

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة ابن خلدون تيارت
UNIVERSITE IBN KHALDOUN – TIARET
معهد علوم البيطرة
INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES
قسم الصحة الحيوانية
DEPARTEMENT DE SANTE ANIMALE



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de docteur vétérinaire.

**Présenté par : Taïeb Brahim El Mokhtar Mohammed El Habib
Ben Ali Khoudja Adem**

Thème

**Application de la méthode d'enclouage centromédullaire sur un lapin à
titre expérimental**

Soutenu le : 26/ 06 /2023

Jury :

**Président : Dr. MERATI Rachid
Encadrant : Pr. AMARA Karim
Examineur : Dr. MOUSSA Ahmed**

Grade :

**MCA
Professeur
MCA**

Année universitaire 2022-2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicace

De la part de Taïeb Brahim El Mokhtar Mohammed El Habib :

Je dédie cet humble travail à :

L'homme qui a toujours veillé sur mes progrès tout en donnant les meilleurs des conseils, mon père qui a su instaurer en moi la discipline

La femme qui m'a donnée la vie et qui n'a jamais arrêté de m'encourager, ma mère qui a toujours su me remettre dans le droit chemin

Ma défunte grand-mère qu'Allah le grand lui donne une place au paradis

De la part de Ben Ali Khoudja Adem :

Je dédie cet humble travail à :

Ma mère ma supportrice dans cette vie et dans toute circonstance

Mon père Sedik une personne légendaire qu'Allah lui donne une place au paradis

Ma bien-aimée qui m'a toujours soutenu

Toute ma famille, la famille Ben Yahya et la famille Brahim

A tout ceux qui nous ont accompagnés dans ce long voyage merci d'être présent on vous souhaite un avenir radieux et on espère accomplir plus dans notre domaine sous la bénédiction d'Allah le grand

Remerciements

Avant tous, nous remercions ELLAH tout puissant de nous avoir donné la force et la volonté d'accomplir ce travail.

On adresse nos profonds remerciements :

À Monsieur le **Professeur AMARA Karim**, l'encadrant de cette thèse pour sa patience la qualité de son encadrement, ses conseils précieux et ses qualités humaines. On tenait à exprimer notre sincère gratitude pour nous avoir donné l'occasion de réaliser cette thèse et pour votre immense soutien durant cette année

Nous remercions d'avance les membres du jury qui consacreront leur précieux temps à prendre connaissance de ce travail et de considérer sa valeur :

Monsieur Dr. MERATI Rachid : pour avoir accepté de présider ce jury.

Monsieur Dr MOUSSA Ahmed : pour avoir accepté d'être un membre du jury

Table des matières

LISTE DES FIGURES :	I
LES TABLEAUX	II
LISTE DES SIGNES ET ABREVIATIONS	III
CHAPITRE I : INTRODUCTION	1
CHAPITRE II : RAPPEL SUR LES PROPRIETES ANATOMIQUE ET HISTOLOGIQUE DE L'OS	2
II.1. Caractères généraux :	2
II.2. Les structures histologiques de l'os :	3
II.2.1. Le Périoste	3
II.2.2. L'os spongieux :	4
II.2.3. L'os compact :	4
II.2.4. L'endoste :	4
II.3. La répartition des structures de l'os long :	5
II.3.1. La diaphyse :	5
II.3.2. Les métaphyses :	5
II.3.3. Les épiphyses :	5
II.4. Les éléments histologiques qui constituent l'os :	7
II.4.1. La matrice :	7
II.4.2. Les ostéoclastes :	8
II.4.3. Les ostéocytes :	9
II.5.1 Vascularisation normale de l'os :	9
II.5.2. Description de la vascularisation de l'os adulte selon (Noury ; 2006)	10
II.5.2.1. Système artériel afférent :	10
II.5.2.2. Système vasculaire efférent :	10
II.5.2.3. Système capillaire.....	11
II.6. Rappel anatomique sur le fémur du chien :	13
II.6.1. Ostéologie :	13
II.6.2. Myologie de la de la région fémorale :	15
II.6.2.1. Muscles de la cuisse (Barone ; 1986) :	15
II.6.2.2 Les insertions musculaires du fémur :	16
II.6.3. Neurologie :	16
II.6.3.1. Le nerf Fémoral :	16

II.6.3.2. Le nerf saphène :	17
II.6.3.3. Le nerf sciatique :	17

CHAPITRE III : CLASSIFICATION DES FRACTURES ET LA CONSOLIDATION OSSEUSE..... 18

III.1. Définition d'une fracture :	18
III.2. Classification des fractures selon la Cause :	18
III.3. Selon la présence/absence de plaies communiquant avec le foyer externe :	19
III.4. Selon l'étendue de la lésion :	19
III.4-1. Fracture complète :	19
III.4-2. Fracture en bois vert :	19
III.5. Selon la direction du trait de fractures (Brinker & al ; 1994) :	20
III.5-1. Fracture transversale	20
III.5-2. Fracture oblique :	20
III.5-3. Fracture spiroïde	20
III.5-4. Fracture comminutive :	20
III.5-5. Fracture multiple ou esquilleuse	20
III.5-6. Fracture engrenée :	20
III.5-7. Fracture par arrachement :	20
III.5-8. Fracture épiphysaire :	20
III.5-9. Fracture condylienne ou unicondylienne :	20
III.5-10. Fracture bicondylienne :	20
III.6. Selon la stabilité après la réduction (Brinker & al ; 1994):	21
III.6-1. Fracture stable :	21
III.6-2. Fracture instable :	21
III.7. Localisation, morphologie et gravité des fractures :	22
III.8. Les forces exercées sur une fracture (Malki ; 2021) :	23
III.8.1. Traction :	23
III.8.2. Compression :	23
III.8.3. Torsion :	23
III.8.4. Flexion :	23
III.8.5 Cisaillement :	24
III.9. Les conséquences vasculaires :	24
III.10. La consolidation osseuse:	25
III.10.1. Phase inflammatoire :	25
III.10.2. La phase de réparation (Noury. ; 2006) :	26
III.10.3. Phase de remodelage :	27
III.11. Quelques complications possibles (Magnin ; 2016) :	28

III.11.1. Pseudarthrose :	28
III.11.2. Retard de cicatrisation osseuse :	29
CHAPITRE IV : DIAGNOSTIQUE DES FRACTURES :	30
IV.1. Examen général :	30
IV.2. Commémoratifs et anamnèse :	30
IV.3. Observation à distance :	31
IV.4. Examen du mouvement de l'animal :	31
IV.5. Palpation sur l'animal debout :	32
IV.6. Examen des régions des membres pelviens d'un animal boiteux (Piermattei <i>&al</i> ; 2009) :	33
IV.6.1. Bassin :	33
IV.6.2. Grasset :	33
IV.6.3. Jarret :	34
IV.7.1 Examen radiologique :	35
IV.8.2. Aspect normal de L'os sur film radio :	36
IV.8.3. Caractérisation de la fracture (Leroux ; 2010).	36
IV.8.3.1. Localisation	36
IV.8.3.2. Comminution.....	36
IV.8.3.3. Morphologie.....	37
IV.8.3.4. Déplacement.....	37
IV.9. Imagerie Médicale par radiographie :	38
IV.9.1 Les rayons X :	38
IV.9-2. L'interaction des rayons x avec la matière :	39
IV.9-3. L'interaction des rayons x avec l'atome :	40
IV.10. Appréciation de la qualité de l'image radiographique :	41
IV.10-1. Densité et Opacité :	41
IV.10-2. Le contraste.....	41
IV.10-3. Notion du Signe de la silhouette positif (effacement du bord) :	42
IV.11. Production des rayons X :	43
IV.11-1 La tension :	45
IV.11-2 L'intensité :	45
IV.11-3. Le temps d'exposition :	45

CHAPITRE V : TRAITEMENT DES FRACTURES DU FEMUR :	46
V.1. Moyen d'immobilisation du membre :	46
V.1. Attelle de Thomas :	46
V.3. Quelques méthodes chirurgicales (sanglantes) utilisé pour l'immobilisation du fémur en cas de fracture diaphysaire :	47
V.3.1. Mise en place d'une broche intramédullaire ou d'un clou verrouillé sur le fémur (Johnson & Dunning ; 2005) :	47
V.3.2. Plaque d'os (Malki ; 2021) :	50
 CHAPITRE VI : LA PARTIE EXPERIMENTALE :	 52
VI.1. L'objectif :	52
VI.2. Présentation et préparation de l'animal:	52
VI.3. Le protocole d'anesthésie générale du lapin:	53
VI.4. Matériel utilisé :	54
VI.5. les différentes étapes de l'opération :	56
1 ^{ière} étape :	56
2 ^{ième} étape :	57
3 ^{ième} étape:	58
4 ^{ième} étape :	58
5 ^{ième} étape :	59
6 ^{ième} étape:	60
7 ^{ième} étape.....	60
8 ^{ième} étape:	61
9 ^{ième} étape:	62
10 ^{ième} étape:	63
11 ^{ième} étape:	63
12 ^{ième} étape:	64
VI.6. Le suivi postopératoire :	65
 CHAPITRE VII : DISCUSSION	 66
 LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :	 70

LISTE DES FIGURES :

Figure II-1. Schématisation des structures osseuse.....	3
Figure II-2. Schématisation de la répartition des structures osseuse de l'os long.....	6
Figure II-3. Schéma des cellules du tissu osseux.....	7
Figure II-4. A) schématisation de l'ostéoclaste B) ostéoclaste au microscope électronique	9
Figure II-5. Schématisation de la vascularisation de l'os.....	12
Figure II-6. Vascularisation normale de l'os.	12
Figure II-7. Ostéologie du fémur gauche du chien (Bouknine. 2014)	14
Figure III-1. Schémas des types de fractures diaphysaire.....	21
Figure III-2. Types de fractures des parties distales et proximales d'un os long.	22
Figure III-3. Schématisation de la consolidation osseuse	28
Figure IV-1. Deux incidences radiographiques d'une fracture épiphysaire distale du fémur	35
Figure IV-2. Spectre de rayonnement électromagnétique.....	38
Figure IV-3. Schémas d'interaction des rayons x avec la matière	39
Figure IV-4. Schémas d'interaction des rayon X avec l'atome.....	40
Figure IV-5. Schémas du tube radiogène 1	44
Figure IV-6. Schémas du tube radiogène 2	44
Figure V-1. Schéma de l'installation d'une broche intramédullaire.....	48
Figure V-2. Schématisation des méthodes de stabilisation associée à la broche intramédullaire	49
Figure VI-1. Sujet avant le début de l'opération	52
Figure VI-2. Lame bistouri bord convexe (20)	54
Figure VI-3. Fil de suture acide polyglycolique USP 2/0	54
Figure VI-4. Les broches orthopédiques intramédullaires de type Steinmann.....	54
Figure VI-5. Le matériel chirurgicale utilisée	55
Figure VI-6. Le du mandrin de Jacobs,	55
Figure VI-7. Présentation de l'animal en décubitus latéral gauche et antisepsie de la région à opérer	56
Figure VI-8. L'incision de la peau	57
Figure VI-9. Les couches musculaires	57
Figure VI-10. Incision des couches musculaire et la présentation de la diaphyse fémorale	58
Figure VI-11. Le passage de la scie-fil en dessous du fémur.....	58
Figure VI-12. La scie-fil passée autour du fémur	59
Figure VI-13. La technique utilisée pour provoquer la fracture transversale.....	59
Figure VI-14. L'insertion de broche de Steinmann à travers segment proximal de la diaphyse du fémur	60

Figure VI-15. Le passage de la broche à travers la cuisse.....	60
Figure VI-16. Le passage de la broche dans le canal médullair	61
Figure VI-17. La tête de la broche dans la brèche de la fracture.....	61
Figure VI-18. Le positionnement de la broche comparée à une autre tenue en parallèle.....	62
Figure VI-19. L'application d'antibiotique	62
Figure VI-20. Le surjet avec point d'arrêt appliqué sur les couches musculaires de la cuisse	63
Figure VI-21. Les points de suture simple appliquée sur la peau	63
Figure VI-22. Le sujet après l'application d'Aluspray®.....	64
Figure VI-23. Le sujet postopération	65
Figure VI-24. Le matériel utilisé pour extraction de la broche	65

LES TABLEAUX

Tableau VI-1. Information sur le protocole anesthésique.....	53
---	----

LISTE DES SIGNES ET ABREVIATIONS

- °C : degré Celsius
- cm : centimètre
- g : gramme
- h : heure
- IM : intramédullaire
- j : jour
- Kg : kilogramme
- mg : milligramme
- min : minute
- ml : millimètre
- N° : numéro
- SC : sous-cutanée
- T° : température
- RX : Rayon X
- kVp : kilo voltage peak
- Hz : Hertz
- J : Jule
- eV : électronvolt
- keV : kilo électronvolt
- Gy : Gray
- mGy : milligray
- Gy/s : Gray par second
- mGy/s : milligray par second

CHAPITRE I : INTRODUCTION

L'utilisation des premiers enclouages centromédullaires comme fixation intramédullaire pour stabilisation interne des fractures des os longs remonte au XVI^e siècle (Duhautois ; 2001). Cette technique simple et rapide de mise en œuvre, nécessite cependant un compromis judicieux dans le choix du matériel et de la technique d'enclouage pour obtenir un montage stable (Duhautois & Legard ;1992).

L'enclouage centromédullaire est une opération qui a pour but d'introduire une broche orthopédique à l'intérieur de cavité médullaire des os long suivant : fémur, tibia, l'humérus, et l'ulna. C'est une procédure sanglant employée à elle seule pour la réduction des fractures stables pour lutter contre que les forces de cisaillement et de flexion que subit la fracture (Brinker *&al* ; 1994). En dehors du traitement des fractures récentes, cette méthode s'est avérée aussi efficace pour le traitement des troubles de la consolidation, qu'il s'agisse de simples retards, de pseudarthroses ou de cals vicieux, ou encore pour le traitement curatif et préventif des lésions métastatiques des os longs. L'enclouage centromédullaire tient maintenant une place importante dans l'arsenal thérapeutique du chirurgien orthopédiste-traumatologue (Lefèvre ; 2007).

Cependant, si les fractures traitées par enclouage centromédullaire sont significativement moins sujettes aux cals vicieux et aux greffes osseuses que celles traitées par fixateur externe, les faillites d'implant sont plus fréquentes lors d'enclouage centromédullaire (Leroux ; 2010).

La présente étude constitue un prototype de traitement des fractures transversales de la diaphyse du fémur par un enclouage centromédullaire rétrograde.

En effet, l'objectif de cette étude est de réaliser une ostéosynthèse chez le lapin par une broche de type Steinmann, de décrire les différentes étapes pré, per, et postopératoire, et surtout exposer les moyens et le matériel nécessaire à la réalisation de ce type de chirurgie orthopédique. Parailleurs, cette étude nous permettra d'évaluer les éventuelles complications liées aux déplacements de la broche.

CHAPITRE II : RAPPEL SUR LES PROPRIETES ANATOMIQUE ET HISTOLOGIQUE DE L'OS

II.1. Caractères généraux :

La caractéristique essentielle de ce tissu est que sa substance fondamentale se minéralise, c'est-à-dire qu'elle se charge de sels minéraux, essentiellement calciques, qu'elle emprunte au sang. Le sang peut d'ailleurs reprendre une partie de ces sels. Ainsi, la fonction de l'os est double :

Fonction mécanique : les os sont rigides et donnent attache aux muscles pour permettre les mouvements. Cette rigidité résulte de la minéralisation.

Fonction homéostasique: l'os constitue une réserve minérale dans laquelle le sang peut puiser ou déposer les sels de calcium de façon à maintenir constante sa composition. L'homéostasie est le phénomène par lequel le milieu intérieur du corps (humeurs : sang, lymphe) est maintenu dans une composition physique et chimique constante. Le tissu osseux est en perpétuel remaniement, à la fois pour assurer cette dernière fonction et pour s'adapter aux contraintes mécaniques liées à l'évolution de l'organisme. (Barone ; 1986)

II.2. Les structures histologiques de l'os :

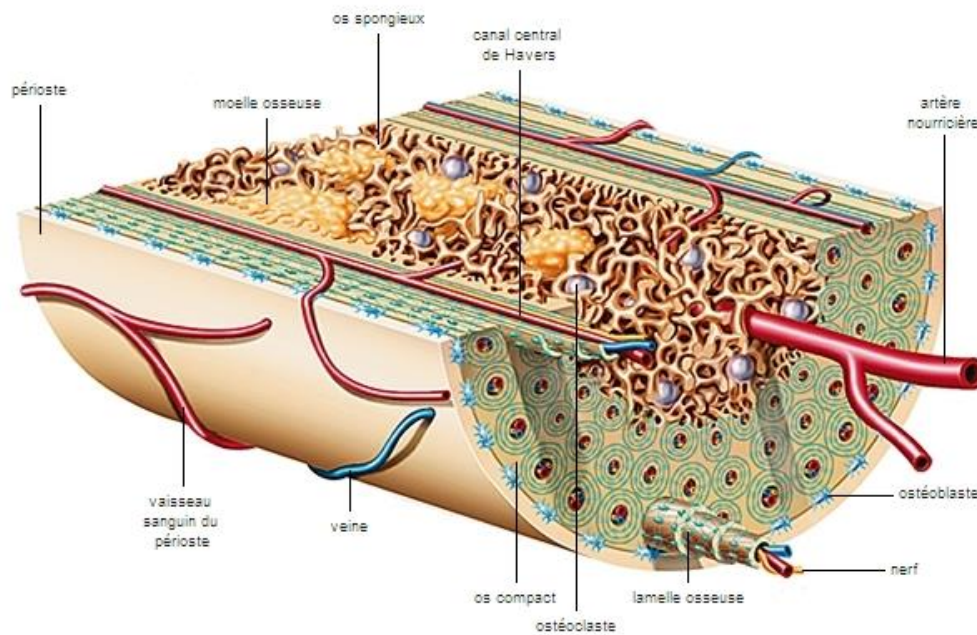


Figure II-1.Schématisation des structures osseuse

https://www.larousse.fr/encyclopedie/images/Coupe_dun_os/1001990

II.2.1. Le Périoste:Le périoste (Periosteum) est une membrane fibreuse qui recouvre l'os en entier, sauf au niveau des cartilages articulaires et des insertions des muscles ou des tendons, où il se raccorde à la surface de ces derniers. Il est formé en surface de tissu conjonctif dense et orienté dont les fibres sont entrecroisées, avec une orientation dominante longitudinale dans les os longs : c'est la couche fibreuse (Stratum fibrosum). Sa partie profonde est appliquée contre l'os. Elle comporte une sorte de moelle superficielle, capable de fabriquer de l'os. C'est la couche ostéogène (Stratum osteogenicum) anciennement « blastème souspériostal d'Ollier ». Cette couche est traversée par de nombreuses fibres qui viennent de la couche superficielle pour aller, après un trajet arciforme, plonger dans la substance osseuse. Ce sont les fibres perforantes (Fibrae perforantes) anciennement « fibres de Sharpey » analogues à celles des attaches tendineuses et ligamenteuses. Tant que dure la croissance de l'os, la couche ostéogène est active et bien discernable. Elle devient ensuite vestigiale, mais peut retrouver une activité dans des circonstances pathologiques (ostéogénèse réactionnelle). D'autre part, pendant la croissance, elle n'est pas partout ostéogène. Elle

devient de façon transitoire ostéoclasique en certaines zones, de façon à maintenir une conformation de l'os appropriée à sa fonction (Barone ; 1986)

II.2.2. L'os spongieux : à la face interne de l'os cortical est établi une sorte de treillage de substance osseuse, qui porte le nom d'os spongieux et qui agit à la manière des croisillons d'un montage de construction. L'os spongieux est une structure de support que l'on trouve dans tous les os et qui reçoit ses éléments nutritifs directement en provenance de la moelle osseuse. Il est loin d'être aussi dur que l'os cortical et, en raison de sa forme, il ne dispose pas d'un système de canaux de Havers. (Leonard ; 1974)

II.2.3. L'os compact : la couche externe de la plupart des os et représente 80% du tissu osseux du corps, il est principalement constitué d'ostéones ou système de Havers fait de lamelles osseuses cylindriques disposées concentriquement autour du canal de Havers. Entre les lamelles, se situent les ostéoblastes contenant le corps cellulaire des ostéocytes. Le canal de Havers contient des capillaires sanguins et des filets nerveux amyéliniques enrobés d'un peu de tissu conjonctif lâche (André *&al* ; 2008).

Les lamelles osseuses sont disposées de façon concentrique autour d'un canal central appelé canal de Havers où circulent les vaisseaux; les canaux de Havers sont reliés entre eux par des canaux transversaux, les canaux de Volkmann (Chavassieux & Meunier ; 2003).

Cette disposition confère à l'os compact un maximum de résistance. Entre les ostéones se trouvent des lamelles osseuses, vestiges d'ostéones anciens partiellement résorbés et constituant les systèmes interstitiels. La diaphyse des os longs est bordée extérieurement et intérieurement par des lamelles osseuses circonférentielles, réalisant le système circonférentiel externe et le système circonférentiel interne (André *&al* ; 2008).

II.2.4. L'endoste :L'endoste recouvre l'ensemble des surfaces internes de l'os. C'est-à-dire les trabécules osseuses et les parois des canaux ostéoniques « de Havers». Il se compose d'une couche mince de fibrilles du collagène non minéralisées et d'une assise cellulaire comprenant des cellules souches mésenchymateuses, des cellules ostéoprogénitrices, des ostéoblastes et des ostéoclastes. Ces cellules peuvent s'activer et enclencher rapidement des

synthèses osseuses à n'importe quel endroit de l'os, c'est ce qui permet aux fractures osseuses de se réparer (Rauch ; 2000).

II.3. La répartition des structures de l'os long : Les os longs sont constitués par une portion moyenne cylindrique : la diaphyse, et des deux extrémités : les épiphyses qui sont séparées de la diaphyse par les métaphyses (Maillet & Chiarasini ; 1979).

II.3.1. La diaphyse : Une cavité centrale remplie d'un tissu jaunâtre, très riche en graisse et de la moelle osseuse jaune. La paroi diaphysaire ou corticale est formé d'os compact qui parait homogène à l'œil nu (Dadoune et *al* ; 1990).

II.3.2. Les métaphyses : Sont situées entre les épiphyses et la diaphyse. Pendant la croissance, elles sont séparées des épiphyses par le cartilage de conjugaison. Elles sont formées par du tissu osseux spongieux revêtu d'une mince couche de tissu périostique (Maillet ; 1979).

I.3.3. Les épiphyses : Elles forment l'extrémité des os longs. Elles sont constituées de tissu spongieux entouré par une fine couche de tissu compact au-dessus duquel se trouve le cartilage articulaire (Cochran ; 2011).

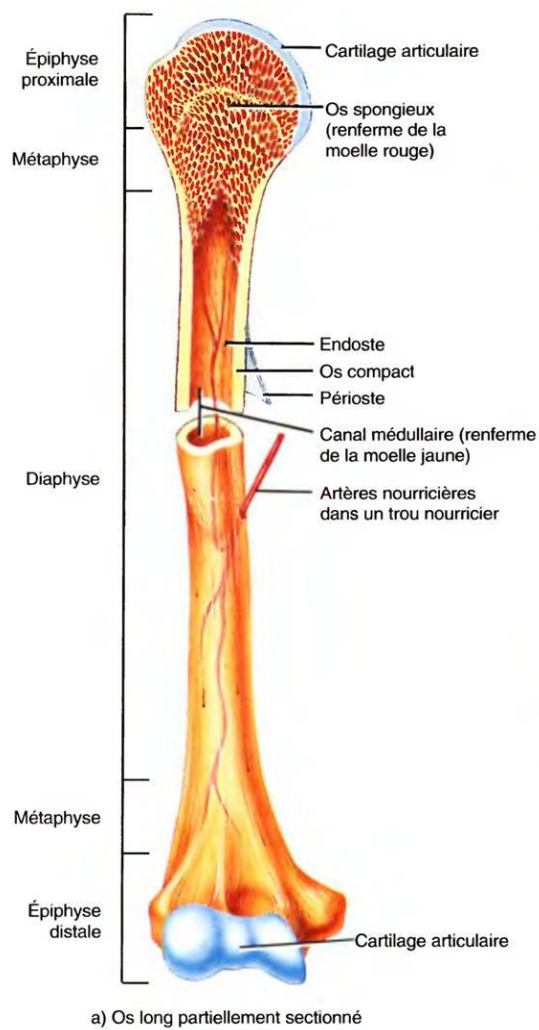


Figure II-2. Schématisation de la répartition des structures osseuse de l'os long

<http://amar-constantine.e-monsite.com/pages/cours-pour-autres-specialites/anatomie-physiologie/osteologie.html>

II.4. Les éléments histologiques qui constituent l'os :

L'os est constitué de cellules et d'une matrice extracellulaire de nature collagène prédominante (collagène de type I) Appelée ostéoïde dont la minéralisation est due au dépôt de cristaux d'hydroxyapatite conférant à l'os une rigidité et une solidité considérables. Les cellules de l'os sont : Les ostéoblastes : qui synthétisent l'ostéoïde et régulent sa minéralisation ; on les trouve le long des surfaces osseuses. Les ostéocytes : qui correspondent à des ostéoblastes inactifs à l'intérieur de l'os constitué ; ils pourraient participer à la nutrition de l'os. Les Ostéoclastes : cellules phagocytaires capables d'éroder l'os et qui, avec les ostéoblastes, jouent un rôle important dans les phénomènes constants de renouvellement et de remodelage osseux. Les ostéoblastes et les ostéocytes dérivent d'une cellule mésenchymateuse primitive appelée cellule ostéoprogénitrice. (Wheater *et al* ; 2001).

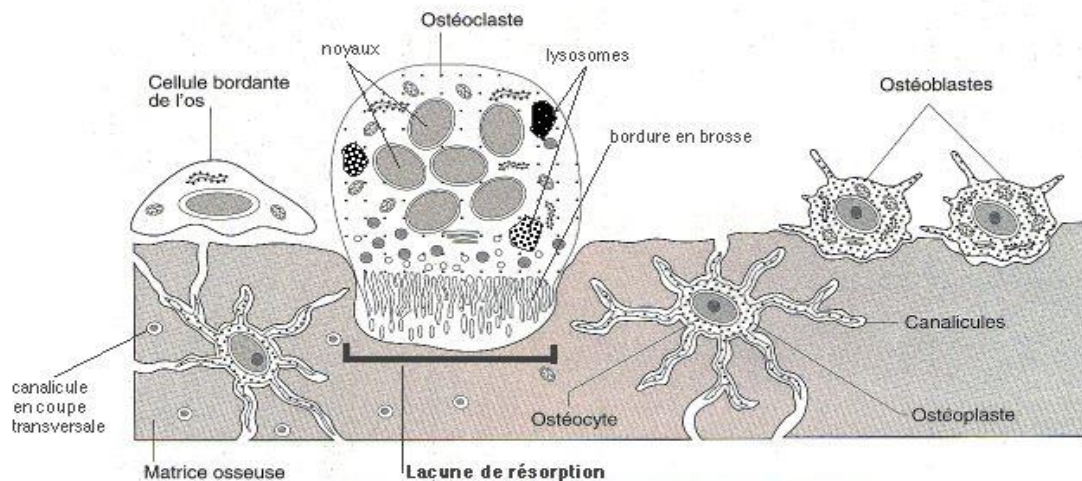


Figure II-3. Schéma des cellules du tissu osseux

<http://www.db-gersite.com/HISTOLOGIE/HISTGENE/histgen1/histgen4/histgen4.htm>

II.4.1. La matrice : La matrice extracellulaire représente 90% du poids total de l'os compact. Sa phase inorganique, composée de microcristaux d'hydroxyapatite, en forme 60% tandis que la phase organique, surtout des protéines, en forme 30%. Le collagène de type I constitue à lui seul la quasi-totalité de la phase organique et l'activité des ostéoblastes est essentiellement orientée vers sa synthèse. Les fines lignes dans

l'appareil de Golgi sont les triples hélices du procollagène qui s'y associent avant la sécrétion. Dans cette préparation, la substance ostéoïde non minéralisée diffère clairement des régions où la minéralisation et le dépôt des cristaux a débuté. Dans celles-ci, des vésicules matricielles, qu'on croit provenir des ostéoblastes, concentrent le calcium et contiennent les enzymes, dont la phosphatase alcaline, qui catalysent la minéralisation. Le premier cristal d'hydroxyapatite se forme dans un espace de 35 nm qui sépare les molécules de tropocollagène. (Cross & Mercer ; 1995)

II.4.2. Les ostéoclastes : l'ostéoclaste est une cellule plurinucléée de la famille des macrophages, capable de détruire la matrice minéralisée. Les ostéoclastes sont observés à la surface de l'os. Ce sont de volumineuses cellules de 50 à 100µm de diamètre et possédant de 30 à 50 noyaux. La surface cellulaire présente, au contact de l'os, une différenciation sous forme de bordure en brosse. Ce sont de longues microvillosités irrégulières, entre les pieds desquelles s'ouvrent des canicules qui se prolongent très profondément dans le cytoplasme et qui se terminent au contact de lysosomes et de vacuoles de sécrétion La bordure en brosse occupe une surface limitée, mais un ostéoclaste peut en posséder plusieurs. Autour de cette région on observe un bourrelet annulaire renforcé par le cytosquelette. En s'appuyant sur la surface osseuse, il délimite une petite chambre de résorption où se concentrent les substances lytiques sécrétées par l'ostéoclaste. La cavité située en regard de la bordure en brosse constitue la lacune de Howship. L'ostéoclaste solubilise les cristaux minéraux en abaissant le pH local par un système de pompe à protons. Le collagène est digéré dans les vacuoles cellulaires par une collagénase lysosomiale (Dadoun& Siffori ; 2000)

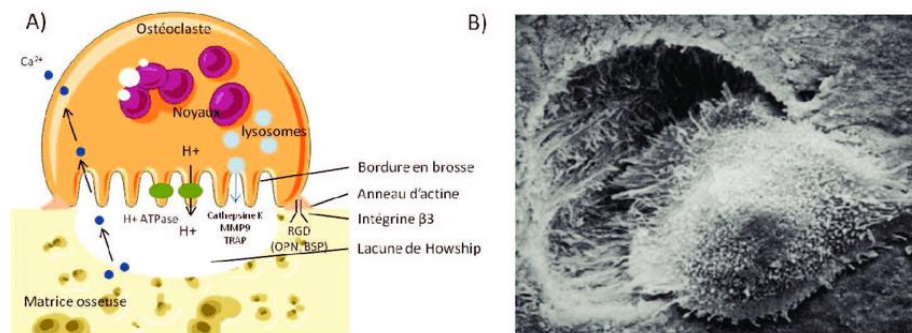


Figure II-4.A) schématisation de l'ostéoclaste B) ostéoclaste au microscope électronique

https://www.researchgate.net/figure/A-Representation-dun-osteoclaste-mature-Losteoclaste-sattache-sur-les-proteines-de_fig3_278643926

II.4.3. Les ostéocytes : Ce sont des ostéoblastes différenciés, incapables de se diviser, entièrement entourés (emprisonnés) dans la matrice qu'ils ont synthétisée (Toppets & al ; 2004), Leur corps cellulaire est de plus petite taille que celui des ostéoblastes, fusiforme, possédant moins d'organites que les ostéoblastes, elles ont capacités de synthèse et de résorption limitées, participent au maintien de la matrice osseuse et contribuent à l'homéostasie de la calcémie (André & al; 2008).

II.5.1 Vascolarisation normale de l'os :

L'os a besoin d'un apport sanguin correct pour assurer ses fonctions physiologiques. Cliniquement, la plupart des problèmes vasculaires surviennent dans les os longs. La vascolarisation de ces os provient de trois systèmes de base : le système vasculaire afférent, le système vasculaire intermédiaire de l'os compact, le système vasculaire efférent Le système afférent assure la vascularisation artérielle de l'os et est constitué de l'artère nourricière principale, des artères métaphysaires et des artérioles périostées aux zones d'insertion musculaire. Les artérioles périostées assurent la vascularisation des couches les plus externes de la corticale, à proximité des insertions de fascia ou de muscle et ne constituent qu'une composante mineure du système afférent. Au sein de l'os compact, les vaisseaux forment un réseau intermédiaire entre les systèmes afférent et efférent. Ce réseau constitue un lacis vasculaire où se produisent des échanges essentiels entre le sang et les tissus vivants avoisinants. Ce système comprend les canaux corticaux de Havers et de Volkmann et les très fins canalicules qui véhiculent les nutriments jusqu'aux ostéocytes. Le drainage veineux de l'os cortical (système

efférent) prend naissance à partir de la face périostée de l'os. Le flux sanguin à travers le cortical est principalement centrifuge, s'effectuant de la cavité médullaire vers le périoste. Il existe un autre drainage veineux à partir de la cavité médullaire ; toutefois celui-ci correspond à l'activité hématopoïétique de la cavité médullaire. (Brinker & al ; 1994)

II.5.2. Description de la vascularisation de l'os adulte selon (Noury ; 2006)

II.5.2.1. Système artériel afférent : Il est composé de trois éléments : l'artère nourricière principale, les artères métaphysaires proximale et distale, et les artères périostées. L'artère nourricière pénètre dans l'os à hauteur d'un fascia, traverse toute la corticale et se divise en artères médullaires ascendante et descendante. Ces deux branches se subdivisent en artérioles, qui pénètrent la face endostée du cortex et participent à la vascularisation de la quasi-totalité du cortex diaphysaire ; seules quelques zones du cortex externe sont irriguées par les artères périostées sur l'épaisseur de quelques lamelles. Les artères métaphysaires (ou épiphyso-métaphysaires) sont nombreuses et pénètrent toute la surface périostée des métaphyses distale et proximale ; elles assurent l'irrigation de la totalité des métaphyses et leurs branches terminales s'anastomosent avec les artères centromédullaires ascendantes et descendantes par l'intermédiaire du système intermédiaire. Elles participent peu à la vascularisation médullaire en temps normal, mais les anastomoses avec la circulation médullaire peuvent s'hypertrophier et se multiplier en cas de besoin (fractures, oblitération de l'artère nourricière par enclouage). Les artères périostées atteignent le cortex uniquement au niveau des insertions musculaires; leur apport dans la vascularisation du cortex de l'adulte est très limité et ne peut, en aucun cas, suppléer la vascularisation centromédullaire, en cas de besoin. Il découle de l'étude des différents systèmes afférents que l'abord chirurgical d'un os long doit ménager les zones d'insertions musculaires, afin de ne pas compromettre la vascularisation et donc les chances de consolidation des fractures.

II.5.2.2. Système vasculaire efférent : Le drainage veineux est centrifuge et se fait entièrement vers la surface périostée ; de là, il rejoint les veines musculaires, puis la circulation générale. Au niveau de la diaphyse, le sang est drainé par les canaux

veineux corticaux pour ce qui concerne la partie interne du cortex, et par les capillaires périostés pour la partie externe. Les métaphyses sont drainées par de nombreuses veines métaphysaires accompagnant les artères métaphysaires.

II.5.2.3. Système capillaire : On devrait utiliser le terme de système vasculaire intermédiaire de l'os compact ; en effet, contrairement à de véritables capillaires, ces vaisseaux ne peuvent ni changer de taille pour répondre aux différents besoins du tissu qu'ils irriguent, ni échanger aucun élément avec le liquide interstitiel. Il s'agit de vaisseaux de taille fixe, dans des canaux rigides (en général un par canal). Les nutriments sont apportés de ces vaisseaux aux ostéocytes par l'intermédiaire de fins canalicules. Les seuls vaisseaux longitudinaux du cortex sont centrés dans les canaux de Havers, mais ils n'irriguent ce cortex que sur un ou deux mm et n'ont aucun contact avec les autres systèmes longitudinaux, d'où la notion de « système vasculaire clos ». Une fracture, et la rupture vasculaire qui l'accompagne, est donc responsable d'une nécrose osseuse sur 1 ou 2 mm.

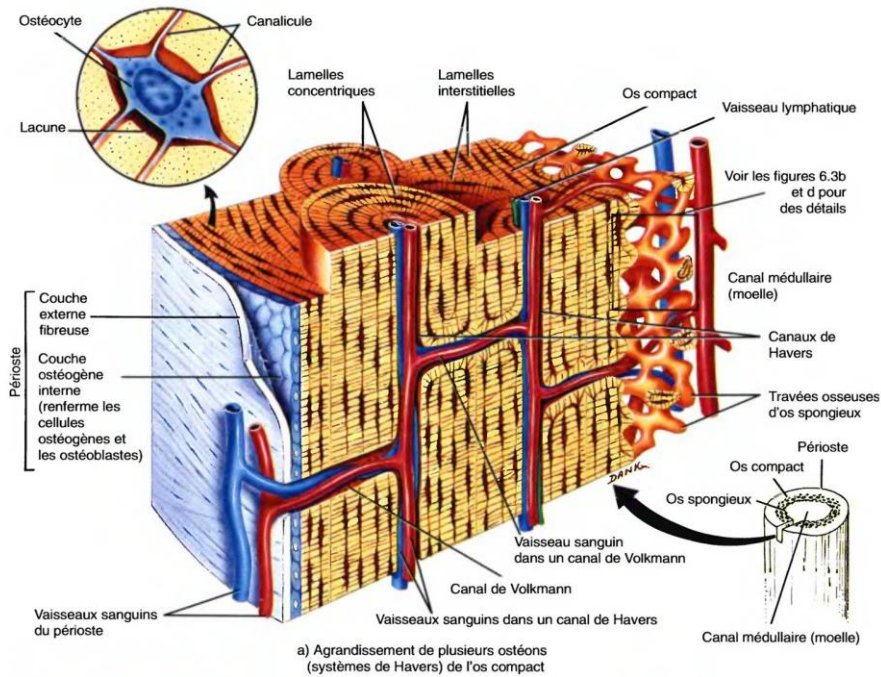


Figure II-5. Schématisation de la vascularisation de l'os

<http://amar-constantine.e-monsite.com/pages/cours-pour-autres-specialites/anatomie-physiologie/osteologie.html>

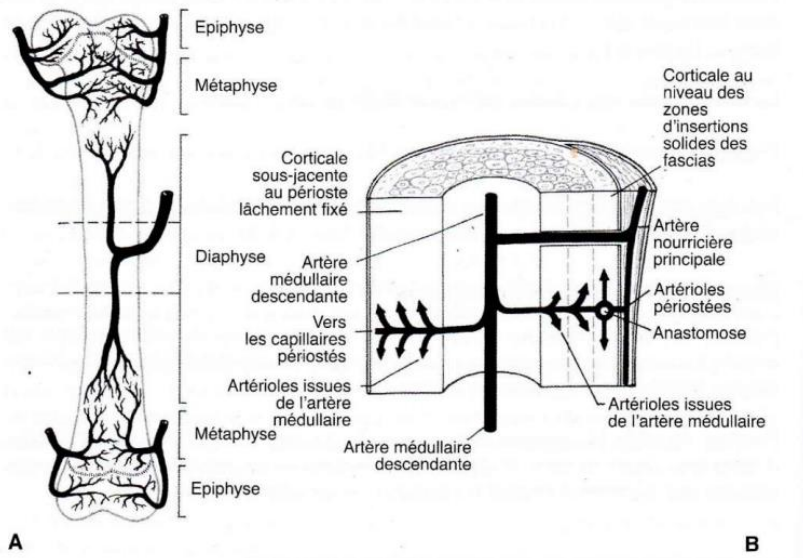


Figure II-6. Vascularisation normale de l'os. A), Schéma de la vascularisation afférente d'un os immature. Après la fermeture du cartilage de conjugaison (os adulte), les vaisseaux métaphysaires et épiphysaires s'anastomosent. B.) Coupe longitudinale de la diaphyse

II.6. Rappel anatomique sur le fémur du chien :

II.6.1. Ostéologie :

Le fémur du Chien est long et relativement gracile. Il est rectiligne dans sa moitié proximale et légèrement incurvé en direction caudale dans sa moitié distale. Son corps est cylindroïde et devient aplati dans le sens cranio-caudal vers les extrémités. Sa face caudale est réduite à une épaisse ligne âpre bifurquée à chacune de ses extrémités. Le foramen nourricier principal est situé au tiers proximal de l'os, au niveau de la bifurcation de la ligne âpre. Un foramen nourricier accessoire existe en haut de la face crâniale. Du côté proximal, l'une des branches de la ligne âpre forme une crête très distincte jusqu'au petit trochanter et l'autre porte une tubérosité glutéale épaisse et rugueuse mais fort peu saillante, avant d'atteindre la base du grand trochanter. A l'extrémité opposée, les deux lignes de bifurcation sont moins nettes ; la tubérosité supracondyloire latérale est moins marquée que la tubérosité médiale ; il n'existe pas de fosse supracondyloire. La tête articulaire est régulièrement sphérique, portée par un col très net et relativement long ; sa fovea capitis est peu profonde. Le grand trochanter, de profil presque triangulaire, ne s'élève pas aussi haut que la tête ; sa partie crâniale est plus réduite que la partie caudale et en est mal séparée. Le petit trochanter est conique et pointu. La fosse trochantérique, particulièrement profonde, est bordée par une crête intertrochantérique saillante, qui s'atténue au voisinage du petit trochanter. Les condyles sont séparés par une fosse intercondyloire relativement large ; chacun d'eux est surmonté d'une petite facette planiforme caractéristique, destinée à répondre à un petit os sésamoïde développé dans l'origine du muscle gastrocnémien. Les épicondyles sont peu saillants, surtout le latéral. La fossette du muscle poplité est à peine discernable ; celle de l'extenseur est mieux marquée. Quant à la trochlée, elle remonte peu sur la face crâniale et ses lèvres sont égales. (Barone ; 1986)



Figure II-7. Ostéologie du fémur gauche du chien (Bouknine ; 2014)

Vue crâniale

vue caudale

Vue médiale

Vue latérale

1. Tête fémorale, 2. Fovea capitis, 3. Grand trochanter, 4. Petit trochanter, 5. Col du fémur, 6. Fosse trochantérique, 7. Crête inter-trochantérique, 8. Tubérosité glutéale, 9. Ligne âpre de la diaphyse fémorale, 10. Tubérosité supra-condylienne latérale, 11. Tubérosité supra-condylienne médiale, 12. Epicondyle latéral, 13. Condyle latéral, 14. Epicondyle médial, 15. Condyle médial, 16. Trochlée, 17. Lèvre médiale de la trochlée, 18. Fosse inter-condyloire, 19. Facettes pour les os sésamoïdes.

II.6.2. Myologie de la de la région fémorale :

II.6.2.1. Muscles de la cuisse (Barone ;1986) :

Les muscles de la cuisse sont groupés autour du fémur. En principe, ils prennent origine sur cet os ou sur l'os coxal, se terminent à la partie proximale de la jambe ; ils sont donc moteurs de l'articulation du genou. Toutefois, quelques-uns d'entre eux, attachés à la face ventrale de l'os pubis ou de l'ischium, n'atteignent pas les os de la jambe et s'arrêtent sur l'extrémité distale du fémur, voire sur le corps de cet os. Bien qu'ils ne puissent agir que sur l'articulation coxo-fémorale, ils appartiennent topographiquement à la cuisse, dans laquelle ils sont situés en totalité.

Chez le chien, le muscle tenseur du fascia lata est relativement plus étroit que dans les autres espèces. Il est moins intimement uni au fessier superficiel. Son bord crânial est en partie couvert par la partie crâniale du muscle sartorius. Le muscle droit de la cuisse est fusiforme, moins renflé à sa partie moyenne que chez les ongulés. Son tendon d'origine est simple, non divisé en deux branches comme chez les Ongulés ou chez l'homme. Il s'attache sur un tubercule (épine iliaque ventro-caudale) et non dans une dépression de la région pré-acétabulaire de l'os coxal. Le muscle vaste latéral est très fort, épais et large ; il couvre en grande partie le muscle précédent et le fémur et son origine remonte jusqu'à la crête du grand trochanter. Le muscle vaste médial est beaucoup plus faible, plus mince et plus étroit, bien que son origine atteigne encore la ligne intertrochantérique. Le vaste intermédiaire est faible, surtout uni au vaste médial. Le muscle articulaire du genou est également très mince. Il n'y a pas de muscle glutéofémoral.

Le muscle biceps fémoral est large et épais, en partie revêtu d'une lame aponévrotique. Son origine couvre la partie la plus latérale de la tubérosité ischiatique et remonte en outre un peu sur la terminaison du ligament sacro-tubéral. Une partie accessoire, plus faible et plus profonde, contourne le bord caudal en s'y étalant avant de s'y perdre. L'aponévrose terminale couvre la moitié proximale de la jambe et délègue en outre une faible lanière fibreuse au tendon calcané en commun. Le muscle abducteur caudal de la jambe, particulier aux Carnivores, est étroit et très long, en grande partie caché sous le bord caudal du biceps. Il naît sur la partie terminale du ligament sacro-tubéral,

descend entre les muscles biceps et semi-tendineux, puis à la face externe de la jambe et se termine par une mince expansion dans le fascia jambier, par lequel il atteint la crête du tibia.

Le muscle semitendineux est épais, prismatique, de constitution simple. Toutefois, une intersection fibreuse transversale coupe presque complètement la partie charnue à son tiers proximal. Il limite son origine à la tubérosité ischiatique et se termine par un large et fort tendon

II.6.2.2 Les insertions musculaires du fémur :

Le fémur donne insertion à deux muscles de la région lombo-iliaque, à tous les muscles du bassin, à la plupart de ceux de la cuisse et quelques-unes de ceux de la jambe. Parmi les muscles de la cuisse, les muscles fémoraux crâniens attachés au fémur sont : le vaste médiale et le vaste latéral, chacun sur la partie caudale de la face correspondante du corps et de l'extrémité proximale, le vaste intermédiaire entre les deux précédentes. Les muscles caudaux de la cuisse n'ont d'attache fémorale que dans certaines espèces. Quant aux muscles fémoraux médiaux, seuls ceux de la couche profonde s'arrêtent au fémur, ce sont les muscles pectinés et adducteurs de la cuisse ; le plus long des adducteurs atteint toujours l'épicondyle médiale. Les muscles de la jambe ; le muscle long extenseur des orteils s'attache par un fort tendon dans la fosse qui lui est propre, entre la lèvre latérale de la trochlée et le condyle latéral. Des muscles de la région caudale de la jambe, ceux de la couche superficielle s'attachent tous au fémur ; les deux chefs du muscle gastrocnémiens sont insérés chacun dans la tubérosité suprachondyloïde correspondante (Boudra ; 2014)

II.6.3. Neurologie :

II.6.3.1. Le nerf Fémoral : Provient de la convergence lombaire, dans les muscles hypaxiaux, des quatrième et cinquième nerfs lombaires, auxquels s'ajoutent parfois le troisième ou, plus rarement, le sixième lombaire. Il se termine dans le quadriceps fémoral; il pénètre entre le droit fémoral et le vaste médial pour fournir des branches différentes à tout le muscle. Le nerf fémoral abandonne également des branches motrices au couturier, à l'articulaire de la hanche et à l'iliopsoas (Piérard ; 1972).

L'abord latéral du fémur est peu gêné par la présence du nerf sciatique, situé caudalement à la diaphyse est facilement repérable. Néanmoins, le corps charnu du muscle biceps fémoral doit être manipulé avec précaution car le nerf sciatique chemine juste en-dessous de ce dernier

II.6.3.2. Le nerf saphène : Descend de la cuisse le long du bord caudal du muscle couturier pour se placer ensuite crânialement à l'artère saphène. Il suivra ensuite le rameau crânial de cette artère et, finalement, descendra le long de l'aspect médial et dorsal du pied. (Boudra ; 2014)

II.6.3.3. Le nerf sciatique : Tire son origine des sixième et septième nerfs lombaires, auxquels s'ajoutent les deux premiers nerfs sacrés et, rarement, le cinquième lombaire. C'est le nerf le plus volumineux de l'animal. Son trajet est extrêmement important. Chez le chien, comme chez les autres espèces, le nerf quitte la cavité pelvienne, presque immédiatement après sa formation pour la grande échancrure sciatique, il passe ensuite entre le fessier profond et les autres fessiers et descend entre le biceps fémorale latéralement et les demi-tendineux et demi-membraneux médialement

CHAPITRE III : CLASSIFICATION DES FRACTURES ET LA CONSOLIDATION OSSEUSE

III.1. Définition d'une fracture : Une fracture est une solution de continuité complète ou incomplète de l'os ou du cartilage. Une fracture s'accompagne de lésions plus ou moins graves des tissus mous environnants, notamment des vaisseaux sanguins, et de troubles fonctionnels du système locomoteur. Lors de la prise en charge de la fracture, le praticien doit prendre en considération à la fois les troubles locaux et l'état général du patient. (Piermattei *&al* ; 2009)

III.2. Classification des fractures selon la Cause :

Traumatisme atteignant directement l'os. Les statistiques indiquent qu'au moins 75 à 80 pour cent des fractures sont provoqués par des automobiles ou autres engins motorisés. Traumatisme indirect. Les forces sont transmises à travers l'os ou les muscles jusqu'en un point éloigné où se produit la fracture (par exemple, fracture du col du fémur, arrachement de la tubérosité tibiale, fracture des condyles de l'humérus ou du fémur). Affections osseuses. Certaines affections osseuses entraînent une destruction de l'os ou une fragilisation de celui-ci à un point tel qu'un traumatisme banal peut provoquer une fracture (par exemple, tumeurs de l'os ou troubles métaboliques atteignant l'os). Mises à l'épreuve répétée. Les fractures de fatigue se rencontrent le plus souvent chez les petits animaux, sur les os du pied ou de la main (par exemple, métacarpes ou métatarses chez les lévriers de course). (Brinker *&al* ;1994)

III.3. Selon la présence/absence de plaies communiquant avec le foyer externe :

Fracture close : Le foyer de fracture ne communique pas avec l'extérieur.

Fracture ouverte : Le foyer de fracture communique avec l'extérieur. Ce type de fracture est très exposé aux souillures et à l'infection, et la réparation peut être retardée ou se trouver compliquée. (Brinker & *al* ; 1994)

III.4. Selon l'étendue de la lésion :

III.4-1. Fracture complète : Lors de fracture complète, la lésion, unique, intéresse toute la circonférence de l'os. Après réduction de la fracture, toute fragmentation entraînant une perte de substance au niveau du site de fracture ne doit pas dépasser un tiers du diamètre osseux.(Piermattei & *al* ; 2009)

III.4-2. Fracture en bois vert : Un côté de l'os est brisé et l'autre côté est seulement plié. Ce type de fracture s'observe généralement chez les jeunes animaux en croissance. Le déplacement est très réduit et la réparation est rapide. (Brinker & *al* ; 1994)

III.5. Selon la direction du trait de fractures (Brinker & al ; 1994) :

III.5-1. Fracture transversale : Le trait de fracture est perpendiculaire à l'axe de l'os.

III.5-2. Fracture oblique : Le trait de fracture est oblique par rapport à l'axe longitudinal. En l'absence d'immobilisation, les fragments tendent à glisser l'un sur l'autre en raison des contractures musculaires.

III.5-3. Fracture spiroïde : Le trait de fracture est courbe. Les bouts ont tendance à glisser l'un sur l'autre ou à subir une rotation en l'absence d'immobilisation.

III.5-4. Fracture comminutive : Plusieurs traits de fractures font apparaître plusieurs fragments ou esquilles.

III.5-5. Fracture multiple ou esquilleuse : L'os est divisé en trois fragments, ou plus, par des traits de fractures non convergents.

III.5-6. Fracture engrenée : Les fragments osseux sont solidement enfoncés l'un dans l'autre

III.5-7. Fracture par arrachement : Un fragment d'os sur lequel s'insère un muscle, un tendon ou un ligament se détache sous l'action d'une traction puissante.

III.5-8. Fracture épiphysaire : La fracture ou la disjonction se produit au niveau du cartilage d'une épiphyse ou d'un cartilage d'accroissement. Ce type de fracture ne se produit que chez les jeunes animaux en croissance.

III.5-9. Fracture condylienne ou unicondylienne : Le trait de fracture traverse un condyle (par exemple, humérus, fémur).

III.5-10. Fracture bicondylienne : Il existe au moins trois fragments : un trait de fracture sépare les condyles ; un autre trait se situe entre les condyles et la diaphyse.

III.6. Selon la stabilité après la réduction (Brinker & al ; 1994):

III.6-1. Fracture stable : Les fragments s'engrènent et résistent aux forces de raccourcissement (par exemple les fractures engrenés et en bois vert). Le but principal de l'immobilisation est d'empêcher une déformation par angulation

III.6-2. Fracture instable : Les fragments ne s'engrènent pas et glissent l'un sur l'autre, d'où un chevauchement (par exemple, fractures obliques, spiroïdes ou multiples). Une immobilisation est nécessaire pour maintenir la longueur et l'alignement, et prévenir une rotation.



Figure III-1.Schémas des types de fractures diaphysaire

<https://www.docteurcllic.com/maladie/fracture-generalites.aspx>

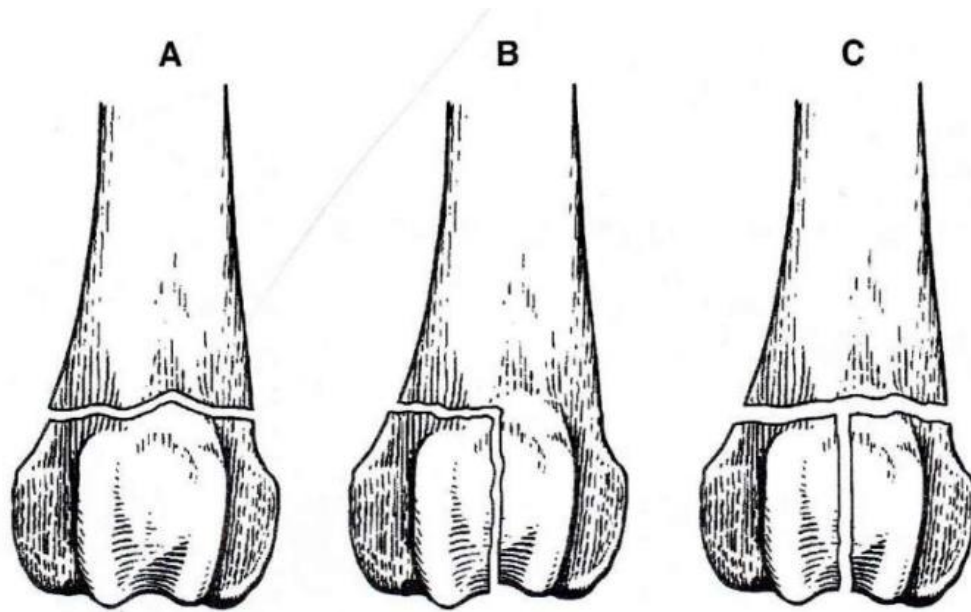


Figure III-2. Types de fractures des parties distales et proximales d'un os long. A, Fracture extra-articulaire. B, Fracture articulaire partielle. C, Fracture articulaire complète. (Piermattei & al 2009)

III.7. Localisation, morphologie et gravité des fractures :

Le système utilisé pour la localisation, la morphologie et la gravité des fractures des os longs se base sur la classification adoptée par PAO Vét (Association d'orthopédie vétérinaire). Elle a été développée pour permettre de coder sous forme alphanumérique les fractures, afin de faciliter le traitement informatique des données. Cette classification reprend le système utilisé par l'AO/ASIF (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese / Association for the Study of Internal Fixation) pour décrire les fractures chez l'homme. Ce système permet de classer par ordre de gravité les fractures selon la complexité de leur configuration et leur stabilité après réduction, ce qui donne des éléments quant au traitement le plus adapté et au pronostic. La localisation de la fracture est déterminée par l'attribution d'un chiffre à chaque os long (1 pour l'humérus ; 2, radius/ulna ; 3, fémur ; 4, tibia/fibula) et la division de chacun de ces os en trois segments : segment proximal (1), diaphyse (2) et segment distal. La gravité de la lésion est déterminée par l'attribution d'une lettre selon le type de fracture : simple (A) ; fracture en aile de papillon (B) ; et complexe (C). Chaque type est ensuite subdivisé en trois groupes selon sa complexité (A1, A2, A3) qui dépend du type et de l'étendue

de la fragmentation osseuse. Ainsi le code désignant la fracture diaphysaire de l'humérus la plus simple est « 1 2 A1 ». Au niveau des segments proximaux et distaux il est parfois nécessaire d'ajouter des descriptions individuelles s'adaptant à la morphologie osseuse spécifique. Une nomenclature supplémentaire spécifique peut être appliquée à chacune de ces descriptions pour fournir un complément d'informations. (Piermattei *et al* ; 2009)

III.8. Les forces exercées sur une fracture (Malki ; 2021) :

III.8.1. Traction : Les forces de traction (aussi appelées forces de tension) surviennent lorsque deux forces de sens opposé agissent sur l'os. La contrainte en traction est maximale dans un plan orthogonal à l'axe des forces appliquées, générant de ce fait une fracture transverse dont le trait est perpendiculaire à la force exercée. Ces fractures surviennent généralement à la hauteur des processus soumis à des tractions du fait de leurs insertions

III.8.2. Compression : L'application de forces de compression à un os devrait en théorie provoquer des fractures transverses, les contraintes maximales étant situées dans un plan perpendiculaire aux forces exercées. Cependant, en raison du caractère anisotrope de l'os, des forces de cisaillement viennent s'ajouter aux forces primitives et il s'en suit un trait de fracture oblique d'environ 60° par rapport à l'axe longitudinal (soit une angulation d'environ 30° par rapport à l'axe de l'os), tendineuses ou ligamentaires.

III.8.3. Torsion : Lors de l'application de forces de torsion, il se produit, selon une génératrice spiroïde, des forces de traction et de compression qui tendent à créer un trait de fracture qui a la forme d'une spirale. Compte tenu du mécanisme d'action, il est très fréquent que des traits de refend soient présents dans le prolongement des extrémités de la spire sur chacun des fragments

III.8.4. Flexion : L'application de forces de flexion induit des forces de traction du côté convexe et des forces de compression du côté concave. L'os étant moins résistant à la traction qu'à la compression, la fracture s'initie en surface du côté convexe selon un axe perpendiculaire au grand axe de l'os (fracture transverse lors de traction). Du

côté concave, les forces de compression induisent un trait oblique de part et d'autre isolant ainsi une esquille dite en « aile de papillon ». Il arrive souvent que ces forces de flexion soient associées à des forces de compression longitudinales (mode de chargement mixte). C'est le cas d'un os naturellement incurvé soumis à une compression axiale. L'accroissement des forces de compression est responsable de l'augmentation de taille de l'esquille.

III.8.5 Cisaillement : Il existe plusieurs fractures typiques qui résultent de l'application de forces de cisaillement. Il s'agit le plus souvent de forces axiales qui s'exercent selon des modalités particulières.

III.9. Les conséquences vasculaires :

L'interruption de la vascularisation osseuse normale varie avec la complexité fracturaire. Les vaisseaux afférents sont stimulés et répondent en s'hypertrophiant, augmentant à la fois en diamètre et en nombre. De plus, une néo vascularisation se développe à partir des tissus mous environnants, qualifiée de vascularisation extra-osseuse du cal de fracture. Cette néo vascularisation est distincte des artérioles périostées normales. Elle fournit un apport sanguin aux fragments osseux détachés, à la corticale dévascularisée et aux cals périostées qui se forme. Cette vascularisation extra-osseuse régresse après l'obtention d'une stabilité du foyer de fracture et le rétablissement de la continuité de la circulation médullaire. Dans des circonstances favorables, le potentiel régénératif de la vascularisation artérielle médullaire est très important et la régénération rapide, Heureusement car le rétablissement de cette vascularisation est nécessaire à la cicatrisation de l'os cortical. Parmi les facteurs qui peuvent modifier cette réponse vasculaire et donc perturber la cicatrisation osseuse, on trouve : (1) le trauma à l'origine de l'accident, (2) une manipulation chirurgicale sans soin ou incorrecte des tissus mous, (3) une réduction inadéquate et (4) une stabilisation insuffisante des fragments osseux. Les clous centromédullaires peuvent endommager temporairement le système afférent médullaire alors que les plaques peuvent s'opposer au drainage veineux. Les systèmes afférent et efférent peuvent être partiellement lésés, mais ils doivent demeurer fonctionnels pour l'obtention d'une cicatrisation osseuse correcte. (Brinker & al ; 1994)

III.10. La consolidation osseuse:

Evolution générale d'une fracture On distingue arbitrairement, pour des raisons de simplicité, trois phases évolutives successives de durées différentes qui s'interpénètrent.

III.10.1. Phase inflammatoire :

III.10.1.1 Hématome fracturaire : La cicatrisation débute après la formation d'un hématome fracturaire, consécutive au traumatisme initial. L'extravasation sanguine provient des lésions des vaisseaux de la cavité médullaire, du périoste, mais aussi des tissus mous et muscles adjacents, voire des vaisseaux voisins. L'hématome s'organise en un caillot sanguin, réseau de fibrine, réticuline et collagène (Wraighte & Scammell ; 2006)

III.10.1.2. Nécrose osseuse : La nécrose osseuse est la conséquence de l'interruption vasculaire qui accompagne la rupture du tissu osseux. Les vaisseaux médullaires sont rompus dès qu'il existe un déplacement du foyer. De même, la rupture des vaisseaux des canaux de Havers et de Volkmann est la règle à la hauteur du trait de fracture. Comme il n'existe pratiquement pas d'anastomose intracorticale longitudinale entre les vaisseaux de Havers, chaque segment osseux est considéré comme un système vasculaire clos. L'interruption de sa vascularisation est donc responsable de sa nécrose. Cette nécrose, bien que toujours présente, peut être minime dans les fractures peu ou pas déplacées et n'atteindre que quelques millimètres de part et d'autre du trait de fracture. En revanche, elle peut être considérable si le déplacement des fragments est important, s'il existe des dommages des tissus mous adjacents et si des esquilles sont totalement dépourvues d'attaches musculaires. Le traumatisme chirurgical peut encore l'accroître notablement. L'os cortical nécrosé ne peut pas participer au processus de réparation. Il doit d'abord être revascularisé et reconstitué ou bien détruit par ostéoclasie et remplacé. (Noury. ; 2006)

III.10.1.3 Réaction inflammatoire primitive : Le traumatisme tissulaire et la nécrose osseuse sont responsables d'une réaction inflammatoire locale qui débute dès la constitution de la fracture et dure quelques jours. Elle se traduit par une vasodilatation et une exsudation plasmatique qui se surajoutent à l'hématome fracturaire pour déformer la région. (Noury ; 2006)

Le réseau de fibrine de l'hématome constitue un support pour l'afflux de diverses cellules migrantes, attirées par les facteurs chimiotactiques libérés par les cellules de l'os nécrotique et de l'hématome et par l'exsudation plasmatique de médiateurs de l'inflammation, conduisant à une réponse inflammatoire typique. L'inflammation aiguë se développe en regard du foyer fracturaire, de la cavité médullaire et des tissus mous environnants. Elle est caractérisée par une vasodilatation, une hyperémie, une augmentation de la perméabilité vasculaire une migration et prolifération de cellules inflammatoires (polynucléaires neutrophiles, macrophages) dans l'ensemble de l'os affecté, puis uniquement dans la zone fracturaire(Boudra ; 2014)

Des ostéoclastes résorbent les fragments de matrice morte ainsi que l'os nécrotique des extrémités fracturaires. Cette résorption se manifeste radiologiquement par l'augmentation de l'écart interfragmentaire plusieurs jours après la fracture. Cette phase inflammatoire aiguë essentiellement vasculaire est très brève et laisse la place à la deuxième phase :

III.10.2. La phase de réparation (Noury. ; 2006) :Cette phase de réparation peut elle-même être scindée en trois stades : le stade de réparation conjonctive, le stade de réparation cartilagineuse et le stade de réparation osseuse.

III.10.2.1 Stade de réparation conjonctive : Ce stade débute précocement dans l'évolution d'une fracture. Il se caractérise par une prolifération cellulaire importante qui touche les cellules périostées, les cellules endostées, celles de la moelle osseuse ainsi que les cellules sanguines. L'hématome est progressivement colonisé et remplacé par un tissu de granulation. Les cellules qui composent le tissu de granulation synthétisent du collagène et l'on assiste alors à la transformation du tissu de granulation en un tissu conjonctif qui englobe les extrémités fracturaires et assure une certaine stabilité à la fracture Ce tissu conjonctif, une fois constitué, évolue de manière

à assurer une stabilité de plus en plus grande aux fragments osseux. Son évolution dépend cependant beaucoup des conditions locales. Il peut, en effet, évoluer soit vers un fibro-cartilage, soit directement vers un tissu osseux.

III.10.2.2. Stade de réparation cartilagineuse : Le tissu conjonctif est envahi par des cellules mésenchymateuses indifférenciées dont l'origine est discutée. Lorsque ce tissu conjonctif est soumis à une certaine mobilité, ces cellules se transforment en chondroblastes et non pas en ostéoblastes. En effet, le développement des chondroblastes exige moins d'oxygène que celui des ostéoblastes. Le tissu cartilagineux est mieux adapté à l'hypoxie que le tissu osseux. Ainsi si la PO₂ est faible, les cellules se transforment en chondroblastes ; inversement, si la PO₂ est élevée, elles donnent naissance à des ostéoblastes. La persistance d'une mobilité des fragments osseux (fracture mal stabilisée) est responsable du cisaillement des vaisseaux et limite l'apport d'oxygène. Les cellules mésenchymateuses se transforment alors en chondroblastes qui sécrètent le collagène et la matrice protéique d'un cartilage et transforment par endroits le tissu conjonctif en tissu cartilagineux. Ainsi, lors d'instabilité relative d'une fracture, le cal fibro-cartilagineux succède aux cals conjonctives avant la phase de réparation osseuse

III.10.3. Phase de remodelage : Cette dernière phase débute après le pontage du foyer fracturaire par l'os immature. L'os immature est progressivement et lentement remplacé par de l'os lamellaire (également appelé os compact ou os cortical), mécaniquement compétent. Cette longue transformation (70% du temps total de cicatrisation) s'effectue par un double processus de résorption-reconstruction (catabolisme-anabolisme), effectué par les ostéoclastes et ostéoblastes et similaire au renouvellement physiologique du tissu osseux. Il fait appel à une érosion de surface et un remodelage ostéonal (Chavassieux & Meunier ; 2003).

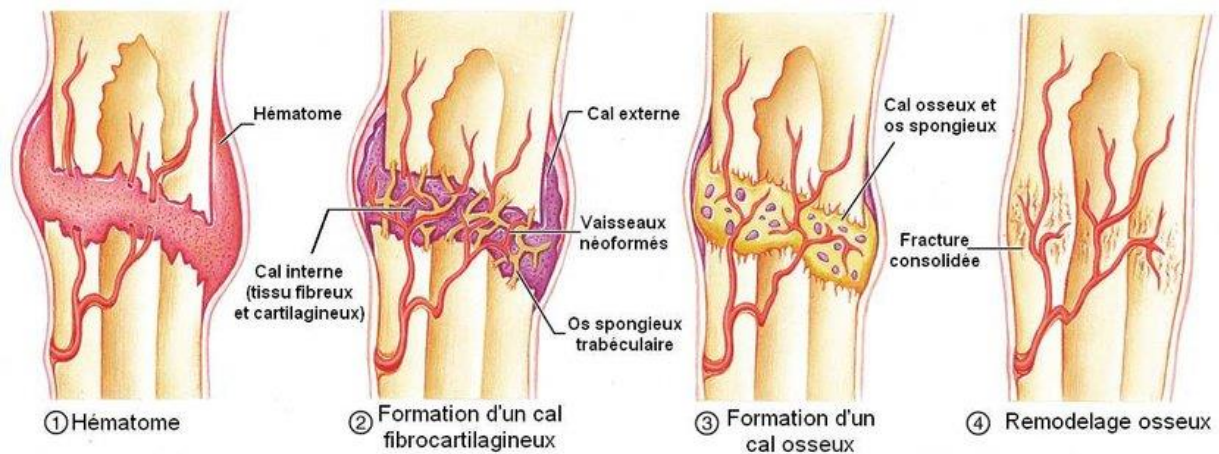


Figure III-3.Schématisation de la consolidation osseuse

: https://www.researchgate.net/figure/Les-4-phases-de-la-consolidation-osseuse_fig8_236165070

III.11. Quelques complications possibles (Magnin ; 2016) :

III.11.1. Pseudarthrose :

La pseudarthrose est un état fracturaire pour lequel toute activité ostéogénique a cessé et la continuité osseuse n'a pas été établie. On parle également de non-union. Le diagnostic se fait au cours des examens de suivi, et se base cliniquement sur la persistance d'une mobilité au sein du foyer de fracture, d'une angulation anormale du segment osseux et par l'absence d'union des fragments osseux à la radiographie après un délai de cicatrisation jugé normal. On peut considérer que la cicatrisation osseuse n'évolue plus quand deux contrôles radiographiques distants de trois mois montrent les mêmes images avec des bords de fracture bien délimités. Les non-unions sont classées en fonction de leur activité biologique en pseudarthroses viables et non viables. Les pseudarthroses viables ont des quantités variables de cals, qui ne combrent pas la ligne de fracture. Les pseudarthroses non viables résultent d'interruption grave de l'apport sanguin au site de fracture. Elles sont de moins bon pronostic.

III.11.2. Retard de cicatrisation osseuse :

On parle de retard de cicatrisation quand la consolidation osseuse prend plus de temps que ce qui est prévu. Cela reste cependant assez vague car la durée de cicatrisation osseuse n'est pas strictement définie et dépend de nombreux facteurs. Piermattei et al. , ont proposé des délais moyens de cicatrisation osseuse en fonction de l'âge et du matériel d'ostéosynthèse utilisé. Cependant, ces délais ne sont pas applicables à tout type de fracture et notamment aux fractures ouvertes car les lésions osseuses et tissulaires alors présentes réduisent considérablement le pouvoir ostéogénique. Les fractures ouvertes du tibia sont particulièrement exposées au retard de consolidation.

CHAPITRE IV : DIAGNOSTIQUE DES FRACTURES :

IV.1. Examen général :

L'examen orthopédique doit commencer par le recueil de l'historique et l'examen clinique général. L'abord systémique de l'examen permet de s'assurer qu'en cas de problèmes multiples, ils seront tous découverts. Il faut commencer par vérifier l'état de santé général de l'animal avant de se focaliser sur le problème orthopédique. L'examen complet varie selon la complexité du cas, les antécédents d'un traumatisme récent, l'utilisation de l'animal (élevage, expositions, course, chasse) et les finances du propriétaire. Les animaux gravement traumatisés présentant des plaies encore hémorragiques et des fractures instables pouvant évoluer en des fractures ouvertes ont bien évidemment besoin de mesures immédiates. (Piermattei & *al* ; 2009)

IV.2. Commémoratifs et anamnèse :

Il faut recueillir des informations spécifiques nous permettant de classer les problèmes orthopédiques de manière à éliminer un certain nombre de diagnostics différentiels. Il s'agit de l'âge, de la race, du sexe, du moment d'apparition du traumatisme, de l'identification par le propriétaire du (des) membre(s) concerné(s) par la boiterie, de l'évolution du problème avec le temps, de l'efficacité des traitements essayés, et des variations de la boiterie avec les conditions climatiques, l'exercice ou le repos. D'autres informations telles qu'anorexie, abattement, fièvre, et perte de poids peuvent indiquer la présence d'autres problèmes systémiques comme des affections inflammatoires articulaires ou une rupture de la vessie faisant suite à un traumatisme. Certains éléments anamnestiques ou des déviations par rapport à l'aspect « normal » de certaines affections orthopédiques doivent alerter le clinicien et l'amener à aller plus loin en posant des questions plus ciblées au propriétaire ou en effectuant des examens complémentaires. Par exemple, si un chien âgé de 10 ans tombe de deux marches et se casse l'ulna ou le radius, il faut rechercher attentivement des signes de fracture pathologique. Normalement les luxations chroniques de la rotule n'engendrent pas de boiterie brutale de soutien et il faut suspecter alors l'apparition d'un problème plus

récent comme une rupture du ligament croisé. Les affections arthrosiques chroniques ne sont généralement pas génératrices de douleur sévère. Il faut donc toujours envisager un problème tumoral chez un animal âgé, présentant une douleur progressive et sévère. Les fractures pelviennes accompagnent souvent un traumatisme thoracique, abdominal ou rachidien. Les réponses aux questions spécifiques permettent de déterminer la coexistence de plusieurs problèmes. Par exemple, il est important de savoir si un chien amené en décubitus a mangé, a pu éliminer une grande quantité d'urine, ou peut bouger ses membres spontanément. Si l'animal conserve un bon appétit, il est peu probable qu'il souffre d'une lésion interne importante. L'émission de petites gouttes d'urine ne signifie pas que la vessie est intacte. Et la présence de mouvements volontaires des membres signifie souvent l'absence d'atteinte rachidienne thoracolombaire grave (Piermattei & al ;2009)

IV.3. Observation à distance : Lors de l'observation à distance d'un chien boiteux, il est important de regarder attentivement l'animal en mouvement et de noter le degré de boiterie et la façon dont le chien porte son poids sur ses membres. La boiterie peut être plus évidente à certains moments, comme après une période de repos ou d'exercice. Les signes cliniques d'une boiterie peuvent inclure une démarche anormale, un raccourcissement du pas, une réticence à mettre du poids sur un membre particulier ou une perte de coordination. Il est également important d'observer la posture générale du chien, ainsi que les muscles et les articulations des membres affectés. Des muscles atrophiés ou des articulations enflées peuvent être des signes de douleur ou d'inflammation.

IV.4. Examen du mouvement de l'animal : Lors de l'examen d'un chien boiteux, il est important d'observer la façon dont le chien se déplace. Le vétérinaire peut observer le chien en marchant et en courant pour déterminer la présence de boiterie et laquelle des quatre membres est affectée. Le vétérinaire peut également effectuer des tests de palpation pour localiser la douleur et l'inflammation. Une analyse de la démarche peut également être effectuée pour déterminer si le chien boite sur l'impact ou s'il montre une boiterie à la phase de propulsion. Les tests de flexion et d'extension articulaire peuvent aider à évaluer la douleur articulaire ou musculaire. L'observation de la

posture, du poids et de l'état général du chien peut également fournir des informations utiles pour établir un diagnostic et un plan de traitement

IV.5. Palpation sur l'animal debout : L'animal se tenant debout, le plus symétriquement possible, les deux mains examinent simultanément les faces controlatérales des membres en notant les asymétries provoquées par un traumatisme, une néoplasie, une inflammation, des lésions dégénératives articulaires ainsi que des anomalies congénitales. Les signes à rechercher sont un gonflement, une chaleur, des anomalies d'alignement des points de repère osseux, un crépitement, une atrophie musculaire. L'atrophie musculaire peut être décelée directement par palpation si l'examineur peut faire le tour du muscle avec sa main (par exemple le gastrocnémien) ou indirectement par la détection d'un os adjacent plus proéminent (acromion, grand trochanter). Lors d'atteinte bilatérale, ces anomalies sont décelées par l'expérience ou des radiographies (Piermattei *&al* ; 2009)

IV.6. Examen des régions des membres pelviens d'un animal boiteux (Piermattei & al ; 2009) :

IV.6.1. Bassin : Les points de repère au niveau du membre pelvien sont les crêtes iliaques, les grands trochanters, les tubérosités ischiatiques, l'appareil extenseur (quadriceps, rotule, ligament tibio-rotulien et tubérosité tibiale), les condyles fémoraux, la partie distale du tibia, le calcanéus et le tendon d'Achille. En présence d'une asymétrie des os du bassin il faut s'orienter vers une fracture pelvienne, une luxation de la hanche, une fracture de la tête fémorale ou une arthrose coxofémorale. Si l'on dessine des lignes imaginaires joignant les ailes de l'ilium, le grand trochanter et la tubérosité ischiatique, on obtient un triangle. Lors de luxation coxofémorale crâniodorsale, le triangle obtenu est plus aigu, le grand trochanter plus saillant et, lorsqu'on soulève le train arrière les doigts du côté luxé apparaissent plus « courts ». Lors de fracture iliaque unilatérale avec chevauchement des segments, le grand trochanter peut sembler plus proche de l'aile de l'ilium du côté atteint que du côté opposé. De plus, la musculature latérale est gonflée. Il faut également palper la musculature crâniale et caudale de la cuisse ainsi que le gastrocnémien.

IV.6.2. Grasset : L'articulation du grasset est souvent le siège d'affections dégénératives, congénitales et traumatiques comme la rupture du ligament croisé, la luxation de la rotule, et les fractures épiphysaires. La palpation du genou commence par la localisation de la tubérosité tibiale puis se poursuit en remontant le ligament tibio-rotulien. Il faut noter l'existence d'une déviation anormale de la tubérosité par rapport au plan médian, présente lors de luxation rotulienne. Les ligaments rotuliens normaux doivent être tendus et plus ou moins de l'épaisseur d'un crayon. Il est possible de saisir les deux tiers crâniaux du ligament rotulien. Lors de lésions du genou, l'épanchement articulaire qui se produit en arrière et du côté latéral du ligament rotulien le repousse vers l'avant, le rendant moins distinct et plus semblable à une bande qu'à un crayon. Par rapport à la tubérosité tibiale, la rotule se trouve 1 à 4 cm plus haut, mais il est plus facile de l'examiner sur l'animal couché si l'on peut manipuler l'articulation. En présence d'un gonflement chronique du genou et d'ostéophytes, le diamètre des lèvres du condyle fémoral augmente ; il peut être estimé

1 à 2 cm en arrière de la rotule. De plus, il peut exister un épanchement articulaire médial entre le fémur et le tibia

IV.6.3. Jarret : L'articulation tarsocrurale peut être le siège d'affections congénitales ou traumatiques. Le gonflement de l'articulation du jarret est détecté sur l'animal debout par la palpation de la zone située entre la partie distale du tibia et le calcaneus. Normalement, on ne doit palper que la peau, le tissu sous-cutané et l'os. Lors de gonflement de l'articulation, provoqué par un épanchement liquidien ou une fibrose, on détecte la présence d'une masse tissulaire ferme entre ces deux points de repère. D'autres tuméfactions articulaires peuvent être détectées crânialement ou médialement. Le tendon d'Achille doit être examiné au-dessus de la tubérosité du calcaneus pour déceler une tuméfaction ou une discontinuité

IV.7.1. Examen radiologique : Il faut prendre au moins deux incidences perpendiculaires pour examiner correctement l'état de l'os. Il est important que l'examen du squelette se fasse selon le positionnement standard. Les incidences standard utilisées pour les os des membres sont les incidences crâniocaudale (dorsopalmaire, dorsoplantaire) et médiolatérale. Il est souvent intéressant de prendre en plus des incidences obliques, ou des clichés avec flexion du membre, poids du corps sur le membre ou membre sous contrainte. Les radiographies en position de contrainte s'effectuent en appliquant une force distalement à l'articulation examinée. Elles sont intéressantes pour évaluer s'il existe une instabilité articulaire. Nous renvoyons le lecteur aux ouvrages de référence sur les techniques radiographiques s'il souhaite plus de précisions sur le positionnement correct. La scintigraphie osseuse peut permettre d'identifier des lésions invisibles sur les radiographies conventionnelles comme les légères fractures, les foyers inflammatoires ou les métastases (Kealy & Mc Allister ; 2008)

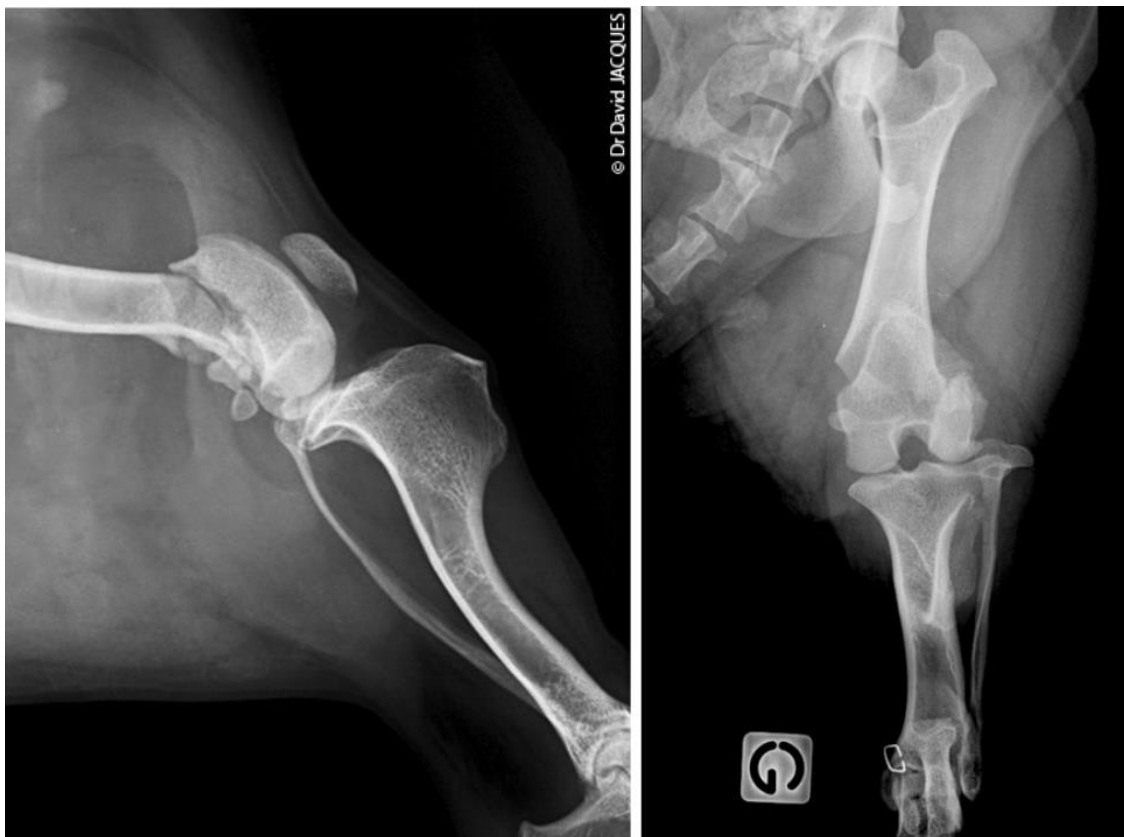


Figure IV-1. Deux incidences radiographiques d'une fracture épiphysaire distale du fémur

<https://www.vet-orthopedie.com/disjonction-epiphysaire-du-femur-distal-fracture-ischium-chien/>

IV.8.2. Aspect normal de L'os sur film radio : la diaphyse forme une bande osseuse compacte et opaque tout autour de la cavité médullaire plus radio-transparente. Dans l'épiphyse et la métaphyse, on observe des travées osseuses à l'intérieur de l'os spongieux. Ces travées osseuses s'évanouissent peu à peu au niveau de la diaphyse. Chez les jeunes animaux, les cartilages de croissance forment des bandes ou des lignes radio-transparentes qui séparent les épiphyses des métaphyses. A la fin de la croissance, les épiphyses fusionnent avec les métaphyses et les cartilages de croissance ne sont plus visibles. Pendant un certain temps, on peut voir une bande plus opaque au niveau de la jonction épiphyso-métaphysaire qui représente la soudure du cartilage de croissance. Cette bande est parfois nommée une cicatrice épi-physaire ou cicatrice du cartilage de croissance. (Kealy & Mc Allister ; 2008)

IV.8.3. Caractérisation de la fracture (Leroux ; 2010).

Les fractures ont été décrites grâce aux radiographies effectuées sur le membre atteint. Celles-ci, ont été réalisées de façon systématique selon deux incidences orthogonales antéropostérieure et médio-latérale, sous anesthésie générale, dès que le risque anesthésique le permettait. Lors de fractures bilatérales, les deux tibias ont été évalués séparément. La fibula a été simplement décrite comme fracturée ou intacte.

Les fractures ont été classées en fonction des critères suivants :

IV.8.3.1. Localisation

Cet examen nous a permis tout d'abord de les classer en fonction de la localisation du trait de fracture sur le fût osseux : diaphysaire, épiphysaire, métaphysaire, proximale ou distale, affectant ou non le cartilage de croissance sur les animaux jeunes.

IV.8.3.2. Comminution

Les radiographies ont permis de visualiser le nombre de traits de fracture et donc de classer la fracture en fonction du fait que celle-ci était simple, multiple, ou comminutive.

Le degré de comminution est fonction du nombre d'esquilles au sein du foyer fracturaire. La fracture a ainsi été qualifiée de non comminutive (absence d'esquille),

légèrement comminutive (moins de 3 fragments), modérément comminutive (de 3 à 6 fragments), ou sévèrement comminutive (plus de 6 fragments).

IV.8.3.3. Morphologie

Les examens radiographiques ont permis la description de la morphologie de la fracture, et donc de dire si celle-ci était incomplète ou complète, transverse, oblique courte ou longue, ou spiroïde. La présence d'éventuels traits de refend et leur localisation ont été précisées.

IV.8.3.4. Déplacement

L'importance du déplacement des fragments a été évaluée à l'aide des examens radiographiques afin de déterminer leur surface en recouvrement.

IV.9. Imagerie Médicale par radiographie :

IV.9.1 Les rayons X :

Les rayons X sont une forme de rayonnement électromagnétique, au même titre que la lumière visible, l'ultra-violet, l'infra-rouge, les micro-ondes, les ondes radio ou les rayons gamma. On appelle rayons X les ondes électromagnétiques dont les fréquences sont comprises entre 10^{16} Hz et 10^{20} Hz. Les longueurs d'ondes sont de l'ordre de 10^{-8} à 10^{-12} m, et les énergies des photons X sont comprises entre 40 et 4.10^5 eV (1 eV correspond à $1,6.10^{-19}$ J, c'est l'énergie d'un photon dans l'infra-rouge). Ces énergies sont de l'ordre de grandeur des énergies de liaison des électrons des couches internes des atomes (de l'ordre du keV). Le domaine des rayons X se situe entre l'ultra-violet et les rayons gamma. (Simand ; 2009)

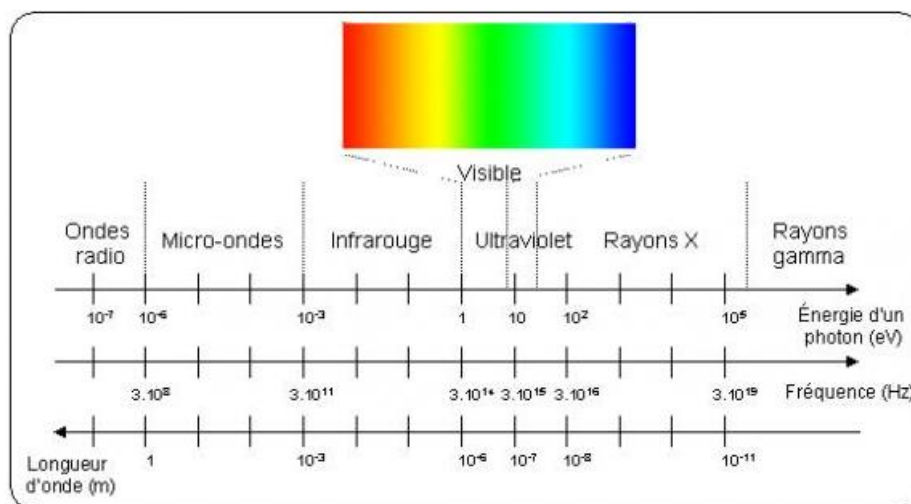


Figure IV-8. Spectre de rayonnement électromagnétique

<https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-physique/la-radiographie-ii-qu-est-ce-qu-un-rayon-x-comment-en-produire-quel>

IV.9-2. L'interaction des rayons x avec la matière :

Contrairement à la lumière, les rayons X traversent les corps opaques à la lumière, et en particulier, les organismes vivants. L'atténuation du faisceau de rayon X au cours de son passage dans le corps à radiographier n'est souvent pas uniforme. Des différences d'atténuation existent entre les différents organes ou matériaux. Ces différences d'atténuation sont essentielles à la formation de l'image radiographique qui résulte de la différence d'atténuation des rayons X dans les milieux traversés. (Skoog & al 2003)

L'absorption du faisceau est l'ensemble des phénomènes concourant à l'atténuation du faisceau émergent.

L'atténuation du faisceau est la conséquence de l'absorption vraie, c'est-à-dire du transfert d'une partie d'énergie du rayonnement à la matière, transfert qui, entre parenthèses, détermine des phénomènes biologiques qui sont à base de la radiographie et peuvent rendre dangereux la radiodiagnostic, mais elle est aussi la conséquence d'un changement de direction des photons, d'une diffusion sans aucun transfert d'énergie .L'atténuation dépend aussi fortement de l'énergie des rayons X impliqués ; plus les rayons sont énergétiques, plus l'atténuation est réduite, on parle de rayon plus pénétrant (Lounis&Yamoune ; 2015)

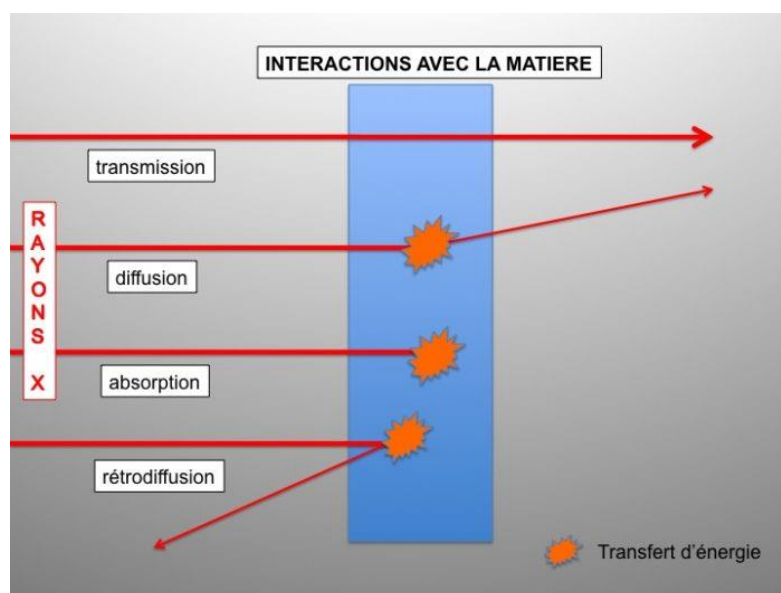


Figure III-3. Schémas d'interaction des rayons x avec la matière

<https://www.cardio-paramed.com/radioprotection/rayons-x/>

IV.9-3. L'interaction des rayons x avec l'atome :

IV.9-3-1. L'effet Compton : est la dispersion inélastique des photons X par les électrons des atomes cibles. Le photon incident interagit avec un électron périphérique et perd une partie de son énergie, ce qui provoque un changement de direction. L'électron périphérique est éjecté de son orbite et prend une partie de l'énergie perdue par le photon. Le photon diffusé est de plus grande longueur d'onde et de moindre énergie que le photon incident. L'effet Compton est important dans la création de bruit de fond dans les images radiographiques. (Johns ; 2012)

IV.9-3-2. L'effet photoélectrique : est une interaction entre les photons et les électrons périphériques des atomes cibles. Lorsqu'un photon est absorbé, toute son énergie est transférée à l'électron, qui est éjecté de son orbite et crée une cavité vide ou un trou. Un électron de couche supérieure peut alors descendre dans cette cavité et libérer de l'énergie sous forme de rayonnement caractéristique. L'effet photoélectrique est responsable de la plupart de l'absorption des photons X et est important pour la création de contraste dans les images radiographiques (Adler & Carlton ; 2017)

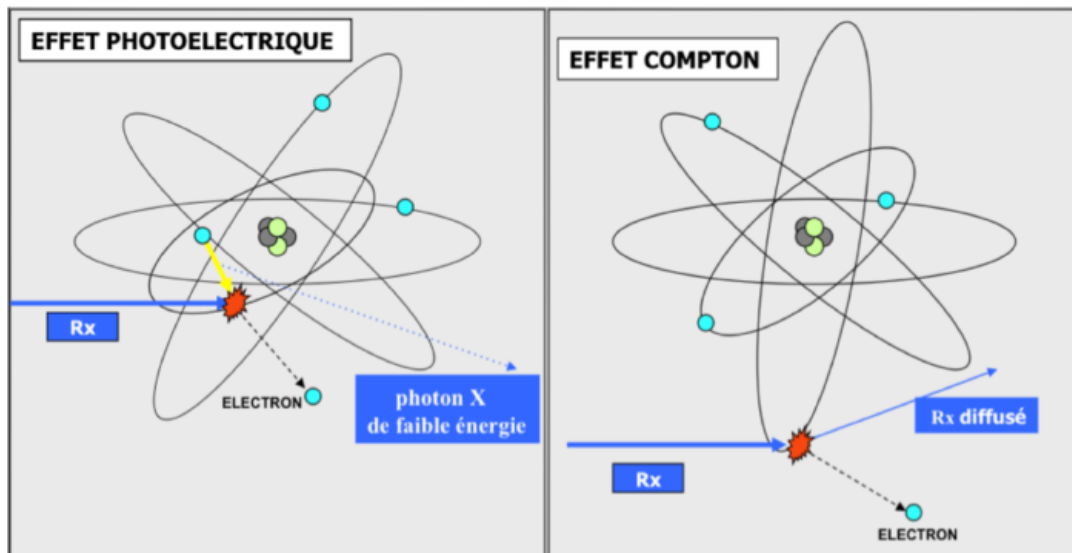


Figure IV-4. Schémas d'interaction des rayons X avec l'atome

<https://www.cardio-paramed.com/radioprotection/rayons-x/>

IV.10. Appréciation de la qualité de l'image radiographique :

En fonction de l'atténuation des rayons. L'image radiographique est caractérisée par sa densité (ou exposition), sa Contraste et sa netteté. (Jossier *&al* : 2013)

IV.10-1. Densité et Opacité : Une radiographie est une image formée de silhouettes (ou ombres) d'opacités différentes. La densité de la matière (ou masse volumique) est le poids, pour un volume donné, d'un tissu du corps ou d'un autre objet. L'os est plus dense que le muscle, lui-même plus dense que la graisse. Plus un objet est dense, plus il s'oppose au passage des rayons. L'opacité radiographique est la mesure du noircissement du film provoqué par les rayons X. Après son développement, le film apparaît noir aux endroits atteints par les rayons. Si le rayon X ne peut atteindre une partie du film, cette zone apparaît blanche après le développement. Entre ces deux extrêmes, on obtient diverses combinaisons de zones claires, noires et grises. L'opacité radiographique dépend donc de la densité de la matière ; plus celle-ci est importante moins il y aura de radiations atteignant le film. (Kealy & Mc Allister ; 2008)

IV.10-2. Le contraste est la différence de densité entre deux zones de la radiographie. Un contraste important permet de distinguer des structures de densité proche. Le contraste dépend de l'énergie des rayons et donc de la tension : à kilovoltage élevé, les rayons sont plus pénétrants et le contraste est donc faible. Ce faible contraste est recherché pour les radiographies thoraciques pour lesquelles il est nécessaire d'observer de petites structures de densité liquidienne. Inversement un contraste élevé est indiqué pour les radiographies Osseuses et abdominales qui sont donc réalisées à kilo voltage faible. Le contraste est également influencé par la quantité de rayons diffusés qui doit être diminuée par l'utilisation d'une grille antidiffusante et en limitant les volumes radiographiés en diaphragmant à la seule Zone utile. **La Netteté :** de l'image est sa résolution spatiale, c'est-à-dire la capacité de distinguer, par deux points distincts sur l'image, deux points très proches au sein de l'objet. La netteté s'oppose au flou. Le flou à plusieurs origines en radiographie les mouvements volontaires et involontaires de l'animal (flou cinétique). (Jossier *&al* ; 2013)

IV.10-3. Notion du Signe de la silhouette positif (effacement du bord) : Un signe de la silhouette positif se produit lorsque deux structures de même radio-opacité entrent en contact et qu'il est impossible de différencier la limite de l'une par rapport à l'autre. Par contre, si une structure ayant une radio-opacité différente s'interpose entre elles, par exemple de l'air ou de la graisse, le contraste augmente ce qui permet d'identifier les limites de chaque structure. On parle alors parfois de « signe de la silhouette » négatif (Kealy & Mc Allister ; 2008)

IV.11. Production des rayons X :

Les rayons X sont des ondes électromagnétiques, de hautes fréquences et énergie, produites dans le tube radiogène par la décélération d'électrons qui a lieu dans le champ électromagnétique du noyau atomique. Le tube est une ampoule sous vide comprenant une cathode (filament en tungstène) et une cible généralement en tungstène ou en molybdène, l'anode (également appelée anticathode). Lorsque la cathode est chauffée par passage d'un courant, elle libère, par effet Joule, un nuage électronique (électrons thermiques). Par application d'une différence de potentiel entre l'anode et la cathode, ces électrons sont accélérés et dirigés vers l'anode, produisant ainsi des rayons X par décélération rapide des électrons lors de leur impact sur la cible, l'énergie cinétique étant transformée en Rayons X et en énergie thermique. Un angle est donné à l'anode afin qu'une majorité des rayons sorte par une fenêtre du tube à la perpendiculaire du faisceau incident d'électrons. La fenêtre est la seule partie du tube qui ne soit pas protégée par un blindage en plomb. Le faisceau forme un cône quasiment homogène de 35° à 40° d'ouverture orienté vers l'animal placé dans le champ radiographique. Il est limité par un diaphragme afin de lui donner une taille réglable, limitant ainsi l'exposition du patient et des manipulateurs. Le rendement de production des rayons X est très faible (de l'ordre de 0,2 à 1 %) et la majorité de l'énergie se dissipe sous forme de chaleur. Cette chaleur doit être évacuée par un système de refroidissement (bain d'huile et circulation d'eau). Le dégagement de chaleur explique le vieillissement de la cible et la création des tubes à anode tournante. Dans ces tubes, l'impact des électrons se fait sur une surface qui tourne ; le foyer n'étant pas toujours situé au même endroit de l'anode, la chaleur est mieux dissipée, ce qui permet d'utiliser des rayonnements de plus grande intensité. Le spectre d'énergie des Rayon X dépend de la tension d'accélération entre l'anode et la cathode et du filtre situé à la sortie du tube radiogène. Pour les tensions utilisées en médecine on obtient un spectre de raies, caractéristiques du matériau de l'anode, superposé à un spectre continu. Les qualités du faisceau de Rayon X dépendent de trois paramètres ou constantes réglables par le manipulateur (**tension, intensité et temps d'exposition**).

Ce réglage est essentiel car il détermine la qualité de l'image radiographique obtenue (densité, contraste, netteté). (Jossier &al ; 2013)

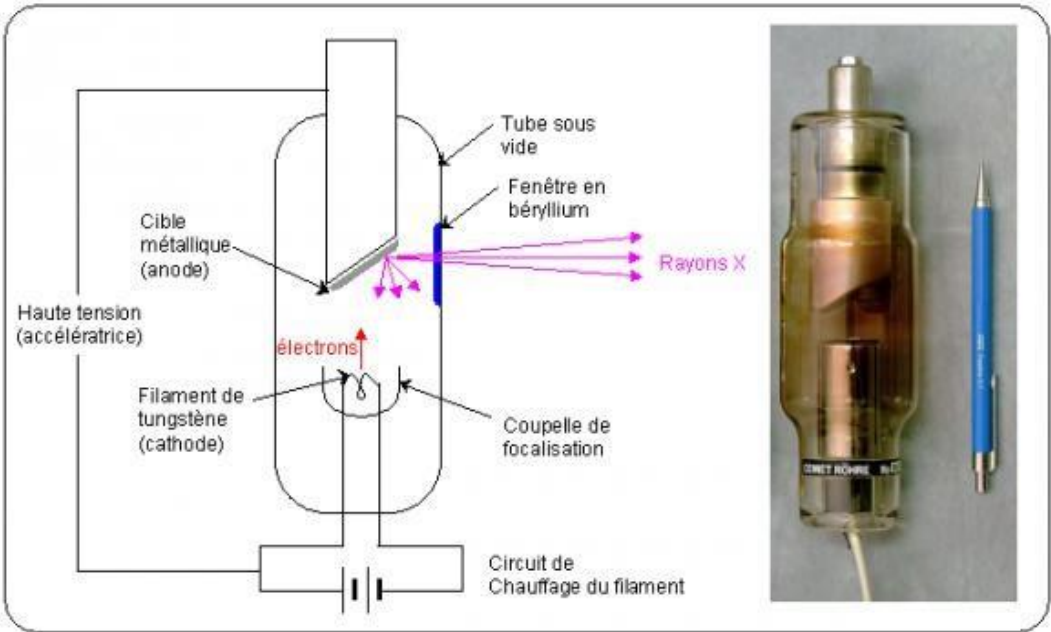


Figure IV-5.Schémas du tube radiogène 1

<https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-physique/la-radiographie-ii-qu-est-ce-qu-un-rayon-x-comment-en-produire-quel>

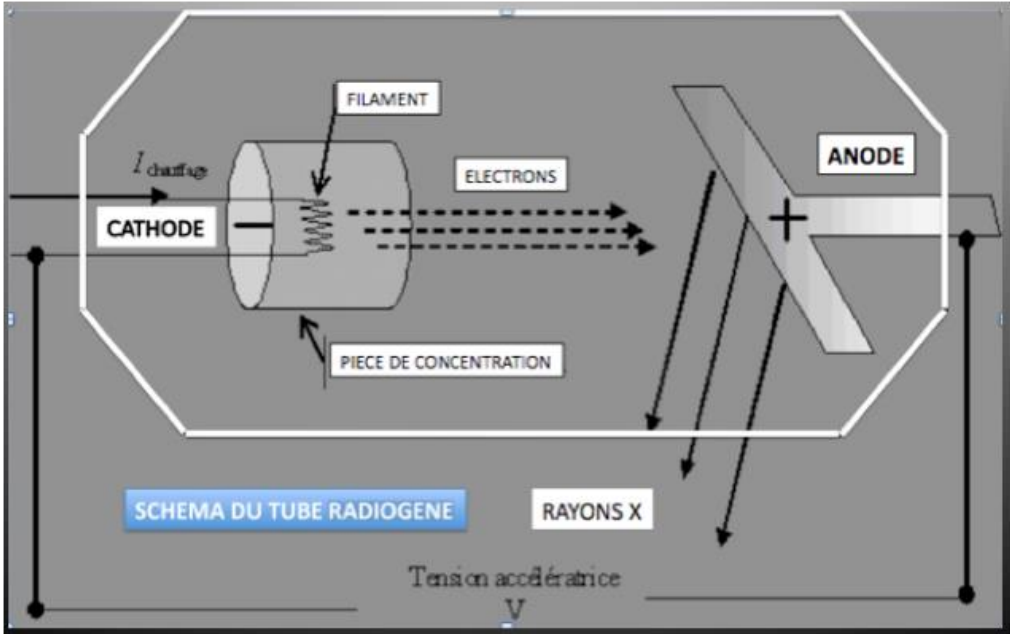


Figure IV-6.Schémas du tube radiogène 2

<https://www.cardio-paramed.com/radioprotection/rayons-x/>

IV.11-1 La tension : Lorsqu'on applique une haute tension électrique (de l'ordre de 20 à 400 kV) entre deux électrodes, un courant d'électrons, de la cathode vers l'anode (appelée aussi anticathode ou cible), est produit. Lorsque le faisceau d'électrons avance vers la cible, les électrons sont freinés par les atomes de celle-ci, en provoquant un rayonnement continu de freinage ou de Bremsstrahlung, dont une partie du spectre est dans le domaine des rayons X. En même temps, les rayons résultant provoquent l'excitation des atomes de la cible, réémettent un rayonnement X grâce au phénomène de la fluorescence X. (Bushberg *&al*, 2002.)

IV.11-2 L'intensité : L'intensité des rayons X est généralement mesurée en termes de nombre de photons par unité de surface et de temps, appelé flux de photons, et est exprimée en unités telles que les gray par seconde (Gy/s) ou les milliGray par seconde (mGy/s). Une autre mesure importante de l'intensité des rayons X est la dose absorbée, qui est l'énergie déposée par unité de masse et est exprimée en unités telles que les gray (Gy) ou les milligray (mGy)"

IV.11-3. Le temps d'exposition : en millisecondes (ms), définit la durée d'émission du faisceau. Il détermine directement l'exposition. À temps d'exposition élevé, le risque de flou cinétique est également plus élevé. Ce paramètre est généralement couplé à l'intensité et le produit s'exprime alors en milliampères-secondes (mAs). Par exemple, la densité obtenue à 6 mAs est équivalente si l'intensité appliquée est de 200 mA pendant 0,03 s ou 100 mA pendant 0,06 s. Cela permet d'utiliser des temps d'exposition courts lorsque le risque de flou cinétique est trop important. (Jossier *&al* 2013)

CHAPITRE V : TRAITEMENT DES FRACTURES DU FEMUR :

V.1. Moyen d'immobilisation du membre :

V.1. Attelle de Thomas : Cette attelle a été très utilisée dans le passé chez les petits animaux, Actuellement, cependant, son usage est assez limité car de meilleures techniques ont été développées. Ces usages les plus habituels sont : 1.l'immobilisation des fractures stables situées au-dessous du coude et du grasset : elle n'est pas employée comme seul moyen de contention pour les fractures de l'humérus et du fémur ; 2. l'immobilisation complémentaire d'une fixation interne 3. L'immobilisation après opération sur une articulation 4. L'immobilisation dans le traitement des lésions des articulations, des tendons et des nerfs 5. Une contention temporaire. L'attelle est généralement conçue et appliquée de façon à placer le membre, doigts compris, dans la position qu'il a en station debout. On l'utilise essentiellement pour restreindre le mouvement. On peut cependant l'appliquer de façon à combiner immobilisation et traction limitée. Il faut maintenir l'attelle sèche et restreindre l'activité de l'animal. Il faut contrôler régulièrement l'attelle de Thomas et la réparer si besoin est. Les attelles de Thomas sont en général trop encombrantes pour être utilisées chez les chiens de taille moyenne et les grands chiens. Il existe des attelles de Thomas dans le commerce mais les attelles faites à la demande pour un animal rendent de meilleurs services. (Brinker & al 1994)

Remarque sur les techniques de coaptation concernant les fractures fémorales :

La forme de fixation par coaptation n'a pratiquement aucune application dans les fractures fémorales en raison de la difficulté d'immobiliser l'articulation de la hanche chez le chien et le chat. Un plâtre de type spica est nécessaire, mais les problèmes empêchant l'application pratique de routine d'un tel plâtre chez les petits animaux n'ont pas été résolus. Pendant environ 20 ans, à partir du début des années 1930, l'utilisation de l'attelle de Thomas modifiée a été la méthode la plus courante pour immobiliser les fractures fémorale (Malki. 2021)

V.3. Quelques méthodes chirurgicales (sanglantes) utilisé pour l'immobilisation du fémur en cas de fracture diaphysaire :

V.3.1. Mise en place d'une broche intramédullaire ou d'un clou verrouillé sur le fémur (Johnson & Dunning ; 2005) :

V.3.1.1. Indication : Les candidats sont les animaux présentant une fracture diaphysaire simple ou comminutive du fémur.

V.3.1.2. Matériels : Une trousse de chirurgie standard, un élévateur à périoste, des écarteurs de Gelpi, des écarteurs de Hohmann ou de Myerding, des daviers réducteurs à pointes, un davier réducteur de Kern, une poignée mandrin de Jacob, des broches intramédullaires, du fil de cerclage, un serre-fil, une pince coupe-fil, des coapteurs et des barres d'union pour fixation externe (ou un ancillaire de pose pour clous verrouillés incluant une perceuse à grande vitesse), une curette osseuse pour prélever le greffon d'os spongieux.

V.3.1.3. Procédé : Inciser la peau et le tissu sous-cutané sur la face latérale de la cuisse, depuis le grand trochanter jusqu'aux condyles fémoraux. Inciser le muscle tenseur du fascia lata le long du bord crânial du biceps fémoral pour exposer les muscles vastes latéral et biceps fémoral. Récliner ces muscles pour exposer le fémur. Insérer la broche intramédullaire dans le fémur proximal par voie antérograde ou rétrograde. Mettre la hanche en extension et le membre en adduction si la broche est implantée par voie rétrograde, pour éviter de léser le nerf sciatique. Insérer le clou verrouillé par voie antérograde en partant de la fosse trochantérienne. Pour les fractures comminutives non réductibles, utiliser une technique à foyer ouvert non invasive pour exposer les abouts osseux proximal et distal en touchant le moins possible à l'hématome fracturaire et aux fragments osseux. Inciser la peau et créer des tunnels dans les tissus mous jusqu'à l'os pour l'insertion des broches de fixation.

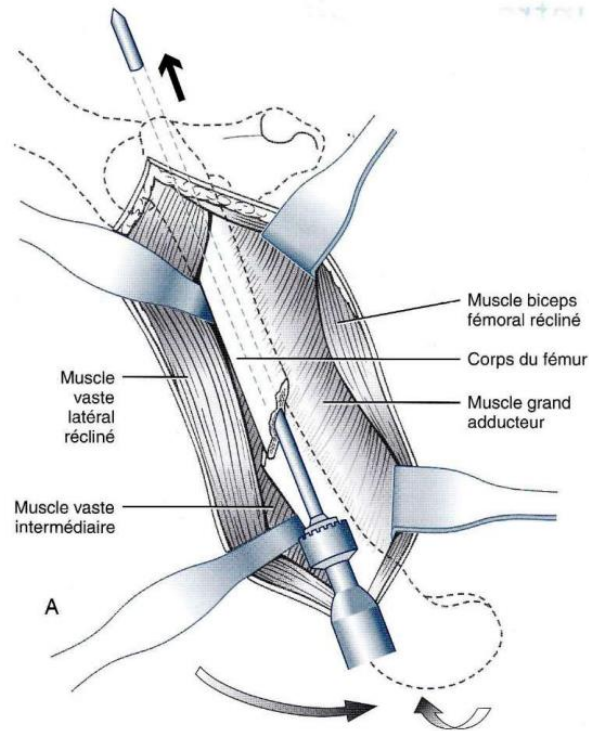


Figure V-1. Schéma de l'installation d'une broche intramédullaire

(Johnson & Dunning ; 2005)

V.3.1.4. Stabilisation : Insérer une broche intramédullaire et un montage de fixateurs externes de type la sur la face latérale du fémur pour stabiliser une fracture transverse ou oblique courte. Insérer mie broche de fixation dans la métaphyse de chaque segment et une broche de part et d'autre du trait de fracture. Le cadre du fixateur externe peut être solidarisé à la broche intramédullaire (montage « tie-in ») afin de renforcer la fixation. Utiliser une broche intramédullaire et plusieurs fils de cerclage pour les fractures obliques longues. Un fixateur externe peut être ajouté pour consolider la réparation. Insérer un clou verrouillé et quatre vis dans le fémur pour réaligner les fractures comminutives non réductibles.

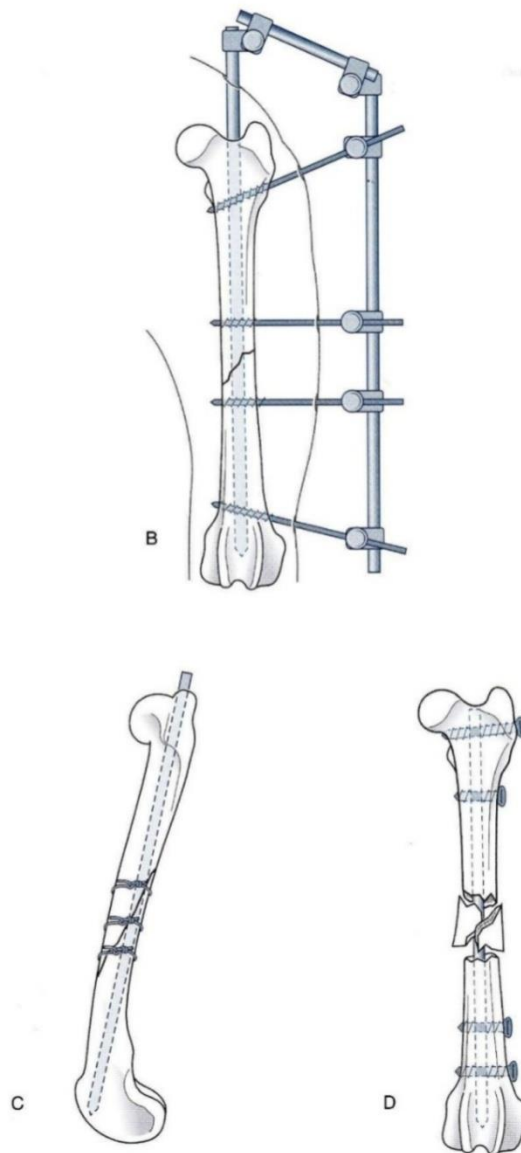


Figure V-2.Schématisation des méthodes de stabilisation associée à la broche intramédullaire
 B. Fixateur externe C. Utilisation de fils de suture métalliques D. Insertion de clous au niveau métaphysaire (Johnson & Dunning ; 2005)

Pronostic : La consolidation osseuse est généralement obtenue en 12 à 18 semaines, en fonction du type de fracture et des caractéristiques de l'animal.

V.3.2. Plaque d'os (Malki ; 2021)

Les plaques osseuses sont adaptables à pratiquement tous les types de fractures diaphysaires et présentent l'avantage distinct de fournir une fixation interne rigide et ininterrompue. Dans la plupart des cas, la plaque osseuse est la fixation de choix chez les grands chiens. Selon le type de fracture, la plaque peut être utilisée comme plaque de compression à bande de tension en oblique court, fractures transversales et certaines fractures segmentaires ; comme plaque de neutralisation dans les fractures obliques longues et en coin réductibles ; et comme contrefort ou plaque de pontage dans les fractures en coin non réductibles. La plaque est généralement appliquée sur la surface latérale et profilée pour s'adapter à cette surface. Habituellement, le motif de courbure pour le contour est tiré d'une radiographie cranio-caudale du fémur opposé pour l'application de contrefort (pontage), ou la plaque peut être profilée au moment de l'application pour les fractures réductibles. Un considérable une torsion latérale est nécessaire dans l'extrémité caudodistale de la plaque s'il est nécessaire d'étendre la plaque sur le condyle. Si vous ne le faites pas, le coin cranio-distal de la plaque sera surélevé de l'os. Une exposition généreuse est nécessaire pour l'application de la plaque osseuse. Pour étendre la plaque distalement au condyle, il est nécessaire d'ouvrir l'articulation du grasset dans le prolongement de l'approche de la tige. Au moins trois ou de préférence quatre vis à os ou plus (pénétrant six à huit cortex ou plus) doivent être placées dans chacun des segments osseux proximal et distal. Une fracture transversale simple de type A3 peut généralement être stabilisée avec six cortex de chaque côté de la fracture, alors que huit cortex est le nombre minimum requis dans les applications de contrefort (pontage). Dans la mesure du possible, la plaque et les vis doivent être insérées pour développer une compression au site de fracture. Cela a l'avantage distinct de fournir une fixation plus rigide et de rendre les conditions presque optimales pour la guérison. Le choix d'une plaque de contrefort pour les fractures multiples est devenu plus courant avec l'accent mis récemment sur la stéosynthèse biologique. La cicatrisation osseuse du fémur associée à l'utilisation de la plaque de contrefort a été plus rapide que la cicatrisation des fractures fémorales traitées avec une reconstruction complète des fragments et l'application d'une plaque

de neutralisation. Une plaque de soutien peut être appliquée sur une fracture fémorale avec une manipulation minimale des fragments d'os, préservant ainsi l'approvisionnement en sang et le potentiel de guérison des tissus mous associés à la fracture. L'inconvénient d'utiliser une plaque de contrefort sur le fémur est que la position latérale de la plaque la soumet à une contrainte de flexion extrême lors de la mise en charge. La combinaison d'une broche IM avec une plaque de contrefort a été décrite pour aider à surmonter cet inconvénient. La broche IM est placée en premier, ce qui permet un alignement efficace des principaux fragments de manière proximale et distale avec une perturbation minimale du site de fracture. La plaque est ensuite profilée et appliquée sur la surface latérale du fémur. Des vis bicorticales peuvent souvent être utilisées à travers la plaque, avec un certain ajustement de l'angle de placement des vis pour éviter la broche IM. En cas d'interférence avec la broche, des vis monocorticales peuvent être placées. Un minimum de trois vis monocorticales et une vis bicorticale au-dessus et au-dessous de la fracture est recommandé pour les combinaisons plaque/broche. La goupille fonctionnera pendant la cicatrisation pour partager la charge et pour protéger la plaque des forces de flexion de la mise en charge. Un diamètre de broche qui occupe environ 35 % à 40 % du diamètre de l'espace médullaire médian a été proposé pour fournir une rigidité adéquate au site de fracture pour la cicatrisation. Ce diamètre peut être ajusté en fonction de la gravité de la fracture, avec des diamètres légèrement plus grands choisis pour les fractures les plus complexes.

CHAPITRE VI : LA PARTIE EXPERIMENTALE :

VI.1. L'objectif : les fractures diaphysaires du fémur sont des affections très grave et fréquente surtout chez les carnivores. Le vétérinaire doit savoir la technique adéquate pour fixer l'os et assurer unebonne consolidation osseuse. A défaut de sujet qui présente une fracture de la diaphysefémorale, nous avons choisi de provoquer une fracture transversede la diaphyse du fémur chez un lapin à l'aided'une scie-fil suivie par la fixation de l'os par enclouage centromédullaire en rétrograde pourdémontrer la méthodologie de cette opération

VI.2. Présentation et préparation de l'animal:

Age : 3 mois

Race : New Zealand

Genre : femelle

Poids : 1,5

Température corporelle : 38,8C°

L'alimentation de l'animal était à base de salades et de carottes quatre fois par jour pendant une semaine. Le sujet a suivi une diète totale de 16 heures avant le début de l'opération et à l'examen clinique na présenté aucun trouble pathologique



Figure VI-1.Sujet avant le début de l'opération

VI.3. Le protocole d'anesthésie générale du lapin:

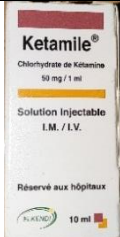
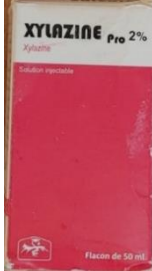

Produit utilisé pour l'anesthésie générale	Concentration du Principe actif	Dose et quantité à administrer	Voie d'administration :	Photo du produit utilisé
Kétamile®	Kétamine 50mg/ml	40 mg/kg 1,2 ml	Intra musculaire	
Xylazine pro®	Xylazine 2% 20 mg/ml	5 mg/kg 0,37 ml	Intra musculaire	
Calmivet®	Acépromazine 5 mg/ml	0,75 mg/kg 0,22 ml	Intra musculaire	

Tableau VI-1. Information sur le protocole anesthésique

VI.4. Matériel utilisé :

Le matériel nécessaire à la réalisation d'une ostéosynthèse : deux pinces de préhension, Pince hémostatique, ciseaux Mayo et ciseaux courbé Mayo pour la dilacération et le levé de l'os pour faire passer la scie-fil en dessous de l'os

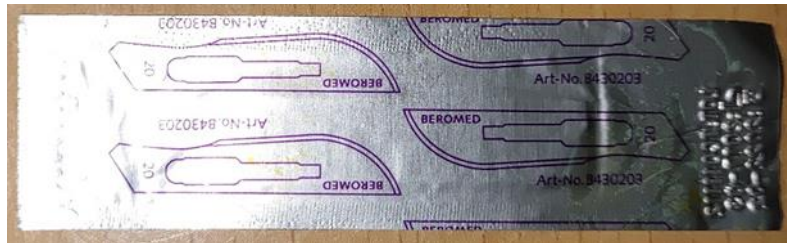


Figure VI-2. Lame bistouri bord convexe (20)

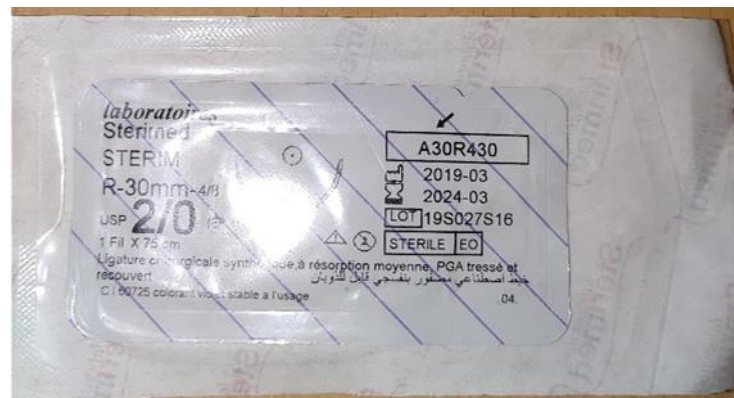


Figure VI-3. Fil de suture acide polyglycolique USP 2/0



Figure VI-4. Les broches orthopédiques intramédullaires de type Steinmann à double pointe trocart et de différents diamètres.



Figure VI-5.Le matériel chirurgical utilisé



Figure VI-6.Le mandrin de Jacobs, utilisé pour la manipulation de la broche orthopédique

VI.5. les différentes étapes de l'opération :

1^{ère} étape : On a mis l'animal en décubitus latéral gauche pour faire l'opération sur le fémur droit. Avant l'administration des produits anesthésiques on a fait un rasage de la cuisse droite suivi d'une Antiseptisassions par application de polyvidone iodée BETADERM® 10 %

Remarque : lors du rasage on a involontairement provoquée de petites lésions sur la peau de la cuisse du sujet à cause de la lame utilisée qui n'était pas bien affinée. En tout cas cette incident ne présent aucun risque pour l'animal ni complication pour le déroulement de l'opération



Figure VI-7.Présentation de l'animal en décubitus latéral gauche et antiseptie de la région à opérer

2^{ème}étape : On fait une incision du tissu cutané et sous cutané sur la face latérale de la cuisse comme décrit dans la littérature “depuis le grand trochanter jusqu'aux condyles fémoraux” (Johnson & Dunning ; 2005)



Figure VI-8.L'incision de la peau



Figure VI-9.Les couches musculaires

3^{ème} étape : On fait l'incision du fascia-lata et on écarte le biceps fémoral pour révéler le fémur entourée par le périoste. Ce dernier est alors incisé pour accéder à la couche compacte du fémur

On a aussi procédé à l'incision et l'écartement des insertions musculaire présent dans la partie caudal de la diaphyse fémorale les muscles concerné sont : Le muscle grand adducteur, l'adducteur moyen, le vaste externe, le vaste interne et le muscle crural



Figure VI-10.Incision des couches musculaires et la présentation de la diaphyse fémorale

4^{ème}étape : On fait passe la scie-fil en dessus du fémur tout en le maintenant en place à l'aide de ciseaux incurvé mayo



Figure VI-11.Le passage de la scie-fil en dessous du fémur

5^{ème} étape : On prend les deux bouts de la scie-fil et on provoque une fracture transversale par frottement sur la diaphyse fémorale



Figure VI-12.La scie-fil passée autour du fémur



Figure VI-9.La technique utilisée pour provoquer la fracture transverse

6^{ème} étape : On fait passer la broche à travers la brèche proximale aussi appelée l'interface proximale de la fracture vers l'épiphyse proximale ou l'articulation ilio-fémoral (méthode rétrograde)

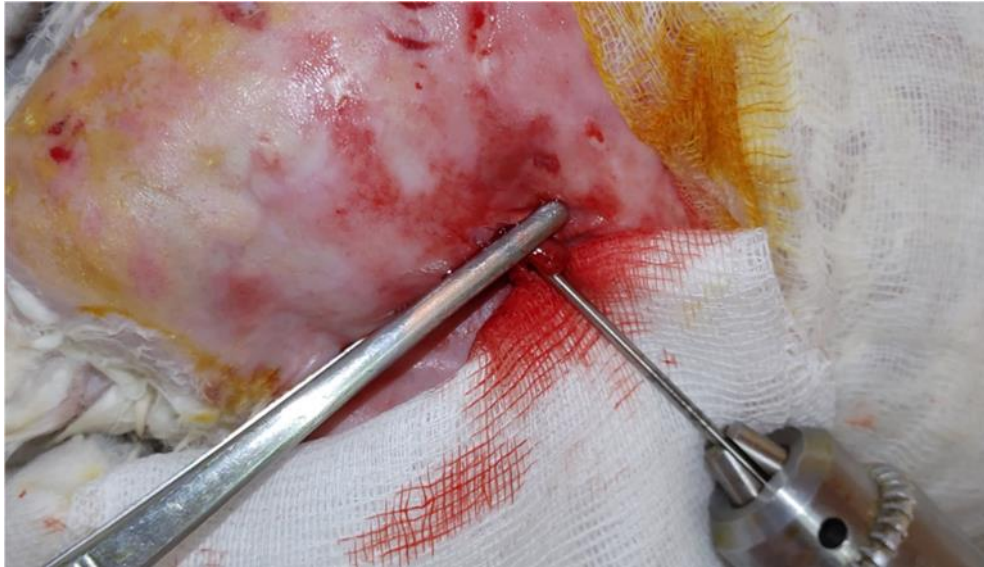


Figure VI-14.L'insertion de broche de Steinmann à travers segment proximal de la diaphyse du fémur on utilisant le mandrin Jacobs

7^{ème} étape : on fait sortir le bout de la broche du côté le plus proximale de la cuisse toute en apposant les deux brèches de la fracture il est conseillé de mettre le membre en extension durant cette phase pour l'alignement des deux interfaces de la



Figure VI-15.Le passage de la broche à travers la cuisse assisté par une section du tissu cutané à la lame bistouri



Figure VI-16. Le passage de la broche de l'interface proximale de la fracture jusqu'à sortir de la cuisse

8^{ième} étape : refaire passer la broche tout le long de l'os et on engrène un peu la tête de celle-ci dans l'épiphyse distale pour assurer une bonne fixation de l'os. Puis on a coupé l'excès de la broche qui est restée en dehors de la cuisse ce qui ne peut pas se faire pour les espèces de plus grand gabarit



Figure VI-17. La tête de la broche dans la brèche de la fracture



Figure VI-18.Le positionnement de la broche comparée à une autre tenue en parallèle

9^{ème} étape : on applique localement un antibiotique Longamoxe[®] dont le principe actif est l'amoxicilline par mesure de sécurité contre les infections



Figure VI-19.L'application d'antibiotique

10^{ème} étape : on suture les couches musculaires par un surjet avec point d'arrêt à l'aide de Fil de suture acide polyglycolique (PGA) 2/0 fil de suture a résorbions moyenne

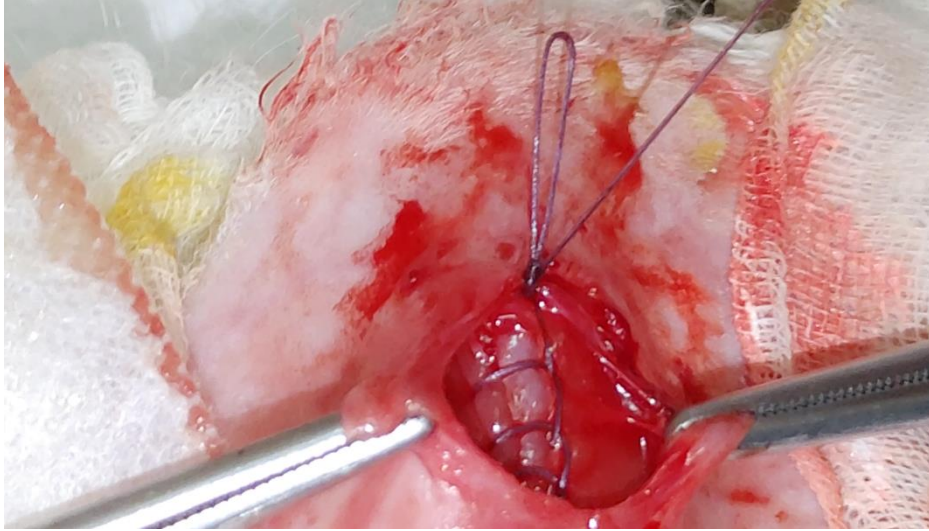


Figure VI-20.Le surjet avec point d'arrêt appliqué sur les couches musculaires de la cuisse

11^{ème} étape : suture de la peau par des points simples l'aide de fil de suture acide polyglycolique (PGA) 2/0 fil de suture a résorbions moyenne



Figure VI-21.Les points de suture simple appliquée sur la peau

12^{ième} étape : application d'Aluspraye® produit en spray composé d'aluminium micronisé pour la protection de la plaie chirurgicale



Figure VI-22. Le sujet après l'application d'Aluspraye®

VI.6. Le suivi postopératoire :

L'animal ayant été opéré du membre, notre démarche postopératoire était basée sur la restriction au maximum du sujet en le mettant dans une boîte en carton avec sa litière qui était renouvelée quotidiennement prêt d'une source chaude avec l'antiseptisassions régulière de la plaie chirurgicale.



Figure VI-23. Le sujet post opération

Le 25^{ième} jour postopératoire, on a retiré la broche par improvisation avec le respect des conditions d'asepsie à l'aide d'une pince et de la Bétaderm© l'animal retrouvera l'appui et la mobilité de son membre une semaine après.



Figure VI-24. Le matériel utilisé pour extraction de la broche

CHAPITRE VII : DISCUSSION

L'enclouage centromédullaire qui consiste en la pose d'un simple tuteur métallique au sein de la cavité médullaire est une méthode peu complexe, peu onéreuse, rapide et nécessitant un abord chirurgical limité. (Sébastien, 2006)

Dans notre étude, la réalisation technique de l'enclouage centromédullaire rétrograde a permis de réduire considérablement le temps opératoire. Les étapes fondamentales, qui peuvent constituer un repaire pour les parétiens sont : incision de la peau ; section de l'insertion crâniale du muscle biceps fémoral sur le fascia latta ; introduction du clou de Steinmann dans le segment proximal et sa sortie par la fosse trochantérique ; alignement des deux segments proximal et distal puis enfoncé le la broche dans la partie spongieuse de l'épiphyse distale.

L'enclouage centromédullaire est utilisable dans de très nombreuses situations. Le clou doit occuper 70% de la cavité médullaire. La taille des os du lapin ne permet donc pas d'utiliser de matériel plus gros que des broches de Kirschner. L'enclouage permet d'obtenir un bon alignement, la stabilité en angulation et le maintien de la longueur de l'os par l'implantation rigide dans les deux extrémités de l'os. Il ne confère cependant aucune stabilité rotationnelle, sauf dans le cas particulier d'engrènement des abouts osseux au site de fracture (Ithier & al ; 2005).

Les résultats de notre étude ont montré, que le clou Steinmann peut être utilisé chez le jeune lapin, cela est dû au fait que le canal médullaire est plus droit chez jeune lapin que chez les autres espèces. De plus, la moelle osseuse chassée par la broche, s'étale sur le site fracturaire, et participe par sa richesse en cellule souche à l'accélération de la consolidation osseuse.

La différence entre le clou Steinmann et le clou Küntscher réside dans leur conception et leur mode d'insertion. Le clou Steinmann est un clou solide introduit à travers une incision, tandis que le clou Küntscher est un clou creux inséré dans la cavité médullaire de l'os.

Le brochage de RUSH est difficilement utilisable du fait de sa difficulté de mise en œuvre et la pose de plaque est rendue difficile par la taille du fragment distal qui ne permet pas de placer le nombre de vis nécessaire à l'obtention d'une stabilisation correcte (Sébastien, 2006). De même pour la plaque de soutien n'est pas en mesure de produire la rigidité que procure l'enclouage verrouillé dans la même situation (Mathon & al ; 2000).

Comme dans tout traitement orthopédique, le succès d'un enclouage exige une stabilité axiale (au cisaillement et à la translation), en flexion et en rotation. La stabilité axiale et en flexion nécessite l'implantation solide du clou dans l'os spongieux proximal et distal. Les clous de Steinmann correctement utilisés sont efficaces contre les forces de flexion, mais non contre les forces de rotation car ils sont ronds et n'assurent qu'un alignement axial (Palissier ; 2008)

Il a été démontré chez l'homme que pour obtenir une résistance optimale du matériel d'ostéosynthèse, le diamètre théorique du trou d'insertion des vis doit être inférieur à 30% du diamètre du clou. Sur un clou en acier inoxydable vétérinaire de 4 mm de diamètre, les trous représentent 52,6% du diamètre du clou et le matériel présente malgré tout une résistance satisfaisante (Sébastien ; 2006). Le choix de la longueur du clou et la technique d'implantation doivent faire en sorte que proximement l'extrémité du clou ne dépasse pas dorsalement le sommet du grand trochanter. (Duhautois ; 2001).

Dans cette étude, l'appréciation de la longueur de la broche et sa profondeur dans les deux épiphyses fémorales, sont obtenues par la superposition d'une deuxième broche de même dimension, après ajustement l'excès de la broche est éliminé par une pince coupe-broche.

L'enclouage centromédullaire peut être aussi envisagé chez les jeunes animaux pour lesquels la formation du cal fracturaire est plus rapide. L'enclouage centromédullaire est souvent utilisé en association avec d'autres montages. Il est possible de le compléter avec des cerclages ou des vis, en particulier lors d'une fracture oblique longue ou spiroïde, ou de l'associer à une plaque lors d'une fracture comminutive (Leroux ; 2010).

L'enclouage centromédullaire peut être verrouillé, ce qui permet de l'utiliser dans de nombreux types de fractures diaphysaires du tibia, dont les fractures hautement comminutives, car il neutralise les forces de rotation, de traction et de compression axiales (Leroux ; 2010). Il est nécessaire pour le placer d'avoir les extrémités proximale et distale de l'os intègres afin de permettre la pose des vis. Il est déconseillé lors de fractures épiphysaires (Magnin; 2016). En augmentant ainsi la stabilité du foyer fracturaire, l'enclouage verrouillé vétérinaire (EVV) limite les facteurs d'instabilité de l'enclouage centromédullaire (ECM) et constitue une amélioration sensible de la technique de base de l'enclouage d'alignement en permettant d'élargir ses applications aux fractures complexes et instables (Duhautois ; 2001).

La technique appliquée dans notre étude est moins traumatisante pour les différentes structures et sources vasculaires de l'os, et peut s'inscrire dans le cadre des principes de l'ostéosynthèse biologique. Cette dernière, a eu un impact positif sur la durée de récupération de l'appui sur le membre opéré, et a empêché le déplacement et la protrusion de la broche.

Contrairement aux plaques et fixateurs externes qui font protrusion à la surface de l'os, la position intramédullaire du clou verrouillé évite l'apparition de lésions des muscles, des nerfs et des tissus adjacents ; ceci est corrélé à une récupération fonctionnelle précoce et de bonne qualité (Duhautois ; 2001) et neutralise la migration de l'implant (Duhautois et Legard, 1992)

En comparaison avec la stabilisation par plaque d'ostéosynthèse qui endommage la vascularisation périostée, la mise en place d'un clou nécessite une dissection et une exposition réduite des tissus. Les clous n'entraînent pas de lésions de l'endoste (ce qui valorise le concept de montage biologique) ou d'ischémie corticale ; bien que l'insertion du clou lèse la vascularisation médullaire dans un premier temps, cette dernière est rétablie en quelques semaines (Duhautois ; 2001). En outre, il convient de prendre en considération l'apport bénéfique des cellules de la moelle osseuse chassées par le clou lors de son passage dans la cavité médullaire. Ces cellules de la moelle osseuse s'insinuent entre les abouts fracturaires. Elles contiennent quelques cellules souches qui peuvent se différencier en cellules de la lignée ostéoblastique et, de ce fait, favoriser l'ostéogenèse (Palissier ; 2008). Les avantages de cette fixation sont nombreux : pas de déperiochage des fragments, pas d'évacuation de l'hématome périfracturaire, appui et mobilisation précoces des articulations, bonne qualité du cal obtenu (Magnin ; 2016).

Il faut aussi ne pas oublier les facteurs d'infection qui peuvent être d'origine exogène lors de fracture ouverte ou iatrogène lors de réduction ouverte ou de non-respect des principes d'asepsie. L'infection est un facteur défavorable majeur de la cicatrisation osseuse, car elle entretient l'inflammation, accroît la résorption osseuse et induit une nécrose osseuse (Leroux ; 2010).

Conclusion

L'utilisation de l'enclouage centromédullaire est un mode de stabilisation qui présente des avantages fonctionnels, techniques, biologiques, biomécaniques et économique. La vulgarisation de cette technique auprès des vétérinaires praticiens et chercheurs constitue sans doute un objectif prometteur dans le domaine de chirurgie orthopédique. Toutefois, il est impératif de connaître les

principes de base de cette technique afin de pouvoir la développer et d'améliorer son efficacité.

LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

ANDRE J.M., CATALA M., MORERE J.J., ESCUDIER E., KATSANIS G. et POIRIER J. (2008) Service d'Histologie – Embryologie

AZZEDINE LOUNIS OUSSAMA YAMOUNE (2015) Mémoire de Fin d'Etudes DeMASTER ACADEMIQUE Spécialité :Electronique Biomédicale Filière :GENIE ELECTRIQUE thème : Étude de l'Amplificateur de brillance d'un système de radiologies mobil pour bloc opératoire « Siemens Multimobil 5C »

BARONE R. (1978) Anatomie comparée des mammiferes domestiques, cinquieme édition, Tome 1 Osteologie

BARONE R. (1978) Arthrologie et myologie. Paris: Vigot; 2000

BOUDRA A, (2014) : Etude d'une greffe osseuse traitée couverte par la propolis chez les petits animaux. Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magistère en sciences vétérinaires Option : Chirurgie des petits animaux. Université Ibn-Khaldoun de Tiaret

BOUKNINE A, (2014) : Étude comparative entre l'application d'un enclouage centromédullaire et d'une plaque vissée dans le fémur du chien. Mémoire En vue de l'obtention du diplôme de magistère en sciences vétérinaires Option : Chirurgie des petits animaux. Université Ibn-Khaldoun de Tiaret

BRINKER W.O., PIERMATTEI D.L. et FLO G.L (1994) Manuel d'Orthopédie et de traitement des fractures des petits animaux 2^{ème} édition, paris Edition du point vétérinaire,

JT BUSHBERG JA SEIBERT, EM. LIEDHOLT, JR, JM BOONE.(2002) : The Essential Physics of Medical Imaging

CHAVASSIEUX P AND MEUNIER P. (2003) Histologie et cytologie de l'os normal, Encycl .Méd .Chir

COCHRAN P.E. (2011) Veterinary Anatomy and physiology, 2nd edition, Delmar,

CROSS P.C. et MERCER K.L. (1993) Ultra structure cellulaire et tissulaire, approche fonctionnelle, Deboeck université,

DADOUNE J.P., HADJISKY P., SIFFROI J.P. et VENDRELY E. (1990) Histologie, Flammarion Médecine-sciences

DADOUNE J.P. et SIFFROI J.P. (2000) De la biologie à la clinique, Histologie, 2^{ème} édition médecine- science, P 85.

DUHAUTOIS B. (2001) : L'enclouage verrouillé dans le traitement des fractures du chien et du chat : étude rétrospective sur 121 cas (1992-1999) Prat M.d Chir Anim Comp 36 : 481-496

DUHAUTOIS B. & LEGEARD F. (1992) : Enclouage et cerclage. Encyclopédie Vétérinaire, Paris, Orthopédie 3400, 9p.

FOSSUM T.W., HEDLUND C.S., HULSE D.A., JOHNSON A.N., SEIM H.B., WILLARD M .D. et CARROLL G .L. (2007) Small animal surgery, 3nd edition Mosby, Elsevier,

FOSSUM, T. W. (2013). Small Animal Surgery (4th ed.). Elsevier Mosby.

JOHNSON A.J. et DUNNING D. (2006) Guide pratique de chirurgie orthopédique du chien et du chat, édition MED'COM, P 186-187-188-189

Jossier R, Fusellier M, Laborde A, (2013) L'imagerie médicale du chat et du chien au service du praticien

ITHIER D., FEIX C., DUCOS DE LAHITTE J. et JOUGLAR J.-Y. (2005) : Traitement d'une fracture multi-esquilleuse du tibia chez un lapin nain. Revue Méd. Vét., 156, 4, 194-198

KEALY J.K, Mc ALLISTER H, Radiographie et Echographie du chien et du chat

LEFÈVRE C., (2007) : L'enclouage centromédullaire des membres chez l'adulte. Résumés des conférences d'enseignement. 82^e Réunion Annuelle de la Société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique, Suppl. au n° 7, Rev. Chir. Orthop. 2007, 93, 4S22-4S29)

LEONARD E.P. (1974) La chirurgie orthopédique du chien et chat, 3^{ième} édition, Vigots frères éditeurs,

LEROUX J., Y., (2010) : Étude rétrospective portant sur 33 fractures du tibia sur des chats présentés à l'école nationale vétérinaire d'Alfort entre septembre 2003 et janvier 2009. Thèse pour le doctorat vétérinaire. Ecole nationale vétérinaire d'Alfort

MAGNIN J. (2016) : Les fractures ouvertes des carnivores domestiques : étude rétrospective portant sur 90 fractures ouvertes appendiculaires des carnivores domestiques présentées à VetAgro sup campus vétérinaire de Lyon entre novembre 2001 et novembre 2015 ; L'université Claude-Bernard - Lyon I

MAILLET M. (1979) Le tissu osseux, éditions Vigot, Paris

MAILLET M. et CHIARASINI D. (1979) Collection PCEM Histologie, tome 1, Bréal éditeur, Montrantuil,

MALKI A, (2021) Mémoire Pour l'obtention du diplôme de master en science vétérinaire. Université de Batna 1 Institut des Sciences Vétérinaires et des Sciences Agronomiques

MATHON D.H., MATHON V. et BERNARDI S. (2000) : Ostéosynthèse d'alignement et montage combiné chez le chien : à propos d'un cas. Revue Méd. Vét., 151, 8-9, 821-828

NOURY N, (2006) : Contribution à l'étude des fractures articulaires du coude chez les Carnivores domestiques. Thèse présentée à l'université Claude-Bernard - LYON I (Médecine - Pharmacie)

PALISSIER F., M. (2008): Comparaison de 6 montages combinés clou – plaque chez le chien : étude mécanique expérimentale. Thèse pour obtenir le grade de docteur vétérinaire. Ecole nationale vétérinaire de Toulouse ; France

PIERARD J. (1972) Anatomie appliquée des carnivores domestiques chien et chat, P

PIERMATTEI D.L., FLO G.L. & DECAMP C.E. (2006) Manuel d'orthopédie et traitement des fractures des animaux de compagnie 4th Ed,

RAUCH R.L. (2000) Histologie, tissu osseux, éditions De Boeck Université, P157

SEBASTIEN A.C.G. (2006) : Intérêt de la pose de clous verrouilles en titane de 3,5 mm de diamètre par voie transarticulaire directe pour le traitement des fractures fémorales distales chez le chat. Thèse pour le doctorat vétérinaire. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort

SIMAND S.V Article Web (2009) : la radiographie et qu'est-ce qu'un-rayon-x : <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-physique/la-radiographie-ii-qu-est-ce-qu-un-rayon-x-comment-en-produire-quel>

D. A. SKOOG, F. J. HOLLER, T. A. NIEMAN, "Principes d'analyse instrumentale", 2003, De Boeck.

SLATTER D. (1995) Pocket Companion to Textbook of Small Animal Surgery

WHEATER P.R., YOUNG B. et HEATH J.W. (2001) Histologie fonctionnelle, Traduction de la 4^{ème} édition Anglaise, P186

WRAIGHTE P.J AND SCAMMELL B.E. (2006) Principles of Fracture Healing. Surgery (Medicine Publishing).