^{er} type** : persistance de **noyaux cartilagineux** au sein du tissu osseux.

- **2^{ème} type** : formation d'un **kyste osseux sous-chondral**. La couche profonde se nécrose et la cavité ainsi formée est occupée par un tissu de granulation pouvant évoluer en tissu fibreux ou osseux. Autour du kyste, apparaît souvent un halo de densification osseuse. Certaines malformations des surfaces articulaires, responsables secondairement du développement d'affections dégénératives, sont parfois rattachées à ce type d'OC (1).

- **3^{ème} type** : ostéochondrose disséquante (OCD) : présence d'une **fissure dans l'os sous-chondral** qui atteint la surface articulaire et peut entraîner **l'isolement d'un fragment ostéo-cartilagineux**. Ce dernier, une fois libéré dans la cavité synoviale forme ce que l'on appelle une **souris articulaire** et peut par la suite s'engager entre les surfaces articulaires, se déplacer dans la cavité articulaire ou encore se fixer à la synoviale dans laquelle il peut se nourrir et grossir. Lorsque les lésions portent sur des surfaces articulaires, l'instabilité fonctionnelle et la libération de débris induisant une réaction inflammatoire peuvent favoriser le développement d'arthrose (1).

* Quand le défaut d'ossification atteint la **plaque de croissance**, l'os néoformé est anormalement faible, ce qui l'expose à des micro-fractures à l'origine d'un élargissement des métaphyses. Le ralentissement ou l'arrêt de la croissance conduit à l'apparition de travées osseuses à orientation transversale. Ce trouble de l'ossification peut concerner toute la plaque et provoquer une **épiphyse** ou seulement une partie de celle-ci et entraîner l'apparition d'une **déviangulaire** du membre concerné.

* Lorsque le défaut d'ossification est localisé aux **os cuboïdes**, une ossification incomplète des os cuboïdes, des déviangulaires ou un éparvin juvénile peuvent se développer.

La lésion d'OC est très « **dynamique** » durant les **premiers mois** de la vie du cheval, au cours desquels **les lésions peuvent apparaître**, mais aussi **disparaître** spontanément. L'issue finale de l'OC sur le plan clinique dépend donc de la présence de facteurs prédisposants et du processus naturel de **réparation**. Ce dernier se met normalement en place chez le jeune qui développe des lésions d'OC et s'il est efficace permet la résolution spontanée des lésions. Lorsque l'âge de l'animal augmente le taux de remodelage de la matrice extracellulaire du

cartilage diminue et passé l'âge d'un an environ (l'âge exact varie en fonction des articulations) plus aucune modification radiographique significative n'est observable (116).

Chez le cheval les articulations les plus souvent atteintes sont le **jarret**, le **grasset** et le **boulet**. L'épaule et le coude sont plus rarement touchés. Au niveau du jarret le site le plus fréquemment atteint est de loin le **tenon intermédiaire** du tibia. Viennent ensuite la **lèvre latérale** de la trochlée du talus, la **malléole médiale** du tibia et enfin dans des cas plus rares la **lèvre médiale** de la trochlée du talus, la **malléole latérale** du tibia et le **tubercule proximal** du talus.

Le diagnostic d'OC repose sur l'examen **clinique** et **radiographique** de l'animal. L'utilisation de l'**IRM** est également intéressante et l'analyse de **biomarqueurs** pourrait un jour aider à diagnostiquer cette affection voire même à détecter les animaux présentant un risque accru de développer une OC et donc d'envisager pour ces derniers la mise en place de moyens de prévention dès leur plus jeune âge. La possibilité d'utiliser des marqueurs génétiques est également étudiée à l'heure actuelle, cependant, compte tenu de la complexité de l'OC et de l'importance majeure des facteurs environnementaux dans son développement, leur utilisation sera probablement délicate (116).

5.2.4 Epidémiologie

L'incidence de l'ostéochondrose est élevée puisqu'elle atteint en moyenne **25 %** chez les chevaux de courses et les chevaux à sang chaud, il est à noter qu'**elle diffère selon les races et les lignées**. Les chiffres sur l'incidence de l'OC varient beaucoup selon les études en fonction de l'âge, de la présélection, du nombre d'articulations étudiées, des sites investigués et des critères radiographiques utilisés. En conséquence ils sont souvent peu indicatifs.

L'ostéochondrose est une affection multifactorielle dans laquelle la **génétique** (responsable à environ 25 % du phénotype), les **facteurs nutritionnels**, les **contraintes biomécaniques** et la **conformation** de l'animal interviennent. La gestion moderne et les sélections en élevage ont vraisemblablement causé une augmentation de son incidence et l'amélioration des moyens d'imagerie a aussi probablement participé à l'amplification apparente de cette dernière du fait de l'amélioration de la détection de l'OC (48) (116).

5.2.5 Pathogénie

5.2.5.1 Mécanisme pathogénique général

Le mécanisme pathogénique est assez simple et fait l'objet d'un consensus. Durant la vie fœtale la nutrition des précurseurs du cartilage se fait grâce à des vaisseaux sanguins traversant la matrice cartilagineuse au niveau de canaux cartilagineux. Au court de l'ossification enchondrale, la **couche de cartilage**, qui se trouve du côté de l'articulation, devient de plus en plus fine pour former l'**os épiphysaire** et la fine couche de **cartilage articulaire** retrouvée chez l'adulte.

Le **cartilage mature** est **dépourvu de vaisseaux sanguins** et les canaux disparaissent au cours de l'ossification (aux alentours de 7 mois chez les chevaux). A partir de ce moment, la **nutrition du cartilage** articulaire est exclusivement permise par **diffusion** à partir du liquide synovial. Dans les zones de rétention de cartilage, la diffusion ne permet pas d'atteindre les couches de cartilage les plus profondes qui sont alors sujettes à la **nécrose**, à l'apparition de **fissures** et éventuellement de **fragments** se détachant (116).

Il est possible de définir trois stades distincts au niveau des lésions d'OC :

- **OC latens** : chondronécrose de la zone de réserve avec nécrose des vaisseaux adjacents.
- **OC manifesta** : ce stade est plus avancé, il inclut une ossification endochondrale localement défailante et une rétention de cartilage.
- **OC dissecans** : ce stade est caractérisé par la présence d'un plan de clivage qui traverse le cartilage nécrosé.

Seuls les stades *manifesta* et *dissecans* sont visibles radiographiquement.

Ces définitions sont importantes car elles permettent de déterminer le **stade d'évolution de l'OC**. Les investigations en pathogénie doivent en tenir compte car différents facteurs sont susceptibles d'influencer le développement ou la progression des lésions en fonction de leur stade d'évolution (48).

A l'heure actuelle, différentes hypothèses concernant le mécanisme primaire conduisant à l'épaississement du cartilage sont proposées (anomalie primaire des chondrocytes, nécrose ischémique des chondrocytes...). Certains auteurs montrent même dans leurs études que des lésions d'OC peuvent exister **sans épaississement du cartilage** et seraient dans ces cas plutôt liées à une **rupture de la structure** à la jonction **entre le cartilage et la plaque osseuse sous-chondrale** rendue plus fragile (par un défaut du collagène par exemple) (116).

5.2.5.2 *Mécanisme moléculaire*

Le mécanisme moléculaire, **mal connu**, ne fait pas à l'heure actuelle l'objet d'un consensus. De nombreuses recherches portent toujours sur l'étude des **marqueurs biochimiques** existants dans le liquide synovial et le sérum des chevaux atteints d'OC. L'objectif de ces études est évidemment de mieux comprendre le mécanisme moléculaire, mais également de mettre en évidence certains marqueurs pouvant être, à terme, utilisés à des fins de diagnostic et de dépistage des chevaux souffrant d'OC ou y étant prédisposés (116). Cependant il est désormais suspecté que les nombreuses différences existantes entre le cartilage normal et celui atteint d'OC, en ce qui concerne le **métabolisme du collagène** et l'**expression de certains gènes**, seraient plus des **marqueurs secondaires** de l'affection que des témoins du processus pathogénique primaire (48).

Les différents marqueurs biochimiques étudiés sont le plus souvent en lien avec :

- Un métabolisme et donc un **turn-over du collagène** augmenté dans les articulations des jeunes souffrant d'OCD : augmentation du propeptide du collagène de type II dans le liquide synovial, accroissement de la quantité de C2C (épitope d'un produit de clivage du collagène II), activité supérieure de certaines métalloprotéinases de matrice (MMPs) et d'autres enzymes protéolytiques, augmentation des niveaux de collagénases de tissus (MMP-1) et de gélatinases (MMP-2 et MMP-9), modifications dans la distribution voire l'activité des cathepsines B, D et L (116).
- Un processus inflammatoire. Des différences significatives de **médiateurs inflammatoires** tels que le leukotriène B4 (LTB4) et la prostaglandine E2 (PGE2) ont été montrées entre des groupes

de chevaux matures sains et atteints. On ne sait pas encore si des différences similaires existent aussi chez les jeunes (116).

- Une autre étude récente met en évidence que le taux sanguin d'**ostéocalcine** (marqueur osseux) chez le poulain de deux semaines aurait une valeur prédictive dans le développement futur d'OC. Ce travail montre également l'existence de relations significatives entre les marqueurs anaboliques et cataboliques du **collagène de type II CPII** et **C2C** et leurs ratios, et l'apparition d'OC (116).

- Une étude sur les **contenus en lipide du liquide synovial** et sur l'utilisation de la spectroscopie infrarouge associée à la transformée de Fourier dans l'analyse du liquide synovial est en cours (48).

5.2.5.3 *Caractère dynamique de l'affection chez les jeunes*

Chez le poulain, les petites lésions, mais également les fragments radiographiquement visibles peuvent disparaître. L'intervalle de temps durant lequel cette régression est permise varie en fonction des articulations (116). En ce qui concerne le **tenon intermédiaire du tibia** et la partie distale de la **lèvre latérale de la trochlée du talus** des lésions sont déjà visibles à l'âge d'**un mois**, mais la plupart d'entre elles disparaîtront durant les **cinq premiers mois** de vie. Les lésions d'OC surviennent souvent avant l'âge de 5 mois et sont, à partir de cet âge, présentes de façon permanente. Il n'y aurait pas de développement de nouvelles lésions après **8 mois d'âge** (45) (89) (116).

Cette caractéristique dynamique de l'OC implique qu'il existe deux processus différents : **un processus étiologique qui incite la formation de la lésion** et **un processus de réparation qui tend à réparer ces lésions**, mais dont le succès est parfois limité.

Cette dynamique montre qu'il existe une **période sensible propre à chaque articulation**, durant laquelle les lésions d'OC sont susceptibles de se former. Si des facteurs favorisants sont présents au cours de la fenêtre de sensibilité d'une articulation donnée, mais pas de celle d'une autre articulation, seules certaines articulations seront affectées. Cela peut en partie permettre d'expliquer l'atteinte d'une ou plusieurs articulations précises et également le fait qu'une même articulation soit fréquemment atteinte de façon bilatérale (116).

5.2.6 **Etiologie**

L'OC est une **affection multifactorielle** et plusieurs **facteurs prédisposants** sont reconnus. Parmi eux, l'implication des facteurs **traumatique**, **nutritionnel**, **endocrinien** et **génétique** est communément acceptée.

5.2.6.1 *Exercice, contraintes biomécaniques et traumatismes*

Il est généralement admis que les **forces biomécaniques** sont responsables de la **conversion des lésions d'OC en lésions d'OCD**, il n'est en revanche pas encore établi le rôle des traumatismes et des forces biomécaniques en tant que **cause primaire**. L'implication des contraintes biomécaniques dans le développement de l'OC constitue cependant l'**explication majeure** au fait que les **lésions d'OC** intéressent des **zones très précises et constantes**. Il est

supposé que des **contraintes excessives**, s'appliquant sur des **tissus sains**, ou l'application de **forces normales** sur des **structures tissulaires déficientes**, pourraient être à l'origine d'une chondrodysplasie. La plupart des facteurs favorisant présentés dans ce paragraphe peuvent par ailleurs conduire au développement de tissus squelettiques anormaux et des contraintes anormales peuvent quant à elles provenir d'un **exercice** inapproprié, d'un excès de **poids vif**, ou d'une mauvaise **conformation** (45) (116).

Exercice

L'exercice est intimement lié aux contraintes mécaniques. Les résultats, quant à ses effets, diffèrent grandement en fonction des études. Dans certaines d'entre elles, un effet significatif de l'exercice n'a pas pu être démontré, mais d'autres tendent à prouver le contraire (116).

Ainsi une étude (23) a montré un effet protecteur significatif des exercices **de haute intensité et de courte durée** sur l'incidence de l'OC. Une autre étude (117) montre que l'exercice n'empêcherait pas la formation des lésions, mais permettrait de **diminuer** leur **sévérité** et modifierait leur **distribution** au sein des articulations (45).

L'exercice apparaît donc comme **essentiel**, mais doit **être adapté** en nature, durée et en intensité.

5.2.6.2 *Echec de vascularisation*

Durant la vie fœtale, la nutrition des précurseurs du cartilage se fait grâce à des vaisseaux sanguins traversant la matrice cartilagineuse au niveau de **canaux cartilagineux**. Les vaisseaux proviennent initialement du péri-chondre, mais au cours de la croissance, le front d'ossification progresse et incorpore les parties moyennes et terminales des canaux. Cela conduit à l'anastomose des vaisseaux d'origine péri-chondrale des canaux de la partie moyenne avec les vaisseaux sous-chondraux. A terme la partie distale des canaux est irriguée par des vaisseaux d'origine sous-chondrale (seule la partie proximale conserve sa source exclusivement d'origine péri-chondrale) (89). Les canaux du cartilage sont des canaux contenant des artérioles, veinules et capillaires qui aident à la **nutrition du cartilage épiphysaire**. L'implication des canaux est suggérée par plusieurs études, mais **le mécanisme exact n'est pas connu**. Les deux hypothèses fréquemment avancées sont soit l'apparition d'une **rétenction des canaux**, soit leur **nécrose ischémique** :

- Une étude a montré que l'implication des canaux du cartilage était liée à une rétention de cartilage. Les **lésions** observées contenaient des **vaisseaux fonctionnels** et étaient entourées par des **chondrocytes viables**, mais de **taille réduite** par rapport à la normale et qui n'entamaient pas le processus d'**hypertrophie**, conduisant ainsi à une rétention du cartilage (107). Une des hypothèses avancées par les auteurs est que les vaisseaux proches du cartilage pourraient exposer ce dernier aux **déséquilibres systémiques hormonaux** tels que ceux causés par un régime à haute énergie (45) (107).

- Une relation de cause à effet entre des anomalies au niveau des canaux du cartilage entraînant une **nécrose ischémique** du cartilage de croissance et les lésions d'OC a été suggérée chez les chevaux par une étude portant sur les parties distales du fémur et du tibia (28).

- Dans une étude plus récente, les lésions d'OCD présentes chez les poulains de l'étude (9 poulains âgés 0 et 7 semaines) étaient situées à l'endroit où les vaisseaux traversent le front d'ossification pour entrer dans la partie terminale des canaux, laissant supposer l'existence d'une vulnérabilité particulière des vaisseaux à cet endroit. Les lésions observées (à l'histologie) associaient toutes une **nécrose des vaisseaux** des canaux du cartilage à une **chondronécrose**.

D'après cette étude les lésions se situaient préférentiellement au niveau des **zones qui restent perfusées le plus longtemps** (malléole médiale du tibia et partie distale de la lèvre de la trochlée du talus). Cependant cette longue dépendance n'est pas présente au niveau du tenon intermédiaire du tibia, dont la sensibilité aux lésions d'OC serait plutôt reliée à des facteurs mécaniques. Il est supposé que la **nécrose ischémique du cartilage** causerait ainsi une **perturbation de l'ossification enchondrale**. Cette étude montre donc que la **dépendance du cartilage vis-à-vis d'un apport sanguin** peut être considérée comme étant un facteur prédisposant de l'initiation de lésions d'OC et que la dépendance des vaisseaux qui traversent le **front d'ossification** est un facteur aggravant cette prédisposition (89).

5.2.6.3 *Facteurs nutritionnels et endocriniens*

L'énergie et les **suppléments minéraux** sont les facteurs nutritionnels qui ont été les plus étudiés.

5.2.6.3.1 *Energie*

Il est supposé que l'apparition de lésions d'OC en association avec l'**apport excessif en nourriture** serait causée par l'existence de **perturbations endocriniennes** (78).

Une étude (100) a mis en évidence que des rations à **forte teneur en énergie** (129 % des recommandations du National Research Council (NRC)) augmenteraient de façon significative cette **incidence** et parfois la **sévérité** des lésions (45). Une autre (92) a par ailleurs montré que **plus la quantité de carbohydrates ingérée** par un cheval au cours d'un repas est grande et plus, en période postprandiale, le taux d'**insuline** est élevé. D'autres travaux montrent de plus que les jeunes chevaux atteints d'OC ont généralement des **réponses en glucose et en insuline exagérées** lorsqu'ils mangent une ration riche en énergie digestible (45) (116).

En ce qui concerne l'implication des hormones dans la pathogénie de l'OC, le mécanisme proposé est lié à l'importante hyperinsulinémie postprandiale :

- L'**insuline** et les **facteurs de croissance insuline-like** (IGF-1 et 2) qui en sont dérivés, ont un effet direct sur le processus **d'ossification enchondrale**. Des études suggèrent en effet que l'insuline pourrait favoriser la **survie** ou limiter la **différenciation** des chondrocytes et ainsi diminuer le rythme auquel les chondrocytes entrent dans la phase terminale de l'hypertrophie. Cette accumulation de chondrocytes pré-hypertrophiques pourrait être à l'origine du **ralentissement de l'ossification** enchondrale, prédisposant ainsi à l'apparition de lésions focales.

- L'hyper-insulinémie stimulerait la conversion de la **thyroxine** (T4) en **triiodothyronine** (T3), laquelle inhibe la sécrétion de TSH (rétrocontrôle négatif sur l'hypophyse) et conduit *in fine* à la **diminution de sécrétion de T4** par la thyroïde. Cette diminution périodique de la sécrétion de T4 en période post-prandiale pourrait induire une **thyrotoxicité transitoire**, alternant avec la diminution. Or, T3 et T4 sont impliquées dans les stades finaux de la **différenciation chondrocytaire** et l'invasion des cartilages de croissance par les **vaisseaux sanguins**. L'âge intervient également, car l'effet des carbohydrates sur les niveaux d'hormones thyroïdiennes a pu être démontré chez les poulains venant d'être sevrés, mais pas chez les yearlings.

Cependant, les lésions provoquées expérimentalement grâce à ces rations ne sont pas toujours les mêmes que celles observées sur le terrain et plusieurs lésions au niveau des plaques de croissance ont pu être observées. Une récente étude a confirmé la relation entre les lésions d'OC et un faible taux d'IGF-1, mais pas entre les niveaux d'insuline ou de T3/T4 et les lésions d'OC.

Un changement au niveau de l'axe de l'**hormone de croissance** (GH)-IGF-1 a été suggéré comme étant le pivot de la pathogénie de l'OC avec les hépatocytes produisant l'IGF-1 devenant moins sensibles à la GH (45) (89).

5.2.6.3.2 *Protéines*

Une étude (100) a montré que l'administration de **rations à haute teneur protéique** (126 % des recommandations du NRC) **n'influe pas sur l'incidence de l'OC**. Cependant la qualité des protéines apportées semble essentielle, car elle conditionne la qualité de la matrice extracellulaire du cartilage (45) (116).

5.2.6.3.3 *Minéraux*

✓ Ca

D'après plusieurs travaux, la quantité de calcium présente dans la ration **ne semble pas influencer sur l'incidence** de l'OC (même à 342 % des besoins recommandés par le NRC) (45) (101) (116).

✓ P

De nombreuses études ont montré qu'un **excès de phosphore** augmente de façon significative l'**incidence** et la **sévérité** des lésions (388 % NRC (101)). Le mécanisme est encore inconnu, mais l'**ostéoporose** et l'**affaiblissement de la plaque osseuse** sous-chondrale causés par cet excès de phosphore pourraient en partie expliquer l'influence de ce dernier sur l'OC (45) (116).

✓ Cu

La **carence en cuivre** est la cause de déséquilibre minéral la plus importante et son implication a été rapportée à maintes reprises. Le cuivre est un cofacteur nécessaire à la lysyl oxydase, qui est l'une des enzymes nécessaires à l'une des étapes de la **formation du collagène et de l'élastine**. Des régimes à faible teneur en Cu ont été associés avec une augmentation de l'**incidence de l'OC** chez les poulains. Les lésions observées chez les poulains expérimentalement carencés en Cu (8 à 15 ppm de cuivre) sont similaires à celles observées sur le terrain, mais leur localisation est atypique (atteinte des cartilages épiphysaires, mais aussi des plaques de croissance, lésions principalement situées sur les vertèbres et non sur les membres, lésions multiples). Le nombre de chevaux avec des lésions naturelles d'OC dont ces dernières sont induites totalement ou partiellement par une carence en Cu est inconnu. Il est en tout cas important de veiller à la **teneur en Cu dans la ration des poulains et des juments gestantes**, mais aussi en ses **antagonistes** que sont le **zinc** et le **molybdène**. Néanmoins si cette carence est un facteur favorisant elle n'est pas le seul et de hauts niveaux de Cu (25 à 55 ppm) n'empêchent pas systématiquement l'apparition de lésions et au contraire de relativement bas niveaux (11 ppm) n'entraînent pas toujours de multiples lésions d'OCD chez les poulains (45) (60) (68) (78) (100).

✓ Zn et Cd

Un excès de **zinc** et de **cadmium** (antagonistes du cuivre), peut produire des lésions d'OC (116).

5.2.6.4 *Croissance et taille*

Une étude sur des chevaux de selle a montré qu'il existe une relation positive entre l'OC de l'articulation tibio-tarsienne et le **poids à la naissance**, le **poids durant la croissance**, le **gain moyen quotidien** et la **taille de la charpente du squelette** (aucune relation pour l'OC du boulet ce qui suggère l'existence de deux mécanismes pathogéniques différents) (98). Une autre étude menée sur des chevaux de selle allemands n'a pas trouvé de corrélation pour l'articulation du tarse, mais pour celle du genou (44) (118). Une hypothèse est que la croissance rapide chez des poulains recevant une alimentation très riche est responsable d'une **augmentation des compressions cartilagineuses par unité de surface**, ce qui semble être un facteur d'induction des lésions (1) (45) (116).

5.2.6.5 *Influence génétique*

Il n'y a aucun doute sur le fait que **la génétique joue un rôle important** dans le développement de l'OC. Une forte indication est que l'OC n'est quasiment jamais observée chez les poneys et a une prévalence inférieure chez les chevaux sauvages. De plus, plusieurs travaux ont montré que certains étalons (atteints ou mêmes indemnes) produisaient significativement plus de descendants présentant des lésions d'OC que d'autres. L'**incidence**, mais aussi l'**héritabilité** varient **en fonction de la race**.

La plupart des **facteurs étiologiques** discutés plus haut sont dans une certaine limite **influencés par la génétique** (taux de croissance, réponse hormonale aux régimes à forte teneur en carbohydrates) et la plupart des **traits de conformation** sont fortement héréditaires. L'efficacité du processus de **réparation** serait également, en partie, déterminée génétiquement. En ce qui concerne l'**héritabilité** des lésions d'OC de l'articulation tibio-tarsienne des valeurs de **0,24 %** (22), **0,26 %** (103) et **0,52 %** (56) ont été rapportées. Il faut aussi garder en tête que les facteurs génétiques n'interviennent que dans **25 %** et les facteurs environnementaux dans **75 %** du phénotype (78) (116).

5.2.6.6 *Autres facteurs*

- Le facteur de croissance **TGF- β** joue un rôle dans la **différenciation** et l'**hypertrophie** des **chondrocytes**. Une étude a montré que son expression était réduite au niveau des lésions d'OC, ce qui laisse penser que cette diminution pourrait être responsable d'un **arrêt de l'hypertrophie** des chondrocytes et de l'accumulation de chondrocytes pré-hypertrophiques (5) (45) (104).

- L'administration à long terme de **dexaméthasone** produit des lésions du même type que celle de l'OC et il est reconnu que les glucocorticoïdes induisent une **résistance des hormones parathyroïdes** au niveau des **ostéocytes** et donc une **inhibition du remodelage normal de l'os**. L'échec d'ossification peut aussi être dû à des perturbations induites du métabolisme de la **vitamine D**. Les corticostéroïdes sont également des inhibiteurs potentiels de la **lysyl-oxydase** qui est impliquée dans le métabolisme du collagène de l'os et du cartilage (78).

5.2.7 Prévention

L'OC est une affection qui entraîne des **pertes directes** liées au coût du traitement, à la convalescence et à la durée de remise au travail, mais également des **pertes indirectes** liées à la forte réduction du potentiel d'élevage et par diminution de la valeur marchande des animaux atteints.

Compte tenu de l'aspect multifactoriel de l'affection, la prévention doit prendre en compte les aspects **génétiques** et **environnementaux** de l'OC. Compte tenu des différents facteurs étiologiques évoqués dans le paragraphe précédent, les moyens de prévention peuvent consister en :

- L'identification des **juments** et **étalons** qui **transmettent** le plus fréquemment l'**affection** et donc soit leur retrait de la reproduction, soit la réalisation de croisements bien réfléchis.
- Une attention particulière apportée à la qualité et la quantité des **rations des poulains**, mais aussi des **mères** gestantes et allaitantes.
- La **surveillance du poulain** et en particulier de son appareil musculo-squelettique (conformation, distensions articulaires, boiterie).
- La **limitation des contraintes biomécaniques** néfastes : le poulain doit pouvoir faire un exercice régulier sur un terrain souple et homogène, **le suivi et le traitement des défauts d'aplombs** sont également indiqués.
- L'utilisation de **marqueurs** et **d'indices** d'OC pourrait constituer dans le futur une aide utile pour la détection des poulains présentant un risque accru de développer des lésions d'OC (17) (116).

5.2.8 Signes cliniques

5.2.8.1 *Motifs de consultation*

Le patient typique est un **yearling** présenté pour un épanchement synovial **unilatéral** ou **bilatéral** de l'articulation tibio-tarsienne (communément décrit par les termes vessigon, tare molle ou bog spavin pour les anglo-saxons) accompagné ou non d'une **boiterie**. Le plus souvent les animaux restent **asymptomatiques jusqu'à leur mise au travail** soit vers 3 ou 4 ans pour les chevaux de selle et un peu plus tôt pour les chevaux de course. Dans de plus rares cas, les signes cliniques peuvent apparaître **vers 10 ans ou plus**, souvent suite à l'apparition de **changement dans la manière d'utiliser** le cheval.

Dans la plupart des cas peu sévères, la **boiterie est inconstante** et même **souvent absente** et les performances ne sont pas forcément affectées. Certaines études montrent que les performances des animaux atteints d'OC sont souvent inférieures à celles des animaux indemnes, cependant de nombreuses autres mettent en évidence que les performances ne sont pas affectées et ce en particulier pour les chevaux de course. Pour d'autres activités équestres, où la qualité des allures et l'aspect esthétique sont primordiaux, l'impact des formes les plus discrètes d'OC peut être différent (116).

Les signes d'appels majeurs (bien que non pathognomoniques) sont donc :

- Chez les **jeunes de moins de 2 à 3 ans**, des **vessigons articulaires**, souvent déjà présents avant la mise à l'entraînement, avec une **boiterie très inconstante**.

- Chez les **chevaux jeunes récemment mis à l'entraînement** ou chez les **chevaux plus âgés**, c'est en revanche la **boiterie** qui devient l'élément clinique majeur (1).

5.2.8.2 *Anamnèse*

✓ Distension de la synoviale articulaire

En début d'évolution, elle est en général **non douloureuse** à la palpation et **non chaude**. En effet le cartilage n'étant pas innervé, la zone atteinte est indolore, c'est au cours du temps que, suite aux traumatismes subis par la région et à l'aggravation des lésions (fissuration), vont apparaître une synovite plus marquée et/ou une chondrite à l'origine de douleurs articulaires. Lorsque les lésions sont d'intensité modérée l'**augmentation du volume de l'articulation** se fait en général de façon assez **lente et progressive**. Une **amplification** de la distension est souvent notée avec le **travail**. Dans les cas de lésions **sévères**, la distension peut être **d'emblée importante** et d'apparition **soudaine** (72).

✓ La boiterie

Elle est soit **absente**, soit d'**intensité légère à modérée**. Son apparition généralement **tardive** et **progressive** est souvent liée à la mise au travail. Le motif peut se réduire à une **irrégularité** d'allure à grande vitesse (en particulier chez les trotteurs), des **défauts d'allure**, des **raideurs** ou encore des **diminutions de performance** (72).

5.2.8.3 *Examen clinique*

D'un point de vue clinique l'OC se manifeste par **une ou plusieurs lésions** présentes au niveau des sites de prédilection. Dans ces cas **typiques** les lésions sont souvent **bilatérales** et **symétriques** bien qu'une seule des lésions puisse être à l'origine de signes cliniques.

Il existe également des cas d'OC **atypiques** dans lesquels les lésions articulaires sont **multiples** et peuvent affecter les sites de prédilection ou d'autres sites, le caractère symétrique et bilatéral des lésions devient rare dans ces cas là.

Il existe également des **cas intermédiaires** où coexistent des lésions **typiques** et des lésions **atypiques** (96).

5.2.8.3.1 Examen clinique statique

Il est nécessaire de bien inspecter et palper le jarret dans son ensemble afin de détecter la présence de toute sensibilité anormale ou de tout gonflement articulaire.

La **synoviale tibio-tarsienne** est vaste, elle est comprise entre le tibia et le talus et délègue **trois culs-de-sac** communiquant entre eux (Cf. partie 3 « Anatomie du jarret ») :

* **Le cul-de-sac dorsal** est situé au niveau du pli du jarret. Il s'étend médialement par rapport à un relief tendineux médian et forme une expansion dépressible de cinq à six centimètres de haut sur trois à quatre de large : « **la fontaine du jarret** ». On peut ponctionner facilement cet endroit, l'hydropisie de ce cul-de-sac donne le **vessigon articulaire du pli du jarret**.

* **Les deux culs-de-sac plantaires** sont situés de part et d'autre de la base du calcaneus dans l'angle que celui-ci forme avec le tibia. L'hydropisie de ces culs-de-sac donne le **vessigon articulaire du creux du jarret**. Ainsi, une pression appliquée au niveau du récessus dorso-médial entraîne un gonflement des récessus plantaires et *vice-versa* (7).

La **manipulation** de la région est également importante et en cas de synovite marquée une **réduction d'amplitude**, voire parfois une **douleur**, peuvent être objectivées à la **flexion passive** du jarret.

L'examen statique révèle le plus souvent l'existence d'un épanchement synovial discret à important, mais peut aussi dans certains cas ne mettre aucune anomalie en évidence (72).

5.2.8.3.2 *Examen dynamique*

L'examen dynamique peut comme expliqué précédemment être tout à fait **normal**, révéler une **simple irrégularité** d'allure ou mettre en évidence une **boiterie** postérieure, le plus souvent **discrète à modérée**.

Au pas et en ligne droite il est possible d'évaluer les mouvements de **flexion du jarret** et d'estimer leur amplitude. Une **diminution de l'amplitude** ou une **raideur** peut être observée. Au trot les mêmes éléments peuvent être regardés et une boiterie non visible au pas peut parfois être révélée. Attention cependant aux **boiteries bilatérales** qui se traduisent parfois en ligne droite par une simple diminution de l'amplitude des mouvements des deux jarrets et non par une boiterie franche. La mise sur le cercle peut permettre dans certains cas **d'amplifier ou de révéler** la **boiterie**. Au galop les signes observables sont de même nature et consistent généralement en un **défait d'engagement** du ou des postérieurs concernés (72).

Chez certains chevaux, et en particulier les trotteurs, l'irrégularité peut ne s'exprimer que dans des circonstances particulières (travail de forte intensité) et il est donc intéressant d'évaluer le cheval attelé ou monté dans ces conditions (par exemple au trot de course sur une piste dans le cas d'un trotteur).

Le test de flexion dynamique est intéressant, mais son interprétation est délicate car il peut être positif en cas d'autres atteintes du jarret, mais également en cas d'atteinte du grasset (compte tenu de la présence de l'appareil réciproque, la flexion du jarret entraîne automatiquement celle du grasset). Par ailleurs la positivité varie en fonction du degré de la distension articulaire et le test peut donc être négatif malgré la présence de l'affection (72).

5.2.8.3.3 *Particularités des signes cliniques en fonction du site atteint*

✓ Tenon intermédiaire du tibia

Ces lésions provoquent **rarement des boiteries** à moins qu'un épanchement important ne soit présent (96).

✓ Lèvre latérale de la trochlée du talus

Les lésions de la partie distale de la lèvre latérale de la trochlée du talus peuvent être de **taille importante** et si elles se détachent, être à l'origine de **signes aigus de boiterie sévère** et de distension articulaire conséquente. Ces lésions semblent être plus communes chez les races de chevaux lourds et de chevaux de selle. Elles sont le plus souvent **unilatérales** (52) (96).

✓ Malléole médiale du tibia

Les individus atteints présentent **un épanchement synovial et une boiterie généralement discrets** (52).

✓ Lèvre médiale de la trochlée du talus

Ces lésions sont le plus souvent des trouvailles radiographiques car elles sont le plus souvent **engagées** dans la **membrane synoviale** et ne produisent **pas de signes cliniques** (52).

✓ Malléole latérale du tibia

La fragmentation de la malléole latérale est le plus souvent une **fracture d'avulsion et non une lésion d'OCD** et se traduit donc par des signes cliniques marqués : boiterie sévère et tuméfaction des tissus mous adjacents avec distension articulaire (52).

5.2.9 Diagnostic

5.2.9.1 Anesthésies sémiologiques

Ces anesthésies ne sont pas réalisées de façon systématique et ce pour plusieurs raisons :

- D'abord elles ne sont réalisables **que si l'animal boite** puisque leur interprétation repose sur l'amélioration ou la disparition de la boiterie. Or la boiterie est inconstante chez les animaux souffrant d'OC.

- Les anesthésies péri-nerveuses sont assez simples à réaliser avec un peu d'expérience, mais les anesthésies intra-articulaires sont plus à risque (développement secondaire possible d'arthrites septiques), la réalisation de ces dernières doit donc être justifiée sur un plan diagnostique.

L'anesthésie locorégionale peut être utilisée de deux façons différentes :

- Soit à la suite de l'examen clinique et avant l'examen radiographique : son rôle est alors d'aider à **localiser l'origine d'une boiterie** objectivée à l'examen dynamique.

- Soit à la suite de l'examen radiographique d'un animal boiteux : la lésion d'OCD est visualisée sur les clichés, mais son **implication dans les signes cliniques** doit être évaluée au moyen d'injection intra-articulaire d'anesthésique local ou de corticoïdes (96).

5.2.9.2 Examens d'imagerie

Les examens d'imagerie (principalement la radiographie, mais parfois aussi l'échographie) sont nécessaires pour confirmer le diagnostic.

5.2.9.2.1 Radiographie

Les lésions étant fréquemment **bilatérales**, il est nécessaire de toujours **imager les deux jarrets** même si un seul de ces derniers est à l'origine de signes cliniques. Un **bilan d'OCD complet** comprenant les autres articulations atteintes (en particulier boulets et grassetts) peut également être conseillé au propriétaire. Les lésions radiographiques d'OC peuvent disparaître sans laisser de traces jusqu'à cinq mois d'âge. Le **tenon intermédiaire** du tibia est le site le plus communément affecté (81 %) suivi par la **lèvre latérale** de la trochlée du talus (16 %), la **malléole médiale** du tibia (3 %) puis la **lèvre médiale** de la trochlée du talus, la **malléole latérale** du tibia et enfin le **tubercule proximal médial du talus** (24) (115).

Les quatre vues standard doivent être réalisées (Cf. partie 4 « Radiographie du jarret ») :

✓ Projection LM

Cette vue permet en particulier d'évaluer les **lèvres médiale et latérale** et dans une moindre mesure le **tenon intermédiaire du tibia** (115).

✓ Projection DP

Elle est intéressante pour l'identification des lésions de la **malléole médiale** et de la **malléole latérale**. Cependant cette vue ne met pas bien en évidence les sites les plus fréquents d'OCD, elle n'est donc pas toujours réalisée en première intention, mais parfois seulement dans un deuxième temps afin d'exclure (ou de mettre en évidence) l'atteinte des sites les plus rares (115).

✓ Projection DMPLO

Elle permet une bonne observation du **tenon intermédiaire du tibia** (et en particulier de sa partie crâniale), de la **lèvre latérale** et du **tubercule proximal médial** (115).

✓ Projection DLPMO

Elle sert à l'évaluation des lésions de la **lèvre médiale** et de la **malléole médiale**, le **tenon intermédiaire** est également visible. La vue **D30°LPMO** serait la meilleure pour identifier des lésions de la malléole médiale (plus que la D45°LPMO) (94) (115).

Des **vues en flexion** peuvent être utiles pour identifier des fragments perdus au niveau du récessus plantaire de l'articulation tibio-tarsienne ou les lésions d'OC présentes dans la partie proximale de la trochlée du talus (115).

Les anomalies radiographiques compatibles avec une OC/OCD sont la présence de (115) :

- **Fragments calcifiés radio-opaques**, de dimensions variables (jusqu'à 10 mm) et souvent de forme triangulaire. Ces fragments peuvent être libres dans la cavité synoviale ou collés à la membrane synoviale.
- **Contours irréguliers** ou **aplanissement** de la surface de l'**os sous-chondral** avec ou sans zones radiotransparentes et/ou de sclérose.
- Signes d'**affection articulaire dégénérative secondaire**, de façon occasionnelle.

Les particularités des lésions en fonction des sites atteints sont exposées ci-dessous :

✓ Tenon Intermédiaire

Lors de lésion du tenon intermédiaire, la **taille du fragment varie** et l'atteinte est souvent **bilatérale**. La portion crâniale du tenon intermédiaire est la plus fréquemment atteinte. Le fragment est en général **rattaché au tibia** par une jonction radiotransparente mais il peut parfois être **libre** dans l'articulation et être visible dans la **partie distale de la cavité synoviale**, en partie **dorsale ou médiale du talus distal ou de l'os central du tarse** (24) (115). En effet, l'ouverture qui permet la communication entre l'articulation tibio-tarsienne et l'articulation intertarsienne proximale au niveau de la limite distale de la gorge de la trochlée du talus est réduite chez les jeunes poulains, mais s'élargit avec l'âge. Ainsi de **gros fragments** peuvent **se déplacer jusque dans l'articulation intertarsienne proximale** chez les chevaux plus âgés. Si un fragment osseux est retrouvé dorsalement à l'os central du tarse, il peut donc s'agir d'un fragment issu de la trochlée du talus ou du tenon intermédiaire (96).

Chez certains chevaux présentant des lésions mineures, le seul signe peut être la présence d'une zone **radiotransparente concave et rugueuse** à la surface de l'os. De plus larges zones radiotransparentes, sans fragments osseux adjacents, sont le plus souvent observées sur des clichés de chevaux dont les fragments ont déjà été retirés (24).

✓ Lèvres de la trochlée du talus

La lèvre de la trochlée du talus qui est atteinte présente un **contour irrégulier ou aplati** et son **opacité** peut être **hétérogène**. Des **fragments osseux** séparés de la lèvre par une ligne radiotransparente peuvent être visibles dans certains cas. Les fragmentations de **grande taille** sont plus fréquentes en **partie distale de la lèvre latérale** des chevaux lourds, ces lésions ont en général des répercussions cliniques. Des **lésions sous-chondrales semi-circulaires** présentes dans la portion portant le plus de poids au niveau de la lèvre ont été rapportées comme étant associées à de sévères boiteries (24). L'OC de la **lèvre médiale** est rare et doit être différenciée des variations de forme et de taille normales de cette dernière. Au niveau de cette lèvre, peuvent être observés de **petits fragments** et **productions osseuses**, ainsi que des **dépansions lisses et centrales** dans l'os sous-chondral (non significatifs sur le plan clinique).

✓ Malléoles du tibia

Lors d'OC au niveau des malléoles du tibia, les fragments ont des **contours lisses** et sont séparés du tibia par une **zone radiotransparente**, ils sont situés **axialement** ou **médialement** à la malléole (24). Les lésions des malléoles et en particulier de la **malléole latérale** doivent être différenciées des fractures d'avulsion, qui sont plus fréquentes que les lésions d'OCD dans ces localisations (115).

Quelques éléments radiographiques permettant de faire la différence entre lésion d'OCD et fracture :

La lésion d'OCD apparaît être comme **ancienne** et elle est souvent **bilatérale**. Elle est **arrondie** et **séparée de l'os parent**, ses **contours sont plus diffus** que ceux d'une fracture. Il n'y a **pas de cal osseux** et le défaut dans l'os parent tend à se **combler avec de l'os**. Un autre élément est que les lésions peuvent **être grosses sans être à l'origine de signes cliniques** alors que les fractures sont en général petites et provoquent des signes cliniques importants (96) (115).

✓ Tubercule proximal du talus

L'OC se traduit soit par la présence d'un fragment osseux séparé, soit par un tubercule d'aspect plus large et plus proéminent que la normale (24).

Quelques remarques utiles :

- Il est indispensable de garder à l'esprit que les **lésions radiographiques** ne sont **pas toujours responsables d'une boiterie** et que l'**intensité** de cette dernière n'est **pas forcément reliée** à la **sévérité** des lésions observées. Ainsi l'interprétation des radiographies doit se faire avec précaution (contexte clinique et épidémiologique) et l'implication des lésions identifiées dans l'expression des signes cliniques doit au besoin être évaluée au moyen d'**injections intra-articulaires** d'anesthésiques ou de corticoïdes (96).

- Les **fragments** entièrement **cartilagineux** ne sont **pas visibles** à la radiographie. Les fragments observés sur les clichés sont visualisables car ils se sont progressivement calcifiés ou ossifiés. En effet les volets cartilagineux (encore en partie attachés) et les souris articulaires (libérées dans la cavité synoviale), restent assez fréquemment en communication avec les vaisseaux sanguins présents en périphérie de l'articulation, ce qui peut conduire à l'ossification

ou à la calcification des fragments. L'identification des fragments restés cartilagineux nécessite donc l'utilisation d'autres techniques d'imagerie ou bien la réalisation d'une arthroscopie.

5.2.9.2.2 Echographie

Elle peut être utile lors de **diagnostic précoce**, de façon complémentaire à la radiographie. L'échographie permet d'imager le **cartilage** articulaire et l'**os sous-chondral** et permet d'évaluer l'aspect (villosités) et l'épaisseur de la **membrane synoviale** ainsi que l'aspect de la **synovie** qui peut contenir des flammèches et débris échogènes. L'échographie est particulièrement indiquée chez les jeunes chevaux présentant un épanchement synovial. Elle est utile dans les cas où l'OC est suspectée mais où les radiographies n'ont pas permis d'objectiver la présence de lésions (94) (115).

L'échographie peut ainsi mettre en évidence :

- Un **cartilage épaissi** et l'existence de **lésions** au sein du cartilage articulaire et de l'os sous-chondral.

Ou

- Un **fragment** en regard d'une zone d'os sous-chondral à la **surface irrégulière**. Le fragment apparaît sous la forme de **lignes** ou de **spots hyperéchogènes**, il est habituellement visible en position plus superficielle que le reste des contours articulaires dont il est séparé par une **zone anéchogène** (115).

D'après une étude récente, l'**échographie** serait **plus sensible** que la radiographie dans la détection des lésions d'OC au niveau de la **malléole médiale** et du **tenon intermédiaire** et serait plus **spécifique** que la radiographie pour les atteintes de la **malléole médiale**.

Les lésions de la malléole médiale et de la lèvre latérale de la trochlée sont plus aisément visibles en coupe transversale alors que celles du tenon intermédiaire sont plus facilement observées en coupe longitudinale (94).

Compte tenu de l'anatomie complexe du jarret, l'échographie a aussi des limites :

- La **partie distale du tenon intermédiaire** est la zone la plus fréquemment atteinte lors d'OC du tarse, or elle est **délicate à imager** correctement et l'estimation de l'épaisseur et de l'intégrité du cartilage est peu aisée compte tenu de la difficulté à garder la sonde bien perpendiculaire à la surface cartilagineuse.

- La **partie distale de la lèvre latérale** de la trochlée du talus est **difficile à imager** en raison de sa proximité avec l'articulation intertarsienne proximale. Or cette zone est la localisation privilégiée des lésions d'OC de la lèvre latérale. L'examen est rendu encore plus difficile si aucune distension articulaire n'est présente, car cette dernière permet de libérer un espace entre la capsule articulaire et le cartilage.

- Les **lésions distales et plantaires** de la **malléole médiale** peuvent ne pas être visibles à l'échographie (94).

A garder en tête :

Considérer qu'à la radiographie des lésions de l'os sous-chondral sans fragments visibles peuvent traduire la présence d'une OC permet d'améliorer la sensibilité de l'examen, mais diminue cependant sa spécificité et peut donc conduire à de faux-positifs. L'échographie permet alors dans ces cas « douteux » de faire la part des choses et de confirmer ou d'infirmer la présence d'OC.

La radiographie est donc l'examen de choix en première intention, l'échographie vient quant à elle en complément lorsque les radiographies n'ont rien révélé d'anormal ou que des lésions sont suspectées et qu'une évaluation plus précise de l'articulation et des tissus mous est indiquée (94).

5.2.9.2.3 *IRM*

L'IRM permet une bonne visualisation du cartilage, elle est donc **plus sensible** que la radiographie dans la détection des atteintes **précoces**. Elle reste cependant coûteuse et moins disponible que cette dernière, ce qui limite encore aujourd'hui son utilisation. Son intérêt est par contre indiscutable lorsque la radiographie n'a pas permis de conclure (116).

5.2.9.3 *Autres examens complémentaires*

5.2.9.3.1 *Arthroscopie*

Occasionnellement les fragments perdus peuvent être entièrement **cartilagineux** et non visibles à la radiographie. Ces fragments peuvent être identifiés facilement lors d'arthroscopie (115).

5.2.9.3.2 *Analyse des biomarqueurs*

Elle est moins spécifique que la radiographie et ne peut actuellement pas être utilisée comme méthode de choix dans la détection des lésions d'OCD. Elle peut en revanche se révéler utile dans le **diagnostic précoce** et l'évaluation de la **sévérité des lésions**. Les analyses du sérum sont plus facilement réalisables que celles du liquide synovial, mais ces dernières reflètent mieux le statut de l'articulation. La relation entre les deux n'est pas établie (116).

5.2.10 **Traitement**

5.2.10.1 *Traitement conservateur*

Il consiste en la **mise au repos** (box ou petit paddock) de l'animal avec **exercice contrôlé** et réduction des apports alimentaires avec **diminution des concentrés** et vérification du bon **équilibre en minéraux** de la ration. L'utilisation raisonnée d'**anti-inflammatoires non stéroïdiens** peut s'associer aux mesures précédentes. L'administration de **chondroprotecteurs** par voie orale ou parentérale peut être conseillée même si, à l'heure actuelle, leur efficacité n'est pas prouvée (1) (116).

5.2.10.2 *Traitement chirurgical*

C'est le **traitement de choix** des affections les plus sévères. A l'heure actuelle la technique la plus utilisée est l'arthroscopie. Le pronostic varie en fonction de l'articulation et de l'utilisation

prévue de l'animal, mais est généralement satisfaisant à excellent. Des taux de réussite de 80 % sont rapportés pour l'articulation tibio-tarsienne. Après un retrait des lésions d'OCD par arthroscopie, une **courte convalescence** est indiquée, suivie par une **reprise assez rapide du travail**. En général le cheval est **marché en main** pendant **4 à 6 semaines** puis **réévalué**. Si l'épanchement s'est résolu et que le cheval est travaillé de façon adéquate, le niveau d'exercice peut être augmenté progressivement. Une administration intra-articulaire de **hyaluronate** peut être faite au moment du retrait des points de suture (96) (116).

5.2.10.3 **Choix du traitement**

Le choix du traitement se fait en fonction de plusieurs critères : l'âge de l'animal, les signes cliniques présents, les lésions mises en évidence grâce à l'imagerie et la localisation anatomique de la ou des lésions.

5.2.10.3.1 Age

Le turnover du collagène est à son maximum chez le très jeune poulain puis décroît rapidement avec l'âge. Avant l'âge d'environ 9 à 10 mois l'OC a toujours un caractère dynamique avec possibilité de disparition des lésions. En ce qui concerne le jarret **les lésions qui sont toujours présentes après l'âge de cinq mois ne régressent plus et de nouvelles lésions peuvent devenir radiographiquement visibles jusqu'à l'âge de 8 mois**. En conséquence opérer avant cinq mois peut s'avérer inutile (la lésion aurait pu disparaître spontanément), voire non indiqué entre cinq et huit mois (répétition de la chirurgie nécessaire suite à l'apparition d'une nouvelle lésion). On attend en général l'âge d'un an pour refaire des radiographies des articulations touchées et réaliser un bilan de dépistage d'OC sur les autres articulations (plus aucune lésion d'OC n'apparaît ou ne disparaît à partir de cet âge là et ce quelle que soit l'articulation). Ceci étant dit, comme les lésions d'OC du jarret ne se résolvent pas spontanément après 5 mois d'âge et que la situation passé cet âge reste souvent plus stable (qu'avant l'âge de 5 mois), leur exérèse chirurgicale chez les jeunes chevaux (en particulier chez les yearlings proposés à la vente) est devenue banale (96) (116).

La chirurgie peut se faire chez le **poulain** dans les cas où de **sérieuses lésions** existent, causent d'importants **problèmes cliniques** et ne soient **pas susceptibles de guérir spontanément** (présence de signes cliniques et de fragments libres ou persistance à aggravation des signes cliniques malgré la mise en place d'un traitement conservateur pendant un à deux mois). Cependant **l'arthroscopie est plus délicate** chez les poulains car leur cartilage plus tendre rend **la délimitation du curetage plus difficile** à évaluer que chez le jeune ou l'adulte et car le **report d'appui** sur le membre non opéré (dans le cas d'une arthroscopie unilatérale) peut favoriser l'apparition de chondrodysplasie au niveau de ce dernier (17) (116).

5.2.10.3.2 Sites atteints d'OC

✓ Tenon intermédiaire du tibia

Le retrait du fragment sous arthroscopie est **simple** et permet dans la majorité des cas d'améliorer la distension articulaire et la boiterie. Il est conseillé de retirer systématiquement les fragments associés à une **boiterie**. Il est important de noter que les fragments situés dans

l'articulation intertarsienne proximale sont parfois difficilement visualisables avec l'arthroscope et doivent souvent être retirés à l'aveugle à l'aide d'un guide. Le pronostic est **excellent** (96).

✓ Lèvre latérale de la trochlée du talus

Les chevaux présentant de **petites lésions bien attachées** peuvent être gérés avec un **traitement conservateur**, mais **tout fragment déplacé doit être retiré**. Dans de rares cas, les lésions coexistent avec une OC du tenon intermédiaire mais dans ces cas les fragments émanant de la lèvre sont en général de petite taille. Ces petits fragments peuvent être retirés par **arthroscopie**, mais la plupart des fragments qui sont de taille assez conséquente peuvent nécessiter une **arthrotomie** pour leur exérèse. Le pronostic est **bon** à condition que les lésions ne s'étendent pas trop proximale au niveau de la trochlée (52) (96).

✓ Malléole médiale du tibia

Un **retrait précoce des fragments** est conseillé car les **lésions érosives** de la partie médiale de la trochlée du talus peuvent devenir sévères. Ces cas sont le plus souvent **unilatéraux**, mais peuvent parfois être associés à d'autres types d'OC du jarret. Parfois le fragment peut n'être vu qu'à l'arthroscopie. Bien que les lésions soient habituellement larges, cette technique donne de bons résultats et le pronostic **est excellent**. (52) (96).

✓ Lèvre médiale de la trochlée du talus

La plupart des **lésions** situées sur la partie distale de cette lèvre sont une trouvaille lors d'exams d'imagerie. Ces lésions sont souvent **sans signification clinique** et ne nécessitent donc **pas de traitement**. Les lésions distales peuvent être sur le côté proximal ou distal de l'attache de la capsule articulaire séparant les articulations talo-calcaneenne ou intertarsienne proximale. Ces fragments situés entièrement dans l'articulation talo-calcaneenne semblent moins stables et plus souvent la cause de boiterie. Chez tous les chevaux, la **décision de retrait chirurgical** doit être basée sur la réponse définitive à l'**anesthésie intra-articulaire**. L'exérèse sous arthroscopie est **aisée** et peut être faite avec très peu de dissection, à l'exception des lésions situées sous la capsule dont le retrait est un peu plus délicat. Aucun traitement n'est donc nécessaire en général (sauf lésion instable) et le pronostic est **excellent** (52) (96).

✓ Malléole latérale du tibia

Le débridement de ces lésions sous arthroscopie est **difficile** à cause de la présence des attaches de l'important **ligament collatéral** qui dissimule les structures (96).

5.2.11 Pronostic

La plupart des chevaux avec OCD au niveau du jarret ont un **pronostic excellent**, en particulier si les lésions ont été retirées précocement avant tout dommage significatif des articulations. La localisation spécifique des lésions d'OCD influe probablement moins que la taille des lésions sur le pronostic étant donné que la plupart d'entre elles se situent à la périphérie plus que sur les surfaces portant la majorité du poids. Des controverses existent toujours sur la nécessité de retirer tous les fragments d'OCD, mais étant donné que les chevaux ont en moyenne plus de 80 % de chance d'obtenir de bonnes performances après une arthroscopie celle-ci est très fréquemment réalisée en pratique (96).

5.3 Déviations angulaires

(21) (41) (53) (91) (113) (115)

5.3.1 Définition

La déviation angulaire est une **déviatiion axiale** du membre dans le plan frontal. Une déviation angulaire en **valgus** désigne une déviation **latérale** du membre distalement à la déformation, à l'inverse une déviation angulaire en **varus** désigne une déviation **médiale** du membre. La déviation angulaire est classiquement associée à une **rotation axiale** de la partie distale du membre, vers l'extérieur lors de valgus et vers l'intérieur lors de varus. Au début, la rotation est simplement liée à la posture prise par le poulain, mais au cours du temps, l'os s'adapte aux charges mécaniques anormales qu'il supporte en suivant la Loi de Wolff. Ce processus entraîne alors une croissance différentielle au sein de la plaque de croissance et la rotation devient permanente.

Les déviations les plus fréquemment rencontrées sont le **valgus du carpe** et **du tarse** et le **varus du boulet**. Il n'y a pas de prédisposition raciale ou sexuelle établie, cependant l'existence d'une prédisposition héréditaire est suspectée (21) (91).

5.3.2 Pathogénie

Il existe au sein d'un os donné trois zones susceptibles d'être à l'origine d'une déviation :

- **La diaphyse** : les déformations se développent le long de la diaphyse, ce type de déviation est plutôt **rare**. Leur reconnaissance est importante car **la prise en charge est différente** de celle conseillée dans les deux cas suivants. Du fait de la **loi de Wolff** (selon laquelle l'os se forme et se résorbe en fonction des contraintes mécaniques qu'il subit), **le redressement de la diaphyse se fait de lui-même** au cours du temps. En effet la croissance tend naturellement à augmenter du côté concave alors que la résorption osseuse s'accroît du côté convexe. L'os peut ainsi redevenir progressivement droit de façon spontanée. Ce n'est cependant pas le cas pour les surfaces articulaires dont l'apposition et l'orientation peuvent demeurer anormales. Il est donc primordial d'évaluer radiographiquement les **articulations**, car si ces dernières ne sont pas parallèles entre elles et perpendiculaires à l'axe longitudinal du membre, une **arthrose** secondaire pourra se développer.

- **L'articulation** : les déviations d'origine articulaire sont liées à un mauvais alignement des composants de l'articulation secondaire, à une **disparité de la largeur des petits os du tarse** ou à une **laxité des tissus mous péri-articulaires**. Au niveau du tarse, un **collapsus des os** est souvent impliqué.

- **La plaque de croissance** : les déviations prenant leur origine dans cette zone sont les plus fréquentes. Une croissance asymétrique, par exemple, supérieure du côté médial de la plaque de croissance du tibia et réduite du côté latéral entraîne l'apparition d'un valgus au niveau du tarse et *vice-versa* (21) (91).

5.3.3 Etiologie

Les déviations angulaires des membres sont souvent congénitales, mais peuvent également être acquises, les causes sont nombreuses :

- **Déviations congénitales** : elles sont présentes dès la naissance. Dans la plupart des cas, la déviation est causée par une disparité de la croissance au niveau de la plaque de croissance, qui entraîne une inclinaison de l'axe longitudinal du membre à partir de cette dernière (21).

De multiples causes sont proposées :

* **Positionnement** intra-utérin anormal.

* Action de **médicaments** in utero.

* Déséquilibres **nutritionnels** ou **hormonaux**.

Elles peuvent également être secondaires à une **laxité des tissus mous péri-articulaires** ou à une ossification incomplète des **os cuboïdes du tarse** qui risquent alors de **s'effondrer** sous le poids du poulain et causer une déviation. Cette ossification incomplète est plus fréquente chez les poulains immatures, elle serait la conséquence de l'existence de pathologies chez la jument (parasitisme massif, placentite, coliques, affections métaboliques, présence de jumeaux) (Cf. 5.4 « *Ossification incomplète et collapsus de l'os central du tarse et de l'os tarsal III* ») (113). Une rare cause d'un valgus marqué du tarse observé chez le Shetland miniature et le Welsh Pony et considérée comme étant héréditaire, résulte de l'ossification incomplète de la fibula (115).

- **Déviations acquises** : elles apparaissent au cours de la croissance. Elles impliquent généralement une **anomalie de la croissance au niveau de la plaque de croissance, d'un centre d'ossification épiphysaire ou de la diaphyse**. Une perturbation de la formation de l'os conduit à l'apparition de zones de faiblesse dans un ou plusieurs os, à l'origine d'un collapsus des os concernés. Une **déviations compensatrice** peut se faire dans des sites distaux à la déviation primaire, à cause de la modification des contraintes biomécaniques engendrée par cette dernière. Ces déviations « secondaires » donnent au membre un aspect plus droit, mais sont à l'origine d'une modification de la démarche (en particulier une rotation externe de l'articulation atteinte) (21). Les causes de déviations acquises peuvent être :

* Un **report de poids** sur un membre lorsque le membre collatéral est blessé, qui provoque une surcharge mécanique sur le membre sain.

* Des **lésions ou une inflammation** de la plaque de croissance pouvant conduire à une fermeture prématurée de l'un des côtés de la plaque tel un processus infectieux ou une fracture.

* Des déséquilibres nutritionnels (113).

5.3.4 Suivi du poulain

Il est conseillé d'évaluer le poulain au moins **une fois par semaine** durant le **premier mois** de vie, puis une **fois par mois** jusqu'à l'âge de **six mois**. Ce suivi régulier permet en effet de déterminer la cause, et d'évaluer la sévérité et la progression de la déviation qui sont des éléments clés permettant de choisir le traitement le plus adéquat et de modifier ce dernier en fonction de l'évolution de la déformation. La **conformation future** du cheval peut être influencée de façon non négligeable par la **génétique**, la **nutrition**, l'**exercice** et l'**intervention**

du vétérinaire, au cours de la croissance. De simples ajustements sont parfois suffisants, mais cependant nécessaires pour aider le poulain à progresser vers une conformation physiologique. La **reconnaissance précoce** et le **suiti régulier** sont donc d'une importance majeure pour obtenir un résultat satisfaisant (21) (91) (113).

5.3.5 Signes cliniques

5.3.5.1 *Anamnèse*

Le moment d'apparition de la déviation permet de se diriger vers une origine congénitale ou acquise (21).

5.3.5.2 *Examen clinique*

5.3.5.2.1 *Examen clinique statique*

Il faut garder en tête que la conformation correcte d'un poulain diffère de celle d'un adulte. En effet, chez le poulain un certain degré de valgus du carpe et du jarret existe de façon physiologique, et ce en général jusqu'au sevrage. Pour le carpe par exemple, ce n'est que vers l'âge de 8 à 10 mois, lors du pic de croissance et avec l'élargissement du poitrail, que le membre devient vraiment droit. Ainsi un poulain dont le membre est parfaitement droit présentera fort probablement un varus à l'âge adulte, cette évolution est néanmoins moins flagrante au niveau du tarse qu'au niveau du carpe (91) (113).

Le poulain doit être **observé** sous différents angles et en particulier de devant et de derrière. Il est nécessaire de se positionner **perpendiculairement au plan frontal traversant le membre**. La palpation des membres est très importante pour tenter de savoir si le défaut peut être manuellement réduit ou non. Si la **manipulation** permet de redresser le membre alors une origine liée à un **collapsus des os** ou une **laxité péri-articulaire** est la plus probable, si en revanche la déviation ne peut être réduite, la présence d'**anomalies des structures osseuses** doit être suspectée (21).

5.3.5.2.2 *Examen clinique dynamique*

Les déviations ne provoquent pas de boiterie, mais peuvent être à l'origine de défauts d'allure plus ou moins marqués. Un poulain avec une rotation interne du pied aura, par exemple, tendance à effectuer une rotation du boulet vers l'extérieur lors de ses déplacements (21).

5.3.6 Examens complémentaires

5.3.6.1 Examens d'imagerie

✓ Radiographie

La radiographie est l'examen de choix pour **confirmer, quantifier et localiser l'origine** d'une déviation angulaire, mais également pour vérifier l'absence (ou révéler la présence) d'une **ossification incomplète** des os cuboïdes (le tarse et le carpe de tout poulain immature doivent être radiographiés), de **malformations osseuses** ou de **fractures**. La radiographie ne permet cependant pas à elle seule de déterminer la fin de la croissance osseuse, car la plaque de croissance reste, après sa fermeture, encore longtemps visible sur une radiographie.

Le cliché doit inclure le **tarse** et au moins **les milieux des diaphyses du tibia et du métatarsien III** (inclure l'articulation métatarso-phalangienne permet de mieux évaluer la déviation), l'utilisation de cassettes longues et étroites (18 x 43 cm) est donc conseillée. Il est également nécessaire d'**éviter toute obliquité de la projection**, sans quoi la déviation pourra être sous ou surestimée et de faire bien attention à prendre le plan sagittal du tarse comme repère, les projections doivent être perpendiculaires au canon. Afin de réaliser des clichés de bonne qualité, il est conseillé de parer le pied avant (talons symétriques) et de tranquilliser légèrement le poulain si nécessaire. Ce dernier doit être bien en appui sur ses membres et le tarse doit être perpendiculaire au canon. On réalise les vues **dorso-plantaire** et **latéro-médiale**. Le **point pivot** (site le plus important du développement anormal) de la déviation est déterminé par l'**intersection des lignes** passant par les **milieux** du **tibia** et du **métatarsien III**. Cependant, les centres de ces os ne pouvant pas être reliés par une ligne parfaitement droite et les déformations étant difficiles à définir de façon précise (le tibia et le métatarsien III ne sont pas disposés dans le même plan frontal), cette procédure n'est pas standardisée et aucune valeur de référence reconnue n'est disponible.

En pratique, les mesures sont prises sur la vue DP : on trace **une ligne qui divise en deux parties égales la diaphyse** des os longs dans leur partie tubulaire. Ensuite, des lignes qui correspondent à chaque **plaque de croissance** et aux **interlignes articulaires** sont tracées. L'angle obtenu au niveau du point pivot permet de quantifier l'importance de la déviation angulaire. On considère en pratique que la déviation est **discrète** pour un angle inférieur à 5°, **modérée** pour un angle compris entre **5 et 10°**, et **marquée** entre **10 et 15°** (21) (41) (91) (113) (115).

5.3.7 Traitement

La plupart des déviations **se corrigent d'elles-mêmes** au cours de la croissance, il est donc important de reconnaître les cas pour lesquels il n'est pas nécessaire d'intervenir. D'autres déviations nécessitent en revanche la mise en place d'un **traitement conservateur** ou **chirurgical** pour être résolues. Au-delà d'un certain degré de déviation (le plus souvent au-delà de 8 à 10°), la compensation physiologique est limitée et une thérapeutique chirurgicale précoce est souvent indiquée (21). Il est en tout cas important de garder en tête qu'une correction n'est possible que si la croissance n'est pas terminée. En ce qui concerne la plaque de croissance du

tibia distal, la croissance rapide est optimale jusqu'à trois mois d'âge puis se ralentit peu à peu et après six à huit mois la correction de la déviation est difficile à obtenir.

5.3.7.1 *Traitement conservateur*

Dans la plupart des cas une intervention pertinente et minimale suffit. Cela consiste à apporter une attention particulière au pied et à limiter l'exercice du poulain (petit paddock). Le parage et l'utilisation d'extensions collées peuvent aider le poulain à corriger sa déviation.

* Un poulain de **moins de quatre mois** présentant un **léger valgus** ne nécessite pas d'intervention.

* Un poulain avec une **déviation modérée** en valgus (varus) associée à une rotation externe (interne) du pied, pourra être traité par la mise en place d'**extensions** dorso-médiales (dorso-latérales), favorisant l'adduction (l'abduction) du membre et sa rotation interne (externe). Les tensions s'appliquant sur le membre se rapprochent alors de la normale et permettent le redressement du membre au cours de la croissance. Une apparence externe similaire peut être obtenue en **parant le pied** de façon importante en partie latérale lors de valgus (médiale lors de varus), mais cette méthode semblerait avoir des effets néfastes à long terme, liés à l'apparition d'un déséquilibre compensateur du pied (varus interphalangien lors de valgus du jarret par exemple) (91).

En fonction de l'origine de la déviation, certaines particularités de traitement existent :

- **Laxité des tissus mous péri-articulaires**

* **Exercice contrôlé**

Sans intervention, la laxité augmente en général de façon importante au cours des quatre premières semaines de vie et cette aggravation est encore plus marquée chez un poulain présentant un valgus de l'un des tarses associé à un varus du tarse controlatéral (53). Lors de laxité sans défaut d'ossification des os cuboïdes on préconise une augmentation progressive de l'exercice (5-10 minutes par jour) afin de renforcer les muscles et les tissus péri-articulaires (113).

* **Expansions collées au sabot**

Dans de plus rares cas (en particulier pour les déviations du boulet), si la déviation empêche le poulain de poser le pied bien à plat sur le sol, des expansions collées au sabot peuvent être utilisées afin de permettre au poids de s'appliquer de façon égale sur toute la surface du pied. Si le poulain présente une **laxité plutôt latérale** avec tendance à la brisure en partie latérale du sabot, alors une **expansion latérale** pourra être appliquée sur ce dernier. Au début le poulain sera laissé en **box** puis sorti progressivement en **paddock** seulement accompagné de sa mère. Au cours du temps les tissus se fortifient et la reprise d'une activité normale est permise. Les chaussures collées peuvent être gardées pendant **plusieurs semaines**, cependant elles doivent ensuite être **retirées** car elles peuvent dans certains cas être à l'origine de **fractures des os sésamoïdes** (91).

* **Attelles**

Les attelles sont en général contre-indiquées pour le traitement de ces déviations et ne doivent être utilisées que si un alignement articulaire est vraiment nécessaire. Elles risquent en effet d'aggraver la laxité et de provoquer des escarres (91).

- Ossification incomplète des os cuboïdes

Le diagnostic doit être posé très précocement lorsque l'origine de la déviation est une ossification incomplète des os du tarse car, sous l'effet des contraintes biomécaniques, le cartilage se déforme. Lorsque l'ossification enchondrale des os est terminée, toute déformation acquise devient permanente et incorrigible (21).

Les déviations résultant d'une ossification incomplète ou d'un mauvais alignement des structures au sein d'une articulation sont traitées à l'aide :

* **D'une mise au repos** en stalle afin d'éviter l'aggravation des lésions et le développement secondaire d'une arthrose.

* **D'un exercice contrôlé** : si le poulain est hospitalisé et que l'exercice peut être contrôlé de façon précise, alors ce dernier suffit. En revanche si ce n'est pas le cas, l'utilisation d'une attelle est recommandée pour éviter le collapsus des os.

* **De la mise place d'une attelle** : le type d'attelle utilisé importe peu, en revanche son positionnement adéquat est primordial. Il faut en particulier faire attention à ne pas prendre le pied dans l'attelle afin que le poulain puisse prendre appui dessus et renforcer ses tissus péri-articulaires tout en conservant une position du membre et donc une répartition des contraintes correctes. L'objectif est ainsi de réaligner le membre afin de permettre une maturation correcte des os du tarse. Il est recommandé de réaliser des contrôles radiographiques tous les dix à quinze jours, accompagnés d'un changement ou d'un retrait de l'attelle.

Si cette déviation articulaire s'accompagne d'une déviation au niveau de la plaque de croissance, une chirurgie sera nécessaire pour traiter cette dernière (21) (53) (113).

- Perturbation de la plaque de croissance

* La méthode de traitement à préférer chaque fois que cela est possible est celle qui implique une intervention externe minimale. Selon la loi de Wolff, la croissance au niveau de la plaque de croissance s'accroît du côté concave et ralentit du côté convexe, ainsi la déformation incite elle-même à sa correction (à condition bien sûr que la croissance ne soit pas terminée au niveau de cette plaque). En adaptant l'exercice et le parage, la déviation peut donc se corriger progressivement au cours de la croissance (113).

* Lorsqu'une boiterie est présente ou qu'un membre est immobilisé, le poulain place souvent son membre controlatéral plus médialement qu'en temps normal et présente une rotation interne du pied correspondant. Après plusieurs semaines, cela peut conduire à une croissance asymétrique et à une déviation angulaire en varus de toutes les articulations du membre associée à une rotation interne de sa partie distale. Afin de limiter ce phénomène, une extension dorso-latérale peut être placée sur le sabot, afin d'encourager la prise d'une position plus en abduction du membre sain (91).

5.3.7.2 *Traitement chirurgical*

La correction chirurgicale des déviations congénitales se fait dans trois indications :

* Déformation **trop sévère** pour pouvoir se corriger d'elle-même compte tenu du potentiel de croissance du poulain.

* Déformation dont la **correction** grâce au traitement conservateur se fait de façon **trop lente** pour réussir à se résoudre avant la fin de la croissance.

* Déformation qui mène ou qui est susceptible de mener au développement **d'une déformation ou d'affections secondaires** (21).

La chirurgie consiste à provoquer l'**accélération ou la diminution de la croissance** sur l'un des **côtés de la plaque de croissance**. Le choix de la technique est fonction de l'âge du poulain, du degré et du sens (valgus ou varus) de la déviation ainsi que de sa localisation. Préalablement à la chirurgie, un examen minutieux de tous les membres et la réalisation de radiographies de bonne qualité sont nécessaires afin de déterminer précisément l'origine de la déviation (point pivot) et son degré (53).

Deux techniques de chirurgies sont disponibles :

* **Transection hémi-circonférentielle du périoste.**

* **Pontage de la plaque de croissance.**

Le choix de l'une ou l'autre (ou des deux), dépend du **degré de correction** nécessaire et du **potentiel de croissance** restant de l'os incriminé (21).

- La transection périostée

* **Principe** : cette technique marche mieux au niveau des plaques de croissance à croissance rapide (efficacité optimale chez le poulain de moins de deux mois, c'est pourquoi il s'agit de la technique la plus utilisée chez les jeunes poulains) (23). Elle est indiquée si le traitement conservateur n'a pas permis d'amélioration suffisante et si l'animal à moins de 4 mois (113). La transection du périoste permet **de relâcher la tension au niveau de la plaque de croissance et d'induire ainsi une amplification de la croissance du côté opéré.**

* **Déroulement** : anesthésie générale, décubitus latéral (ou dorsal si chirurgie des deux membres). La position de la plaque de croissance est repérée à l'aide d'une aiguille. Une incision de 1 à 2 centimètres parallèle à la plaque de croissance est faite proximale à cette dernière, puis une incision perpendiculaire à l'incision initiale est réalisée afin de former une incision en T inversé. Le volet de périoste est élevé puis remis dans sa position initiale (53).

* **Postopératoire** : un bandage est appliqué pendant 10 à 14 jours et le poulain est gardé en stalle ou en petit paddock jusqu'à ce que la déviation soit corrigée (53).

La réponse à la transection est neutralisée lorsque le périoste a cicatrisé (c'est-à-dire en 1 à 2 mois) après la chirurgie. La chirurgie peut être répétée si une correction supplémentaire est nécessaire (21) (53.)

* **Efficacité, complications** : cette technique peut permettre de gagner une quinzaine de degrés selon l'activité résiduelle de la plaque de croissance et aucune surcorrection n'est rapportée avec cette chirurgie. Les études initiales mettent en évidence un taux de réussite avoisinant 80 %. Les dernières recherches trouvent cependant des valeurs inférieures (21) (53).

- Le pontage

* **Principe** : chez les animaux plus âgés le pontage doit être préféré, car son succès ne dépend pas du taux de croissance et qu'il peut être laissé en place aussi longtemps que nécessaire. C'est le potentiel de croissance encore disponible au niveau de la plaque de croissance qui conditionne le degré de correction qui pourra être obtenu (21). **Le pontage se fait du côté convexe afin de créer une compression statique et de réduire ainsi la croissance du côté opéré.** Cette technique est indiquée pour les poulains de moins de trois mois présentant des déviations sévères et pour les poulains plus âgés ne répondant pas bien aux autres traitements mis en place ou dont la croissance au niveau de la plaque de croissance incriminée est bientôt terminée (113).

* **Déroulement** : le pont est réalisé soit en plaçant des vis corticales de part et d'autre (une vis de chaque côté) de la plaque de croissance, et en reliant ces dernières par un cerclage en forme de huit ou en utilisant une petite plaque de compression dynamique ou encore des agrafes orthopédiques. Lors d'interventions sur la partie distale du tibia, il faut faire attention aux contours de l'articulation car la vis peut par mégarde traverser l'articulation (53).

* **Postopératoire** : le poulain est placé dans une grande stalle et surveillé régulièrement. Des radiographies de contrôle sont fortement conseillées afin d'évaluer la progression de la correction et de retirer le matériel chirurgical avant qu'une **surcorrection** ne survienne (53).

Lors de déformation sévère, les **deux techniques peuvent être combinées**. Bien que le tibia distal croisse jusqu'à l'âge de **quatre mois**, les poulains de moins de **deux mois** répondent mieux à la transection périostée. Passé cet âge le pontage est plus efficace. Cette conception se distingue de la perception précédente selon laquelle la transection du périoste seule était indiquée jusqu'à l'âge de quatre à six mois dans le traitement des valgus du tarse (53).

Chez les poulains dont la plaque de croissance est fermée ou chez les jeunes chevaux, présentant une déviation angulaire persistante, une **ostectomie** ou une **ostéotomie** peut être réalisée. Une ostectomie (dans le plan sagittal) ou ostéotomie (dans le plan frontal) « en marche » est préférée à l'ostectomie « en coin », car la longueur du membre est ainsi préservée et les compressions interfragmentaires entre les pièces osseuses sont meilleures. Ces méthodes sont utilisées en dernier recours (53).

5.3.8 Pronostic

La reconnaissance précoce d'une ossification incomplète des os du tarse est cruciale car un collapsus des os central du tarse et tarsal III peut se produire et provoquer une arthrose secondaire, le pronostic sportif est alors réservé (53).

Dans les autres cas, le pronostic des déviations est **généralement bon**, mais **varie** grandement en fonction de la **cause**, de la **sévérité** et de la **localisation** de celle-ci ainsi que de la **précocité de mise en place d'un traitement** adapté, du **suivi du poulain** et de sa **réponse** à ce dernier.

5.4 Ossification incomplète et collapsus de l'os central du tarse et de l'os tarsal III

(24) (25) (39) (77) (78) (115)

5.4.1 Définition

Cette affection est le plus souvent rencontrée chez des **poulains prématurés** ou des **jumeaux**, mais elle peut aussi exister chez des poulains nés à terme. L'atteinte peut être unilatérale ou bilatérale et le poulain présente souvent un jarret coudé. Une reconnaissance et un traitement précoces sont essentiels pour éviter l'effondrement des os (39).

5.4.2 Pathogénie

Les os du tarse s'ossifient durant les 2 à 3 derniers mois de la gestation par un processus d'ossification enchondrale s'effectuant à partir du centre de l'os, de façon radiaire en direction de la périphérie de l'os. (Cf. 5.2.2 « *Prérequis* »).

Chez les poulains nés prématurément **l'ossification n'est pas terminée** et une épaisse **couche de cartilage** entoure toujours les parties ossifiées des os cuboïdes. Le cartilage étant en partie **déformable** et le poulain présentant de façon physiologique un certain degré de **déviatio angulaire** à la naissance, des **contraintes biomécaniques anormales** (non perpendiculaires à l'axe longitudinal du membre et concentrées au niveau de certaines zones) vont s'exercer sur les os. Au niveau du tarse, les problèmes se produisent dans le **plan sagittal**. La conformation du poulain fait que son poids est transmis depuis l'axe longitudinal du tibia jusqu'à celui du métatarsien III en passant par un **point pivot** situé **entre l'os central du tarse et l'os tarsal III**. Lors d'ossification incomplète, l'application de ces forces conduit à une **atrophie de la partie centrale des os** entraînant leur **collapsus** et une **déviatio angulaire** du membre (Cf. 5.3 « *Déviations angulaires* »).

L'os central du tarse est habituellement un peu plus ossifié que l'os tarsal III ce qui explique le fait que ce dernier soit le plus fréquemment atteint (77)

5.4.3 Etiologie

La maturité physiologique d'un nouveau-né dépend de nombreux facteurs :

- Durée de la gestation.
- Condition physique de la mère.
- Affections variées pouvant survenir durant la gestation et pouvant modifier la durée de cette dernière ou compromettre le développement foetal.

- Charge parasitaire de la mère suffisamment élevée pour induire une diminution de l'apport de sang dans l'utérus.
- Episode de colique ou d'état de choc chez la mère à l'origine d'un défaut d'apport sanguin au fœtus et d'un retard dans son développement.
- Vaccinations et antihelminthiques administrés pendant la gestation.
- Lors de gestation gémellaire, insuffisance fonctionnelle du placenta ne permettant pas le développement normal des deux fœtus.
- Anomalies thyroïdiennes pouvant retarder l'ossification (77).

5.4.4 Signes cliniques

5.4.4.1 *Anamnèse*

Ce problème doit toujours être évoqué lors de déviations angulaires ne s'améliorant pas (78). La présence d'une hyperextension ou d'une brisure de l'axe du tarse accompagnée d'une boiterie soudaine des postérieurs est également évocatrice (77).

5.4.4.2 *Examen clinique*

5.4.4.2.1 Examen clinique statique

Les poulains présentent en général une déviation angulaire du tarse en valgus et/ou un jarret coudé. Une laxité péri-articulaire est parfois présente (25) (77).

5.4.4.2.2 Examen clinique dynamique

La boiterie peut être présente ou absente, cependant si l'examen est minutieux un défaut d'allure (démarche en « saut de lapin ») peut souvent être décelé. L'affection peut n'être détectée que lors de la mise au travail, avec apparition soudaine d'une boiterie ou d'une raideur postérieure unilatérale ou bilatérale (25) (77).

5.4.5 Examens complémentaires

5.4.5.1 *Examens d'imagerie*

✓ Radiographie

Le degré d'ossification des os des poulains nés **avant 320 jours de gestation** ou présentant des **signes de dysmaturité** malgré une durée de gestation correcte, peut être insuffisant, il est donc recommandé de réaliser des radiographies du carpe et du tarse chez ces poulains (24). Par ailleurs, l'atteinte étant souvent bilatérale, les deux jarrets doivent être radiographiés (25).

Une vue **DLPMO** est nécessaire pour évaluer la structure interne des os central du tarse et tarsal III et la qualité de l'ossification (25) (115).

- **Signes d'ossification incomplète** (25)

* Os plus **petits** et **plus arrondis**.

* Opacité des os parfois **granuleuse**.

- **Signes de collapsus** (24) (25) (115)

* Os central du tarse et/ou os tarsal III **en forme de sablier**, le collapsus est en général **dorsal ou latéral**.

* **Fragmentation/fracture** de la partie dorsale des os.

* **Arthrose** secondaire, rétrécissement des espaces articulaires, néoformations osseuses péri-articulaires.

* **Valgus** secondaire du tarse.

- Cette affection a déjà été rencontrée en association avec une **ostéomyélite** de l'os central du tarse et de l'os tarsal III. Dans ce cas là, l'os peut présenter une opacité tachetée/mouchetée à cause de la présence de zones radiotransparentes au sein de l'os (25).

- Un **index d'ossification** (SOI : skeletal ossification index) a été créé afin de standardiser l'évaluation radiographique du tarse (et du carpe) des poulains âgés de moins de deux semaines (77) :

* **Grade 1** : certains os cuboïdes ne sont pas ossifiés.

* **Grade 2** : tous les os cuboïdes présentent un certain degré d'ossification.

* **Grade 3** : les os sont ronds et petits.

* **Grade 4** : la forme des os est identique à celle des os matures.

5.4.6 Traitement

Le but du traitement est de **maintenir le membre droit** afin de permettre à l'os de s'ossifier correctement. Une immobilisation avec une **attelle** est en général mise en place pour une durée de **quatre semaines**, avec contrôle radiographique et changement de l'attelle après deux semaines (39) (77).

5.4.7 Pronostic

Le pronostic dépend du **degré d'ossification** déjà présent à la naissance et de l'absence de développement de lésions d'**OCD** et/ou d'**arthrose**. L'incidence des **fractures** de l'os tarsal III et de l'os central du tarse serait par ailleurs augmentée chez les chevaux dont ces os sont **en forme de sablier**.

Le pronostic est en tout cas **réservé** chez les poulains dont le collapsus est supérieur à **30 %**. Il est généralement **bon** pour les chevaux de **loisir**, mais **réservé** pour les chevaux de **compétition** (39) (77).

5.5 Epiphysite

(1) (25) (50) (78) (81) (113)

5.5.1 Définition

Malgré ce que son nom indique, l'épiphysite n'est pas une inflammation de l'épiphyse, il s'agit d'une **dysplasie de la plaque de croissance** qui entraîne l'apparition d'une **déformation** autour de cette dernière. Cette affection touche principalement le radius distal et le métacarpe/métatarse distal. Le **tibia distal est rarement atteint** (81). L'épiphysite atteint surtout les chevaux légers à croissance rapide, en particulier les trotteurs et croisés trotteurs. A noter qu'une légère épiphysite est commune et n'entraîne en général ni changements de conformation, ni boiterie sévère (50).

On distingue trois principales formes d'épiphysite (50) :

- Epiphysite **infectieuse**.
- Atteinte de la plaque de croissance de type **Salter-Harris V** : elle peut être consécutive à une déviation angulaire congénitale et persistante ou à une infection.
- Atteinte de la plaque de croissance de type **Salter-Harris VI**.

5.5.2 Pathogénie et étiologie

La plupart des auteurs excluent une origine inflammatoire, mais certains considèrent que l'épiphysite résulte d'une **inflammation** de la plaque de croissance.

L'épiphysite peut se produire soit lorsque **l'os nouvellement formé n'est pas à même de résister aux pressions normales** qui s'exercent sur lui, soit car des **contraintes anormales** (exercice, poids, conformation) **s'exercent sur un os normal**. Dans le premier cas, l'épiphysite est en général **symétrique** (médiale et latérale) alors qu'elle est **asymétrique** dans le second cas (latérale ou médiale) (113). La présence d'une lésion d'**ostéochondrose** au niveau de la plaque de croissance est une cause possible d'épiphysite. Une alimentation **trop énergétique** et des **déséquilibres minéraux** semblent être des facteurs favorisants. L'**exercice** est aussi impliqué et une composante **héréditaire** est également suspectée (50).

Cas de l'épiphysite liée à une lésion de type Salter Harris V : suite à une surcharge de poids, une lésion compressive apparaît d'un côté de la plaque (le côté le plus fréquemment atteint est le côté médial, mais la partie latérale peut aussi être touchée). L'épiphysite se produit en général au moment où l'ossification endochondrale est la plus intense dans la plaque de croissance concernée. Elle peut aussi apparaître dans un membre lorsque le membre controlatéral souffre d'une boiterie chronique (50).

5.5.3 Signes cliniques

5.5.3.1 *Anamnèse*

L'épiphysite doit être suspectée lorsqu'un poulain est présenté pour un **élargissement de la partie distale du tibia**, une **raideur** et parfois une **déviatiion angulaire du membre** (25). Le propriétaire peut rapporter une augmentation du temps passé **couché** et l'existence de **tremblements** lorsque le poulain se tient debout. Ces signes sont liés à de la douleur et peuvent conduire à une **contracture musculaire** (113).

5.5.3.2 *Examen clinique*

5.5.3.2.1 *Examen clinique statique*

La **tuméfaction** est localisée le plus souvent autour de la **partie dorso-médiale** (plus rarement latérale) du tibia distal. La zone peut être chaude à la palpation et lorsque le membre est fléchi, la plaque de croissance est sensible à la pression. La **flexion** complète du tarse peut être limitée (50).

5.5.3.2.2 *Examen clinique dynamique*

Le poulain peut présenter une **démarche raide**, un raccourcissement de la phase antérieure de la foulée, voire une boiterie franche (113).

5.5.4 Examens complémentaires

5.5.4.1 *Examens d'imagerie*

✓ Radiographie

La réalisation des radiographies n'est nécessaire que si le poulain présente une **épiphysite sévère** ou **persistante** (50). On peut distinguer deux formes d'épiphysite à la radiographie : celle située à la périphérie de la plaque de croissance, en général du côté médial, et celle située au niveau de la section centrale de la plaque (50).

- **Signes radiographiques**

- * Métaphyse **élargie et asymétrique**.
- * **Sclérose** de la métaphyse adjacente à la plaque de croissance.
- * Cortex de la métaphyse parfois **épaissi**.
- * Aspect **irrégulier** de la plaque de croissance (25).

5.5.5 Traitement

La prise en charge est avant tout **conservatrice**. Il s'agit essentiellement de **restreindre l'exercice** en confinant le poulain au box, de **limiter les apports énergétiques** de la ration et de s'assurer du **bon équilibre en minéraux** de cette dernière (en particulier pour le cuivre, le zinc, le calcium et le phosphore). Des **AINS** peuvent être utilisés si le poulain est très boiteux ou que ses plaques de croissance sont enflammées et douloureuses.

Lorsque l'épiphysite est associée à d'autres lésions comme l'ostéochondrose ou qu'elle entraîne le développement de lésions secondaires comme des déviations angulaires, ces dernières doivent être traitées de façon spécifique (Cf. 5.3 « *Déviations angulaires* »). Cependant lorsqu'un varus sévère est causé par une épiphysite l'efficacité des traitements chirurgicaux (élévation périostée ou pontage) est très médiocre (1) (50) (78) (81).

5.5.6 Pronostic

La plupart des cas **se résolvent spontanément** si l'exercice et les rations sont contrôlés et adaptés. Dans les cas sévères, une **déviations angulaire peut persister** (25). Le pronostic sportif est **bon** à condition que la conformation ne soit pas affectée de façon permanente (50).

5.6 Kystes osseux sous-chondraux

(24) (25) (78) (81) (83) (115)

5.6.1 Définition

Le kyste apparaît sous la forme d'une zone de lyse osseuse le plus souvent de forme circulaire, au sein de l'os sous-chondral. Ces lésions peuvent exister dans diverses localisations, les plus fréquentes étant le condyle médial du fémur puis le métacarpe distal. Les kystes sont plutôt **rares au niveau du tarse**, mais plusieurs cas sont rapportés dans la littérature.

De nombreux auteurs considèrent qu'il s'agit d'**une forme d'ostéochondrose (OC)**. Ainsi chez de jeunes animaux présentant de façon concomitante un kyste osseux dans une articulation et un défaut cartilagineux dans une autre, la cause supposée est l'OC. Les kystes osseux sous-chondraux sont donc habituellement détectés chez de **jeunes chevaux** et l'atteinte peut être **unilatérale** ou **bilatérale**. Il arrive cependant que des chevaux adultes présentent des kystes qui se développent suite à l'apparition de lésions de la surface cartilagineuse (25) (78) (115).

5.6.2 Pathogénie

Le mécanisme de formation des kystes sous-chondraux est mal connu. Les différents mécanismes proposés sont la présence (81) :

- De l'invagination d'une zone de cartilage retenu.
- De la nécrose d'une zone de cartilage mal vascularisé.
- D'une résorption active de l'os par des enzymes de dégradation.

Lorsqu'une fissure est créée au niveau du cartilage, **le liquide synovial s'infiltré dans l'os** sous-chondral. L'augmentation de pression causée par la synovite, la présence d'enzymes lytiques et dans les cas septiques, la nécrose causée par l'infection vont favoriser la **déminéralisation de l'os** et entraîner la **formation du kyste**.

5.6.3 Etiologie

Les causes potentielles proposées sont (83) (115) :

- * Traumatismes du cartilage ou de l'os sous-chondral.
- * Arthrose chronique.
- * Fracture.
- * Ischémie.
- * Inflammation.
- * Infection
- * Perturbation de l'ossification enchondrale (Cf. 5.2.5 « Pathogénie »).

5.6.4 Signes cliniques

Les kystes sont en général (mais pas toujours) associés à une **distension articulaire** et/ou une **boiterie légère à sévère** (25). La boiterie est due à une libération de débris depuis le kyste dans l'articulation, qui conduit à l'accumulation de médiateurs de l'inflammation au sein de cette dernière et à une augmentation de la pression intra-osseuse (83).

5.6.5 Examens complémentaires

5.6.5.1 Examens d'imagerie

✓ Radiographie

La perte de densité osseuse doit être d'au moins 30 à 50 % pour que le kyste soit visible sur une radiographie, sa détection par cette technique d'imagerie est donc assez tardive. Par ailleurs, du fait de la **petite taille** de la plupart des kystes et de la **superposition des différentes structures** sur le cliché, il arrive fréquemment **que la radiographie ne permette pas leur détection**.

Au niveau du tarse, les kystes osseux se situent en général dans les **lèvres** de la trochlée du talus, la **gorge** de la trochlée, les **malléoles** médiales et latérales, le **tenon intermédiaire** et la **partie distale du tibia**, le **calcaneus**, l'**os métatarsien III**, l'**os central du tarse** et l'**os tarsal III** (115).

Quand la lésion est visible, on peut voir une **aire radiotransparente circonscrite**, de taille et de forme variée, entourée par une **bordure sclérosée** (115).

A noter que la présence de kystes dans l'os tarsal III et l'os central du tarse est considérée comme étant un facteur prédisposant de l'arthrose (24).

✓ Autres examens d'imagerie

L'échographie, la scintigraphie, le scanner à rayons X et l'IRM peuvent être utilisés pour le diagnostic précoce des kystes osseux sous-chondraux (115).

5.6.6 Traitement

5.6.6.1 Conservateur

Il consiste en la mise **au repos** en box pendant **un à trois mois** et à l'administration systémique et intra-articulaire de **hyaluronate de sodium**, d'**anti-inflammatoires stéroïdiens** (AIS) ou de **glycosaminoglycanes polysulfatés**.

5.6.6.2 *Chirurgical*

Il s'agit de débrider le kyste et d'injecter des **AIS**, des **cellules souches** mésenchymateuses, des **chondrocytes** ou du **facteur de croissance IGF-1** dans celui-ci. Une arthroplastie mosaïque peut également être réalisée.

La plupart des kystes se résolvent avec le traitement conservateur, mais la résolution est un peu plus lente que celle obtenue avec le traitement chirurgical. Le débridement chirurgical a longtemps été le traitement de choix, car c'est le plus efficace et il permet le retour des chevaux à leur niveau initial en dix à douze mois. De récentes études montrent que **le résultat obtenu avec des injections intra-lésionnelles de corticoïdes est identique, voire supérieur**, à celui obtenu avec la chirurgie, cette technique est donc probablement amenée à se développer dans le futur.

Une résolution complète de l'affection après débridement peut prendre **huit à dix mois** chez un cheval adulte alors qu'elle peut ne prendre que **deux mois** chez un poulain de moins de deux ans.

Exemple de protocole :

- Injection intra-lésionnelle de 10 à 20 mg de triamcinolone, sous contrôle radiographique ou arthroscopique.
- Pénicilline G 20 000 UI/kg BID pendant 2 jours, phénylbutazone 4.4 mg/kg PO SID pendant 5 jours, PGAGS 500 mg IM une fois par semaine pendant 12 semaines, hyaluronate de sodium 40 mg IV une fois par semaine pendant 3 semaines.
- Repos au box pendant 8 semaines, marche en main dès la deuxième semaine, puis petit paddock et après 4 mois, reprise possible de l'exercice.

Des contrôles radiographiques effectués au cours des mois suivant la mise en place du traitement, permettent de voir si la taille du kyste diminue et à terme si ce dernier disparaît (83).

5.6.7 **Pronostic**

Plus l'âge du cheval augmente plus les chances que le kyste se résorbe et que le cheval ne présente plus de signes cliniques s'amenuisent. Le pronostic est en général **réservé** (83).

5.7 Fractures des os de la rangée de la distale du tarse

(39) (86) (110) (115)

5.7.1 Définition

Les fractures du tarse sont plutôt **rares** et résultent le plus souvent de blessures lors des **courses** (110).

L'**os tarsal III** est plus fréquemment fracturé que l'**os central du tarse**. L'**os tarsal I+II** et l'**os tarsal IV** sont rarement atteints. Les fractures de l'os tarsal IV sont fréquemment associées à des fractures de la partie proximale du métatarsien IV. Elles sont souvent ouvertes, ce qui conduit généralement à la contamination et l'infection des fragments osseux (115).

Les fractures de l'os central du tarse et de l'os tarsal III se produisent le plus souvent chez les trotteurs, les chevaux de cutting et les galopeurs, mais elles existent occasionnellement chez d'autres chevaux, parfois secondairement à une fusion primaire des articulations intertarsienne distale et tarso-métatarsienne (39).

5.7.2 Etiologie

Les os de la rangée distale du tarse sont sujets aux forces de **compressions axiales**, aux forces de **torsions** et aux forces **en tension** lors de l'exercice. Lorsque les os sont soumis à un **stress** important comme une vitesse extrême lors des courses, des fractures peuvent apparaître. Les **mouvements asynchrones** des os du tarse, (pouvant être causés par des ligaments endommagés ou de rapides changements sur la piste) peuvent également entraîner des fractures. La **conformation du cheval** ou la survenue d'un **incident** lors de la course peut favoriser l'apparition d'une fracture.

- Chez le poulain : la cause primaire est dans la majorité des cas une ossification incomplète des os cuboïdes (Cf. 5.4 « *Ossification incomplète et collapsus de l'os central du tarse et de l'os tarsal III* »). Chez le jeune poulain, l'atteinte de l'os central du tarse et de l'os tarsal III est principalement **dorsale** alors que les poulains un peu plus âgés présentent plus fréquemment un écrasement au niveau de la partie **plantaire** (donnant une forme de sablier à l'os sur les radiographies).

- Chez l'adulte : l'os en forme de sablier est susceptible de se fracturer au niveau de sa portion la plus mince. Si le fragment osseux se sépare complètement et se déplace, une déviation angulaire du membre peut alors apparaître (110).

5.7.3 Signes cliniques

5.7.3.1 *Anamnèse*

La fracture entraîne généralement l'apparition d'une **boiterie aiguë** associée à une baisse de performance. Au repos, le cheval peut présenter une **suppression d'appui** totale ou partielle pour soulager son membre. De la douleur, de la chaleur ainsi qu'une tuméfaction et une distension articulaire peuvent être visibles dans la partie distale du jarret (110). Le degré de boiterie et l'intensité des signes locaux diminuent après une à deux semaines de repos, mais récidivent lors de la remise au travail (39). Lors de fractures bilatérales de l'os tarsal III le motif de consultation peut être plus une baisse des performances qu'une boiterie franche (39). Certains chevaux présentant des fractures incomplètes de l'os tarsal III ou de l'os central du tarse peuvent même courir plusieurs fois avant que la boiterie ne soit vraiment prononcée. Ainsi lors du diagnostic initial certaines fractures apparaissent anciennes chez les galopeurs et trotteurs de course (39).

5.7.3.2 *Examen clinique*

5.7.3.2.1 *Examen clinique statique*

Bien que les fractures soient souvent déplacées dorsalement, une tuméfaction n'est pas toujours présente. Les signes (en particulier en phase aiguë) que l'on peut rencontrer sont :

- **Chaleur**.
- **Tuméfaction** des tissus mous.
- **Douleur à la palpation** de la région distale du tarse.
- **Epanchement synovial** de l'articulation tibio-tarsienne parfois présent lors de fracture de l'**os central du tarse** (du fait de la communication présente entre les articulations tibio-tarsienne et intertarsienne proximale), mais inhabituel pour les fractures de l'os tarsal III (39).

5.7.3.2.2 *Examen clinique dynamique*

Ces fractures causent des **boiteries modérées à sévères**, amplifiées lorsque le cheval est sur un cercle avec le **membre atteint à l'intérieur** et après réalisation d'une flexion du jarret. Un degré plus élevé de boiterie est attendu lors de fractures extrêmement comminutives (39) (110).

5.7.4 Examens complémentaires

5.7.4.1 *Anesthésies sémiologiques*

Des anesthésies intra-articulaires des articulations tibio-tarsienne, intertarsienne proximale et intertarsienne distale peuvent être utiles, mais la radiographie est nécessaire pour confirmer le diagnostic (110) (115).

5.7.4.2 Examens d'imagerie

✓ Radiographie

La fracture peut ne pas être visible avant **dix jours** après le traumatisme (en particulier si la fracture n'est pas déplacée), au moment où se produit la déminéralisation du trait de fracture. Une radiographie de contrôle à dix jours est donc conseillée afin de visualiser les proliférations périostées et la résorption osseuse (39) (110) (115).

Les vues standard sont réalisées :

- **Incidences DP et LM** : de nombreuses fractures peuvent être **identifiées** sur ces vues.
- **Incidence DMPLO** : elle est utile pour identifier les fractures et déterminer leur **localisation** précise.

Les fractures comminutives ou sagittales peuvent ne pas être visibles sur les vues standard, dans ce cas, des **vues obliques** supplémentaires peuvent être réalisées, incluant une vue **P25°L-DMO**. La réalisation de **vues obliques de 5 à 10°** de part et d'autre de l'angle normal peut parfois aider à révéler la fracture (39) (110).

La localisation et l'orientation précises des fractures semblent varier en fonction de (39) (115) :

- **La discipline** :

* De nombreuses fractures chez les **trotteurs** ne semblent **pas s'étendre à la surface articulaire distale**.

* Chez les chevaux de **Western** de haut niveau, le trait de fracture est généralement localisé dans une région plus **plantaire** des os central et tarsal III que chez les chevaux de course.

- **De l'os atteint** :

* **Os tarsal III** : les fractures sont le plus communément **dorsales ou dorso-latérales**. Les fractures de cet os sont souvent mieux visualisées sur la vue **DMPLO**.

* **Os central du tarse** : les fractures se situent le plus souvent sur la partie **dorso-médiale**. Les fractures de cet os sont souvent mieux visualisées sur la vue **LM**. Les fractures **comminutives** sont plus fréquentes dans cet os que dans l'os tarsal III et peuvent être localisées sur la face **plantaire**. Ces fractures peuvent être difficiles à identifier radiographiquement et la vue **DP** doit être examinée minutieusement afin de vérifier l'absence ou la présence d'une fracture sagittale. Lorsque la fracture est ancienne, des signes radiographiques d'**arthrose** peuvent être présents (39) (110) (115).

✓ Echographie

L'échographie permet d'identifier les fractures et de diagnostiquer des fêlures, des fractures non déplacées, des fractures comminutives, ou des fragments remis en place lors de fractures marginales.

Le **trait de fracture** apparaît sous la forme d'une **ligne hypo à anéchogène** à travers l'**os cortical**, qui permet au faisceau d'ultrasons de pénétrer l'os jusqu'à une certaine distance.

Un **épanchement synovial de l'articulation tibio-tarsienne** peut être visible lors de fracture de l'**os central** du tarse alors que ce n'est pas le cas pour les fractures de l'os tarsal III (115).

✓ Autres examens d'imagerie

La scintigraphie est utile chez les chevaux présentant une boiterie modérée ou bilatérale. Des fractures incomplètes ou bilatérales peuvent être identifiées. La scintigraphie nucléaire est précieuse dans les cas où la lésion n'est pas visible sur les radiographies (39).

Le scanner à rayons X peut être utilisé pour définir les plans de la fracture (115).

5.7.5 Traitement

5.7.5.1 *Traitement conservateur*

Il consiste en un **confinement** en box pendant **six à huit mois**.

Dans une étude, ce traitement a permis un retour à l'entraînement en huit mois chez 73 % des 45 galopeurs de course présentant une fracture de l'os central du tarse ou de l'os tarsal III. Dans un autre travail (86), 10 (71 %) des 14 trotteurs et 2 (33 %) des 6 galopeurs inclus dans l'étude sont retournés en course et ont fait au moins 5 départs, 4 (80 %) des 5 quarter horses sont retournés à leur niveau sportif d'origine après un traitement conservateur (39).

5.7.5.2 *Traitement chirurgical*

La plupart des études mettent en évidence que les résultats suite à la chirurgie sont excellents, puisque la grande majorité des chevaux retourne à son niveau d'origine.

Si le traitement chirurgical est choisi la sélection du cas est importante car de nombreuses fractures de l'os central du tarse présentent des **traits de fracture cachés** pouvant être **déplacés** par inadvertance lors de la réduction de la fracture.

Une **vis**, ou deux, doit être placée en utilisant un guidage radiographique ou fluoroscopique. L'utilisation d'une vis à compression canulée d'Herbert a été rapportée. Les chevaux avec des fragments qui sont trop petits pour être fixés, ou ceux présentant une fracture chronique de l'os tarsal III ayant entraîné une arthrose des articulations intertarsienne distale ou tarso-métatarsienne, peuvent être traités avec des **forages articulaires** afin de faciliter l'**arthrodèse** de ces articulations. Le **retour au travail** peut généralement se faire **quatre à six mois** après la chirurgie mais prend parfois plus de temps. Certaines fractures comminutives sont impossibles à traiter chirurgicalement (39) (110).

5.7.6 Pronostic

Il dépend de la détection de l'ensemble des traits de fracture présents, en particulier pour les fractures de l'os central du tarse. Les fractures de l'**os tarsal III** sont de meilleur **pronostic** que celles de l'**os central du tarse**, car ces dernières sont souvent **comminutives** ou accompagnées du développement d'**arthrose** de l'articulation tibio-tarsienne.

Le pronostic est fonction du type de fracture et de la mise en place d'un traitement adapté, il peut être favorable à mauvais. Il serait meilleur avec le traitement chirurgical.

Le succès de la chirurgie ne semble pas diminuer avec le temps d'attente précédent sa réalisation, il est tout de même préconisé d'opérer le plus précocement possible, afin que la réduction de la fracture soit satisfaisante et que la probabilité d'apparition de lésions dégénératives secondaires soit minimisée (110).

5.8 Fractures du talus

(39) (40) (110) (115)

5.8.1 Définition

Ces fractures sont rares, habituellement **non déplacées** et peuvent être difficiles à diagnostiquer. Elles sont rencontrées le plus souvent chez des chevaux de course trotteurs et galopeurs, mais peuvent exister chez tout type de chevaux (39).

Les lèvres de la trochlée sont souvent fracturées suite à un traumatisme direct : la partie **proximale de la lèvre médiale** est principalement exposée quand le membre est fléchi et la partie **distale de la lèvre latérale** est exposée quand le membre est en extension (110). Chez les chevaux de course, les fractures prennent le plus souvent leur origine sur la partie proximale de la gorge de la trochlée du talus et sont souvent incomplètes (39).

5.8.2 Signes cliniques

5.8.2.1 Anamnèse

Un historique de **boiterie chronique** modérée, devenue **aiguë** lors d'une épreuve, peut être rapporté (en particulier chez les chevaux de course). Dans d'autres cas l'apparition de la **boiterie** ayant motivé la consultation est **associée au traumatisme** responsable de la fracture.

5.8.2.2 Examen clinique

Les fractures sagittales ou comminutives peuvent être difficiles à diagnostiquer de par l'absence de tuméfaction des tissus mous et l'**épanchement parfois discret de l'articulation tibio-tarsienne** (115). La boiterie est en général **modérée à sévère** et la **flexion** du jarret est **positive** (39) (110).

5.8.3 Examens complémentaires

5.8.3.1 Anesthésies sémiologiques

L'anesthésie intra-articulaire peut améliorer la boiterie mais ne la supprime en général pas complètement et diminue, en principe, la réponse à la flexion.

5.8.3.2 Examens d'imagerie

✓ Radiographie

La radiographie est nécessaire pour établir le diagnostic de certitude. Cependant, elle ne permet pas toujours d'identifier la fracture. Les vues **DP** ou **légèrement obliques** sont les vues les plus intéressantes (110).

- **Partie distale de la lèvre latérale de la trochlée du talus**

Les fragments doivent être différenciés de **lésions d' OCD** qui sont plus fréquentes que les fractures (110) (115).

- **Partie proximale de la lèvre médiale de la trochlée du talus**

Les fragments apparaissent en général sur les vues standard mais sont souvent superposés au tibia ou au talus. Les vues **LM fléchie, Pl.-Prox. Pl.-Dist.** ou **DLPMO** peuvent permettre de mieux visualiser la lésion. Les fractures de la partie distale de cette lèvre sont **très rares**, mais peuvent néanmoins exister, certains auteurs pensent cependant que les **productions osseuses** et les **petits fragments** parfois retrouvés dans cette localisation sont en réalité des trouvailles radiographiques extra-articulaires et **non significatives** (110) (115).

✓ Autres examens d'imagerie

La scintigraphie, le scanner à rayons X et l'IRM sont aussi utilisables (115).

5.8.4 Traitement

- **Fractures sagittales incomplètes du talus** : le **traitement conservateur** est envisageable. Dans une étude, onze chevaux ont suivi un traitement conservateur avec au minimum un mois de repos en box suivi par des sorties dans un paddock de petite taille, des informations sur le suivi étaient disponibles pour huit de ces chevaux. Sept de ces derniers sont retournés en course (avec des performances améliorées pour trois chevaux, égales pour un et diminuées pour trois autres) dans les sept à huit mois suivant la blessure (40).

- **Fractures complètes** : elles sont traitées par la mise en place de **vis à compression** (39) ou par un **retrait des fragments** par arthroscopie (abord plantaire pour les lésions de la partie proximale de la lèvre médiale ou classique pour les lésions distales de la lèvre latérale) (110).

- **Fractures comminutives** : elles sont **souvent irréparables** et l'arthrose et/ou l'instabilité secondaire peuvent rendre l'euthanasie du cheval inévitable (110).

Il est important de toujours vérifier avant la chirurgie l'intégrité des **ligaments collatéraux** lors de traumatismes au niveau du tarse. En effet, en cas d'atteinte de ces ligaments des **luxations articulaires** sont très susceptibles de se produire lors du **réveil** (110).

5.8.5 Pronostic

Il est **favorable** chez les chevaux avec des **fractures simples et aiguës**, lorsque les tissus mous ne sont pas trop lésés et qu'aucune lésion d'arthrose n'est visible. Il est en revanche **mauvais** lors de fractures **comminutives** (39) (110).

5.9 Fractures du calcanéus

(39) (110)

5.9.1 Définition

Les zones touchées sont chez le jeune la **plaque de croissance** et chez l'adulte le **corps du calcanéus** et le **sustentaculum tali**.

Dans la plupart des cas, la cause est un **traumatisme externe** (coup dans un objet solide ou coup de pied d'un autre cheval) ou la survenue d'une **blessure pénétrante** (110).

5.9.2 Signes cliniques

On note en général une apparition **aiguë** des signes cliniques avec cause traumatique rapportée ou de cause inconnue, avec ou sans plaie apparente. La **boiterie** est **marquée**.

- **Les fractures de la plaque de croissance** chez les poulains et les **fractures du corps de l'os** chez l'adulte sont faciles à diagnostiquer à cause de la perte considérable de la **fonction du muscle gastrocnémien** qui en résulte. Ces fractures sont assez souvent **ouvertes**.

- Les **fractures en copeau** impliquant la partie plantaire du calcanéus peuvent être difficiles à diagnostiquer à moins qu'une **tuméfaction** des tissus mous ou un **trajet fistulaire** secondaire à la formation d'un **séquestre** ne soit présent.

- Les **fractures du sustentaculum tali** peuvent entraîner une abrasion du tendon fléchisseur profond du doigt et la gaine tendineuse peut subir une calcification dystrophique. Une **ténosynovite de la gaine tarsienne** et une **tendinite du fléchisseur profond** peuvent donc apparaître secondairement. Des **infections** compliquent parfois la situation (110).

5.9.3 Examens complémentaires

5.9.3.1 Examens d'imagerie

✓ Radiographie

Le diagnostic est confirmé par radiographie. La réalisation des vues **LM fléchies** et **PI-Prox. PI-Dist.** est recommandée en plus de celle des **vues standard** (39).

Les fractures du calcanéus sont relativement rares. Il peut s'agir de fractures du :

- **Tuber calcanei** : en copeau, complète ou épiphysaire chez les poulains.

- **Sustentaculum tali** : le fragment peut être déplacé dorsalement à cause de la traction exercée par le tendon du muscle gastrocnémien. Les lésions du sustentaculum tali apparaissent sur les vues **LM** ou **DMPLO**. Cependant la surface de glissement est mieux visualisée sur une vue **PI-Prox. PI-Dist.** Certaines blessures du sustentaculum tali résultent en un séquestre osseux ou une ténosynovite septique (110).

✓ Echographie

Elle permet d'établir le pronostic et de prédire les lésions susceptibles d'être trouvées lors de l'arthroscopie (110).

5.9.4 Traitement

- **Fractures en copeau** : **exérèse chirurgicale non nécessaire** sauf si le fragment entre dans l'articulation tibio-tarsienne ou évolue en séquestre osseux et qu'il est accessible chirurgicalement.

- **Fracture à travers le tuber calcanei** : la réduction et la stabilisation de ces fractures sont parfois délicates. Les chevaux peuvent être traités avec succès grâce à la **pose de plaques**, en utilisant le principe des bandes de tension. La plaque est placée sur la partie plantaro-latérale ou latérale du calcaneus, sous le tendon du muscle fléchisseur superficiel du doigt afin de neutraliser les forces de distraction. L'immobilisation du membre est assurée par la pose d'un plâtre comprenant la jambe entière. Certains auteurs préconisent à terme un retrait du matériel d'ostéosynthèse afin de rétablir la mobilité de la région tarsienne. Le traitement chirurgical peut également associer un **système de fixateur interne** et un **système de coaptation externe**. Les traitements conservateurs sont inefficaces dans la grande majorité des cas.

- **Fractures de la plaque de croissance** : **rare**, il est difficile de mettre en place une vis (compte tenu de la structure majoritairement cartilagineuse du tuber calcanei, ce dernier est incapable de supporter la distraction provoquée par la vis). Il est possible d'utiliser une **plaque façonnée** ou **recourbée** pour recouvrir le tuber calcanei. Une **attelle** améliore la stabilité.

- **Fractures du sustentaculum tali** : le traitement doit aboutir à une **surface lisse** afin de prévenir l'apparition de **lésions tendineuses** et les **synovites** récurrentes. Quand une lésion de la surface de l'os ou une infection sont exclues, l'injection d'**anti-inflammatoires** en intra-articulaire est intéressante.

- **Fractures ouvertes comminutives** : l'**euthanasie** doit être conseillée.

Si la fracture est **ouverte** et **aiguë** le traitement est une **urgence**. Il consiste en un débridement des lésions osseuses et des lésions de la gaine tendineuse, les lésions septiques doivent être nettoyées et rincées. La chirurgie peut être ouverte ou se faire sous téno-scopie (39) (110).

5.9.5 Pronostic

- **Fracture en copeau** : **bon à réservé** (selon la taille du fragment osseux, sa localisation (intra versus extra-articulaire) et son évolution en séquestre).

- **Fracture de la plaque de croissance ou fracture traversant le corps** : le pronostic est **médiocre** pour un retour vers une fonction complète. Le pronostic dépend de la réussite de la stabilisation des fragments lors de la chirurgie. Compte tenu de la traction exercée par le muscle gastrocnémien, le traitement conservateur est impossible pour les fractures instables.

- **Canal tarsien** : **réservé à mauvais** en fonction des lésions se développant dans le canal. De bons résultats sont parfois obtenus.

- **Fracture chronique** : le pronostic est **mauvais** (110).

5.10 Fractures des malléoles du tibia

(24) (39) (110) (115)

5.10.1 Définition

Quelques rappels (Cf. Partie 3 « Anatomie du jarret » pour plus de détails) :

Les **ligaments collatéraux latéraux** prennent leur origine sur la malléole latérale, juste plantairement à la gorge pour le tendon du muscle **extenseur latéral du doigt**. Seule une **petite portion de la malléole latérale est intra-articulaire**, en conséquence la plupart des fragments de fractures sont localisés au sein de la capsule articulaire et des ligaments collatéraux.

Les fractures des malléoles touchent principalement la **malléole latérale**, ces fractures sont traumatiques ou associées à une avulsion des ligaments collatéraux.

- Chez les chevaux de course : les **fractures de stress** sont communes et peuvent occasionnellement impliquer le tibia distal. Si la fracture s'étend et devient comminutive elle peut devenir articulaire.

- Chez tout type de chevaux : les **fractures intra-articulaires** très comminutives du tibia distal sont souvent causées par des traumatismes violents (coup de pied, chute grave, accident de la voie publique). Les **fractures d'avulsion** de la malléole médiale et de la malléole latérale peuvent se produire en même temps que des lésions des ligaments.

- Chez les poulains : les fractures de la plaque de croissance de type Salter-Harris II sont les plus fréquemment rencontrées au niveau du tibia, les fractures des malléoles sont plus rares (24) (39) (115).

5.10.2 Signes cliniques

Les chevaux présentent une **boiterie modérée** et une **distension de l'articulation tibio-tarsienne**. Environ 50 % des chevaux ont également une tuméfaction péri-articulaire, un épaissement du ligament collatéral et une douleur à la palpation de la malléole lésée (39) (110).

5.10.3 Examens complémentaires

5.10.3.1 Examens d'imagerie

✓ Radiographie

* La **vue DP** permet de visualiser la fracture dans tous les cas, la **vue DMPLO** le permet dans 75 % des cas (115).

* Sur les radiographies, un ou plusieurs **fragments osseux nets** et séparés sont visibles sur la partie latérale ou médiale de la rangée proximale du tarse, à proximité de la malléole fracturée, qui présente une lésion osseuse. La **malléole latérale** est la plus souvent atteinte (24).

* La taille et la forme du fragment, le défaut de l'os, la forme de la malléole fracturée, l'anamnèse et les signes cliniques peuvent aider à différencier la fracture d'une lésion d'ostéochondrose (24).

* La présence de **néoformations périostées** sur la partie crâniale du tibia semble être reliée à la chronicité de l'affection (115).

✓ Echographie

L'évaluation **échographique** est utile pour déterminer la **localisation de la fracture** dans un plan sagittal et pour identifier une **desmite collatérale** concomitante (39).

5.10.4 **Traitement**

Les **fractures de petite taille ou très discrètement déplacées** peuvent être prises en charge grâce à un **traitement conservateur**, bien qu'un retrait chirurgical semble permettre d'obtenir, dans certains cas, une guérison plus rapide.

La réalisation d'une **arthroscopie** permet d'explorer l'articulation tibio-tarsienne, d'ôter tous les débris et de **retirer** si possible certains fragments. Si le fragment est de taille adéquate, une fixation par vis à compression peut être utilisée.

Un **repos en stalle de six mois**, avec un **suivi radiographique**, est recommandé que le cheval subisse une chirurgie ou suive un traitement conservateur.

Une injection intra-articulaire de **hyaluronate de sodium** est indiquée pour contrôler la synovite si un épanchement synovial est présent.

L'état des **ligaments collatéraux** doit impérativement être évalué avant la chirurgie car si ces derniers sont lésés, l'anesthésie générale (en particulier lors du réveil) peut entraîner une **luxation articulaire** catastrophique. Afin de prévenir ce type de complication, un plâtre peut être utilisé pour protéger le membre, ou la chirurgie peut être repoussée le temps que les tissus mous cicatrisent (39) (110).

- **Malléole médiale**

C'est la malléole la moins souvent atteinte, le fragment a tendance à être suffisamment large pour être traité avec une **fixation par vis à compression**. La surface articulaire doit être reconstruite consciencieusement pour éviter le développement d'arthrose. Du moment que la stabilité est bonne, une parfaite réduction du reste du trait de fracture est moins critique.

Un contrôle par radiographie ou fluoroscopie du placement de la vis est important pour éviter le contact de la lèvre médiale de la trochlée du talus avec le matériel. Si les complications présentées sont évitées, le retour à la normale est possible. La plus grande partie de la malléole médiale se trouve dans l'articulation tibio-tarsienne et est accessible par arthroscopie pour le **retrait des plus petits fragments**.

- **Malléole latérale**

Elle est largement investie dans la **capsule articulaire** et le **ligament collatéral**, la portion intra-articulaire est limitée à l'actuelle surface articulaire. La plupart des fractures affectent la **partie la plus dorsale**, là où le ligament collatéral court s'insère. Quand les fragments sont

petits ou **comminutifs**, leur **retrait** est indiqué. Les lésions les **plus caudales** nécessitent une dissection à travers le ligament collatéral. Cependant le ligament collatéral et certains fragments peuvent se **rétracter dans les tissus mous** péri-articulaires, ce qui rend leur **exérèse** chirurgicale **inutile** voire déconseillée (110).

La réalisation d'un **contrôle radiographique per ou post-chirurgical** est utile et un suivi régulier après la chirurgie est nécessaire car :

- Les fragments osseux peuvent ralentir la cicatrisation des fibres du ligament collatéral au niveau du site de fracture.
- Les fragments de petite taille, réparés par fixation interne, peuvent se séparer durant la convalescence et nécessiter leur retrait au cours d'une seconde chirurgie (110).

5.10.5 Pronostic

Que le traitement soit conservateur ou chirurgical, **le pronostic est bon** (39).

Une étude rapporte un retour de 50 % des chevaux à leur niveau antérieur lors de réparation de fractures de la malléole latérale avec fixateur interne. De bons résultats ont été obtenus après le retrait de fragments de relativement petite taille. La taille du fragment, l'intégrité des structures et la capacité de réparation doivent être prises en compte. La persistance d'une distension tibio-tarsienne après un traitement aux anti-inflammatoires indique souvent le besoin d'effectuer une exploration arthroscopique (110).

5.11 Luxations articulaires

(39) (46) (82) (93) (115)

5.11.1 Définition

Quelques rappels :

- **Luxation** : séparation complète des surfaces articulaires.
- **Subluxation** : séparation incomplète ou partielle des surfaces articulaires.
- **Entorse** : atteinte articulaire dans laquelle certaines fibres d'un ou plusieurs ligaments supportant l'articulation sont déchirées, sans perte de continuité des ligaments.

Une luxation complète ou une subluxation de l'articulation **tibio-tarsienne**, **intertarsienne proximale** ou **tarso-métatarsienne** peut exister avec ou sans fracture associée. L'articulation **intertarsienne distale** est peu susceptible de se luxer compte tenu de la présence de l'os tarsal IV (dont la hauteur est égale à la hauteur cumulée des os central du tarse et tarsal III) qui la consolide. Un cas, au moins, rapporte cependant l'existence d'une **subluxation de l'articulation intertarsienne distale** chez un poney de 19 ans avec atteinte probable du ligament collatéral médial (39) (46) (115).

5.11.2 Etiologie

Les luxations du tarse se produisent le plus souvent lorsque le cheval reçoit un **coup de pied** d'un autre cheval, ou qu'il **se coince le membre** dans des objets fixes ou des anfractuosités (trous, barrières...) (39).

5.11.3 Signes cliniques

Les luxations causent une **boiterie sévère** avec **suppression d'appui** et peuvent entraîner une **déviations anormale du membre** au niveau du tarse. Des crépitations peuvent être présentes, associées à une fracture, et la palpation révèle une **instabilité de l'articulation** luxée (39).

5.11.4 Examens complémentaires

5.11.4.1 Examens d'imagerie

✓ Radiographie

Le diagnostic est confirmé par la radiographie. Lorsque les vues standard ne révèlent pas d'anomalie et qu'une mobilité anormale de l'un des segments du membre est détectée à

l'examen clinique, des radiographies de stress doivent être réalisées. Des vues **DP** obtenues avec une **traction latérale ou médiale** du membre sont en effet conseillées afin de confirmer la présence de la luxation et d'évaluer sa sévérité (39).

✓ Echographie

L'échographie permet l'**évaluation des ligaments**. Les luxations des articulations intertarsienne proximale et tarso-métatarsienne sont associées à des **lésions des ligaments** et/ou des **fractures** du tarse et du métatarse. Les séquelles post-réduction incluent la présence de **fibrose** péri-articulaire, d'**entésophytes**, d'**arthrose** et d'**ankylose** (115).

5.11.5 **Traitement**

Trois options de traitement sont couramment décrites :

- **Réduction fermée avec immobilisation** (plâtre) : le traitement consiste à réduire la luxation sous anesthésie générale et à la stabiliser avec un plâtre recouvrant l'ensemble de la jambe (s'étendant du pied à la tubérosité tibiale).

- **Réduction ouverte, débridement des surfaces articulaires (greffe osseuse possible), puis immobilisation.**

- **Réduction ouverte, débridement des surfaces articulaires, fixation interne puis immobilisation.** Cette technique diminuerait la douleur et la durée de convalescence. Une fixation interne n'est généralement pas nécessaire sauf lors de la présence d'une fracture concomitante ou de lésions étendues et sévères du ligament collatéral.

Le traitement conservateur est le traitement le plus souvent utilisé (à condition que des lésions coexistantes ne rendent pas la chirurgie nécessaire). Une luxation avec des ligaments collatéraux intacts et fonctionnels peut être difficile à **réduire**, mais les manipulations peuvent être facilitées en fléchissant le membre.

Programme d'immobilisation du membre :

Le **plâtre** est laissé en place pendant **quatre à six semaines** si les ligaments collatéraux sont intacts et pendant **six à huit semaines** s'ils sont rompus. Au retrait du moulage, le membre est placé dans un **épais bandage de coton** associé à des **attelles** pendant encore **quatre à six semaines**. Passé ce délai, les sorties sont autorisées **dans un petit paddock** (39) (46).

D'après deux études (une portant sur un cheval et l'autre sur six chevaux), sur sept chevaux souffrant de luxations (3 intertarsiennes proximales, 3 tarso-métatarsiennes, 1 tibio-tarsienne) et ayant suivi un traitement conservateur, tous sont retournés à une activité soit de travail léger, soit de pâture, soit d'élevage. L'issue n'est *a priori* pas affectée par la présence de fractures tarsiennes. Tous les chevaux ont présenté une diminution de l'amplitude des mouvements et de l'arthrose empêchant le retour à une activité sportive sans boiterie (39) (82) (93).

Traitement mis en place pour le poney présentant une subluxation de l'articulation intertarsienne distale :

- Réduction fermée de la luxation et mise en place d'un plâtre sur toute la hauteur du membre, sous anesthésie générale. Administration de phénylbutazone PO BID à 3 mg/kg pendant 7 jours puis SID pendant 7 jours supplémentaires.

- Retrait du plâtre au bout de 4 semaines, réalisation d'une radiographie de contrôle révélant une diminution de la luxation. Remise d'un plâtre.
- Retrait du deuxième plâtre 4 semaines plus tard. Luxation non visible cliniquement et radiographiquement. Présence d'une légère tuméfaction du jarret et d'une boiterie de grade 3/5. Bandage du membre entier avec attelle latérale (allant du sol au tuber coxae) pendant une semaine, la boiterie diminue ensuite à un grade 2/5.
- Confinement strict en stalle pendant 5 semaines.
- Petit paddock pendant 4 semaines.
- Puis retour progressif à l'exercice.
- Sept mois plus tard : aucune boiterie n'est présente, le poney a retrouvé son niveau sportif antérieur (poney de loisir) (46).

5.11.6 Pronostic

Le pronostic pour les chevaux avec luxation de l'articulation **intertarsienne proximale** ou **tarso-métatarsienne** est raisonnablement **bon** pour une **vie saine en pâture**.

Le pronostic est **réservé** pour les luxations de l'articulation **tibio-tarsienne** du fait de la difficulté qui existe à les réduire et de l'impact clinique important de l'arthrose secondaire qui peut se développer (39) (46).

5.12 Atteintes des ligaments collatéraux

(25) (39) (97) (110) (115)

5.12.1 Définition

Quelques rappels (Cf. 3.3 « Arthrologie du jarret ») :

Les ligaments collatéraux **médial** et **latéral** s'insèrent respectivement sur les **malléoles** médiales et latérales du tibia. Chaque ligament est composé **d'un faisceau long** et de **trois faisceaux courts**.

Le ligament court médial s'insère sur la partie médiale du **talus**.

Le ligament long médial s'insère sur l'**os tarsal I+II**, sur la partie proximale des **métatarsiens II et III**, sur la tubérosité distale du **talus** et sur la face médiale de l'**os tarsal III** (97).

Les ligaments collatéraux empêchent l'extension complète de l'articulation tibio-tarsienne (39). Lors de **traumatismes** (coups) ou de **faux mouvements** (dépassant les limites physiologiques de l'articulation) les ligaments peuvent être lésés de façon plus ou moins importante et conduire à l'apparition d'une **entorse**. Ces atteintes sont susceptibles de survenir chez tout type de chevaux. En règle générale les **ligaments longs** sont plus souvent touchés que les courts et le **ligament long médial** est plus fréquemment atteint que le ligament long latéral (110).

Petit aparté sur les entésopathies des ligaments collatéraux

- Il s'agit d'une affection **rare**, plus fréquente chez les **chevaux de course** trotteurs et surtout ambleurs.

- Le **ligament collatéral long** est plus couramment atteint que le ligament collatéral court.

- Une **tuméfaction** discrète et localisée des tissus mous, ainsi qu'une **distension de l'articulation** tibio-tarsienne, peuvent être présentes.

- La boiterie est améliorée par l'**anesthésie** de l'articulation tibio-tarsienne.

- Le diagnostic est généralement permis par l'examen **scintigraphique** qui montre une prise de produit radiopharmaceutique intense au niveau de la partie latérale du calcaneus. Un **enthésophyte** est habituellement identifiable sur les radiographies.

- Des injections locales d'acétate de **méthylprednisolone** peuvent permettre une amélioration mais le traitement de choix reste le **repos** (39).

5.12.2 Etiologie

Une atteinte des ligaments collatéraux est en général provoquée par un **traumatisme** ou une **chute** (39). Une **torsion** ou une **hyperextension** du membre peuvent conduire à une **entorse** au niveau du jarret et à une boiterie sévère (25).

- **Mouvements d'abduction/adduction**

* Lorsque la tension excessive se fait en **valgus**, le **ligament collatéral médial** est affecté.

* Lorsqu'elle se fait en **varus**, le **ligament collatéral latéral** est atteint.

- **Mouvements de flexion/extension**

* Lorsque le membre est **étendu**, les ligaments sont sous **tension maximale**, le risque d'atteinte de ces derniers est donc augmenté.

* Lorsque le membre est **en flexion** : l'obliquité de l'angle de la trochlée cause une **rotation externe du talus**, ainsi malgré un **certain relâchement** des ligaments au cours de cette dernière, le **ligament long médial reste plus sous tension** que le ligament long latéral, cela peut expliquer le fait que ce premier soit le plus souvent affecté. Par ailleurs le ligament collatéral long médial est un **peu plus faible** et probablement moins résistant que le ligament collatéral long latéral.

Les ligaments collatéraux **longs** semblent donc être plus sensibles que les courts et le côté **médial** et plus souvent atteint. Une particularité existe chez les **chevaux de course trotteurs** chez lesquels c'est le **ligament collatéral long latéral** qui est le plus fréquemment lésé au cours de l'entraînement. Il est supposé que c'est l'alternance de mise sous tension/relâchement à grande vitesse à l'origine d'un stress répété au niveau du ligament qui favoriserait l'apparition des lésions (110).

5.12.3 Signes cliniques

Il y a souvent une **distension de la capsule articulaire** de l'articulation tibio-tarsienne et une **tuméfaction** des tissus mous péri-articulaires. La pression de la région atteinte peut être douloureuse. La **boiterie** peut être modérée à sévère avec parfois une suppression d'appui. En général la **flexion du membre** (qui est parfois limitée) aggrave la boiterie (39) (110).

5.12.4 Examens complémentaires

5.12.4.1 *Anesthésies sémiologiques*

Les anesthésies locorégionales ne sont en principe pas nécessaires pour localiser le problème. L'anesthésie intra-articulaire tibio-tarsienne améliore la boiterie chez certains chevaux (39).

5.12.4.2 *Examens d'imagerie*

✓ Radiographie

- **Lors de blessures aiguës, les lésions ne sont pas visibles** sur les radiographies, cependant après **six à huit semaines** (parfois dès quatre semaines) des **entésophytes** se développent à l'origine et au niveau de l'enthèse des ligaments lésés.

- **Des radiographies ultérieures peuvent révéler :**

* Le développement d'une **affection dégénérative articulaire** dans les articulations intertarsienne distale et tarso-métatarsienne, probablement à cause d'une instabilité articulaire.

* Une **réponse périostée** au niveau de l'attache des ligaments, qui peut être de forme variée (en rayons de soleil, en bâton aiguisé ou émoussé).

- Les lésions des ligaments collatéraux peuvent aussi être associées à des **fractures d'avulsion** des malléoles ou d'autres sites où ils s'insèrent. Ces atteintes sont bien mises en évidence par la vue **DP** (39) (115).

✓ Echographie

Elle permet d'évaluer les **parties courtes et longues** des ligaments collatéraux et peut être utilisée pour identifier les **structures atteintes** et estimer la sévérité des lésions. Elle permet également d'identifier les **entésophytes** ou les **fragments avulsés** et de déterminer leur **localisation** (intra versus extra-articulaire). Une sonde linéaire de 10-MHz et un pad permettent d'optimiser la qualité des images. La sonde doit être maintenue bien perpendiculaire aux fibres afin d'obtenir la meilleure image possible. Etant donné que les deux portions du ligament ne sont pas dans le même plan, leur évaluation doit se faire de façon séparée.

- **Les lésions visibles sont :**

- * Tuméfaction des tissus mous péri-ligamentaires.
- * Epaissement des ligaments.
- * Diminution diffuse de l'échogénicité des ligaments.
- * Altération de l'organisation fibrillaire des ligaments.
- * Discrètes lésions hypoéchogènes (moins souvent) au sein des ligaments (39) (97) (115).

✓ Scintigraphie

La scintigraphie nucléaire est utile chez les chevaux présentant des lésions modérées car une intense **prise de produit radiopharmaceutique focale** est visible au niveau des sites d'attache du ligament atteint. Elle permet ainsi de détecter les lésions précoces et de déterminer si les changements osseux observés à la radiographie sont actifs ou non (39) (115).

5.12.5 **Traitement**

Le traitement initial inclus du **repos** en box, des **hydrothérapies** à l'eau froide, des applications locales de **diméthylsulfoxyde** (DMSO) avec ou sans **AIS** et des **AINS**. Une période de repos d'au moins **six mois**, suivie d'un retour progressif au travail, est conseillée (39).

Exemple de traitement pouvant être mis en place lors de blessure aiguë

- AINS pendant 10 à 14 jours.
- Thérapie par le froid : bandages avec des poches d'eau glacée (20 minutes TID pendant 24 h).
- Application locale de DMSO et de furacine lorsque la chaleur a diminué.
- Injection intra-articulaire de hyaluronate de sodium en cas de distension articulaire.
- Repos strict et bandage de soutien ou attelle pendant au moins 30 à 90 jours (selon résultats des contrôles échographiques). Une diminution progressive du degré d'immobilisation permet d'augmenter peu à peu le stress appliqué sur les ligaments. L'immobilisation doit être continuée tant qu'une tuméfaction est visible.

Lors de suspicion de l'existence de lésions intra-articulaires

La réalisation d'une arthroscopie est indiquée. Cependant lors du réveil une luxation complète de l'articulation peut survenir, il est donc conseillé de contrôler médicalement la synovite le temps que les tendons cicatrisent suffisamment et que la chirurgie puisse être faite. Si la

chirurgie ne peut pas être repoussée, l'utilisation d'un plâtre lors du réveil est fortement recommandée.

Conséquences de cette affection

L'instabilité et la synovite peuvent conduire à l'apparition d'arthrose secondaire et le retour trop précoce au travail peut entraîner une nouvelle atteinte du ligament (110).

5.12.6 Pronostic

Le pronostic dépend de la **sévérité des lésions** (39). Le pronostic avec un traitement conservateur est **favorable**, à condition que le fragment de la fracture ne présente pas une grosse partie intra-articulaire ou ne soit pas déplacée. Dans ces derniers cas, la chirurgie doit être envisagée (25).

5.13 Desmite proximale du ligament suspenseur du boulet

(47)

5.13.1 Définition

Le **muscle interosseux** ou **ligament suspenseur du boulet (LSB)** est fréquemment lésé chez les chevaux de sport et en particulier au niveau de **son tiers proximal** ou de ses branches. Ici **seule l'atteinte proximale** est envisagée, puisque seules des lésions présentes au niveau de l'insertion de la partie proximale du LSB peuvent être suspectées sur une radiographie du jarret. Les lésions peuvent concerner le **ligament** uniquement, **son enthèse** ou bien **les deux**.

Les ligaments suspenseurs des boulets antérieurs et postérieurs peuvent être touchés, cependant certaines caractéristiques diffèrent entre ces deux types d'atteinte. On ne s'intéressera ici qu'aux lésions présentes sur les membres postérieurs.

Cette affection est retrouvée chez des chevaux de **toute discipline** et de **tout âge**, mais elle est plus fréquemment rencontrée chez les chevaux de **dressage**. Les chevaux qui présentent un **jarret droit** et/ou une **hyperextension du boulet** sont prédisposés. L'hyperextension métatarso-phalangienne peut également se développer secondairement à une desmite du LSB, en particulier chez les chevaux présentant des lésions dégénératives progressives du LSB. La possession d'une **longue pince** et d'un **talon bas** serait également un facteur prédisposant, particulièrement si cette conformation est associée à une **mauvaise orientation de la phalange distale** (partie plantaire plus basse que la pointe).

5.13.2 Signes cliniques

5.13.2.1 Anamnèse

Les chevaux atteints présentent une **boiterie** d'apparition **aiguë** ou **insidieuse**, **légère** à **sévère**, **unilatérale** ou **bilatérale**. Parfois le motif de consultation est une simple **diminution de performance** et non une boiterie franche. Lors d'atteinte des postérieurs, **la boiterie peut persister et rester sévère** malgré une mise au **repos** stricte. On suppose que cette persistance est liée à la présence d'un syndrome compartimental qui entraîne la **compression des nerfs métatarsiens plantaires** adjacents.

Les propriétaires peuvent rapporter une **perte d'impulsion** des postérieurs, une **mauvaise volonté à se porter vers l'avant**, une **raideur**, un comportement de **résistance**, une **perte de puissance** et/ou des **refus** à l'obstacle, des **difficultés à effectuer certains mouvements** de dressage, de **mauvaises performances à haute vitesse** chez les chevaux de western, ou encore un **comportement de fuite** (emballement).

Bien que la boiterie puisse être très subtile, l'effet peut être considérable sur l'**équilibre** du cheval, la **qualité des allures** et les **mouvements du dos**.

Compte tenu du caractère chronique de certaines lésions lors de leur identification et de l'observation de changements radiographiques secondaires chez des chevaux sains, il est supposé que certaines **lésions** sont **subcliniques**, ou associées à une **boiterie de faible grade** et donc non détectées.

La prévalence des **atteintes bilatérales** est supérieure au niveau des postérieurs que des antérieurs.

5.13.2.2 *Examen clinique*

5.13.2.2.1 *Examen clinique statique*

Chez les chevaux avec atteinte **aiguë**, une **chaleur**, une **tuméfaction** et une **douleur** à la palpation peuvent être présentes. Cependant la plupart du temps **aucun signe local** n'est observé. Les branches du LSB doivent être inspectées minutieusement car des atteintes concomitantes surviennent parfois.

5.13.2.2.2 *Examen clinique dynamique*

Au pas, une **extension réduite de l'articulation du boulet** peut être présente, à moins que l'intégrité du LSB ne soit sévèrement compromise auquel cas une hyperextension du boulet peut exister. On observe souvent une **diminution de la hauteur de la foulée** et le cheval laisse parfois traîner sa pince au sol de façon intermittente. La **phase antérieure de la foulée** peut être **raccourcie**. La boiterie peut être accentuée par des **flexions** du membre.

Les **lésions bilatérales** résultent en une action médiocre des postérieurs avec **perte d'impulsion** et de **l'engagement** plus qu'une boiterie nette et peuvent compromettre les mouvements du cheval dans son ensemble.

La boiterie peut être **aggravée sur cercle à la longe** mais le côté n'influe pas forcément (au contraire des antérieurs). La boiterie est fréquemment aggravée (voire parfois détectée) lorsque **le cheval est monté** et en particulier lorsque le cavalier s'assied sur le diagonal du membre atteint. Bien que les atteintes du LSB puissent entraîner des **raideurs au niveau du dos** se résolvant lors du traitement de la desmite du LSB, certains chevaux développent des **problèmes secondaires** au niveau de **l'articulation sacro-iliaque** ou de la **région thoracolombaire** et une douleur peut apparaître, associée à des lésions préexistantes de chevauchements des processus épineux dorsaux.

5.13.3 **Examens complémentaires**

5.13.3.1 *Anesthésies sémiologiques*

Les anesthésies **péri-nerveuses des nerfs plantaires** et **plantaires métatarsiens** (anesthésie métatarsienne proximale) peuvent permettre d'améliorer la boiterie.

De faux positifs existent à cause de la **diffusion de l'anesthésique** et le risque est augmenté si les injections sont réalisées un peu **trop proximement**. Une **quantité** d'anesthésique la plus faible possible doit donc être utilisée et la boiterie doit être évaluée dans les **cinq à dix minutes** suivant l'injection afin de limiter l'apparition d'un faux positif.

La boiterie est en général **améliorée** après l'anesthésie, soit de la **branche profonde du nerf plantaire latéral** distalement au tarse, soit par **infiltration axiale locale aux os métatarsiens II et IV**, mais peut ne pas être totalement supprimée.

Des faux négatifs peuvent être obtenus lors d'injection dans la **gaine tarsienne** ou la **capsule** de l'articulation tarso-métatarsienne.

Théoriquement **cette anesthésie n'abolit pas les douleurs osseuses** au niveau de l'insertion du ligament, cependant en plaçant l'aiguille dans une direction dorsale et en infiltrant le plus profondément possible, une douleur à ce niveau peut potentiellement être éliminée.

Une anesthésie juste en dessous du tarse, **peut améliorer les douleurs de l'articulation tarso-métatarsienne** et inversement une anesthésie intra-articulaire de cette dernière **peut diminuer la douleur associée à une desmite proximale du LSB**.

Pour faire la différence, il peut être intéressant de faire :

- Une **comparaison** de la réponse à ces deux anesthésies.
- Une **anesthésie péri-nerveuse du nerf tibial seul** car celle-ci soulage la douleur causée par une desmite du LSB sans modifier la douleur tarsienne.

Cependant la distinction est parfois équivoque et des atteintes concomitantes de ces deux zones anatomiques existent parfois.

L'interprétation des anesthésies sémiologiques doit donc se faire avec prudence et à la lumière du contexte clinique.

5.13.3.2 *Examens d'imagerie*

✓ Radiographie

La radiographie ne permet pas à elle seule d'établir le diagnostic car des **lésions de sclérose** en partie proximale du métatarsien III peuvent être présentes chez des **chevaux sains**.

Lors de desmite chronique active, la sclérose peut être plus étendue.

- **Signes radiographiques**

* Vue **DP** : **augmentation de l'opacité** de la partie **proximale** du métatarsien III souvent plus marquée en partie **latérale**.

* Vue **LM** : **sclérose sous-corticale** et altération de l'**agencement trabéculaire** de la partie proximo-plantaire du métatarsien III liée à la formation d'un nouvel os endosté (sur 4 centimètres proximo-distalement).

* Le **cortex plantaire** peut être **épaissi** et des **entésophytes** peuvent être visibles en partie plantaire.

Chez de nombreux chevaux aucune lésion radiographique n'est présente. L'examen radiographique est néanmoins important puisqu'il permet d'identifier la présence d'une **fracture d'avulsion** au niveau de l'enthèse du LSB ou d'une **fracture de stress** ou de **fatigue** au niveau du cortex plantaire du métatarsien III.

✓ Echographie

La région plantaro-médiale du métatarse est mieux visualisée en coupe transversale. Les extrémités médiales et latérales peuvent être difficiles à imager correctement.

- **Artéfacts pouvant exister**

* **Vaisseaux** en partie plantaro-latérale du LSB apparaissant sous la forme de larges lignes anéchogènes au sein du LSB.

* Présence d'**air** suite aux anesthésies.

- Signes échographiques

* **Zones focales anéchogènes** assez inhabituelles sauf chez les trotteurs de course.

* **Elargissement du LSB** plus commun, **démarcation délicate de ses contours** (en particulier dans sa limite dorsale), **réduction diffuse de l'échogénicité** de tout ou partie du LSB au niveau de la section en coupe d'une région du LSB.

* **Fibrose ectopique** ou **minéralisation** du LSB parfois présente (plus fréquente que pour les antérieurs).

Les lésions peuvent être aisément manquées si la partie la plus proximale du LSB n'est pas minutieusement examinée. Un contour irrégulier de la partie plantaire du métatarsien II traduit la présence d'entésophytes.

✓ Scintigraphie

La scintigraphie n'est pas une méthode très sensible pour détecter les desmites du LSB, et la présence possible chez des chevaux sains d'une prise de produit radiopharmaceutique augmentée en partie proximo-plantaire latérale du métatarsien III (en comparaison des parties médiale ou dorsale) rend l'interprétation des images délicate.

- Signes scintigraphiques

* **Vues latérales** : prise de produit radiopharmaceutique focale, modérée à intense, linéaire ou de forme triangulaire, en partie proximo-plantaire du métatarsien III.

* **Vues plantaires** : prise de produit radiopharmaceutique en partie centrale et proximale du métatarsien III.

✓ IRM

Interprétation complexe compte tenu de la présence abondante de ligaments et de muscles (signal de haute intensité).

- Signes visibles

* Elargissement de la branche du LSB atteinte.

* Augmentation du signal, au niveau des tissus ligamentaires.

* Accumulation de liquide parfois présente autour des ligaments.

L'IRM permet parfois de révéler la présence de **lésions plus étendues** que ce que l'échographie pouvait laisser suspecter, et peut permettre d'identifier une **implication osseuse** chez les chevaux dont l'intensité des signes cliniques n'est pas corrélée à la sévérité des lésions radiographiques observées. L'IRM peut aussi permettre de diagnostiquer une syndesmopathie entre les métatarsiens II et III ou IV et III ou encore une atteinte des os distaux du tarse.

5.13.4 Traitement

Il dépend de nombreux facteurs : contraintes de temps, attentes sportives, règles pour le contrôle médical, degré de boiterie, lésions architecturales du LSB, chronicité de l'atteinte, conformation et âge du cheval et nombre de membres atteints.

Les chevaux avec **desmite du LSB aiguë** (évolution d'une durée inférieure à quatre à six semaines), répondent raisonnablement bien à une **infiltration locale de corticostéroïdes** dont le but est de réduire l'inflammation et donc la tuméfaction afin de limiter le risque de développement d'un syndrome compartimental. La correction des **déséquilibres du pied** avec mise en place de fers du type « **eggbar shoe** » est préconisée afin de réduire l'extension du boulet.

Les **atteintes chroniques** sont **plus difficiles à traiter** (malgré un repos prolongé et des infiltrations de corticostéroïdes, de PGAGs, de hyaluronate...). L'utilisation de **phénylbutazone** peut aider dans certains cas et le recours à des techniques de physiothérapie telles que les **ondes de choc** peut être bénéfique.

- D'autres types de traitement peuvent être utilisés :

* Injection d'une solution d'huile d'amande à 2 % d'iode.

* Infiltration locale avec de la matrice vésicale.

* Desmoplastie et fasciotomie.

* Névrectomie tibiale.

* Une **névrectomie de la branche profonde du nerf plantaire latéral** peut être associée à une **incision du fascia plantaire**, voire à une ostéotomie si des lésions d'entésopathies sévères sont visibles. Ce traitement donne de **bons résultats** (d'après une étude 79 % de succès sur 200 chevaux) à condition que l'os ne soit pas impliqué de façon majeure, que la boiterie soit améliorée de façon significative par l'anesthésie péri-nerveuse et que la conformation du cheval soit normale. En postopératoire le cheval est confiné au box pendant 10 à 14 jours, puis la marche en main est introduite à raison de 45 minutes par jour pendant 6 semaines. Un contrôle clinique et échographique est ensuite effectué et s'il ne présente pas d'anomalie, une reprise progressive du travail est permise. Les résultats de la chirurgie sont en principe moins bons chez les chevaux qui présentent un jarret droit.

* Injection de moelle osseuse +/- fasciotomie.

5.13.5 Pronostic

Le pronostic sportif est en général **médiocre**.

5.14 Fractures d'avulsion au niveau de l'enthèse du ligament suspenseur du boulet

(47)

5.14.1 Définition

Les fractures d'avulsion se situent juste **distalement à l'enthèse du LSB**. Elles sont plus fréquentes chez les **jeunes chevaux de course** (trotteurs > galopeurs), mais surviennent parfois chez des chevaux de sport. L'atteinte des membres postérieurs est plus rare que celle des antérieurs chez les galopeurs et les chevaux de sport, et d'incidence similaire chez les trotteurs.

5.14.2 Signes cliniques

Apparition **aiguë** d'une **boiterie modérée à sévère** et **unilatérale**. Dans les stades aigus, la pression de la région proximo-plantaire du métatarsien III est douloureuse alors que dans les cas chroniques, la réaction de douleur est plus difficile à induire. La boiterie peut être améliorée mais non supprimée par le **repos** en box. Les **anesthésies locales** peuvent être nécessaires pour localiser la lésion et ce en particulier lors d'atteinte chronique.

5.14.3 Examens complémentaires

5.14.3.1 Examens d'imagerie

✓ Radiographie

Les vues les plus informatives sont les projections **DP** surtout ou **DP légèrement obliques** et les incidences **LM** et **LM fléchies**.

- **Signes radiographiques** : **ligne radiotransparente** presque droite, en forme de soucoupe, (base proximale ou distale) ou d'aspect ponctiforme.

✓ Echographie

Elle permet de détecter le **fragment avulsé** (en particulier en coupe longitudinale) et s'il est déplacé, de voir une **discontinuité dans le cortex plantaire** de l'os. Une fracture incomplète est plus difficile à diagnostiquer.

Lors de cas chroniques, un **cal périosté discret** peut être visible et de **petites lésions focales** en forme de « larmes » peuvent être présentes dans la partie proximale du LSB au niveau du site de fracture.

✓ Scintigraphie

La scintigraphie peut être utilisée mais n'est en général pas nécessaire pour établir le diagnostic.

5.14.4 **Traitement**

Il consiste en un **repos strict** en box pendant **six semaines**, suivi d'un repos en box avec **exercice contrôlé** pendant **six autres semaines**. A l'issue de ce traitement la réalisation de contrôles clinique, radiographique et échographique est recommandée.

La **boiterie** met en général au moins **deux mois** avant d'être résolue et les **signes de fracture** sont encore détectables pendant **deux à quatre mois**. La **convalescence** dure **quatre à six mois**.

5.14.5 **Pronostic**

Le pronostic est bon. La plupart des chevaux guérissent complètement et peuvent retourner à leur niveau sportif initial. Rarement, le fragment peut évoluer en séquestre osseux ou une desmite secondaire du LSB peut se développer.

5.15 Ostéite et ostéomyélite du calcanéus

(24) (39) (54) (110) (115)

5.15.1 Définition

L'**ostéomyélite** (OSM) renvoie à un processus **inflammatoire** ou **infectieux** du cortex et de la moelle osseuse ou des structures synoviales. Si seul l'**os** est infecté on parle d'**ostéite**, si la **moelle osseuse** est également impliquée on parle d'**ostéomyélite**.

Lorsque les bactéries pénètrent dans l'organisme, les défenses de ce dernier tentent d'éliminer l'infection. Les mécanismes de défense peuvent cependant échouer, lorsque :

- Le niveau d'inoculation dépasse des seuils limites.
- La défense de l'hôte est insuffisante.
- Les tissus sont lésés.
- Un corps étranger est présent.
- Les surfaces ou les tissus ont une cellularité faible : tissus traumatisés, cartilage, os.

Les bactéries atteignent l'**os**, le **cartilage** ou des **implants chirurgicaux** par extension locale à partir d'une **blesure** ou par voie **hématogène** et forment ensuite un biofilm à leur contact (54).

Germes en cause :

Lors d'**ostéomyélite hématogène** chez le poulain, les **bactéries Gram négatives** sont le plus fréquemment incriminées.

Chez l'**adulte** les agents pathogènes les plus souvent rencontrés sont dans l'ordre : **entérobactéries**, **streptocoques non béta-hémolytiques**, **staphylocoques à coagulase positive**, **streptocoques béta-hémolytiques**, **staphylocoques à coagulase négative**, puis d'autres bactéries Gram négatives, d'autres bactéries Gram positives et des infections multibactériennes. L'infection est souvent **multibactérienne** lors d'OSM secondaire à la **réparation chirurgicale d'une fracture**, une couverture antibiotique large spectre est donc préconisée lors de toute procédure chirurgicale nécessitant la pose d'un implant (54).

L'**ostéite** des os du **tarse** est **inhabituelle**. Cependant le **tuber calcanei** est protégé de façon minime par les tissus mous et il est donc très sensible aux traumatismes et aux infections en résultant. Lorsque les blessures impliquent la partie médiale du jarret elles entraînent fréquemment des lésions du **sustentaculum tali** et de la gaine tendineuse adjacente. Au niveau du calcanéus, **la cavité médullaire est rarement impliquée**, c'est pourquoi le terme d'ostéite est plus souvent employé que celui d'ostéomyélite.

La gestion des ostéites du tuber calcanei et/ou du sustentaculum tali peut être compliquée si l'**articulation tibio-tarsienne** (arthrite), la **bourse calcanéenne** (bursite) ou la **gaine tarsienne** (téno-synovite) sont impliquées. Lors d'ostéomyélite du calcanéus post-traumatique, les lésions peuvent également concerner les **insertions des tendons** des muscles **gastrocnémien** et **fléchisseur superficiel du doigt** (39) (110).

5.15.2 Etiologie

La plupart des chevaux ont subi un **traumatisme**, soit en tapant dans un objet fixe, soit en recevant un coup de pied d'un autre cheval, les traumatismes **pénétrants** sont également une cause commune. Chez les poulains la cause la plus fréquente est une origine **hématogène** lors de phénomènes septiques généralisés (39) (110).

5.15.3 Prévention des ostéites/ostéomyélites secondaires à une intervention chirurgicale

Lors de chirurgies orthopédiques de routine, une antibioprophylaxie doit être administrée une heure avant le début de la chirurgie et vingt-quatre heures plus tard (jusqu'à trois jours si nécessaire). Par ailleurs, si des implants chirurgicaux ont été mis en place ou si la chirurgie était contaminée, une antibiothérapie post-chirurgicale doit être réalisée pendant plusieurs jours (54).

5.15.4 Signes cliniques

Les signes cliniques varient en fonction de la sévérité et de la durée de l'infection. **Une boiterie souvent sévère apparaît rapidement** après la survenue de la blessure. Une importante **tuméfaction** des tissus mous est présente, en particulier en phase aiguë. La plupart des chevaux présentent lors du diagnostic **une plaie ou un trajet fistulaire** et lorsque ce n'est pas le cas une **distension articulaire** peut être observée. Quand une **fistule** est présente, l'existence d'un **séquestre osseux** est fort probable. Les plaies pénétrantes doivent être évaluées complètement avant qu'une tendinite ou une bursite septique ne s'installe. **Les signes généraux sont inconstants** et non pathognomoniques : une hyperthermie, une leucocytose et une hyperfibrinogénémie peuvent être observées (39) (54) (110).

- Atteinte du sustentaculum tali

* Une communication entre le site de l'infection ou la fragmentation du sustentaculum tali et l'articulation tibio-tarsienne peut exister chez certains chevaux, ce qui implique la présence d'un **risque accru d'arthrite**.

* Les chevaux, dont la **gorge du sustentaculum tali** présente des **irrégularités** osseuses, peuvent présenter une boiterie importante à cause d'une **tendinite sévère du fléchisseur profond du doigt** provoquée par les mouvements de ce dernier sur les rugosités de la gorge. Le rétinacle tarsal peut alors comprimer le tendon si celui-ci est enflammé et gonflé, ce qui cause encore plus de douleur et de dommages (39).

- Atteinte du tuber calcanei

L'inflammation de l'**insertion du tendon du muscle gastrocnémien** et de la **bourse calcanéenne** est souvent associée à l'ostéite du tuber calcanei et peut être **extrêmement douloureuse** (110).

5.15.5 Examens complémentaires

5.15.5.1 Examens d'imagerie

✓ Radiographie

Avant que la lyse osseuse ne soit visible (à partir de deux ou trois semaines après le début de l'infection) la tuméfaction des tissus mous peut être la seule lésion visible. Ainsi, la prise de clichés espacés dans le temps est recommandée.

Toutes les vues sont utiles, mais **la plus intéressante** est la projection **Pl.-Prox. Pl.-Dist.** Cependant à cause de la douleur, cette dernière peut être difficile à réaliser et dans ces cas là, la vue **DM45PLO** se révèle être la plus utile. Les vues **LM** et **LM fléchies** peuvent également être réalisées (39) (110).

- Signes radiographiques

- * **Tuméfaction** des tissus mous avec ou sans calcification, lyse osseuse.
- * **Sclérose** osseuse.
- * **Fragment/séquestre osseux** : fragment osseux entouré d'un halo radiotransparent, lui-même bordé d'un contour d'os sclérosé.
- * **Réactions périostées** (34) (115).

✓ Echographie

L'échographie est utile pour évaluer la bourse calcanéenne et la gaine tarsienne, et peut permettre de détecter certaines lésions plus précocement que la radiographie.

- Signes échographiques

- * **Proliférations** périostées.
- * **Lyses** osseuses.
- * Couche de **liquide** anéchogène, hypoéchogène ou échogène à proximité de l'os.

- Les lésions ostéolytiques du calcanéus sont fréquemment associées à :

- * Une ténosynovite septique ou aseptique de la gaine tarsienne.
- * Une bursite calcanéenne septique.
- * Des desmites ou des avulsions du ligament plantaire long.
- * Des ostéomyélites associées avec des blessures ouvertes (atteintes du talus et/ou du tibia distal).

Ces structures doivent donc être évaluées minutieusement si leur atteinte semble probable (34) (39) (115).

✓ Scintigraphie

Elle est utile pour détecter les **lésions précoces** non visibles à la radiographie (115). C'est un indicateur sensible du **turn-over osseux**, cependant elle ne permet pas de faire la différence entre une cause infectieuse, une origine traumatique ou le développement d'une fracture. Chez le poulain de faux positifs peuvent exister au niveau des plaques de croissance. Elle permet d'imager et de localiser précisément les **poches de liquide infecté**, et peut donc être une aide utile lors de la réalisation de prélèvements (54).

5.15.5.2 *Autres examens complémentaires*

Analyse du liquide synovial

Si une implication de la **gaine tarsienne** est suspectée, une **évaluation cytologique du liquide** de la gaine tendineuse, avec culture aérobie et anaérobie et réalisation d'un antibiogramme, est conseillée (39). Le prélèvement peut cependant être difficile, car de la fibrine est souvent présente au sein de la gaine, voire impossible lorsque la plaie est ouverte et atteint la gaine (110).

Si au sein du liquide synovial, le nombre de **leucocytes** excède **30 000 cellules/ μ L** et que la concentration en **protéines totales** est supérieure à **35–40 g/L**, celui-ci peut être considéré comme septique. La cytologie révèle alors généralement une **majorité de neutrophiles** et occasionnellement la présence de bactéries (54).

5.15.6 **Traitement**

Le traitement est basé sur la résolution de l'infection et le curetage des lésions osseuses. Différents axes de traitement doivent être combinés :

- Antibiothérapie systémique

Un antibiotique large spectre tel que l'association de la pénicilline (22 000 UI/kg BID IM) et de la gentamicine sulfate (6,6 mg/kg SID IV) est recommandé dans l'attente des résultats de la culture et de l'antibiogramme. Le traitement doit être poursuivi pendant **au moins une à deux semaines après la résolution des signes cliniques** et peut durer de **quatre à six semaines**. Lorsque l'ostéomyélite est contrôlée (en général après une à deux semaines de traitement par voie parentérale) un **relais par voie orale** peut être envisagé.

Lors d'atteinte aiguë, le traitement médical à base d'antibiotiques peut être satisfaisant mais le plus **souvent une intervention chirurgicale est nécessaire** pour retirer les tissus infectés, les lésions osseuses et les séquestres (39).

- Débridement chirurgical

La **résection des tissus infectés** et le **curetage des lésions osseuses** peuvent permettre la résolution des lésions calcanéennes. Si la gaine tarsienne est impliquée, il est souvent recommandé de sectionner le rétinacle tarsien puis d'explorer et de cureter l'os nécrosé présent sur le sustentaculum tali avant de laver et rincer la gaine tarsienne. La gorge tarsienne peut être lissée avec une curette afin d'éviter l'abrasion du tendon fléchisseur profond après la chirurgie (39). La chirurgie peut être **ouverte** ou se faire sous **arthroscopie**. Un **drainage** ouvert ou fermé doit être laissé en place le temps que les structures synoviales éliminent l'infection. Le traitement peut être associé à une **ténotomie du tendon fléchisseur profond du doigt**, au niveau de la région métatarsienne, ou une ténectomie au sein du canal tarsien afin de soulager rapidement la douleur lors de boiterie sévère et/ou de retirer des tissus nécrosés de la gaine. Cette technique peut permettre au cheval d'être utilisé en élevage ou pour un travail léger mais ne permet pas un retour normal au travail (110). Après la chirurgie le cheval doit être **confiné** en box ou dans un petit enclos pendant **huit semaines** avec de la **marche en main** quotidienne, suivi de **six semaines de pâture** avant de reprendre progressivement une **activité normale**. De la **phénylbutazone** peut être utilisée (2,2 mg/kg PO) afin de soulager la douleur (39).

- Greffe osseuse

Elle est souvent utilisée afin de favoriser la réparation osseuse et la cicatrisation des fractures. Lors d'ostéomyélite elle permet de **renforcer le potentiel ostéogénique de l'os** et sert de **support mécanique**. Elle favorise la cicatrisation en stimulant l'ostéogenèse, l'ostéoinduction et l'ostéoconduction (54).

- Implants de polyméthylméthacrylate imprégnés d'antibiotiques (PPMA)

Ces implants permettent d'obtenir une très **haute concentration locale en antibiotique** (jusqu'à 200 fois la dose obtenue par voie parentérale) et la concentration minimale inhibitrice (CMI) peut être maintenue pendant **80 jours**. Les avantages de cette antibiothérapie locale sont qu'elle **limite les effets secondaires systémiques** des antibiotiques tout en permettant d'obtenir une concentration très élevée de ces derniers au niveau du site de l'infection. Par ailleurs, cette méthode permet en général de **diminuer l'antibiothérapie systémique**, voire de la supprimer, ce qui permet une réduction de la toxicité du traitement, mais également de son coût.

Les implants de PMMA imprégnés de **gentamicine** restent les plus utilisés, du fait des caractéristiques de bactéricidie à large spectre, d'hydrosolubilité et de stabilité à la chaleur de cette dernière, cependant de nouveaux antibiotiques différents peuvent être utilisés. **La nécessité du retrait de l'implant est sujette à controverse** et certains auteurs considèrent qu'il n'est indiqué que dans les cas où l'implant est infecté ou gêne le cheval. Les complications les plus fréquentes associées à l'emploi d'un implant sont les dommages des tissus mous causés lors de son retrait et la formation de tissus fibreux pouvant rendre son retrait difficile. Les implants ne doivent idéalement pas être mis dans les articulations compte tenu de leur potentiel abrasif au contact du cartilage.

Cette méthode de traitement est de plus en plus utilisée et donne de **très bons résultats**, cependant elle ne doit, dans l'idéal, **pas être utilisée seule**, mais en **association avec un traitement chirurgical**.

Le plâtre de Paris a longtemps était utilisé comme support de l'antibiotique. Il permet d'obtenir une **très forte concentration locale en antibiotique** (supérieure à celle obtenue avec le PPMA) durant les premières 24 à 48 h d'implantation. Cependant **la concentration après 48 h passe rapidement en dessous des CMI** (54).

- Antibiothérapie locorégionale du membre par voie intraveineuse ou intra-osseuse

Cette technique est intéressante, car pratique, modérément coûteuse et efficace. Les antibiotiques sont **injectés sous pression**, par une **veine** ou par la **moelle osseuse** distalement à un **garrot**. Lorsque la solution d'antibiotique passe dans le réseau veineux, le système vasculaire se détend et **l'antibiotique se diffuse au niveau des tissus**. L'antibiotique est dilué dans **30 à 60 mL de solution** saline stérile afin de favoriser la mise sous pression et donc la **diffusion tissulaire** tout en limitant les **effets toxiques** de l'antibiotique sur les tissus. Le garrot doit être laissé en place **30 minutes**.

Les veines étant plus accessibles, les cathéters plus faciles à maintenir et la procédure moins invasive, l'antibiothérapie locorégionale par voie intraveineuse est la plus couramment pratiquée. Cependant lorsque cette dernière n'est pas réalisable (veine non disponible) la voie intra-médullaire est une alternative de choix.

Les posologies ne sont pas standardisées, d'après les auteurs **un tiers de la dose systémique de gentamicine** ou **une dose systémique** pleine de sodium d'**ampicilline** ou de potassium de **pénicilline** peuvent être utilisés (54).

Si la **gaine tendineuse** est atteinte, des lavages et un drainage de la gaine sont nécessaires. La durée du traitement antibiotique dépend de la réponse clinique mais le traitement doit être continué pendant au moins sept jours après la résolution de la boiterie et le drainage de la plaie. De la phénylbutazone peut être utilisée (2,2 mg/kg PO) afin de soulager la douleur. L'infection de la gaine tarsienne suite à une fragmentation du sustentaculum tali ou à une lyse nécessite la réalisation d'un curetage chirurgical du sustentaculum tali et d'un lavage de la gaine tarsienne (39).

5.15.7 Pronostic

La mise en place d'un traitement médical et chirurgical rapide et agressif augmente les chances de retour à un bon niveau sportif.

Lors d'ostéite ou ostéomyélite du **tuber calcanei**, le pronostic est **réservé**, car la tension permanente présente au niveau des insertions tendineuses des muscles gastrocnémien et fléchisseur superficiel du doigt ainsi que la compression de la surface de la bourse par ce dernier peuvent causer des boiteries qui persistent longtemps. Une bursite chronique peut également se développer.

Lors d'ostéite/ostéomyélite du **sustentaculum tali**, le pronostic sportif est en général **favorable** à condition que le débridement soit complet et que l'infection soit contrôlée. L'issue est meilleure s'il n'y a pas de modification radiographique visible (39) (110).

5.16 Ténosynovite de la gaine tarsienne

(7) (32) (76) (99) (114)

5.16.1 Prérequis

Quelques rappels :

(Cf. 3.3 « Arthrologie du jarret » pour plus de détails).

- Origine des muscles

- * **Fléchisseur latéral du doigt** : insertion sur la surface distale de la face caudale du tibia, sur l'extrémité proximale de la fibula et sur la membrane interosseuse de la jambe.
- * **Fléchisseur médial du doigt** : bord caudal de la tubérosité latérale du tibia.
- * **Tibial caudal** : tubérosité latérale du tibia.

- Gaine tarsienne ou gaine plantaire du tarse

- * Conformation : gaine **large et épaisse**, c'est la **plus importante** des gaines du tarse.

La gaine tarsienne débute environ 5 à 7,5 centimètres proximale à la malléole latérale du tibia et se termine distalement dans le tiers proximal du métatarse. Elle mesure 20 à 30 centimètres de long.

- * Disposition : elle est formée dorsalement par le **ligament plantaire proximal**, le **sustentaculum tali** et le **ligament plantaire distal**. Sa partie latérale est constituée par la face latérale du **calcaneus** et une expansion du **ligament plantaire distal**. Les faces médiales et plantaires sont quant à elles formées par le **rétinacle des fléchisseurs**.

- * Rapports : passage du **tendon perforant** : le tendon du muscle fléchisseur latéral du doigt passe en face plantaire dans la **gaine tarsienne** au niveau de laquelle il est enveloppé par une **vaste synoviale vaginale**. Le tendon est ensuite rejoint par les tendons des **muscles tibial caudal** (au niveau du sustentaculum tali) et **fléchisseur médial du doigt** (au niveau de l'extrémité proximale du métatarse) et **forme alors le tendon perforant**.

- Synoviale

Une **vaste synoviale vaginale** enveloppe le tendon. Son **cul-de-sac proximal** remonte à la face caudale du tibia jusqu'au niveau de son quart distal. Son **cul-de-sac distal** descend jusqu'à mi-hauteur du métatarse (7) (114).

5.16.2 Définition

Une **ténosynovite** est une **inflammation** de la **membrane synoviale** et habituellement des couches de **fibres** de la **gaine du tendon**, caractérisée par une **distension** de la gaine causée par un épanchement synovial. La distension de la gaine tarsienne est communément appelée « thoroughpin » ou « true thoroughpin » par les anglophones. La « false thoroughpin » désigne une distension dont l'origine est un gonflement des tissus mous (hématomes, hernies de la gaine, tissu de granulation, abcès).

La ténosynovite peut être primaire (atteinte directe de la gaine) ou secondaire à une atteinte des tissus adjacents. Trois grandes catégories de ténosynovites peuvent être distinguées :

- **Ténosynovite idiopathique**

* Cause **inconnue** lorsque l'affection est congénitale. Pour les ténosynovites acquises dans le temps on suppose que la **répétition de faibles traumatismes** est en cause, la conformation du cheval semble jouer un rôle dans le développement des lésions.

* Atteinte des **jeunes chevaux** surtout et des chevaux **adultes** de selle et de Western présentant un **jarret droit**. La distension apparaît à la suite d'un **repos prolongé**, d'un **transport**, d'une **inflammation aiguë des tissus adjacents**, d'une **congestion** ou d'un **œdème** de la portion distale du membre.

* **Absence de boiterie, de douleur** et de signes d'**inflammation**, résolution en général spontanée (des cas de persistance ou de récurrence sont décrits).

- **Ténosynovite traumatique**

* Les causes sont variées : **coup de pied** d'un autre cheval, **coup dans un objet** solide, **élongations** ou **torsions** tendineuses...

* Elle est parfois associée à une **fracture** en copeau ou une fragmentation de la partie médiale du sustentaculum tali au niveau de l'insertion plantaire du rétinacle. Des cas de fracture transverse du calcanéus impliquant le sustentaculum tali sont rapportés.

* On distingue les ténosynovites traumatiques :

- **Aiguës** : dues à un **traumatisme direct** aigu, des **frictions** entre les feuillets viscéral et pariétal de la gaine ou une augmentation de la **pression** péri-tendineuse.

- **Chroniques** : secondaires à une **ténosynovite aiguë** qui ne s'est pas résolue de façon satisfaisante, ou à la **répétition de faibles traumatismes**. L'inflammation et/ou le traumatisme peuvent entraîner l'apparition d'un **épanchement synovial** persistant, d'un **épaississement** fibreux de la gaine tendineuse, et de **sténoses** ou d'**adhérences** au sein de la gaine. Cette atteinte chronique peut entraîner **douleur** et **boiterie persistantes**.

- **Ténosynovite infectieuse**

* Les causes sont en général un **traumatisme avec plaie délabrante** au niveau du jarret ou moins souvent une **plaie punctiforme** pénétrante. Une **origine iatrogène** après ponction de la gaine est également possible.

* La ténosynovite peut être la cause ou être causée par une atteinte de l'**os** ou des **autres tissus** adjacents (ostéomyélites, abcès des tissus mous...).

* Les signes cliniques comprennent généralement une **distension marquée**, de la **chaleur**, de la **douleur**, une **boiterie sévère** et un **liquide synovial purulent** (32) (76).

5.16.3 **Signes cliniques**

5.16.3.1 **Anamnèse**

Lors d'atteinte aiguë, on note le développement rapide d'un épanchement synovial accompagné de chaleur, douleur et boiterie. Ces signes apparaissent souvent suite à un coup ou un effort. Lors d'atteinte chronique, le motif de consultation sera plutôt la présence d'une distension persistante et d'une gêne fonctionnelle (76).

5.16.3.2 *Examen clinique*

5.16.3.2.1 *Examen clinique statique*

Le signe principal, et qui est présent dans tous les types de ténosynovite, est la **distension de la gaine**. L'hydropisie de la synoviale provoque une hypertrophie du cul-de-sac proximal à l'origine d'une **tuméfaction allongée, molle et bilatérale** (souvent plus marquée du côté latéral) dans le **creux du jarret** ainsi qu'un gonflement du récessus distal provoquant un **empâtement de la partie supérieure de la région métatarsienne** (souvent plus marqué du côté médial). Cette hydropisie est appelée **vessigon tendineux de la gaine tarsienne**.

- Lors de **ténosynovite idiopathique**, la distension est **molle, non douloureuse** et discrète à modérée.

- Dans les **autres cas** :

* Lors d'atteinte **aiguë**, le gonflement est **souple, chaud et douloureux**.

* Lors d'atteinte **chronique**, la distension est **plus ferme et froide** (7) (32) (76).

5.16.3.2.2 *Examen clinique dynamique*

- **Ténosynovite idiopathique** : **absence de boiterie et de signes d'inflammation**, résolution en général spontanée (des cas de persistance ou de récurrence sont décrits).

- **Autres causes** :

* **Atteinte aiguë** : **boiterie** de grade varié, la douleur n'est pas toujours bien corrélée à la sévérité des lésions existantes.

* **Atteinte chronique** : douleur et boiterie **persistantes**.

Le **test de flexion** du jarret est en général positif et le **degré de flexion du jarret** est souvent fortement diminué (32).

5.16.4 Examens complémentaires

5.16.4.1 *Anesthésies sémiologiques*

L'implication de la gaine dans les signes cliniques peut être confirmée par la réalisation d'une **anesthésie intrathécale** (au sein de la gaine) (32).

5.16.4.2 *Examens d'imagerie*

Le diagnostic se fait par **échographie** ou **radiographie de contraste**, mais l'examen **radiographique simple** est nécessaire pour évaluer le sustentaculum tali.

✓ Radiographie

Les vues **DMPLO** et **Pl.-Prox. Pl-Dist.** sont les plus informatives.

- La radiographie simple permet de détecter :

- * La présence ou l'absence de **lésions prolifératives** ou **destructrices** au niveau du **sustentaculum tali**. Des néoformations osseuses du sustentaculum tali et de la partie médiale du calcaneus peuvent néanmoins être visibles chez certains chevaux en l'absence de distension évidente de la gaine tarsienne.
- * Dans de rares cas, une **minéralisation** de la **gaine** tarsienne et du **ligament long plantaire** ou des **masses ossifiées** au sein de la gaine tarsienne.
- * L'existence de **fracture** ou d'**ostéite** du calcaneus (tuber calcanei et/ou sustentaculum tali).

- La radiographie en contraste est utile pour :

- * L'évaluation de la position et de la forme de la gaine.
 - * La délimitation du tendon fléchisseur profond.
- La gaine tarsienne apparaît sous la forme d'un **large tube cylindrique**, s'adaptant à la forme du tarse. Les **lésions pouvant être observées sont** :
- * Une **distension** de la gaine.
 - * Des **adhérences**.
 - * Un **défait de remplissage** au niveau des plis formés par la gaine.
 - * Des **renflements** au niveau du tendon par-dessus des proliférations osseuses, sur la bordure médiale du sustentaculum tali.
 - * Des **masses**.
 - * Une **communication** entre la gaine tarsienne et l'articulation tibio-tarsienne ou la bourse calcanéenne (32) (114).

✓ Echographie

C'est la **technique de choix**, normalement la gaine est une structure échogène contenant une faible quantité de liquide, elle n'est généralement pas distinguable du tendon fléchisseur profond.

- Lésions visibles lors de ténosynovite idiopathique :

- * Gaine remplie d'un **liquide anéchogène**.
- * Absence de signes d'hyperplasie de la membrane synoviale.

- Lésions visibles lors de ténosynovite traumatique ou infectieuse :

- * **Prolifération synoviale**.
- * **Hémorragie** intra-articulaire (volutés hyperéchogènes dans le récessus proximal) lors de cause traumatique.
- * **Adhérences, masses, lésions vilonodulaires et calcifications** au sein de la gaine tarsienne dans les cas chroniques.
- * **Hernie** de la gaine tarsienne.
- * **Epaississement** et/ou **zones hypoéchogène, minéralisation** dans le tendon fléchisseur profond et/ou la gaine et la surface du sustentaculum tali dans les cas chroniques.
- * Liquide synovial souvent **échogène et hétérogène** à cause de la présence de débris et de caillots de fibrine lors de cause infectieuse (32) (114).

5.16.4.3 *Autres examens complémentaires*

✓ Analyse du liquide synovial de la gaine tendineuse

- **Ténosynovite idiopathique ou traumatique**

Une ténovaginoscopie peut être réalisée, l'aspect macroscopique du liquide peut être normal, la couleur est variable (jaune pâle et clair, ambré et clair ou encore ambre et opaque), mais le liquide est souvent contaminé par du sang. Une augmentation modérée de la cellularité (< à 800 c/ μ L) ou marquée lors de cause traumatique aiguë (>10 000 possible) peut être présente.

- **Ténosynovite septique**

Le liquide synovial est séro-sanguinolent ou purulent, la concentration en protéines totales est supérieure à 3g/dL et celle en globules blancs excède 30 000 GB/mm³ (32) (76).

✓ Ténoscopie

Elle permet l'**examen direct** du tendon et des structures synoviales. Elle est rarement nécessaire car l'échographie apporte de nombreuses informations. Les indications sont une synovite infectieuse, une synovite chronique avec boiterie et réponse réduite au traitement médical, la présence d'une masse minéralisée dans la gaine tarsienne, ou encore la minéralisation de la surface et des structures profondes du tendon fléchisseur profond (32) (114).

5.16.5 **Traitement**

- **Ténosynovite idiopathique**

La résolution est spontanée donc le **traitement** n'est **pas nécessaire**. Une diminution de l'intensité des **exercices** et l'application locale ou l'administration par voie systémique d'**anti-inflammatoires** peut être utile.

En général **aucune boiterie** n'est présente et l'**impact est surtout esthétique**. Pour réduire la distension, une aspiration du liquide associée à l'injection de corticostéroïdes dans la synoviale et la mise en place d'un bandage compressif à la suite de cette dernière peuvent être efficaces, mais l'amélioration n'est en général que temporaire. Des bandes de repos ou des bandages matelassés peuvent être appliqués en fin de journée.

- **Ténosynovite traumatique aiguë**

* En l'absence de lésion osseuse ou tendineuse : **AINS** locaux ou systémiques, **DMSO** local, **cryothérapie**, **repos** strict pendant 1 à 2 jours, puis **marche en main**. En l'absence d'amélioration une **aspiration du liquide présent dans la gaine** et l'injection d'**AIS en intrathécale** semblent intéressantes (mais cela est contre-indiqué en présence de lésion tendineuse) avec ou sans **injection de hyaluronate**. L'application de bandages contentifs, de bandes de repos ou de bandages matelassés est également envisageable.

* Lors d'échec du traitement précédent ou lorsque des fragments osseux sont présents, une exploration **ténoscopique** est conseillée.

- **Ténosynovite traumatique chronique**

* En présence de boiterie sans lésion sévère : **retrait du liquide** et **injection d'AIS** dans la gaine, puis **repos** avec **bandage compressif**. La récurrence est fréquente. Les injections répétées d'AIS

ne sont pas conseillées, car elles entraînent des minéralisations du tendon et de la membrane synoviale.

* En présence de fragment, d'ossification ou d'adhérence : le **débridement chirurgical** est conseillé. Le postopératoire consiste en un traitement avec **AINS** durant dix jours, un **repos strict** au box pendant dix jours, puis de la **marche en main** plusieurs fois par jour pendant deux à trois semaines et enfin la sortie dans un **petit paddock** ou l'introduction d'un travail léger. Une injection de **hyaluronate** peut être réalisée dix jours après la chirurgie (32) (76).

- **Ténosynovite septique**

(Cf. 5.15 « *Ostéite et ostéomyélite du calcaneus* » et 5.17 « *Arthrite septique* » pour plus de détails).

* **Lavage de la gaine** (avec 5L sérum physiologique stérile) couché (mieux) ou debout (avec au moins une aiguille dans le récessus plantaire et une dans le récessus proximal). Un **lavage**, un **débridement** et un **lissage du sustentaculum tali** sous **ténoscopie** sont indiqués en présence de lésions osseuses, de pus et d'adhérences. Les drains ne sont pas nécessaires, mais l'incision pour l'arthroscopie peut être laissée ouverte pour favoriser le drainage. Un antibiotique peut être injecté localement dans la gaine pendant la chirurgie. Une chirurgie ouverte est parfois plus indiquée lors de cas chroniques et une **transection du rétinacle des fléchisseurs** peut permettre de soulager la douleur associée à la compression du tendon. La chirurgie peut également être associée en dernier recours à une **ténectomie** ou une **ténotomie du tendon** atteint afin de soulager la douleur chez les chevaux réfractaires aux traitements antérieurs.

* **Traitement médical** : antibiothérapie systémique large spectre pendant au moins deux semaines, AINS pendant au mois cinq jours.

* **Immobilisation** : bandage compressif changé tous les un à trois jours, repos strict au box tant que la plaie n'est pas cicatrisée puis marche en main pendant deux à trois semaines. Les sorties sont ensuite possibles dans un paddock de taille réduite (32) (99).

5.16.6 Pronostic

- **Bon** pour les ténosynovites **idiopathiques**.

- **Favorable** pour les cas de ténosynovite **traumatique aiguë** traités médicalement, si le tendon n'est pas atteint et que le traitement est mis en place précocement. Si le traitement n'est pas approprié, une ténosynovite chronique peut se développer.

- **Bon** pour les **fractures en copeau du sustentaculum tali** traitées par arthroscopie.

- La récurrence de la distension et de la boiterie est fréquente lors de ténosynovite **traumatique chronique**. Le pronostic est donc **réservé**, mais certains cas peuvent répondre favorablement à la ténoscopie.

- **Favorable** lors de ténosynovite **septique** après débridement et lavage sauf si des lésions tendineuses et osseuses sévères sont présentes. La précocité du traitement est très importante (32) (76).

5.17 Arthrite septique

(16) (26) (54) (58) (114)

5.17.1 Définition

Les arthrites infectieuses sont causées par la colonisation des structures articulaires par des agents pathogènes.

Les arthrites sont soit :

- D'origine **hématogène** lors d'un processus septique généralisé (cas le plus fréquent chez le poulain nouveau-né après infection de la membrane synoviale, de l'épiphyse ou de la plaque de croissance).
- Dues à une **extension locale** d'une infection des structures péri-articulaires (abcès, plaie non articulaire infectée...).
- Liées à une **plaie pénétrante** atteignant les structures synoviales.
- Secondaires à une **ponction iatrogène** de l'articulation ou à une infection **post-chirurgicale**.

En fonction des modes de contamination de l'articulation, les bactéries retrouvées diffèrent :

- **Origine iatrogène** : *Staphylococcus aureus*.
- **Origine traumatique** : *Enterobacteriaceae*, *Staphylococcus sp*, *Streptococcus sp*, *Pseudomonas sp* et bactéries anaérobies. Les infections multibactériennes sont communes lors de blessures pénétrantes.
- **Origine hématogène** : *Streptococcus zooepidemicus*, *Actinobacillus equuli*, *Escherichia coli*, *Klebsiella sp*, *Salmonella sp*, *Pseudomonas sp*, *Staphylococcus sp* et bactéries anaérobies (16) (26) (58).

5.17.2 Signes cliniques

5.17.2.1 Anamnèse

Les signes cliniques les plus communs sont un épanchement articulaire, une tuméfaction des tissus mous, de la chaleur et une boiterie qui apparaissent en général dans les vingt-quatre heures. L'anamnèse peut permettre de conforter une hypothèse d'arthrite septique ou de s'orienter vers cette dernière lorsque l'une des causes citées précédemment est présente et donc en cas de :

- Bactériémie ou septicémie chez un poulain.
- Traumatisme délabrant ou plaie punctiforme pénétrante.
- Antécédent de ponction intra-articulaire iatrogène.

Lorsque l'atteinte évolue vers la chronicité, les signes cliniques ont en général tendance à évoluer vers l'aggravation (16) (26).

5.17.2.2 *Examen clinique*

De l'**œdème** et une **cellulite péri-articulaire** accompagnent fréquemment la **distension articulaire** et cette dernière peut donc être difficile à objectiver dans certains cas. Par ailleurs, étant donné que de nombreux chevaux sont présentés pour des lacérations importantes modifiant les rapports anatomiques, il peut être délicat de déterminer et de localiser précisément les structures atteintes. Si la plaie permet le drainage de l'articulation, la distension de cette dernière sera absente. Le cheval présente généralement une **boiterie**.

Lors de traumatismes, l'**atteinte des structures synoviales** est révélée, soit par la **présence de liquide synovial visible au niveau de la plaie**, soit par l'**injection dans un récessus synovial** opposé à la plaie (uniquement si une zone saine est disponible pour effectuer une préparation chirurgicale aseptique et permettre une ponction stérile de l'articulation) de **sérum physiologique** (50 à 200 mL), si le liquide s'écoule par la plaie alors l'atteinte articulaire est confirmée. Attention cependant à réaliser le prélèvement (Cf. 5.17.3.2 «*Autres examens complémentaires*») de liquide synovial avant cette manipulation.

Un état fébrile peut être présent, sauf dans le cas d'une atteinte aiguë ou de l'administration préalable d'anti-inflammatoires (16) (26).

5.17.3 Examens complémentaires

Les arthrites septiques sont des urgences et une approche systématique de cette affection doit être faite lors de toute suspicion et inclure *a minima* :

- Un hémogramme (en particulier chez le poulain).
- Une mesure du fibrinogène plasmatique (en particulier chez le poulain).
- Une analyse du liquide synovial (macroscopique, cytologique et bactériologique).
- Un examen radiographique.

Chez l'adulte, lors de cause traumatique les paramètres sanguins ne sont pas modifiés avant plusieurs jours et leur modification peut être plus ou moins marquée (16).

5.17.3.1 *Examens d'imagerie*

✓ Radiographie

Durant les premiers jours suivant l'infection, la radiographie est nécessaire afin d'exclure la présence d'**anomalies osseuses concomitantes** (fracture par exemple) mais à l'exception de la distension articulaire aucun signe radiographique ne permet de diagnostiquer l'arthrite en début d'évolution. Des éléments laissant suspecter une atteinte articulaire (air ou corps étranger dans la zone de la cavité synoviale) peuvent néanmoins être présents.

- **Lésions radiographiques**

* Dès le début de l'infection : **distension articulaire** majeure.

* Une semaine après : **lyse osseuse**.

* Deux à trois semaines après : **néoformations osseuses agressives**, en spicules au niveau des sites d'insertion des ligaments et de la capsule articulaire. Possibilité d'**érosion de l'os sous-chondral ou péri-chondral**.

* Puis : **calcifications** au sein de la capsule articulaire, **lésions d'ostéomyélite**, lésions d'**arthrose**.

Lors de plaies pénétrantes on peut également observer : une **tuméfaction** des tissus mous avec ou sans altération visible de ces derniers, des **lacérations**, une accumulation de **gaz**, des **fractures**, des **subluxations**, des modifications **dégénératives** de l'os sous-chondral, des **néoformations osseuses** prolifératives aux marges de l'articulation ou encore un **rétrécissement des espaces articulaires** (114).

✓ Echographie

Elle permet d'évaluer l'épanchement, la prolifération synoviale et les atteintes cartilagineuses (114).

5.17.3.2 *Autres examens complémentaires*

✓ Analyse du liquide synovial

L'analyse du liquide synovial permet de **confirmer le diagnostic d'arthrite septique**, le prélèvement doit se faire dans des conditions aseptiques afin de ne pas entraîner l'introduction de germes et d'éviter la contamination du prélèvement. Il faut donc être particulièrement précautionneux lors de plaie délabrante étendue et/ou de tuméfaction marquée des tissus mous. La ponction est facilitée dans les zones où les récessus articulaires sont bien palpables et où la tuméfaction est réduite ou absente (26).

- **Éléments indicateurs d'arthrite septique**

* Aspect macroscopique : liquide **trouble, floconneux et aqueux** (diminution de la viscosité). Des **floculats** sont en général présents lors d'affection chronique ou dans les articulations ponctionnées ou explorées chirurgicalement. Une **contamination sanguine** est souvent observée.

* Comptage cellulaire : une estimation de la quantité de cellules sanguines peut permettre d'obtenir le nombre de cellules nucléées présentes dans le liquide synovial sans compter celles apportées par la contamination sanguine. La formule suivante peut être utilisée :

$(\text{RBC (\%)} \text{ du liquide synovial} / \text{RBC (\%)} \text{ du sang}) = X (\text{WBC} \times 10^9 / \text{L du liquide synovial}) / (\text{WBC} \times 10^9 / \text{L du sang})$ avec :

- X = nombre corrigé de leucocytes (GB) du liquide synovial.
- WBC = White blood count = nombre de globules blancs (GB).
- RBC = Red blood count = nombre de globules rouges (GR).

Un **comptage cellulaire excédant $30 \times 10^9 \text{ GB/L}$** avec plus de **80 %** (et souvent même plus de 90 %) de granulocytes **neutrophiles** est très en faveur d'une arthrite septique. Cependant un comptage cellulaire compris entre $10 \times 10^9 \text{ c/L}$ et $30 \times 10^9 \text{ c/L}$ ne permet pas d'exclure une arthrite septique en particulier si le contexte clinique est très en faveur de cette dernière. En effet les globules blancs peuvent être séquestrés au sein des dépôts fibrineux et leur comptage dans le liquide synovial peut donc sous-estimer leur concentration réelle au sein de l'articulation. Il faut faire particulièrement attention à l'interprétation des résultats chez les chevaux avec infection chronique, chez lesquels le comptage peut être inférieur à $5 \text{ à } 10 \times 10^9 \text{ c/L}$ (chez ces chevaux, la bactérie peut néanmoins être isolée, les protéines totales sont élevées et les signes cliniques sont présents, le diagnostic de l'affection est donc possible).

* Une **concentration en protéines totales** supérieure à **40 g/L** est très en faveur de l'existence d'une arthrite septique. Cette concentration peut dépasser 60 g/L chez certains chevaux souffrant d'affection chronique.

* Une partie du liquide synovial prélevé (5 mL) doit être envoyée à un laboratoire pour **isolement bactériologique** et réalisation d'un **antibiogramme** (16) (26).

5.17.4 Traitement

Le traitement doit être précoce, il s'agit d'une **urgence**. L'articulation doit être traitée dans les heures suivant la contamination, car lorsque l'infection est installée son élimination est longue et difficile à obtenir. L'objectif est de traiter l'infection articulaire en retirant les tissus infectés et corps étrangers potentiellement présents, d'éliminer les bactéries, de limiter l'inflammation et de restaurer un environnement articulaire physiologique.

Les axes de traitement comprennent (pour plus d'informations sur certaines techniques de traitement se référer aux paragraphes 5.15.6 « *Traitement* » (*Ostéite et ostéomyélite du calcanéus*) et 5.16.5 « *Traitement* » (*Ténosynovite de la gaine tarsienne*)) :

- Une **antibiothérapie systémique**.

- Une **antibiothérapie locale** : injection intra-articulaire ou implants de PPMA (polyméthyl-méthacrylate imprégné d'antibiotiques) ou d'implants biodégradables (plâtre de Paris et nouveaux matériaux en cours d'étude).

- Une **antibiothérapie locorégionale**.

- Un **drainage articulaire** et si nécessaire un **débridement** de l'articulation : lavages à l'aiguille, arthroscopie, arthrotomie (54).

En pratique :

Les **lavages articulaires répétés à l'aide d'aiguilles** placées de façon opposée dans l'articulation peuvent permettre d'éliminer efficacement l'infection chez certains chevaux, cependant certaines zones peuvent ne pas être atteintes et l'infection peut persister. Par ailleurs cette technique ne permet pas de débrider l'articulation.

L'**arthroscopie** est le moyen le plus efficace pour **évaluer l'articulation, ôter les débris**, les fragments osseux et cartilagineux et les caillots fibrineux. Une exérèse des parties infectées de la synoviale peut également être effectuée (selon plusieurs auteurs seules les zones contaminées ou infectées doivent être retirées, car la régénération de la synoviale normale ne permet pas d'obtenir une synoviale identique à celle d'origine). Une fois l'articulation débridée, un **lavage** complet est réalisé, puis un **drain** est habituellement placé dans la partie la plus proximale de la cavité synoviale et les **voies d'abord** utilisées pour l'arthroscopie sont **laissées ouvertes**.

L'**arthrotomie** est parfois préférée, car c'est une technique simple, qui permet un bon débridement et qui évite les complications pouvant survenir lors de la présence de drain : rupture, coudure, infection ascendante, irritation de l'articulation, obstruction.... Le drainage est permis par les voies d'abord non suturées et la cicatrisation se déroule la plupart du temps correctement.

L'articulation est ensuite **lavée quotidiennement** avec du **sérum physiologique stérile** sous pression et des **antibiotiques** sont administrés SID à QUID (pendant 5 à 7 jours) dans l'articulation grâce à un cathéter laissé en place.

Les antibiotiques fréquemment utilisés sont :

* 1 à 2.5×10^6 UI de Na pénicilline.

* 500 mg de gentamicine.

* 500 mg de céftiofur ou d'enrofloxacin.

* Les **fluoroquinolones ne doivent pas être utilisées**, compte tenu de leur effet toxique à haute concentration, pour les chondrocytes.

L'antibiothérapie intra-articulaire peut être complétée (mais non remplacée) par une **antibiothérapie locorégionale ou systémique par voie intraveineuse** (pendant 5 à 7 jours), puis par voie orale pendant 7 jours.

Ces durées sont indicatives et chaque traitement doit être adapté au cas présent et modulé en fonction des signes cliniques observés. L'évaluation du cheval comprend l'observation des signes locaux, des signes fonctionnels, des signes généraux (hyperthermie, paramètres sanguins) et de la cytologie du liquide synovial. Un comptage cellulaire passant sous la barre des 15×10^9 cellules nucléées/L et une proportion de neutrophiles inférieure à 75 % sont en faveur d'une bonne réponse thérapeutique.

Des AINS peuvent être utilisés pour soulager la douleur et limiter l'inflammation, ils sont arrêtés lorsque le cheval n'éprouve plus ou peu d'inconfort.

Une fois la guérison obtenue, l'utilisation de chondroprotecteurs peut être conseillée (16) (54).

5.17.5 Pronostic

Le pronostic sportif est variable en fonction de :

- L'âge du cheval.
- Des structures synoviales affectées.
- De la chronicité de l'affection.
- De la pathogénicité de l'organisme.
- De la précocité du traitement.

Le pronostic est **réservé à sombre pour les poulains** du fait de l'existence concomitante fréquente d'un échec de transfert de l'immunité passive et/ou de septicémie. La littérature rapporte en général un **taux de survie inférieur à 50 %**. Le pronostic est **bien meilleur chez l'adulte** avec un taux de **survie avoisinant 85 %** et un taux de retour aux **performances sportives de 50 %**. Le pronostic est amélioré lors de **traitement précoce et agressif** et diminué lorsque le **nombre de structures atteintes** augmente (ostéomyélite, polyarthrite...). La **localisation de l'arthrite** influence également le pronostic.

En ce qui concerne les articulations intertarsienne et tarso-métatarsienne, le pronostic est rendu **meilleur** par la possibilité d'**ankylose** (supprime la douleur) de ces articulations faisant suite au développement d'une arthrose secondaire à l'arthrite. *A contrario* l'arthrose se développant dans une articulation très mobile comme l'articulation tibio-tarsienne résulte en une **perte de fonction** et une **douleur articulaire** bien souvent non négligeables.

Le pronostic est également **plus sombre lors d'infections chroniques** du fait de la difficulté de blanchir l'articulation, mais également à cause des remaniements secondaires importants qui se développent suite à l'inflammation persistante (26).

5.18 Ostéosarcome, ostéochondrome

(57) (63) (64) (67) (115) (120)

5.18.1 Définition

L'**ostéosarcome** est la néoplasie primaire de l'os la plus courante. Chez le cheval la majorité des cas diagnostiqués impliquent uniquement le **crâne**, mais certains affectent les **membres**. De rares cas ont été décrits au niveau du **calcanéus** et de l'**articulation tarso-métatarsienne**. Les ostéosarcomes sont des lésions malignes produisant des **ostéoïdes** qui sont susceptibles de se minéraliser et former de l'os. En fonction du degré de différenciation des cellules, la distinction avec un fibrosarcome ou un chondrosarcome n'est pas toujours évidente. Peu de données sont disponibles concernant l'ostéosarcome chez le cheval, néanmoins son **potentiel métastatique semble être plutôt faible** (un unique cas de métastase a été rapporté au niveau du foie d'un âne de 10 ans souffrant d'un ostéosarcome du radius proximal (67)) (63).

Les **ostéochondromes** du tarse semblent se situer préférentiellement au niveau du **calcanéus** et de la **partie caudo-distale du tibia** (115).

Chez les chevaux les ostéosarcomes sont rapportés chez des chevaux d'âge moyen égal à 5,6 ans (âge des animaux atteints allant de 4 mois à 15 ans).

L'étiologie et la pathogénie de l'ostéosarcome ne sont pas connues. Certains considèrent que les traumatismes, certains virus, l'exposition à des radiations et la génétique seraient des facteurs prédisposants (64).

5.18.2 Signes cliniques

La boiterie provoquée est de degré variable, la présence d'une tuméfaction est possible (57).

5.18.3 Examens complémentaires

5.18.3.1 Examens d'imagerie

- ✓ Radiographie et échographie

Ostéosarcome

En règle générale l'ostéosarcome affecte la **diaphyse** ou la **métaphyse** et s'étend en direction de l'épiphyse, dans certains cas une origine périostée a été mise en évidence. Habituellement l'ostéosarcome ne va pas jusqu'à léser le cartilage articulaire et **n'affecte donc pas l'articulation** (deux cas cependant d'extension à l'articulation adjacente sont décrits (120) (57)) (64).

- Signes radiographiques de résorption osseuse et de remodelage rapides

* Une **lyse extensive** de l'os, la destruction et la formation de **nouvel os périosté** peuvent être observées.

* Une **fracture** pathologique peut survenir.

* La lésion peut dans de rares cas impliquer l'**articulation**.

Ostéome

Un cas a été rapporté en **partie latérale de l'articulation tibio-tarsienne**. La lésion apparaît sous la forme d'une **opacité ronde et calcifiée** à la radiographie et sous la forme d'une zone **hyperéchogène** créant une forte **ombre acoustique** à l'échographie.

Ostéochondrome

Il forme une **masse osseuse bien circonscrite**, associée à la plaque de croissance ou à un centre d'ossification. A l'échographie on observe une **structure échogène** et protubérante, entourée par un tissu mou désorganisé (115).

5.18.3.2 *Autres examens complémentaires*

✓ Biopsie et analyse histologique

Le diagnostic précis nécessite que cet examen révèle la présence d'**ostéoïdes** ou un taux élevé de **phosphatase alcaline** (64).

Deux types d'ostéosarcomes peuvent être distingués chez le cheval à l'histologie :

* Ostéosarcome simple : il produit des ostéoïdes et de l'os.

* Ostéosarcome télangiectasique : il produit également des ostéoïdes, mais contient aussi par endroit des espaces remplis de vaisseaux sanguins bordés par des ostéoblastes malins (57).

5.18.4 **Traitement**

Dans la majorité des cas rapportés par la littérature, **le cheval a été euthanasié**. La progression naturelle de la tumeur conduit en effet souvent à une décision d'euthanasie et lorsque l'**exérèse** des zones atteintes est tentée, la **persistance quasi permanente de marges non saines** entraîne la récurrence de la tumeur. Par ailleurs l'option d'amputation souvent préconisée chez les carnivores domestiques est difficilement applicable à l'espèce équine (63).

Dans la littérature, l'issue n'a été positive que dans deux cas :

- un cas d'**ostéosarcome des tissus mous** de l'épaule.

- un cas d'**ostéosarcome** au niveau de la **partie latérale du tarse et proximo-latérale du métatarse** chez un cheval arabe de quatorze ans. Chez ce dernier les radiographies mettaient en évidence des lésions ostéolytiques de l'os tarsal IV et des zones proximales des os métatarsiens II et IV. L'histologie était en faveur d'un sarcome indifférencié. **La masse a été retirée** chirurgicalement et l'os a été traité avec des perles de **cisplatine**. L'histologie et l'immunohistochimie ont permis de diagnostiquer un ostéosarcome télangiectasique. Le postopératoire s'est bien déroulé et huit ans et demi plus tard le cheval était toujours sain et était monté (57).

5.18.5 Pronostic

Chez l'homme et diverses espèces animales des **facteurs pronostiques** existent et se sont révélés fiables. Ces derniers sont basés sur la **gradation des lésions histologiques** (type de matrice, invasion sanguine des cellules tumorales, pléomorphisme des cellules, nombre de mitoses, pourcentage tumeur/matrice, densité des cellules tumorales, importance de nécrose, nombre de cellules géantes multinucléées et rouleaux formation).

En équine, compte tenu du faible nombre de cas d'ostéosarcomes recensés et étudiés, et de leur issue quasi-systématiquement fatale, aucun facteur pronostique n'est disponible à l'heure actuelle.

Ainsi lors de chaque cas nouvellement recensé, la réalisation d'une étude histologique précise et si le cheval est euthanasié ou décédé, une autopsie minutieuse pourrait permettre à l'avenir de mieux connaître les caractéristiques de l'ostéosarcome chez le cheval (63).

CONCLUSION

Dans sa pratique courante, le vétérinaire équin est très fréquemment confronté à des affections ostéoarticulaires du jarret et l'examen complémentaire de choix pour leur diagnostic est la radiographie. La complexité anatomique de cette structure peut cependant rendre délicate l'interprétation des images radiographiques.

C'est pourquoi cette thèse décrit la radiographie du jarret chez le cheval de la façon la plus complète possible, mais aussi, grâce au support pédagogique, d'une manière ludique et surtout interactive. L'originalité de cette thèse consiste ainsi en la présence d'un manuscrit détaillé et d'un support pédagogique informatique disponible sur le réseau « Intranet » de VetAgro Sup.

La réalisation d'une enquête d'opinion auprès d'étudiants vétérinaires a par ailleurs permis de confirmer la pertinence de ce projet et de l'adapter aux attentes des futurs utilisateurs.

Les informations délivrées dans cette thèse portent sur les principes généraux de la radiographie, l'anatomie du jarret, la radiographie du jarret et enfin les affections les plus fréquentes du jarret. La connaissance de ces différents thèmes est en effet indispensable à une bonne maîtrise de la radiographie et de son interprétation.

Le support pédagogique, facilement accessible aux étudiants, propose de nombreuses présentations et cas cliniques qui permettent de faciliter l'apprentissage de la pratique clinique.

Bien que cet outil ne pourra jamais remplacer l'expérience acquise sur le terrain, j'espère qu'il se révélera être un moyen de formation utile pour les étudiants vétérinaires.

**Le Professeur responsable
VetAgro Sup Campus Vétérinaire**

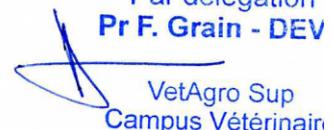


Le Président de la thèse



**Le Directeur Général
VetAgro Sup**

Par déléation
Pr F. Grain - DEV



VetAgro Sup
Campus Vétérinaire

Vu et permis d'imprimer

Lyon, le 06 JUIN 2011

**Pour le Président de l'Université,
Le Président du Comité de Coordination des Etudes Médicales,
Professeur F.N. GILLY**



BIBLIOGRAPHIE

- (1) ADAMS O.R. (1990)
Les boiteries du cheval.
Traduit de la troisième édition abrégée américaine par le professeur J.M. Denoix et les docteurs N. Crevier et S. Guignon.
Maloine, France, 450p.
- (2) ARMBRUST J.L. (2007)
Section 1 : Physics and Principles of Interpretation. Chapter 2 : Digital Images and Digital Radiographic Image Capture.
In THRALL D.E. (eds) Textbook of veterinary diagnostic radiology. 5th edition.
Saunders Elsevier, St-Louis, 22-37.
- (3) Association Vétérinaire Equine Française (AVEF) (page consultée le 20/03/2011)
Site Le RadioBlog de l'AVEF, Tout savoir sur la radioprotection en pratique équine [en ligne]
Adresse URL : <http://radio.avef.fr/>
- (4) Autorité de sûreté nucléaire (ASN) (page consultée le 20/03/2011)
Site de l'ASN [en ligne]
Adresse URL : <http://www.asn.fr/>
- (5) BALLOCK R.T., HEYDEMANN A., WAKEFIELD L.M., FLANDERS K.C., ROBERTS A.B., SPORN M.B. (1993)
TGF- β 1 prevents hypertrophy of epiphyseal chondrocytes : regulation of gene expression for cartilage matrix proteins and metalloproteases.
Dev Biol (158), 414-429.
- (6) BARONE R. (1999)
Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 1. Ostéologie. 4^{ème} édition.
Vigot, Paris, 669-737.
- (7) BARONE R. (2000)
Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 2. Arthrologie et myologie. 4^{ème} édition.
Vigot, Paris, 303-337, 913-981.
- (8) BARTHEZ P. (2002-2003)
Bases physiques et techniques en imagerie médicale.
Unité pédagogique de Radiologie-Imagerie Médicale, cours de D1. 139 p.
Disponible en ligne et en téléchargement sur le site de VetAgro Sup, à l'adresse :
<http://www3.vet-lyon.fr/ens/imagerie/Imagerie.html>
- (9) BARTHEZ P. (2005-2006)
Imagerie des carnivores et des équidés. CM : Lésions articulaires. 11p.
Unité pédagogique de Radiologie-Imagerie Médicale, cours de D2.
Disponible en ligne et en téléchargement sur le site de VetAgro Sup, à l'adresse :
<http://www3.vet-lyon.fr/ens/imagerie/Imagerie.html>
- (10) BASSAGE L.H., ROSS M.W. (2003)
Part I : Diagnosis of lameness. Chapter 10 : Diagnosis analgesia.
In ROSS M.W., DYSON R.J., (eds). Management and diagnostic of lameness in the horse.
Saunders, Philadelphia, 93-124.

- (11) BAUD E. (2002)
Protocoles d'examens radiographiques chez le cheval : tarse, boulet, pied. Conception d'outils pédagogiques.
Thèse de Doctorat Vétérinaire, Université Claude Bernard, Lyon, 87p.
- (12) BAXTER G. M. (2004)
Review of Methods to Manage Horses with Advanced Distal Tarsal Osteoarthritis.
In 50th Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners, 2004, Denver, Colorado, (Ed.).
Publisher : American Association of Equine Practitioners, Lexington KY. Internet Publisher : International Veterinary Information Service, Ithaca NY (www.ivis.org), 4-Dec-2004, P1449.1204, 6p.
- (13) BAXTER G.M., TURNER A.S. (2002)
Chapter 6 : Diseases of Bone and Related Structures.
In STASHAK T.S. (eds) *Adam's lameness in horses*. 5th edition.
Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia, 401-407.
- (14) BECHT J L., PARK R.D. (2000)
A review of selected normal radiographic variations of the equine fetlock, carpus, tarsus and stifle.
Proceedings of the Annual Convention of the AAEP 2000, Volume 46, 362-364.
- (15) BERRY C.R., THRALL D.E. (2007)
Section I : Physics and Principles of Interpretation. Chapter 5 : Introduction to Radiographic Interpretation.
In THRALL D.E. (eds) *Textbook of veterinary diagnostic radiology*. 5th edition.
Saunders Elsevier, St-Louis, 78-93.
- (16) BERTONE A.L. (2003)
Part VII : Arthritis. Chapter 66 : Infectious Arthritis.
In ROSS M.W., DYSON R.J., (eds) *Management and diagnostic of lameness in the horse*.
Saunders, Philadelphia, 598-605.
- (17) BETCH J.M., DEBROSSE F. (2005)
L'ostéochondrose chez le poulain : particularités et attitude thérapeutique.
Prat. Vét. équine, volume 37 (n° spécial : Pathologie ostéoarticulaire du jeune).
Le point vétérinaire, 87-92.
- (18) BLACHON B. (2005)
Module d'enseignement informatisé et interactif sur le syndrome articulaire dégénératif chez le cheval.
Thèse de Doctorat Vétérinaire, Université Claude Bernard, Lyon, 67p.
- (19) BOHANON T.C. (1998)
Tarsal arthrodesis.
In WHITE N.A. MOORE J.N. (eds). *Current Techniques of Equine Surgery and Lameness*. 2nd edition.
W.B. Saunders, Philadelphia, 433-440.
- (20) BOULOCHER C. (2007)
Cours d'Imagerie médicale, CM 1 et 2 : diaporama : Imagerie médicale.
Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon, 100p.
- (21) BRAMLAGE L.R., AUER J.A. (2006)
Diagnosis, Assesment, and Treatment Strategies for Angular Limb Deformities in the foal.
Clin. Tech. Equine Pract. 5, Elsevier, 259-269.

- (22) BRENOV. E. (1997)
Osteochondrosis in Standardbred trotters-heritability and effects on racing performance.
Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- (23) BRUIN G., CREMMERS J.J.H.M., SMOLDERS E.E.A. (1992)
Effect of exercise on osteochondrosis in the horse.
In Equine osteochondrosis in the 90s, Cambridge, UK.
- (24) BUSONI V. (2007)
Section III : The appendicular skeleton. Chapter 19 : The Stifle and Tarsus.
In THRALL D.E. Textbook of veterinary diagnostic radiology. 5th edition.
Saunders Elsevier, St-Louis, 370-378.
- (25) BUTLER J.A., COLLES C.M., DYSON S.J., KOLD S.E., POULOS P.W. (1993)
Chapter 1 : General principles, Chapter 6 : The tarsus.
In Clinical radiology of the horse. 3rd edition.
Blackwell Scientific Publications, Oxford, 1-24, 211-247.
- (26) BUTT T. (2002)
Septic arthritis in horses : Diagnosis and treatment.
Large animals veterinary rounds august, Volume 2, Issue 7, 6p.
Department of Large Animal Clinical Sciences, Western College of Veterinary Medicine,
University of Saskatchewan.
- (27) CANTHLEY C.E.L., FIRTH E.C., DELAHUNT J.W., PFIEFFER D.U., THOMPSON K.G. (1999)
Naturally occurring osteoarthritis in the metacarpophalangeal joints of wild horses.
Equine Vet. J. 31, 73-80.
- (28) CARLSON C.S., MEUTEN D.J., RICHARDSON D.C. (1991)
Ischemic necrosis of cartilage in spontaneous and experimental lesions of osteochondrosis.
J. orthop. Res. 9, 317-329.
- (29) CARON J.P. (1996)
Section I : General Principles of Joint Pathobiology. Chapter 4 : Neurogenic factors in joint pain and disease pathogenesis.
In McILWRAITH C.W., TROTTER G.W. Joint disease in the horse.
W.B. Saunders Compagny, Philadelphia, 70-86.
- (30) CARON J.P., LAVERTY S., ROBINSON F. (1996)
Arthrose équine : physio-pathologie et aspects actuels du traitement.
Pratique Vét équine 29, (3), 185-193.
- (31) CASAMATTA J.M. (2003)
La radiographie numérique en pratique vétérinaire équine.
Thèse de Doctorat Vétérinaire, Faculté de médecine, Creteil, 76 p.
- (32) CAUVIN E. (2003)
Part VIII : The Soft Tissues. Chapter 77 : Tarsal Sheath.
In ROSS M.W., DYSON R.J., (eds) Management and diagnostic of lameness in the horse.
Saunders, Philadelphia, 687-692.
- (33) CHATELAIN E. (1992)
Système nerveux périphérique. Innervation des membres. Membre pelvien.
Laboratoire d'anatomie de l'ENVL, 30 p.
- (34) CHATELAIN E. (1993)
Régions et ostéologie du membre pelvien. Signalement du cheval.
Laboratoire d'anatomie de l'ENVL, 84 p.

- (35) CHATELAIN E. (1997)
Disposition générale des vaisseaux sanguins. Irrigation des membres. Membre pelvien.
Laboratoire d'anatomie de l'ENVL, 56 p.
- (36) COLIN B. (2005)
Anatomie du cheval.
Derouaux Ordina, Liège, 81-88, 129-134, 220-229.
- (37) CREVIER-DENOIX N. (2005)
Croissance et maturation du squelette équin.
Prat. Vét. équine, volume 37 (n° spécial : Pathologie ostéoarticulaire du jeune).
Le point vétérinaire, 5-13.
- (38) CREVIER-DENOIX N. (2005)
Radiologie du squelette II : régions moyenne et proximale du membre postérieur.
Prat. Vét. équine, volume 37 (n° spécial : Pathologie ostéo-articulaire du jeune).
Le point vétérinaire, 26-34.
- (39) DABAREINER R.M., CARTER G.K. DYSON S. J. (2003)
Part IV : The Hindlimb. Chapter 45 : The tarsus.
In ROSS M.W., DYSON R.J., (eds). Management and diagnostic of lameness in the horse.
Saunders, Philadelphia, 440-449.
- (40) DAVIDSON E.J., ROSS M.W., PARENTE E.J. (2005)
Incomplete sagittal fracture of the talus in 11 racehorses : outcome.
Equine Vet. J. 37 (5), 457-461.
- (41) DEBOT J. (2008)
Module d'enseignement informatisé et interactif sur les déviations dans le plan sagittal et frontal des membres du jeune cheval.
Thèse de Doctorat Vétérinaire, Université Claude Bernard, Lyon, 77p.
- (42) DECHANT J.E. et al. (2003)
L'utilisation de la technique de forage de trois trajets pour l'arthrodèse des articulations tarsiennes distales chez les chevaux atteints d'arthrose tarsiennne distale : 54 cas (1990-1999).
J. Am. Vet. Med. Assoc. 223, 1800-1805.
- (43) DESJARDINS I. (2010)
Pharmacologie clinique appliquée à la médecine équine : choix raisonné des AINS.
Pôle Equin, VetAgro Sup, cours de 5^{ème} année, 5p.
- (44) DIK K.J., ENZERINK E., VAN WEEREN P.R. (1999)
Radiographic development of osteochondral abnormalities in the hock and stifle of Dutch Warmblood foals from age 1 to 11 months.
Equine Vet. J. Suppl. 31, 9-15.
- (45) DOUGLAS J. (2003)
Part VI : Developmental Orthopedic Disease and Lameness. Chapter 56 : Pathogenesis of Osteochondrosis.
In ROSS M.W., DYSON R.J., (eds) Management and diagnostic of lameness in the horse.
Saunders, Philadelphia, 534-542.
- (46) DUSTERDIECK K.F., MAY K.A., PLEASANT R.S., HOWARD R. (2002)
Case Report : Distal intertarsal joint subluxation in a pony.
Equine Vet. Educ. 14 (1), 12-16.

- (47) DYSON S. (2007)
Diagnosis and Management of Common Suspensory Lesions in the Forelimbs and Hindlimbs of Sport Horses.
Clin. Tech. Equine Pract. 6, Elsevier, 179-188.
- (48) EKMAN S., CARLSON C.S., VAN WEEREN P.R. (2009)
Third international workshop on equine osteochondrosis, Stockholm, 29-30 May 2009.
Equine Vet. J., 504-507.
- (49) EKSELL P., UHLHORN H., CARLSTEN J. (1999)
Evaluation of different projections for radiographic detection of tarsal degenerative joint disease in Icelandic horse.
Veterinary radiology and ultrasound, volume 40, issue 3, 228-232.
- (50) ELLIS D.R. (2003)
Part VI : Developmental Orthopedic Disease and Lameness. Chapter 59 : Physitis
In ROSS M.W., DYSON R.J., (eds) Management and diagnostic of lameness in the horse.
Saunders, Philadelphia, 554-556.
- (51) FARROW C.S. (2006)
Veterinary diagnostic imaging. The horse. Volume 2. Chapter 1 : Skeletal Maturity, Immaturity and dysmaturity and Chapter 15 : The Tarsus.
Mosby Elsevier, St Louis, 1-22, 254-261.
- (52) FOERNER J. (2003)
Osteochondrosis in the horse.
Journal of equine science, veterinary review, V. 32, N° 4, 142-145.
- (53) GARCIA-LOPEZ J.M. (2003)
Part VI : Developmental Orthopedic Disease and Lameness. Chapter 60 : Angular Limb Deformities, surgical management.
In ROSS M.W., DYSON R.J., (eds) Management and diagnostic of lameness in the horse.
Saunders, Philadelphia, 558-562.
- (54) GOODRICH L.R., NIXON A.J. (2004)
Satellite Article : Treatment options for osteomyelitis.
Equine Vet. Educ. 16 (5), 267-280.
- (55) GOUGH M.R., THIBAUD D., SMITH R.K.W. (2010)
Tiludronate infusion in the treatment of bone spavin : A double blind placebo-controlled trial.
Equine Vet. J. 42 (5), 381-387
- (56) GRONDHAL A.M., DOLVICK N.I. (1993)
Heritability estimation of osteochondrosis in the tibiotarsal joint and of bony fragments in the palmar/plantar portion of the metacarpophalangeal and metatarsophalangeal joints of horses.
J. Am. Vet. Med. Assoc. 203, 101-104.
- (57) GUTIERREZ-NIBEYRO S.D., SULLINS K.E., POWERS B.E. (2010)
Case Report : Treatment of appendicular osteosarcoma in a horse.
Equine Vet. Educ. 22 (11), 540-544.
- (58) HARDY J. (2006)
Etiology, Diagnosis, and Treatment of Septic Arthritis, Osteitis, and Osteomyelitis in Foals.
Clin. Tech. Equine Pract., Elsevier, 5, 309-317.
- (59) HOWARD R.D. (2006)
Chapter 6 : Periosteal transection and elevation, Chapter 7 : Transphyseal bridging.
In WILSON A.D et al. (eds) Manual of Equine field Surgery.
Saunders, Elsevier, St Louis, 46-54.

- (60) HURTING.M., GREEN S.L.K., DOBSON J. et al. (1993)
Correlative study of defective cartilage and bone growth in foals fed a low copper diet.
Equine Vet. J. 16, 66-73.
- (61) Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) (page consultée le 20/03/2011)
Site de l'IRSN [en ligne]
Adresse URL : <http://www.irsn.fr/>
- (62) Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) (page consultée le 20/03/2011)
Site du Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux rayonnements Ionisants (SISERI) [en ligne]
Adresse URL : <http://siseri.irsn.fr/>
- (63) JENNER F. (2010)
Clinical Commentary : Osteosarcoma in Equidae.
Equine Vet. Educ. 22 (3), 130-131.
- (64) JENNER F., SOLANO M., GLIATTO J., LAVALLEE S., KIRKER-HEAD C. (2003)
Case Report : Osteosarcoma of the tarsus in a horse
Equine Vet. J. 35 (2), 214-216.
- (65) JULLIAN S. (2005)
Module d'enseignement informatisé et interactif sur l'ostéochondrose du cheval.
Thèse de Doctorat Vétérinaire, Université Claude Bernard, Lyon, 97p.
- (66) KIDD J. A., FULLER C., BARR R.S. (2001)
Osteoarthritis in the horse.
Equine Vet. Educ. 13 (3), 160-168.
- (67) KILCOYNE I., WILSON M., TERZO E., DAVID F. (2010)
Osteosarcoma of the proximal radius in a donkey.
Equine Vet. Educ. 22, 125-129.
- (68) KNIGHT D.A., WEISBROD S.E., SHMALL L.M., et al. (1990)
The effects of copper supplementation on the prevalence of cartilage lesions in foals.
Equine Vet. J. 22, 426-32.
- (69) KONIG H.E, LIEBICH H.G. (2004)
Veterinary anatomy of domestic mammals. Textbook and colour atlas.
Schattauer, Stuttgart, 197-250.
- (70) LAVIN L.M. (2003)
Radiography in veterinary technology. 3th edition. Part I : Radiographic theory and equipment. Chapters 4 (Exposure factors), 5 (Radiographic quality), 6 (Image receptors), 8 (Radiographic technique evaluation). Part II : Radiographic positioning. Chapter 19 (Large animal radiography, Tarsus).
Saunders, Philadelphia, 37-74, 91-99, 127-146 et 275-277.
- (71) LEJEUNE J.P., SCHNEIDER N., HENROTIN Y., SERTEYN D. (2006)
L'ostéo-arthropathie dégénérative du cheval : Pathogénie et moyens diagnostiques.
Ann. Méd. Vét. 150, 173-192.
- (72) LIENASSON D.J.A. (2005)
Contribution à l'étude du traitement arthroscopique de l'ostéochondrite disséquante du relief intermédiaire du tibia distal chez le cheval : étude rétrospective sur 100 Trotteurs français opérés en Basse Normandie (1993-2002).
Thèse de doctorat vétérinaire, Université Paul Sabatier, Toulouse, 110p.

- (73) MALONE E.D. (2002)
Managing chronic arthritis.
Vet. Clin. Equine 18, Elsevier Science, 411-437.
- (74) McILWRAITH C.W. (1982)
Current concepts in equine degenerative joint disease.
J. Am. Vet. Med. Ass. 180, 239-250.
- (75) McILWRAITH C.W. (1996)
Section I : General Principles of Joint Pathobiology. Chapter 3 : General Pathobiology of the joint and response to injury.
In McILWRAITH C.W, TROTTER G.W. Joint disease in the horse.
W.B. Saunders Compagny, Philadelphia, 40-69.
- (76) McILWRAITH C.W. (2002)
Chapter 7 : Diseases of Joints, Tendons and Related Structures, Tenosynovitis.
In STASHAK T.S. (eds) Adam's lameness in horses. 5th edition.
Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia, 630-634.
- (77) McILWRAITH C.W. (2003)
Clinical Commentary : Incomplete ossification of carpal and tarsal bones in foals.
Equine Vet. Educ. 15 (2), 79-81.
- (78) McILWRAITH C.W. (2004)
Developmental orthopedic disease : problems of limbs in young horses.
Veterinary review, Vol. 24, N° 11, Elsevier, 475-479.
- (79) McKNIGHT A.L. (2004)
Digital radiography in Equine Practice
Clin. Tech. Equine Pract 3, Elsevier, 352-360.
- (80) MENDENHALL A., CANTWELL H.D. (1988)
Equine radiographic procedures. Part II, Section B, Chapter 16 : The tarsus.
Lea & Febiger, Philadelphia, 108-122.
- (81) MILAN F. (2008)
Gestion du sevrage chez le poulain, approche pratique et interactive.
Thèse de Doctorat Vétérinaire, Université Claude Bernard, Lyon, 157p.
- (82) MOLL H. et al. (1987)
Traumatic tarsal luxation repaired without internal fixation in three horses and three ponies.
J. Am. Vet. Med. Assoc. 190, 297-300.
- (83) MONTGOMERY L.J., JUZWIAK J.S. (2009)
Subchondral cyst-like lesions in the talus of four horses.
Equine Vet. Educ. 21 (12), 629-637.
- (84) MORGAN J.P., SILVERMAN S., ZONLINE W.J. (1981)
Techniques en radiologie vétérinaire. 2^{ème} édition (traduction du livre : Techniques of veterinary radiography. 2^{ème} édition, Veterinary radiology associates 1977). 1^{ère} partie : Généralités. Qualité de la radiographie : erreurs techniques dans la manipulation et le développement des films. 2^{ème} partie : Radiographie du cheval, Le tarse (jarret).
Editions du point vétérinaire, Maisons-Alfort, 50-55 et 96-99.
- (85) MORGAN J.P., NEVES J., BAKER T. (1991)
Equine radiography. 1st edition. A : Radiation physics. Chapter 10 : Radiation safety. B : Equine radiographic protocols, Hindlimbs. Chapter 11 : The tarsus.
Iowa State University Press, Ames, 45-52, 231-249.

- (86) MURPHY E. et al. (2000)
Long term outcome of horses with a slab fracture of the central or third tarsal bone treated conservatively : 25 cases (1976-1993).
 J. Am. Vet. Med. Assoc. 216 (12), 1949-1954.
- (87) NEMA, Medical Imaging and Technology Alliance (page consultée le 20/03/2011)
 Site Digital Imaging and Communication in Medicine [en ligne]
 Adresse URL : <http://dicom.nema.org/>
- (88) O'BRIEN T.R. (2005)
O'Brien's Radiology for the Ambulatory Equine Practitioner. 1st edition. Chapter 10 : Radiographic Interpretation of the Tarsus.
 Teton NewMedia, 197-207.
- (89) OLSTAD K., YTRETHUS B., EKMAN S., CARLSON C.S., DOLVIK N.I. (2008)
Epiphyseal cartilage canal blood supply to the tarsus of foals and relationship to osteochondrosis.
 Equine Vet. J. 40 (1), 30-39.
- (90) Ordre des Vétérinaires (page consultée le 20/03/2011)
 Portail de l'Ordre des vétérinaires (Véto pratique/Documents/Environnement, hygiène et sécurité/Radioprotection) [en ligne]
 Adresse URL : http://www.veterinaire.fr/documents-v2/onv_documentsAF.htm
- (91) PARENTE E.J. (2003)
Part VI : Developmental orthopedic disease and lameness. Chapter 60 : Angular limb deformities : Diagnosis and conservative management.
 In ROSS M.W., DYSON R.J., (eds) Management and diagnostic of lameness in the horse.
 Saunders, Philadelphia, 557-558.
- (92) RALSTON S.L. (1996)
Hyperglycaemia/hyperinsulinaemia after feeding a meal of grain to young horses with osteochondrosis dissecans (OCD) lesions.
 Pferdeheilkunde 12, 320-322.
- (93) REEVES M., TROTTER G. (1991)
Tarsocrural joint luxation in a horse.
 J. Am. Vet. Med. Assoc. 199, 1051-1053.
- (94) RELAVE F., MEULYZER M., ALEXANDER K., BEAUCHAMP G, MARCOUX M. (2009)
Comparison of radiography and ultrasonography to detect osteochondrosis lesions in the tarsocrural joint : a prospective study.
 Equine Vet. J. 41 (1), 34-40.
- (95) RICHARD E., ALEXANDER K. (2007)
Non conventional radiographic projections in the equine orthopaedic examination.
 Equine Vet. Educ. 19 (10), 551-559.
- (96) RICHARDSON D.W. (2003)
Part VI : Developmental orthopedic disease and Lameness. Chapter 58 : Diagnosis and Management of Osteochondrosis and Osseous cyst-like Lesions.
 In ROSS M.W., DYSON R.J., (eds) Management and diagnostic of lameness in the horse.
 Saunders, Philadelphia, 549-554.
- (97) ROSE L.P. (2003)
Imaging diagnosis - Avulsion of the medial collateral ligament of the tarsus in a horse.
 Veterinary radiology and ultrasound Vol 44, N° 6, 657-659.

- (98) SANDGREN B., DALIN G., CARLSTEN J. (1993)
Developpement of osteochondrosis in the tarsocrural joint and osteochondral fragments in the fetlock joints in Standardbred trotters. II. Body measurements and clinical findings.
 Equine Vet. J. 25 (Suppl 16), 48-53.
- (99) SANTSCHI E.M., ADAMS S.B., FESSLER J.F., WIDMER W.R. (1997)
Treatment of bacterial tarsal tenosynovitis and osteitis of the sustentaculum tali of the calcaneus in five horses.
 Equine Vet. J. 29 (3), 244-247.
- (100) SAVAGE C.J., McCARTHY R.N., JEFFCOTT L.B. (1993)
Effects of dietary energy and protein on induction of dyschondroplasia in foals.
 Equine Vet. J. 25 (Suppl 16), 74-79.
- (101) SAVAGE C.J., McCARTHY R.N., JEFFCOTT L.B. (1993)
Effects of dietary phosphorus and calcium on induction of dyschondroplasia in foals.
 Equine Vet. J. 25 (Suppl 16), 80-83.
- (102) SCHEBITZ H., WILKENS H. (1986)
 Atlas of Radiographic Anatomy of a Horse. 4th edition.
 Paul Parey Scientific publishers, Berlin and Hamburg, 100p.
- (103) SCHOUGAARD H., RONNE F.J., PHILIPSSON J. (1990)
A radiographic survey of tibiotarsal osteochondrosis in a selected population of trotting horses in Denmark and its possible genetic significance.
 Equine Vet. J. 22, 288-289.
- (104) SCHWARTZ Z., SYLVIA V.L., LIU Y. et al. (1998)
Treatment of resting zone chondrocytes with transforming growth factor β 1 induces differentiation into a phenotype characteristic of growth zone chondrocytes by downregulating responsiveness to 24,25-(OH)2D3 and upregulating responsiveness to 1,25-(OH)2D3.
 Bone 2, Volume 23 (5), 465-470.
- (105) Secrétariat général du Gouvernement (page consultée le 20/03/2011)
 Site Légifrance.gouv.fr, Le service public de la diffusion du droit [en ligne]
 Adresse URL : <http://www.legifrance.gouv.fr/>
- (106) SHOEMAKER R. (2004)
L'arthrose des articulations tarsiennes distales (éparvin) chez le cheval.
 La médecine vétérinaire des grands animaux, rondes cliniques, Volume 4, Issue 2, 6p.
 Department of Large Animal Clinical Sciences, Western College of Veterinary Medicine,
 University of Saskatchewan.
- (107) SINGLETON W.D., MACKIE E.J., CAWSTON T.E., ELEANOR J., JEFFCOTT L.B. (1997)
Cartilage canals in equine articular/epiphyseal growth cartilage and a possible association with dyschondroplasia.
 Equine Vet. J. 29 (5), 360-364.
- (108) SMITH R. K.W., DYSON S.J., SCHRAMME C. et al. (2005)
Osteoarthritis of the talocalcaneal joint in 18 horses.
 Equine Vet. J. 37 (2), 166-171.
- (109) STASHAK T.S. (2002)
Chapter 3, Examination of lameness.
 In STASHAK T.S. (eds) Adam's lameness in horses. 5th edition.
 Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia, 140-147.

- (110) SULLINS K.E. (2002)
Chapter 8. Part X, The tarsus.
 In STASHAK T.S. (eds) Adam's lameness in horses. 5th edition.
 Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia, 930-987.
- (111) THRALL D.E., WIDMER R. (2007)
 In THRALL D.E. (eds) Textbook of veterinary diagnostic radiology. 5th edition.
 Saunders Elsevier, St-Louis, 2-21.
Section I : Physics and Principles of Interpretation. Chapter 1 : Physics of Diagnostic Radiology, Radiation Protection and Darkroom theory.
 In THRALL D.E. Textbook of veterinary diagnostic radiology. 5th edition.
 Saunders Elsevier, St-Louis, 2-21.
- (112) TROTTER G.W., McILWRAITH C.W. (1996)
Section II : Traumatic injury and osteoarthritis. Chapter 8 : Clinical features and diagnosis of equine joint disease.
 In MCILWRAITH C.W., TROTTER G.W. (eds) Joint disease in the horse.
 W.B. Saunders Compagny, Philadelphia, 120-144.
- (113) TRUMBLE T.N. (2006)
Orthopedic Disorder in Neonatal Foals.
 Vet. Clin. Equine 21, 375-285.
- (114) VANDERPERREN K., RAES E., HOEGAERTS M., SAUNDERS J.H. (2009)
Diagnostic imaging of the equine tarsal region using radiography and ultrasonography. Part 1: The soft tissues.
 The Veterinary Journal 179, 179-187.
- (115) VANDERPERREN K., RAES E., VAN BREE H., SAUNDERS J.H. (2009)
Diagnostic imaging of the equine tarsal region using radiography and ultrasonography. Part 2: Bony disorders.
 The Veterinary Journal 179, 188-196.
- (116) VAN WEEREN P.R. (2006)
Etiology, Diagnosis, and Treatment of OC(D).
 Clin. Tech. Equine Pract. 5, 248-258.
- (117) VAN WEEREN P.R., BARNEVELD A. (1999)
The effect of exercise on the distribution and manifestation of osteochondrotic lesions in the Warmblood foal.
 Equine Vet J. Suppl 31, 16-25.
- (118) VAN WEEREN P.R. et al. (1999)
The influence of birth weight, rate of weight gain and final achieved height and sex on the development of osteochondrotic lesions in a population of genetically predisposed Warmblood foals.
 Equine Vet. J. Suppl. 31, 26-30.
- (119) WRIGLEY, R.H. (2004)
Computed radiology
 Clin. Tech. Equine Pract. 3, Elsevier, 341-351.
- (120) ZARUBY J.F., WILLIAMS J.W, LOVERING, S.L. (1993)
Periosteal osteosarcoma of the scapula in a horse.
 Can. vet. J. 34, 742-744.
 Equine vet. J. 37 (5), 457-461.

ANNEXES

Dans les pages suivantes est présenté le tableau d'archivage des résultats obtenus au questionnaire utilisé dans le cadre de l'enquête d'opinion réalisée auprès des étudiants de VetAgro Sup, Campus Vétérinaire de Lyon.

Sondage n°	Q 1	Q 2	Q 3	Q 4 - Ch. a	Q 4 - Ch. b	Q 4 - Ch. c	Q 5	Q 6 - Ch. a	Q 6 - Ch. b	Q 6 - Ch. c	Q 6 - Ch. d
43	3A	Non	Insuffisamment	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
44	2A	Oui	Insuffisamment	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
45	5A Autres	Non	Insuffisamment	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non
46	3A	Oui	Pas du tout	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non
47	5A Autres	Oui	Insuffisamment	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non
48	2A	Oui	Pas du tout	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Oui	Non
49	5A Autres	Oui	Insuffisamment	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
50	3A	Oui	Insuffisamment	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
51	4A	Oui	Insuffisamment	Non	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non
52	5A Autres	Oui	Pas du tout	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non
53	4A	Non	Insuffisamment	Oui	Non	Non	Oui	Non	Non	Oui	Non
54	5A Autres	Oui	Suffisamment	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
55	3A	Oui	Insuffisamment	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non
56	5A Equi	Oui	Insuffisamment	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non
57	5A Autres	Non	Pas du tout	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
58	2A	Non	Pas du tout	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Non
59	4A	Non	Insuffisamment	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non
60	5A Equi	Oui	Insuffisamment	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
61	4A	Non	Pas du tout	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
62	2A	Oui	Insuffisamment	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui	Non
63	5A Autres	Oui	Suffisamment	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non
64	1A	Oui	Pas du tout	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non
65											
66	4A	Oui	Insuffisamment	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
67	2A	Non	Pas du tout	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
68	2A	Oui	Insuffisamment	Non	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non
69	4A	Non	Insuffisamment	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
70	5A Equi	Oui	Insuffisamment	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non
71	2A	Oui	Insuffisamment	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Non
72	2A	Non	Pas du tout	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non
73	4A	Oui	Pas du tout	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
74	3A	Non	Pas du tout	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non
75	3A	Oui	Suffisamment	Non	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non
76	1A	Oui	Insuffisamment	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Non
77	2A	Non	Pas du tout	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
78	4A	Oui	Pas du tout	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
79	1A	Oui	Pas du tout	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non
80	4A	Oui	Insuffisamment	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non
81	4A	Non	Suffisamment	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non
82	1A	Non	Pas du tout	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non
83	5A Autres	Non	Pas du tout	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
84	1A	Oui	Pas du tout	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Non

Sondage n°	Q. 1	Q. 2	Q. 3	Q. 4 - Ch. a	Q. 4 - Ch. b	Q. 4 - Ch. c	Q. 5	Q. 6 - Ch. a	Q. 6 - Ch. b	Q. 6 - Ch. c	Q. 6 - Ch. d
85	2A	Oui	Pas du tout	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non
86	3A	Non	Insuffisamment	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
87	5A Autres	Non	Suffisamment	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non
88	4A	Oui	Insuffisamment	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non
89	5A Autres	Oui	Insuffisamment	Oui	Non	Non	Oui	Non	Non	Oui	Non
90	2A	Oui	Pas du tout	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
91	3A	Oui	Pas du tout	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non
92	1A	Oui	Pas du tout	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Non
93	2A	Oui	Pas du tout	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non
94	5A Equi	Oui	Insuffisamment	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non
95	2A	Oui	Pas du tout	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Non
96	1A	Non	Pas du tout	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
97	3A	Non	Insuffisamment	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Non
98	2A	Oui	Pas du tout	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non
99	2A	Non	Pas du tout	Non	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non
100	5A Equi	Oui	Insuffisamment	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non
101	4A	Non	Pas du tout	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non
102	5A Equi	Oui	Insuffisamment	Non	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non
103	5A Equi	Oui	Suffisamment	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non
104											
105	3A	Oui	Insuffisamment	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Non

Sondage n°	Q. 8 - 1	Q. 8 - 2 P. 1	Q. 8 - 2 P. 2	Q. 8 - 2 P. 3	Q. 8 - 2 P. 4	Q. 8 - 2 P. 5	Q. 8 - 2 P. 6	Q. 8 - 2 P. 7	Q. 8 - 2 P. 8	Q. 8 - 2 P. 9	Q. 8 - 2 P. 10	Q. 8 - 2 P. 11	Q. 8 - 2 P. 12
87	Satisfaisant	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion									
88	Très satisfaisant	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion									
89	Très satisfaisant	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
90	Très satisfaisant	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion									
91	Satisfaisant	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion									
92	Satisfaisant	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion									
93	Très satisfaisant	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion									
94	Très satisfaisant	Non	Non	Non									
95	Satisfaisant	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
96	Très satisfaisant	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion									
97	Satisfaisant	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
98	Satisfaisant	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion									
99	Très satisfaisant	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Non
100	Satisfaisant	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion									
101	Très satisfaisant	Non	Non	Non									
102	Satisfaisant	Non	Oui	Oui	Oui								
103	Satisfaisant	Oui	Oui	Oui									
104	Très satisfaisant												
105	Très satisfaisant	Non	Non	Non									

Sondage n°	Q. 8 - 3 - P. 1	Q. 8 - 3 - P. 2	Q. 8 - 3 - P. 3	Q. 8 - 3 - P. 4	Q. 8 - 3 - P. 5	Q. 8 - 3 - P. 6	Q. 8 - 3 - P. 7	Q. 8 - 3 - P. 8	Q. 8 - 3 - P. 9	Q. 8 - 3 - P. 10	Q. 8 - 3 - P. 11	Q. 8 - 3 - P. 12	Q. 9	Q. 10
1	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Dynamique	Oui
2	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion	b+c	Oui									
3	Sans Opinion	Non	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion	Dynamique	Oui				
4	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Dynamique	Oui
5	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non	Autre	Non
6	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non	Oui	b+c	Oui
7														
8	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Dynamique	Oui
9	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Non	Oui	b+c	Oui
10	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion	Dynamique	Oui									
11	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Dynamique	Oui
12	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Dynamique	Oui
13	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	Dynamique	Oui
14	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion	Dynamique	Oui									
15	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	b+c	Oui
16	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Non	b+c	Oui
17	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	b+c	Oui
18	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	b+c	Oui
19	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Non	b+c	Oui
20	Non	Non	Oui	b+c	Oui									
21	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	b+c	Oui
22	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion	Fixe	Oui									
23	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Non	Non	Oui	b+c	Oui
24														
25	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Non	Non	Oui	b+c	Oui
26	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	b+c	Oui
27	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	b+c	Oui
28	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	b+c	Oui
29	Oui	Non	Non	Non	b+c	Oui								
30	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion	b+c	Oui									
31	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Dynamique	Oui
32	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	b+c	Oui
33	Oui	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Oui	Dynamique	Oui
34	Oui	Non	Non	Oui	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Dynamique	Oui
35	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Dynamique	Oui
36														
37	Oui	Non	Oui	Non	Non	Oui	b+c	Oui						
38	Non	Oui	Oui	Non	Non	Autre	Oui							
39	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion	b+c	Oui									
40	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	b+c	Oui
41	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Non	b+c	Oui
42	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Non	b+c	Oui
43	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Dynamique	Oui

Sondage n°	Q. 8 - 3 - p. 1	Q. 8 - 3 - p. 2	Q. 8 - 3 - p. 3	Q. 8 - 3 - p. 4	Q. 8 - 3 - p. 5	Q. 8 - 3 - p. 6	Q. 8 - 3 - p. 7	Q. 8 - 3 - p. 8	Q. 8 - 3 - p. 9	Q. 8 - 3 - p. 10	Q. 8 - 3 - p. 11	Q. 8 - 3 - p. 12	Q. 9	Q. 10
87	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Non	b+c	Oui
88	Oui	Oui	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	b+c	Oui
89	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	b+c	Oui							
90	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion	b+c	Oui									
91	Oui	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Non	Oui	b+c	Oui
92	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion	b+c	Oui									
93	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion	Fixe	Oui									
94	Oui	Oui	Oui	Fixe	Oui									
95	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	b+c	Oui						
96	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion	b+c	Oui									
97	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Non	Non	Oui	b+c	Oui
98	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	b+c	Oui							
99	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	b+c	Oui
100	Sans Opinion	Sans Opinion	Sans Opinion	Dynamique	Oui									
101	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Non	Oui	Oui	Non	Non	Oui	b+c	Oui
102	Non	Non	Non	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	b+c	Oui
103	Non	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	b+c	Oui						
104	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Non	b+c	Oui
105	Non	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui	Non	Oui	Oui	Oui	Non	b+c	Oui

RHEIN Alicia

**LA RADIOGRAPHIE DU JARRET CHEZ LE CHEVAL :
CONCEPTION D'UN SUPPORT PEDAGOGIQUE**

Thèse Vétérinaire : VetAgro Sup Campus Vétérinaire, 2011

RESUME :

Le vétérinaire équin est très fréquemment confronté à des affections ostéoarticulaires du jarret et l'examen complémentaire de choix pour leur diagnostic est la radiographie. Cette thèse a pour objet de décrire la radiographie du jarret chez le cheval de la façon la plus complète possible grâce au manuscrit, mais aussi d'une manière ludique et surtout interactive grâce au support pédagogique consultable sur le réseau « Intranet » de VetAgro Sup, Campus Vétérinaire de Lyon.

Les informations délivrées dans cette thèse portent sur les principes généraux de la radiographie, l'anatomie du jarret, la radiographie du jarret et enfin les affections les plus fréquentes du jarret. Au sein du support pédagogique, treize cas cliniques réels, agrémentés de « questions-réponses » portant sur quelques affections du jarret, permettent par ailleurs à l'utilisateur d'aborder plus concrètement les sujets évoqués auparavant et de se projeter dans la réalité d'une consultation vétérinaire. Cette thèse a donc pour vocation que le lecteur puisse y trouver toutes les données fondamentales au sujet de la radiographie du jarret mais également toutes les informations complémentaires lui permettant d'optimiser sa pratique clinique.

MOTS CLES :

- Cheval
- Os - Radiographie
- Tarse
- Nouvelles technologies de l'information et de la communication en éducation

JURY :

- | | |
|------------------|------------------------------------|
| Président : | Monsieur le Professeur M. JANIER |
| 1er Assesseur : | Madame le Docteur C. BOULOCHER |
| 2ème Assesseur : | Monsieur le Professeur J.L. CADORE |

DATE DE SOUTENANCE :

30 Juin 2011

ADRESSE DE L'AUTEUR :

25 rue Guynemer
63000 CLERMONT-FERRAND