

**VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2018 - Thèse n° 052

***INTERÊT DE L'OSTEOSYNTHESE PAR PLAQUE ET ABORDS
MINI-INVASIFS DANS LE TRAITEMENT DES FRACTURES
DU TIBIA CHEZ LE CHIEN ET LE CHAT. ETUDE
RETROSPECTIVE SUR 18 CAS TRAITES A VETAGRO-SUP
(2009-2018).***

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 12 octobre 2018
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

BUREAU Guillaume



**VETAGRO SUP
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2018 - Thèse n° 052

***INTERÊT DE L'OSTEOSYNTHESE PAR PLAQUE ET ABORDS
MINI-INVASIFS DANS LE TRAITEMENT DES FRACTURES
DU TIBIA CHEZ LE CHIEN ET LE CHAT. ETUDE
RETROSPECTIVE SUR 18 CAS TRAITES A VETAGRO-SUP
(2009-2018).***

THESE

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I
(Médecine - Pharmacie)
et soutenue publiquement le 12 octobre 2018
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

BUREAU Guillaume



Liste des Enseignants du Campus Vétérinaire de Lyon (1er mars 2018)

Nom	Prénom	Département	Grade
ABITBOL	Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
ALVES-DE-OLIVEIRA	Laurent	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
ARCANGIOLI	Marie-Anne	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
AYRAL	Florence	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BECKER	Claire	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BELLUCO	Sara	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
BENAMOU-SMITH	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
BENOIT	Etienne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BERNY	Philippe	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BONNET-GARIN	Jeanne-Marie	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
BOULOCHER	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BOURDOISEAU	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
BOURGOIN	Gilles	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
BRUYERE	Pierre	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BUFF	Samuel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
BURONFOSSE	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
CACHON	Thibaut	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
CADORÉ	Jean-Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
CALLAIT-CARDINAL	Marie-Pierre	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
CAROZZO	Claude	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
CHABANNE	Luc	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
CHALVET-MONFRAY	Karine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
DE BOYER DES ROCHES	Alice	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
DELIGNETTE-MULLER	Marie-Laure	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
DEMONT	Pierre	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
DJELOUADJI	Zorée	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
ESCRIOU	Catherine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
FRIKHA	Mohamed-Ridha	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GALIA	Wessam	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Stagiaire
GILOT-FROMONT	Emmanuelle	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
GONTHIER	Alain	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
GRANCHER	Denis	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
GREZEL	Delphine	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
HUGONNARD	Marine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
JANKOWIAK	Bernard	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Contractuel
JAUSSAUD	Philippe	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
JEANNIN	Anne	DEPT-ELEVAGE-SPV	Inspecteur en santé publique vétérinaire (ISPV)
JOSSON-SCHRAMME	Anne	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences Contractuel
JUNOT	Stéphane	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
KODJO	Angeli	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
KRAFFT	Emilie	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
LAABERKI	Maria-Halima	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
LAMBERT	Véronique	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LE GRAND	Dominique	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
LEBLOND	Agnès	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
LEDoux	Dorothee	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Stagiaire
LEFEBVRE	Sébastien	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences Stagiaire
LEFRANC-POHL	Anne-Cécile	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
LEPAGE	Olivier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
LOUZIER	Vanessa	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
MARCHAL	Thierry	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
MATEOS	Stevana	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences Contractuel
MOISSONNIER	Pierre	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
MOUNIER	Luc	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
PEPIN	Michel	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
PIN	Didier	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
PONCE	Frédérique	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
PORTIER	Karine	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
POUZOT-NEVORET	Céline	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
PROUILLAC	Caroline	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
REMY	Denise	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
RENE MARTELLET	Magalie	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences
RIVES	Germain	DEPT-ELEVAGE-SPV	Maître de conférences Contractuel
ROGER	Thierry	DEPT-BASIC-SCIENCES	Professeur
SABATIER	Philippe	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
SAWAYA	Serge	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
SCHRAMME	Michael	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
SERGEANT	Delphine	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur
THIEBAULT	Jean-Jacques	DEPT-BASIC-SCIENCES	Maître de conférences
THOMAS-CANCIAN	Aurélie	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences Contractuel
TORTEREAU	Antonin	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences
VIGUIER	Eric	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Professeur
VIRIEUX-WATRELOT	Dorothee	DEPT-AC-LOISIR-SPORT	Maître de conférences Contractuel
ZENNER	Lionel	DEPT-ELEVAGE-SPV	Professeur

REMERCIEMENTS JURY

À Monsieur le Professeur Olivier MONNEUSE,

De la Faculté de Médecine de Lyon,

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse.

Hommages respectueux.

À Monsieur le Professeur Éric VIGUIER,

De VetAgro Sup Lyon,

Qui a bien voulu accepter d'encadrer et de corriger mon travail.

Pour son temps et ses conseils.

Sincères remerciements

À Monsieur le Professeur Thibaut CACHON,

De VetAgro Sup Lyon,

Qui a accepté d'être membre de mon jury de thèse.

Sincères remerciements.

SOMMAIRE

TABLE DES ANNEXES	- 13 -
TABLES DES FIGURES.....	- 15 -
TABLE DES TABLEAUX	- 19 -
LISTE DES ABREVIATIONS	- 21 -
INTRODUCTION	- 23 -
I. Particularités anatomiques de la jambe	- 26 -
A. Ostéologie.....	- 26 -
1) Le tibia.....	- 26 -
2) La fibula	- 26 -
B. Myologie.....	- 27 -
1) Fascia jambier et loges musculaires	- 27 -
2) Les muscles jambiers crâniaux.....	- 27 -
a) Muscles de la loge tibiale crâniale	- 27 -
b) Muscles de la loge fibulaire	- 28 -
3) Muscle jambiers caudaux	- 29 -
a) Muscles de la loge surale	- 29 -
b) Muscles de la loge tibiale caudale	- 30 -
C. Innervation	- 31 -
1) Le nerf fibulaire commun	- 31 -
a) Le nerf cutané sural latéral.....	- 31 -
b) Le nerf fibulaire profond	- 31 -
c) Le nerf fibulaire superficiel.....	- 32 -
2) Le nerf tibial.....	- 32 -
D. Vascularisation.....	- 33 -
1) Système artériel.....	- 33 -
a) Irrigation du genou par l'artère poplitée.....	- 33 -
b) Artères de la jambe.....	- 33 -
2) Le système veineux	- 34 -
a) Le système veineux profond.....	- 34 -
b) Le système veineux superficiel : les veines saphènes	- 34 -
3) La vascularisation de la diaphyse tibiale.....	- 35 -
a) L'artère nourricière.....	- 36 -
b) La vascularisation périostée	- 37 -
II. Généralités sur les os.....	- 38 -
A. Le tissu osseux	- 38 -
B. Enveloppes de l'os.....	- 38 -

1) Le périoste	- 38 -
2) L'endoste	- 39 -
C. Le remodelage osseux	- 39 -
1) Phase d'activation :	- 39 -
2) Phase de résorption du tissu osseux	- 40 -
a) Fixation de l'ostéoclaste à la matrice	- 40 -
b) Résorption osseuse	- 40 -
3) Phase d'inversion	- 41 -
4) Phase de formation de tissu osseux	- 41 -
5) Phase de régulation	- 41 -
D. Cicatrisation osseuse	- 43 -
1) Cicatrisation par seconde intention	- 43 -
a) Phase inflammatoire	- 43 -
b) Phase de réparation	- 45 -
c) Phase de remodelage	- 47 -
2) Cicatrisation par première intention	- 49 -
a) Cicatrisation par contact	- 49 -
b) Cicatrisation lacunaire	- 50 -
III. Particularités des fractures diaphysaires du tibia	- 51 -
A. Etude générale des fractures	- 51 -
1) Localisation anatomique	- 51 -
2) Le trait de fracture	- 51 -
a) Incomplet	- 51 -
b) Complet	- 51 -
c) Les déplacements	- 53 -
3) Biomécanique et motifs des fractures	- 53 -
4) Les fractures ouvertes	- 54 -
5) Classification	- 56 -
B. Le traitement des fractures diaphysaires du tibia	- 57 -
1) Le choix de la prise en charge	- 57 -
2) Traitement orthopédique	- 58 -
a) Considérations générales	- 59 -
b) Indications	- 59 -
c) Les différents types de traitement orthopédique	- 60 -
d) Mise en œuvre	- 61 -
e) Complications	- 62 -
3) Traitement chirurgical	- 63 -
a) L'enclouage centro-médullaire (ECM)	- 63 -

b)	Fixateur externe.....	- 66 -
c)	La fixation par plaque : évolution de l'ORIF à l'OBDNT	- 69 -
C.	La MIPO (Minimally Invasive Plate Osteosynthesis).....	- 76 -
1)	Technique de mise en place	- 76 -
a)	Réduction	- 76 -
b)	Abord chirurgical.....	- 77 -
c)	Mise en place de la plaque	- 77 -
d)	Post opératoire	- 77 -
2)	Avantages et inconvénients.....	- 78 -
a)	Avantages.....	- 78 -
b)	Inconvénients	- 79 -
I.	Matériel et méthode	- 82 -
A.	Critères d'inclusion.....	- 82 -
B.	Description des animaux et des fractures	- 82 -
C.	Description de la méthode de stabilisation	- 82 -
D.	Évaluation de l'évolution des patients	- 83 -
E.	Analyse statistique	- 83 -
II.	Résultats	- 84 -
A.	Description des animaux	- 84 -
1)	Sexe des animaux.....	- 84 -
2)	Âge des animaux.....	- 84 -
3)	Poids des animaux.....	- 85 -
B.	Description des fractures.....	- 86 -
1)	Cause de fracture	- 86 -
2)	Localisation de la fracture	- 86 -
3)	Type de fracture.....	- 87 -
4)	Fracture ouverte ou fermée	- 87 -
C.	Description de la méthode de stabilisation	- 88 -
1)	Caractéristiques mécaniques du montage	- 88 -
a)	Type de plaque	- 88 -
b)	Présence d'autres implants	- 88 -
2)	Caractéristiques liées à l'implant	- 88 -
a)	Taille de la plaque	- 88 -
b)	Rapport entre la longueur de la plaque et la longueur de la fracture = PSW	- 89 -
c)	Nombre de vis et de corticales engagées par plaque.....	- 89 -
d)	Rapport entre le nombre vis et le nombre de trous = PSD.....	- 90 -
e)	Longueur utile et nombre de trous laissés vides	- 90 -
f)	Alignement des plan frontaux et sagittaux.....	- 91 -

D.	Présentation des complications	- 92 -
1)	Plaque cassée (n = 1)	- 92 -
2)	Plaque pliée (n = 2)	- 94 -
3)	Dévisage (n = 1)	- 97 -
4)	Non-union (n = 1)	- 98 -
E.	Résultats statistiques	- 100 -
III.	Discussion	- 102 -
A.	Taux de complications	- 102 -
B.	Analyse des résultats obtenus	- 103 -
1)	... concernant la description des animaux	- 103 -
a)	Espèce	- 103 -
b)	Sexe	- 103 -
c)	Age	- 103 -
d)	Poids	- 103 -
2)	... concernant la description des fractures	- 104 -
a)	Cause	- 104 -
b)	Localisation de la fracture	- 104 -
c)	Type de fracture	- 104 -
d)	Caractère ouvert ou fermé	- 104 -
3)	... concernant la méthode stabilisation	- 105 -
a)	Type de plaque	- 105 -
b)	Autres dispositifs	- 105 -
c)	Taille de la plaque	- 105 -
d)	PSW = <i>Plate Span Width</i>	- 105 -
e)	Nombre de vis et de corticales engagées	- 106 -
f)	PSD = <i>Plate Screw Density</i>	- 106 -
g)	Longueur utile = Distance entre les deux vis adjacentes au foyer fracturaire	- 107 -
h)	Nombres de trous vides entre le trait de fracture et la 1 ^{ère} vis	- 107 -
C.	Résultats statistiques et limites	- 108 -
1)	Analyse statistique	- 108 -
2)	Limites	- 108 -
	CONCLUSION	- 109 -
	BIBLIOGRAPHIE	- 111 -

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : A, VUE CRANIALE : 1, PLATEAU TIBIAL. 2, EMINENCE INTERCONDYLAIRE. 3, AIRE INTERCONDYLAIRE CENTRALE. 4, CONDYLE MEDIAL. 5, CONDYLE LATERAL. 6, TUBEROSITE TIBIALE. 7, FOSSE TIBIALE. 8, CRETE TIBIALE. 9, MALLEOLE MEDIALE. 10, FIBULA. B, VUE LATERALE : 1, PLATEAU TIBIAL. 2, CONDYLE LATERAL. 3, TUBEROSITE TIBIALE. 4, SILLON DE L'EXTENSEUR. 5, FOSSE TIBIALE. 6, CRETE TIBIALE. 7, MALLEOLE LATERALE. 8, FIBULA. C, VUE CAUDALE : 1, PLATEAU TIBIAL. 2, EMINENCE INTERCONDYLAIRE. 3, CONDYLE MEDIAL. 4, CONDYLE LATERAL. 5, INCISURE POPLITEE. 6, MALLEOLE MEDIALE. 7, MALLEOLE LATERALE. 8, FIBULA. (REPRIS D'APRES SITE D'OSTEOLOGIE, UNITE D'ANATOMIE DE L'ENVA).....	115 -
ANNEXE 2 : A, VUE PROXIMALE : 1, TUBEROSITE TIBIALE. 2, SILLON DE L'EXTENSEUR, 3, AIRE INTERCONDYLAIRE CENTRALE. 4, EMINENCE INTERCONDYLAIRE. 5, SURFACE ARTICULAIRE LATERALE. 6 SURFACE ARTICULAIRE MEDIALE. 7, CONDYLE LATERAL. 8, CONDYLE MEDIAL. 9, INCISURE POPLITEE, 10, FIBULA. B, VUE DISTALE : 1, MALLEOLE MEDIALE. 2, MALLEOLE LATERALE. 3, GORGES DE LA COCHLEE TIBIALE. 4, TENON INTERMEDIAIRE AUX GORGES.....	115 -
ANNEXE 3 : MISE EN PLACE D'UN PLATRE. F – H, DES BANDES DE RESINES SONT PLONGEES DANS L'EAU. L'EXCES D'EAU EST ENSUITE RETIRE AVANT D'APPLIQUER LES BANDES LATERALEMENT ET/OU MEDIALEMENT SUR LE MEMBRE. QUATRE A SIX COUCHES SONT SUFFISANTES POUR LA PLUPART DES SITUATIONS. ON PRENDRA SOIN D'EVITER DE PLACER DE LA RESINE PAR-DESSUS LA TUBEROSITE DU CALCANEUM (FLECHE BLANCHE). LA RESINE NE DOIT PAS DEPASSER LE PANSEMENT EN DESSOUS. I, LE PLATRE EST TERMINE EN COUVRANT LE MONTAGE AVEC UNE COUCHE PROTECTIVE COMME DU VETRAP (3M ANIMAL CARE PRODUCTS, ST. PAUL, MINN.).....	116 -
ANNEXE 4 : MISE EN PLACE D'UN PANSEMENT DE TYPE ROBERT-JONES. A, DES BANDES ADHESIVES SONT MISES EN PLACE SUR LE MEMBRE, DEPASSANT DE PLUSIEURS CENTIMETRES. B, LE REMBOURRAGE DU PANSEMENT EST APPLIQUE EN SPIRALE AUTOUR DU MEMBRE. TROIS OU QUATRE COUCHES SONT SUFFISANTES DANS LA PLUPART DES CIRCONSTANCES. C – D, DE LA GAZE ELASTIQUE EST UTILISEE POUR FOURNIR UNE COMPRESSION MODEREE ET SERRER LA COUCHE DE REMBOURRAGE. UNE ATTENTION PARTICULIERE DOIT ETRE PORTEE A NE PAS TROP SERRER CETTE COUCHE POUR EVITER DE COMPROMETTRE LA VASCULARISATION. E, LE PANSEMENT S'ETENDS JUSQU'A L'EXTREMITÉ DU MEMBRE. SEULS LES DEUX DOIGTS MEDIANS SONT VISIBLES.	116 -
ANNEXE 5 : ENSEMBLE DES DONNEES COLLECTEES ET UTILISEES LORS DE CETTE ETUDE	117 -

TABLES DES FIGURES

FIGURE 1 : SCHEMA D'UNE COUPE TRANSVERSALE DE MEMBRE PELVIEN GAUCHE AU TIERS SUPERIEUR. (DESSIN REPRIS D'APRES SAWAYA, ANATOMIE COMPAREE, VETAGRO-SUP, 2015).	- 27 -
FIGURE 2 : MUSCLES JAMBIERS CAUDAUX, TIBIA GAUCHE. A, VUE MEDIALE. B, VUE CAUDALE. (MODIFIE D'APRES BARONE, 2010B)	- 30 -
FIGURE 3 : TERMINAISON DU SCIATIQUE ET NERFS DE LA JAMBE, MEMBRE DROIT, VUE MEDIALE. (CREDIT UP ANATOMIE COMPAREE, VETAGRO SUP)	- 32 -
FIGURE 4 : VASCULARISATION DE LA JAMBE, MEMBRE GAUCHE VUE MEDIALE (SAWAYA, 2015c, ANATOMIE COMPAREE, VETAGRO SUP)	- 34 -
FIGURE 5 : SYSTEME VEINEUX DU MEMBRE PELVIEN, MEMBRE GAUCHE. A, VUE MEDIALE, B, VUE LATERALE. (D'APRES (CHATELAIN, 1997)	- 35 -
FIGURE 6 : SCHEMA DE LA CIRCULATION SANGUINE DANS LA DIAPHYSE DU TIBIA. N.A. ARTERE NOURRICIERE ; N.V. VEINE NOURRICIERE ; C.M.S. SINUS MEDULLAIRE CENTRAL ; A. ARTERIOLES ; SIN SINUS MEDULLAIRES ; B.D. BRANCHE DESCENDANTE. B.A. BRANCHE ASCENDANTE. L.B. BRANCHES LATERALES DE L'ARTERE NOURRICIERE ; CAP CAPILLAIRES HAVERSIENS ; P.V. VEINES PERIOSTEEES ; E.V. VEINE EMISSAIRE (MODIFIE D'APRES LOPEZ-CURTO ET AL., 1980).	- 36 -
FIGURE 7 : LES VAISSEAUX SANGUINS DANS LES OS LONGS. (A) VUE LONGITUDINALE. TYPE H = CAPILLAIRES, TYPE L = VAISSEAUX SINUSOÏDAUX. (B) VUE TRANSVERSE. (C) AGRANDISSEMENT MONTRANT LES VAISSEAUX SANGUINS AU SEIN DE LA ZONE CORTICALE. (MODIFIE D'APRES RAMASAMY, 2017)	- 37 -
FIGURE 8 : SCHEMA ILLUSTRANT LA FORMATION ET LA RESORPTION OSSEUSE. (REPRIS D'APRES LA BIOLOGIE DE L'OS ET LE ROLE DU MECANISME RANK/RANKL/OPG HEALTHPLEXUS.NET, 2009)	- 40 -
FIGURE 9 : L'OSTEOCLASIE. (REPRIS D'APRES ENSEIGNEMENT D'HISTOLOGIE, PCEM1 ET PCEM2, DR SERGE NATAF - LE TISSU OSSEUX, 2009)	- 41 -
FIGURE 10 : SCHEMA D'UN CONE DE FORAGE. A - C, SECTIONS TRANSVERSALES MONTRANT L'EXPANSION PROGRESSIVE DU CONE DE FORAGE A MESURE QUE LES OSTEOCLASTES ERODENT L'OS PRESENT. D - F, DES OSTEOBLASTES REMPLISSENT ENSUITE LE DEFAUT CREE, POUR DONNER L'ASPECT CLASSIQUE DE L'OS LAMELLAIRE CONCENTRIQUE. (MODIFIE D'APRES COUGHLAN ET AL., 1998)	- 42 -
FIGURE 11 : ÉVOLUTION SCHEMATIQUE DES EXPRESSIONS AU COURS DU TEMPS DE TROIS SIGNAUX PRO-INFLAMMATOIRES : TNF A, IL-1 ET IL-6 (MODIFIE D'APRES MOUNTZIARIS, MIKOS, 2008)	- 44 -
FIGURE 12 : CICATRISATION OSSEUSE SECONDAIRE. A, LA MATRICE EXTRACELLULAIRE FAITE DE FIBROBLASTES ET DE CHONDROCYTES REMPLISSENT LE SITE FRACTURAIRE ET FORME UN CAL MOU DE STABILISATION. LE TISSU VA ENSUITE MINERALISER POUR FORMER UN CAL DUR. B, LES CONES DE FORAGES REMODELENT L'OS AINSI FORME. (MODIFIE D'APRES TOBIAS, JOHNSTON, 2012)	- 47 -
FIGURE 13 : ILLUSTRATION DE LA CICATRISATION PAR SECONDE INTENTION. (MODIFIE D'APRES TOBIAS, JOHNSTON, 2012)	- 48 -
FIGURE 14 : CICATRISATION PAR CONTACT. A, GRACE AU CONTACT DIRECT ENTRE LES DEUX ABOUTS OSSEUX, LES CONES DE FORAGE TRAVERSANT DIRECTEMENT LE TRAIT DE FRACTURE ET FORME DE L'OS LAMELLAIRE ORIENTEE LONGITUDINALEMENT. B, DES OSTEOONS MATURES TRAVERSANT LE TRAIT DE FRACTURE ORIGINEL, CONNECTANT LES DEUX FRAGMENTS ENTRE EUX. (MODIFIE D'APRES TOBIAS, JOHNSTON, 2012)	- 49 -
FIGURE 15 : CICATRISATION LACUNAIRE. A, L'ESPACE EST INITIALEMENT COMBLE AVEC DE L'OS LAMELLAIRE ORIENTE TRANSVERSALEMENT. B, DES CONES DE FORAGE TRAVERSANT CET OS LAMELLAIRE, PRODUISANT DES OSTEOCYTES QUI SE MINERALISERONT EN OS LAMELLAIRE ORIENTE LONGITUDINALEMENT. (MODIFIE D'APRES TOBIAS, JOHNSTON, 2012)	- 50 -
FIGURE 16 : NOMENCLATURE DESCRIPTIVE DES FRACTURES DIAPHYSAIRES. A, OUVERTE. B, EN BOIS VERT. C, FISSURE. D, TRANSVERSE. E, OBLIQUE. F, SPIROÏDALE. G, ESQUILLE REDUCTIBLE. H, ESQUILLES NON-REDUCTIBLES. I, MULTIPLE OU SEGMENTEE. (REPRIS D'APRES PIERMATTEI ET AL., 2006)	- 52 -

FIGURE 17 : ILLUSTRATION DES MOTIFS DE FRACTURES EN FONCTION DES DIFFERENTES FORCES APPLIQUEES. A, OBLIQUE. B, TRANSVERSE. C, ESQUILLEUSE. D, SPIROÏDALE. (REPRIS D'APRES TOBIAS, JOHNSTON, 2012) ...	54 -
FIGURE 18 : LES DIFFERENTS TYPES DE FRACTURES : A, SIMPLE. B, ESQUILLEUSE. C, COMPLEXE. (REPRIS D'APRES PIERMATTEI ET AL., 2006)	56 -
FIGURE 19 : FRACTURES DIAPHYSAIRES DU TIBIA. A, SIMPLE OU INCOMPLETE. A1, TIBIALE INCOMPLETE OU FIBULA INTACTE ; A2, TIBIALE SIMPLE OBLIQUE ; A3, TIBIALE SIMPLE TRANSVERSE. B, ESQUILLEUSE. B1, UNE ESQUILLE REDUCTIBLE ; B2, PLUSIEURS ESQUILLES REDUCTIBLES ; B3 PLUSIEURS ESQUILLES NON REDUCTIBLES. C, COMPLEXE. C1 REDUCTIBLE ; C2, SEGMENTEE ; C3 NON REDUCTIBLE. (REPRIS D'APRES PIERMATTEI ET AL., 2006)	57 -
FIGURE 20 : METHODE DE REDUCTION PAR EXTENSION – CONTRE EXTENSION. (REPRIS D'APRES PIERMATTEI ET AL., 2006).....	61 -
FIGURE 21 : METHODE DE REDUCTION PAR ANGULATION. (REPRIS D'APRES PIERMATTEI ET AL., 2006)	61 -
FIGURE 22 : TECHNIQUE DE L'ENCLOUAGE CENTROMEDULLAIRE DIRECT. A : FRACTURE TRANSVERSE DU TIBIA. B : VUE PROXIMALE DU TIBIA. LE CERCLE REPRESENTE LA LOCALISATION APPROXIMATIVE DU CLOU. C : L'EXTREMITE DU CLOU EST INSEREE OBLIQUEMENT DANS L'ARTICULATION. D : AVEC LE GENOU FLECHI AU MAXIMUM, LE CLOU EST INSERE AU TRAVERS D'UNE PETITE INCISION LE LONG DU BORD MEDIAL DU LIGAMENT PATELLAIRE PUIS COURBE. E : UNE FOIS LA FRACTURE REDUITE, LE CLOU EST RETRACTE D'ENVIRON 6MM (D') PUIS EST COUPE (D''). F : LE CLOU EST ENSUITE REPLACE A SA PROFONDEUR ORIGINALE. (REPRIS D'APRES PIERMATTEI ET AL., 2006)	64 -
FIGURE 23 : LA STABILITE EN ROTATION PEUT ETRE ATTEINTE POUR L'ECM DES FRACTURES DU TIBIA PAR DIFFERENTES METHODES. A : FRACTURE SEGMENTAIRE DU TIBIA. B : DEUX CERCLAGES EN DOUBLE BOUCLE ASSOCIE A UN ECM SONT SOUVENT SUFFISANTS. C : DES VIS DE COMPRESSIONS PEUVENT EGALEMENT ETRE UTILISEES. D : LA STABILITE EN ROTATION PEUT AUSSI ETRE APPOURTEE PAR UN CLOU VERROUILLE, AVEC DEUX FIXATIONS PROXIMALES ET DEUX FIXATIONS DISTALES. (REPRIS D'APRES PIERMATTEI ET AL., 2006)	66 -
FIGURE 24 : FIXATION EXTERNE DE FRACTURES DIAPHYSAIRES DU TIBIA. A : TYPE IA, HEMIFIXATION. B : TYPE IB, UNILATERAL ET BIPLANAIRE. C : TYPE IIB, BILATERAL ET UNIPLANAIRE, AVEC DES DEMI-BROCHES CENTRALES. D : TYPE III, BIPLANAIRE ET BILATERAL. (REPRIS D'APRES PIERMATTEI ET AL., 2006)	68 -
FIGURE 25 : SCHEMA ILLUSTRANT LE PRINCIPE DE COMPRESSION. 1, LES TROUS DE LA PLAQUE DCP SONT OVALES. SI UNE VIS EST PLACEE EN FIN DE L'OVALE, ELLE GLISSERA VERS LE BAS QUAND ELLE SERA SERREE. 2, LES MOUVEMENTS DE LA VIS PAR RAPPORT A LA PLAQUE ENTRAINE LE MOUVEMENT DES FRAGMENTS VERS LE CENTRE. S'IL Y A CONTACT, IL Y AURA ALORS COMPRESSION. (REPRIS D'APRES TOBIAS, JOHNSTON, 2012)....	70 -
FIGURE 26 : PLAQUE DE NEUTRALISATION. A, VIS INTERFRAGMENTAIRE SANS PLAQUE. B, VIS INTERFRAGMENTAIRE SANS PLAQUE AVEC APPLICATION D'UNE FORCE, RESULTANT EN L'ECHEC DU MONTAGE. C, VIS INTERFRAGMENTAIRE ASSOCIEE A UNE PLAQUE DE NEUTRALISATION PERMETTANT DE RESISTER A LA CHARGE APPLIQUEE. (REPRIS D'APRES BROWNER ET AL., 2008)	71 -
FIGURE 27 : TRANSFERT DE CHARGE AVEC UNE PLAQUE UTILISEE EN SOUTIEN. AINSI TOUTE LA CHARGE PASSE PAR LA PLAQUE (REPRIS D'APRES BROWNER ET AL., 2008).....	71 -
FIGURE 28 : A GAUCHE : LA PLAQUE LC-DCP A UNE SURFACE AVEC DES ENCOCHES QUI REDUIT L'AIRES DE CONTACT ENTRE LA PLAQUE ET L'OS. A DROITE : A, PLAQUE DCP ; B, PLAQUE LCP. EN ROUGE LA SURFACE DE CONTACT AVEC L'OS (REPRIS D'APRES BROWNER ET AL., 2008).....	72 -
FIGURE 29 : ILLUSTRATION DE DIFFERENTES PLAQUES VERROUILLEES. A, ORTHOMED SOP. B, SECUROS PAX. C, SYNTHES LCP. D, TRAUMAVET FIXIN. E, VETERINARY INSTRUMENTATION STACKED LOCKING HOLE PLATE (E) (D'APRES (BOERO BARONCELLI ET AL., 2013).....	73 -
FIGURE 30 : FLUOROSCOPIE PEROPERATOIRE DE LA REPARATION D'UNE FRACTURE HUMERALE A L'AIDE D'UNE COMBINAISON ENTRE UN CLOU ET UNE PLAQUE. A, LE CLOU EST INSERE DE FAÇON NORMOGRADE ; B, C, LA FLUOROSCOPIE EST UTILISEE POUR ASSURER UN BON CONTOURNEMENT DE LA PLAQUE ET UN BON PLACEMENT DES VIS. (REPRIS D'APRES GUIOT, DEJARDIN, 2012)	75 -

FIGURE 31 : RADIOGRAPHIES (A, F, G), IMAGES DE FLUOROSCOPIE PER-OPERATOIRE (B, D) ET PHOTOGRAPHIE PER-OPERATOIRE (E) D'UN BERGER ALLEMAND DE 6 MOIS, PESANT 28KG, AVEC UNE FRACTURE TIBIALE DIAPHYSAIRE SPIROÏDALE (D'APRES L.P. GUIOT ET L.M. DESJARDINS)	- 76 -
FIGURE 32 : REPRESENTATION DES PARAMETRES MESURES POUR NOTRE ETUDE SUR L'EXEMPLE D'UN RADIUS. A = LONGUEUR DE L'OS ; B = LONGUEUR DE LA PLAQUE ; C = LONGUEUR UTILE ; D = LONGUEUR DE LA FRACTURE ; PSW = B/D. (D'APRES POZZI ET AL., 2012)	- 83 -
FIGURE 33 : REPARTITION DES CAS SELON LEUR SEXE ET LEUR ETAT DE STERILISATION.....	- 84 -
FIGURE 34 : REPARTITION DES CAS SELON LEUR AGE	- 85 -
FIGURE 35 : REPARTITION DES CAS SELON LEUR POIDS.....	- 85 -
FIGURE 36 : REPARTITION DES CAS SELON LA CAUSE DE LA FRACTURE	- 86 -
FIGURE 37 : REPARTITION DES CAS SELON LA LOCALISATION DE LA FRACTURE	- 87 -
FIGURE 38 : REPARTITION DES CAS SELON LE TYPE DE LA FRACTURE	- 87 -
FIGURE 39 : REPARTITION DES CAS SELON LE TYPE DE PLAQUE UTILISE LORS DE L'OSTEOSYNTHESE.....	- 88 -
FIGURE 40 : REPARTITION DES CAS SELON LA LARGEUR DE LA PLAQUE UTILISEE	- 89 -
FIGURE 41 : REPARTITION DES CAS SELON LE PSW	- 89 -
FIGURE 42 : REPARTITION DES CAS SELON LE PSD	- 90 -
FIGURE 43 : LES DEFORMATIONS DE LA PLAQUE LORSQU'ELLE EST CONTRAINTE. (A, B) QUAND LE SEGMENT SOUS CONTRAINTE EST COURT, LA DEFORMATION RELATIVE EST IMPORTANTE ET L'IMPLANT EST PLUS SUSCEPTIBLE DE SE ROMPRE. (C, D) QUAND LA PLAQUE COUVRE UNE ZONE PLUS GRANDE LORS DE FRACTURE COMMUNITIVE, LES MEMES FORCES EXERCEES CONDUIRONT A UNE ANGULATION SIMILAIRE MAIS LA DEFORMATION EST REPARTIE SUR UNE PLUS GRANDE DISTANCE, CE QUI DIMINUE LES RISQUES DE RUPTURE. (REPRIS D'APRES GAUTIER, SOMMER, 2003)	- 91 -
FIGURE 44 : CORBEN CAS N°8 : EXEMPLE DE PRISE DE MESURE POUR LA RESTAURATION DE L'ALIGNEMENT. FRACTURE COMPLETE, SPIROÏDE, COMMUNITIVE ET MEDIO-DIAPHYSAIRE DU TIBIA DROIT. A, VUE CAUDO-CRANIALE DU MEMBRE CONTROLATERAL ; B, VUE CAUDO-CRANIALE POSTOPERATOIRE ; C, VUE MEDIO-LATERALE DU MEMBRE CONTROLATERAL ; D, VUE MEDIO-LATERALE POSTOPERATOIRE	- 91 -
FIGURE 45 : BRUTUS, CAS N°7 : FRACTURE COMPLETE COMMUNITIVE OBLIQUE MEDIO-DIAPHYSAIRE TIBIA GAUCHE, AVEC PRESENCE D'ESQUILLES OSSEUSE. A, VUE CAUDO-CRANIALE POSTOPERATOIRE ; B, VUE MEDIO-LATERALE POSTOPERATOIRE ; C, VUE CAUDO-CRANIALE APRES REPRISE ; D, VUE MEDIO-LATERALE APRES REPRISE	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
FIGURE 46 : TYSON, CAS N°15 : FRACTURE BIFOCAL COMMUNITIVE SPIROÏDE DU TIBIA GAUCHE, S'ETENDANT EN PARTIE MEDIO-DIAPHYSAIRE ET SUR LE TIERS DISTAL. A, VUE CAUDO-CRANIALE ; B, VUE MEDIO-LATERALE ; C, VUE CAUDO-CRANIALE POSTOPERATOIRE ; D, VUE MEDIO-LATERALE POSTOPERATOIRE ; E, VUE CAUDO-CRANIALE APRES 15 JOURS (PLAQUE CASSEE) ; F, VUE MEDIO-LATERALE APRES 15 JOURS (PLAQUE CASSEE) ; G, VUE CAUDO-CRANIALE APRES MISE EN PLACE DE LA RESINE ; H, VUE MEDIO-LATERALE APRES MISE EN PLACE DE LA RESINE	- 93 -
FIGURE 47 : BAMBI, CAS N°9 : FRACTURE COMPLETE COMMUNITIVE MEDIO-DIAPHYSAIRE DU TIBIA DROIT. A, VUE CAUDO-CRANIALE ; B, VUE MEDIO-LATERALE ; C, VUE CAUDO-CRANIALE POSTOPERATOIRE ; D, VUE MEDIO-LATERALE POSTOPERATOIRE ; E, VUE CAUDO-CRANIALE APRES 7 JOURS (PLAQUE PLIEE) ; F, VUE MEDIO-LATERALE APRES 7 JOURS (PLAQUE PLIEE) ; G, VUE CAUDO-CRANIALE APRES REVISION ; H, VUE MEDIO-LATERALE APRES REVISION ; I, VUE CAUDO-CRANIALE 3 MOIS APRES REVISION (AMO) ; J, VUE MEDIO-LATERALE 3 MOIS APRES REVISION (AMO)	- 96 -
FIGURE 48 : WALK CAS N°3 : FRACTURE OUVERTE DE GRADE 2, COMPLETE, COMMUNITIVE, MEDIO-DIAPHYSAIRE AVEC PRESENCE D'ESQUILLES OSSEUSES DU TIBIA GAUCHE. A, VUE CAUDO-CRANIALE ; B, VUE MEDIO-LATERALE ; C, VUE CAUDO-CRANIALE POSTOPERATOIRE ; D, VUE MEDIO-LATERALE POSTOPERATOIRE ;.....	- 94 -

FIGURE 49 : LOKI, CAS N°18 : FRACTURE SPIROÏDALE COMMINUTIVE MEDIO-DIAPHYSAIRE DU TIBIA GAUCHE. A, VUE CAUDO-CRANIALE ; B, VUE MEDIO-LATERALE ; C, VUE CAUDO-CRANIALE POSTOPERATOIRE ; D, VUE MEDIO-LATERALE POSTOPERATOIRE ; E, VUE CAUDO-CRANIALE LORS DU CONTROLE A 1 MOIS ; F, VUE MEDIO-LATERALE LORS DU CONTROLE A 1 MOIS ; G, VUE CAUDO-CRANIALE LORS DU CONTROLE A 5 MOIS (VIS DEVISSEE) ; H, VUE MEDIO-LATERALE LORS DU CONTROLE A 5 MOIS. - 97 -

FIGURE 50 : CORBEN, CAS N°8 : FRACTURE COMPLETE, SPIROÏDALE, COMMINUTIVE ET MEDIO-DIAPHYSAIRE DU TIBIA DROIT. A, VUE CAUDO-CRANIALE ; B) VUE MEDIO-LATERALE ; C) VUE CAUDO-CRANIALE POSTOPERATOIRE ; D) VUE MEDIO-LATERALE POSTOPERATOIRE ; E) VUE CAUDO-CRANIALE LORS DU CONTROLE A 1 MOIS ; - 98 -

FIGURE 51 : CORBEN, CAS N°8 : FRACTURE COMPLETE, SPIROÏDALE, COMMINUTIVE ET MEDIO-DIAPHYSAIRE DU TIBIA DROIT. F, VUE MEDIO-LATERALE LORS DU CONTROLE A 1 MOIS ; G, VUE CAUDO-CRANIALE LORS DU CONTROLE A 2 MOIS ; H) VUE MEDIO-LATERALE LORS DU CONTROLE A 2 MOIS ; I, VUE CAUDO-CRANIALE LORS DU CONTROLE A 5 MOIS ; J, VUE MEDIO-LATERALE LORS DU CONTROLE A 5 MOIS. ; K, VUE CAUDO-CRANIALE LORS DU CONTROLE A 8 MOIS ; L, VUE MEDIO-LATERALE LORS DU CONTROLE A 8 MOIS. ; M, VUE CAUDO-CRANIALE POST GREFFE ; N, VUE MEDIO-LATERALE LORS DU CONTROLE POST GREFFE. - 99 -

TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU I : ÉLÉMENTS A PRENDRE EN COMPTE DANS L'ELABORATION D'UN SCORE DE FRACTURE (DONNEES ISSUES DE PALMER RH : DECISION MAKING IN FRACTURE TREATMENTS : THE FRACTURE PATIENT SCORING SYSTEM. IN PROCEEDINGS OF SMALL ANIMAL ACVS VETERINARY SYMPOSIUM, WASHINGTON DC, 1994, PP388-390	- 58 -
TABLEAU II : PRESENTATION DES COMPLICATIONS ET DES CORRECTIONS ASSOCIEES	- 92 -
TABLEAU III : RESULTATS STATISTIQUES COMPARANT DES VARIABLES QUALITATIVES ENTRE LES ANIMAUX PRESENTANT DES COMPLICATIONS ET CEUX N'EN N'AYANT PAS.....	- 100 -
TABLEAU IV : RESULTATS STATISTIQUES COMPARANT DES VARIABLES QUANTITATIVES AVEC UNE VARIABLE BINAIRE ENTRE LES ANIMAUX PRESENTANT DES COMPLICATIONS ET CEUX N'EN N'AYANT PAS.	- 100 -
TABLEAU V : RESULTATS STATISTIQUES COMPARANT DES VALEURS QUALITATIVES ENTRE LES CHIENS ET LES CHATS.	- 101 -
TABLEAU VI : RESULTATS STATISTIQUES COMPARANT DES VARIABLES QUANTITATIVES AVEC UNE VARIABLE BINAIRE ENTRE LES CHIENS ET LES CHATS.	- 101 -
TABLEAU VII : RESULTATS STATISTIQUES COMPARANT DES VARIABLES QUANTITATIVES AVEC UNE VARIABLE BINAIRE ENTRE LES FRACTURES COMPLEXES ET LES FRACTURES SIMPLES.....	- 102 -

LISTE DES ABREVIATIONS

AMO : Ablation du Matériel d'Ostéosynthèse
AO : Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
AVP : Accident de la Voie Publique
BID : Bis in Die
BMP : Bone Morphogenetic Protein
CSM : Cellules-souches mésenchymateuses
DCP : Dynamic Compression Plate
DIQ : Distance interquartile
ECM : Enclouage centro-médullaire
FSD : Muscle fléchisseur superficiel des doigts
GDF : Growth Differentiation Factor
IFN- γ : Interféron- γ
IL : Interleukine
LC-DCP : Limited Contact Dynamic Compression Plate
LCP : Locking Compression Plate
M-CSF : Macrophage colony stimulating factor
MIPO : Minimally Invasive Plate Osteosynthesis
NC : Non Connu
OBDNT : Open But Do Not Touch
OPG : Ostéoprotégérine
ORIF : Open Reduction and Internal Fixation
PAX : Plaque d'ostéosynthèse Poly AXiale
PO : Per os
PSD : Plate Screw Density
PSW : Plate Span Width
PTH : Hormone parathyroïdienne
RANKL : Receptor activator of nuclear factor kappa-B ligand
SID : Une fois par jour
TNFR1 : Tumor Necrosis Factor Receptor
TNF- α : Tumor Necrosis Factor- α
VCP : Veterinary Cuttable Plate
VEGF : Vascular Endothelial Growth Factor

INTRODUCTION

L'ostéosynthèse par plaque est une technique décrite dans le traitement des fractures vers la fin du XIXe siècle. Les premières recommandations de l'AO « Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen », fondée en 1958, ont mis en place les règles en matière d'utilisation de plaque vissée. Initialement celles-ci étaient de favoriser une reconstruction anatomique précise avant de poser une plaque. Ces recommandations n'ont eu de cesse de se perfectionner au fil du temps.

Ainsi, la recherche continue dans le domaine de l'ostéosynthèse a conduit à changer de philosophie et d'objectifs. Des modifications dans la conception des plaques ont été développées pour améliorer la biologie de l'interface os-implant, en passant de la plaque DCP (Dynamic Compression Plate, 1956) à la LC-DCP (Limited Contact Dynamic Compression Plate, 1988) présentant des encoches pour moduler l'interférence de la plaque avec la vascularisation périostée, puis à la LCP (Locking Compression Plate, 2003), possédant un design similaire et des trous de vis combinés permettant une fonction compressive ou bloquante.

Une meilleure compréhension des bénéfices de la préservation de l'hématome fracturaire et de la vascularisation locale, a permis le développement, il y a une trentaine d'années, des principes de l'ostéosynthèse biologique. Leur but est de minimiser l'atteinte des tissus mous, d'utiliser des techniques de réduction indirectes, d'apporter une fixation stable appropriée et de promouvoir un retour rapide de la fonction du membre.

C'est dans cet esprit que la MIPO (Minimally Invasive Plate Osteosynthesis) a été développée à la toute fin des années 90. Cette technique permet de réaliser une fixation interne grâce à une plaque insérée via de petites incisions cutanées. L'objectif de ce travail est d'étudier l'intérêt de l'utilisation de cette méthode de fixation dans la prise en charge des fractures diaphysaires du tibia chez le chien et le chat, ainsi que de comparer ces deux espèces entre elles.

Nous nous limitons volontairement à des atteintes du tibia car la MIPO s'applique bien mieux sur les abouts distaux des membres et qu'il s'agissait des cas les plus référencés dans notre base de données. Dans la mesure où des implants les plus longs possibles sont utilisés, l'application de la MIPO se fait sur des fractures diaphysaires.

Dans une première partie, nous ferons un rappel sur l'anatomie du tibia, ainsi que sur l'organisation osseuse et les fractures en général. Dans une seconde partie, nous présenterons et analyserons les différents résultats obtenus pendant l'étude.

PARTIE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Particularités anatomiques de la jambe

A. Ostéologie

1) Le tibia

Le tibia est un os long, pair, possédant une extrémité proximale, une distale, et trois faces. Son corps présente une section triangulaire à l'extrémité proximale qui s'arrondit à l'extrémité distale. Proximalement, trois tubercules forment le plateau tibial, : les condyles médial et latéral, respectivement sur les faces médiale et latérale, et crânialement, la tubérosité tibiale qui forme une saillie, correspondant à l'insertion du ligament patellaire, prolongée par la crête tibiale (cf. Annexe 1) (*Barone, 2010a*).

Le plateau tibial est occupé par une surface articulaire sur la moitié caudale, où les condyles latéral et médial, asymétriques, s'élèvent pour former une éminence intercondyalaire qui se place dans l'espace intercondyalaire du fémur. Cette surface articulaire est horizontale en position physiologique. La tête fibulaire est logée dans le revers du condyle latéral. Entre les condyles se trouvent trois aires intercondyales (crâniale, centrale, caudale) qui répondent aux ligaments croisés et aux ménisques du genou (cf. Annexe 1) (*Barone, 2010a*).

Sur sa face caudale, le tibia présente des rugosités qui correspondent aux insertions des muscles tibiaux caudaux, et une surface lisse qui correspond à la ligne et à la surface poplitée où s'insère le corps charnu du muscle poplité. La face médiale du tibia est convexe, et située juste sous la peau. La face latérale est quant à elle concave : elle débouche sur la fosse tibiale, et est marquée par le sillon du tendon de l'extenseur des doigts (cf. Annexe 1) (*Barone, 2010a*).

A l'extrémité distale de cet os, se trouve la cochlée (surface articulaire qui répond à la trochlée du tarse) qui est formée par la malléole latérale (fibulaire) et la malléole médiale (tibiale) qui donnent attache aux ligaments collatéraux du tarse. Le tenon intermédiaire est un relief unissant les deux gorges de la cochlée. (cf. Annexe 1) (*Barone, 2010a*).

2) La fibula

La fibula est latérale et caudale par rapport au tibia. Elle est complète chez les carnivores. Chez le chat les deux os sont parallèles, ce qui est différent du chien, chez qui la partie distale de la fibula est appliquée contre le tibia (cf. Annexe 1) (*Barone, 2010a*).

B. Myologie

Groupés autour du tibia et de la fibula, les muscles jambiers s'attachent soit sur l'extrémité distale du fémur soit sur les os de la jambe. Ils se terminent sur le métatarse ou sur les phalanges et leur rôle est de mobiliser le pied et les doigts (*Barone, 2010b*).

1) Fascia jambier et loges musculaires

Le fascia jambier continue celui de la cuisse. Son feuillet superficiel s'attache sur la face médiale du tibia. Son feuillet profond se divise en de nombreux septums intermusculaires qui rejoignent le tibia ou la fibula, délimitant ainsi 4 loges musculaires bien nettes : ce sont les loges tibiales crâniale, fibulaire, surale et caudale (cf. Fig. 1) (*Barone, 2010b*).

La face médiale du tibia n'est recouverte que par le fascia et la peau. C'est donc le lieu privilégié pour l'abord chirurgical de la diaphyse tibiale, où une incision crânio-médiale sera réalisée.

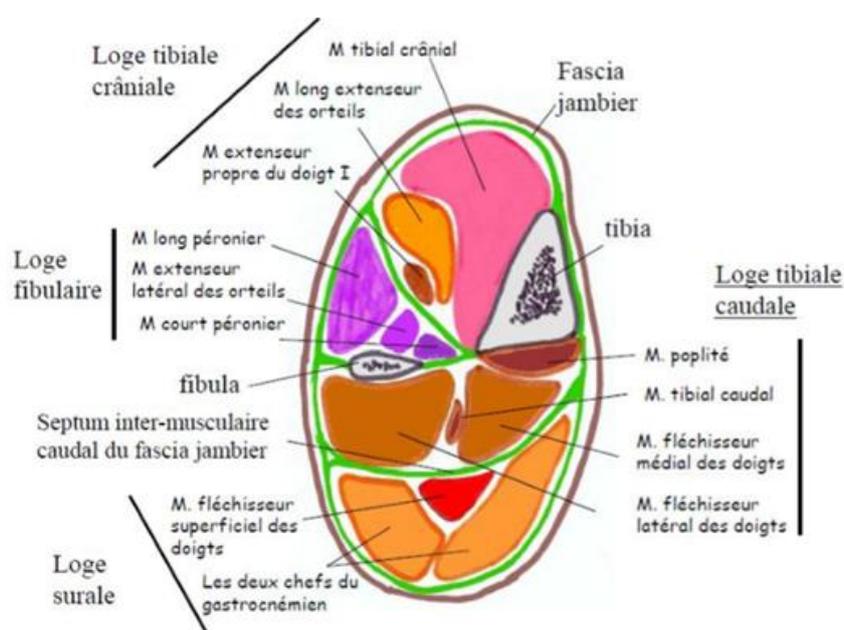


Figure 1 : Schéma d'une coupe transversale de membre pelvien gauche au tiers supérieur. (Dessin repris d'après Sawaya, *Anatomie Comparée, Vetagro-Sup, 2015*).

2) Les muscles jambiers crâniens

a) Muscles de la loge tibiale crâniale

La loge tibiale crâniale comprend trois muscles qui occupent la fosse tibiale. Du plus superficiel au plus profond, ce sont les muscles tibial crânial, long extenseur des doigts et extenseur propre du premier doigt (*Barone, 2010b*).

(1) Le muscle tibial crânial

C'est le plus superficiel et le plus développé de ces muscles. Son corps charnu, plat mais épais, s'attache dans la fosse tibiale. Il se termine par un tendon sur le métatarse le plus médial. Il est fléchisseur du pied (*Barone, 2010b*).

(2) Le muscle long extenseur des doigts

Il est couvert par le précédent et un peu plus caudal. Il débute par un tendon qui s'insère dans la fossette de l'extenseur sur le condyle latéral du fémur, se continue par un corps charnu fusiforme puis se prolonge par un très long tendon qui passe à la face dorsale du tarse et du métatarse. Ce tendon se divise enfin en 4 branches, chacune se terminant sur le processus extensorius de la 3ème phalange des doigts II à V (*Barone, 2010b*).

(3) Le muscle extenseur propre du doigt I

C'est le plus profond et le plus grêle des muscles de la loge tibiale crâniale. Son corps charnu très fin prend origine sur l'extrémité proximale de la fibula. Il se termine par un tendon encore plus fin sur le 1er ou le 2ème métatarse (*Barone, 2010b*).

b) Muscles de la loge fibulaire

Ils s'attachent tous sur la fibula. Ils sont représentés par trois muscles, du plus superficiel au plus profond : le long péronier, l'extenseur latéral des doigts, et le court péronier (*Barone, 2010b*).

(1) Le muscle long péronier

Il a un corps charnu, de forme triangulaire, qui s'attache sur l'extrémité proximale de la fibula. Son tendon descend le long du bord latéral du tibia puis du tarse dans un rétinacle formé par le fascia du tarse. Il contourne l'os cuboïde pour se placer contre la face plantaire du tarse. Il se termine sur la face plantaire du métatarsien le plus médial. C'est un muscle rotateur interne et abducteur du pied (*Barone, 2010b*).

(2) Le muscle extenseur latéral des orteils

Couvert par le muscle long péronier, il s'insère le long du tiers proximal de la fibula. Son long tendon se termine sur la face dorsale de la phalange proximale du doigt V (*Barone, 2010b*).

(3) Le muscle court péronier

C'est le plus grêle et le plus profond de la loge fibulaire. C'est un muscle penné dont les fibres charnues s'insèrent le long des 2/3 distaux de la fibula. Son tendon passe dans un rétinacle propre à la face latérale du tarse et se termine sur le métatarse V. C'est un muscle abducteur du pied (*Barone, 2010b*).

3) Muscle jambiers caudaux

a) Muscles de la loge surale

C'est la loge musculaire la plus caudale et la plus superficielle des muscles jambiers caudaux. Elle contient les muscles gastrocnémien et fléchisseur superficiel des orteils (*Barone, 2010b*).

(1) Le muscle gastrocnémien

Il possède 2 chefs charnus, l'un médial, l'autre latéral. Chaque chef s'attache sur la tubérosité supra-condyloire correspondante du fémur, englobant l'os sésamoïde supra-condyloire. Ils se rejoignent en un fort tendon commun qui se termine sur la partie crâniale de la tubérosité calcanéenne. Il est extenseur du jarret, et permet en statique de maintenir l'angle articulaire de l'articulation. C'est l'agent principal de la détente du membre lors de la propulsion chez les quadrupèdes (*Barone, 2010b*).

(2) Le muscle fléchisseur superficiel des doigts (FSD)

Son corps charnu fusiforme est recouvert par les chefs du gastrocnémien. Il prend origine dans la fosse supra-condyloire du fémur (sous le chef latéral du gastrocnémien) et se prolonge par un tendon qui se divise à la face plantaire du tarse pour se terminer sur la 2ème phalange de chaque orteil (*Barone, 2010b*).

Les tendons du gastrocnémien et du FSD sont renforcés par le fascia jambier et, de chaque côté, par des brides fibreuses provenant du biceps fémoral, et du muscle semi-tendineux. L'ensemble constitue le tendon calcanéen commun, formant un relief caractéristique sous la peau : la corde du jarret (*Barone, 2010b*).

b) Muscles de la loge tibiale caudale

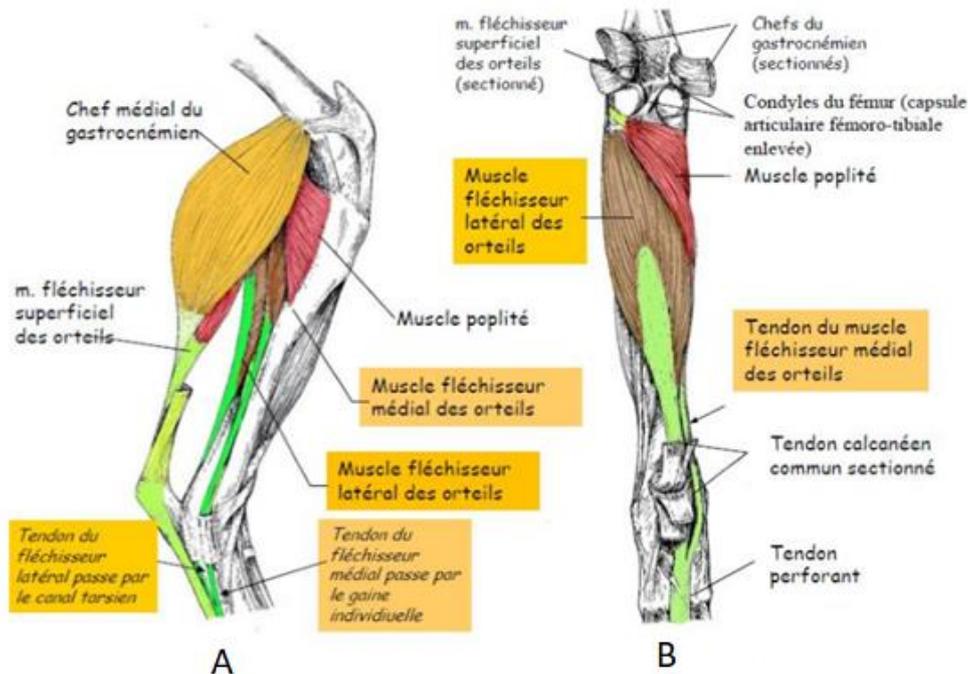


Figure 2 : Muscles jambiers caudaux, tibia gauche. **A,** Vue médiale. **B,** Vue caudale. (Modifié d'après Barone, 2010b)

Ils sont recouverts caudalement par les muscles de la loge surale, desquels ils sont séparés par le septum intermusculaire caudal. Ils s'attachent tous sur la face caudale du tibia. Ce sont les muscles poplité, fléchisseurs latéral et médial des doigts, et tibial caudal (cf. Fig. 2). (Barone, 2010b)

(1) Le muscle poplité

C'est le plus proximal. Son corps charnu triangulaire s'insère sur la ligne et la surface poplitées sur la face caudale du tibia. Son tendon d'origine s'insère dans la fossette du poplité (condyle latéral du fémur). Dans l'épaisseur de son tendon se développe un petit os sésamoïde, juste en arrière du genou. Il est fléchisseur et surtout, rotateur interne du tibia (Barone, 2010b).

(2) Les muscles fléchisseurs latéral et médial des doigts

Ils constituent le système fléchisseur profond des doigts qui donne le tendon perforant. Le corps charnu, penné, du fléchisseur médial occupe le côté médial de la face caudale du tibia. Il prend origine caudalement au condyle médial du tibia. Le fléchisseur latéral, beaucoup plus volumineux, s'attache sur la fibula et sur la face caudale du tibia distalement à la ligne poplitée (Barone, 2010b).

(3) Le muscle tibial caudal

Il est petit et vestigial caché par le fléchisseur latéral des doigts. Il s'attache sur l'extrémité proximale de la fibula. Son tendon est très fin, profond. Il se termine sur la face plantaire du tarse (*Barone, 2010b*).

Chez le chat, il existe en plus le muscle soléaire bien qu'il soit peu développé. Ce muscle se place à la face latérale de la jambe. Il joint l'extrémité proximale de la fibula à la face profonde du chef latéral du gastrocnémien (*Barone, 2010b*).

C. Innervation

1) Le nerf fibulaire commun

Il est destiné à la région crâniale de la jambe et à la face dorsale du pied. Lors de son trajet dans la cuisse, il émet un nerf sensitif : le nerf cutané sural latéral. Puis, au-dessus de l'extrémité proximale du muscle gastrocnémien, il se sépare du nerf tibial et se dirige crânialement. Il court à la surface du chef latéral du gastrocnémien, sous le muscle biceps fémoral. Il croise la tête de la fibula et arrive au-dessus de l'extenseur latéral des orteils où il se termine en nerf fibulaire superficiel et en nerf fibulaire profond (cf. Fig. 3) (*Barone, 2010c*).

C'est un nerf mixte : moteur pour les muscles jambiers crâniens qui assure la flexion du jarret et l'extension des doigts, et sensitif pour la face dorso-latérale du genou jusqu'au métatarse ainsi que la sensibilité cutanée de toute la face dorsale du pied (cf. Fig. 3) (*Barone, 2010c*).

a) Le nerf cutané sural latéral

Ce nerf très fin perfore le muscle biceps fémoral et devient superficiel (sous le fascia jambier). Il est sensitif pour la face latérale de la jambe du grasset jusqu'au tarse (cf. Fig. 3) (*Barone, 2010c*).

b) Le nerf fibulaire profond

Il est destiné aux muscles de la loge tibiale crâniale. Il se place en position profonde, contre la face latérale du tibia. Il suit le tendon du long extenseur des doigts, passe dans les rétinacles des extenseurs et se prolonge jusqu'au métatarse, où il est à l'origine des nerfs métatarsiens dorsaux. Le nerf fibulaire profond est moteur pour les muscles de la loge tibiale crâniale, et sensitif pour la face dorsale de la jambe du jarret et du métatarse (cf. Fig. 3) (*Barone, 2010c*).

c) Le nerf fibulaire superficiel

C'est le nerf des muscles de la loge fibulaire. Il descend le long de la jambe, sous le fascia jambier, dans l'interstice qui sépare le muscle extenseur latéral et le muscle long extenseur des doigts. Il traverse ensuite le fascia jambier et devient superficiel. Près de son origine, il donne un faisceau destiné aux muscles de la loge fibulaire et des rameaux sensitifs pour la face dorso-latérale de la jambe et du jarret (cf. Fig. 3) (Barone, 2010c).

2) Le nerf tibial

Dans sa partie fémorale, il émet le nerf cutané sural caudal. Celui-ci se détache à mi-hauteur du fémur, puis longe le bord caudal du gastrocnémien jusqu'au tarse. Il assure la sensibilité cutanée de la face caudale de la jambe et du jarret (cf. Fig. 3) (Barone, 2010c).

Plus épais que le nerf fibulaire, il s'en sépare pour plonger caudalement entre les deux chefs du gastrocnémien. A ce moment-là, il émet des rameaux moteurs destinés à tous les muscles jambiers caudaux. Dans la loge surale, il suit le tendon du fléchisseur superficiel du doigt, médialement au tendon calcanéen commun (cf. Fig. 3) (Barone, 2010c).

C'est un nerf mixte avec un rôle moteur dans l'extension du jarret et de la flexion des doigts et un rôle dans la sensibilité de la face caudale de la jambe et du jarret, ainsi que dans celle de la face plantaire du pied (cf. Fig. 3) (Barone, 2010c).

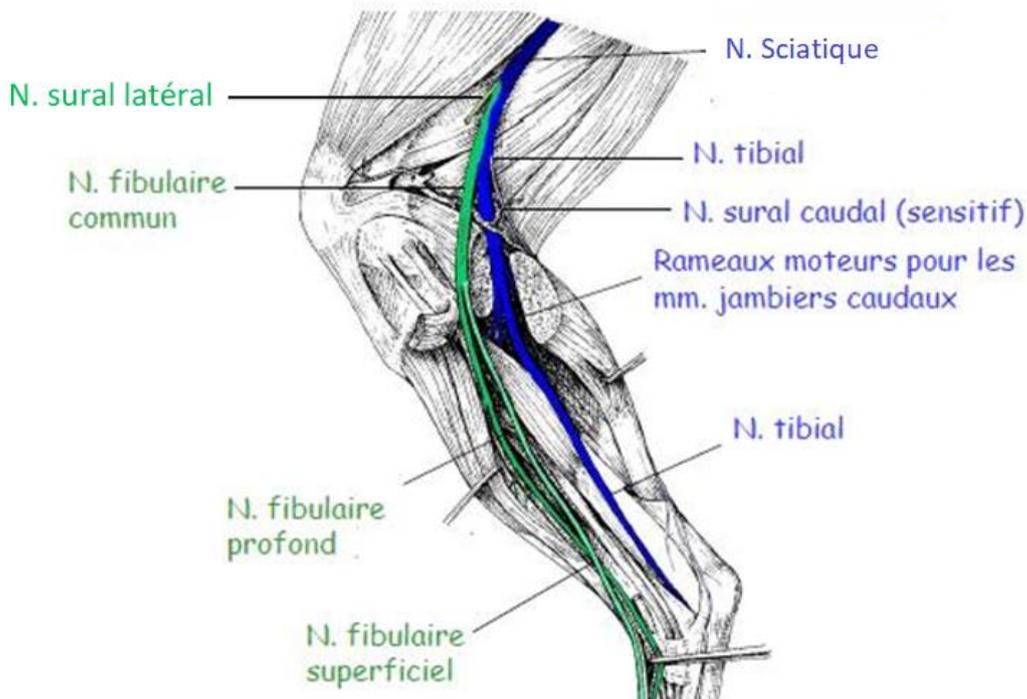


Figure 3 : Terminaison du sciatique et nerfs de la jambe, membre droit, vue médiale. (Crédit UP Anatomie Comparée, VetAgro Sup)

D. Vascularisation

1) Système artériel

a) Irrigation du genou par l'artère poplitée

Après émission de l'artère fémorale caudale distale, l'artère fémorale se prolonge par l'artère poplitée. Celle-ci s'engage entre les deux chefs du gastrocnémien, plaquée contre la face caudale de la capsule articulaire fémoro-tibiale entre les deux condyles du fémur, emprunte l'incisure poplitée du tibia, puis s'insinue sous le muscle poplité (contre la face caudale du tibia) avant de se scinder en deux artères tibiales : une crâniale et une caudale (cf. Fig. 4) (*Barone, 2010d*).

L'artère poplitée se distribue aux muscles de la loge surale de la jambe, et assure l'essentiel de l'irrigation du genou. Avec ceux de l'artère descendante du genou, ces divers rameaux constituent le réseau vasculaire du genou (cf. Fig. 4) (*Barone, 2010d*).

b) Artères de la jambe

Les artères traversant la région de la jambe se composent du rameau descendant de l'artère fémorale caudale distale, de l'artère poplitée et ses terminales (les artères tibiales crâniale et caudale) et en superficie, les divisions de l'artère saphène (rameaux crânial et caudal) destinées à l'irrigation du pied (cf. Fig. 4) (*Barone, 2010d*).

(1) Artère fémorale caudale distale (rameau descendant)

Elle intervient, ainsi que des rameaux suraux de l'artère poplitée, dans l'irrigation de la loge surale de la jambe. Les artères tibiales vont d'une part assurer l'irrigation des autres loges musculaires de la jambe, et participer à la vascularisation du pied d'autre part (cf. Fig. 4) (*Barone, 2010d*).

(2) Artère tibiale crâniale

C'est la plus volumineuse des artères tibiales. Elle traverse caudo-crânialement l'espace interosseux, et se place dans la fosse tibiale en position profonde, contre la face latérale du tibia. Elle irrigue les os de la jambe et tous les muscles jambiers crâniens (cf. Fig. 4) (*Barone, 2010d*).

(3) Artère tibiale caudale

C'est la moins développée des deux artères tibiales. Elle se place en position profonde contre la face caudale du tibia. Elle s'épuise dans les muscles de la loge tibiale caudale, sans atteindre le tarse (cf. Fig. 4) (*Barone, 2010d*).

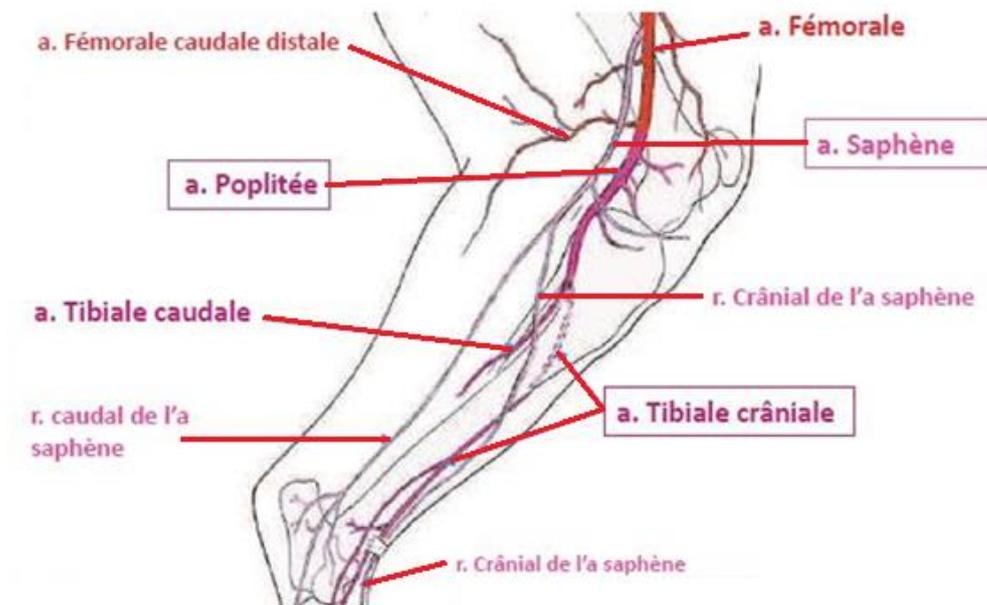


Figure 4 : Vascularisation de la jambe, membre gauche vue médiale (Sawaya, 2015c, Anatomie Comparée, VetAgro Sup)

2) Le système veineux

a) Le système veineux profond

Le système profond naît des veines métatarsiennes et remonte en passant par l'axe formé par les veines dorsales du pied, les veines tibiales, la veine poplitée, la veine fémorale, et les veines satellites des artères. (Barone, 2010d)

b) Le système veineux superficiel : les veines saphènes

Le système superficiel provient des veines digitales communes dorsales et des veines digitales communes plantaires. Celles-ci vont former les veines saphènes médiale et latérale (cf. Fig. 5) (Barone, 2010d).

(1) La veine saphène médiale

Elle se développe à la face médiale du pied et de la jambe. Elle est composée de deux racines qui se rejoignent à hauteur de l'extrémité proximale du tibia. Elle remonte le long de la face médiale de la cuisse, satellite des artères et nerf saphènes jusqu'au triangle fémoral où elle rejoint la veine fémorale (cf. Fig. 5) (Barone, 2010d).

La racine crâniale est issue des veines digitales communes dorsales les plus médiales. Elle remonte le long de la face médiale du tibia près de son bord crânial, accompagnée par le rameau crânial de l'artère saphène (cf. Fig. 5) (Barone, 2010d).

La racine caudale provient des veines plantaires. Elle remonte superficiellement dans l'espace entre les muscles jambiers caudaux et le muscle gastrocnémien, accompagnée du rameau caudal de l'artère saphène (cf. Fig. 5) (Barone, 2010d).

(2) La veine saphène latérale

Ses deux racines se rejoignent au niveau du jarret. Elle longe le bord caudal du muscle gastrocnémien jusqu'au creux poplité puis plonge pour rejoindre la veine fémorale caudale et/ou la veine circonflexe médiale de la cuisse (cf. Fig. 5) (Barone, 2010d).

La racine crâniale, la plus volumineuse, naît des veines digitales dorsales les plus latérales, elle croise ensuite les muscles jambiers crâniaux (cf. Fig. 5) (Barone, 2010d).

La racine caudale naît des veines digitales communes plantaires les plus latérales, elle passe ensuite dans le creux du jarret (cf. Fig. 5) (Barone, 2010d).

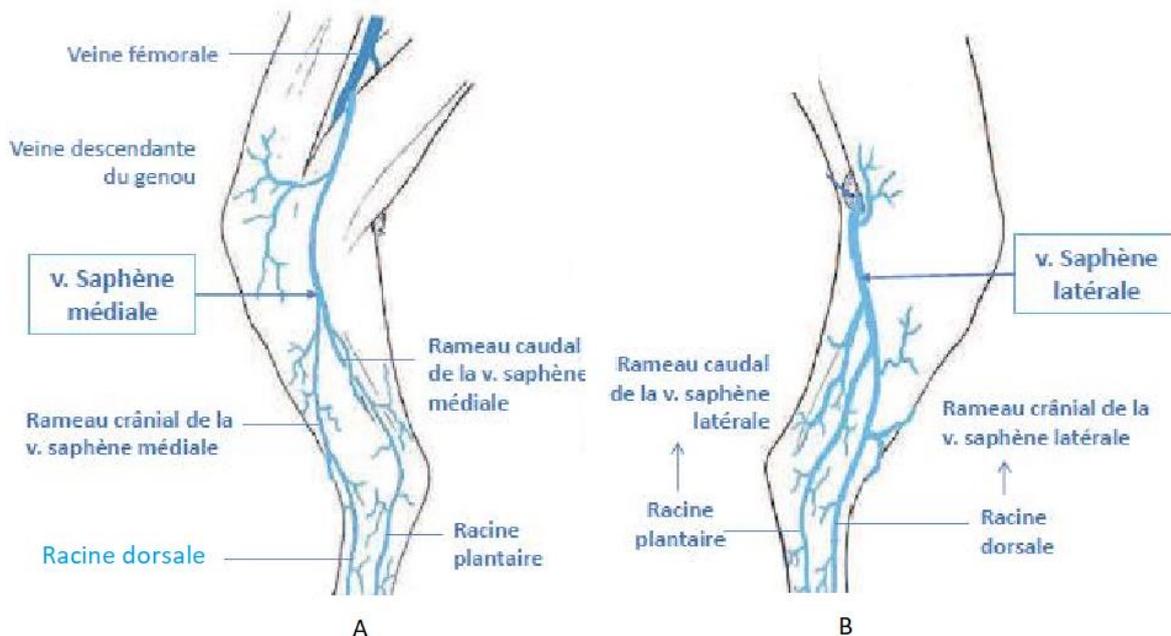


Figure 5 : Système veineux du membre pelvien, membre gauche. **A**, Vue médiale, **B**, Vue latérale. (d'après Chatelain, 1997) .

3) La vascularisation de la diaphyse tibiale

La diaphyse du tibia est vascularisée par l'artère nourricière et les vaisseaux périostés qui dérivent de l'artère crâniale tibiale. (Borrelli et al., 2002 ; Tobias, Johnston, 2012)

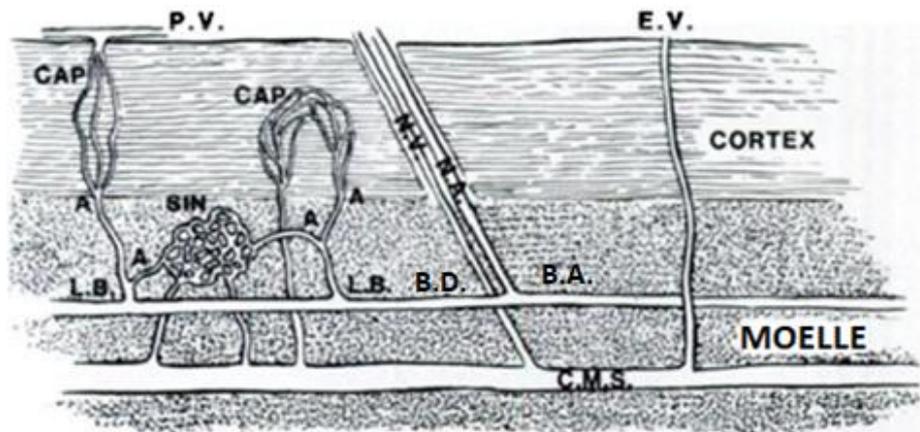


Figure 6 : Schéma de la circulation sanguine dans la diaphyse du tibia. **N.A.** Artère nourricière ; **N.V.** Veine nourricière ; **C.M.S.** Sinus médullaire central ; **A.** Artérioles ; **SIN** Sinus médullaires ; **B.D.** Branche descendante. **B.A.** Branche ascendante. **L.B.** Branches latérales de l'artère nourricière ; **CAP** Capillaires haversiens ; **P.V.** Veines périostées ; **E.V.** Veine émissaire (modifié d'après Lopez-Curto et al., 1980).

a) L'artère nourricière

Elle prend son origine dans l'artère caudale du tibia, une ramification de l'artère poplitée (cf. I. D. 1)). (Dugat et al., 2011) Elle entre dans la corticale via le foramen nourricier, situé dans le coin caudo-latéral du tiers proximal de la diaphyse, avec un angle de 45-60° sans aucune connexion dans celle-ci (cf. Fig. 6). A l'intérieur de la moelle, elle se divise en deux branches majeures, une ascendante et une descendante qui s'anastomose à leurs extrémités avec les artères métaphysaires (cf. Fig. 6). (Lopez-Curto et al., 1980 ; Dugat et al., 2011 ; Ramasamy, 2017 ; Tobias, Johnston, 2012) Le flux sanguin est dirigé de façon centrifuge, avec 30% de l'apport sanguin destiné au canal médullaire, et les 70% restants destinés aux deux tiers interne du cortex. (Lopez-Curto et al., 1980 ; Dugat et al., 2011 ; Tobias, Johnston, 2012) Si cette artère est atteinte lors d'une fracture ou d'une chirurgie, l'apport sanguin de la moelle est maintenu par les artères métaphysaires. (Lopez-Curto et al., 1980 ; Tobias, Johnston, 2012)

(1) La vascularisation de la moelle

Les artérioles qui entrent dans les sinus de la moelle sont des rameaux qui proviennent des branches latérales de l'artère nourricière, juste avant qu'elles ne pénètrent la surface endostée (cf. Fig. 6). (Lopez-Curto et al., 1980)

Le drainage veineux des capillaires de la moelle s'opère de deux façons : les sinus collecteurs centraux et périphériques. Les premiers sont situés au cœur de la moelle ou à la périphérie de celle-ci, proche de l'endoste. Ils convergent vers le large sinus médullaire central, qui s'écoule dans la veine nourricière, mais surtout dans les veines métaphysaires et épiphysaires aux extrémités de l'os (cf. Fig. 6). Les seconds se situent dans l'endoste, et traversent tout le cortex jusqu'à la surface périostée. Ce type de vaisseaux est différent d'une veine émissaire, qui traverse aussi le cortex mais sans se connecter aux autres vaisseaux avant de rejoindre le réseau périosté (cf. Fig. 6). (Lopez-Curto et al., 1980)

(2) La vascularisation du cortex

Les artérioles corticales sont dirigées radialement. A l'intérieur du cortex, elles se subdivisent en branches orientées parallèlement à l'axe du tibia aussi bien que radialement, qui vont vasculariser les capillaires des canaux haversiens, (cf. Fig. 6) ou traverser le cortex et s'anastomoser avec les artères de Volkmann, originaires du réseau périosté (cf. Fig. 7). (Lopez-Curto et al., 1980)

Le drainage veineux des capillaires corticaux est essentiellement assuré par le plexus veineux du périoste et de façon minime par les veines endostées conduisant au sinus médullaire central. (Lopez-Curto et al., 1980)

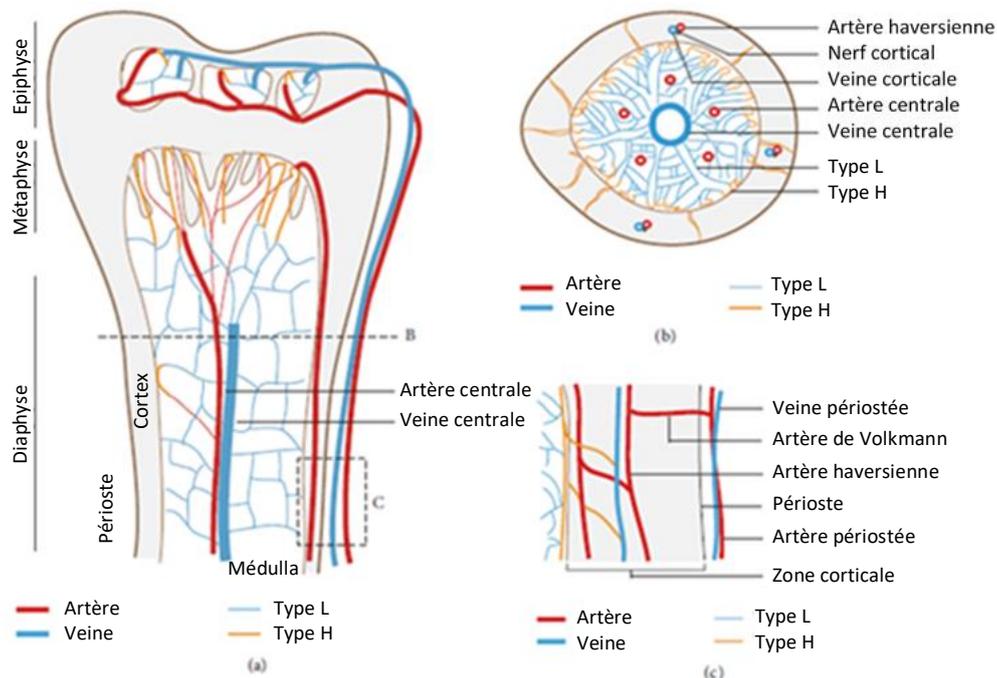


Figure 7 : Les vaisseaux sanguins dans les os longs. **(a)** Vue longitudinale. Type H = capillaires, type L = vaisseaux sinusoidaux. **(b)** Vue transverse. **(c)** Agrandissement montrant les vaisseaux sanguins au sein de la zone corticale. (Modifié d'après Ramasamy, 2017)

b) La vascularisation périostée

Les artères périostées irriguent la partie extérieure de la surface de l'os. Elles sont originaires de branches des artères antérieure et postérieure du tibia. Elles sont connectées aux artères haversiennes, orientées parallèlement à l'axe longitudinal du tibia, présentes dans la région corticale via les artères de Volkmann, orientées perpendiculairement à l'axe longitudinal. Ces artères haversiennes convergent ensuite vers les capillaires métaphysaires qui délivrent du sang dans la région médullaire (cf. Fig. 7). (Borrelli et al., 2002 ; Dugat et al., 2011 ; Ramasamy, 2017 ; Tobias, Johnston, 2012)

Mais le complexe périosté est essentiellement veineux. Dans la région diaphysaire, ce complexe est très dense, ce qui s'explique par le fait que 90% du drainage veineux de la diaphyse passe par ce complexe (et 10% par la veine nourricière). (Lopez-Curto et al., 1980)

II. Généralités sur les os

A. Le tissu osseux

L'os est un tissu minéralisé, ce qui lui confère une rigidité importante. Il a un rôle dans le soutien du corps, la protection des organes, la mobilité, la croissance, l'homéostasie phosphocalcique et dans un second temps dans l'équilibre acido-basique de l'organisme, l'hématopoïèse avec la présence de la moelle osseuse. (Carozzo, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012)

Chez l'adulte, le tissu osseux se trouve majoritairement sous deux formes. D'une part l'os cortical, compact (ou os Haversien) est retrouvé dans la corticale et au sein de la diaphyse. Il est composé d'ostéons qui correspondent à des lamelles osseuses concentriques, orientés dans le sens des contraintes, autour de canaux de Havers reliés entre eux par des canaux transversaux : les canaux de Volkman. Ces canaux permettent le passage de nerfs et de vaisseaux. (Tobias, Johnston, 2012)

D'autre part, l'os spongieux, présent dans les épiphyses, les métaphyses et au sein des os courts et plats. Il est formé de logettes, délimitées par des travées osseuses, remplies de moelle osseuse, d'ostéoblastes, de vaisseaux et de nerfs. Il possède un pouvoir ostéogénique important et est donc fréquemment utilisé dans les greffes d'os. Les travées osseuses sont jointives entre elles. Les lamelles sont plus lâches et il n'y a pas d'ostéons. (Carozzo, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012)

Quelle que soit sa forme, l'os est composé de trois types de cellules (ostéoblastes, ostéocytes, et ostéoclastes) ainsi que d'une matrice osseuse.

B. Enveloppes de l'os

1) Le périoste

Le périoste correspond à la couche externe qui recouvre la totalité de l'os, à l'exception des cartilages articulaires. C'est une membrane fibreuse et vascularisée qui recouvre toute la diaphyse de l'os et s'écarte au niveau des épiphyses. A ce niveau, les fibres continuent au sein de la capsule articulaire. (Carozzo, 2015 ; Kalfas, 2001) Le périoste comporte deux couches :

- Superficielle : qui a un rôle de soutien, de contention du tissu osseux. Elle est surtout fibreuse et avec quelques vaisseaux sanguins. (Carozzo, 2015a)
- Profonde : plus marquée chez le jeune. Elle a un rôle ostéoformateur, assurant la croissance de l'os en épaisseur, ainsi qu'un rôle dans la cicatrisation fonctionnelle. (Carozzo, 2015a)

2) L'endoste

L'endoste n'est pas aussi bien identifié que le périoste : c'est la couche la plus périphérique de la moelle osseuse faisant l'interface entre l'os et la moelle. Elle est composée de cellules mésenchymateuses ostéoprogénitrices. Elle est susceptible de participer à la consolidation osseuse par la formation d'un cal endosté, favorisée par une immobilisation complète. (*Carozzo, 2015 ; Kalfas, 2001*)

C. Le remodelage osseux

Le remodelage osseux concerne tous les types d'os mature et est le fruit d'une coopération étroite entre les ostéoclastes et les ostéoblastes. La résorption, suivie de la formation de tissu osseux, s'effectue grâce à des unités fonctionnelles de remodelage sous la forme d'un cône de forage (cf. Fig. 10). La régulation du remodelage est dépendante des contraintes mécaniques exercées sur l'os, il s'agit de la loi de Wolff. (*Sims, Gooi, 2008 ; Tobias, Johnston, 2012*) Un cycle dure environ 4 mois chez l'adulte et il s'effectue en 4 phases :

1) Phase d'activation :

La surface osseuse est normalement recouverte de cellules bordantes qui empêchent l'accès des ostéoclastes à la matrice osseuse. Sous l'action de facteurs favorisant la résorption osseuse tels que l'hormone parathyroïdienne, les cellules bordantes se rétractent et libèrent l'accès aux ostéoclastes qui peuvent alors adhérer à la matrice osseuse. (*Enseignement d'Histologie, PCEM1 et PCEM2, Dr Serge Nataf - Le Tissu Osseux, 2009*)

Parallèlement, l'action de la sclérostine libérée par les ostéocytes permet la levée du rôle inhibiteur des ostéoblastes. Ceci va faciliter leur activation, leur prolifération et leur activité biosynthétique. Il y a alors synthèse de M-CSF (macrophage colony stimulating factor) et de RANKL (receptor activator of nuclear factor kappa-B ligand) favorisant la prolifération puis la différenciation des précurseurs hématopoïétiques des ostéoclastes, ainsi qu'une diminution d'OPG (ostéoprotégérine). (*Enseignement d'Histologie, PCEM1 et PCEM2, Dr Serge Nataf - Le Tissu Osseux, 2009 ; La biologie de l'os et le rôle du mécanisme RANK/RANKL/OPG | healthPlexus.net, 2009 ; Sims, Gooi, 2008 ; Tobias, Johnston, 2012*) L'OPG agit comme un récepteur leurre en se liant au RANKL et en le neutralisant. Ainsi, les ostéoclastes ne peuvent se former, fonctionner, ou survivre, ce qui inhibe la résorption osseuse (cf. Fig. 8). (*La biologie de l'os et le rôle du mécanisme RANK/RANKL/OPG | healthPlexus.net, 2009 ; Sims, Gooi, 2008*)

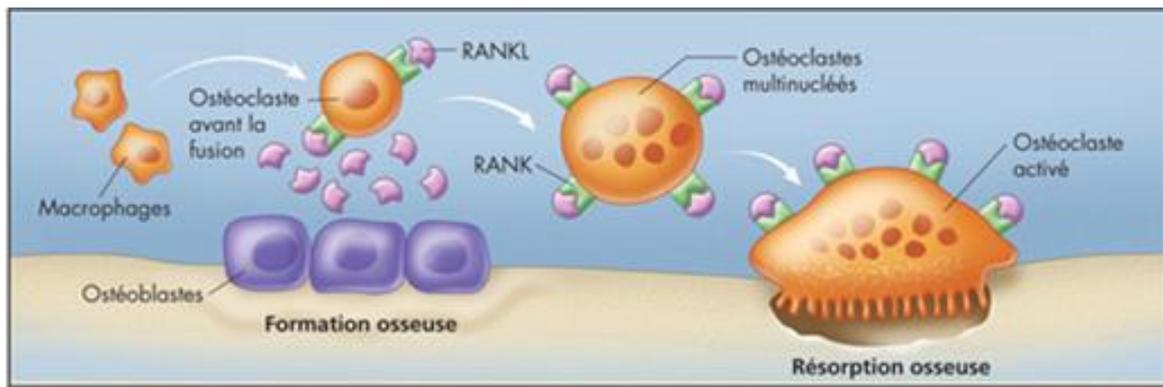


Figure 8 : Schéma illustrant la formation et la résorption osseuse. (Repris d'après *La biologie de l'os et le rôle du mécanisme RANK/RANKL/OPG* | healthPlexus.net, 2009)

2) Phase de résorption du tissu osseux

L'activité de résorption osseuse des ostéoclastes, l'ostéoclasie, s'effectue en 2 phases :

a) Fixation de l'ostéoclaste à la matrice

Cette fixation se fait via les podosomes de l'ostéoclastes qui permettent un attachement ferme à la matrice et la délimitation d'une chambre de digestion « étanche » (ou chambre de résorption) dont le milieu - extra-cellulaire - se compose de substances acides et d'enzymes. La juxtaposition de plusieurs ostéoclastes en activité délimitant chacun une chambre de résorption permet d'identifier des zones de résorption osseuse nommées lacune de Howship. (*Enseignement d'Histologie, PCEM1 et PCEM2, Dr Serge Nataf - Le Tissu Osseux, 2009 ; Tobias, Johnston, 2012*)

b) Résorption osseuse

Cette phase nécessite une dissolution de la phase minérale par acidification de la chambre de digestion puis une dégradation de la phase organique sous l'action d'enzymes protéolytiques lysosomales. L'acidification est liée à l'activation d'une pompe à proton, localisée au niveau de la bordure en brosse de l'ostéoclaste, l'anhydrase carbonique type II. Dans un deuxième temps, des enzymes lysosomiales sont déversées dans la chambre de digestion et voient leur activité induite par l'acidification (cf. Fig. 9). (*Enseignement d'Histologie, PCEM1 et PCEM2, Dr Serge Nataf - Le Tissu Osseux, 2009 ; Tobias, Johnston, 2012*)

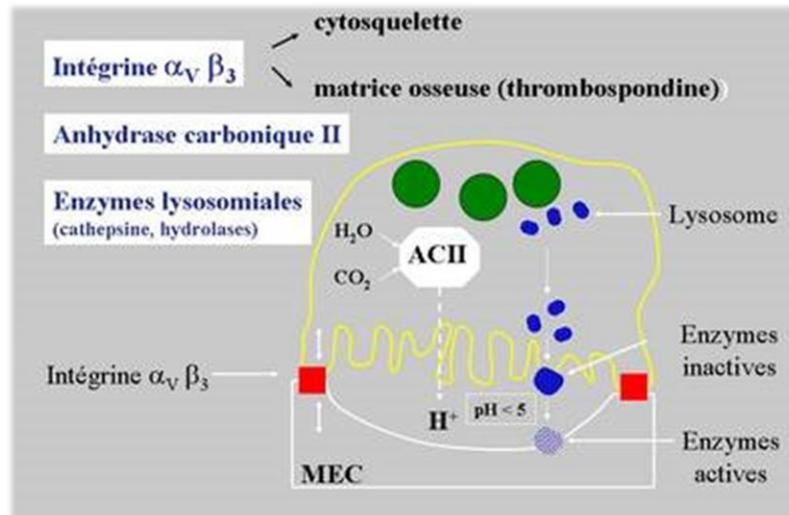


Figure 9 : L'ostéoclasie. (Repris d'après Enseignement d'Histologie, PCEM1 et PCEM2, Dr Serge Nataf - Le Tissu Osseux, 2009)

La résorption de la matrice libère de nombreux facteurs de croissance, dont des molécules de la famille des TGF- β (transforming growth factor- β), des IGF (insulin-like growth factors), des FGF (fibroblast growth factors) et des fragments de matrice qui stimuleront plus tard l'activité des ostéoblastes. (Tobias, Johnston, 2012)

3) Phase d'inversion

A la fin d'un cycle de résorption, les ostéoclastes subissent une apoptose, et le cône de résorption est préparé pour un nouveau dépôt d'os. Ce processus implique des modifications protéolytiques de la surface du cône par des macrophages et/ou des ostéoblastes qui vont lisser le fond de la lacune. (Enseignement d'Histologie, PCEM1 et PCEM2, Dr Serge Nataf - Le Tissu Osseux, 2009 ; Tobias, Johnston, 2012)

4) Phase de formation de tissu osseux

Elle se réalise en deux temps : la production de matrice par les ostéoblastes puis la minéralisation de cette matrice au fur et à mesure que les ostéoblastes se retrouvent enfermés dedans, se différenciant en ostéocytes. (Enseignement d'Histologie, PCEM1 et PCEM2, Dr Serge Nataf - Le Tissu Osseux, 2009 ; Tobias, Johnston, 2012)

5) Phase de régulation

Ceci marque la fin du cycle de remodelage grâce au rétablissement de la régulation des ostéoblastes avoisinants par les ostéocytes. Cette régulation est gérée par une multitude de facteurs systémiques et locaux. (Enseignement d'Histologie, PCEM1 et PCEM2, Dr Serge Nataf - Le Tissu Osseux, 2009 ; Tobias, Johnston, 2012)

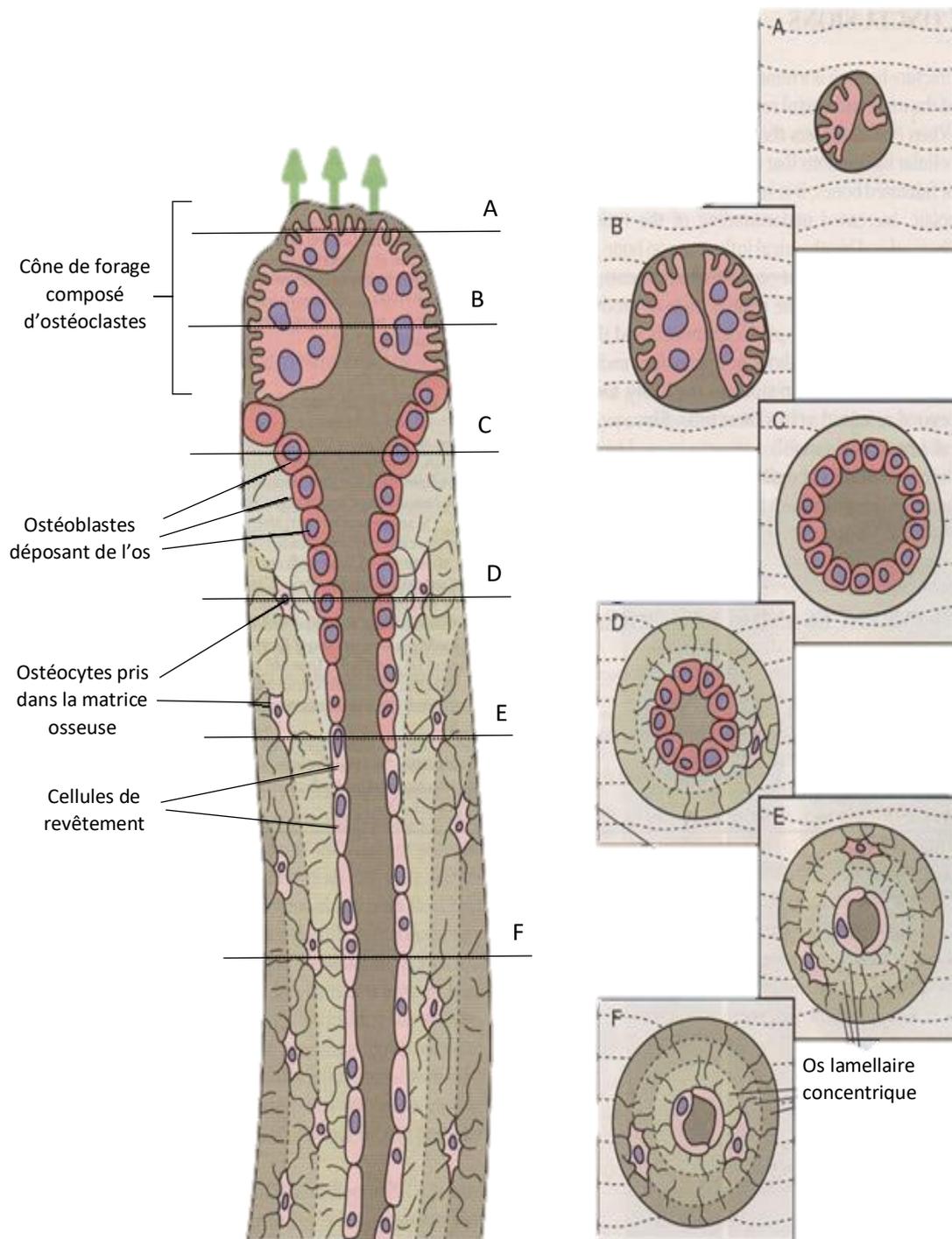


Figure 10 : Schéma d'un cône de forage. **A - C**, Sections transversales montrant l'expansion progressive du cône de forage à mesure que les ostéoclastes érodent l'os présent. **D - F**, Des ostéoblastes remplissent ensuite le défaut créé, pour donner l'aspect classique de l'os lamellaire concentrique. (Modifié d'après Coughlan et al., 1998)

D. Cicatrisation osseuse

La cicatrisation osseuse a pour objectif de restaurer la continuité osseuse et de permettre une restauration des fonctions de l'os. Elle peut s'obtenir de deux manières différentes, par première ou seconde intention.

1) Cicatrisation par seconde intention

Il s'agit de la forme de cicatrisation la plus commune, et consiste à la fois en une cicatrisation de l'os endochondral et intramembranaire. (Cachon, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Mountziaris, Mikos, 2008 ; Kalfas, 2001 ; Marsell, Einhorn, 2011) Elle ne nécessite pas une réduction anatomique stricte ou des conditions de stabilité très importante. (Cachon, 2015 ; Marsell, Einhorn, 2011) Au contraire, elle est favorisée par les micromouvements et le support du poids du corps. (Marsell, Einhorn, 2011) Ce type de cicatrisation est constitué de 3 phases successives : une phase inflammatoire, une phase de réparation puis une phase de remodelage. (Cachon, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Mountziaris, Mikos, 2008 ; Kalfas, 2001 ; Marsell, Einhorn, 2011)

a) Phase inflammatoire

Elle débute par la mise en place d'un hématome fracturaire durant les premières heures suivant la blessure (Cachon, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Mountziaris, Mikos, 2008 ; Kalfas, 2001 ; Marsell, Einhorn, 2011), suite aux saignements des vaisseaux sanguins rompus. (Cachon, 2015 ; Marsell, Einhorn, 2011) Il y aura alors mise en place d'une réponse inflammatoire aiguë, avec un pic après 24h et durant jusqu'à 7 jours (Cachon, 2015 ; Mountziaris, Mikos, 2008 ; Marsell, Einhorn, 2011). Cette réponse inflammatoire va entraîner un afflux de cellules de l'inflammation (macrophages, monocytes, lymphocytes et polynucléaires) et de facteurs tissulaires. (Cachon, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Mountziaris, Mikos, 2008 ; Kalfas, 2001 ; Marsell, Einhorn, 2011) Les nutriments principaux et l'oxygène nécessaires dans ce processus précoce sont apportés par l'os spongieux et les muscles exposés. (Kalfas, 2001)

Les niveaux de plusieurs médiateurs de l'inflammation, dont l'interleukine-1 (IL-1), IL-6, IL-11, IL-18 et le TNF- α (Tumor Necrosis Factor- α) sont significativement élevés dans les tout premiers jours. Ces signaux permettent le recrutement des cellules inflammatoires et favorisent l'angiogenèse. (Mountziaris, Mikos, 2008 ; Marsell, Einhorn, 2011) Bien que les cytokines inflammatoires aient un effet négatif reconnu sur les os et les articulations lors d'une expression prolongée, une sécrétion brève et importante de molécules pro inflammatoires suivant la lésion aiguë, est nécessaire à la régénération tissulaire. (Mountziaris, Mikos, 2008 ; Marsell, Einhorn, 2011)

Parmi les différents médiateurs de l'inflammation, les plus importants semblent être l'IL-1, l'IL-6 et le TNF- α . (Mountziaris, Mikos, 2008; Marsell, Einhorn, 2011)

(1) TNF- α

Lors de la cicatrisation d'une fracture, l'expression du TNF- α suit une courbe biphasique (Fig. 11). Cette molécule peut exercer des effets opposés en fonction du contexte dans lequel elle est libérée. (Mountziaris, Mikos, 2008)

Sa concentration atteint un pic au bout de 24h et revient à un niveau de base au bout de 72h (cf. Fig. 11). Durant cette période, le TNF- α est principalement exprimé par les macrophages et autres cellules inflammatoires. (Mountziaris, Mikos, 2008 ; Marsell, Einhorn, 2011)

Ce bref signal de TNF- α va induire le relargage de molécules de signal secondaire et exercer un effet chimiotactique, pour recruter les cellules nécessaires à la régénération osseuse. Le TNF- α a également pour effet d'induire la différenciation ostéogénique des cellules-souches mésenchymateuses (CSM). (Mountziaris, Mikos, 2008 ; Marsell, Einhorn, 2011) Il régule la différenciation et la fonction à la fois des ostéoblastes et des ostéoclastes via ses récepteurs cellulaires TNFR1 (Tumor Necrosis Factor Receptor 1) et TNFR2. (Mountziaris, Mikos, 2008)

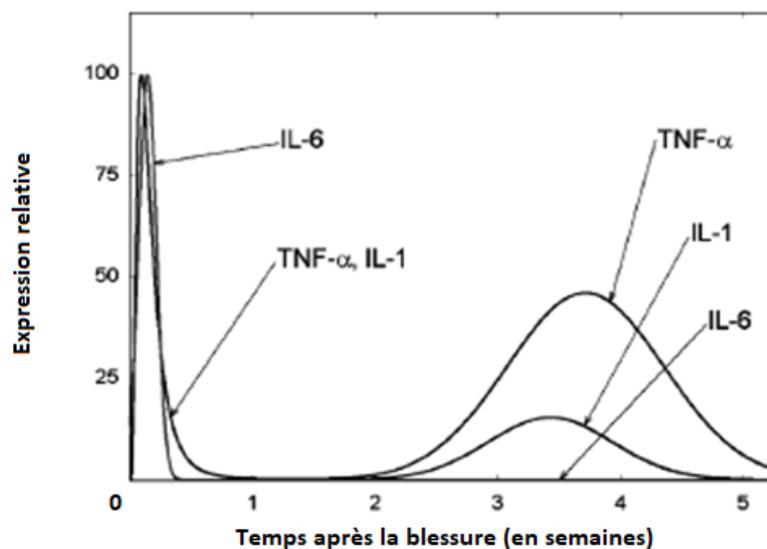


Figure 11 : Évolution schématique des expressions au cours du temps de trois signaux pro-inflammatoires : TNF α , IL-1 et IL-6 (modifié d'après Mountziaris, Mikos, 2008)

(2) Interleukine-1

Même s'il agit via une signalétique moléculaire différente, l'effet de l'IL-1 sur l'os est très comparable à celui du TNF- α . Comme la sienne, l'expression de l'IL-1 suit une courbe biphasique avec une augmentation de concentration immédiate après la fracture, atteignant un pic à 24h et retournant à un niveau basal dans les 72h (cf. Fig. 11). La source principale d'IL-1 durant cette phase aiguë d'inflammation sont les macrophages. (Mountziaris, Mikos, 2008 ; Marsell, Einhorn, 2011)

L'IL-1 déclenche la libération d'IL-6, de prostaglandines et d'autres signaux secondaires pro inflammatoires. Elle stimule également l'angiogenèse et favorise la formation du cal cartilagineux qui stabilise le site de fracture (cf. b) Phase de réparation). (*Mountziaris, Mikos, 2008 ; Marsell, Einhorn, 2011*)

(3) Interleukine-6

L'IL-6 est produit par les ostéoblastes en réponse à la stimulation exercée par l'IL-1. La concentration d'IL-6 augmente immédiatement après la lésion et retourne à un niveau de base avant la fin de la première semaine (Fig. 11) (*Mountziaris, Mikos, 2008*)

L'IL-6 régule la différenciation à la fois des ostéoblastes et des ostéoclastes et favorise aussi l'angiogenèse en stimulant la libération du VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor). (*Mountziaris, Mikos, 2008 ; Marsell, Einhorn, 2011*)

b) Phase de réparation

(1) Recrutement des CSM

Dans le but d'assurer la régénération osseuse, des CSM spécifiques doivent être recrutées, puis doivent proliférer et se différencier en cellules ostéogéniques. Bien que certaines données indiquent que ces CSM soient dérivées des tissus mous environnants et de la moelle osseuse, (*Cachon, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012*) d'autres semblent indiquer qu'un recrutement systémique de CSM circulantes vers le site de fracture, jouerait un rôle majeur dans la cicatrisation osseuse. (*Marsell, Einhorn, 2011*)

(2) Génération d'un cal cartilagineux

La formation d'un cal cartilagineux, qui subira plus tard une minéralisation, une résorption et un remplacement par de l'os, est l'un des mécanisme clé du processus de cicatrisation osseuse. (*Cachon, 2015 ; Marsell, Einhorn, 2011*)

Suite à la formation de l'hématome primaire, un tissu de granulation riche en fibrine se forme. Dans ce tissu, la formation d'os enchondral a lieu entre les abouts fracturaires et les sites de périoste extérieurs. (*Cachon, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Marsell, Einhorn, 2011*) Ces sites sont mécaniquement moins stables, c'est pourquoi le tissu cartilagineux met en place un cal, pour assurer une meilleur stabilité à la structure. Le pic de formation de ce cal a lieu dans les 7 à 9 jours post trauma. (*Mountziaris, Mikos, 2008 ; Marsell, Einhorn, 2011*)

En termes de résistance aux mouvements, ce cal est très faible dans 4 à 6 premières semaines du processus de cicatrisation, et requiert une protection adaptée. Si une immobilisation convenable n'est pas réalisée, son ossification peut ne jamais avoir lieu, et une union fibreuse instable se développera à la place. (*Cachon, 2015 ; Kalfas, 2001*)

Au même moment, une ossification intramembranaire se fait directement entre les abouts proximaux et distaux de la fracture, générant un cal osseux. C'est la liaison finale de ce cal osseux central qui procure finalement à la fracture une structure semi-rigide qui permet le soutien du poids du corps. La génération de ce cal est dépendante du recrutement des CSM venant des tissus mous environnants, du cortex, du périoste et de la moelle osseuse ainsi que de la mobilisation de cellules souches dans le sang périphérique. (Marsell, Einhorn, 2011)

Une fois ces cellules recrutées, une cascade moléculaire se met en place. Celle-ci implique la production de matrice de collagène I et II et la participation de plusieurs signaux peptidiques. Durant ce processus, la super famille des TGF- β joue un rôle majeur. Le TGF- β 2, TGF- β 3 et le GDF-5 (Growth Differentiation Factor), sont impliqués dans la chondrogenèse et l'ossification enchondrale tandis que le BMP-5 (Bone Morphogenetic Protein) et le BMP-6 ont plutôt un rôle dans l'induction de la prolifération cellulaire dans l'ossification des sites périostés. (Mountziaris, Mikos, 2008 ; Marsell, Einhorn, 2011)

(3) Revascularisation et néoangiogenèse du site fracturaire

Un bon apport sanguin et une revascularisation précoce sont essentiels pour une réparation osseuse réussie. (Cachon, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Kalfas, 2001 ; Marsell, Einhorn, 2011) Cette néovascularisation provient de l'artère centromédullaire mais surtout des tissus mous périphériques. Elle va permettre la colonisation du tissu de granulation par les cellules mésenchymateuses. (Cachon, 2015a) Lors d'une fracture endochondrale, il ne s'agit pas seulement d'angiogenèse mais aussi d'apoptose des chondrocytes et de dégradation du cartilage, car le retrait des cellules et des matrices extracellulaires sont nécessaires pour permettre un accroissement des vaisseaux sanguins au niveau du site de réparation. (Marsell, Einhorn, 2011)

Une fois que cette structure est en place, les processus de vascularisation peuvent se mettre en place. Ils sont principalement régulés de deux manières : une voie angiopoïétine-dépendante et une autre VEGF-dépendante. L'expression des angiopoïétines est induite tôt, suggérant un rôle dans l'activation initiale de la croissance vasculaire depuis des vaisseaux existants dans le périoste. (Marsell, Einhorn, 2011)

Cependant, la voie du VEGF est considérée comme étant la clé dans la régulation de la régénération vasculaire. En effet il favorise à la fois la vasculogenèse (= l'agrégation et la prolifération de CSM endothéliales en un plexus vasculaire) et l'angiogenèse (= la croissance de nouveaux vaisseaux à partir de ceux existants déjà). Les ostéoblastes et les chondrocytes hypertrophiques expriment de hauts niveaux de VEGF, et favorisent l'invasion des vaisseaux sanguins ainsi que la transformation d'une matrice cartilagineuse avasculaire en un tissu osseux vascularisé. (Marsell, Einhorn, 2011)

(4) Minéralisation et résorption du cal cartilagineux

Pour que la régénération osseuse progresse, le cal mou cartilagineux primaire doit être résorbé et remplacé par un cal osseux plus dur. (Cachon, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Mountziaris, Mikos, 2008 ; Kalfas, 2001 ; Marsell, Einhorn, 2011)

Au fur et à mesure qu'ils prolifèrent, les chondrocytes deviennent hypertrophiques et la matrice extra-cellulaire commence à se calcifier. (Cachon, 2015 ; Marsell, Einhorn, 2011) Une cascade orchestrée principalement par les M-CSF, le RANK-L, l'OPG et le TNF- α , initie la résorption de ce cartilage minéralisé. Durant ce processus, le M-CSF, le RANKL et l'OPG participent au recrutement des cellules osseuses et des ostéoclastes pour former de l'os immature. Le TNF- α permet le recrutement ultérieur de CSM avec un potentiel ostéogénique mais son rôle le plus important est d'initier l'apoptose des chondrocytes. (Marsell, Einhorn, 2011 ; Sims, Gooi, 2008)

Le pic de formation de cal dur est habituellement atteint vers le 14^{ème} jour. (Marsell, Einhorn, 2011) Plus le cal osseux se forme, consécutivement au remplacement du cartilage calcifié en os immature, et plus il devient solide et mécaniquement rigide. (Cachon, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Kalfas, 2001 ; Marsell, Einhorn, 2011)

c) Phase de remodelage

Même si le cal dur est une structure rigide apportant une stabilité biomécanique, il ne permet pas la restauration complète des propriétés biomécaniques d'un os normal. Pour ce faire, la cascade de cicatrisation initie une seconde phase de résorption, cette fois-ci pour remodeler le cal en os lamellaire et recreuser sa partie interne pour former une cavité médullaire centrale (cf. Fig. 12). (Cachon, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Mountziaris, Mikos, 2008 ; Kalfas, 2001 ; Marsell, Einhorn, 2011)

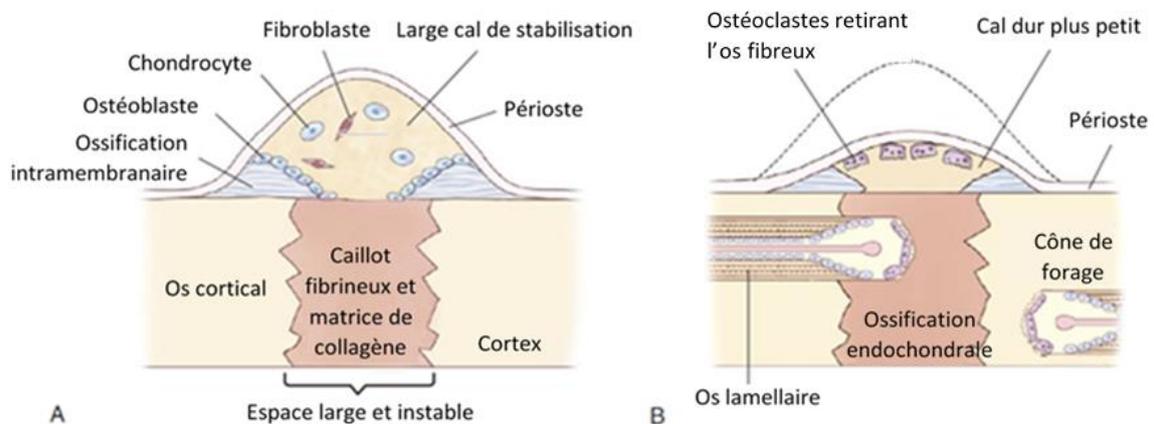


Figure 12 : Cicatrisation osseuse secondaire. **A**, La matrice extracellulaire faite de fibroblastes et de chondrocytes remplissent le site fracturaire et forme un cal mou de stabilisation. Le tissu va ensuite minéraliser pour former un cal dur. **B**, Les cônes de forages remodelent l'os ainsi formé. (Modifié d'après Tobias, Johnston, 2012)

Cette phase dure de plusieurs mois à plusieurs années. Le remodelage est un équilibre entre la résorption du cal osseux par les ostéoclastes d'une part, et du dépôt d'os lamellaire par les ostéoblastes d'autre part. Cet équilibre respecte la loi de Wolff : le degré de minéralisation de l'os est proportionnel à sa sollicitation mécanique. Ceci conduit à un retour progressif à la forme initiale. (Cachon, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Kalfas, 2001 ; Marsell, Einhorn, 2011)

Le remodelage osseux est le résultat de la production d'une polarité électrique, créée lorsqu'une pression est appliquée sur un environnement cristallin. Une compression provoque une charge négative, qui stimule l'activité ostéoblastique, tandis qu'une tension provoque une charge positive, stimulant l'activité ostéoclastique. Ce phénomène illustre parfaitement le bénéfice apporté par la reprise de l'appui du membre dans la cicatrisation osseuse. (Tobias, Johnston, 2012 ; Marsell, Einhorn, 2011)

Cette phase est régulée par plusieurs signaux pro inflammatoires. En plus de l'IL-1 et du TNF- α , dont les concentrations sont élevées durant cette étape, (cf. Fig. 11) d'importantes concentrations d'IL-11, d'IL-12, et d'interféron- γ (IFN- γ) sont aussi détectables sur le site de la fracture. L'hormone de croissance et l'hormone parathyroïdienne (PTH) jouent également des rôles clés dans cette phase, accélérant la cicatrisation et solidifiant le cal. (Mountziaris, Mikos, 2008 ; Marsell, Einhorn, 2011)

Bien que la structure originelle et les propriétés mécaniques du squelette soient restaurés dans les semaines qui suivent la fracture, les signaux moléculaires et cellulaires peuvent mettre plusieurs années avant de retourner à un niveau normal. (Mountziaris, Mikos, 2008) L'ensemble de ces différentes phases est représenté sur la figure 13.

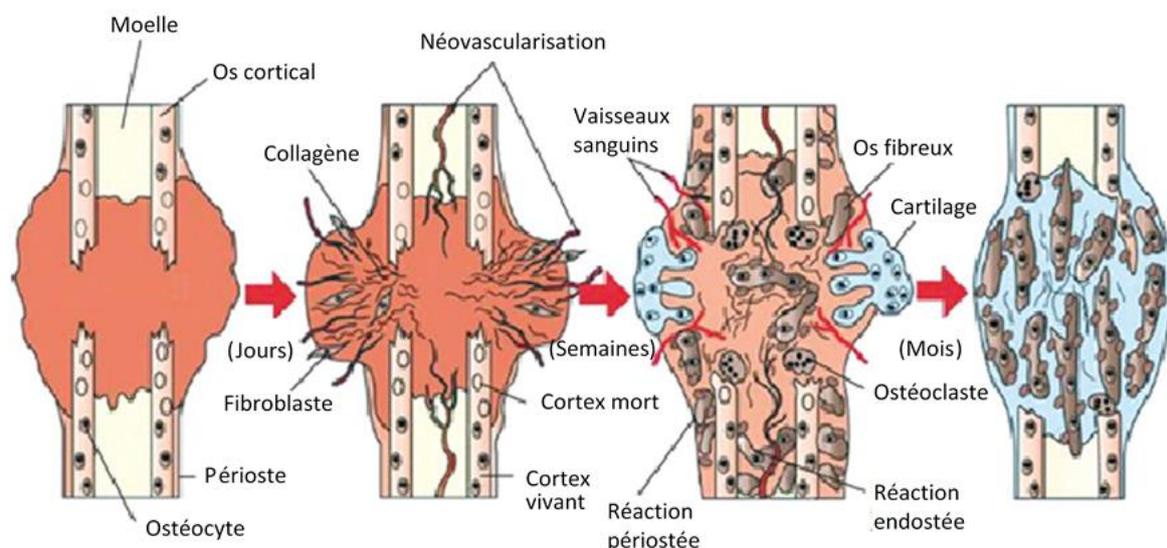


Figure 13 : Illustration de la cicatrisation par seconde intention. (Modifié d'après Tobias, Johnston, 2012)

2) Cicatrisation par première intention

La cicatrisation par première intention peut se faire de façon naturelle dans certaines conditions, mais la plupart du temps, une intervention chirurgicale est le plus souvent requise pour l'observer. Elle est caractérisée par l'absence de cal de fracture visible à la radiographie. En sautant les phases initiales de la cicatrisation par seconde intention, il y a un dépôt immédiat d'os lamellaire au sein du foyer de fracture. Ce dépôt n'a lieu que si quatre conditions sont réunies : une réduction anatomique parfaite de la fracture, une rigidité absolue, un foyer stérile, et une vascularisation optimale. (Cachon, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Marsell, Einhorn, 2011)

Pour cela, il faut que les contraintes interfragmentaires soient inférieures à 2%, et que la lacune interfragmentaire soit inférieure à 1mm. Ce type de cicatrisation est intéressant notamment sur les fractures articulaires car la présence d'un cal osseux gêne la fonction. Cependant la continuité osseuse n'est obtenue qu'au bout de 90 jours et le suivi de l'évolution de la réparation est beaucoup plus délicat. Ce type de cicatrisation peut se faire de deux manières : une cicatrisation par contact, ou une cicatrisation lacunaire. (Cachon, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Marsell, Einhorn, 2011)

a) Cicatrisation par contact

Elle nécessite deux conditions : que l'espace entre les bouts osseux soit inférieure à 0,01 mm et que les contraintes soient inférieures à 2%. A ce moment-là, des cônes de forages sont formés en partant des ostéons les plus proches du site de fracture (cf. Fig. 14)

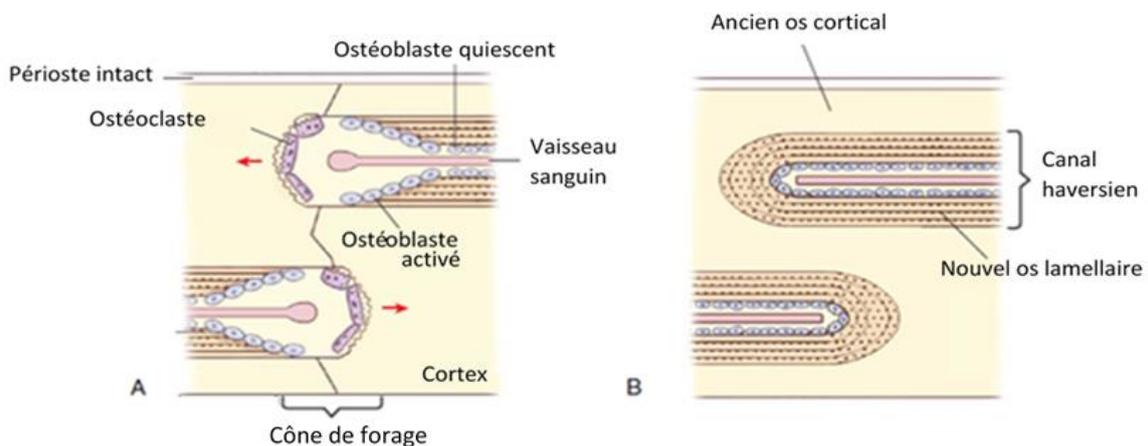


Figure 14 : Cicatrisation par contact. **A,** Grâce au contact direct entre les deux bouts osseux, les cônes de forage traversent directement le trait de fracture et forme de l'os lamellaire orientée longitudinalement. **B,** Des ostéons matures traversent le trait de fracture originel, connectant les deux fragments entre eux. (Modifié d'après Tobias, Johnston, 2012)

L'extrémité de ces cônes est constituée d'ostéoclastes qui franchissent la ligne de fracture et génèrent des cavités longitudinales à la vitesse de 50-100 mm/jour. Ces cavités sont ensuite remplies par de l'os, produit par les ostéoblastes présents à l'arrière du cône. Ainsi, il y a simultanément génération d'une union osseuse et restauration du système haversien dans une direction axiale. Cela permet une pénétration des vaisseaux sanguins porteurs de précurseurs ostéoblastiques. Les ostéons de liaisons mûrissent ensuite par remodelage direct en os lamellaire sans passer par la formation d'un cal périosté. (Cachon, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Marsell, Einhorn, 2011)

b) Cicatrisation lacunaire

Cette cicatrisation diffère de la cicatrisation par contact car l'union osseuse et le remodelage en structure haversienne ne se font pas simultanément. Elle se réalise lorsque la lacune interfragmentaire est supérieure à 0,01 mm et inférieure à 1mm et que les contraintes sont inférieures à 2%. (Cachon, 2015 ; Marsell, Einhorn, 2011)

Durant ce processus, la lacune est d'abord comblée par du tissu de granulation accompagné par un apport vasculaire, porteurs de cellules ostéoprogénitrices qui se différencient en ostéoblastes, et qui produisent de l'os lamellaire sur chaque surface de la lacune. Cet os lamellaire est cependant déposé perpendiculairement au long axe et est mécaniquement faible. Cette phase initiale dure environ 3 à 8 semaines, après lesquelles un remodelage secondaire impliquant des cônes de forage, comme lors de la cicatrisation par contact, se met en place (cf. Fig. 15). (Cachon, 2015 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Marsell, Einhorn, 2011)

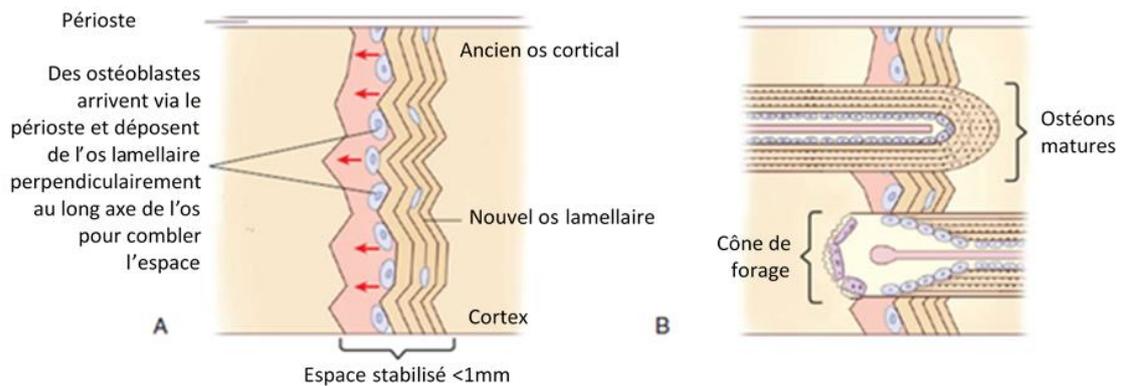


Figure 15 : Cicatrisation lacunaire. A, L'espace est initialement comblé avec de l'os lamellaire orienté transversalement. **B,** Des cônes de forage traversent cet os lamellaire, produisant des ostéocytes qui se minéraliseront en os lamellaire orienté longitudinalement. (Modifié d'après Tobias, Johnston, 2012)

Cliniquement, une cicatrisation par première intention est toujours une combinaison de ces deux types. En effet, il est presque impossible de réduire une fracture sans laisser d'espaces inter fragmentaires, à cause des limites du système de fixation et des déformations plastiques des surfaces de la fracture qui ont lieu lors du choc initial. (Tobias, Johnston, 2012)

III. Particularités des fractures diaphysaires du tibia

Les fractures du tibia sont relativement communes, puisqu'elles représentent 10 à 20% de toutes les fractures. Elles sont le plus souvent le résultat d'un choc, et 10 à 20% sont des fractures ouvertes. Le pronostic de ses fractures est en général assez bon, si un traitement approprié est mis en place. Parmi les fractures du tibia, les fractures diaphysaires sont les plus représentées, 70 à 83%. (*Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al., 2006*)

A. Etude générale des fractures

Pour décrire les fractures le plus précisément possible, certains critères sont à prendre à compte. Les critères d'évaluation les plus utilisés sont la localisation anatomique, l'étude du trait de fracture et de son origine.

1) Localisation anatomique

La localisation de la fracture commence par l'identification de l'os concerné, puis celle du segment osseux atteint : épiphyse, métaphyse, diaphyse, condyle, trochanter etc... (*Tobias, Johnston, 2012 ; Carozzo, 2015b ; Piermattei et al., 2006*)

2) Le trait de fracture

a) Incomplet

Les fractures dites en bois vert, (cf. Fig. 16 B) sont caractéristiques des os jeunes car ceux-ci sont suffisamment malléables pour ne pas se rompre complètement. La corticale est respectée du côté concave et fracturée du côté convexe. Les fissures sont de fines craquelures qui pénètrent le cortex de façon linéaire ou spiralee (cf. Fig. 16 C)(*Coughlan et al., 1998 ; Carozzo, 2015b ; Piermattei et al., 2006*)

b) Complet

Dans ce cas, le trait de fracture délimite au moins 2 fragments, il s'agit de fracture simple. La forme du trait de fracture par rapport à l'axe longitudinal de l'os permet de distinguer différents types de fractures :

- Transverses : Le trait coupe l'os avec un angle qui ne dépasse pas 30° par rapport à son axe longitudinal (cf. Fig. 16 D).
- Obliques : Une fracture oblique a un angle supérieur à 30° par rapport à l'axe longitudinal de l'os (cf. Fig. 16 E).

- Spiroïdales ou en aile de papillon : Ce sont des fractures obliques particulières dans lesquelles le trait de fracture forme une courbe autour de la diaphyse, typique des fractures par torsion (cf. Fig. 16 F). (Coughlan *et al.*, 1998 ; Carozzo, 2015b ; Piermattei *et al.*, 2006)

La complexité du trait est également évaluée et permet de différencier les fractures :

- Esquilleuses : il y a présence d'un fragment intermédiaire nommé esquille (cf. Fig. 16 G).
- Multiples ou segmentaires : il y a présence de multiples esquilles de tailles conséquentes (cf. Fig. 16 I).
- Comminutives : elles correspondent à des fracture multi-esquilleuses avec des fragments intermédiaires de petite taille, ne permettant pas la reconstruction anatomique (cf. Fig. 16 H) (Coughlan *et al.*, 1998 ; Carozzo, 2015b ; Piermattei *et al.*, 2006)

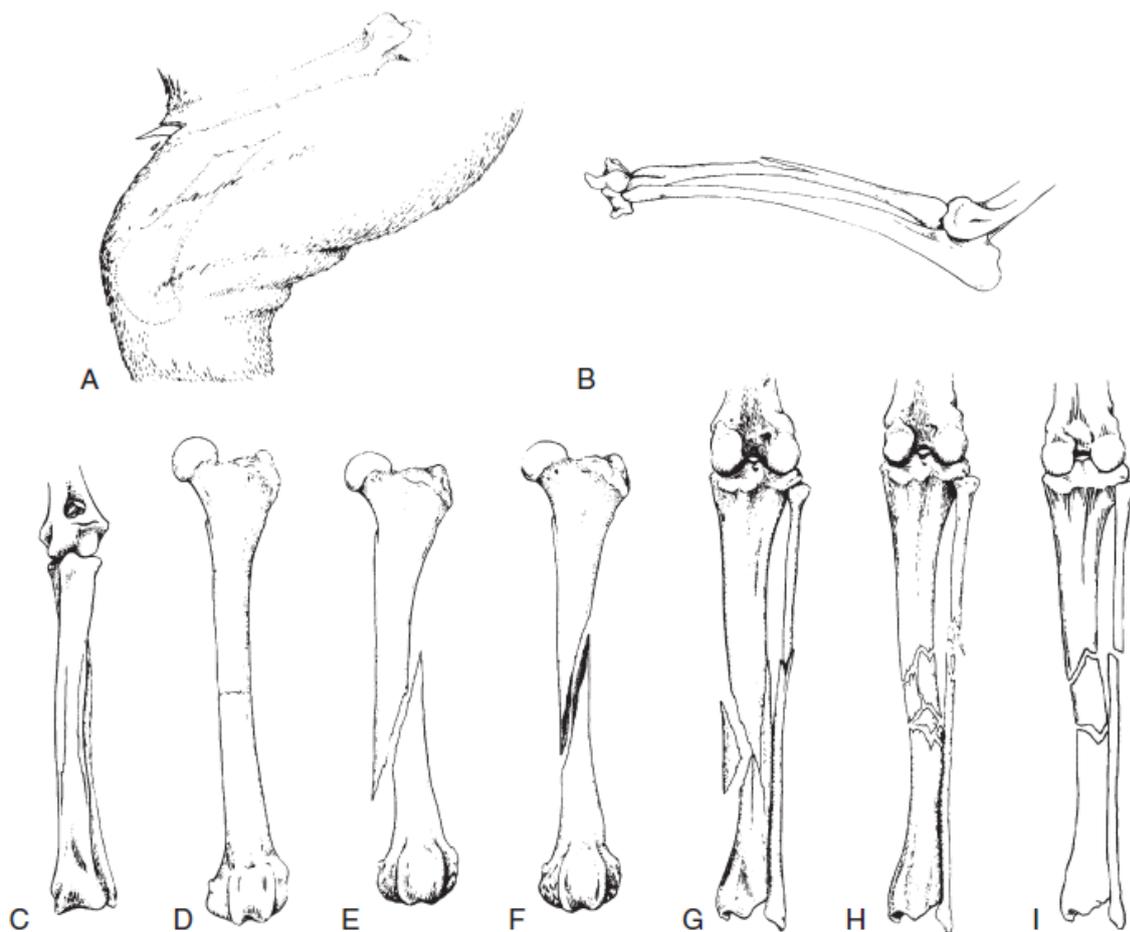


Figure 16 : Nomenclature descriptive des fractures diaphysaires. **A,** Ouverte. **B,** En bois vert. **C,** Fissure. **D,** Transverse. **E,** Oblique. **F,** Spiroïdale. **G,** Esquille réductible. **H,** Comminutives. **I,** Multiple ou segmentée. (Repris d'après Piermattei *et al.*, 2006)

c) Les déplacements

Ils sont dus au traumatisme et à la contraction réflexe des muscles insérés sur les fragments. Il en existe plusieurs types : l'angulation, la translation, le chevauchement, l'écartement, le télescopage, et la rotation axiale. (Carozzo, 2015b)

3) Biomécanique et motifs des fractures

Les os longs sont continuellement soumis à des forces. (Coughlan *et al.*, 1998 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Radasch, 1999) Les forces physiologiques normales, qui s'exercent sur les os longs, sont une combinaison de forces dynamiques et statiques issus du poids du corps, des contractions musculaires, et des effets des tendons et des ligaments. (Radasch, 1999)

La déformation osseuse et les motifs des fractures qui résultent d'une force extrinsèque supra physiologique sont dictés par la nature de cette force, son amplitude, la structure géométrique de l'os et par ses propriétés mécaniques. (Coughlan *et al.*, 1998 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Radasch, 1999)

Les forces compressives se manifestent lorsque des charges équivalentes, mais opposées s'appliquent l'une vers l'autre le long de l'axe longitudinal de l'os, ce qui provoque une fracture oblique. (Tobias, Johnston, 2012 ; Radasch, 1999) Ceci est dû au fait que lorsqu'il est comprimé, l'os va se rompre selon les lignes formées par les plus hautes forces de cisaillement plutôt que de celles de compression, car il est plus faible quand il est soumis à ce type de forces. Ces lignes forment un angle d'environ 30 - 45° avec la direction des forces compressives (cf. Fig. 17, A). (Coughlan *et al.*, 1998 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Radasch, 1999)

Les forces de tension conduisent à des fractures transverses, approximativement perpendiculaire à la direction de la charge. (Coughlan *et al.*, 1998 ; Tobias, Johnston, 2012) Des fractures résultant uniquement de forces de tension sont assez rares (la plupart sont soumises à des forces de flexion en plus) et concernent le plus souvent des régions de l'os plus riche en os spongieux, plus faible face à ces forces que l'os cortical. (Tobias, Johnston, 2012 ; Radasch, 1999)

Les forces de flexion conduisent également à des fractures transverses, mais le mécanisme diffère. Quand l'os est soumis à des forces de flexion, le côté convexe est sous tension, et le côté concave sous compression. Le point neutre, correspondant à un point soumis à aucune force, se trouve près du centre de l'os. (Tobias, Johnston, 2012 ; Radasch, 1999) Puisque l'os est plus faible en tension, la fracture commence du côté convexe, et se propage jusqu'à l'autre côté, conduisant à une fracture transverse. A mesure que la cassure se propage, des forces de cisaillement internes peuvent se développer, conduisant le motif de fracture transverse à changer de direction et suivre le plan de forces maximales. Ceci cause l'apparition d'une courte ligne de fracture oblique supplémentaire. Ce nouveau motif correspond à une fracture esquilleuse (cf. Fig. 17, C). (Coughlan *et al.*, 1998 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Radasch, 1999)

Les forces de torsion provoquent des fractures en spirales (Coughlan *et al.*, 1998 ; Tobias, Johnston, 2012), et sont le produit des effets combinés de forces de cisaillement, de compression, et de traction. (Radasch, 1999) Ces fractures débutent par la formation d'une cassure le long de l'axe longitudinal de l'os. Puis la cassure se courbe, selon les plans de cisaillement à 30-45°, allant d'un bout à l'autre de l'os jusqu'à compléter la spirale (cf. Fig. 17, D). (Tobias, Johnston, 2012 ; Radasch, 1999) De plus, la vitesse de charge à une importance dans l'aspect et la sévérité des fractures. Une charge rapide conduit à une accumulation d'énergie importante et des dommages plus grands sur l'os et les tissus environnants lorsque cette énergie est relâchée lors de la fracture. (Coughlan *et al.*, 1998 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Carozzo, 2015b ; Radasch, 1999)

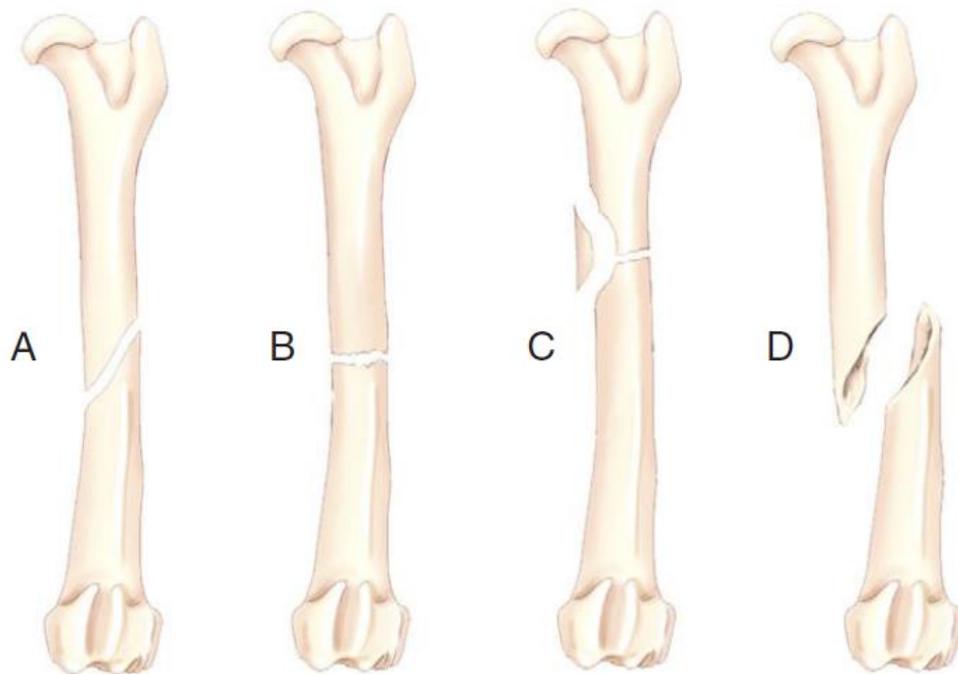


Figure 17 : Illustration des motifs de fractures en fonction des différentes forces appliquées. **A**, Oblique. **B**, Transverse. **C**, Esquilleuse. **D**, Spiroïdale. (Repris d'après Tobias, Johnston, 2012)

4) Les fractures ouvertes

Une fracture est dite ouverte quand l'os fracturé est exposé aux contaminations extérieures lors de la rupture de l'intégrité de la peau. (Coughlan *et al.*, 1998 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Carozzo, 2015b). Il en existe trois types, dont un subdivisé en trois, selon la classification de Gustilo-Anderson (Gustilo, Anderson, 1976 ; Gustilo *et al.*, 1984) :

- Type I : Une fracture ouverte avec une plaie inférieure à 1 cm. Les tissus mous sont moyennement atteints. Ce type de fracture est fréquemment obtenu lorsqu'un fragment osseux pointu traverse la peau. (Coughlan *et al.*, 1998 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Gustilo, Anderson, 1976)

- Type II : Une fracture ouverte avec une plaie plus grande qu'1 cm, sans atteinte majeure des tissus mous, sans lambeaux ou avulsions. La plaie externe est typiquement créée de l'extérieur vers l'intérieur par des forces de très haute énergie. (*Coughlan et al., 1998 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Gustilo, Anderson, 1976*)
- Type III : Une fracture ouverte, avec une atteinte majeure des tissus mous. Des avulsions de tissus mous, des lésions de dégantage et des pertes de matériel osseux sont fréquemment notées. Sont inclus dans ce type, les fractures accompagnées de lésions neurovasculaires, les blessures par balles et les amputations partielles traumatiques. (*Coughlan et al., 1998 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Gustilo, Anderson, 1976*)

Au sein de ce dernier type, une autre distinction est réalisée : (*Gustilo et al., 1984*)

- Type IIIA : Une fracture ouverte avec une couverture adéquate de l'os fracturé par les tissus mous malgré l'étendue des lacérations sur ces tissus, et les traumatismes à hautes énergies et quelle que soit la taille de la plaie. (*Tobias, Johnston, 2012 ; Gustilo et al., 1984*)
- Type IIIB : Une fracture ouverte avec une perte importante de tissus mous, un raclage du périoste et une exposition de l'os, souvent associée à une contamination massive. (*Tobias, Johnston, 2012 ; Gustilo et al., 1984*)
- Type IIIC : Une fracture ouverte, associé à des lésions artérielles nécessitant une restauration. (*Tobias, Johnston, 2012 ; Gustilo et al., 1984*)

Il s'agit d'une classification communément utilisée mais relativement ancienne (1984). Une nouvelle classification a été proposée par l'Orthopedic Trauma Association basée sur cinq critères majoritairement retrouvés dans les publications, mais qui n'a pas encore été testée. Cette classification se base sur l'atteinte cutanée (S), musculaire (M), artérielle (A), la perte de tissu osseux (B) et sur la contamination (C). Ces cinq paramètres sont ensuite divisés en trois catégories : léger, modéré et sévère (1 à 3). Ce système permet une meilleure définition pathoanatomique et met en avant des catégories essentielles dans l'évaluation de la sévérité des fractures ouvertes. (*Tobias, Johnston, 2012 ; Orthopaedic Trauma Association : Open Fracture Study Group, 2010*)

5) Classification

Dans les années 90, plusieurs systèmes de classification de fractures des os longs ont été proposés, comme par exemple celui de Müller, de Prieur ou d'Unger. C'est ce dernier qui sera développé par la suite.

C'est un système utilisé pour décrire la localisation, la morphologie et la sévérité des fractures des os longs chez les animaux domestiques. Il attribue aux fractures un code alpha numériquement facilement reconnaissable par un ordinateur. (Coughlan et al., 1998 ; Piermattei et al., 2006)

Il permet de grader la complexité de la configuration de la fracture et sa stabilité relative après réduction, ainsi que d'apporter des informations concernant le traitement approprié et le pronostic. Cependant, il n'est applicable que sur les os longs des membres et ne prend pas en compte les atteintes des tissus mous. (Coughlan et al., 1998 ; Piermattei et al., 2006)

La localisation est obtenue en attribuant à chaque os un numéro (1, humérus ; 2, radius/ulna ; 3, fémur ; 4, tibia/fibula) et en divisant chacun en trois zones (1, proximale ; 2, diaphysaire ; 3, distale). Pour mesurer la sévérité, chaque fracture est typée comme A : simple ; B, esquilleuse ; C, complexe (cf. Fig. 18) ; Chaque grade est ensuite subdivisé en trois degrés de complexité dépendant du type et de l'extension de la fragmentation osseuse. La suite de l'étude portera sur les fractures diaphysaires du tibia correspondant au code "4.2" (cf. Fig. 19). (Coughlan et al., 1998 ; Piermattei et al., 2006)

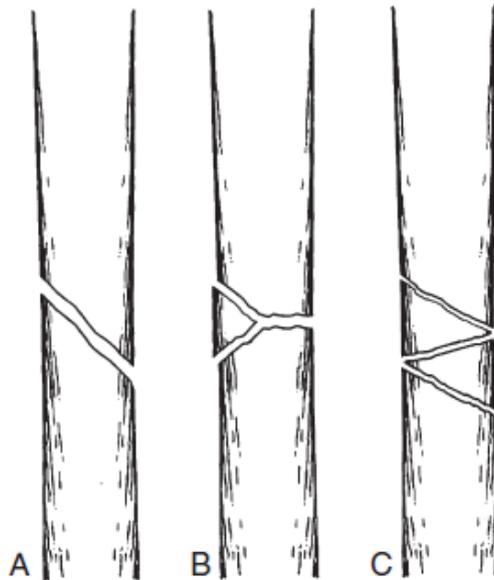


Figure 18 : Les différents types de fractures : **A**, Simple. **B**, Esquilleuse. **C**, Complexe. (Repris d'après Piermattei et al., 2006)

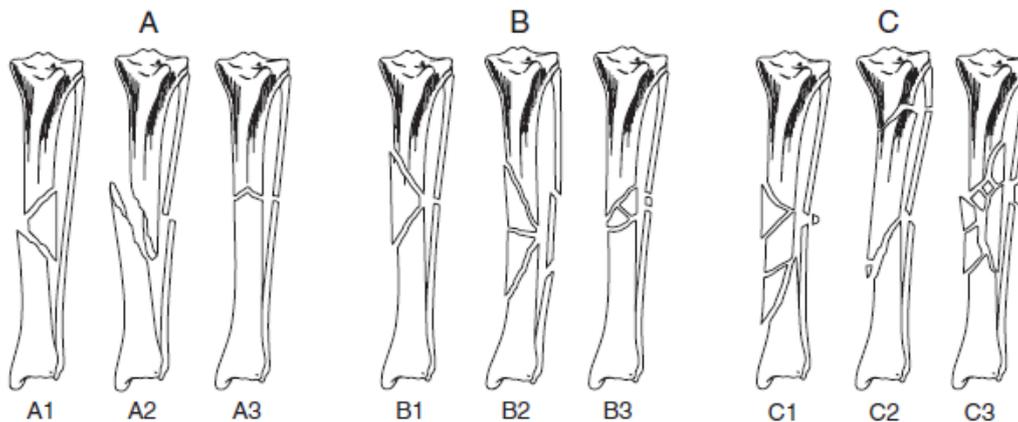


Figure 19 : Fractures diaphysaires du tibia. **A**, Simple ou incomplète. **A1**, Tibiale incomplète ou fibula intacte ; **A2**, Tibiale simple oblique ; **A3**, Tibiale simple transverse. **B**, Esquilleuse. **B1**, Une esquille réductible ; **B2**, Plusieurs esquilles réductibles ; **B3** Plusieurs esquilles non réductibles. **C**, Complexe. **C1** Réductible ; **C2**, Segmentée ; **C3** Non réductible. (Repris d'après Piermattei et al., 2006)

B. Le traitement des fractures diaphysaires du tibia

Les fractures du tibia comptent pour 20% des fractures des os longs et 10% de toutes les fractures. Il s'agit de la 4^{ème} localisation de fracture la plus fréquente chez le chien. Les chocs sont la cause majoritaire de ces fractures. Les mâles et les femelles ainsi que le côté gauche ou droit sont touchés de façon équivalente (Tobias, Johnston, 2012)

La partie médiane de la diaphyse est la localisation la plus commune des fractures du tibia et représente 64% des fractures. La portion proximale comptant pour 20% et la portion distale pour 15%. Les fractures spiroïdes (21-44%) et comminutives (34-53%) sont les motifs les plus couramment observés. (Piermattei et al., 2006 ; Tobias, Johnston, 2012)

Une fracture concomitante de la fibula est fréquente, bien que la réparation de celle-ci ne soit généralement pas nécessaire. Le pronostic global suivant une fracture du tibia est généralement bon quand le traitement approprié est mis en place. (Tobias, Johnston, 2012)

1) Le choix de la prise en charge

Une grande quantité de méthodes de fixation sont applicables aux fractures du tibia et la sélection de la procédure la plus indiquée dépend de plusieurs facteurs : des facteurs biologiques (l'âge et l'état de santé patient, l'apport vasculaire et les dommages des tissus mous, la localisation de la fracture et son état d'infection), des facteurs mécaniques (le type et la stabilité de la fracture, la taille et l'activité du patient, ainsi que le nombre de membres atteints). (Coughlan et al., 1998 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Carozzo, 2015b ; Piermattei et al., 2006)

Une méthode pour compiler ces informations, a été mise au point par Palmer et ses collègues. Chaque ligne du tableau (cf. Tableau I) doit être scorée, si cela est possible. La moyenne des notes permet d'obtenir une appréciation globale du patient. (Piermattei et al., 2006 ; Carozzo, 2015b)

Tableau I : Éléments à prendre en compte dans l'élaboration d'un score de fracture (données issues de Palmer RH : Decision making in fracture treatments : the Fracture Patient Scoring System. In Proceedinds of Small Animal ACVS Veterinary Symposium, Washington DC, 1994, pp388-390

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
<u>Facteurs biologiques</u>											
Age	Vieux			Adulte			Jeune		En croissance		
Etat de santé	Mauvais état général							Bon état général			
Type d'os	Cortical							Spongieux			
Energie de la fracture	Fracture à haute énergie						Fracture à basse énergie				
Fractures ouvertes	IIIC		IIIB		IIIA		II		I		
<u>Facteurs mécaniques</u>											
Type de fracture	Complexe, C				Esquilleuse, B			Simple, A			
Stabilité de la fracture	Instable							Stable			
Taille du patient	Race géantes				Grandes races			Petite race			
Activité du patient	Animal de travail ou sportif							Animal sédentaire			
Nombre de membres atteints	Plusieurs							Un seul			
<u>Facteurs contextuels</u>											
Compliance du patient	Animal intenable							Animal calme			
Compliance des propriétaires	Non-respect des consignes						Respect des consignes				

NB : A cela s'ajoute les contraintes financières d'une part, et les préférences et compétences du chirurgien d'autre part. (Piermattei et al., 2006 ; Coughlan et al., 1998)

La prise en compte de ce score permet ensuite de déterminer plusieurs possibilités de traitements.

2) Traitement orthopédique

Il s'agit de l'application après réduction à foyer fermé, d'un dispositif de contention (plâtre, résine, pansement de type Robert Jones...) assurant la stabilité du foyer de fracture jusqu'à la formation d'un cal osseux. (Piermattei et al., 2006 ; Carozzo, 2015b ; Cachon, 2015b)

a) Considérations générales

Les matériaux rigides comme la fibre de verre, le plastique ou des barres d'attelles apporte la rigidité et la force mécanique requises pour la coaptation externe. Lors du choix parmi les différents bandages, attelles, ou plâtres, il est important de mettre en équilibre les besoins du patient pour un pansement mou d'une part, et la rigidité stricte requise pour assurer la solidification d'autre part. (*Piermattei et al., 2006*)

La coaptation externe, lorsqu'elle est utilisée comme technique de traitement des fractures, offre plusieurs avantages : l'atteinte du site fracturaire est minimale, l'apport vasculaire n'est pas compromis, et le coût est généralement plus faible que lors d'une intervention chirurgicale. Parmi les inconvénients se trouve la nécessité d'immobiliser les articulations proximales et distales à la fracture, et cette immobilisation prolongée peut avoir de sévères conséquences comme une atrophie diffuse ou une maladie fracturaire. (*Tobias, Johnston, 2012*)

Les forces de flexion sont globalement bien neutralisées par un plâtre cylindrique. Cependant les autres forces, (compressives, rotatives, ou de cisaillement) sont peu contrées par ce dispositif. Par conséquent, il est peu indiqué dans le cas des fractures instables. (*Coughlan et al., 1998*)

b) Indications

Ce genre de traitement peut être utilisé pour assurer une stabilisation temporaire, comme adjonction dans le traitement du gonflement et de l'œdème et pour apporter un support avant ou après une fixation interne. (*Tobias, Johnston, 2012*)

Lors d'une prise en charge de la fracture en première intention, il est indiqué lors de fracture d'os pairs (radius/ulna ou tibia/fibula) où l'un des deux est intact et sert de support à l'autre, ou lors de fractures obliques ou spiroïdes simples, stables à la manipulation. Il existe également des indications spécifiques comme les fractures en bois vert ou les fractures d'impaction. De manière générale, les fractures traitées par coaptation externe doivent être des fractures dont la cicatrisation sera rapide, pour éviter une rigidité des articulations et une atrophie musculaire. (*Piermattei et al., 2006 ; Coughlan et al., 1998 ; Carozzo, 2015b ; Cachon, 2015b ; Tobias, Johnston, 2012*)

S'il y a un délai dans la prise en charge de la fracture, la contracture musculaire et la formation du cal vont progressivement compromettre la réduction. (*Cachon, 2015b ; Coughlan et al., 1998*). Les animaux chondrodystrophiques, obèse ou sportifs sont de très mauvaises indications pour ce type de traitement. Les fractures complexes sont très rarement adaptées à ce genre de traitement. (*Carozzo, 2015b ; Cachon, 2015b ; Coughlan et al., 1998 ; Tobias, Johnston, 2012*)

c) Les différents types de traitement orthopédique

La coaptation externe peut être obtenue en utilisant un plâtre cylindrique ou un pansement de Robert-Jones. Des attelles en plastique préformées peuvent être rajoutées sur le côté latéral ou médial du tibia pour augmenter la rigidité de certains montages. (*Piermattei et al.*, 2006)

(1) Plâtre cylindrique cruro-pédieux

Ce type de plâtre s'étend des orteils jusqu'à l'aine. Des bandes de fibres de verre ou de résine sont les matériaux les plus couramment utilisés. Ces produits sont solides, légers, résistants à l'eau et poreux. Une fois mis en place, il peut être coupé en deux. Cela permet de faciliter l'inspection et les corrections nécessaires, mais le montage sera moins solide. Ce plâtre permet la prise en charge de fractures très peu déplacées chez le jeune ou sur des fractures déplacées mais bien réduites. Si la réduction est incoercible, ce type de prise en charge est impossible. (*Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al.*, 2006)

(2) Le pansement Robert-Jones

Il s'agit du pansement le plus utilisé. C'est un volumineux pansement versatile indiqué comme méthode de stabilisation temporaire des fractures avant une réparation définitive, après une intervention chirurgicale pour gérer le gonflement postopératoire et come méthode de prévention ou de diminution des risques d'œdème. Ces objectifs sont accomplis sans compromettre la vascularisation des tissus mous. Cependant, ce pansement n'est pas du tout adapté comme fixation primaire d'une fracture. En effet le coton utiliser comme rembourrage se relâche et peut contribuer à une instabilité de la fracture. (*Coughlan et al.*, 1998 ; *Tobias, Johnston, 2012*)

C'est un excellent pansement d'urgence sur les fractures du tibia, et plus particulièrement dans le cadre de fracture ouverte de grade I, en évitant la protrusion de fragment pointu, avant que le traitement définitif ne soit mis en place. Il est bien toléré, mais à cause de l'important volume de coton utilisé, il peut absorber des quantités conséquentes d'eau, entraînant une macération de la peau ou une contamination des incisions chirurgicales et son volume peut entraver la locomotion. (*Coughlan et al.*, 1998 ; *Piermattei et al.*, 2006 ; *Tobias, Johnston, 2012*)

(3) Le pansement Robert-Jones renforcé

Ce type de pansement incorpore en plus un matériau rigide pour améliorer l'immobilisation et le support du membre et des articulations. Assurant une meilleure stabilité qu'un Robert Jones classique sans le volume, le Robert Jones renforcé est souvent utilisé pour stabiliser une fracture avant intervention. Il peut même être utilisé comme moyen de fixation primaire sur des fractures stables chez le jeune. (*Tobias, Johnston, 2012*)

d) Mise en œuvre

(1) Réduction de la fracture

Elle est à faire aussi précocement que possible, sous anesthésie. Celle-ci permet de gérer la douleur mais aussi d'obtenir une myorelaxation indispensable à la réduction. Les réductions fermées amènent rarement à une apposition parfaite des fragments et une perte de réduction peut s'observer lors de l'appui après application de la coaptation externe. Bien que l'objectif soit d'assurer une réduction de 100%, la cicatrisation osseuse peut avoir lieu si au moins 50% des surfaces des fragments sont en contact. (Carozzo, 2015b ; Cachon, 2015b ; Coughlan et al., 1998 ; Piermattei et al., 2006 ; Tobias, Johnston, 2012)

Plusieurs méthodes sont possibles pour assurer cette réduction : extension / contre-extension (cf. Fig. 20) ou par angulation (cf. Fig. 21). Des radiographies doivent être réalisées après réduction et coaptation externe pour vérifier que la fracture est bien réduite. Si ce n'est pas le cas, une intervention chirurgicale doit être considérée. (Carozzo, 2015b ; Cachon, 2015b ; Coughlan et al., 1998 ; Piermattei et al., 2006 ; Tobias, Johnston, 2012)



Figure 20 : Méthode de réduction par extension – contre extension. (Repris d'après Piermattei et al., 2006)

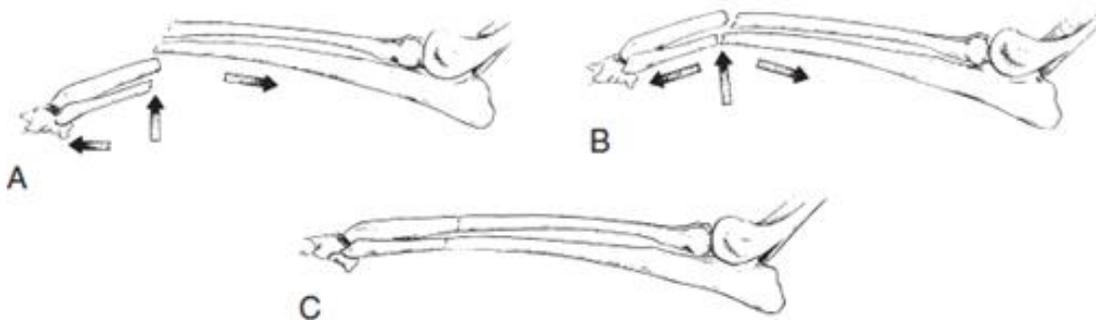


Figure 21 : Méthode de réduction par angulation. (Repris d'après Piermattei et al., 2006)

(2) Alignement du foyer de fracture

Un alignement correct entre les articulations proximales et distales est impératif au bon fonctionnement du membre. Dans le cas contraire, des mal unions peuvent se créer et causer des dysfonctionnements ainsi qu'une boiterie secondaire à de l'ostéoarthrose. (Tobias, Johnston, 2012)

(3) Position du membre

Maintenir le membre dans une position neutre lors de l'application d'une coaptation externe encourage l'appui durant le traitement et après. Si elle est réalisée avec un angle anormal, une perte de fonction peut en découler. De plus, les articulations proximales et distales doivent être immobilisées pour assurer la stabilité de la fracture. (Carozzo, 2015b ; Tobias, Johnston, 2012 ; Coughlan et al., 1998 ; Piermattei et al., 2006)

(4) Mise en place

(Cf. Annexe 3 et 4)

(5) Retrait du plâtre

L'union clinique survient en 3 à 6 semaines, dépendant du patient et de facteurs propres à la fracture. Des clichés radiographiques réguliers permettent de confirmer une cicatrisation adéquate. Le retrait s'effectue avec une scie circulaire oscillante le plus tôt possible pour minimiser la rigidité des articulations. (Coughlan et al., 1998 ; Piermattei et al., 2006 ; Tobias, Johnston, 2012)

e) Complications

Les complications sont le plus souvent dues à une mauvaise sélection des patients pour ce type de prise en charge, à une mise en place défectueuse ou des problèmes de compliance de l'animal ou de ses propriétaires. Ces complications peuvent se manifester par des signes systémiques, ainsi que des signes locaux : (Coughlan et al., 1998 ; Piermattei et al., 2006 ; Tobias, Johnston, 2012) Parmi ces complications se trouvent :

- Un relâchement du plâtre : Consécutif à la diminution du gonflement des tissus mous, ou à l'atrophie musculaire, le plâtre perd en efficacité de maintien. Ceci prédispose à une instabilité de la fracture et des abrasions. (Coughlan et al., 1998)
- Une rigidité de l'articulation : Il s'agit d'une conséquence inévitable à l'immobilisation du membre. Dans les pires cas, une maladie fracturaire peut se déclarer : rigidité, fibrose périarticulaire, dégénération du cartilage, atrophie musculaire et ostéoporose. (Cachon, 2015b ; Coughlan et al., 1998 ; Tobias, Johnston, 2012)
- Une union retardée, une mal union ou une non union : Des retraits et des remises en place fréquents du plâtre peuvent conduire à déplacer le plan de la fracture et donc retarder voire empêcher la réparation. (Coughlan et al., 1998)
- Des escarres : Les proéminences osseuses sont particulièrement sensibles aux traumatismes cutanés, notamment aux abrasions et aux nécroses. (Coughlan et al., 1998 ; Tobias, Johnston, 2012)

3) Traitement chirurgical

Les traitements chirurgicaux des fractures reposent sur la mise en place d'un implant qui va permettre la réduction des fragments osseux. La réduction, l'insertion de certains implants telles que les plaques et les enclouages centro-médullaires, s'effectuent dans la plupart des cas à foyer ouvert.

a) L'enclouage centro-médullaire (ECM)

Il consiste à stabiliser les abouts osseux en plaçant un clou (ou broche) dans la cavité médullaire. Sa mise en place peut se faire de deux façons : une par le foyer de fracture après un abord chirurgical et réduction des fragments osseux à foyer ouvert ou en enclouage direct. Ce-dernier peut être utilisé pour les fractures réduites sans ouverture, avec un minimum de manipulation et d'interférence sur les tissus mous. Cela constitue une intervention avec un abord minimal (cf. Fig. 22). (*Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al., 2006 ; Cachon, 2015b*)

(1) Un exemple de mise en place par enclouage direct

L'insertion doit être réalisée sans avoir à léser le cartilage articulaire. L'entrée du clou se situe sur l'extrémité proximale du tibia, légèrement crâniale à l'empreinte de l'insertion du ligament croisé crânial (cf. Fig. 1B). Placer le clou trop caudalement ne permettra pas l'extension complète du genou à cause des interférences entre le clou et le condyle fémoral. Il est inséré via une petite incision le long du bord médial du ligament patellaire (cf. Fig. 1D). A cause de la forme sigmoïde du tibia, il doit être légèrement plié dans le canal médullaire (cf. Fig. 1D). Pour permettre cette courbure, un clou égal à approximativement 50% du diamètre du canal médullaire est souvent choisi, ce qui est inférieur aux recommandations classiques pour ECM (environ 70%). (*Coughlan et al., 1998 ; Piermattei et al., 2006 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Cachon, 2015b*)

Une attention particulière doit être portée aux structures de l'articulation du genou lors de la mise en place pour ne pas les léser. Un amplificateur de brillance peut être utilisé pour suivre la mise en place du clou durant la chirurgie. (*Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al., 2006*)

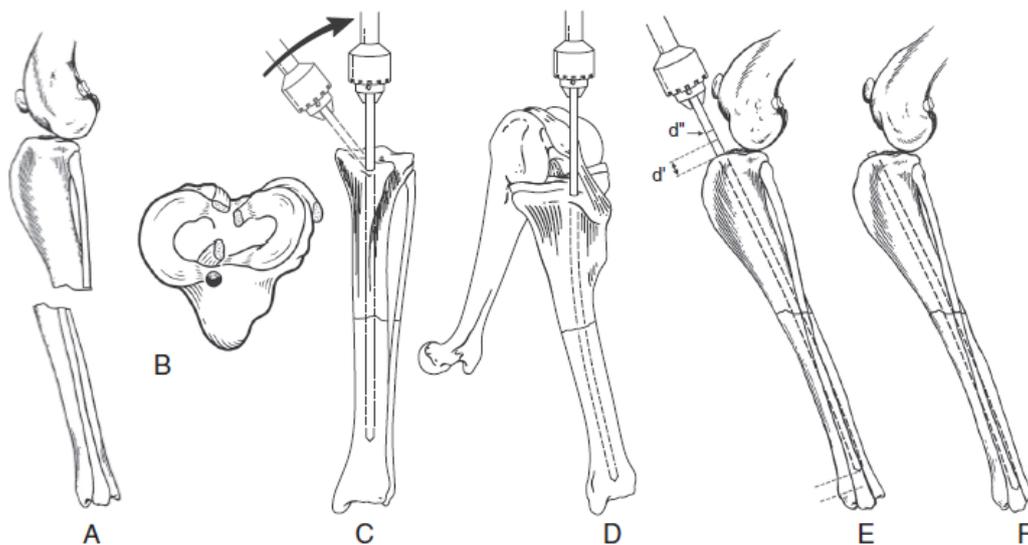


Figure 22 : Technique de l'enclouage centromédullaire direct. **A** : Fracture transverse du tibia. **B** : Vue proximale du tibia. Le cercle représente la localisation approximative du clou. **C** : L'extrémité du clou est insérée obliquement dans l'articulation. **D** : Avec le genou fléchi au maximum, le clou est inséré au travers d'une petite incision le long du bord médial du ligament patellaire puis courbé. **E** : Une fois la fracture réduite, le clou est rétracté d'environ 6mm (d') puis est coupé (d''). **F** : Le clou est ensuite replacé à sa profondeur originale. (Repris d'après Piermattei et al., 2006)

(2) Avantages et inconvénients

L'ECM est un montage simple à mettre en place et à retirer, peu onéreux, nécessitant peu de matériel spécifique, ayant une bonne stabilité en flexion, et qui est situé dans l'axe neutre de l'os ce qui lui confère une grande longévité. La plupart des insertions ne nécessitent qu'une petite exposition chirurgicale, surtout lors de l'emploi d'un amplificateur de brillance, ce qui résulte en une diminution des dommages vasculaires et sur les tissus mous, et en une cicatrisation améliorée. (Coughlan et al., 1998 ; Piermattei et al., 2006 ; Cachon, 2015b)

Cependant, il n'y a aucune stabilité en rotation, en torsion et peu en traction et compression. Cette méthode de fixation n'est pas conçue pour maintenir la longueur de l'os, dans la mesure où il n'y a aucun partage de charge entre l'os et le clou. Même si cela reste rare, le clou peut participer à disséminer l'infection dans la cavité médullaire dans le cas des fractures ouvertes. (Coughlan et al., 1998 ; Piermattei et al., 2006 ; Cachon, 2015b)

(3) Principales indications

L'ECM permet de traiter des fractures transverses, les fractures courtes obliques, les fractures très légèrement comminutives du tibia seul, et les fractures stables qui n'ont pas tendance à un raccourcissement axial ou à la rotation. (Coughlan et al., 1998 ; Piermattei et al., 2006 ; Cachon, 2015b ; Tobias, Johnston, 2012)

(4) Ajout de cerclages ou de vis de compression

L'utilisation de cerclage, en complément de l'ECM fonctionne bien sur les fractures obliques longues, spiroïdes et certaines fractures comminutives, car ils permettent une meilleure stabilité (cf. Fig. 23 B). Une méthode alternative est l'emploi de vis de compression, qui est une technique plus difficile, car les vis peuvent interférer avec le clou et sont donc plutôt conseillés sur des grands chiens, chez qui les vis peuvent être insérées loin du centre (cf. Fig. 23 C). Bien qu'en général, le clou soit retiré après l'union clinique, les cerclages ou les vis de compression sont le plus souvent laissés en place. (*Coughlan et al., 1998 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al., 2006*)

(5) Clou verrouillé

Une autre possibilité est d'utiliser un clou centro-médullaire verrouillé (cf. Fig. 23 D) : après mise en place du clou, l'ajout de vis spécifiques permet d'apporter une stabilité en rotation, en compression et lors de cisaillement, et limite les risques de migration du clou. (*Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al., 2006 ; Cachon, 2015b*)

La principale indication de ce type d'appareillage est le traitement des fractures diaphysaires comminutives, mais tous les types de fractures diaphysaires du tibia conviennent à son utilisation. (*Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al., 2006 ; Coughlan et al., 1998*)

Cependant ils sont difficiles à insérer (obligatoirement avec un guide de forage) et à retirer. L'accès à un amplificateur de brillance est également une condition limitante à l'emploi des clous verrouillés. Ils sont aussi plus fragiles lorsque des forces de tension s'appliquent dans un plan parallèle au long axe du tibia, les trous des vis agissant comme des concentrateurs de stress, augmentant les risques de rupture de fatigue du clou. (*Coughlan et al., 1998 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Cachon, 2015b*)

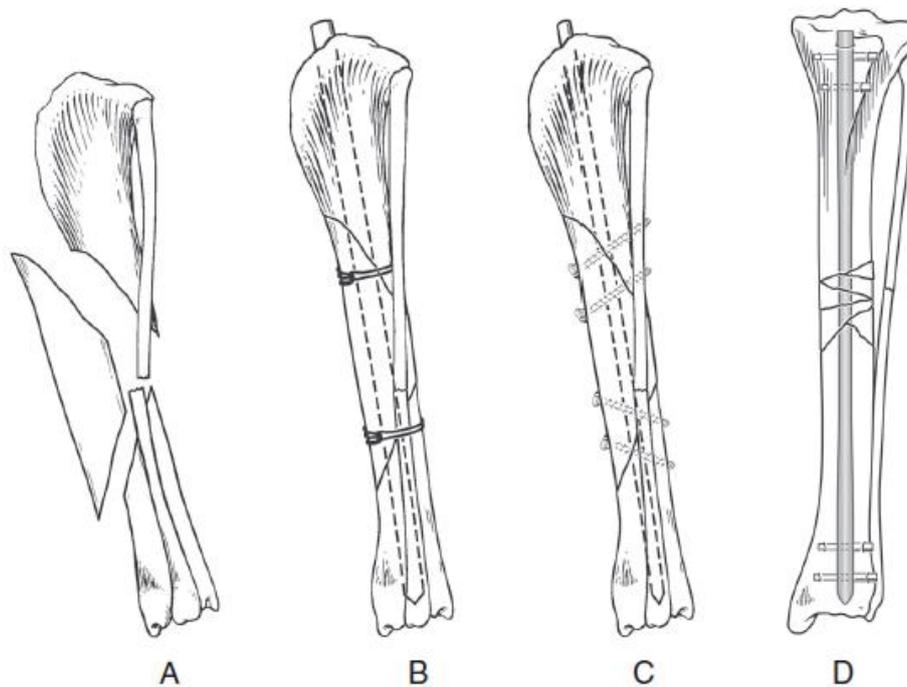


Figure 23 : La stabilité en rotation peut être atteinte pour l'ECM des fractures du tibia par différentes méthodes. **A** : Fracture segmentaire du tibia. **B** : Deux cerclages en double boucle associé à un ECM sont souvent suffisants. **C** : Des vis de compressions peuvent également être utilisées. **D** : La stabilité en rotation peut aussi être apportée par un clou verrouillé, avec deux fixations proximales et deux fixations distales. (Repris d'après Piermattei et al., 2006)

b) Fixateur externe

(1) Présentation

Le fixateur externe composé de broches qui traversent l'os et de barres externes, ainsi que de coapteurs qui relient les deux. Il peut être placé avec ou sans ouverture du foyer osseux. Il correspond aux critères requis pour la fixation biologique lors de la cicatrisation osseuse, lorsqu'on réalise une stabilisation via une approche fermée du site de fracture. (Coughlan et al., 1998 ; Piermattei et al., 2006 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Cachon, 2015b)

Il convient pour la plupart des fractures du tibia, et est plus facile à mettre en place que sur les membres antérieurs étant donné la faible couverture musculaire de cette zone. Les résultats généraux espérés pour des patients traités par cette méthode sont de 95% pour l'union osseuse et de 91% pour une bonne à une excellente reprise de la fonction du membre. (Piermattei et al., 2006 ; Tobias, Johnston, 2012)

(2) Types de fixateurs externes :

Il existe plusieurs types de fixateurs externes. En général, pour la prise en charge des fractures du tibia, les types I et II sont souvent préférés pour leur facilité d'application et leur plus faible morbidité. (*Piermattei et al., 2006*)

Le type I ou hémifixation : Le montage est unilatéral et uniplanaire, les broches ne traversent la peau que d'un côté. Il est presque toujours appliqué sur la face médiale du tibia, pour des raisons biologiques (absence de couverture musculaire sur cette surface facilitant l'insertion des broches et diminuant la morbidité post-opératoire) et techniques (à cet endroit il y a moins de risques que l'animal se cogne lorsqu'il se déplace). (*Piermattei et al., 2006 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Cachon, 2015b*)

- Type IA : Ce montage est utilisé lorsqu'il y a un partage de la charge entre le montage et les fragments osseux, comme dans les fractures simples, ou faiblement segmentées car il est relativement peu rigide (cf. Fig. 24, A). Il peut être associé à un enclouage centro-médullaire pour améliorer sa stabilité. (*Piermattei et al., 2006 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Cachon, 2015b*)
- Type IB : Il est possible d'associer deux hémifixations perpendiculaires, le montage est alors unilatéral et biplanaire. Ceci permet d'augmenter la rigidité en torsion, et diminue le risque de perte de broches. Ce type de montage est plutôt utilisé lorsque la fracture est très proximale ou distale, avec une quantité insuffisante d'os pour permettre une fixation uniplanaire (cf. Fig. 24, B). (*Piermattei et al., 2006 ; Tobias, Johnston, 2012*)

Le type II ou transfixation : Le montage est bilatéral et uniplanaire, les broches traversent tout le membre (cf. Fig. 24, C). Il convient particulièrement aux fractures où le montage sera seul à subir la charge comme dans le cas de fractures complexes non réductibles. En effet on obtient un montage plus rigide, mais il occasionne des dégâts plus importants sur les masses musculaires (*Piermattei et al., 2006 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Cachon, 2015b*)

- Type IIA : Dans ce montage, les broches sont complètes. Ce type de structure est très versatile et utile. Une instrumentation est fortement recommandée pour la mise en place des broches, de façon à ce qu'elles soient dans le même plan pour leur connexion aux barres. (*Piermattei et al., 2006*)
- Type IIB : Dans ce type de montage, l'utilisation de demi-broches permet de s'affranchir de la contrainte d'avoir les broches dans un même plan (cf. Fig. 24C) au prix d'une légère perte de rigidité et de stabilité en rotation. (*Piermattei et al., 2006*)

Le type III : C'est un montage bilatéral et biplanaire (cf. Fig. 24, D). Il est utilisé seulement dans des situations d'extrême instabilité (fractures en aile de papillon, complexes comminutives, esquilleuses) ou lorsqu'une cicatrisation très lente est anticipée (fracture ouverte de degré 3). Il s'agit d'un montage solide et très rigide, mais aussi plus compliqué et coûteux. La surfixation est une erreur commune fréquemment observée qui peut conduire à des retards de cicatrisation ou à des non-unions. Afin de prévenir ces complications, on réalise une dérigidification progressive dès les premiers signes d'union dès 4 à 6 semaines en retirant l'hémifixation. (Piermattei et al., 2006 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Cachon, 2015b)

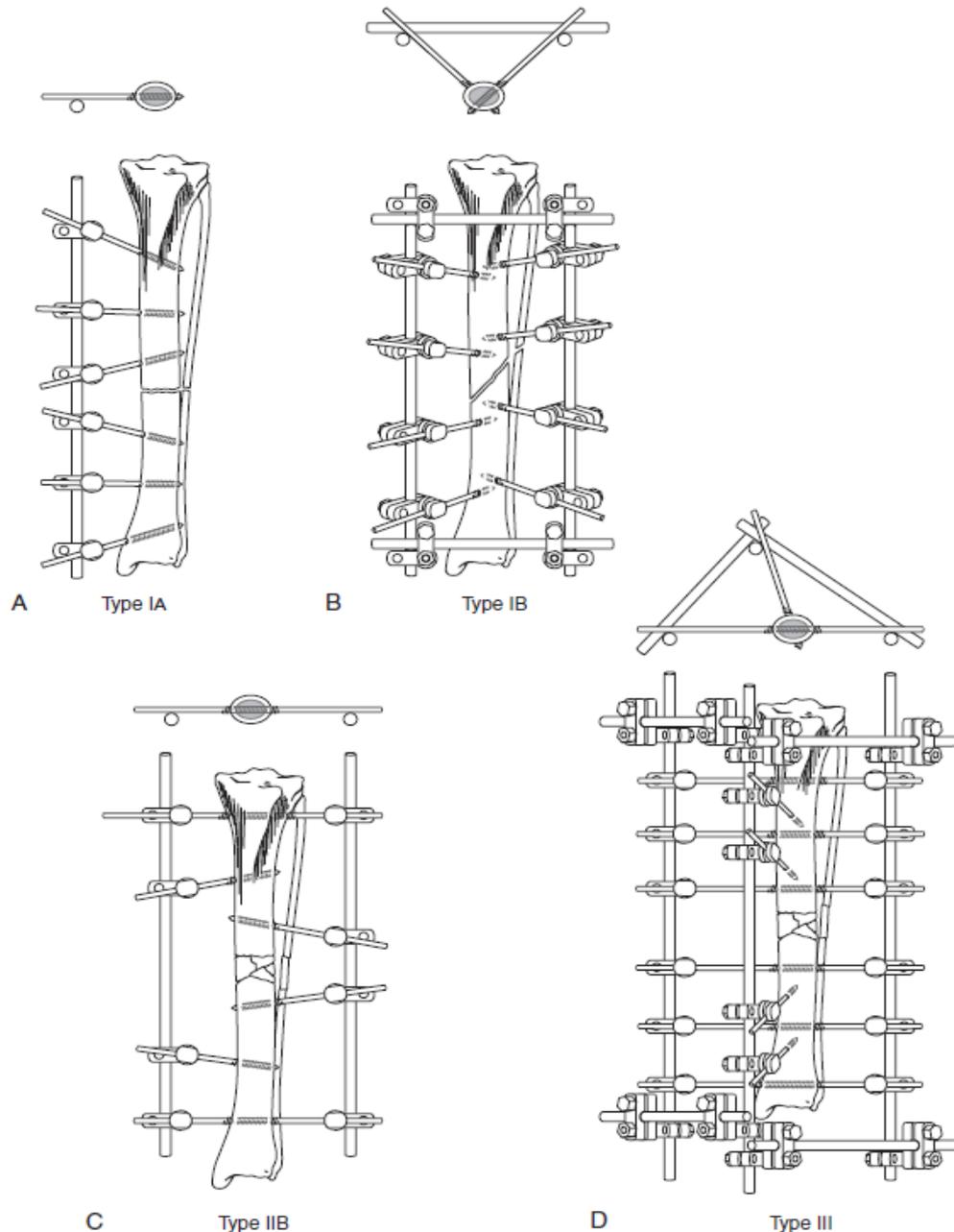


Figure 24 : Fixation externe de fractures diaphysaires du tibia. **A :** Type IA, hémifixation. **B :** Type IB, unilatéral et biplanaire. **C :** Type IIB, bilatéral et uniplanaire, avec des demi-broches centrales. **D :** Type III, biplanaire et bilatéral. (Repris d'après Piermattei et al., 2006)

(3) Avantages et inconvénients

(a) Avantages

Les fixateurs externes sont particulièrement utiles dans le traitement des fractures diaphysaires du tibia grâce à leur facilité de pose, leur versatilité et leur compatibilité avec d'autres systèmes de fixation interne. Un avantage majeur est la faible interférence avec les tissus mous, compatible avec les principes de l'ostéosynthèse biologique. (*Piermattei et al., 2006 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Cachon, 2015b*)

Ils sont également bien adaptés à la prise en charge des fractures ouvertes, car les segments osseux peuvent être immobilisés sans envahir ou placer de fixation métallique dans la zone contaminée. Ils permettent également de pouvoir accéder et soigner la plaie. L'absence d'abord chirurgical ne perturbe pas la vascularisation osseuse. (*Coughlan et al., 1998 ; Piermattei et al., 2006 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Cachon, 2015b*)

Ils sont ajustables, ce qui permet d'adapter ou de corriger le montage après la chirurgie, ce qui peut améliorer la cicatrisation osseuse et/ou permettre des modifications d'alignement durant les phases précoces de la cicatrisation dès que l'appui est possible. (*Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al., 2006*)

Enfin d'un point de vue plus général, ce sont des montages bien tolérés par les chiens et les chats, pouvant le plus souvent être retirés sous simple sédation et ils sont dans la plupart des cas d'un coût raisonnable. (*Coughlan et al., 1998 ; Piermattei et al., 2006 ; Cachon, 2015b*)

(b) Inconvénients

C'est un système encombrant, qui nécessite beaucoup de soins post-opératoires pour éviter toute infection, lyse osseuse et désolidarisation des broches. Il faut protéger le fixateur externe pour éviter de blesser l'animal et maintenir la rigidité. (*Cachon, 2015b*)

Des complications directement associées au système de fixation (irritation de la peau, infection le long de la broche, lyse osseuse, ostéomyélite, perte de broche, perte de mobilité de l'articulation du genou...) sont communes mais sont en général sans conséquences majeures pour l'animal si elles sont prises en charge ou anticipées. (*Coughlan et al., 1998 ; Piermattei et al., 2006 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Cachon, 2015b*)

c) La fixation par plaque : évolution de l'ORIF à l'OBDNT

(1) Matériel

Anatomiquement et mécaniquement, les ostéosynthèses par plaques peuvent être utilisées sur la quasi-totalité des fractures des os longs chez le chien et le chat. Elles sont cependant contre-indiquées lors de fracture ouverte de degré 3.

On rencontre différents types de plaques pour l'ostéosynthèse des os longs, des plaques avec ou non une compression dynamique (Dynamic Compression Plate, DCP ND) des fragments osseux et des plaques avec ou non verrouillage des vis et des plaques à compression et verrouillage des vis (Locking Compression Plate, ND DePuy Synthes). Elles sont typiquement appliquées sur la face de tension de l'os. (Coughlan et al., 1998 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al., 2006 ; Cachon, 2015b) Les plaques à compression dynamique peuvent être employées selon trois modes :

(a) Compression :

On réalise ainsi une compression axiale du trait de fracture par la mise en tension de la plaque. L'ensemble des forces est donc transféré à la fracture en assurant une compression inter fragmentaire. Ces plaques seront surtout utilisées sur des fractures simples non obliques. (Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al., 2006 ; Viateau, 2004 ; Cachon, 2015b)

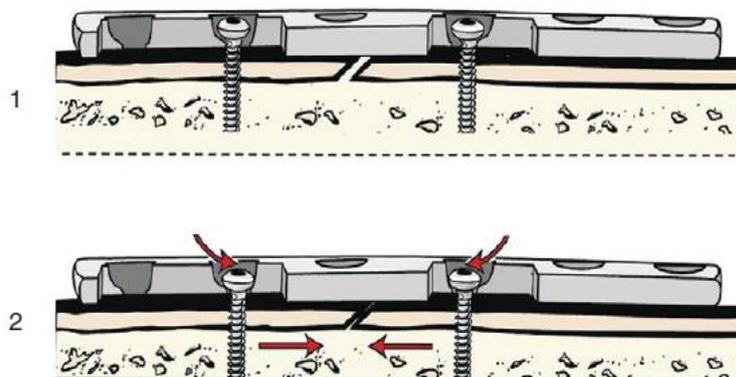


Figure 25 : Schéma illustrant le principe de compression. **1,** Les trous de la plaque DCP sont ovales. Si une vis est placée en fin de l'ovale, elle glissera vers le bas quand elle sera serrée. **2,** Les mouvements de la vis par rapport à la plaque entraînent le mouvement des fragments vers le centre. S'il y a contact, il y aura alors compression. (Repris d'après Tobias, Johnston, 2012)

(b) Neutralisation :

La plaque neutralise les forces de torsion, de flexion, de compression ou de distraction qui pourrait s'appliquer sur les bouts osseux au niveau du trait de fracture stabilisé. Les plaques utilisées en neutralisation sont indiquées lors de fractures obliques, spiroïdes ou comminutives réductibles. Les sollicitations subies par le foyer de fracture sont dans ce cas partagées par la plaque et l'os. (Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al., 2006 ; Viateau, 2004 ; Cachon, 2015b)

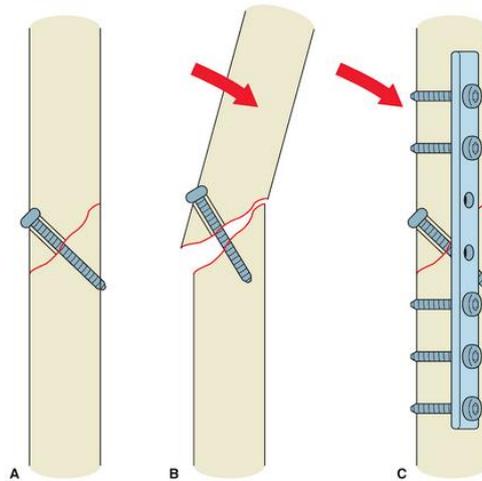


Figure 26 : Plaque de neutralisation. **A**, Vis interfragmentaire sans plaque. **B**, Vis interfragmentaire sans plaque avec application d'une force, résultant en l'échec du montage. **C**, Vis interfragmentaire associée à une plaque de neutralisation permettant de résister à la charge appliquée. (Repris d'après Browner et al., 2008)

(c) Soutien :

La plaque permet la fixation des deux bouts osseux en gardant la longueur et l'axe initiaux de l'os. Elle permet alors de compenser la perte d'un fragment d'os, et est utilisée dans les fractures comminutives. (Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al., 2006 ; Viateau, 2004 ; Cachon, 2015b)

Les avantages de ces implants sont d'être très résistant et de nécessiter une moindre manipulation des fragments osseux ainsi qu'une moindre dévascularisation. L'inconvénient est que la plaque absorbe toutes les forces exercées par la reprise de l'appui et le risque de se rompre par fatigue n'est pas moindre. (Piermattei et al., 2006 ; Viateau, 2004 ; Cachon, 2015b)

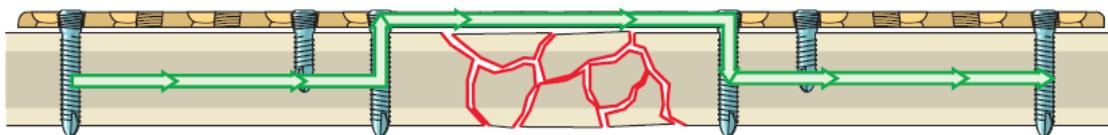


Figure 27 : Transfert de charge avec une plaque utilisée en soutien. Ainsi toute la charge passe par la plaque (Repris d'après Browner et al., 2008)

(2) L'ostéosynthèse à foyer ouvert

Initialement les principes de l'AO recommandaient une reconstruction anatomique précise des fractures avant de poser une plaque. Ceci nécessite une exposition chirurgicale importante et une manipulation des fragments osseux : il s'agit du concept l'ORIF (*Open Reduction and Internal Fixation*). Cette réduction anatomique de la fracture, ainsi que le contournement précis de la plaque, permettent d'obtenir une stabilité optimale après fixation, empêchant les micromouvements responsables de déformations.

Cependant l'exposition des fragments osseux entraîne des lésions vasculaires des tissus environnants et une désorganisation de l'hématome fracturaire qui dévitalisent les fragments osseux et retardent le processus cicatriciel. (Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al., 2006 ; Hudson et al., 2009)

Des complications plus importantes telles que les non unions de la fracture, septique ou non, des ostéomyélites, la formation de séquestres osseuses, et des débricolages de l'ostéosynthèse. La disparition de l'hématome fracturaire, la nécrose périostée multifocales sous plaque sont aussi associées à la dissection extensive des tissus mous. Tous ces éléments ont conduit au développement de la plaque LC-DCP, (Limited Contact Dynamic Compression Plate). Le contour de la surface inférieure de la plaque à placer au contact de l'os présente des encoches, ce qui a pour effet de limiter le contact avec l'os et ainsi de limiter l'impact sur la vascularisation périostée. De plus, la surface de chaque trou est un peu plus arrondie pour que les vis puissent être placées avec une angulation plus importante que sur une plaque DCP (cf. Fig. 29). (Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al., 2006 ; Hudson et al., 2009)

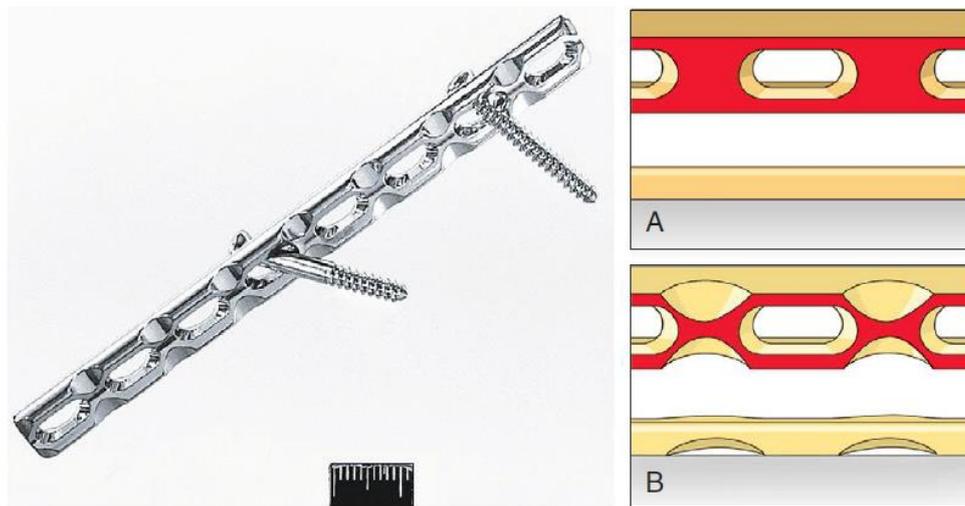


Figure 28 : A gauche : La plaque LC-DCP a une surface avec des encoches qui réduit l'aire de contact entre la plaque et l'os. A droite : **A**, Plaque DCP ; **B**, Plaque LCP. En rouge la surface de contact avec l'os (Repris d'après Browner et al., 2008)

Cette évolution dans le concept des plaques associé à la compréhension des bénéfices de la préservation de l'hématome fracturaire et de la vascularisation locale ont conduit à l'arrivée des plaques verrouillées. Ces plaques possèdent des trous filetés. Combinés à des vis dont la tête est aussi filetée, ils permettent le verrouillage des vis dans la plaque après serrage pour former un système monobloc. Cela forme un « fixateur externe interne », sans compression sur la face périostée. La plaque n'a pas ou peu besoin d'être ajustée à la surface de l'os et son contournement est minimal voire non nécessaire. L'absence de contact de la plaque au périoste limite son écrasement et préserve la vascularisation.

Certaines plaques ne sont que verrouillables (cf. Fig. 29 A, B, D et E), d'autres peuvent assurer la compression des bouts osseux et être verrouillables (cf. Fig. 29 C). Pour certains types de plaque LCP (ND Depuy Synthes), la géométrie caractéristique des trous permet le verrouillage et la compression, et le profil avec encoches de la surface interne de cette plaque présente un contact limité avec l'os. (Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al., 2006 ; Cachon, 2015b ; Hudson et al., 2009 ; Gautier, Sommer, 2003)

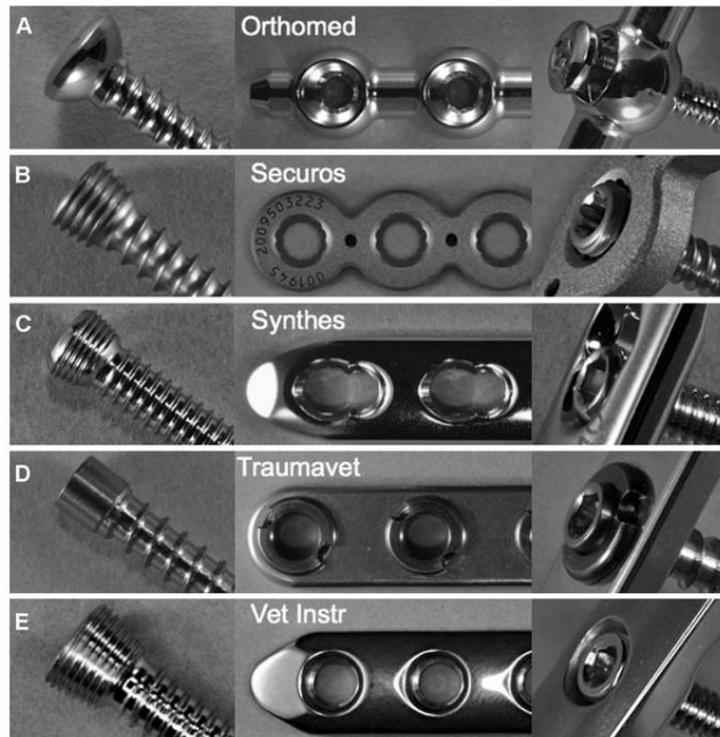


Figure 29 : Illustration de différentes plaques verrouillées. **A,** Orthomed SOP. **B,** Securos PAX. **C,** Synthes LCP. **D,** Traumavet Fixin. **E,** Veterinary Instrumentation stacked locking hole plate (E) (d'après (Boero Baroncelli et al., 2013))

Associée à l'apparition de ces plaques verrouillées, de nouvelles approches de l'ostéosynthèse ont émergé : l'ostéosynthèse biologique, à foyer ouvert puis à foyer fermé. (Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al., 2006 ; Hudson et al., 2009)

(3) Ostéosynthèse à foyer fermé

L'ostéosynthèse à foyer fermé se situe dans la continuité des recommandations de l'AO, qui préconisaient déjà un abord chirurgical minimal, voire absent, du foyer de fracture. Ses objectifs sont d'obtenir un alignement des deux bouts osseux dans les plans frontal et sagittal, une absence de torsion axiale et d'angulation, et un rétablissement de la longueur de l'os, sans obligation de mettre les deux bouts fracturaires en contact optimal. Ceci en respectant la vascularisation du foyer de fracture. La réussite de l'ostéosynthèse à foyer fermé repose sur quatre points clés : la réduction, la fixation, la préservation de l'apport sanguin, et la stabilité. (Tobias, Johnston, 2012 ; Piermattei et al., 2006 ; Palmer, 1999 ; Horstman et al., 2004 ; Pozzi, Lewis, 2009)

(a) Réduction et fixation :

La réduction se fait par manipulation des abouts osseux par un abord ménagé de chaque fragment principal. Les fragments sont mobilisés jusqu'à obtenir la longueur initiale, l'alignement correct des corticales et une absence de rotation. Une réduction adéquate doit permettre de retrouver des plans articulaires adjacents dans une orientation relative physiologique. (Palmer, 1999 ; Horstman et al., 2004) Le contrôle de la réduction peut se faire par palpation et évaluation visuelles des angles ou sous contrôle fluoroscopique

En cas d'incapacité à obtenir un bon alignement à foyer fermé, une petite incision chirurgicale limitée peut être pratiquée, pour faciliter ou contrôler la réduction. Après réduction, la plaque est fixée sur les abouts osseux sans fixation particulière des esquilles qui peuvent être repoussées sous la plaque et contre les abouts osseux. Les esquilles non fixées mais dans l'hématome fracturaire constituent un support précieux pour la cicatrisation. Elles doivent impérativement être laissées en place. Cette technique est appelée *Open But Do Not Touch* (OBDNT). (Tobias, Johnston, 2012 ; Cachon, 2015b ; Horstman et al., 2004)

La réduction sous contrôle fluoroscopique peropératoire permet de voir la qualité de la réduction, de la restauration de l'alignement, et de la position de l'implant. Ces techniques, en raison de l'exposition aux Rayons X pouvant être de durée beaucoup plus longue qu'une simple radiographie, demande une radioprotection très stricte de tous les intervenants présents dans le bloc opératoire. (Guiot, Déjardin, 2012)

Dans les segments distaux (et plus particulièrement pour le tibia), plusieurs repères anatomiques palpables sont accessibles et peuvent être utilisés pour déterminer la localisation et l'orientation des fragments, réduisant ainsi la nécessité de recourir à la fluoroscopie peropératoire. Cette technique manuelle de contrôle de réduction nécessite toutefois une expérience chirurgicale plus importante, et elle est responsable de plus de mal unions (rotation ou angulation anormale). (Guiot, Déjardin, 2012)

Avec une ostéosynthèse de soutien, l'implant le plus long possible est choisi, allant d'une articulation à l'autre. La fluoroscopie peropératoire permet de vérifier que des vis ne pénètrent pas dans la zone intra articulaire (cf. Fig. 30). Dans le cas des fractures diaphysaires, l'utilisation d'un tel matériel peut faciliter la reconstruction mais n'est pas nécessaire au succès de l'opération. De plus, dans le cadre des MIPO (Minimally Invasive Plate Osteosynthesis) sur lesquelles nous reviendrons dans la partie qui suit, la reconstruction anatomique n'est pas requise, il n'y a donc pas vraiment besoin de « voir » la diaphyse, et l'attention sera plus portée sur l'alignement des articulations voisines. (Guiot, Déjardin, 2012)

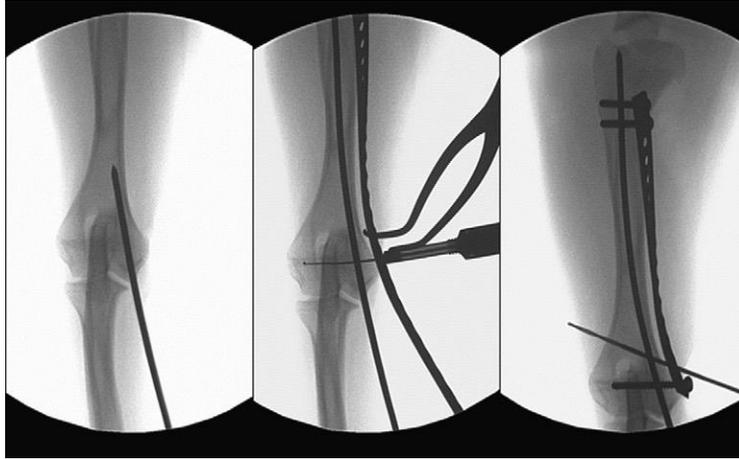


Figure 30 : Fluoroscopie peropératoire de la réparation d'une fracture humérale à l'aide d'une combinaison entre un clou et une plaque. **A,** Le clou est inséré de façon normograde ; **B, C,** La fluoroscopie est utilisée pour assurer un bon contournement de la plaque et un bon placement des vis. (Repris d'après Guiot, Déjardin, 2012)

Face à ces avantages pratiques et techniques pour le chirurgien, l'utilisation de la fluoroscopie peropératoire coûte chère et nécessite des mesures de radioprotection importantes lors de son utilisation notamment le port de protections individuelles intégrales (lunettes, gants, tabliers, protège-thyroïdes) ainsi que des mesures de contrôle d'exposition aux radiations et des mesures préventives visuelles dans les blocs opératoires. (Guiot, Déjardin, 2012)

(b) Préservation de l'apport sanguin

Afin d'obtenir une vitesse de cicatrisation optimale, l'ostéosynthèse à foyer fermé doit épargner les tissus mous entourant le foyer de fracture, pour maintenir la vascularisation locale. Cela permet de minimiser le traumatisme chirurgical et d'optimiser le processus de cicatrisation. (Tobias, Johnston, 2012 ; Horstman et al., 2004 ; Pozzi, Lewis, 2009)

(c) Stabilité

D'un point de vue mécanique, l'emploi d'une plaque de soutien longue fixée par 2 vis à chaque extrémité crée une structure plus souple qu'une plaque fixée par tous les trous. Ce type de montage autorise des micromouvements du site de la fracture et favorise la formation précoce du cal et une cicatrisation par seconde intention plus rapide. (Tobias, Johnston, 2012)

Pour respecter ces principes au mieux, une nouvelle méthode de fixation par plaque a été développée pour permettre à la plaque d'être appliquée via des petites incisions éloignées par rapport au site de la fracture. Celui-ci n'est donc pas exposé et très peu perturbé lors de la réduction. Cette technique a été nommée MIPO, ou fixation par plaque percutanée. (IGNA, SCHUSZLER, 2010)

C. La MIPO (Minimally Invasive Plate Osteosynthesis)

L'ostéosynthèse mini-invasive repose pour beaucoup sur la stratégie de pontage, avec une attention particulière à ce que l'approche chirurgicale soit distante du site de fracture et que la réduction de celle-ci soit indirecte. Eviter de manipuler les fragments intermédiaires permet de minimiser les traumatismes iatrogènes sur le périoste et les tissus mous adjacents, ce qui favorise une cicatrisation osseuse rapide. La MIPO met en jeu deux petites incisions cutanées sur la face médiale du tibia, l'une sur l'aspect proximal et l'autre sur l'aspect distal. Un tunnel est ensuite créé entre la surface périostée et les fascias musculaires la recouvrant, permettant la connexion entre les deux incisions. Une plaque, le plus souvent verrouillée, est ensuite glissée le long de la surface du tibia et des vis sont appliquées via les incisions. (Pozzi, Lewis, 2009 ; Schmökel et al., 2007 ; Tobias, Johnston, 2012 ; IGNA, SCHUSZLER, 2010 ; Boero Baroncelli et al., 2012 ; Pozzi et al., 2012 ; Guiot, Déjardin, 2011 ; Peirone et al., 2012)

1) Technique de mise en place

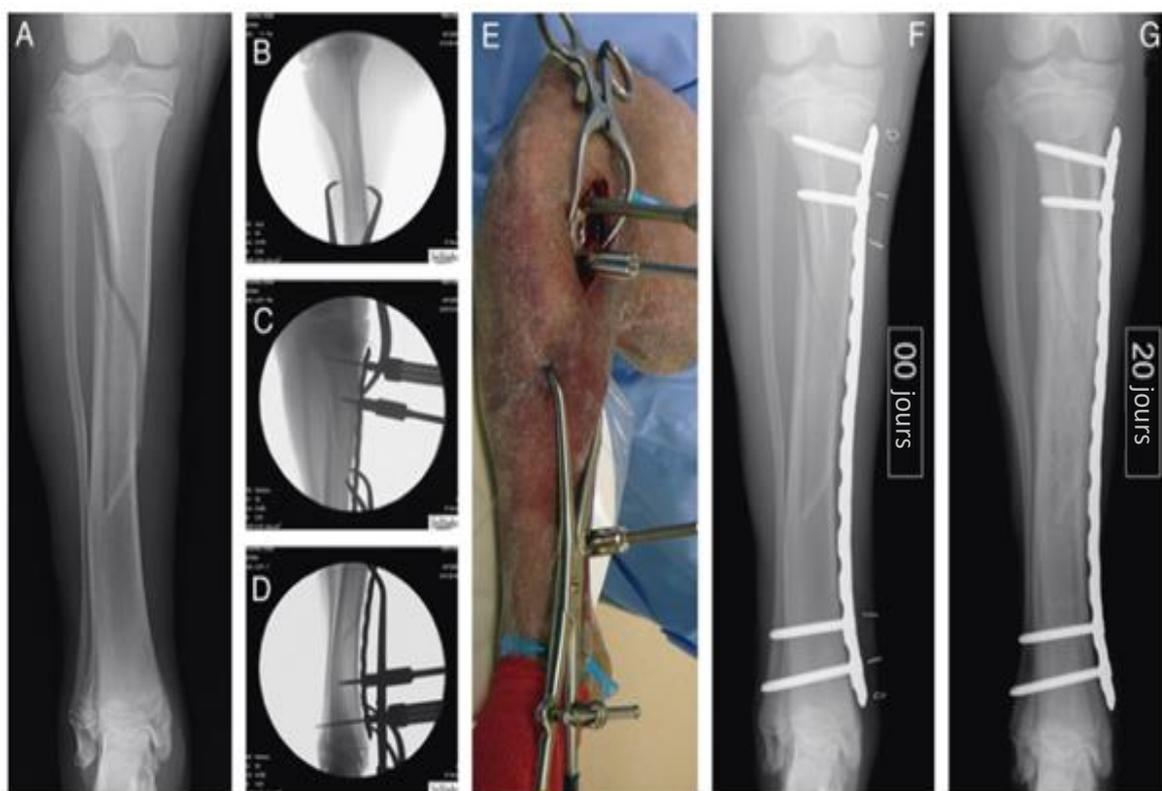


Figure 31 : Radiographies (A, F, G), images de fluoroscopie per-opératoire (B, D) et photographie per-opératoire (E) d'un Berger Allemand de 6 mois, pesant 28kg, avec une fracture tibiale diaphysaire spiroïdale (d'après L.P. Guiot et L.M. Desjardins)

a) Réduction

Des méthodes de réduction indirecte sont employées lors de la réalisation de MIPO, avec pour objectif de restaurer la longueur originelle du membre et de correctement aligner les segments fracturés. Les fragments intermédiaires sont laissés tels quel dans l'enveloppe de tissus mous. Les fragments vascularisés seront incorporés dans le cal lors de la cicatrisation.

Quelle que soit la technique de réduction utilisée, les manœuvres doivent être le plus atraumatiques possible pour les tissus mous et le périoste, pour préserver au maximum la vascularisation existante. (*Piermattei et al.*, 2006 ; *Hudson et al.*, 2009 ; *Schmökel et al.*, 2007 ; *Tobias, Johnston*, 2012 ; *IGNA, SCHUSZLER*, 2010 ; *Boero Baroncelli et al.*, 2012 ; *Pozzi et al.*, 2012 ; *Guiot, Déjardin*, 2011 ; *Peirone et al.*, 2012) Une faible perte de longueur ou un mauvais alignement modéré dans le plan sagittal n'affecteront pas la récupération fonctionnelle du patient, alors qu'un mauvais alignement dans le plan frontal ou axial peut sévèrement compromettre la fonction du membre. (*Peirone et al.*, 2012)

b) Abord chirurgical

Un abord médial du tibia est utilisé. Une incision linéaire est réalisée à 1cm du condyle médial du tibia et étendu distalement sur environ 3cm (cf. Fig. 31 E). En général, chaque incision cutanée doit permettre une exposition suffisante pour directement accéder à deux trous de la plaque. Les tendons des insertions des muscles sartorius, gracile et semi-tendineux sont incisés et écartés du tibia. La rétractation de ces muscles permet l'exposition de l'aspect médial du tibia proximal. Une incision cutanée de 2 à 4cm est faite au-dessus de l'aspect médial du tibia distal. Un tunnel épipériosté est développé sous la peau, en prenant soin d'éviter l'artère et la veine saphènes médiales. Une dissection mousse avec des ciseaux de Metzemaubum permet l'extension du tunnel du point proximal au point distal. (*Hudson et al.*, 2009 ; *Pozzi, Lewis*, 2009 ; *Schmökel et al.*, 2007 ; *Tobias, Johnston*, 2012 ; *Pozzi et al.*, 2012 ; *Guiot, Déjardin*, 2011)

c) Mise en place de la plaque

La plaque est insérée via l'une des incisions et glissée le long de la surface osseuse à travers le tunnel de tissus mous, jusqu'à ce que son extrémité soit visible dans la seconde incision. Des zones sûres ont été décrites par *Marti et Miller* (1994) pour éviter tout risque de lésions de la vascularisation ou de l'innervation. (*Piermattei et al.*, 2006 ; *Hudson et al.*, 2009 ; *Pozzi, Lewis*, 2009 ; *Schmökel et al.*, 2007 ; *Tobias, Johnston*, 2012 ; *IGNA, SCHUSZLER*, 2010 ; *Boero Baroncelli et al.*, 2012 ; *Pozzi et al.*, 2012 ; *Guiot, Déjardin*, 2011)

Faire glisser la plaque le long de l'os fracturé peut s'avérer difficile car elle peut être bloquée dans le site de fracture. Dans certaines fractures chroniques, le développement d'un cal important peut également rendre son passage compliqué. (*Pozzi, Lewis*, 2009)

Elle est ensuite fixée à l'aide de 2 à 4 vis bicorticales par segment majeur. Lors de fractures transverses, des vis additionnelles peuvent être insérées via des incisions plus proches du foyer de fracture (cf. Fig. 31 F). (*Piermattei et al.*, 2006 ; *Hudson et al.*, 2009 ; *Schmökel et al.*, 2007 ; *IGNA, SCHUSZLER*, 2010 ; *Boero Baroncelli et al.*, 2012 ; *Tobias, Johnston*, 2012 ; *Pozzi et al.*, 2012 ; *Guiot, Déjardin*, 2011)

d) Post opératoire

Un Robert Jones modifié est appliqué pendant plusieurs jours, et l'exercice est limité à un confinement à l'intérieur avec seulement des balades hygiéniques pendant 6 à 10 semaines. (*Hudson et al.*, 2009 ; *Schmökel et al.*, 2007 ; *Boero Baroncelli et al.*, 2012)

2) Avantages et inconvénients

a) Avantages

Ne nécessitant pas de réduction anatomique parfaite, la MIPO convient parfaitement à des fractures comminutives complexes, mais peut également s'appliquer à tous les types de fractures, exceptées les fractures articulaires ou simples, nécessitant une réduction parfaite et une compression inter fragmentaire importante, et les fractures ouvertes de type III. (Hudson *et al.*, 2009 ; IGNA, SCHUSZLER, 2010)

Lors d'ostéosynthèse mini-invasive, le site de fracture n'est pas chirurgicalement approché. Ceci permet de préserver l'hématome fracturaire et les artères de cette zone. Il y a donc préservation de la vascularisation périostée, ce qui contribue à une meilleure cicatrisation osseuse, avec une formation accélérée du cal. (Piermattei *et al.*, 2006 ; Hudson *et al.*, 2009 ; Schmökel *et al.*, 2007 ; Tobias, Johnston, 2012 ; IGNA, SCHUSZLER, 2010 ; Boero Baroncelli *et al.*, 2012 ; Pozzi *et al.*, 2012 ; Guiot, Déjardin, 2011) Ainsi, des fractures traitées par MIPO semblent guérir sensiblement plus vite, avec un retour à l'appui du membre plus rapide, que celles traitées par une reconstruction anatomique. (Hudson *et al.*, 2009 ; Schmökel *et al.*, 2007 ; Pozzi *et al.*, 2012 ; Guiot, Déjardin, 2011)

Les procédures mini-invasives comportent un risque de contamination plus faible que des procédures de reconstruction ouverte. Cela serait dû à une durée de chirurgie plus courte, à une diminution du potentiel de contamination peropératoire du site de fracture ainsi qu'à une atteinte iatrogène des tissus mous réduite. De plus, les incisions cutanées et la manipulation des segments osseux sont limitées, ce qui réduit la douleur post-opératoire. (Piermattei *et al.*, 2006 ; Hudson *et al.*, 2009 ; Schmökel *et al.*, 2007 ; IGNA, SCHUSZLER, 2010 ; Pozzi *et al.*, 2012 ; Guiot, Déjardin, 2011)

D'un point de vue mécanique, l'emploi d'une plaque de pontage crée une structure semi rigide qui autorise des micromouvements au niveau du site de la fracture, ce qui favorise la formation précoce d'un cal avec une cicatrisation par seconde intention et conduit à la diminution des déformations en regard du foyer de la fracture. Les plaques, grâce à leur longueur plus importante, réduisent également les contraintes individuelles sur chacune des vis. La stabilisation de la fracture nécessitera alors moins de vis pour être effective. (Hudson *et al.*, 2009 ; Schmökel *et al.*, 2007 ; Tobias, Johnston, 2012 ; Pozzi *et al.*, 2012 ; Peirone *et al.*, 2012)

b) Inconvénients

La MIPO peut être une technique difficile à apprendre et à appliquer. La sélection des cas doit être rigoureuse, car même s'il s'agit d'une technique assez versatile, elle ne doit pas pour autant être employée de façon systématique sans réflexion préalable. (*Piermattei et al., 2006 ; Hudson et al., 2009 ; IGNA, SCHUSZLER, 2010*)

Des défauts d'alignement sont la complication la plus fréquente. En effet, le site de fracture n'étant pas exposé, la visualisation directe de la réduction n'est pas possible. C'est pourquoi l'accès à de la fluoroscopie ou à des radiographies peropératoires facilitent grandement la procédure chirurgicale, malgré un temps opératoire plus long. (*Piermattei et al., 2006 ; Hudson et al., 2009 ; Schmökel et al., 2007 ; Tobias, Johnston, 2012 ; IGNA, SCHUSZLER, 2010 ; Pozzi et al., 2012 ; Guiot, Déjardin, 2011 ; Peirone et al., 2012*)

Enfin, même si une stabilité relative peut être considérée comme bénéfique pour une restauration précoce de la solidité de l'os, une flexibilité excessive peut conduire à des complications importantes comprenant notamment des ruptures d'implant ou des non unions. (*Guiot, Déjardin, 2011*)

PARTIE II : ETUDE RETROSPECTIVE

I. Matériel et méthode

L'objectif de cette étude rétrospective est d'étudier des patients souffrant d'une fracture diaphysaire du tibia traitée par une MIPO, les complications survenues lors de l'utilisation de cette technique ainsi que de chercher à déterminer si l'espèce (chien et chat) ou le type de fracture (simple ou complexe) ont une influence sur les résultats obtenus. L'ensemble des informations est extrait des dossiers médicaux des animaux : compte-rendus cliniques, images radiographiques et compte-rendus d'intervention chirurgicale issus de la banque de données de VetAgro-Sup en utilisant les logiciels Clovis et OsiriX.

A. Critères d'inclusion

L'étude a porté sur les chats et les chiens présentant une fracture diaphysaire du tibia traitée par MIPO, entre juillet 2009 et janvier 2018 à VetAgro Sup. Avec ces critères, il a été possible de recenser 18 cas.

B. Description des animaux et des fractures

L'étude des dossiers médicaux a permis de relever pour chaque animal : l'espèce, le sexe, s'il est entier ou non, l'âge en mois et le poids en kg. La cause des fractures est relevée, et chaque fracture est décrite selon la classification d'Unger (cf. Partie I : III. A. 5). La localisation de la fracture (répartie en diaphyse tiers proximal, tiers distal ou médio-diaphysaire), son type (simple, esquilleuse ou complexe) et le caractère ouvert ou fermé sont ainsi enregistrés.

C. Description de la méthode de stabilisation

Afin de décrire de façon précise le montage utilisé pour chaque patient, différents paramètres sont mesurés et calculés. Les paramètres permettant de décrire les caractéristiques mécaniques du montage sont d'une part la présence d'autres dispositifs et d'autre part le type de plaque utilisé. Concernant la plaque en elle-même, plusieurs paramètres seront étudiés : la taille, le rapport entre la longueur de la plaque et la longueur du site de fracture appelé PSW (*Plate Span Width*, cf. Fig. 32), le nombre de vis et de corticales engagées par plaque, le rapport entre le nombre de vis posées et le nombre de trous par plaque appelé PSD (*Plate Screw Density*), la longueur utile, correspondant à la distance entre les deux vis adjacentes au foyer fracturaire (cf. Fig. 32) et le nombre de trous laissés vides entre le trait de fracture et la 1^{ère} vis. Tous ces paramètres ont été mesurés sur la vue caudo-crâniale des radiographies postopératoires immédiates.

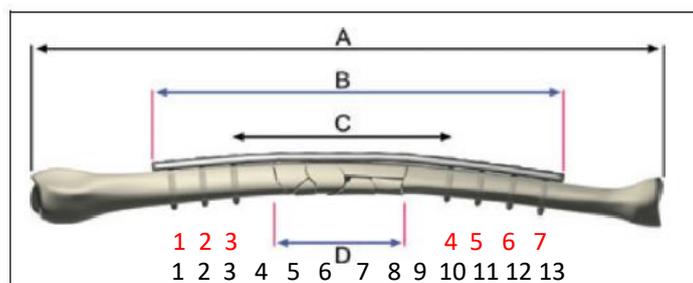


Figure 32 : Représentation des paramètres mesurés pour notre étude sur l'exemple d'un radius. **A** = Longueur de l'os ; **B** = Longueur de la plaque ; **C** = Longueur utile ; **D** = Longueur de la zone fracturée ; $PSW = B/D$; $PSD = \text{Nombre de vis} / \text{Nombre de trous de la plaque} = 7/13$ (d'après Pozzi et al., 2012)

D. Évaluation de l'évolution des patients

L'évaluation de l'évolution des patients est basée sur les informations de leurs dossiers médicaux ainsi que sur les suivis radiographiques. Les complications sont classées en deux groupes, les problèmes liés au montage et son installation et les complications qui n'y sont pas liées.

E. Analyse statistique

Les données ont été analysées à l'aide des logiciels Excel 2016 et R 3.5.1. Nous avons évalué les différences d'apparition de complications pour les différents paramètres étudiés, qui sont l'espèce, le sexe, l'âge, le poids, la cause de la fracture, sa localisation, son type, si elle était ouverte ou fermée, le type et la taille de la plaque utilisée, la présence d'autres dispositifs, le PSW, le PSD, le nombre de vis par plaque, le nombre de corticales engagées, le nombre de corticales par plaque, le nombre de trous vides entre le trait de fracture et la première vis et la longueur utile. Ces mêmes paramètres sont utilisés pour comparer les différences entre les chiens et les chats.

Le test de Fisher a été utilisé pour comparer des séries de valeurs lorsque les variables comparées puis testées sont deux variables qualitatives et le test de Wilcoxon permet de comparer deux séries de valeurs lorsqu'on souhaitait étudier l'association entre une variable binaire et une variable quantitative qui ne suivait pas une loi normale.

Dans la mesure où nous serons amenés à effectuer plusieurs tests statistiques à partir de la même matrice de données, nous devons nous interroger sur la pertinence des résultats. Plusieurs méthodes correctives existent telle que la correction de Dunn-Sidak, que nous utiliserons ici et qui donne le seuil de significativité pour la variable utilisée α_t :

$$\alpha_t = 1 - (1 - \alpha_G)^{1/c}$$

Avec α_G fixé à 5%, et c le nombre de tests effectués.

II. Résultats

A. Description des animaux

18 fractures diaphysaires du tibia chez 12 chiens et 6 chats ont été stabilisées par ostéosynthèse mini-invasive par plaque entre juillet 2009 et janvier 2018, à VetAgro Sup. L'annexe 5 fournit un récapitulatif complet des données des patients.

1) Sexe des animaux

Les mâles sont plus nombreux que les femelles, 13 mâles (72,2%) pour 5 femelles (27,8%), dont respectivement 3 et 2 stérilisés, comme le montre la figure 33.

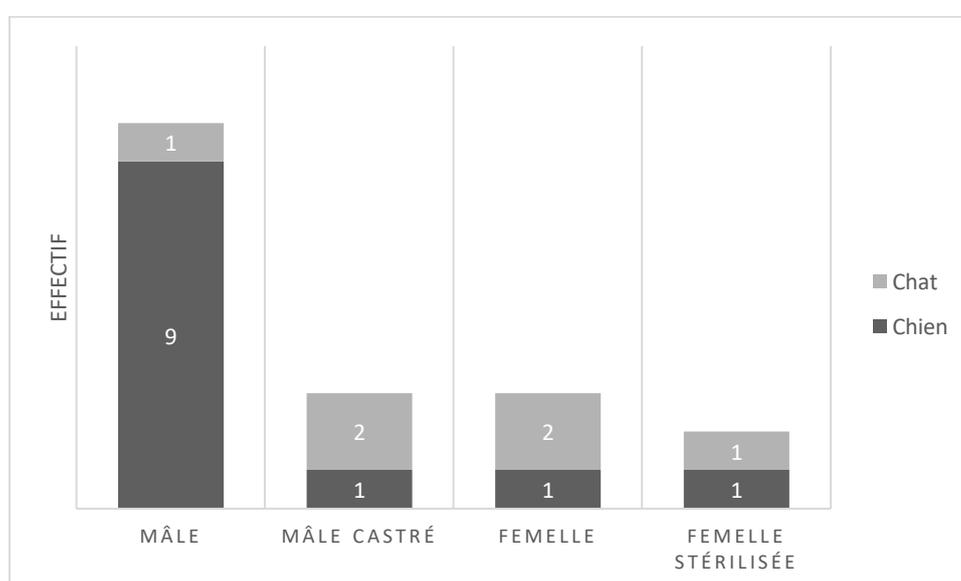


Figure 33 : Répartition des cas selon leur sexe et leur état de stérilisation

2) Âge des animaux

Les patients sont âgés de 4 mois à 9 ans et 11 mois, avec une médiane de 22 mois [11-63] et dont la répartition est montrée sur la figure 28. Une majorité de jeunes animaux constitue notre effectif, avec 75 % des animaux qui ont moins de 5 ans avec un pic pour les animaux ayant moins de 2 ans (cf. Fig. 34).

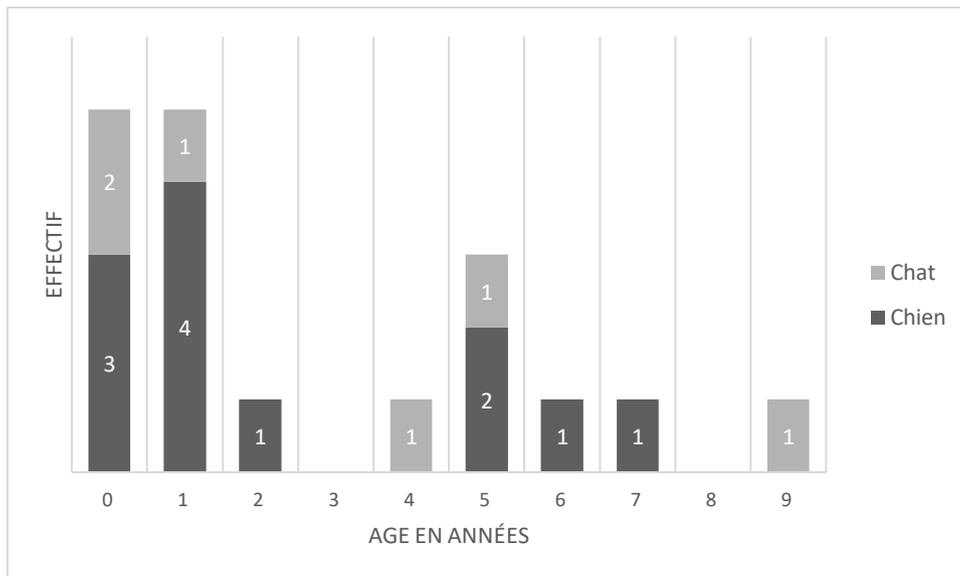


Figure 34 : Répartition des cas selon leur âge

3) Poids des animaux

Le poids des animaux varie de 6,8 à 45,4 kg pour les chiens et de 2,0 à 11,0 kg pour les chats, avec une moyenne globale de 20,4 kg \pm 7,2. La moyenne pour les chats est de 5,1 kg \pm 2,6kg et pour les chiens de 28,1 kg \pm 7,0. La répartition pour les autres est montrée sur la figure 35.

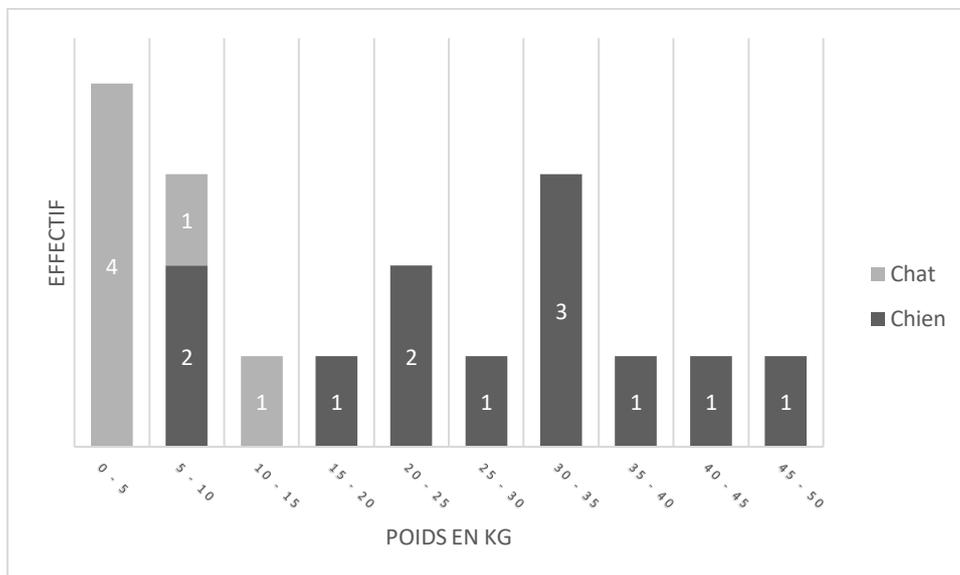


Figure 35 : Répartition des cas selon leur poids

B. Description des fractures

1) Cause de fracture

Les animaux présentent des fractures après des traumatismes subis lors de chutes par la fenêtre ou par-dessus un rebord (9 cas), ou d'accidents de la voie publique (AVP) (6 cas). Parmi les cas restants, il y a un accident de chasse, un choc lors d'une phase de jeu, et un échec de contention antérieure. La répartition de ces différentes causes est représentée sur la figure 36.

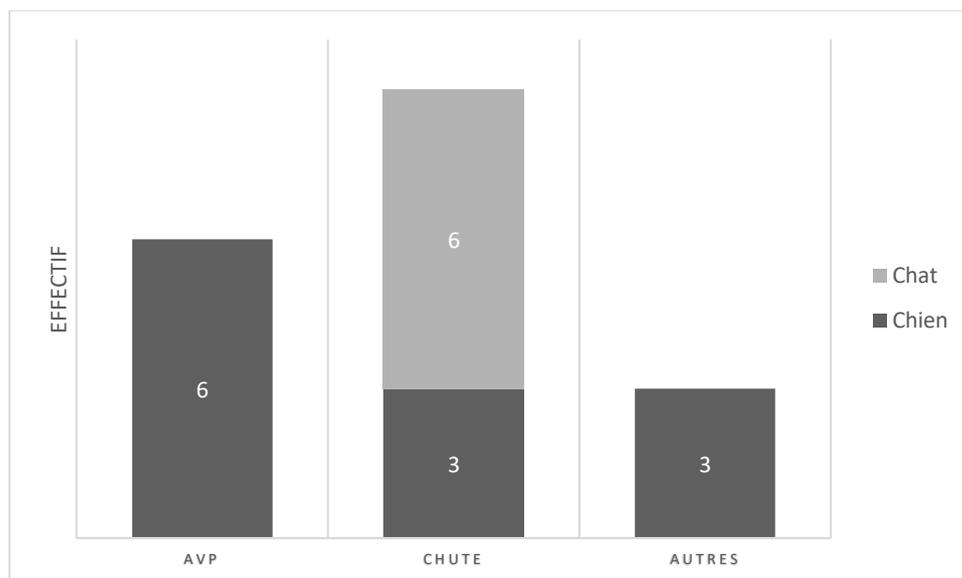


Figure 36 : Répartition des cas selon la cause de la fracture

2) Localisation de la fracture

Pour les 18 fractures de cette étude, 4 concernent le tiers proximal, 12 sont médio-diaphysaires et 1 se localisent dans le tiers distal de la diaphyse. La dernière fracture concerne à la fois la partie médio diaphysaire et le tiers distal. La répartition des localisations des fractures est présentée dans la figure 37.

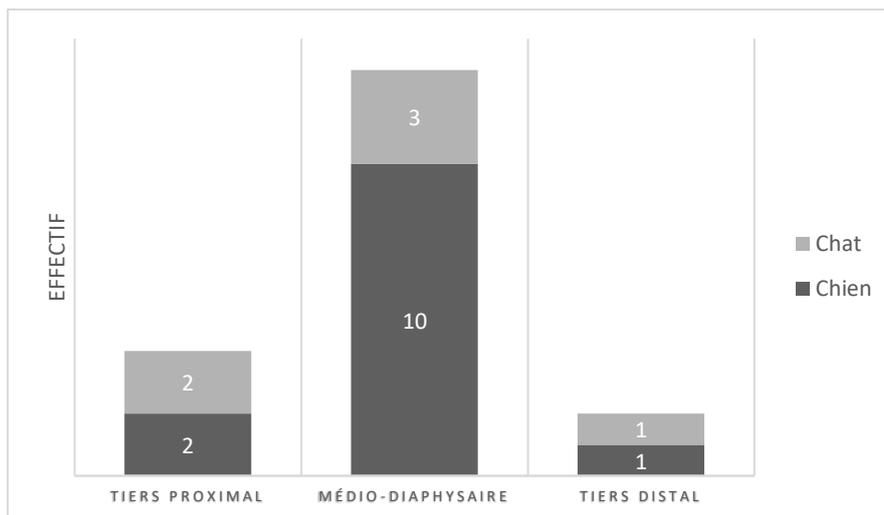


Figure 37 : Répartition des cas selon la localisation de la fracture

3) Type de fracture

Comme spécifié en première partie, la classification d’Unger (cf. Fig. 19) est utilisée pour typer les différentes fractures de cette étude.

Ainsi, parmi les 18 fractures étudiées, 4 sont simples, 1 est esquilleuse et 13 sont complexes, soit respectivement 22 % et 6% et 72% des cas. La figure 38 représente la répartition des types de fracture présents dans l’étude.

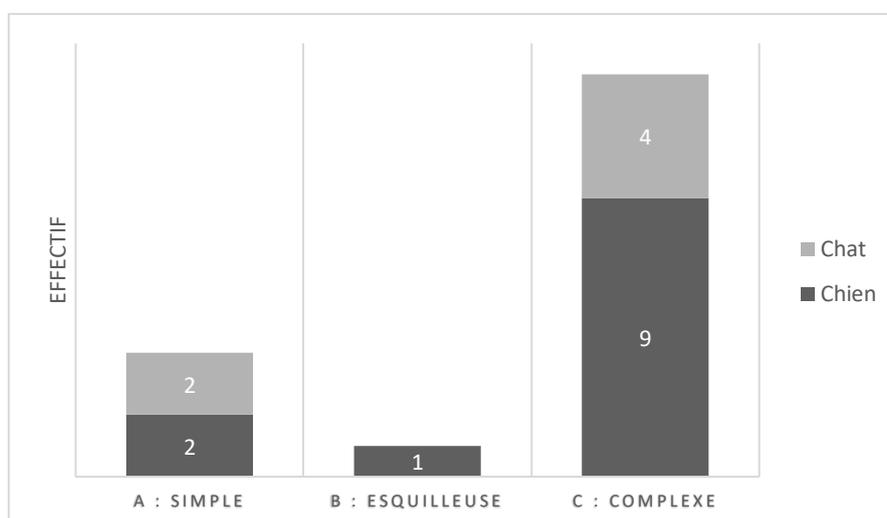


Figure 38 : Répartition des cas selon le type de la fracture

4) Fracture ouverte ou fermée

Dans cette étude, 2 fractures chez 2 chiens sont ouvertes et de grade 2, ce qui représente 10,5 % des fractures. Une antibiothérapie composée d’amoxicilline / acide clavulanique à 20 mg/kg BID pendant 3 semaines est mise en place dans le premier cas (Walk, cas n°3), composée de céfalexine à 20 mg/kg pendant 2 semaines dans le second (Bambi, cas n°9).

C. Description de la méthode de stabilisation

1) Caractéristiques mécaniques du montage

a) Type de plaque

Le type de plaque utilisé principalement (77,8% des cas) est la plaque LCP. Les autres types rencontrés sont des plaques DCP, VCP (Veterinary Cuttable Plate) et PAX (plaque d'ostéosynthèse Poly AXiale), respectivement utilisés dans 11,2 %, 5,5% et 5,5% des cas. La figure 39 rassemble ses informations.

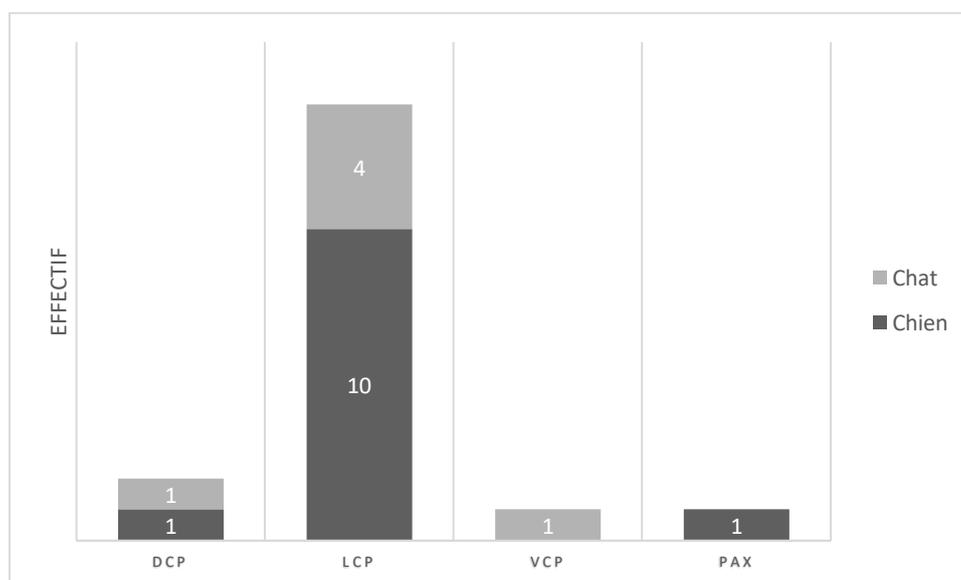


Figure 39 : Répartition des cas selon le type de plaque utilisé lors de l'ostéosynthèse

b) Présence d'autres implants

Parmi les 18 fractures traitées, 6 (30,0%) possèdent un dispositif en plus de leur plaque, et chez 4 chiens et 2 chats. De plus, il s'agit systématiquement de fractures comminutives (C1, C2 et C3 selon la classification d'Unger). Ces dispositifs sont : 5 clous centromédullaires (Corben, cas n°8 ; Lafayette, cas n°17 ; Loki, L17-9847 cas n°18 ; Diva, cas n°10 et Gaya, cas n°12) et 1 cerclage (Ufo, cas n°4).

2) Caractéristiques liées à l'implant

a) Taille de la plaque

Dans cette étude, les fractures ont été traitées avec des plaques dont la largeur allait de 2.0 mm (11,1%) à 3.5 mm (55,6%), en passant par des plaques 2.4 (27,8%) et une plaque 2.7 (5,5%) comme cela est présenté sur la figure 40.

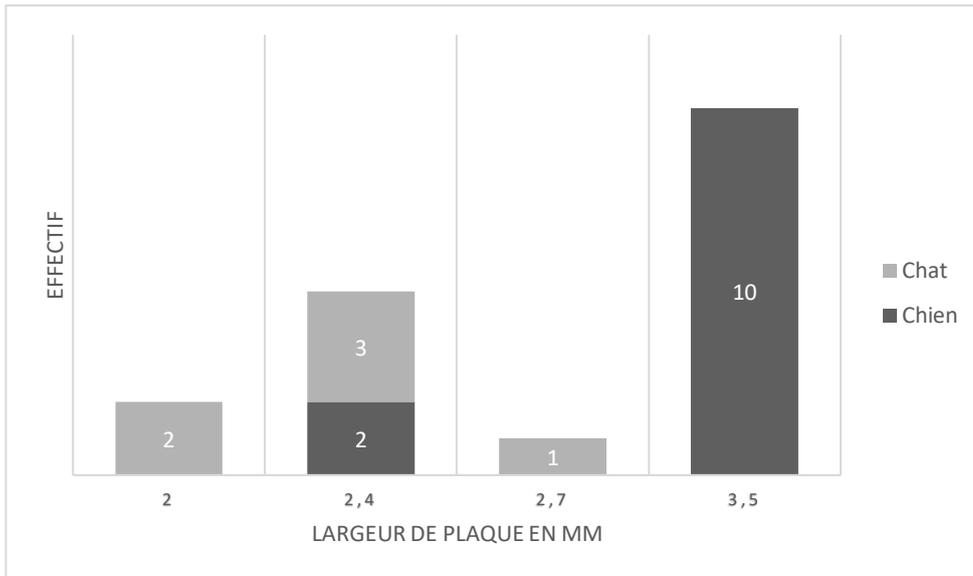


Figure 40 : Répartition des cas selon la largeur de la plaque utilisée

b) Rapport entre la longueur de la plaque et la longueur de la fracture = PSW

Le PSW varie de 1,93 et 9,86, avec une médiane de 3,38 [2,87 – 4,19]. L'ensemble des résultats est présenté sur la figure 41.

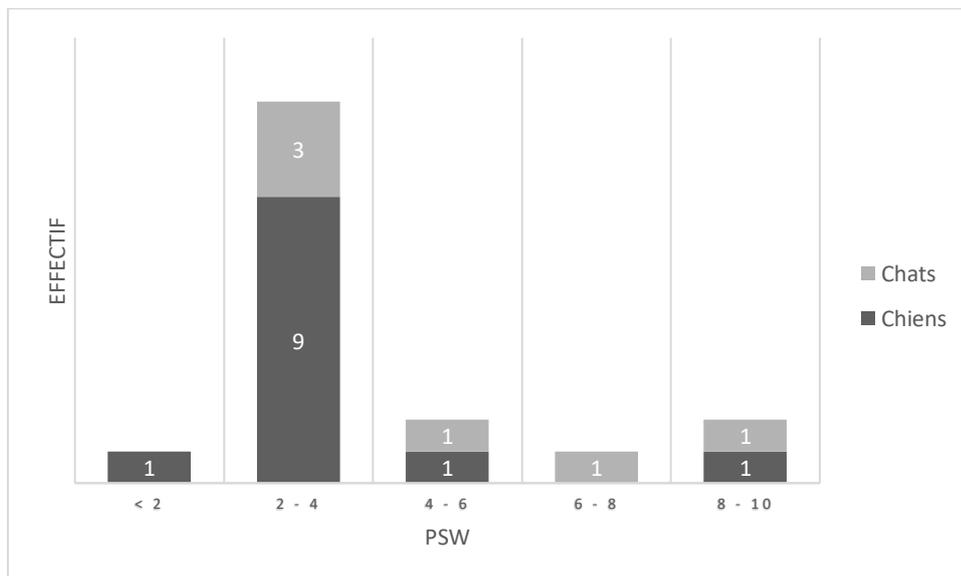


Figure 41 : Répartition des cas selon le PSW

c) Nombre de vis et de corticales engagées par plaque

Parmi les 18 fractures de cette étude, il y a 4 à 7 vis insérées par plaque, avec une médiane de 5 vis [4-6]. Les vis engagent entre 7 et 13 corticales par plaque, avec une médiane de 10 corticales [8 - 12].

En regardant plus précisément chaque fragment d'os, il y a entre 2 et 4 vis insérées par fragment, avec une médiane de 3 vis [2-4] qui engagent 4 à 7 corticales par fragment, avec une médiane de 6 corticales [3-6].

d) Rapport entre le nombre vis et le nombre de trous = PSD

Les plaques utilisées ont de 9 à 20 trous, quelle que soit leur taille. Après calculs, on obtient un PSD compris entre 0,25 et 0,64, avec une médiane de 0,41 [0,36-0,47]. La figure 42, regroupe ces résultats.

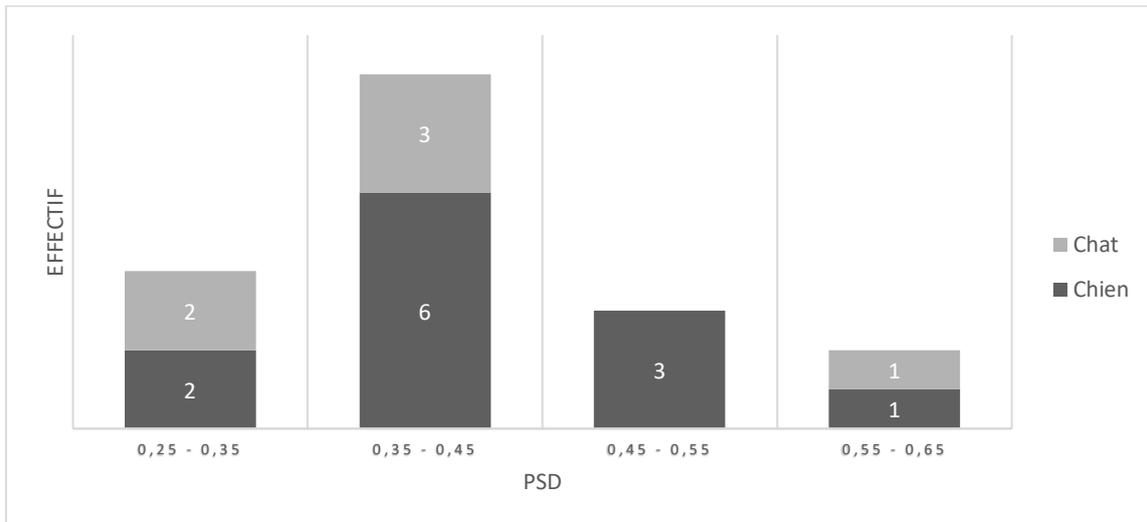


Figure 42 : Répartition des cas selon le PSD

e) Longueur utile et nombre de trous laissés vides

Le nombre de trous laissés vides entre la zone de fracture et la première vis est évalué. Celui-ci varie de 2 à 5 trous, avec une médiane de 3 [2,75 – 4]. De même, la longueur utile, correspondant à la longueur laissée vierge de vis autour de la fracture, est mesurée sur les radiographies de face à l'aide du logiciel OsiriX. Celle-ci varie de 4,35 à 13,89 cm, avec une médiane de 8,00cm [5,73 – 10,78]. Ces valeurs sont intéressantes à prendre en compte dans le cadre de potentielles complications comme les plaques pliées, puisqu'une diminution de la longueur utile entraîne une concentration des contraintes localement en regard du foyer de fracture et donc augmente le risque de rupture de l'implant (cf. Fig. 43 et II. D. 2) Complications).

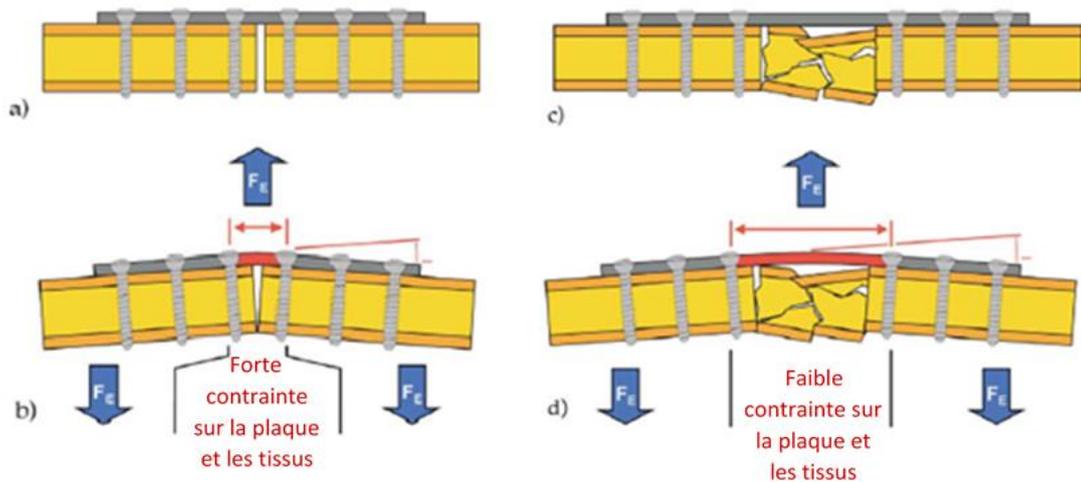


Figure 43 : Les déformations de la plaque lorsqu'elle est contrainte. **(a, b)** Quand le segment sous contrainte est court, la déformation relative est importante et l'implant est plus susceptible de se rompre. **(c, d)** Quand la plaque couvre une zone plus grande lors de fracture comminutive, les mêmes forces exercées conduiront à une angulation similaire mais la déformation est répartie sur une plus grande distance, ce qui diminue les risques de rupture. (Repris d'après Gautier, Sommer, 2003)

f) Alignement des plan frontaux et sagittaux

Ces deux alignements sont évalués systématiquement à l'aide de clichés radiographiques du membre controlatéral, qui permet d'avoir une image du membre sain. Les mesures sont prises et reportées sur les clichés post-opératoires pour vérifier que l'alignement est satisfaisant après réduction de la fracture (cf. Fig. 44).

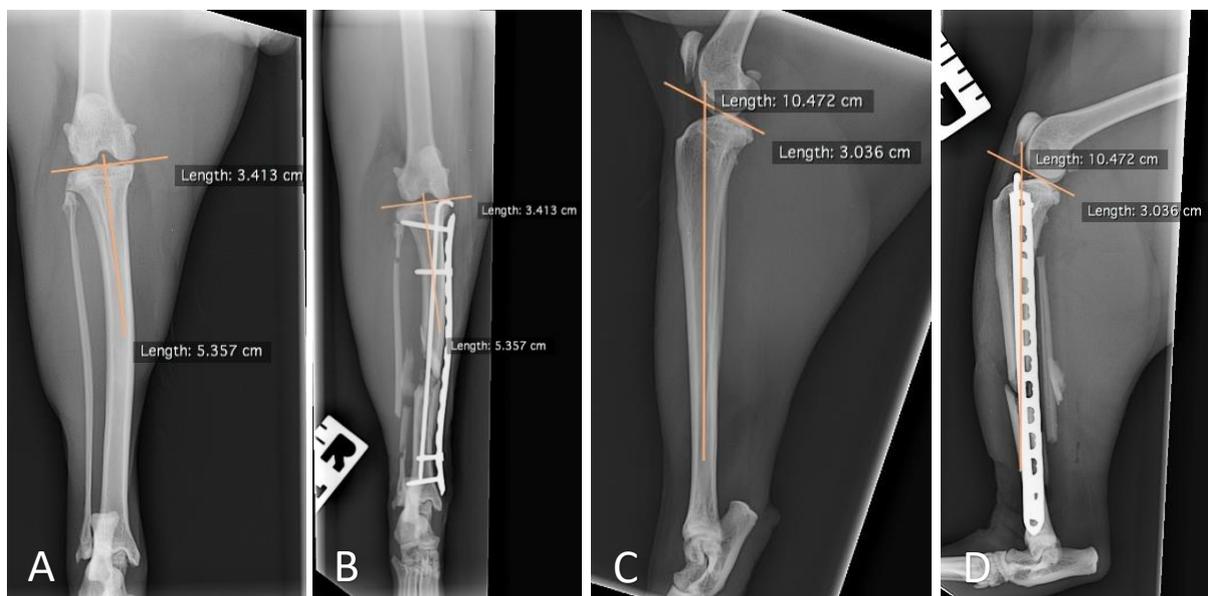


Figure 44 : Corben cas n°8 : Exemple de prise de mesure pour la restauration de l'alignement. Fracture complète, spiroïde, comminutive et médio-diaphysaire du tibia droit. **A**, Vue caudo-crâniale du membre controlatéral ; **B**, Vue caudo-crâniale postopératoire ; **C**, Vue médio-latérale du membre controlatéral ; **D**, Vue médio-latérale postopératoire

D. Présentation des complications

Parmi les 18 animaux étudiés, 4 n'ont plus été vus après l'opération. Deux clients ont changé de numéro et n'ont donc plus été joignables, les deux autres n'ont pas voulu répondre à nos sollicitations. Ils ont donc été retirés de l'étude pour cette partie.

Des complications sont survenues pour 5 des 14 fractures restantes, soit un taux de complication de 35,7 %. Parmi ces 5 complications, 4 sont classées comme des problèmes de montage, soit 28,6 % des fractures étudiées, avec un cas de rupture de plaque, deux cas de plaques pliées, et un cas de dévissage d'une vis. La dernière complication est un cas de non union et représente 7,1 % des fractures.

Les complications ont été observées entre 7 jours et 8 mois après la chirurgie, avec une médiane de 15 jours [10 – 198,5]. Les complications liées au montage ont été observées entre 7 jours et 153 jours après la chirurgie, avec une médiane de 14 jours. Néanmoins, les suivis radiographiques n'ayant pas été réalisés aux mêmes dates pour chaque animal, ces résultats n'indiquent pas forcément le moment de survenue de la complication, mais seulement le moment où elle a été prise en compte par le clinicien. Le tableau II détaille ces complications et les corrections qui ont été mises en place. Excepté pour 1 cas où la mesure corrective a été refusée, toutes les complications ont été résolues après un traitement approprié.

Tableau II : Présentation des complications et des corrections associées

Dossier	Nom	Complications	Corrections
L09-9749	Walk	Plaque tordue	Nouvelle plaque proposée
L12-1713	Corben	Non-union	Grefte os spongieux
L12-2366	Bambi	Plaque tordue	Nouvelle plaque + ECM
L14-2403	Tyson	Plaque cassée	Pose d'une résine
L17-9847	Loki	Dévissage vis + angulation	Retrait vis

1) Plaque cassée (n = 1)

Tyson, cas n°15, est un chien Rottweiler mâle non castré d'1 an et demi pesant 39,2kg. Après un saut en balade, il retombe mal, ce qui est responsable d'une fracture bifocale comminutive spiroïde, s'étendant en partie médio-diaphysaire et sur le tiers distal du tibia gauche (cf. Fig. 46 A et B). Une plaque LCP 3.5 de 12 trous, avec trois vis verrouillées proximales bicorticales et trois vis, dont une verrouillée, distales bicorticales, est utilisée pour traiter cette fracture (cf. Fig. 46 C et D).

13 jours plus tard, Tyson est présenté en urgence car la plaie suinte et il présente une boiterie du membre pelvien gauche. L'analyse de l'exsudat conclut à la présence de pus septique. Des radiographies de contrôle sont effectuées et mettent en évidence une fracture de la plaque LCP (cf. Fig. 46 E et F). Des attelles et un pansement Robert Jones sont mis en place après nettoyage et désinfection de la plaie, associé à un traitement adapté (Amoxicilline et acide clavulanique 12,5 mg/kg BID PO 15 jours ; Meloxicam 0,1 mg/kg SID PO 15j ; Tramadol 2mg/kg BID 5 jours au besoin).

Un nouveau contrôle prévu 3 jours plus tard, en vue d'une nouvelle intervention ou de la pose d'une résine en fonction de l'évolution de la cicatrisation osseuse. Lors de ce contrôle, le choix est fait de poser une résine pour permettre la poursuite de la cicatrisation osseuse (cf. Fig. 46 G et H). Cette dernière a pu se faire normalement, mais des plaies de nécrose sont notées 15 jours après la révision.



Figure 45 : Tyson, cas n°15 : Fracture bifocale comminutive spiroïde du tibia gauche, s'étendant en partie médio-diaphysaire et sur le tiers distal. **A,** Vue caudo-crâniale ; **B,** Vue médio-latérale ; **C,** Vue caudo-crâniale postopératoire ; **D,** Vue médio-latérale postopératoire ; **E,** Vue caudo-crâniale après 15 jours (plaque cassée) ; **F,** Vue médio-latérale après 15 jours (plaque cassée) ; **G,** Vue caudo-crâniale après mise en place de la résine ; **H,** Vue médio-latérale après mise en place de la résine.

2) Plaque pliée (n = 2)

Walk, cas n°3, est un chien mâle Braque Allemand non castré âgé de 5 ans, présenté en consultation d'urgence pour une fracture du tibia gauche. Il s'agit d'une fracture ouverte de grade 2, complète, comminutive, médio-diaphysaire avec présence d'esquilles osseuses du tibia gauche (cf. Fig. 48 A et B). Une plaque LCP 3,5 mm de 15 trous est mise en place, fixée par 3 vis bicorticales dans le fragment distal et 3 vis bicorticales dans le fragment proximal, toutes verrouillées (cf. Fig. 48 C et D).



Figure 46 : Walk cas n°3 : Fracture ouverte de grade 2, complète, comminutive, médio-diaphysaire avec présence d'esquilles osseuses du tibia gauche. **A,** Vue caudo-craniale ; **B,** Vue médio-latérale ; **C,** Vue caudo-crâniale postopératoire ; **D,** Vue médio-latérale postopératoire ; **E,** Vue caudo-craniale après 15 jours (plaque pliée) ; **F,** Vue médio-latérale après 15 jours (plaque pliée).

Lors du retrait des points 15 jours après, le membre pelvien gauche de Walk présente une angulation, localisée en regard de la plaque. Une radio de contrôle est alors réalisée (cf. Fig. 48 E et F). Suite à cela, le retrait de la plaque et l'installation d'une nouvelle plaque LCP est proposée aux propriétaires, qui refusent l'intervention. Un contrôle est prévu la semaine suivante mais les propriétaires décident de ne pas venir. Aucune autre information complémentaire n'est disponible concernant ce cas.

Bambi, cas n°9, est un chien Caniche mâle non castré de 6 ans pesant 6,2kg, présenté en consultation d'urgence pour fracture du tibia droit suite à un AVP. Il présente une fracture ouverte de grade 2, complète, comminutive, médio-diaphysaire du tibia droit (cf. Fig. 47 A et B). Une plaque LCP 2.4 de 12 trous est utilisée, avec trois vis proximales et trois vis distales, toutes bicorticales et verrouillées (cf. Fig. 47 C et D).

La semaine d'après, les propriétaires de Bambi le ramènent en consultation après plusieurs sauts, à la suite desquels il présente une angulation du membre pelvien droit. Des clichés radiographiques sont alors réalisés, et une angulation de la plaque est décelée (cf. Fig. 47 E et F).

La cicatrisation osseuse n'étant pas très avancée et l'angulation étant importante, une reprise a été nécessaire. Ainsi la plaque pliée a été retirée et un nouveau montage a été mis en place. Ce-dernier se compose d'une plaque LCP 2.4, fixée à l'aide de 2 vis verrouillées bicorticales dans l'about proximal et de 3 vis verrouillées, 2 bicorticales et 1 monocorticale, dans l'about distal, ainsi que d'un clou centro-médullaire de 2.0 (cf. Fig. 47 G et H).

Après cette révision de chirurgie, la cicatrisation a pu se faire normalement et sans conséquence pour l'animal. Après 3 mois, le clou centro-médullaire a été retiré, le reste du montage étant laissé en place (cf. Fig. 47 I et J).



Figure 47 : Bambi, cas n°9 : Fracture complète comminutive médio-diaphysaire du tibia droit. **A,** Vue caudo-crâniale ; **B,** Vue médio-latérale ; **C,** Vue caudo-crâniale postopératoire ; **D,** Vue médio-latérale postopératoire ; **E,** Vue caudo-crâniale après 7 jours (plaque pliée) ; **F,** Vue médio-latérale après 7 jours (plaque pliée) ; **G,** Vue caudo-crâniale après révision ; **H,** Vue médio-latérale après révision ; **I,** Vue caudo-crâniale 3 mois après révision (AMO) ; **J,** Vue médio-latérale 3 mois après révision (AMO).

3) Dévissage (n = 1)

Loki, cas n°18 est un chien mâle entier Cane corso de 2 ans pesant 45,4kg. Après un AVP, Loki arrive en urgence à l'école vétérinaire de Lyon. Il présente une fracture spiroïde comminutive médio-diaphysaire du tibia gauche (cf. Fig. 49 A et B). Une plaque LCP 3.5 de 13 trous est utilisée pour l'ostéosynthèse, fixée à l'aide de trois vis proximales et trois vis distales, toutes bicorticales. Un clou centro-médullaire de 2,5 mm de diamètre est également mis en place (cf. Fig. 49 C et D)



Figure 48 : Loki, cas n°18 : Fracture spiroïdale comminutive médio-diaphysaire du tibia gauche. **A,** Vue caudo-crâniale ; **B,** Vue médio-latérale ; **C,** Vue caudo-crâniale postopératoire ; **D,** Vue médio-latérale postopératoire ; **E,** Vue caudo-crâniale lors du contrôle à 1 mois ; **F,** Vue médio-latérale lors du contrôle à 1 mois ; **G,** Vue caudo-crâniale lors du contrôle à 5 mois (vis dévissée) ; **H,** Vue médio-latérale lors du contrôle à 5 mois.

Lors d'un suivi radiographique à 5 mois postopératoire, la vis la plus distale est presque entièrement dévissée (cf. Fig. 49 G et H). Les propriétaires rapportaient alors un gonflement à ce niveau ainsi qu'une douleur à la palpation. Vu l'évolution favorable de la cicatrisation osseuse, la vis a été retirée.

On note de plus une angulation de la plaque associée à un valgus de 15° du membre (cf. Fig 49 G), conséquence d'une mal-union de la fracture. En effet, Loki présentait en plus une fracture ouverte de grade 2 sur le tarse contro-latéral, traitée avec une attelle, le conduisant à reporter son poids sur son membre gauche. Malgré cela, Loki a repris une démarche normale sans boiterie.

4) Non-union (n = 1)

Corben, cas n°8 est un chat européen mâle castré de 5 ans, pesant 6 kg, présenté en urgence suite à une chute du 3ème étage. Il présente une fracture complète, spiroïde, comminutive et médio-diaphysaire du tibia droit (cf. Fig. 50 A et B). Une plaque LCP 2.4 de 13 trous est utilisée pour l'ostéosynthèse, fixée à l'aide de deux vis proximales bicorticales et deux vis distales, une bicorticales et une monocorticale. Un clou centro-médullaire de 1.8 mm de diamètre est également mis en place (cf. Fig. 50 C et D)

Les suivis radiographiques réalisés à 1 mois (cf. Fig. 50 E et F), 2mois (cf. Fig. 51 G et H), 5 mois (cf. Fig. 51 I et J) et 8 mois (cf. Fig. 51 K et L) après l'opération montrent tous un retard de cicatrisation osseuse marqué. La décision est alors prise d'avoir recours à une greffe d'os spongieux pour compenser ce retard. Des forages ont été réalisés afin de réactiver le site fracturaire et de l'os spongieux a donc été prélevé au niveau du tibia proximal droit et sur le tibia gauche pour pouvoir combler la lacune fracturaire (cf. Fig. 51 M et N).

Suite à cette greffe, aucune autre complication n'a été rapportée et la cicatrisation a pu se faire normalement et sans conséquence pour l'animal.

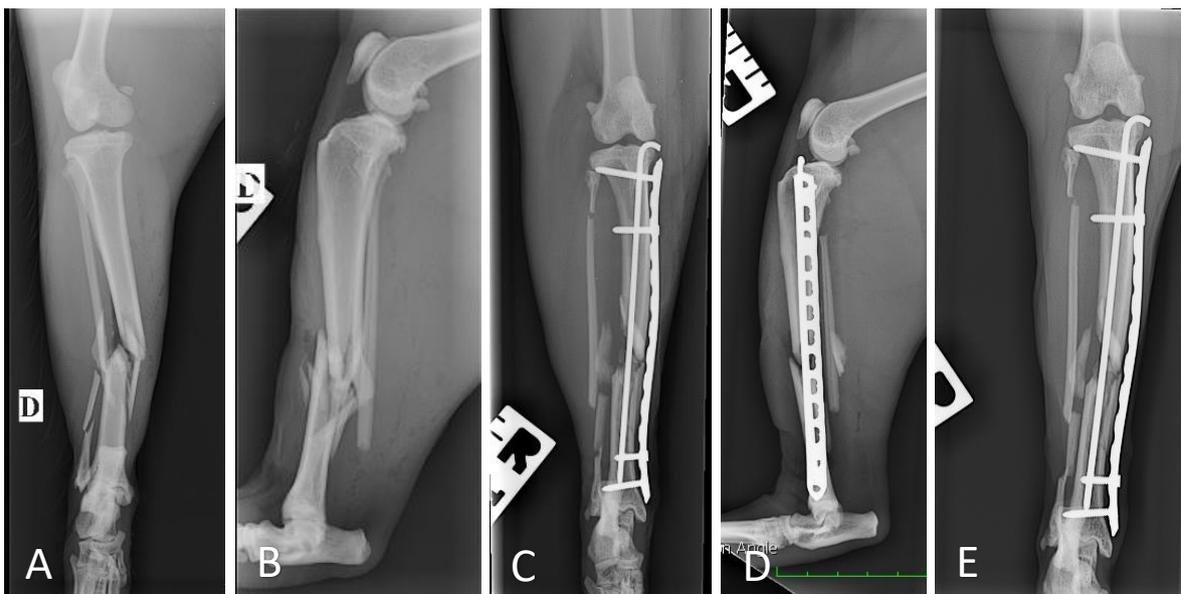


Figure 49 : Corben, cas n°8 : Fracture complète, spiroïdale, comminutive et médio-diaphysaire du tibia droit. **A**, Vue caudo-crâniale ; **B**) Vue médio-latérale ; **C**) Vue caudo-crâniale postopératoire ; **D**) Vue médio-latérale postopératoire ; **E**) Vue caudo-crâniale lors du contrôle à 1 mois ;



Figure 50 : Corben, cas n°8 : Fracture complète, spiroïdale, comminutive et médio-diaphysaire du tibia droit. **F,** Vue médio-latérale lors du contrôle à 1 mois ; **G,** Vue caudo-crâniale lors du contrôle à 2 mois ; **H)** Vue médio-latérale lors du contrôle à 2 mois ; **I,** Vue caudo-crâniale lors du contrôle à 5 mois ; **J,** Vue médio-latérale lors du contrôle à 5 mois. ; **K,** Vue caudo-crâniale lors du contrôle à 8 mois ; **L,** Vue médio-latérale lors du contrôle à 8 mois. ; **M,** Vue caudo-crâniale post greffe ; **N,** Vue médio-latérale lors du contrôle post greffe.

E. Résultats statistiques

Les tableaux III et IV présentent les résultats statistiques obtenus en comparant les animaux présentant des complications par rapport à ceux n'en n'ayant pas pour les différents paramètres étudiés précédemment.

Tableau III : Résultats statistiques comparant des variables qualitatives entre les animaux présentant des complications et ceux n'en n'ayant pas.

Paramètre étudié		Test utilisé	Complications + (n=5)	Complications - (n=9)	p-value
Espèce	Chien	Fischer	80,0%	77,8%	0,95
	Chat		20,0%	22,2%	
Sexe	Mâle	Fischer	100,0%	77,8%	0,65
	Femelle		0,0%	22,2%	
Cause	AVP	Fischer	60,0%	22,2%	0,23
	Chute		40,0%	44,4%	
	Autre		0,0%	33,3%	
Localisation	1/3 Proximal	Fischer	0,0%	22,2%	0,90
	Médiadiaphysaire		83,3%	77,8%	
	1/3 Distal		16,7%	0,0%	
Type de fracture	Simple	Fischer	0,0%	44,4%	0,62
	Esquilleuse		16,7%	0,0%	
	Complexe		83,3%	55,6%	
Fracture ouverte ou fermée	Ouverte	Fischer	40,0%	0,0%	0,25
	Fermée		60,0%	100,0%	
Présence d'autres dispositifs	Présence	Fischer	40,0%	33,3%	0,69
	Absence		60,0%	66,7%	
Type de plaque utilisé	LCP	Fischer	100,0%	66,7%	0,41
	DCP		0,0%	22,2%	
	PAX		0,0%	11,1%	
Taille de plaque	2.4	Fischer	40,0%	22,2%	0,96
	2.7		0,0%	11,1%	
	3.5		60,0%	66,7%	

Tableau IV : Résultats statistiques comparant des variables quantitatives avec une variable binaire entre les animaux présentant des complications et ceux n'en n'ayant pas.

Paramètre étudié	Test utilisé	Complications + (n=5)	Complications - (n=9)	p-value
		Médiane (DIQ)	Médiane (DIQ)	
Poids (kg)	Wilcoxon	25 (35,9)	22 (23)	0,90
Age (mois)	Wilcoxon	61,0 (47,5)	20 (64,5)	0,55
PSW	Wilcoxon	3,50 (3,91)	3,23 (0,82)	0,80
PSD	Wilcoxon	0,46 (0,15)	0,42 (0,18)	0,79
Nombre de vis par plaque	Wilcoxon	6,00 (0,50)	5,00 (2,75)	0,73
Nombre de corticales engagées	Wilcoxon	12,00 (1,25)	9,00 (4,00)	0,67
Longueur utile	Wilcoxon	8,88 (4,65)	8,73 (6,74)	0,55
Nombre de trous vides	Wilcoxon	3,00 (1,25)	3,00 (2,00)	0,40

Les tableaux V et VI présentent quant à eux les résultats statistiques des différents paramètres observés chez les chiens et les chats.

Tableau V : Résultats statistiques comparant des valeurs qualitatives entre les chiens et les chats.

Paramètre étudié		Test utilisé	Chiens (n = 12)	Chats (n = 6)	p-value
Cause	AVP	Fischer	50,0%	0,0%	0,12
	Chute		25,0%	100,0%	
	Autre		25,0%	0,0%	
Localisation	1/3 Proximal	Fischer	15,4%	33,3%	0,32
	Médiodiaphysaire		76,9%	50,0%	
	1/3 Distal		7,7%	16,7%	
Type de fracture	Simple	Fischer	16,7%	33,3%	0,91
	Esquilleuse		8,3%	0,0%	
	Complexe		75,0%	66,7%	
Fracture ouverte ou fermée	Ouverte	Fischer	16,7%	0,0%	0,75
	Fermée		83,3%	100,0%	
Présence d'autres dispositifs	Présence	Fischer	33,3%	33,3%	1
	Absence		66,7%	66,7%	
Type de plaque utilisé	LCP	Fischer	83,3%	66,7%	0,63
	DCP		8,3%	16,7%	
	VCP		0,0%	16,7%	
	PAX		8,3%	0,0%	
Taille de plaque	2.0	Fischer	0,0%	33,3%	0,34
	2.4		16,7%	50,0%	
	2.7		0,0%	16,7%	
	3.5		83,3%	0,0%	

Tableau VI : Résultats statistiques comparant des variables quantitatives avec une variable binaire entre les chiens et les chats.

Paramètre étudié	Test utilisé	Chiens (n = 12)	Chats (n = 6)	p-value
		Médiane (DIQ)	Médiane (DIQ)	
Poids (kg)	Wilcoxon	29,7 (16,7)	4,3 (4,7)	0,001
PSW	Wilcoxon	3,18 (1,44)	3,89 (3,87)	0,15
PSD	Wilcoxon	0,42 (0,13)	0,38 (0,17)	0,25
Nombre de vis par plaque	Wilcoxon	6 (2)	5 (1,5)	0,53
Nombre de corticales engagées	Wilcoxon	12 (4)	9,5 (3)	0,49
Longueur utile	Wilcoxon	10,09 (5,11)	5,96 (1,87)	0,03
Nombre de trous vides	Wilcoxon	3,00 (1,00)	3,50 (2,00)	0,73

Enfin le tableau VII recense les résultats statistiques de la comparaison entre les fractures simples et les fractures complexes.

Tableau VII : Résultats statistiques comparant des variables quantitatives avec une variable binaire entre les fractures complexes et les fractures simples.

Paramètre étudié	Test utilisé	Fractures complexes (n=4)	Fractures simples (n = 13)	p-value
		Médiane (DIQ)	Médiane (DIQ)	
PSW	Wilcoxon	3,36 (2,97)	3,32 (0,61)	0,96
PSD	Wilcoxon	0,38 (0,15)	0,43 (0,17)	0,46
Nombre de vis par plaque	Wilcoxon	5,00 (2,00)	4,50 (2,50)	0,68
Nombre de corticales engagées	Wilcoxon	10,00 (4,00)	8,50 (4,00)	0,80
Longueur utile	Wilcoxon	8,25 (6,22)	5,20 (4,41)	0,09
Nombre de trous vides	Wilcoxon	4,00 (1,00)	2,50 (1,00)	0,05

III. Discussion

A. Taux de complications

Au sein de cette étude, le taux de complications global était de 35,7%, dont 28,6% étaient des complications liées au montage. Ce nombre est deux fois plus élevé que les résultats obtenus par *Guiot et Déjardin, 2011* qui obtenait un taux de complications de 14%. Cependant, plusieurs explications peuvent justifier ce résultat important.

Tout d'abord, la technique utilisée. En effet *Guiot, Déjardin, 2011* effectuent leur réduction sous contrôle radiographique et leurs ostéosynthèses sous amplificateur de brillance, alors que dans tous les cas étudiés ici, la réduction et la pose de la plaque sont effectuées sous contrôle digité.

Deuxièmement, la perte de données au cours de l'étude. En effet, 4 cas n'ont pas donné de nouvelles, et aucune information les concernant n'était disponible. Etant donné notre faible nombre de cas, une perte de cette importance entraîne des modifications majeures de la répartition des cas.

Troisièmement, on peut noter la difficulté qu'ont les propriétaires à observer le traitement prescrit, avec notamment, l'interdiction de sauts ou de courses le temps de la cicatrisation osseuse, ainsi que le port obligatoire de la collerette. Ainsi, au moins 33% des complications aurait pu être évitées si ces règles avaient été respectées.

Enfin, on remarque que 83% des complications sont liées au montage. Il peut ainsi être intéressant de regarder d'une part le niveau d'expérience du chirurgien qui opère, ce type de montage présentant, comme tous, une courbe d'apprentissage, mais également le choix d'un montage adéquat en fonction du patient et de la fracture. Ici, la plupart des fractures sont complexes et multi-esquilleuses et auraient aussi eu un taux élevé de complication (notamment des ostéomyélites) si elles avaient été traitées par foyer ouvert.

B. Analyse des résultats obtenus...

1) ... concernant la description des animaux

a) Espèce

Dans cette étude, nous étudions 18 fractures diaphysaires du tibia, qui semblent deux fois plus fréquentes chez les chiens que chez les chats (66% contre 33%). Concernant les complications, elles concernent à 80% des chiens, mais il est à noter que parmi les 4 animaux perdus de vue, 3 sont des chats, ce qui diminue d'autant le nombre de cas. Il est donc impossible de conclure sur l'impact de l'espèce sur les risques d'apparition de complications.

b) Sexe

Les mâles sont plus nombreux que les femelles, 13 mâles (72,2%) pour 5 femelles (27,8%). Les complications sont présentes à 100% chez des animaux mâles. Bien que ce résultat soit non significatif, il nous amène à nous interroger sur l'incidence des complications en fonction du sexe de l'animal.

c) Age

On remarque une grande diversité des âges des animaux, qui va de 4 mois à 10 ans. Les complications affectent des animaux entre 16 mois et 5 ans. La MIPO s'intéresse particulièrement à la cicatrisation osseuse biologique, avec une grande part faite à la vascularisation périostée et l'hématome fracturaire. Or l'âge a une grande importance sur ces paramètres, puisque les jeunes animaux ont un périoste plus actif et cicatrisent plus vite que les adultes et les animaux âgés. D'un autre côté, ce sont généralement des animaux plus agités, qui reprendront appui plus vite et qui auront donc plus de risques de plier ou casser la plaque de fixation.

d) Poids

Le poids des animaux varie de 6,8 à 45,4 kg pour les chiens et de 2,0 à 11,0 kg pour les chats, avec une moyenne globale de 20,4 kg \pm 7,2. Là encore, on note une grande diversité dans les gabarits des animaux. Concernant la répartition des poids au sein des complications, celle-ci s'échelonne de 6,0 à 39,2 kg.

Si on retire de cette liste Corben, cas n°8, qui fait partie des complications non liées au montage, et Bambi cas n°9 pour qui les précautions prescrites pour protéger le montage n'ont pas été respectées, on se retrouve avec une moyenne de poids des animaux présentant des complications à 36,5 kg. Le montage utilisé principalement dans cette étude sur les MIPO, à savoir une plaque sans autre dispositif de fixation, reste un montage fragile, et sur des animaux de gros gabarits, cette méthode de stabilisation atteint ses limites. Nous disposons malheureusement de trop peu de cas pour pouvoir obtenir des résultats significatifs, mais il pourrait être intéressant de se pencher plus en avant dessus, en comparant par exemple avec une méthode de stabilisation associant d'autres dispositifs de fixation.

2) ... concernant la description des fractures

a) Cause

Les principales causes de fracture dans cette étude sont les chutes (50%) et les AVP (33%). Parmi les complications on observe que 60 % sont des animaux ayant subi un AVP, le reste des complications étant des animaux ayant fait une chute. Ceci peut s'expliquer par le fait que dans ces circonstances, les animaux sont souvent polytraumatisés et, bien que nous n'ayons pas abordé cette partie dans cette étude, cela peut avoir une incidence sur la récupération fonctionnelle des patients.

b) Localisation de la fracture

La majorité des fractures étudiées ici sont médio-diaphysaires (68%). De même les complications concernent à 83,3 % la portion médio-diaphysaire. Aucune significativité n'est mise en évidence, surtout dans la mesure où la majorité des cas concernent cette portion. On peut toutefois penser que lors des fractures, l'ensemble des forces qui s'exercent sur l'os est le plus souvent à même de créer un site fracturaire à cet endroit car c'est là que la tension est maximale.

c) Type de fracture

Ici, la grande majorité des fractures est qualifiée de complexe (cf. Fig. 38) (72%), ce qui était en grande partie attendu puisque, comme nous l'abordions précédemment, les principales causes de fractures sont les AVP et les chutes. Lors de l'impact il y a donc une grande quantité d'énergie accumulée, responsable de ces fractures complexes.

De plus, l'ostéosynthèse mini-invasive ne nécessite pas de réduction anatomique de la fracture, ce qui permet de l'employer sur ces fractures complexes, présentant de nombreuses esquilles. Cela serait possible avec d'autre méthode d'ostéosynthèse par plaque, mais la réduction serait plus compliquée, la dévascularisation plus importante, l'intervention plus longue et le risque d'ostéomyélite plus élevé.

d) Caractère ouvert ou fermé

Dans cette étude, les fractures ouvertes représentent 10,5 % des fractures et concerne uniquement des chiens. Il est à noter que chacune de ces fractures s'est compliquée par la suite. Même si ce résultat n'est pas significatif, il s'accorde au fait que les fractures ouvertes ont un taux de complications plus élevé, notamment des infections (2 à 10%) ou des non unions (1 à 14%) pour les fractures de grade II (*Tobias, Johnston, 2012*). On peut se demander si dans le cas de fractures ouvertes de grade II ou III, on ne devrait pas plutôt opter pour une méthode de fixation externe plutôt qu'interne, pour diminuer le risque d'infection secondaire. L'inconvénient majeur de ce type de fixation étant les soins et les coûts plus importants pour les propriétaires.

3) ... concernant la méthode stabilisation

a) Type de plaque

Le type de plaque utilisé principalement (77,8% des cas) est la plaque LCP. Il s'agit d'une plaque verrouillée pouvant être compressive et contrairement aux autres types de plaque, il n'est pas nécessaire d'avoir un contournement parfait, ni de déperioster avant sa mise en place (bien que lors de fractures complexes, le fracas peut avoir léser le périoste), pour obtenir une cicatrisation osseuse correcte. Par conséquent ces plaques sont plus indiquées dans le traitement des fractures par MIPO. Ce qui n'empêche pas d'utiliser d'autres types de plaques, ici des plaques PAX (qui n'a plus été utilisé à VetAgro Sup par la suite à cause de sa fragilité), DCP et VCP.

Nos résultats ne semblent pas indiquer de différence entre le choix de la plaque et l'apparition de complication. De même, ce choix n'est pas dépendant de l'espèce du patient.

b) Autres dispositifs

30% des fractures traitées disposent en plus de la plaque d'un autre dispositif de fixation, notamment des clous centromédullaires. Bien que dans cette étude, nous n'ayons pas réussi à objectiver de différence entre l'usage ou non d'un tel dispositif, l'ajout d'un clou est normalement fait pour réduire le risque de rupture de plaque. Une étude s'intéressant plus particulièrement à ce système de fixation pourrait avoir de l'intérêt pour déterminer si l'ajout de broches de façon systématique est pertinent passé un certain poids.

c) Taille de la plaque

Le choix de la plaque se fait notamment en fonction du poids de l'animal pour que le matériel utilisé soit sollicité au minimum afin d'éviter sa rupture avant la cicatrisation du foyer de fracture. Dans cette étude, la majorité des animaux font plus de 10 kg. Il est donc normal de retrouver une majorité de plaques de plus grande taille. La même remarque s'applique sur les complications rencontrées, étant donné qu'elles concernent principalement des animaux de grands gabarits.

d) PSW = *Plate Span Width*

Concernant le PSW, nous étudierons ici la différence entre les fractures simples et complexes car les recommandations pour le montage sont différentes. Ainsi, la médiane du PSW pour les fractures simples est de 3,32 [3,06 - 3,67] et de 3,43 [2,65 - 4,93] pour les fractures complexes. Il n'y a pas de différence significative entre ses valeurs après le test de Wilcoxon donnant $p = 0,771$.

On trouve dans l'étude de *Gautier, Sommer, 2003*, des recommandations donnant un rapport supérieur à 2 - 3 pour les fractures complexes et supérieur à 8 - 10 pour les fractures simples lors de l'utilisation de plaques LCP. Une seule fracture complexe traitée avec ce type de plaque ne respecte pas ces recommandations, mais aucune complication ne la concerne.

Concernant les fractures simples, aucune de celles étudiées ne rentre dans ces recommandations. Il est possible que selon une autre classification que celle d'Unger, les fractures dites simples ne correspondent pas à celles que nous étudions, ce qui expliquerait les différences observées. Ainsi *Stoffel et al.*, 2003, décrivent leurs fractures simples comme ayant un trait de fracture inférieur à 2mm.

Avec les résultats obtenus, nous n'avons pas pu mettre en évidence de lien significatif entre le PSW et l'apparition de complications. De même il n'existe pas de différence significative entre les chiens et les chats concernant ce paramètre.

e) Nombre de vis et de corticales engagées

Ici *Gautier, Sommer*, 2003 établissent les recommandations suivantes : au minimum 2 vis, dont au moins 1 bicorticale, par about osseux lors de fractures simples, et au minimum 2 vis bicorticales par about osseux lors de fractures comminutives. *Stoffel et al.*, 2003 appliquent 2 à 3 vis par fragment pour les fractures simples et 3 vis par fragment pour les fractures comminutives.

Cependant, dans cette étude les résultats ne montrent pas de différence significative dans la prise en charge de ces deux types de fractures avec un nombre de vis par fragment avec une médiane de 3 [2-4] pour les fractures simples et de 3 [2-4] pour les fractures complexes, avec respectivement, pour le nombre de corticales par fragment, une médiane de 4 [2,5-6] et 4 [3-6]. En effet, le test de Wilcoxon concernant le nombre de vis utilisées donne $p = 0,679$, et celui concernant le nombre de corticales engagées donne $p = 0,802$

De même, l'apparition des complications n'est significativement pas liée à ces paramètres, et nous n'avons pas mis en évidence de différence significative entre les chiens et les chats de notre étude.

f) PSD = Plate Screw Density

D'après *Gautier, Sommer*, 2003, le PSD chez l'homme doit être inférieur à 0,4 – 0,3 pour les fractures simples et < 0,5 - 0,4 pour les fractures complexes.

Dans notre cas, la médiane du PSD pour les fractures simples est de 0,43 [0,38-0,55] avec 75% des cas ayant des valeurs supérieures à 0,4 et de 0,38 [0,33-0,48] pour les fractures complexes avec 7,6% ayant des valeurs au-dessus de 0,5. La même remarque que précédemment peut être faite concernant le nombre important de fractures simples au-dessus des valeurs recommandées.

Cependant aucune complication ne concerne les cas ayant des PSD élevés, et ce paramètre ne semble pas influencer de manière significative les complications. De même, chiens et chats présentent des PSD non significativement différentes.

g) Longueur utile = Distance entre les deux vis adjacentes au foyer fracturaire

Dans le cas de la longueur utile, la médiane concernant les fractures simples est de 5,20 [4,56 – 8,97] et de 8,00 [6,24 – 12,75] pour les fractures complexes. Le test de Wilcoxon donne ainsi $p = 0,089$. On n'a donc aucune différence significative entre les fractures simples et complexes, même si on note que cette longueur est plus importante dans le cas des fractures complexes, ce qui rejoint les recommandations de *Gautier, Sommer, 2003*.

Si on compare maintenant cette longueur entre les chiens et les chats, on obtient respectivement une médiane de 10,09 [7,64 – 12,75] et de 5,96 [5,22 – 7,08]. Le test de Wilcoxon renvoie $p = 0,03$ ce qui rendrait le résultat significatif si on n'appliquait pas la correction de Dunn – Sidak. Concernant ce lot de données, nous avons effectué 13 tests statistiques, on obtient donc une nouvelle valeur de significativité $p = 0,0039$. Nous avons un résultat qui ressort au final non significatif.

Nous n'avons de plus aucune significativité dans nos résultats concernant un lien entre la longueur utile et l'apparition de complications.

h) Nombres de trous vides entre le trait de fracture et la 1^{ère} vis

Le nombre de trous laissés vide entre le trait de fracture et la 1^{ère} vis a une grande importance. En effet, en laissant un trou libre de chaque côté du site de la fracture, le montage devient presque deux fois plus flexible à la fois en torsion et en compression. Il faut toutefois faire attention à ce que le montage reste suffisamment rigide pour éviter les concentrations de contraintes sur une petite longueur et surtout sur un trou, généralement en regard d'une perte de substance importante ou d'une absence de contact osseux, responsables notamment de non-unions ou de ruptures d'implants. (*Stoffel et al., 2003*). Les recommandations concernant ce nombre varient d'une étude à l'autre, et on distinguera de nouveau les fractures simples des fractures complexes. Selon *Stoffel et al., 2003*, pour les fractures simples il faudrait laisser 1 à 2 trous de chaque côté, et pour les fractures complexes, il faudrait mettre deux vis aussi proches du site de fracture que possible. Ces recommandations diffèrent de celles de *Gautier, Sommer, 2003* en ce qui concernent les fractures complexes puisqu'ils proposent de laisser plus de 2 trous de libre de chaque côté au minimum.

Dans cette étude, le nombre de trous laissés vides autour de la zone de fracture étaient respectivement de 2,5 [2 – 3] pour les fractures simples et de 4 [3 – 4] pour les fractures complexes. Nos valeurs sont donc plus en accord avec les recommandations de *Gautier, Sommer, 2003*. Concernant le nombre de trous laissés, le test de Wilcoxon donne $p = 0,051$, de plus, aucune significativité n'est mise en évidence concernant l'apparition de complications ($p = 0,5$) ou une différence entre les chiens et les chats ($p = 0,73$).

C. Résultats statistiques et limites

1) Analyse statistique

Notre étude statistique n'a révélé aucune différence significative entre les différents paramètres étudiés et l'apparition de complications. De même, nous n'avons pas pu objectiver de différence significative entre les fractures simples et complexe, et entre les chats et les chiens, avec une mention de la longueur utile dans cette dernière comparaison qui était le plus proche de la significativité.

2) Limites

Le caractère rétrospectif de cette étude apporte de nombreuses limites, notamment la petite taille des effectifs, une grande variation de taille et d'espèce, ainsi qu'un manque de standardisation du protocole d'étude dont la conséquence est la perte d'informations due à des dossiers médicaux incomplets et des suivis cliniques et radiographiques pas toujours réalisés ou irréguliers. En effet, ils ne permettent pas par exemple l'évaluation précise du temps de cicatrisation osseuse, associée à la reprise d'appui sur le membre opéré, qui sont deux paramètres importants qu'il pourrait être utile d'étudier.

De plus les données sont recueillies sur une période de temps assez longue, ce qui a pour effet de multiplier les intervenants amenés à traiter les différentes fractures. L'expérience, les préférences et les habitudes du chirurgien, ainsi que le nombre de chirurgiens opérants, sont autant de paramètres qui peuvent influencer le succès d'une intervention chirurgicale. Néanmoins, ces paramètres n'ont pas été pris en compte, car les dossiers médicaux précisaient rarement ces informations dans leur totalité.

CONCLUSION

L'objectif de ce travail était d'étudier l'intérêt de l'utilisation de l'ostéosynthèse par plaque et abords mini-invasifs dans la prise en charge des fractures diaphysaires du tibia chez le chien et le chat.

D'après cette étude, la MIPO est une technique qui convient à la fois aux chiens et aux chats, quel que soit leur âge, même si elles bénéficient plus aux animaux jeunes. Concernant le poids, même si le montage convient à tous les gabarits, nous pouvons émettre une réserve quant à son usage sur des animaux de grande taille, dans la mesure où nous avons un montage plus fragile qu'avec d'autres méthodes. Ainsi le choix du patient a de l'importance et la MIPO ne doit pas être considérée comme un traitement systématique mais doit être pensée au cas par cas.

Nous obtenons ici un nombre important de complications (37,5%) dont une majorité est imputable à des problèmes de montage (80%). La MIPO est une technique qui nécessite une certaine maîtrise, et nécessite une observance stricte des prescriptions faites par le chirurgien. Ces deux raisons pourraient expliquer le taux de complications important que nous avons obtenu.

Malgré cela, nous pouvons dire que la MIPO convient bien à presque tous les types de fractures, notamment sur les fractures complexes, puisqu'il n'y a pas de nécessités à reconstruire l'os de façon anatomique, contrairement à d'autres modes de fixation par plaque. On prêtera attention au cas particulier des fractures ouvertes de grade 2 ou supérieur, puisque dans notre étude, 100% de ces fractures se sont compliquées par la suite.

Cette étude avait également pour objectif de comparer entre eux les chiens et les chats ayant été traité par MIPO. Nous n'avons pas observé de différence significative entre ces deux espèces, mais il pourrait être intéressant de poursuivre les démarches en ce sens, pour voir si les recommandations peuvent s'appliquer de façon univoque ou s'il conviendrait plutôt de distinguer les deux.

Les résultats de cette étude ne révèlent aucune différence statistique, ce qui peut être imputée à sa faible puissance statistiques étant donné un nombre de cas limité ou son caractère rétrospectif. Il serait intéressant d'essayer de comparer un nombre de cas plus élevé, et de réaliser une étude prospective, avec des intervenants en nombre limité, des suivis cliniques et radiographiques imposés et à intervalles réguliers, ainsi que des questionnaires et des suivis téléphoniques adressés aux propriétaires, pour être plus précis dans la récolte de données. De même il pourrait également être intéressant d'étudier cette méthode de stabilisation comparée à d'autres méthodes d'ostéosynthèse, son application sur d'autres segments osseux ou l'emploi d'autres types d'implant.

BIBLIOGRAPHIE

BARONE, R. 2010. *Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 1 : Ostéologie*. Paris : Vigot.

BARONE, R. 2010b. *Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 2 : Arthrologie et Myologie*. Paris : Vigot.

BARONE, R. 2010c. *Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 7 Neurologie II*. Paris : Vigot.

BARONE, R. 2010d. *Anatomie comparée des mammifères domestiques. Tome 5 Angiologie*. Paris : Vigot.

BOERO BARONCELLI A., PEIRONE B., WINTER M.D., REESE D.J. et POZZI A. 2012. Retrospective comparison between minimally invasive plate osteosynthesis and open plating for tibial fractures in dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology: V.C.O.T.* Vol. 25, n° 5, pp. 410-417.

BOERO BARONCELLI A., REIF U., BIGNARDI C. et PEIRONE B. 2013. Effect of Screw Insertion Torque on Push-Out and Cantilever Bending Properties of Five Different Angle-Stable Systems: Effect of Screw Insertion Torque on Five Different Angle-Stable Systems. *Veterinary Surgery*. Vol. 42, n° 3, pp. 308-315.

BONEWALD L.F. 2006. Mechanosensation and transduction in osteocytes. *BoneKEY-Osteovision*. Vol. 3, n° 10, pp. 7-15.

BORRELLI J., PRICKETT W., SONG E., BECKER D. et RICCI W. 2002. Extraosseous blood supply of the tibia and the effects of different plating techniques : a human cadaveric study. *Journal of Orthopaedic Trauma*. Vol. 16, n° 10, pp. 691-695.

BROWNER, BD, LEVINE, AM, JUPITER, JB et al. 2008. *Skeletal Trauma: 2-Volume Set*. [en ligne]. Saintt Louis : Elsevier Health Sciences. [Consulté le 24 juin 2018]. . Disponible à l'adresse : <http://public.eblib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=4737212> [Consulté le 24 juin 2018]

CACHON T. 2015. La cicatrisation osseuse. Polycopié. VetAgro Sup.

CACHON T. 2015b. Le traitement des fractures. Polycopié. VetAgro Sup.

CAROZZO C. 2015. Etude générale des fractures. Polycopié. VetAgro Sup.

CAROZZO C. 2015b. Introduction à la traumatologie osseuse. Polycopié. VetAgro Sup.

CHAO P., LEWIS D.D., KOWALESKI M.P. et POZZI A. 2012. Biomechanical Concepts Applicable to Minimally Invasive Fracture Repair in Small Animals. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. Vol. 42, n° 5, pp. 853-872.

CHATELAIN E. 1997. *Disposition générale des vaisseaux sanguins, Irrigation des membres*. Laboratoire d'Anatomie Comparée. ENVL. 56 p

COUGHLAN A.R., MILLER A. 1998. *BSAVA manual of small animal fracture repair and management*. Shurdington, Cheltenham, U.K : British Small Animal Veterinary Association.

DÉJARDIN L., MARTURELLO D., GUIOT L., GUILLOU R. et DECAMP C. 2016. Comparison of open reduction versus minimally invasive surgical approaches on screw position in canine sacroiliac lag-screw fixation. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. Vol. 29, n° 04, pp. 290-297.

DUGAT D., ROCHAT M., RITCHEY J. et PAYTON M. 2011. Quantitative analysis of the intramedullary arterial supply of the feline tibia. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology: V.C.O.T.* Vol. 24, n° 5, pp. 313-319.

Enseignement d'Histologie, PCEM1 et PCEM2, Dr Serge Nataf - Le Tissu Osseux (2009), [en ligne]. [Consulté le 20 octobre 2017]. Disponible à l'adresse : <http://histoblog.viabloga.com/texts/le-tissu-osseux--2009-> [Consulté le 20 octobre 2017].

FAROUK O., KRETTEK C., MICLAU T., SCHANDELMAIER P., GUY P. et TSCHERNE H. 1997. Minimally invasive plate osteosynthesis and vascularity: preliminary results of a cadaver injection study. *Injury*. Vol. 28 Suppl 1, pp. A7-12.

FMPMC-PS - Histologie : les tissus - Niveau PAES, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 5 janvier 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.chups.jussieu.fr/polys/histo/histoP1/POLY.Chp.5.2.4.html>

GAUTIER E. et SOMMER C. 2003. Guidelines for the clinical application of the LCP. *Injury*. Vol. 34 Suppl 2, pp. B63-76.

GUIOT L.P. et DÉJARDIN L.M. 2012. Perioperative Imaging in Minimally Invasive Osteosynthesis in Small Animals. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. Vol. 42, n° 5, pp. 897-911.

GUIOT L.P. et DÉJARDIN L.M. 2011. Prospective evaluation of minimally invasive plate osteosynthesis in 36 nonarticular tibial fractures in dogs and cats. *Veterinary surgery: VS*. Vol. 40, n° 2, pp. 171-182.

GUSTILO R.B. et ANDERSON J.T. 1976. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. Vol. 58, n° 4, pp. 453-458.

GUSTILO R.B., MENDOZA R.M. et WILLIAMS D.N. 1984. Problems in the Management of Type III (Severe) Open Fractures: A New Classification of Type III Open Fractures. *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*. Vol. 24, n° 8, pp. 742.

HORSTMAN C.L., BEALE B.S., CONZEMIUS M.G. et EVANS R. 2004. Biological Osteosynthesis Versus Traditional Anatomic Reconstruction of 20 Long-Bone Fractures Using an Interlocking Nail: 1994–2001. *Veterinary Surgery*. Vol. 33, n° 3, pp. 232-237.

HUDSON C.C., POZZI A. et LEWIS D.D. 2009. Minimally invasive plate osteosynthesis: Applications and techniques in dogs and cats. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. Vol. 22, n° 03, pp. 175-182.

IGNA C. et SCHUSZLER L. 2010. Current Concepts of Internal Plate Fixation of Fractures. *Bulletin UASVM, Veterinary Medicine*. Vol. 67, n° 2.

KALFAS I.H. 2001. Principles of bone healing. *Neurosurgical Focus*. Vol. 10, n° 4, pp. 1-4.

La biologie de l'os et le rôle du mécanisme RANK/RANKL/OPG | healthPlexus.net, 2009. [en ligne]. [Consulté le 22 octobre 2017]. Disponible à l'adresse : <https://www.healthplexus.net/article/la-biologie-de-l%E2%80%99os-et-le-r%C3%B4le-du-m%C3%A9canisme-rankranklogp>

LOPEZ-CURTO J.A., BASSINGTHWAIGHTE J.B. et KELLY P.J. 1980. Anatomy of the microvasculature of the tibial diaphysis of the adult dog. *The Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*. Vol. 62, n° 8, pp. 1362-1369.

MARSELL R. et EINHORN T.A. 2011. The biology of fracture healing. *Injury*. Vol. 42, n° 6, pp. 551-555.

MARTI J.M. et MILLER A. 1994. Delimitation of safe corridors for the insertion of external fixator pins in the dog 1: Hindlimb. *Journal of Small Animal Practice*. Vol. 35, n° 1, pp. 16-23.

MOLES A. et GLYDE M. 2009. Anatomical investigation of the canine cranial tibial artery: A potential source of severe haemorrhage during proximal tibial osteotomies. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. Vol. 22, n° 05, pp. 351-355.

MOUNTZIARIS P.M. et MIKOS A.G. 2008. Modulation of the Inflammatory Response for Enhanced Bone Tissue Regeneration. *Tissue Engineering Part B: Reviews*. Vol. 14, n° 2, pp. 179-186.

NICETTO T., PETAZZONI M., URIZZI A. et ISOLA M. 2017. Experiences using the Fixin locking plate system for the stabilization of appendicular fractures in dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. Vol. 26, pp. 61-68.

ORTHOPAEDIC TRAUMA ASSOCIATION : OPEN FRACTURE STUDY GROUP. 2010. A new classification scheme for open fractures. *Journal of Orthopaedic Trauma*. Vol. 24, n° 8, pp. 457-464.

PALMER R.H. 1999. Biological osteosynthesis. *The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice*. Vol. 29, n° 5, pp. 1171-1185, vii.

PALMER R.H. 1994. Decision making in fracture treatments : the Fracture Patient Scoring System. In *Proceedings of Small Animal ACVS Veterinary Symposium*,. Washington DC, pp. 388-390.

PEIRONE B., ROVESTI G.L., BARONCELLI A.B. et PIRAS L. 2012. Minimally Invasive Plate Osteosynthesis Fracture Reduction Techniques in Small Animals. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. Vol. 42, n° 5, pp. 873-895.

PIERMATTEI, D.L, FLO, G.L et DECAMP, C. 2006. *Brinker, Piermattei and Flo's Handbook of Small Animal Orthopedics and Fracture Repair*. 4. Philadelphia : Saunders.

POZZI A. et LEWIS D. 2009. Surgical approaches for minimally invasive plate osteosynthesis in dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology: V.C.O.T.* Vol. 22, n° 4, pp. 316-320.

POZZI A., RISSELADA M. et WINTER M.D. 2012. Assessment of fracture healing after minimally invasive plate osteosynthesis or open reduction and internal fixation of coexisting radius and ulna fractures in dogs via ultrasonography and radiography. *Journal of the American Veterinary Medical Association.* Vol. 241, n° 6, pp. 744-753.

RADASCH R.M. 1999. Biomechanics of Bone and Fractures. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice.* Vol. 29, n° 5, pp. 1045-1082.

RAMASAMY S.K. 2017. Structure and Functions of Blood Vessels and Vascular Niches in Bone. *Stem Cells International.* Vol. 2017, pp. 1-10.

Reparationosseuse.pdf, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 5 janvier 2018]. Disponible à l'adresse : <http://www.cofemer.fr/UserFiles/File/Reparationosseuse.pdf>

SAWAYA S. 2015. Myologie du membre pelvien. Polycopié. VetAgro Sup.

SAWAYA S. 2015c. Vascularisation du membre pelvien des mammifères domestiques. Polycopié. VetAgro Sup.

SCHMÖKEL H.G., STEIN S., RADKE H., HURTER K. et SCHAWALDER P. 2007. Treatment of tibial fractures with plates using minimally invasive percutaneous osteosynthesis in dogs and cats. *The Journal of Small Animal Practice.* Vol. 48, n° 3, pp. 157-160.

SIMS N.A. et GOOI J.H. 2008. Bone remodeling: Multiple cellular interactions required for coupling of bone formation and resorption. *Seminars in Cell & Developmental Biology.* Vol. 19, n° 5, pp. 444-451.

Site d'Ostéologie, [sans date]. [en ligne]. [Consulté le 7 mars 2018]. Disponible à l'adresse : http://theses.vet-alfort.fr/Th_multimedia/mraffaelli/SCRIPT/form.php?action=2&id=260

STOFFEL K., DIETER U., STACHOWIAK G., GÄCHTER A. et KUSTER M.S. 2003. Biomechanical testing of the LCP – how can stability in locked internal fixators be controlled? *Injury.* Vol. 34, pp. 11-19.

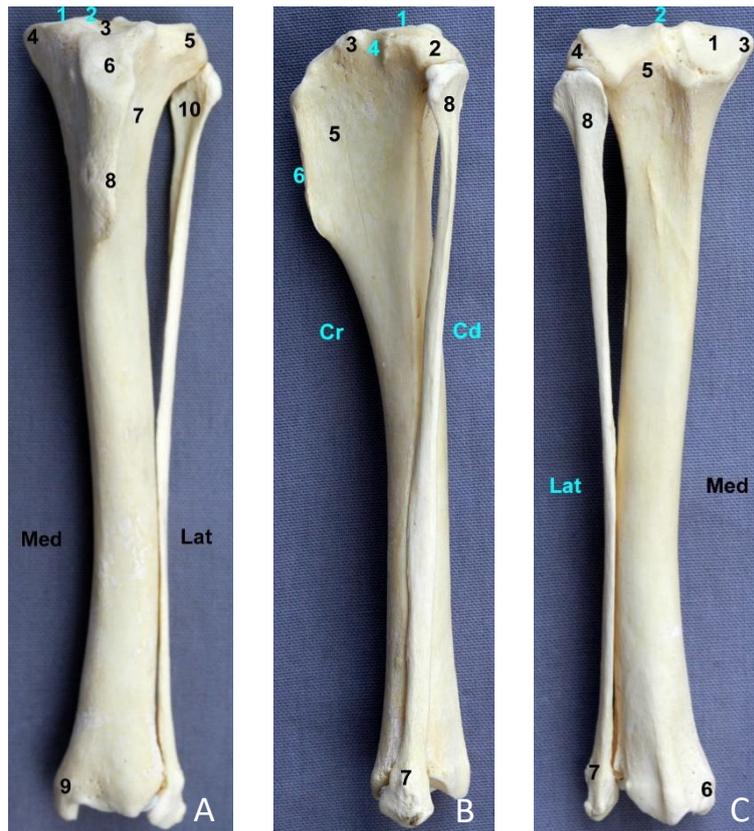
TOBIAS K.M., JOHNSTON S.A. (Eds.), 2012. *Veterinary surgery: small animal.* Elsevier, St Louis Mo.

TRIFFITT P.D., CIESLAK C.A. et GREGG P.J. 1993. A quantitative study of the routes of blood flow to the tibial diaphysis after an osteotomy. *Journal of Orthopaedic Research.* Vol. 11, n° 1, pp. 49-57.

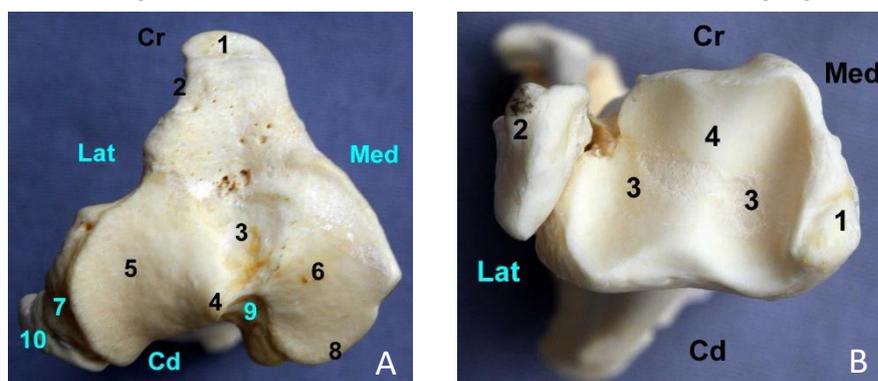
VIATEAU V. 2004. Traitement général des fractures. Polycopié. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort.

ANNEXES

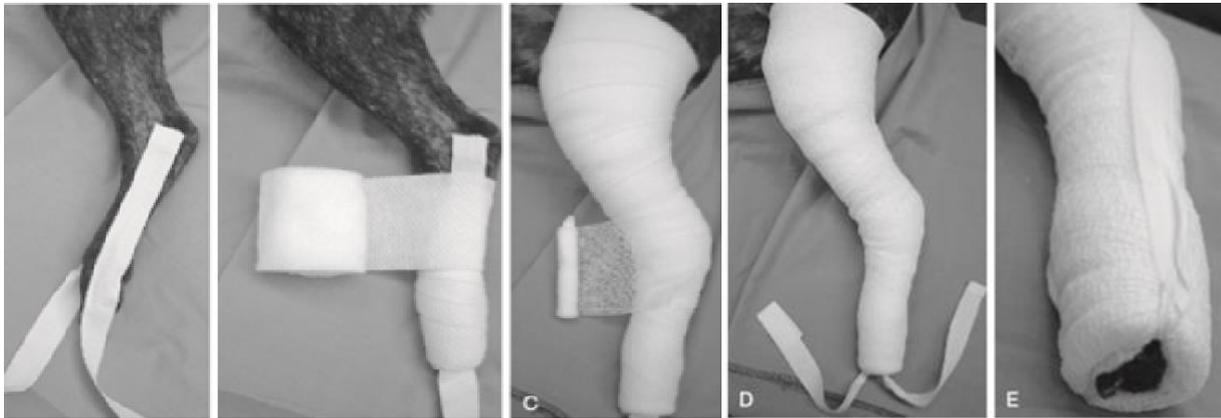
Annexe 1 : A, Vue Crâniale : 1, Plateau tibial. 2, Eminence intercondyloire. 3, Aire intercondyloire centrale. 4, Condyle médial. 5, Condyle latéral. 6, Tubérosité tibiale. 7, Fosse tibiale. 8, Crête tibiale. 9, Malléole médiale. 10, Fibula. B, Vue Latérale : 1, Plateau tibial. 2, Condyle latéral. 3, Tubérosité tibiale. 4, Sillon de l'extenseur. 5, Fosse tibiale. 6, Crête tibiale. 7, Malléole latérale. 8, Fibula. C, Vue Caudale : 1, Plateau tibial. 2, Eminence intercondyloire. 3, Condyle médial. 4, Condyle latéral. 5, Incisure poplitée. 6, Malléole médiale. 7, Malléole latérale. 8, Fibula. (Repris d'après Site d'Ostéologie, Unité d'Anatomie de l'ENVA)



Annexe 2 : A, Vue Proximale : 1, Tubérosité tibiale. 2, Sillon de l'extenseur, 3, Aire intercondyloire centrale. 4, Eminence intercondyloire. 5, Surface articulaire latérale. 6 Surface articulaire médiale. 7, Condyle latéral. 8, Condyle médial. 9, Incisure poplitée, 10, Fibula. B, Vue distale : 1, Malléole médiale. 2, Malléole latérale. 3, Gorges de la cochlée tibiale. 4, Tenon intermédiaire aux gorges



Annexe 3 : Mise en place d'un pansement de type Robert-Jones. **A,** Des bandes adhésives sont mises en place sur le membre, dépassant de plusieurs centimètres. **B,** Le rembourrage du pansement est appliqué en spirale autour du membre. Trois ou quatre couches sont suffisantes dans la plupart des circonstances. **C – D,** de la gaze élastique est utilisée pour fournir une compression modérée et serrer la couche de rembourrage. Une attention particulière doit être portée à ne pas trop serrer cette couche pour éviter de compromettre la vascularisation. **E,** Le pansement s'étend jusqu'à l'extrémité du membre. Seuls les deux doigts médians sont visibles.



Annexe 4 : Mise en place d'un plâtre. **F – H,** Des bandes de résines sont plongées dans l'eau. L'excès d'eau est ensuite retiré avant d'appliquer les bandes latéralement et/ou médialement sur le membre. Quatre à six couches sont suffisantes pour la plupart des situations. On prendra soin d'éviter de placer de la résine par-dessus la tubérosité du calcaneum (flèche blanche). La résine ne doit pas dépasser le pansement en dessous. **I,** Le plâtre est terminé en couvrant le montage avec une couche protectrice comme du Vetrap (3M Animal Care Products, St. Paul, Minn.).



Annexe 5 : Ensemble des données collectées et utilisées lors de cette étude

N° Cas	Nom	Sexe	Espèce	Age (mois)	Poids (kg)	Contrôle RX	Complications	Correction	
1	Jack	Mâle	Chat	15	5	Non	Non	/	
2	Raoul	Mâle Castré	Chat	120	11	Non	Non	/	
3	Walk	Mâle	Chien	62	25	Oui	Plaque tordue à 15j	Nvelle plaque : refusée	
4	Ufo	Mâle	Chien	93	27,4	Non	Non	/	
5	Chanel	Femelle	Chat	4	2,5	Non	NC	/	
6	Kiki	melle stérilisi	Chat	49	3,5	Non	NC	/	
7	Brutus	Mâle	Chien	69	24	Non	Non	/	
8	Corben	Mâle Castré	Chat	61	6	Oui	Non-union à 8 mois	Greffe os spongieux	
9	Bambi	Mâle	Chien	73	6,8	Oui	Plaque tordue à 7j	Nvelle plaque + ECM	
10	Diva	Femelle	Chien	20	20	Oui	Non	/	
11	Snow	Mâle	Chien	7	33	Oui	Non	/	
12	Gaya	Femelle	Chat	12	2,6	Non	NC	/	
13	Luna	melle stérilisi	Chien	31	33	Oui	Non	/	
14	Bombat	Mâle	Chien	10	32	Oui	NC	/	
15	Tyson	Mâle	Chien	16	39,2	Oui	Plaque cassée à 13j	Pose d'une résine	
16	Jouki	Mâle Castré	Chien	16	7,8	Oui	Non	/	
17	Lafayette	Mâle	Chien	11	44	Oui	Non	/	
18	Loki	Mâle	Chien	24	45,4	Oui	Dévisage vis à 5 mois + Mal-union	Retrait vis	
Référencement	Description des animaux					Suivi et Complications			

N° Cas	Nom	Cause	Localisation	Type de fracture	Ouverte
1	Jack	Chute 5ème	Médio	A2 Oblique	Non
2	Raoul	Chute 4ème	Tiers proximal	A2 Oblique	Non
3	Walk	AVP	Médio	B3 Esquilleuse	Oui
4	Ufo	Accident de chasse	Médio	C2 Comminutive spiroïde	Non
5	Chanel	Chute du 4ème	Tiers distal	C2 Comminutive oblique	Non
6	Kiki	Chute du 2ème	Tiers proximal	C3 Comminutive	Non
7	Brutus	AVP	Médio	C3 Comminutive oblique	Non
8	Corben	Chute du 3ème	Médio	C2 Comminutive spiroïde	Non
9	Bambi	AVP	Médio	C3 Comminutive	Oui
10	Diva	Chute de 2m	Médio	C3 Comminutive	Non
11	Snow	Chute d'1m	Médio	A2 Spiroïde	Non
12	Gaya	Chute du 3ème	Médio	C3 Comminutive	Non
13	Luna	AVP	Médio	C3 Comminutive spiroïde	Non
14	Bombat	AVP	Tiers proximal	C1 Comminutive spiroïde	Non
15	Tyson	Chute d'1m	Médio + tiers distal	Bifocale (2 comminutives spiroïdes)	Non
16	Jouki	Jeu	Tiers proximal	A3 Transverse	Non
17	Lafayette	Rupture du matériel d'ostéosynthèse	Médio	C3 Comminutive	Non
18	Loki	AVP	Médio	C1 Comminutive spiroïde	Non
Référencement	Description des fractures				

N° Cas	Nom	Type de plaque	Largeur (mm)	Nombre de trous	Nombre de vis	Trous vides avant la 1ère vis	Longueur utile	Nombre de corticales	Montage annexe	PSD = Rapport vis / plaque	PSW
1	Jack	LCP	2,4	12	5	3	5,23	9	Aucun	0,42	3,40
2	Raoul	DCP	2,7	12	7	2	5,17	13	Aucun	0,58	3,23
3	Walk	LCP	3,5	15	6	3	10,15	12	Aucun	0,40	3,50
4	Ufo	LCP	3,5	13	5	4	12,49	9	Cerclage PDS	0,38	2,00
5	Chanel	VCP	2	20	5	4	7,74	10	Aucun	0,25	4,38
6	Kiki	LCP	2,4	12	5	2	6,03	10	Aucun	0,42	6,60
7	Brutus	DCP	3,5	16	6	5	13,89	12	Aucun	0,38	9,86
8	Corben	LCP	2,4	13	4	4	6,86	7	ECM	0,31	8,40
9	Bambi	LCP	2,4	12	6	3	5,17	12	Aucun	0,50	4,13
10	Diva	LCP	3,5	11	4	4	10,02	8	ECM	0,36	3,36
11	Snow	LCP	3,5	11	4	3	10,21	8	Aucun	0,36	3,76
12	Gaya	LCP	2	12	4	4	5,89	8	ECM	0,33	3,03
13	Luna	LCP	3,5	11	7	2	7,43	12	Aucun	0,64	2,25
14	Bombat	LCP	3,5	12	4	4	12,83	8	Aucun	0,33	3,84
15	Tyson	LCP	3,5	12	6	3	9,51	12	Aucun	0,50	1,93
16	Jouki	PAX	2,4	9	4	2	4,35	8	Aucun	0,44	3,00
17	Lafayette	LCP	3,5	14	6	5	12,92	12	ECM	0,43	2,90
18	Loki	LCP	3,5	13	6	3	8,25	12	ECM	0,46	2,78
Référencement	Description du montage										

BUREAU Guillaume

INTERET DE L'OSTEOSYNTHESE PAR PLAQUE ET ABORDS MINI-INVASIFS DANS LE TRAITEMENT DES FRACTURES DIAPHYSAIRES DU TIBIA CHEZ LE CHIEN ET LE CHAT. ETUDE RETROSPECTIVE SUR 18 CAS TRAITES A VETAGRO SUP (2009-2018).

Thèse d'Etat de Doctorat Vétérinaire : Lyon, le 12 octobre 2018

RESUME : L'ostéosynthèse par plaque et abords mini-invasifs est une méthode qui s'inscrit dans le concept de l'ostéosynthèse biologique. Elle consiste en l'insertion sous cutanée d'une plaque, via des incisions cutanées éloignées du site de fracture. Les montages ainsi obtenus sont plus souples, et l'exposition chirurgicale limitée au maximum pour minimiser l'atteinte de l'hématome fracturaire et préserver la vascularisation périostée. Ceci permet une cicatrisation osseuse par seconde intention avec la formation d'un cal osseux volumineux. Cette technique reste encore récente et la présente étude cherche à en illustrer l'intérêt dans le cadre du traitement des fractures diaphysaires chez 12 chiens et 6 chats, traités à VetAgroSup entre 2009 et 2018. Les résultats obtenus se basent sur les données collectées dans les dossiers médicaux des patients et sur l'étude de clichés radiographiques.

Ainsi la MIPO convient bien à presque tous les types de fractures, notamment les fractures complexes. Néanmoins, il s'agit d'une technique qui nécessite une bonne maîtrise et une sélection adéquate des animaux. En effet, dans cette étude, un taux de complications important est noté, (37,5 %) essentiellement dû (80%) à des problèmes de montages. De plus, les fractures ouvertes de grade 2 ou supérieur ne semble a priori pas indiquées pour cette prise en charge puisque 100% de ces fractures ont présenté des complications. Cette étude avait également pour objectif de comparer entre eux les chiens et les chats mais aucune différence significative entre ces deux espèces, autre que le poids, n'a été mise en évidence. Cette technique s'insère parfaitement dans l'évolution de la conception de l'ostéosynthèse mais des études sont encore à mener pour parfaire cette technique, notamment en réfléchissant sur de nouveaux types d'implants permettant de réduire les complications.

MOTS CLES :

- Fracture
- Ostéosynthèse
- Chirurgie mini-invasive
- Plaques
- Tibia

JURY :

Président : Monsieur le Professeur Olivier MONNEUSE
1er Assesseur : Monsieur le Professeur Éric VIGUIER
2ème Assesseur : Monsieur le Professeur Thibaut CACHON

DATE DE SOUTENANCE : Le 12 octobre 2018