

TABLE DES MATIERES

LISTE DES ANNEXES	3
LISTE DES FIGURES	3
LISTE DES TABLEAUX.....	4
LISTE DES ABREVIATIONS.....	5
INTRODUCTION.....	7
PREMIÈRE PARTIE : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE	9
1. La cicatrisation osseuse.....	11
1.1. Formation du cal de fracture.....	11
1.1.1. Phase inflammatoire.....	12
1.1.2. Phase de réparation	12
1.1.3. Phase de remodelage.....	14
1.2. Variation du cal de fracture.....	15
1.2.1. Différents types de cal	15
1.2.2. Facteurs influençant le volume du cal	15
2. Caractéristiques structurales des « locking compression plates » (LCP)	17
2.1. Historique de l'évolution de l'ostéosynthèse par plaque	17
2.2. Forme de la plaque.....	19
2.3. Originalité du trou combiné.....	20
2.4. Différents types de vis possibles.....	23
2.4.1. Vis standard	24
2.4.2. Vis de verrouillage.....	24
3. Caractéristiques biomécaniques des plaques LCP	25
3.1. Choix de la longueur de la plaque.....	25
3.2. Choix des vis.....	26
3.2.1. Nombre de vis.....	26
3.2.2. Position des vis	27
3.2.3. Intérêt du verrouillage des vis.....	27
3.3. Espacement plaque-os.....	28
3.4. Indications et limites des montages LCP	29
3.4.1. Utilisation des LCP en mode verrouillé.....	29
3.4.2. Utilisation des LCP en mode non verrouillé ou mixte.....	29
3.4.3. Limites	30
3.4.4. Complications	30
4. Différents types d'ostéosyntheses.....	31
4.1. L'ostéosynthèse à foyer ouvert.....	31
4.2. Ostéosynthèse à foyer fermé.....	32
4.2.1. Réduction et fixation.....	33
4.2.2. Préservation de l'apport sanguin.....	33
4.2.3. Stabilité	34
4.2.4. Mise en charge	34

DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDE CLINIQUE	37
1. Matériel et méthode	39
1.1. Critères d'inclusion	39
1.2. Description des animaux et des fractures	39
1.3. Description de la méthode de stabilisation	41
1.4. Évaluation de l'évolution des patients	42
1.5. Analyse statistique	42
2. Résultats	44
2.1. Description des animaux	44
2.1.1. Sexe des animaux	44
2.1.2. Âge des animaux	44
2.1.3. Poids des animaux	45
2.2. Description des fractures	46
2.2.1. Délai d'opération après la survenue du traumatisme	46
2.2.2. Cause de fracture	46
2.2.3. Os fracturé	46
2.2.4. Localisation de la fracture	47
2.2.5. Type de fracture	47
2.2.6. Fracture ouverte ou fermée	48
2.2.7. Fracture(s) concomitante(s)	48
2.3. Description de la méthode de stabilisation	50
2.3.1. Caractéristiques liées à l'implant	50
2.3.2. Caractéristiques mécaniques du montage	53
2.4. Suivis et complications	55
2.4.1. Suivi radiographique	55
2.4.2. Délai de cicatrisation	55
2.4.3. Complications	56
2.4.4. Résultats statistiques	67
3. Discussion	69
3.1. Critères d'inclusion	69
3.2. Description des animaux, des fractures et des suivis	69
3.2.1. Description des animaux	69
3.2.2. Description des fractures	70
3.2.3. Suivis et délais de cicatrisation	70
3.3. Mise en relation de la méthode de stabilisation avec les complications	71
3.3.1. Taux de complication	71
3.3.2. Analyse des complications	72
3.3.3. Résultats statistiques	75
CONCLUSION	77
BIBLIOGRAPHIE	79
ANNEXES	83

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Taille et épaisseur des plaques LCP 2.0.....	83
Annexe 2 : Taille et épaisseur des plaques LCP 2.4.....	84
Annexe 3 : Tableau récapitulatif des descriptions des animaux.....	85
Annexe 4 : Tableau récapitulatif des descriptions des fractures	87
Annexe 5 : Tableau récapitulatif des descriptions des méthodes de stabilisation.....	90

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Cicatrisation osseuse par seconde intention.	11
Figure 2 : Structure histologique d'un cal de fracture	15
Figure 3 : Plaques DCP.....	17
Figure 4 : Plaques LC-DCP	18
Figure 5 : Plaque LCP.....	19
Figure 6 : Plaque LCP à 6 trous	20
Figure 7 : Le trou combiné LCP	21
Figure 8 : Schéma des différents montages possibles avec une plaque LCP.....	21
Figure 9 : Les vis utilisables avec une plaque LCP	23
Figure 10 : Position des vis dans le trou combiné.....	23
Figure 11 : Position d'une vis standard dans le trou combiné	24
Figure 12 : Schéma illustrant le calcul du PSD et du PSW	26
Figure 13 : Schéma illustrant la concentration des contraintes en fonction de la longueur utile de la plaque	27
Figure 14 : Représentation des différents types de fracture (exemple d'un fémur).....	40
Figure 15 : Représentation des paramètres mesurés pour notre étude sur l'exemple d'un radius.	41
Figure 16 : Répartition des animaux en fonction de leur sexe et de leur état de stérilisation.	44
Figure 17 : Répartition des animaux en fonction de leur âge	45
Figure 18 : Répartition des animaux en fonction de leur poids	45
Figure 19 : Répartition des fractures en fonction de l'os atteint.....	46
Figure 20 : Répartition des fractures en fonction de leur localisation	47
Figure 21 : Répartition des fractures en fonction de leur type.....	47
Figure 22 : Nombre de fractures en fonction de la taille de la plaque utilisée.....	50
Figure 23 : Répartition des plaques en fonction de l'os fracturé.....	50

Figure 24 : Répartition de l'âge des animaux en fonction de la taille de la plaque	51
Figure 25 : Répartition des délais de cicatrisation des fractures en fonction de la technique chirurgicale utilisée	56
Figure 26 : Cas n°25, Popeye, fracture mediadiaphysaire simple transverse du radius gauche et oblique courte de l'ulna gauche.....	59
Figure 27 : Cas n°20, Daniel, fracture mediadiaphysaire multi-esquilleuse du tibia droit et simple transverse de la fibula droite.....	61
Figure 28 : Cas n°21, Merlin, fracture mediadiaphysaire comminutive du tibia gauche et simple transverse de la fibula gauche.....	62
Figure 29 : Cas n°52, Narandji, fracture comminutive du tiers distal de la diaphyse du tibia et de la fibula gauche.....	63
Figure 30 : Cas n°14, Pelote, fracture comminutive du tiers proximal de la diaphyse du fémur gauche.....	64
Figure 31 : Cas n°17, Vilette, fracture multi-esquilleuse du tiers distal de la diaphyse du tibia droit.....	65
Figure 32 : Cas n°36, Felix, fracture comminutive du tiers distal de la diaphyse de l'humérus gauche.....	66

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Règles pour l'utilisation d'une plaque dans le traitement des fractures simples et complexes	28
Tableau 2 : Comparaison du temps opératoire, du temps de consolidation et de la récupération fonctionnelle pour des techniques d'ostéosynthèse anatomique et biologique ..	35
Tableau 3 : Résultats des antibiogrammes et traitements des fractures ouvertes	48
Tableau 4 : Détail des fractures concomitantes et de leur traitement	49
Tableau 5 : Répartition des plaques en fonction de leur taille et de l'espèce de l'animal	51
Tableau 6 : Description des dispositifs autre que les plaques LCP	54
Tableau 7 : Description des complications rencontrées dans l'étude	57
Tableau 8 : Résultat des tests statistiques pour la comparaison de deux variables qualitatives	67
Tableau 9 : Résultat des tests statistiques pour la comparaison des variables quantitatives avec une variable binaire	68

LISTE DES ABREVIATIONS

AMO : Ablation du Matériel d'Ostéosynthèse

AO/ASIF : Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen / Association for the Study of Internal Fixation

AVP : Accident de la Voie Publique

BID : *Bis In Die* : Deux fois par jour

CCM : Clou CentroMédullaire

DCP : *Dynamic Compression Plate*, plaque de compression dynamique

ENVA : École Nationale Vétérinaire d'Alfort

IQR : Distance interquartile

LC-DCP : *Limited Contact Dynamic Compression Plate*, plaque de compression dynamique à contact limité

LCP : *Locking Compression Plate*

MIPO : *Minimally Invasive Plate Osteosynthesis*, ostéosynthèse mini-invasive par plaque

NC : Non Connu

OBDNT : *Open But Do Not Touch*

ONIRIS : École Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes-Atlantique

ORIF : *Open Reduction and Internal Fixation*

PSD : *Plate Screw Density*

PSW : *Plate Span Width*

SD : *Standard Deviation* : Écart-type

SID : Une fois par jour

VCP : *Veterinary Cuttable Plate*, plaque sécable vétérinaire

INTRODUCTION

Jusqu'à ces dernières années, la stabilité des montages d'ostéosynthèses par plaque reposait sur les forces de friction obtenues par la compression de la plaque sur l'os. Ce type de montage a toutefois divers inconvénients. En premier lieu, la compression de la plaque sur l'os nécessite un modelage précis de la plaque pour assurer l'intimité du contact os-plaque. Ce modelage allonge le temps d'intervention. La compression induit un écrasement des tissus péri-osseux, notamment du périoste, pouvant générer une souffrance osseuse et des retards de cicatrisation. Enfin, la taille de ces plaques n'est pas toujours adaptée aux différents os appendiculaires des petits carnivores.

Le concept de l'ostéosynthèse biologique, qui permet de préserver la vascularisation osseuse, est apparu il y a une vingtaine d'années. Dans un premier temps, ce concept a permis le développement des plaques à contact limité avec l'os, du type plaque LC-DCP (*Limited Contact Dynamic Compression Plate*), puis, dans un second temps, il a conduit à l'élaboration des plaques à vis verrouillées, du type plaque LCP (*Locking Compression Plate*).

Lors d'utilisation de plaques à vis verrouillées, la stabilité du montage est obtenue par le verrouillage des têtes de vis dans les trous de la plaque. Cette caractéristique permet de s'affranchir du modelage précis de la plaque sur l'os. Le temps opératoire s'en trouve ainsi réduit. De plus, les tissus péri-osseux se trouvent respectés par l'absence de contact intime entre la plaque et l'os.

Depuis quelques années, ces plaques ont vu leurs indications se développer, avec notamment l'apparition des plaques 2.4, dont la taille est souvent plus adaptée aux os appendiculaires des chats.

Le but de cette étude est d'évaluer rétrospectivement la stabilisation des fractures appendiculaires à l'aide de plaque LCP 2.0 et 2.4, chez les chats et les petits chiens. Différentes variables susceptibles d'influencer la stabilité de la construction ont été évaluées.

Dans une première partie, nous ferons un rappel sur la cicatrisation osseuse puis nous présenterons les principales caractéristiques de ces implants. Puis dans une seconde partie, nous étudierons les différents montages qui ont été réalisés entre 2010 et 2013, dans les écoles vétérinaires d'Alfort et de Nantes, et nous les comparerons aux résultats obtenus dans la littérature.

PREMIÈRE PARTIE :
ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

1. La cicatrisation osseuse

Tout traumatisme de l'os, dès lors qu'il est à l'origine d'une fracture, déclenche la mise en œuvre de mécanismes complexes aboutissant, lorsque les conditions environnementales le permettent, à la restauration de l'os d'origine, sans formation d'une cicatrice. Cette régénération tissulaire est tout à fait particulière puisqu'elle restitue, à terme, les propriétés mécaniques et biologiques de l'os fracturé. La cicatrisation osseuse ne peut cependant se produire que si deux conditions sont réunies : une vascularisation adéquate, pour un apport dans le foyer fracturé de nutriments et cellules indispensables à la reconstruction osseuse, et une stabilité du foyer de fracture. Le processus de cicatrisation ne sera pas le même selon que la stabilité du foyer est complète ou non. (Viateau 2004-2005 ; Johnson *et al.*, 2005)

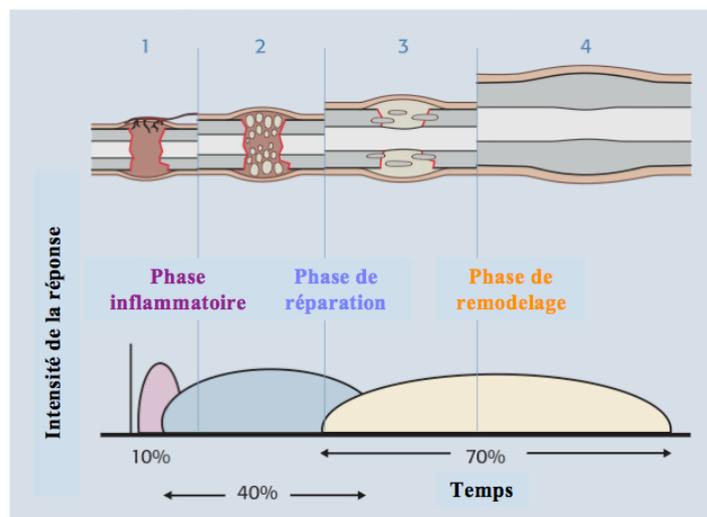
1.1. Formation du cal de fracture

La cicatrisation osseuse se fait en trois étapes distinctes, de durées inégales, mais qui se chevauchent dans le temps, comme le montre la figure 1 :

- la phase inflammatoire (10 %),
- la phase de réparation (40 %),
- la phase de remodelage (70 %). (Kalfas, 2001 ; Viateau, 2004-2005)

Figure 1 : Cicatrisation osseuse par seconde intention.

(1) Constitution de l'hématome dans le foyer de fracture et nécrose ischémique de l'os lésé, (2) Formation du tissu de granulation, puis d'un cal fibreux et enfin d'un cal fibro-cartilagineux (3) Remplacement du cal osseux en os lamellaire, (4) Phase d'ostéogénèse et ostéoclasie. (d'après Johnson *et al.*, 2005)



1.1.1. Phase inflammatoire

Cette phase s'opère dès les premières heures après la rupture initiale de l'os et persiste jusqu'à trois semaines après le traumatisme, une fois que la formation du cartilage ou de l'os est initiée, comme le montre la figure 1 (1). (Johnson et *al.*, 2005)

Les fractures entraînent inévitablement une perturbation des vaisseaux médullaires, qui sont rompus et thrombosés sur une distance pouvant aller jusqu'à plusieurs millimètres de la fracture. Bien que cette thrombose minimise les pertes de sang, la dévascularisation des extrémités fracturaires conduit à une nécrose ischémique des os, par la mort des ostéocytes, leur nécrose, celle du périoste et de la moelle osseuse au voisinage du trait de fracture. (Kalfas, 2001 ; Viateau, 2004-2005)

L'accumulation de produits de la nécrose tissulaire induit une réponse inflammatoire aiguë dont les manifestations sont habituelles : vasodilatation, œdème et afflux de polynucléaires et de macrophages.

Le rôle mécanique de l'hématome au sein du site de fracture est négligeable dans le maintien de la stabilité du foyer de fracture. Il sert cependant de trame fibrineuse aux éléments vasculaires et cellulaires de la réparation tissulaire. L'hématome se résorbe avant la fin de la première semaine, sauf s'il y a une infection, des mouvements excessifs, ou une nécrose. (Viateau, 2004-2005)

Cliniquement, la fin de la phase inflammatoire coïncide avec une diminution de la douleur et de la déformation locale.

1.1.2. Phase de réparation

Cette phase comprend elle-même trois étapes :

- **Consolidation conjonctive**

De la 1^{ère} à la 48^{ème} heure après le traumatisme, l'hématome est progressivement colonisé par des cellules mésenchymateuses indifférenciées, formant le tissu de granulation (figure 1 (2)). Ces cellules mésenchymateuses sont d'origines diverses : vaisseaux, cambium, endoste, muscles.

Les caractéristiques mécaniques de ce tissu sont intéressantes à ce stade de la cicatrisation où l'instabilité est maximale. Ce nouveau tissu tolère en effet un allongement égal à deux fois sa longueur (100 %).

En parallèle, une néovascularisation se met en place à partir des artères périostées, des artères médullaires et d'une vascularisation extra-osseuse transitoire, en provenance des tissus mous périphériques. La participation relative de ces sources vasculaires au processus de cicatrisation

osseuse diffère en fonction des qualités de réduction et de stabilité mécanique du foyer de fracture. Lorsque la réduction est anatomique et que le foyer est stable, la vascularisation de ce dernier provient des artères médullaires. Lorsqu'elle est approximative et que le site fracturaire est instable, elle provient principalement des artères extra-osseuses.

Les cellules du tissu de granulation synthétisent du collagène qui assure sa transformation en tissu conjonctif qui englobe les abouts fracturaires. Du collagène de type I, II et III est initialement déposé, mais quand le processus de réparation se poursuit, le collagène de type I prédomine. Ce tissu (cal conjonctif) présente une rigidité supérieure à celle du tissu qu'il remplace mais son allongement jusqu'à la rupture ne peut dépasser 5 à 17 %.

(Viateau, 2004-2005 ; Johnson *et al.*, 2005)

- **Consolidation cartilagineuse**

Entre 48 heures et 3 semaines après le traumatisme, le tissu conjonctif évolue en fonction des conditions de stabilité locale. Lorsqu'il est soumis à un certain degré de mobilité, les cellules se transforment en chondroblastes (moins exigeants que les ostéoblastes sur le plan biologique), qui synthétisent une matrice cartilagineuse. Le cal conjonctif se transforme en cal fibro-cartilagineux qui améliore la stabilité du foyer de fracture (figure 1 (2)). Ce tissu fibreux interfragmentaire est organisé en diagonale, optimisant sa capacité à s'allonger.

(Viateau, 2004-2005 ; Johnson *et al.*, 2005)

- **Consolidation osseuse**

Il s'agit d'une phase s'étalant de 3 semaines à 3 mois après le traumatisme.

Lors de stabilité absolue au niveau du foyer de fracture, l'ossification du cal conjonctif peut se faire directement. Dans ce cas, les cellules mésenchymateuses se différencient en ostéoblastes qui synthétisent la matrice osseuse sans passer par la phase cartilagineuse. C'est l'ossification endo-conjonctive telle qu'elle est décrite chez le fœtus. Les ostéoblastes synthétisent le collagène de la matrice qui se minéralisera secondairement par dépôt des cristaux d'hydroxyapatite.

Lors d'instabilité relative, l'ossification se fait en passant par le stade du cal fibro-cartilagineux. Ce type de guérison est considéré comme la guérison indirecte ou secondaire. Le gain de stabilité par la formation du cartilage permet la mise en œuvre du processus d'ossification endochondrale,

conduisant à la formation du cal osseux. Il y a différenciation des cellules mésenchymateuses en chondroblastes, minéralisation de la matrice cartilagineuse et destruction du cartilage formé par les ostéoclastes. À la place se construit un os nouveau.

À la fin de la phase de réparation, l'os formé est, dans les deux cas, primitif et immature. Il est non lamellaire et caractérisé par l'orientation anarchique des fibres de collagène. L'organisation non lamellaire du cal explique la fragilité du cal osseux à ce stade. Il doit être remodelé pour présenter à terme des caractéristiques histologiques et biomécaniques propres au tissu osseux d'origine.

Le temps nécessaire pour réaliser l'union varie considérablement selon la configuration de la fracture, son emplacement, la mobilité du foyer, l'état des tissus mous adjacents, ainsi que les caractéristiques du patient (espèce, âge, état de santé, blessures / maladies concomitantes). À la fin de la phase de réparation, l'os blessé a retrouvé assez de force et de rigidité pour permettre un retour à une fonction locomotrice normale.

(Viateau, 2004-2005 ; Johnson *et al.*, 2005)

1.1.3. Phase de remodelage

Cette phase débute avant la fin de la phase de réparation (en moyenne dès la troisième semaine après le traumatisme) et constitue l'étape la plus longue de la cicatrisation osseuse, pouvant durer plusieurs mois voire plusieurs années, comme le montre la figure 1 (3 et 4). Son intensité et sa durée sont fortement liées aux contraintes mécaniques qui s'exercent sur le foyer de fracture.

C'est la phase au cours de laquelle l'os immature du cal osseux est remplacé par un os lamellaire, dont les caractéristiques biomécaniques et histologiques sont proches de celle de l'os initial. Conformément à la loi de Wolff, les régions biomécaniquement inefficaces du cal, sont résorbées par ostéoclasie, les régions sollicitées sont renforcées par apposition d'os lamellaire. Ce remodelage serait sous la dépendance de phénomènes piézoélectriques. Les parties convexes du cal seraient ainsi chargées positivement, et subiraient une résorption par stimulation de l'ostéoclasie. Les parties concaves seraient chargées négativement et subiraient une ostéogénèse. Le remodelage conduit au remaniement des corticales et au creusement de la cavité médullaire.

(Viateau, 2004-2005 ; Johnson *et al.*, 2005)

1.2. Variation du cal de fracture

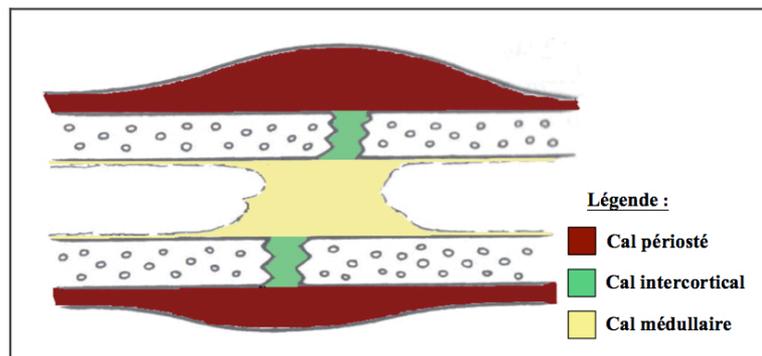
1.2.1. Différents types de cal

Le cal de fracture est en général composé de trois couches histologiquement distinctes, le cal périosté, le cal cortical et le cal médullaire, comme le montre la figure 2.

- Le cal périosté est situé sur les faces externes des corticales, il est vascularisé par le réseau extra-osseux. Le périoste entourant le site de fracture s'épaissit avant de subir une transformation chondrogénique, produisant ainsi un cal externe.
- Le cal intercortical occupe l'espace interfragmentaire situé entre les deux corticales opposées. L'importance de ce cal dépend de l'espace séparant les bouts osseux.
- Le cal médullaire est situé uniquement dans la cavité médullaire et vascularisé par l'artère médullaire, il constitue le premier pont osseux survenant sur le site fracturaire. Il se développe à partir de la couche de cellules endo-osseuses.

(Viateau, 2004-2005 ; Johnson *et al.*, 2005)

Figure 2 : Structure histologique d'un cal de fracture (d'après Beale, 2007)



1.2.2. Facteurs influençant le volume du cal

La quantité de cal produite dépend de la stabilité de la fracture. En conséquence, la qualité de l'immobilisation est un facteur déterminant dans la cicatrisation osseuse, au même titre que la vascularisation du foyer de fracture. En fonction du degré d'immobilisation obtenue, le traitement mis en œuvre influe de façon importante sur la formation du cal.

- **Immobilisation absolue**

Lorsque l'immobilisation est complète, sous réserve que le contact osseux soit parfait entre les surfaces fracturées, la cicatrisation s'effectue par première intention. La cicatrisation se fait donc majoritairement par les cals intercorticaux et médullaires.

Ce type d'immobilisation peut être obtenu par une plaque en compression.

Dans des conditions optimales, le développement du cal se fait sur une durée de cinq à six semaines.

(Viateau, 2004-2005 ; Johnson *et al.*, 2005)

- **Immobilisation relative**

Dans ce cas, le périoste produit un cal de volume important et à croissance rapide. Plus le foyer est instable, plus la production de cal périosté est importante, car celui-ci stabilise l'espace interfragmentaire. Il assure le pontage du foyer de fracture.

La formation du cal périosté débute à distance du foyer de fracture et progresse en direction de l'espace interfragmentaire. L'augmentation du cal périosté augmente le diamètre de l'os et diminue l'importance des forces nécessaires pour s'opposer au déplacement.

Ce type d'immobilisation peut être obtenu par un pansement contentif externe (le plus instable), un enclouage centro-medullaire, un fixateur externe ou une plaque de soutien ou de neutralisation.

(Viateau, 2004-2005 ; Johnson *et al.*, 2005)

- **Cas de grandes pertes de substance osseuse**

Dans les cas de fractures complexes, notamment les fractures comminutives, le développement d'un cal périosté volumineux est souhaitable. Ce type de cal permet en effet de stabiliser rapidement le foyer par pontage et d'assurer le comblement osseux des zones non reconstructibles. Il sera d'autant plus développé que les fragments osseux sont éloignés.

Sa formation présente cependant quelques exigences, notamment la nécessité de préserver les tissus mous environnants et leur vascularisation, ainsi que la recherche d'une stabilité non absolue entre les fragments osseux.

Signalons cependant que si une ostéosynthèse rigide semble la meilleure solution pour obtenir une consolidation osseuse, une rigidité absolue ralentit la cicatrisation osseuse en diminuant voire en supprimant les contraintes supportées par l'os. La mise en charge précoce après le traitement d'une fracture accélère l'acquisition de la solidité du cal, même si à long terme, la solidité du cal est identique à celle obtenue sans mise en charge. La reprise rapide de la locomotion améliore, par ailleurs, non seulement les conditions de cicatrisation, mais évite l'amyotrophie et l'ankylose articulaire.

(Viateau, 2004-2005 ; Johnson *et al.*, 2005)

2. Caractéristiques structurales des « locking compression plates » (LCP)

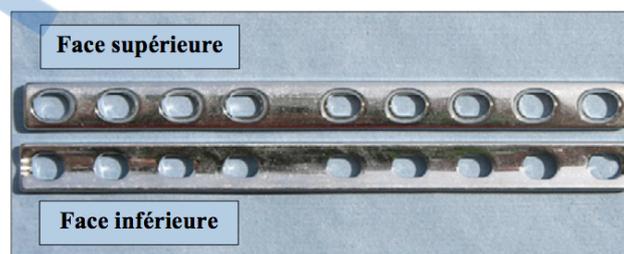
Le système LCP est une innovation majeure dans le domaine de l'ostéosynthèse par plaque et vis. Ce système de fixation interne s'appuie sur plusieurs avancées technologiques. Son utilisation dans le cadre de fractures diaphysaires complexes, métaphysaires et épiphysaires, ainsi que dans l'os de moindre qualité permet d'obtenir des résultats cliniques exceptionnels. (Fiches produits Synthes, 2010)

2.1. Historique de l'évolution de l'ostéosynthèse par plaque

Initialement, le traitement de référence des fractures des os longs chez les petits animaux s'est fait par utilisation d'une plaque standard. La stabilité du montage est obtenue, dans ce cas, par la friction entre la plaque et l'os. Cette technique d'ostéosynthèse nécessite un contact étroit entre la plaque et l'os et, par conséquent, un modelage précis de la plaque pour l'adapter à la forme de l'os. Ce travail de modelage peut être long et peut prolonger le temps opératoire. Le principal inconvénient de cette technique est un écrasement des tissus entre la plaque et l'os et notamment du périoste.

Un deuxième concept est ensuite apparu avec le développement des plaques de compression dynamique (DCP, *Dynamic Compression Plate*) (figure 3). Tout en étant basé sur le même principe de stabilité, ces plaques permettent, de plus, de réaliser une compression interfragmentaire. Cette dernière n'est toutefois possible que pour les fractures transverses. La compression interfragmentaire accroît la stabilité du montage et réduit l'espace interfragmentaire.

Figure 3 : Plaques DCP, d'après Miller et Goswami (2007)



Bien qu'ayant grandement amélioré le traitement des fractures par rapport aux traitements préexistants, par enclouage notamment, les plaques standard présentent divers inconvénients. L'écrasement des tissus mous entre la plaque et l'os contrariait l'installation du cal. De plus, la

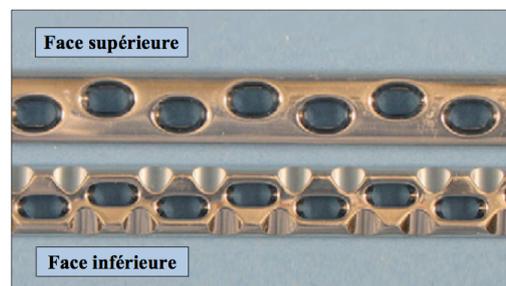
stabilité du montage était étroitement dépendante de l'intimité du contact entre la plaque et l'os et donc de la précision du modelage de l'implant sur l'os. L'évolution des plaques s'est faite pour s'affranchir de ces inconvénients. (Stoffel *et al.*, 2003 ; Johnson *et al.*, 2005, Miller et Goswami, 2007)

Pour répondre à ces difficultés, des chercheurs, ingénieurs et chirurgiens orthopédistes ont créé un groupe d'étude en 1958 : l'AO/ASIF (*Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen/Association for the Study of Internal Fixation*) (Johnson *et al.*, 2005).

Durant la seconde moitié du 20^{ème} siècle, les réflexions de l'AO/ASIF ont fait évoluer les principes généraux du traitement des fractures, avec notamment une prise en compte de la vascularisation locale, de la préservation des tissus mous environnants et de l'utilisation d'une fixation flexible. (Johnson *et al.*, 2005)

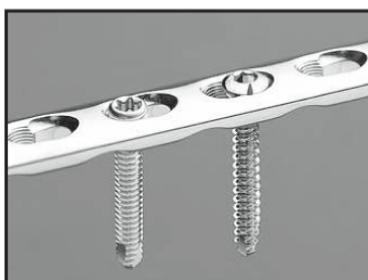
Une première évolution des implants a consisté à développer des plaques à contact limité, du type LC-DCP (*Limited Contact Dynamic Compression Plate*). Ces plaques présentent des encoches sur la face en contact avec l'os (figure 4). Ces plaques limitent l'écrasement du périoste entre la plaque et l'os et préservent ainsi la vascularisation extra-osseuse sans perte de friction entre l'implant et l'os. Elles permettent de diminuer de 50% les lésions vasculaires périostées. (Johnson *et al.*, 2005)

Figure 4 : Plaques LC-DCP, d'après Miller et Goswami (2007)



Afin d'améliorer ce concept, de nouvelles plaques ont été mises au point dans le but de supprimer complètement la compression de la plaque sur l'os, sur toute la surface de l'implant. Ces plaques à vis verrouillées, telles que les plaques LCP (*Locking Compression Plate*), ont été conçues de telle sorte que les têtes des vis soient filetées et viennent se visser dans les trous de la plaque, qui présentent un pas de vis adapté aux têtes de vis (figure 5).

Figure 5 : Plaque LCP, d'après Aguilla et al. (2005)



Ainsi la plaque n'est plus obligatoirement appliquée directement contre l'os. Le verrouillage des vis, aboutit à la constitution d'une unité de fixation stable, minimisant les mouvements entre la plaque, les vis et l'os, dont la stabilité est indépendante du contact avec l'os (Egol *et al.*, 2004). La construction se comporte alors comme un fixateur interne. Le contact entre l'os et la plaque étant moins intime, le modelage de la plaque peut être moins précis. Le temps opératoire s'en trouve diminué (Wagner, 2003 ; Egol *et al.*, 2004 ; Ahmad *et al.*, 2007). Ces plaques constituent les implants de choix pour une ostéosynthèse sans abord du foyer de fracture, permettant la préservation de l'hématome fracturaire, telle que la technique d'ostéosynthèse mini-invasive (MIPO, *cf. infra*) (Miller et Goswani, 2007).

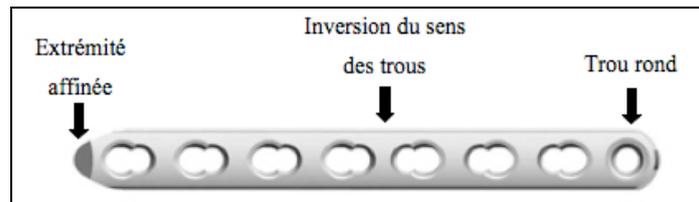
2.2. Forme de la plaque

Le système LCP, proposé par Synthes®, comporte toutes les tailles de plaques dédiées à la chirurgie vétérinaire, depuis la 2.0 jusqu'à la 5.5 large (Fiches produits Synthes, 2010). Les vis et plaques de 2,0 et 2,4 mm sont particulièrement adaptées à l'ostéosynthèse des os longs du chat et du petit chien. Les implants de 2,4 mm sont récents mais font désormais partie du standard des sets mini-fragments.

Les plaques et vis LCP sont constituées d'acier inoxydable ou d'un alliage de titane. Ces implants ont une épaisseur variable en fonction de la longueur de la plaque. Ainsi les plaques de 2.0 sont disponibles en 1,2 mm d'épaisseur pour les plaques de 4 à 7 trous, et en 1,5 mm d'épaisseur pour celles de 6 à 14 trous. Les plaques LCP de 2.4 font 1,7 mm d'épaisseur pour les 4 à 8 trous et 2 mm d'épaisseur pour les 8 à 14 trous. Les différentes longueurs des plaques disponibles sont précisées dans les annexes 1 et 2.

Ces plaques présentent un trou rond à l'une de leurs extrémités, ce qui permet un positionnement au plus près de la surface articulaire. L'extrémité opposée est affinée pour faciliter l'insertion de la plaque par un abord mini-invasif et minimiser le trauma tissulaire. De plus, la position des trous combinés (*cf. infra*) s'inverse au milieu de la plaque. La figure 6 nous permet de voir ces particularités.

Figure 6 : Plaque LCP à 6 trous



Enfin, comme les plaques LC-DCP, leur surface inférieure a un contact limité avec l'os du fait de sa conformation à encoches.

Outre les plaques de forme classique, des plaques anatomiques ont été créées, adaptées à certains os ou certaines utilisations, comme les ostéotomies de nivellement du plateau tibial. Les trous de vis de ces plaques anatomiques ne sont pas obligatoirement orientés perpendiculairement à la plaque, et doivent s'adapter aux caractéristiques de la morphologie osseuse et augmentent la résistance à l'arrachement (Fiches produits Synthes, 2010).

2.3. Originalité du trou combiné

Il y a quelques années, les chirurgiens ont exprimé le désir d'avoir un système de plaque permettant indifféremment l'utilisation de vis classiques ou de vis verrouillées ou d'une combinaison des deux sur le même implant. Ce désir a conduit à la mise au point du trou combiné des LCP. (Wagner, 2003)

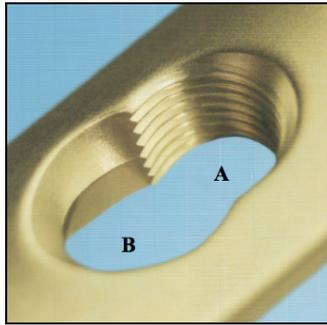
Le trou combiné différencie les plaques LCP des autres systèmes verrouillés. En effet, ils peuvent accueillir aussi bien des vis conventionnelles que des vis verrouillées (Fargheon, 2011).

La figure 7, qui représente un trou combiné LCP, nous montre que :

- la partie « A » permet de verrouiller des vis, ce qui entraîne une connexion stable entre la plaque et la vis. Les vis de verrouillage réduisent ainsi le risque de détachement des vis et il n'y a pas de couple excessif appliqué à l'os cortical ;
- la partie « B » permet l'utilisation de vis standard et la réalisation d'une compression dynamique selon les principes des plaques DCP.

(Instructions d'utilisation Synthes)

Figure 7 : Le trou combiné LCP, d'après les instructions d'utilisation Synthes



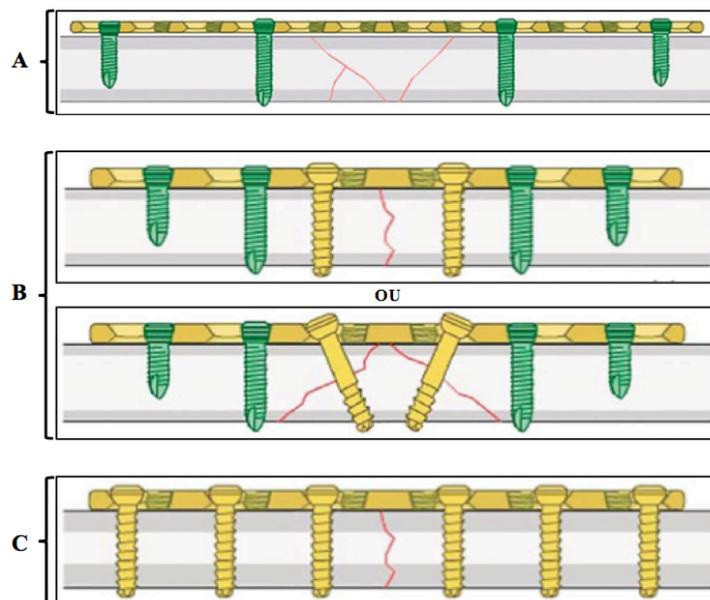
Le trou fileté n'ayant pas une circonférence complète, du fait de son imbrication avec le trou non verrouillé, ceci apporterait une certaine souplesse au montage et diminuerait la mise en charge du filetage. (Frigg, 2003)

Le système LCP permet d'appliquer la technique standard par plaques, le principe du fixateur interne ou d'associer ces deux méthodes, comme l'illustre la figure 8. Il est donc possible de traiter n'importe quel type de fracture par la technique la plus adaptée :

- montage fixateur interne (A) : plaque LCP + vis de verrouillage,
- montage mixte (B) : plaque LCP + vis standard et vis de verrouillage,
- montage standard (C) : plaque LCP + vis standard.

(Fiches produits Synthes, 2010)

Figure 8 : Schéma des différents montages possibles avec une plaque LCP, d'après Wagner (2003).



Ainsi selon la fonction souhaitée, la plaque est utilisée :

- comme une plaque conventionnelle de compression dynamique pour une fixation rigide. Lorsqu'on réalise ce montage standard, il est nécessaire de modeler précisément la plaque sur l'os. Les fragments d'os sont tirés vers l'implant pour venir au contact de la plaque. En cas de défaut de modelage de la plaque, le vissage entraîne un déplacement du fragment et un défaut de réduction ;
- comme un fixateur interne, éliminant ainsi la nécessité de faire un modelage parfait de la plaque. Une fois que les fragments de la fracture sont correctement alignés, le serrage des vis dans les trous filetés ne conduit pas à un déplacement des fragments osseux vers la plaque. La cicatrisation se fera par seconde intention et plus rapidement car la vascularisation du périoste est préservée.

(Gauthier et Sommer, 2003)

En raison des effets mécaniques du serrage des vis sur les fragments osseux, des précautions doivent être prises lors de l'utilisation concomitante de vis standard et de vis verrouillées.

Si la fixation de la plaque est initialement obtenue avec des vis standard, il est ensuite possible d'insérer des vis de verrouillage pour assurer la stabilité angulaire des fragments.

En revanche, si la plaque est d'abord fixée par des vis de verrouillage, il est contre indiqué d'insérer ultérieurement des vis standard dans le même fragment. Dans ce cas, il est nécessaire de retirer les vis de verrouillage du fragment, avant d'insérer des vis standard. En effet, si les vis verrouillées sont placées en premier, la plaque est fixée avec un écart plaque-os de quelques millimètres. Ce mode de fixation empêchera par la suite l'effet de compression de la plaque sur l'os par les vis standard (Tan et Balogh, 2009).

Enfin, si l'on a fixé le fragment métaphysaire avec des vis de verrouillage, on peut ensuite assurer une compression dynamique de la fracture à l'aide de vis standard selon le principe des plaques DCP. Après compression, des vis de verrouillage supplémentaires sont insérées dans le fragment osseux distal pour accroître la stabilité du montage.

(Instructions d'utilisation Synthes)

2.4. Différents types de vis possibles

Le trou combiné permet ainsi d'utiliser trois types de vis différentes (figure 9) :

- les vis de verrouillage autotaraudantes qui s'utilisent après une mesure précise de la longueur, pour une insertion monocorticale ou bicorticale et pour lesquelles un taraudage séparé n'est pas nécessaire pour pouvoir les insérer,
- les vis de verrouillage automéchantes qui s'utilisent sans mesure précise de longueur, uniquement pour une insertion monocorticale, dans la diaphyse, et pour lesquelles le taraudage et le préforage ne sont pas nécessaires,
- les vis standard à l'aide desquelles une compression dynamique est créée. (Instructions d'utilisation Synthes)

Figure 9 : Les vis utilisables avec une plaque LCP

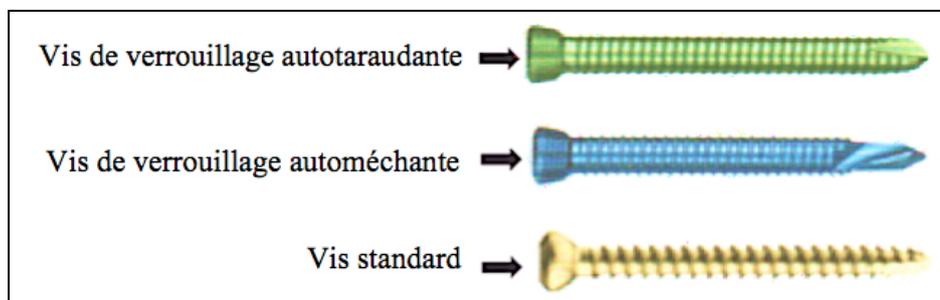
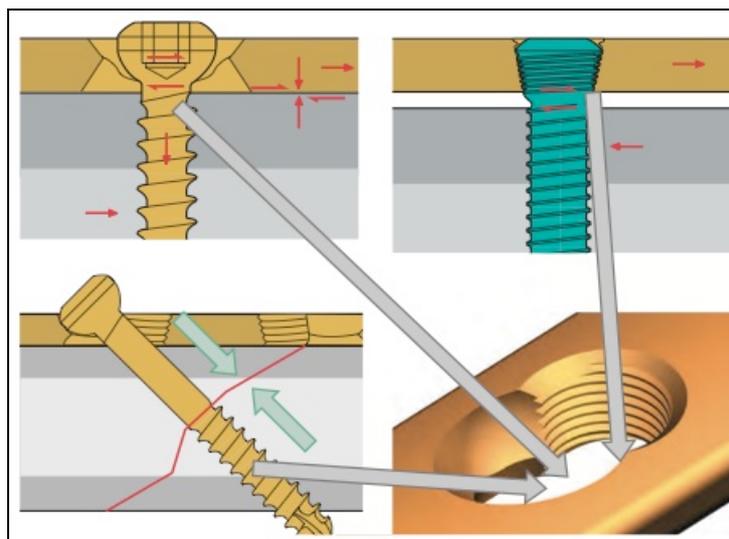


Figure 10 : Position des vis dans le trou combiné (d'après Johnson et al., 2005)

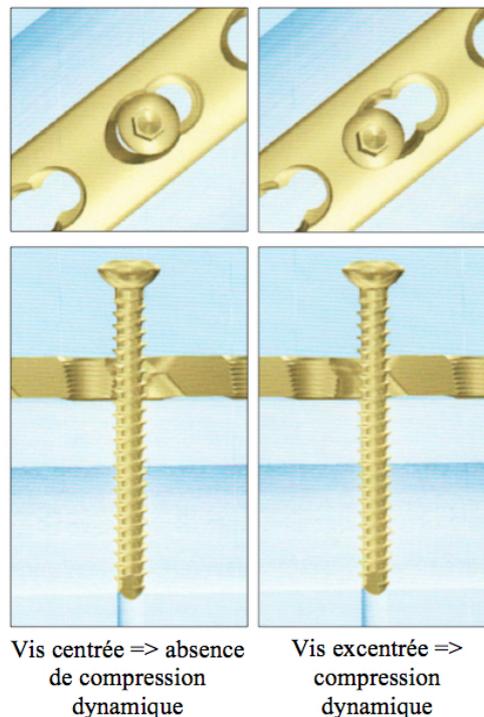


2.4.1. Vis standard

Les vis standard peuvent être placées perpendiculairement à la plaque ou être inclinées, comme le montre la figure 10. Le chirurgien dispose d'une certaine liberté d'angulation de la vis de 20° dans chacune des directions du plan longitudinal et de 7° dans chacune des directions du plan transversal (données Synthes®), ce qui permet notamment d'éviter de pénétrer dans une articulation et éventuellement de créer une compression interfragmentaire, comme le ferait une vis en compression hors de la plaque.

De plus, ces vis peuvent être placées en position neutre ou excentrée dans le trou pour créer ou non une compression dynamique, comme le montre la figure 11.

Figure 11 : Position d'une vis standard dans le trou combiné (d'après les instructions d'utilisation Synthes)



2.4.2. Vis de verrouillage

À l'inverse, l'orientation de ces vis est imposée par l'orientation du pas de vis dans le trou de la plaque. Elles sont donc insérées à angle fixe, le plus souvent perpendiculairement à la plaque. Une stabilité angulaire est ainsi obtenue, ce qui permet de diminuer les possibilités de mouvements des vis. L'arrachage des vis devient quasiment impossible si celles-ci sont correctement insérées dans la plaque. L'angle d'insertion ne doit pas excéder 5 % par rapport à l'axe imposé par le pas de vis du trou combiné.

3. Caractéristiques biomécaniques des plaques LCP

La compréhension des phénomènes biomécaniques associés à la guérison d'une fracture joue un rôle prépondérant dans le choix du montage d'ostéosynthèse optimal pour la traiter. Le chirurgien se doit donc de maîtriser aussi bien la biomécanique de l'os et des tissus environnants que les propriétés mécaniques des implants. La conception mécanique du fixateur interne est plus ou moins identique au concept du fixateur externe.

3.1. Choix de la longueur de la plaque

Le choix de la longueur de la plaque est une étape importante dans la sélection de l'implant. Cela dépend de la configuration de la fracture et de la technique de fixation utilisée (Gauthier et Sommer, 2003).

Pour un enclouage centro-médullaire, la longueur du clou à utiliser est en général égale à la longueur totale de l'os fracturé. Dans le cas des plaques, le choix est plus controversé. Dans le passé, une plaque courte était souvent choisie pour éviter de faire une longue incision cutanée et une vaste dissection des tissus mous. Avec les nouvelles techniques de réduction à foyer fermé et l'insertion sous-cutanée ou sous-musculaire de l'implant, la longueur de la plaque peut être augmentée sans dissection supplémentaire des tissus mous.

La longueur idéale du fixateur interne peut être déterminée au moyen du rapport entre la longueur de la plaque et la longueur de la fracture (PSW, *Plate Span Width*), qui est représenté sur la figure 12 (Johnson *et al.*, 2005).

$$\text{PSW} = \text{longueur de la plaque} / \text{longueur de la fracture}$$

De façon empirique, Gauthier et Sommer (2003) ont indiqué que ce rapport devait être supérieur à 2 ou 3 pour une fracture comminutive et à 8 ou 10 pour une fracture simple. Ceci a été vérifié dans l'étude de Stoffel *et al.* en 2003.

3.2. Choix des vis

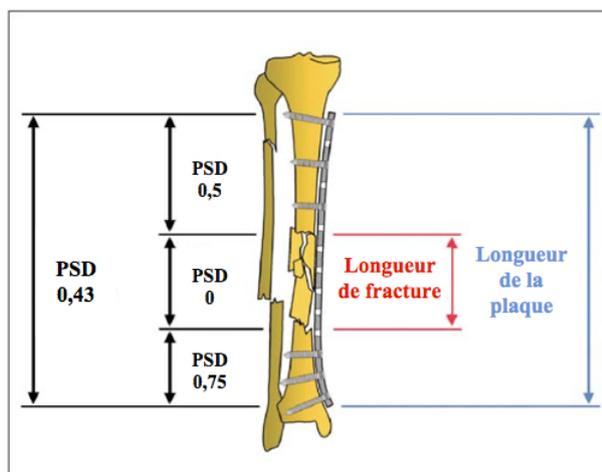
3.2.1. Nombre de vis

Le nombre optimal de vis, lors d'utilisation de plaque LCP en mode verrouillé, a aussi été défini par un index. C'est le quotient du nombre de vis insérées dans la plaque avec le nombre de trous disponibles dans la plaque, appelé *Plate Screw Density* (PSD) (Figure 12).

Figure 12 : Schéma illustrant le calcul du PSD et du PSW

Dans cet exemple, le PSW est d'environ 3. Le PSD est représenté pour l'ensemble des trois segments d'os : le fragment proximal a une densité de vis de plaque de 0,5 (3 trous occupés sur 6), le segment sur la fracture de 0 (0 trou occupé sur 4), et le fragment distale de 0,75 (3 trous occupés sur 4). Le PSD global est de 0,43 (6 vis engagées pour une plaque de 14 trous).

(d'après Gautier et Sommer, 2003)



$$\text{PSD} = \text{nombre de vis} / \text{nombre de trous}$$

D'après Gautier et Sommer (2003), chez l'homme, le PSD doit être compris entre 0,4 et 0,5 sur l'ensemble de la plaque, ce qui indique que moins de la moitié des trous de la plaque est occupée par des vis. En médecine vétérinaire, ces recommandations ont été reprises par l'étude de Stoffel *et al.* (2003) justifie ces recommandations.

Du point de vue purement mécanique, Gautier et Sommer ont établi des recommandations fondées sur leurs résultats cliniques chez l'homme pour le traitement de diverses fractures (Gautier et Sommer, 2003) :

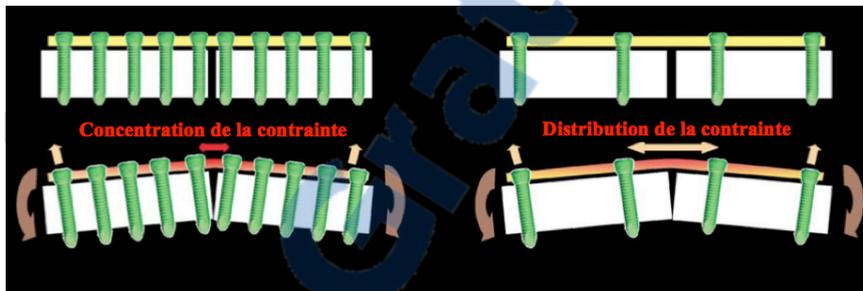
- au minimum 2 vis et 3 corticales par about osseux pour des fractures simples,
- au minimum 2 vis et 4 corticales par about osseux pour des fractures comminutives.

3.2.2. Position des vis

La résistance à la mise en charge du montage est largement conditionnée par la position des vis. Afin d'étudier ce facteur, une longueur est importante à retenir, la longueur utile de la plaque. C'est l'espace entre les deux vis les plus proches du trait de fracture, que l'on peut également étudier par le nombre de trous vides autour de la zone de fracture.

La réduction de la longueur utile de la plaque entraîne une concentration locale des contraintes (Gautier et Sommer, 2003 ; Sommer *et al.*, 2003 ; Stoffel *et al.*, 2003). La figure 13 illustre ce phénomène.

*Figure 13 : Schéma illustrant la concentration des contraintes en fonction de la longueur utile de la plaque (d'après Sommer *et al.*, 2003)*



Ce schéma montre que lorsque la longueur utile de la plaque augmente, l'effort en flexion est réparti sur une longueur plus importante de la plaque et par conséquent la contrainte locale diminue. Cette meilleure répartition des efforts diminue le risque de rupture de l'implant.

3.2.3. Intérêt du verrouillage des vis

Le système de verrouillage plaque/vis permet au montage de se comporter comme un fixateur interne. Puisque les vis sont étroitement verrouillées dans la plaque, il n'y a aucune tension sur l'os, la compression est éliminée entre la plaque et l'os, le périoste n'est pas endommagé et la circulation est préservée.

De plus, le verrouillage dispense de conformer la plaque avec précision à la forme de l'os pour l'obtention de la stabilité du montage.

Comme les vis sont verrouillées dans la plaque, la charge physiologique (F) est transférée de l'os à la plaque. Ainsi ce système convient également à l'os ostéoporotique et aux fractures comportant de multiples fragments, avec une perte de matière importante, comme les fractures comminutives. (Instructions d'utilisation Synthes).

3.3. Espacement plaque-os

Un des objectifs principaux du montage LCP en mode verrouillé est de préserver la vascularisation locale. Il est nécessaire de ne pas comprimer le périoste contrairement à ce qui est observé lors de l'utilisation d'une plaque standard. La mise en place d'une plaque verrouillée ménage donc un espace entre la plaque et l'os. Le fixateur interne permet ainsi la formation d'un cal important sous l'implant et une cicatrisation rapide. Ceci est en contraste avec la technique de compression dynamique, qui crée un frottement entre l'implant et l'os et entraîne, par conséquent, une cicatrisation plus lente.

Il est recommandé, dans l'étude de Ahmad *et al.* (2007), de laisser un espacement de 2 mm entre la plaque LCP verrouillée et l'os, ce qui respecte les impératifs mécaniques et biologiques. Cette étude a cependant été réalisée *in vitro* et ne doit être extrapolée au traitement de fractures *in vivo* qu'avec précaution (Johnson *et al.*, 2005).

Le tableau 1 présente un récapitulatif des différentes indications à respecter pour le choix et la pose d'un montage LCP.

Tableau 1 : Règles pour l'utilisation d'une plaque dans le traitement des fractures simples et complexes (d'après Gautier et Sommer, 2003)

	Fracture simple	Fracture complexe
Concept biomécanique	Technique de compression (rarement technique de soutien)	Technique de soutien
Réduction	Directe	Indirecte
Insertion de l'implant	Partiellement ouverte	Invasion minimale
Plaque Conformation à l'os	Conformée à la surface de l'os	Pas nécessaire
Longueur (PSW)	>8 - 10	> 2 - 3
Vis Type de vis	Standard et verrouillée Principalement bicorticale	Verrouillée <i>Diaphyse</i> : auto-méchante monocorticale <i>Epi- et métaphyse</i> : auto-taraudeuse bicorticale
PSD	< 0,4 – 0,3	≤ 0,5 – 0,4
Nombre de vis par fragment	≥ 2	≥ 2
Nombre de corticales par fragment	≥ 3	≥ 4
Position des vis	Longueur utile faible	Longueur utile grande
Nombre de trous vides autour de la fracture	0 - 3	≥ 3

3.4. Indications et limites des montages LCP

Toutes les caractéristiques biomécaniques de ces implants nous permettent d'en déduire certaines indications pour l'utilisation des montages LCP.

3.4.1. Utilisation des LCP en mode verrouillé

On peut utiliser ce type de montage pour le traitement :

- des fractures diaphysaires et métaphysaires : toutes les fractures qui permettent d'être fixées à distance du foyer de fracture en préservant l'hématome fracturaire. La mise en place d'au moins 2 vis de part et d'autre du trait de fracture est indispensable. Lorsqu'un cartilage de croissance se trouve à proximité il est important qu'aucune vis ne risque d'en perturber le fonctionnement ;
- des fractures sur os ostéopénique, et os ostéoporotique, notamment en médecine humaine. Le taux d'arrachement de vis est élevé avec les méthodes de fixation traditionnelle lorsque l'os est peu dense. En outre, le couple nécessaire au serrage des vis pour une fixation optimale peut parfois être trop élevé par rapport à la résistance de l'os (Kim *et al.*, 2007). L'os du jeune fait partie de cette catégorie avec une épaisseur des corticales et une densité osseuse moindre par rapport à l'os d'un adulte. La vascularisation périostée étant particulièrement active chez le jeune, les montages LCP avec des vis verrouillées sont d'autant plus recommandés (Schwandt et Montavon, 2005) ;
- des fractures concernant des zones où la plaque ne peut être posée sur la face de tension de l'os ;
- des fractures proches de prothèses : dans ce cas, les montages LCP apparaissent prometteurs.

Cependant, cette indication concerne essentiellement la médecine humaine.

(Wagner, 2003 ; Tan et Balogh, 2009)

3.4.2. Utilisation des LCP en mode non verrouillé ou mixte

Ce mode de fixation est préférable pour les cas suivants :

- les fractures articulaires ou juxta-articulaires : la réduction doit être anatomique et une compression interfragmentaire est généralement recommandée. En outre, il est parfois obligatoire d'incliner les vis pour éviter un cartilage de croissance ou l'articulation, ce qui est impossible avec des vis verrouillées ;

- les fractures simples diaphysaires ou métaphysaires pour lesquelles une cicatrisation par première intention est visée. La mise en place d'une compression interfragmentaire assurant une stabilité absolue implique l'utilisation de vis standard ;
- les ostéotomies cunéiformes.

(Wagner, 2003 ; Tan et Balogh, 2009)

3.4.3. Limites

Néanmoins, il existe des limites à l'utilisation des montages verrouillés :

- tout défaut d'angulation de la vis dans le trou verrouillé peut altérer le verrouillage de la tête de vis dans la plaque et abîmer le filetage dans l'os cortical. Il est donc fortement recommandé d'utiliser des guides de perçage spécifiques, pour effectuer des trous parfaitement perpendiculaires à la plaque et centrés par rapport au filetage de la plaque ;
- l'utilisation d'un limiteur de couple fixé sur le tournevis est aussi recommandée pour assurer un serrage des vis homogène et optimal. Un serrage trop important des vis pourrait conduire à une fusion à froid de la tête de vis dans la plaque ;
- l'utilisation des montages LCP en mode de fixation mixte peut être très utile mais implique de respecter certaines règles, que nous avons présentées plus haut.

3.4.4. Complications

Certaines complications sont plus fréquentes, avec l'utilisation de LCP en mode verrouillé (Tan et Balogh, 2009) :

- effraction intra-articulaire : l'utilisation des plaques LCP en région péri-articulaire peut conduire, en particulier dans des conditions de densité osseuse réduite, à des effractions de vis au sein de l'articulation ;
- rupture de plaque : elles sont le plus souvent rencontrées dans les cas où la longueur utile de la plaque n'est pas suffisante. La zone de fragilité de ce type de plaque se trouve en regard des trous conventionnels ;
- lâchage de vis : elles sont peu fréquentes lors d'utilisation de vis verrouillées car toutes les vis doivent s'arracher en même temps. Les vis verrouillées vont préférentiellement casser sous la plaque au ras de l'os, ou se desserrer ;
- des dommages sur les tissus mous peuvent aussi être observés, notamment en cas de longueur inadaptée des vis auto-taraudantes et auto-méchantes.

4. Différents types d'ostéosynthèses

Ces nouveaux implants ont contribué à développer de nouvelles techniques moins invasives, afin d'optimiser le potentiel spécifique de la plaque, d'être capable de répondre aux exigences mécaniques de la fracture, et de préserver la compétence biologique des tissus concernés.

Le but principal de la fixation interne reste inchangé, à savoir, une fixation stable du foyer, ainsi qu'une réduction de la fracture par le rétablissement de l'alignement axial et de la longueur de l'os. Pour atteindre ces objectifs, la réduction peut être effectuée en abordant le foyer de fracture, par une ostéosynthèse à foyer ouvert, ou sans ouvrir et modifier les foyer de fracture, par ostéosynthèse à foyer fermé. Pour des raisons biologiques, la seconde approche doit être retenue à chaque fois que cela est techniquement possible. (Hortsman *et al.*, 2004)

4.1. L'ostéosynthèse à foyer ouvert

Les plaques vissées sont des implants qui répondent idéalement au concept de l'ORIF (*Open Reduction and Internal Fixation*). Correctement mises en place, elles assurent une stabilité élevée au sein du foyer de fracture reconstruit. Via leur adaptabilité importante et la diversité de longueurs disponibles, les plaques vissées constituent les fixateurs internes les plus utilisés.

Elles peuvent être employées selon trois modes :

- en compression : dans cette configuration, la plaque assure un effet de compression entre les deux bouts osseux. 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 interfragmentaire. Cela implique qu'il n'existe pas de déficit osseux au niveau de la fracture, comme dans le cas des fractures transverses. Cette compression dynamique est également indiquée pour les arthrodèses et les ostéotomies (Radasch, 1999 ; Gautier et Sommer, 2003 ; Viateau, 2004-2005) ;
- en neutralisation : dans ce cas la plaque ne joue qu'un rôle de tuteur. La plaque complète l'action de vis de traction (ou de cerclages), assurant la compression interfragmentaire des esquilles. Ces vis assurent l'apposition des fragments osseux mais ne neutralisent pas l'ensemble des forces s'exerçant sur le foyer de fracture. C'est la raison pour laquelle une plaque est mise en place de manière à neutraliser ces forces. Les sollicitations subies par le foyer de fracture sont dans ce cas partagées par la plaque et l'os (Viateau, 2004-2005) ;
- en soutien : la plaque permet l'alignement des bouts fracturés lorsqu'il existe une perte de substance osseuse ou une fracture non reconstructible. Les sollicitations subies par le foyer

de fracture sont en grande partie prises en charge par la plaque. La plaque est donc plus sollicitée au plan mécanique que lors des deux autres modes, et les risques de faillite du montage sont plus élevés (Viateau, 2004-2005).

L'ostéosynthèse à foyer ouvert s'accompagne généralement d'une réduction précise de la fracture avec un minimum d'écart entre les abouts osseux et un alignement correct des corticales. Il est nécessaire d'obtenir une stabilité absolue au sein du foyer de fracture. En effet, le moindre mouvement provoque des déformations. Les fractures articulaires sont les seules indications absolues de ce type d'ostéosynthèse.

La réduction anatomique implique une ouverture du foyer de fracture qui entraîne des lésions des tissus vasculaires environnants et une désorganisation de l'hématome fracturaire. Lors de reconstruction anatomique, la stabilité d'un montage par plaque vissée est assurée généralement par les forces de friction entre la plaque et l'os. Ce contact étroit entre la plaque et l'os peut compromettre la vascularisation périostée (Leunig *et al.*, 2000).

La réduction anatomique de la fracture n'est pas toujours possible, comme lors de fractures diaphysaires multi esquilleuses ou comminutives (Stoffel *et al.*, 2003).

Ces quinze dernières années, les principes de l'AO ont beaucoup évolué. L'intérêt de préserver les tissus mous environnants et la vascularisation locale pour améliorer les conditions de cicatrisation des fractures a conduit à développer un nouveau concept, l'ostéosynthèse biologique.

4.2. Ostéosynthèse à foyer fermé

L'ostéosynthèse à foyer fermé se situe dans la continuité des recommandations de l'AO/ASIF, qui préconisaient déjà un abord chirurgical minimal, voire absent, du foyer de fracture (Stoffel *et al.*, 2003 ; Sommer *et al.*, 2003).

Les objectifs de l'ostéosynthèse à foyer fermé sont d'obtenir:

- un alignement des deux abouts osseux dans les plans frontal et sagittal,
- une absence de torsion axiale,
- un rétablissement de la longueur de l'os,
- sans obligation de mettre les deux abouts fracturaires en contact intime et en respectant la vascularisation du foyer de fracture.

Ce mode de fixation permet d'obtenir une cicatrisation par seconde intention. Ceci permet la formation rapide d'un cal périosté volumineux, grâce au respect de la vascularisation du foyer. Dans ces conditions, la récupération fonctionnelle du membre est obtenue précocement (Krettek *et*

al., 2001 ; Schatzker et Brudnicki, 2006). Les micromouvements présents au niveau du foyer de fracture ne nuisent pas à l'installation du cal et peuvent même en stimuler la formation (Mckibbin, 1978).

La réussite de l'ostéosynthèse à foyer fermé repose sur quatre points clés : la réduction et fixation, la préservation de l'apport sanguin, la stabilité et la mise en charge (Palmer, 1999).

4.2.1. Réduction et fixation

Certaines fractures, notamment lors de fortes pertes de substances osseuses, ne peuvent pas être réduites anatomiquement. Lorsque le chirurgien choisit de ne pas aborder le foyer de fracture, 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).

Johnson *et al.* (1998) ont comparé, sur des chiens, le traitement de fractures comminutives du fémur par reconstruction anatomique et ostéosynthèse biologique. La principale différence mise en évidence concernait une réduction du temps opératoire et l'obtention d'images radiographiques de cicatrisation plus précoces chez les chiens traités par ostéosynthèse biologique. Cette diminution du temps opératoire permettait également de réduire l'incidence des complications septiques.

4.2.2. 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, afin de maintenir la vascularisation locale. Le respect de ces deux recommandations permet de minimiser le traumatisme chirurgical et d'optimiser le processus de cicatrisation (Ahmad *et al.*, 2007 ; Johnson *et al.*, 2005).

En cas d'incapacité à obtenir un bon alignement à foyer fermé, certains auteurs ont préconisé de pratiquer une ouverture chirurgicale limitée, pour faciliter la réduction. Après réduction, la plaque est fixée sur les fragments principaux sans intervenir sur les esquilles. Les esquilles même si elles ne sont pas fixées constituent un support précieux pour la cicatrisation et doivent impérativement être laissées en place. Cette technique est appelée *Open But Do Not Touch* (OBDNT) (Hortsman *et al.*, 2004 ; Beale, 2007).

4.2.3. Stabilité

La colonne osseuse n'étant pas réduite de façon anatomique il existe une discontinuité entre les deux fragments osseux principaux, ce qui permet des micromouvements au sein du foyer de fracture lors de l'appui du membre (Hortsman *et al.*, 2004 ; Schatzker et Brudnicki, 2006).

Cette dynamisation du foyer de fracture potentialiserait la formation du cal cortical. Ceci a été mis en évidence lors de réduction de fractures par plâtre ou attelle assurant une stabilité très limitée. La mobilité importante du foyer de fracture en début de guérison engendre la formation d'un cal volumineux. De même, les fractures traitées à l'aide d'une fixation externe ou d'un enclouage centromédullaire semblent cicatriser plus vite que celles traitées par une plaque en compression sur l'os.

De la même manière, la cicatrisation des os soumis à des micromouvements cycliques et continus comme les fractures de côtes entraînent la formation de cals volumineux (Austin, 1981).

La déformation au sein du foyer de fracture est un paramètre important dans le processus de cicatrisation.

Les règles suivantes ont été établies (Rahn, 1982 ; Perren, 2002) :

- une déformation inférieure à 2 % entraîne une cicatrisation osseuse primaire sans formation de cal,
- une déformation comprise entre 2 et 10 % est idéale pour la mise en place d'un cal périosté et celle d'un cal fibrocartilagineux,
- une déformation comprise entre 10 et 30 % induit une résorption osseuse.

Toutefois, la mobilité du trait de fracture doit être limitée pour ne pas induire la formation d'un cal vicieux, ou l'absence de processus de cicatrisation (Rahn, 1982).

4.2.4. Mise en charge

La vitesse de cicatrisation osseuse n'est pas uniquement liée au type de fracture, mais également à l'âge de l'animal et aux sollicitations mécaniques qui s'appliquent sur l'os. Plus l'animal est jeune, plus il cicatrise vite.

La mise en charge du membre opéré est favorable à la cicatrisation. Egger et Schwartz ont montré que la vitesse de cicatrisation était accrue lors d'ostéosynthèse à foyer fermé (Piermattei *et al.*, 2009). Ce type d'ostéosynthèse assure une mise en charge précoce du membre et préserve les

facteurs biologiques de l'hématome fracturaire, ce qui garantit une consolidation clinique plus rapide. Dans ces conditions, les risques associés à l'immobilisation prolongée d'un membre sont moindres et la qualité de vie de l'animal s'en trouve améliorée. Les montages sont également moins longtemps sollicités, ce qui diminue le risque de rupture d'implant.

Le tableau 2, nous permet de comparer les techniques d'ostéosynthèses à foyer ouvert et à foyer fermé en terme de temps opératoire, de temps de consolidation de fracture et de récupération fonctionnelle. (Johnson *et al.*, 1998 ; Hortsman *et al.*, 2004)

Tableau 2 : Comparaison du temps opératoire, du temps de consolidation et de la récupération fonctionnelle pour des techniques d'ostéosynthèse anatomique et biologique

Echantillons	Temps opératoire	Temps de guérison radiographique	Nombre d'animaux avec appui à J+1	Complications post-opératoires
20 ostéosynthèses à foyer ouvert : plaque et cerclage	191,8 min [125-225]	15,1 sem [6-37]	Non évalué	Absence de différence significative
15 ostéosynthèses à foyer fermé : plaque de pontage	116,5 min [50-190]	10,5 sem [5-32]		
11 ostéosynthèses à foyer ouvert : clou verrouillé	110 min [65-155]	6 sem [4-11]	36 % [4/11]	Absence de différence significative
9 ostéosynthèses à foyer fermé : clou verrouillé	95 min [60-111]	8 sem [6-16]	78 % [7/9]	

Ces études ont donc montré que l'ostéosynthèse biologique permet :

- une diminution du temps chirurgical,
- une guérison osseuse plus précoce et une récupération fonctionnelle plus rapide,
- une absence de différence significative en matière de complications.

Cependant, la reconstruction anatomique demeure une indication absolue pour certaines fractures, notamment les fractures articulaires.

En résumé, les principaux avantages cliniques et biomécaniques résultant des fixateurs internes verrouillés, telles que les plaques LCP, sont:

- une stabilité angulaire et axiale. Le verrouillage des vis dans la plaque LCP crée une structure à angle fixe et un transfert de tension, sans compression de la plaque sur l'os. De plus, le verrouillage de la vis dans la plaque permet d'éliminer la possibilité pour la vis de basculer, glisser ou être délogée et réduit ainsi fortement le risque de complication par arrachement de la vis ;
- un maintien de la réduction primaire et secondaire. Le verrouillage des vis dans la plaque LCP évite que l'os soit tiré et comprimé contre elle. Les fragments osseux sont solidement fixés dans la position qu'ils occupent au moment du verrouillage. La réduction peut donc être obtenue puis maintenue sans un modelage parfaitement anatomique de la plaque ;
- l'amélioration de la stabilité dans les fractures complexes avec une perte osseuse importante ;
- une meilleure fixation dans l'os ostéoporotique, en particulier près de l'articulation ;
- le respect de la vascularisation périostée, ce qui entraîne moins d'interférence avec l'hématome de la fracture et donc une cicatrisation plus précoce par formation d'un cal osseux rapide et volumineux ;
- un trou combiné compatible avec une vis standard d'un côté et avec une vis de verrouillage de l'autre ;
- un trou combiné compact à l'une des extrémités de la plaque permettant un positionnement au plus près de la surface articulaire ;
- l'extrémité opposée de la plaque est affinée pour faciliter l'insertion de la plaque par un abord mini-invasif et minimiser le trauma tissulaire.

DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDE CLINIQUE

1. Matériel et méthode

L'objectif de cette étude rétrospective est d'étudier l'évolution des patients souffrant d'une fracture appendiculaire stabilisée par une plaque LCP (*Locking Compression Plate*) de 2,0 ou 2,4 mm. Afin de formuler des recommandations pour l'utilisation de ces implants, nous avons évalué des paramètres qui pourraient avoir une influence sur la stabilité du montage et éventuellement être responsable de l'apparition de rupture d'implant.

1.1. Critères d'inclusion

L'étude a porté sur les chats et les petits chiens présentant au moins une fracture appendiculaire traitée par une plaque LCP 2.0 ou 2.4, entre octobre 2010 et juin 2013 à l'ENVA (École Nationale Vétérinaire d'Alfort) ou à ONIRIS (École Nationale Vétérinaire de Nantes). Parmi ces 147 animaux, seuls les cas ayant un suivi radiographique montrant une cicatrisation osseuse ou ayant eu une complication avant la fin de la cicatrisation ont été retenus.

Les fractures sont considérées comme cicatrisées quand au moins un suivi radiographique met en évidence un cal osseux pontant au moins une corticale sur chaque vue radiographique (vue de face et de profil) comme dans l'étude de Nicetto *et al.* (2013).

1.2. Description des animaux et des fractures

L'étude des dossiers médicaux a permis de relever l'espèce (chat ou chien), le sexe, la stérilisation, l'âge en mois et le poids en kg de chaque animal.

La cause de la fracture et le délai entre la survenue de la fracture et l'intervention chirurgicale ont également été relevés.

De plus, chaque fracture est décrite selon une classification habituelle, telle que celle utilisée par Voss *et al.* (2009). L'os fracturé, la localisation de la fracture, le type de fracture sont ainsi enregistrés. L'étude porte sur les fractures appendiculaires, les os concernés sont l'humérus, le radius et/ou l'ulna, le fémur et le tibia et/ou la fibula. La localisation des fractures est répertoriée en diaphyse tiers proximal, tiers distal ou médio-diaphysaire, métaphyse et épiphyse.

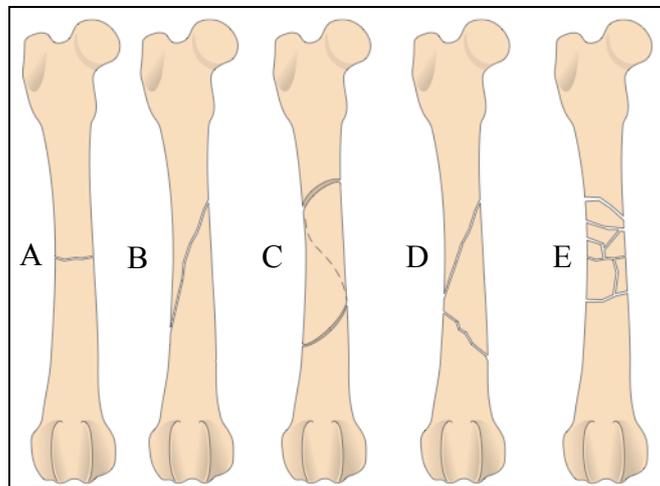
Le type de fracture est représenté dans la figure 14 et se caractérise par :

- les fractures simples : transverses, obliques courtes, obliques longues et spiroïdes ;
- les fractures complexes. Cette catégorie regroupe :
 - les fractures esquilleuses ne présentant pas plus de deux esquilles au sein du foyer,
 - les fractures bifocales,
 - les fractures dites comminutives se caractérisant par plus de deux fragments secondaires au sein du foyer de fracture.

Figure 14 : Représentation des différents types de fracture (exemple d'un fémur)

A) transverse, B) oblique longue, C) spiroïde, D) esquilleuse, E) comminutive

(d'après Fossum et al., 2013)



Les fractures ouvertes sont signalées spécifiquement, avec la date de la fracture, les résultats de l'antibiogramme si une analyse a été réalisée et le traitement mis en place.

Enfin, les fractures chez le chat et le chien survenant souvent lors d'accidents de la voie publique (AVP) ou de chutes de plusieurs mètres, il n'est pas rare que plusieurs os soient endommagés. Dans ce cas, les fractures concomitantes ainsi que les techniques utilisées pour les traiter ont été répertoriées.

Si un même animal a plusieurs plaques LCP 2.0 ou 2.4 utilisées pour différents os, chaque fracture est considérée séparément.

1.3. Description de la méthode de stabilisation

Afin de décrire de façon précise le montage utilisé pour chaque patient, nous avons mesuré et calculé différents paramètres.

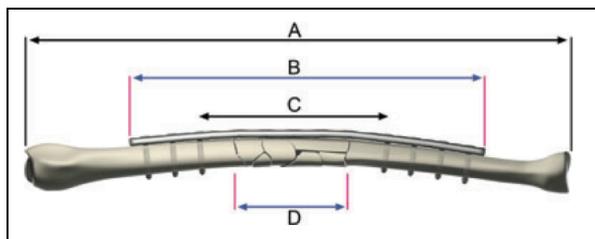
Les paramètres se rapportant aux caractéristiques liées à l'implant utilisé sont :

- la taille de la plaque (LCP 2.0 ou 2.4),
- le rapport entre le nombre vis posées et le nombre de trous par plaque appelé PSD (*Plate Screw Density*),
- le nombre de vis et de corticales engagées par plaque,
- le nombre de vis et de corticales engagées par fragment (proximal et distal),
- le rapport entre le diamètre des vis et le diamètre de l'os à l'endroit où il est le plus étroit,
- le nombre de trous vides autour de la zone de fracture,
- la longueur utile (figure 15),
- le rapport entre la longueur de la plaque et la longueur de l'os (figure 15),
- le rapport entre la longueur de la plaque et la longueur du site de fracture appelé PSW (*Plate Span Width*, figure 15).

Les paramètres permettant de décrire les caractéristiques mécaniques du montage sont :

- la technique de chirurgie (MIPO, *Minimally Invasive Plate Ostéosynthesis*, ou ORIF, *Open Reduction and Internal Fixation*),
- la présence d'autres dispositifs. Ces dispositifs sont caractérisés par leur diamètre pour les vis de compression et leur longueur, leur diamètre et le rapport entre leur diamètre et celui du canal médullaire pour les clous centromédullaires,
- le type de montage (neutralisation, soutien ou compression).

Figure 15 : Représentation des paramètres mesurés pour notre étude sur l'exemple d'un radius. Rapport entre la longueur de la plaque avec la longueur de l'os = B/A ; PSW = B/D ; longueur utile = C . (d'après Pozzi et al., 2013)



Tous ces paramètres ont été mesurés sur la vue de profil des radiographies postopératoires immédiates.

1.4. 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 de montage et les autres complications. Les problèmes de montage incluent les ruptures de plaque ou de vis, les plaques pliées, les vis arrachées et les échecs de l'implant auxiliaire, notamment les changements de position du clou centromédullaire. Les autres complications incluent les problèmes qui ne relèvent pas d'un échec de l'implant, notamment les problèmes liés à l'incision ou aux tissus sous-jacents, les ostéomyélites et les réductions inappropriées avec une déviation axiale.

1.5. Analyse statistique

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel statistique Epi-info 3.5.3.

Nous avons tout d'abord évalué les différences d'apparition de complications liées au montage entre les cas ayant deux vis engagées par fragment et les cas ayant plus de deux vis engagées par fragment. Puis nous avons évalué les différences d'apparition de complications liées au montage pour les différents paramètres étudiés, qui sont :

- l'espèce,
- l'âge,
- le poids,
- l'os fracturé,
- la localisation de la fracture,
- le type de fracture,
- si la fracture était ouverte ou fermée,
- la présence ou l'absence d'une ou plusieurs fractures concomitantes,
- la taille de la plaque,
- le rapport entre la longueur de la plaque et la longueur de l'os,
- le PSW,
- le nombre de vis par plaque,
- le nombre de corticales par plaque,
- le nombre de vis par fragment,
- le nombre de corticales par fragment,

- le PSD,
- le rapport entre le diamètre des vis et le diamètre de l'os à l'endroit où il est le plus étroit,
- le nombre de trous vides autour de la zone de fracture,
- la longueur utile,
- la technique utilisée,
- la présence ou l'absence d'un ou plusieurs autres dispositifs,
- le type de montage.

Le test de Fisher a été utilisé pour comparer des pourcentages lorsque les variables comparées puis testées étaient deux variables qualitatives ; le test de Student nous a permis de comparer deux moyennes lorsqu'on souhaitait étudier l'association entre une variable binaire et une variable quantitative qui suivait une loi normale ; le test de Wilcoxon nous a permis de comparer deux médianes 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 avons effectué des tests statistiques multiples, nous devons appliquer la correction de Bonferroni pour que le risque d'erreur α de première espèce soit globalement respecté. Nous devons donc diviser le risque d'erreur de première espèce (fixé à 0,05) par le nombre de tests effectués ($n = 23$), ce qui conduit à un nouveau risque d'erreur de première espèce à 0,002. Par conséquent, pour conclure à une association significative entre la présence de complications liées au montage et les différents paramètres étudiés tout en respectant un risque d'erreur global de 5 %, il fallait donc que la valeur du « p » de chacun des tests statistiques correspondants soit inférieure à 0,002.

2. Résultats

2.1. Description des animaux

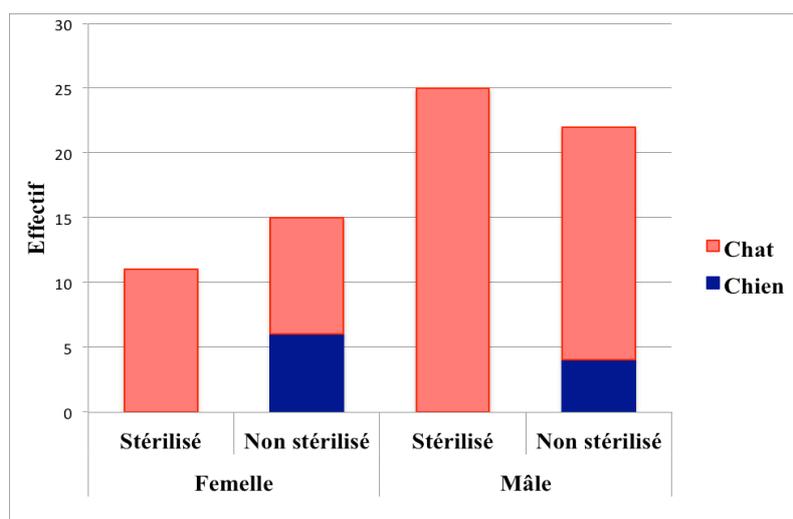
147 fractures appendiculaires, chez 120 chats et 27 chiens, ont été stabilisées par des plaques LCP 2.0 et 2.4, entre octobre 2009 et juillet 2013, à l'ENVA et à ONIRIS. Seulement 75 fractures respectent nos critères d'inclusion, chez 73 patients, dont 63 chats (représentant 64 fractures) et 10 chiens (représentant 11 fractures).

Le tableau en Annexe 3 fournit un récapitulatif des descriptions des patients.

2.1.1. Sexe des animaux

Les mâles sont plus nombreux que les femelles, 47 mâles pour 26 femelles, dont respectivement 25 et 11 stérilisés, comme le montre la figure 16.

Figure 16 : Répartition des animaux en fonction de leur sexe et de leur état de stérilisation

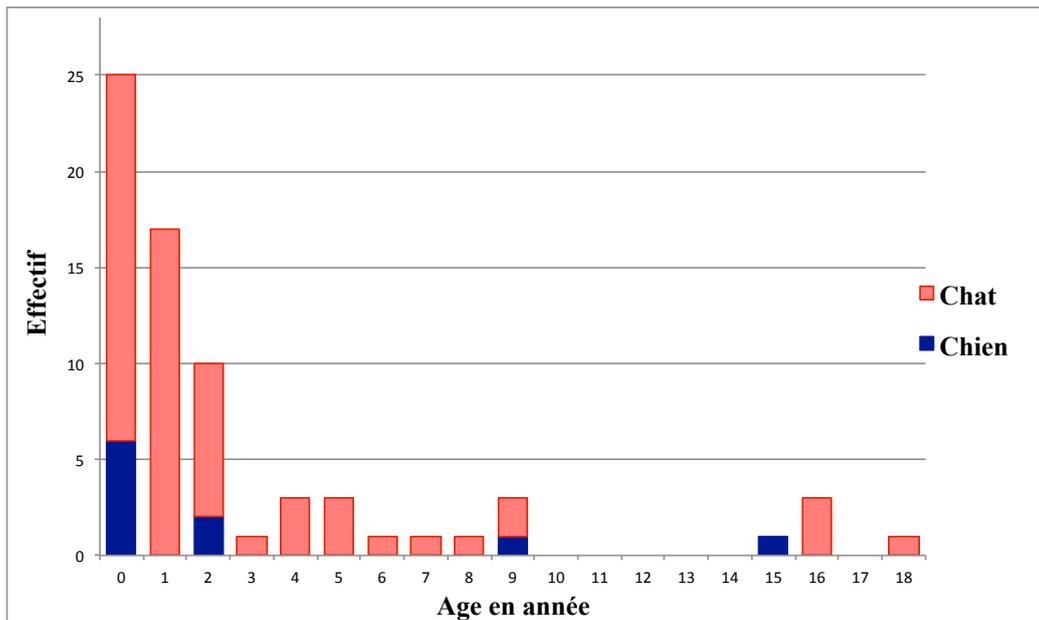


2.1.2. Âge des animaux

Les patients sont âgés de 2 mois à 18 ans et 3 mois (l'âge de 4 animaux est inconnu), avec une médiane¹ de 19 mois [10-36] et dont la répartition est montrée sur la figure 17. Une majorité de jeunes animaux constitue notre effectif, avec 75 % des animaux qui ont moins de 3 ans (pic pour les animaux de moins d'un an).

¹ Les variables quantitatives qui ne suivent pas une loi normale sont décrites en utilisant la médiane [1^{er} quartile – 3^{ème} quartile] et non la moyenne.

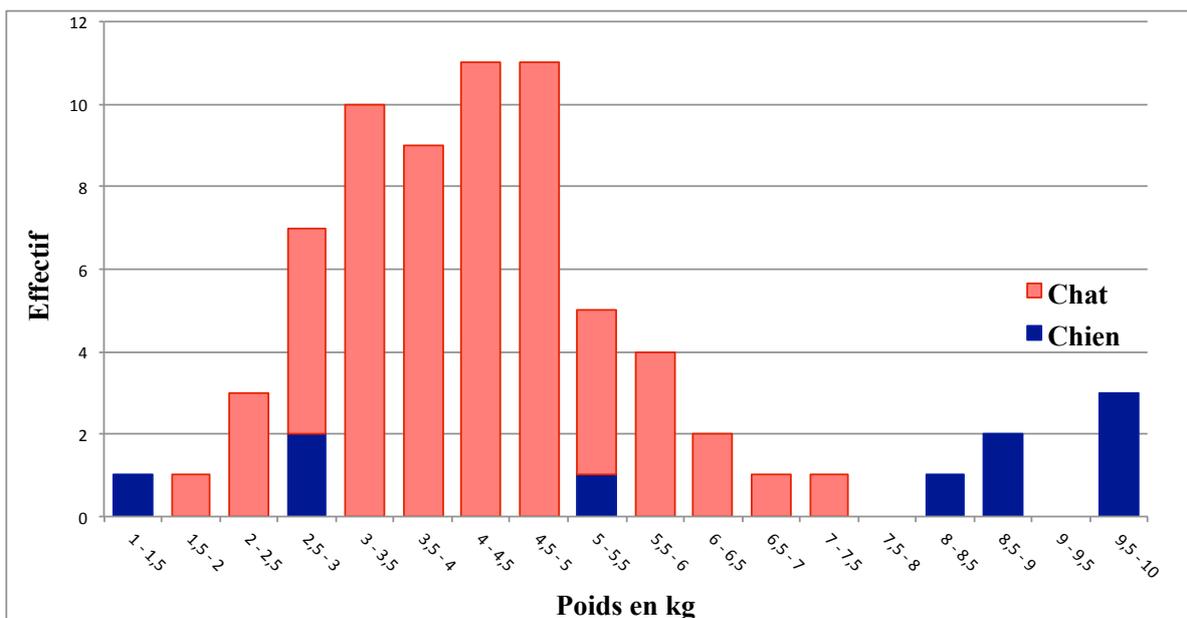
Figure 17 : Répartition des animaux en fonction de leur âge



2.1.3. Poids des animaux

Le poids des animaux varie de 1,1 à 10 kg pour les chiens et de 2 à 7,1 kg pour les chats, avec une moyenne globale de $4,6 \text{ kg} \pm 1,8$. La moyenne pour les chats est de $4,3 \text{ kg} \pm 1,2$ et pour les chiens de $6,8 \text{ kg} \pm 3,4$. Le poids d'un animal n'est pas connu, mais la répartition pour les autres est montrée sur la figure 18.

Figure 18 : Répartition des animaux en fonction de leur poids



2.2. Description des fractures

Le tableau en Annexe 4 fournit un récapitulatif des descriptions des fractures chez les animaux de l'étude.

2.2.1. Délai d'opération après la survenue du traumatisme

Tous les animaux ont été opérés entre 0 et 13 jours (médiane de 2 jours [0,25-4]) après la survenue du traumatisme, sauf le chien Ema qui est une reprise après rupture du premier implant (premier implant posé 2 mois et demi avant la plaque LCP).

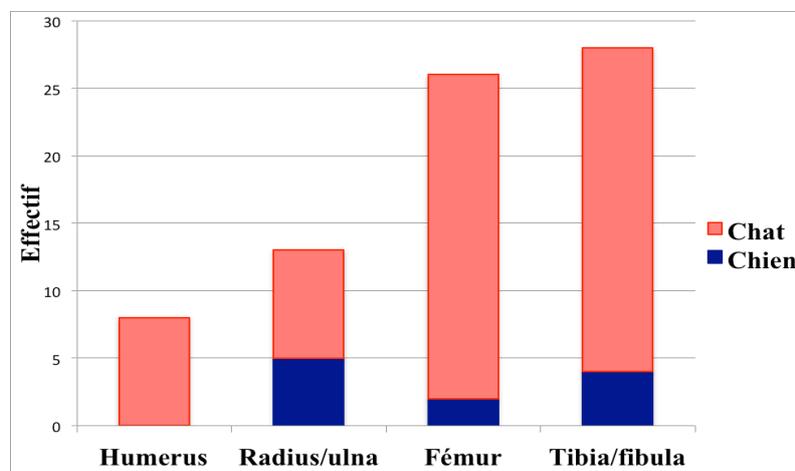
2.2.2. Cause de fracture

Les animaux présentent des fractures après des traumatismes subis lors de chutes de fenêtres (29 cas, tombés du 1^{er} au 9^{ème} étage) ou d'accidents de la voie publique (27 cas). Parmi les cas restants, il y a quatre accidents domestiques (choc contre un meuble ou chute du canapé), deux chutes d'un arbre, une morsure par un chien, un accident de chasse, Ema qui fait suite à un échec de contention antérieure et huit animaux dont l'information n'était pas renseignée dans le dossier médical.

2.2.3. Os fracturé

Notre étude comprend 8 fractures de l'humérus, 13 du radius et/ou ulna, 26 du fémur et 28 du tibia et/ou fibula. La grande majorité des fractures concernent des membres postérieurs, qui représentent 72 % des fractures. La figure 19 montre la répartition des os fracturés chez les 75 fractures de l'étude.

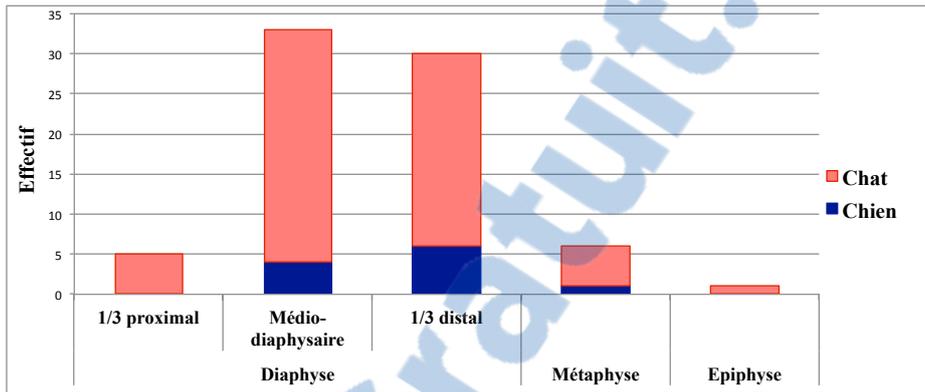
Figure 19 : Répartition des fractures en fonction de l'os atteint



2.2.4. Localisation de la fracture

Pour les 75 fractures de notre étude, 68 sont diaphysaires, soit 91 % des fractures, dont 5 concernent le tiers proximal, 33 sont médio-diaphysaires et 30 se localisent dans le tiers distal de la diaphyse. Parmi les 8 fractures restantes, 6 sont localisées à la métaphyse et seulement 1 est épiphysaire. La répartition des localisations des fractures de notre étude est présentée dans la figure 20.

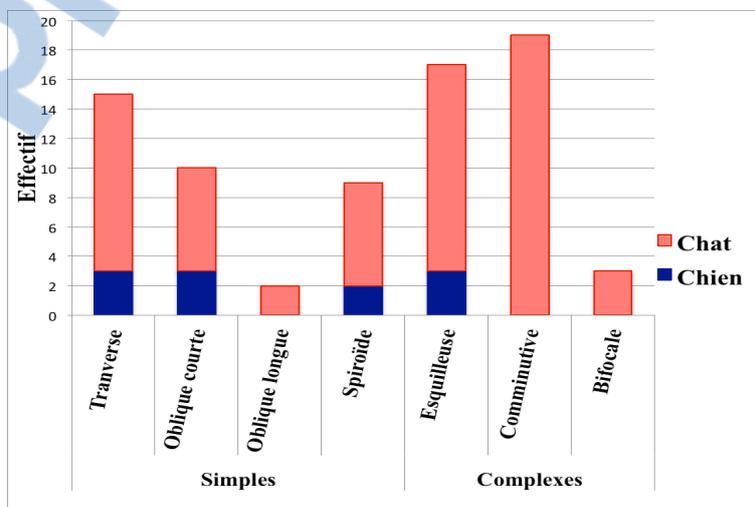
Figure 20 : Répartition des fractures en fonction de leur localisation



2.2.5. Type de fracture

Notre étude comprend 36 fractures simples et 39 fractures complexes, ce qui représente respectivement 48 % et 52 % de l'ensemble des fractures. Parmi les fractures simples, 15 sont transverses, 10 sont obliques courtes, seulement 2 sont obliques longues et 9 sont spiroïdes. Et parmi les fractures complexes, 17 sont esquilleuses, 19 sont comminutives et 3 sont bifocales. Les fractures complexes représentent ainsi 52 % des fractures. La figure 21 représente la répartition des types de fracture présents dans notre étude.

Figure 21 : Répartition des fractures en fonction de leur type



2.2.6. Fracture ouverte ou fermée

Dans notre étude, 10 fractures sont ouvertes, dont 3 chez des chiens, ce qui représente 13 % des fractures. Toutes ces fractures ouvertes sont de grade 1. Les résultats des antibiogrammes et les traitements mis en place pour ces fractures sont répertoriés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Résultats des antibiogrammes et traitements des fractures ouvertes

N° cas	Nom	Delai avant la chirurgie	Résultat de l'antibiogramme	Traitement mis en place
16	Rouky	2 jours	Streptococcus groupe G	Rilexine 30 mg/kg BID pendant 3 semaines
18	Padi	1 jour	<i>non réalisé</i>	Amoxicilline - acide clavulanique 20 mg/kg BID pendant 3 semaines
21	Merlin	0 jour	<i>non réalisé</i>	<i>non renseigné</i>
23	Gaby (Radius D)	1 jour	NEGATIF	Rilexine 30 mg/kg BID pendant 8 semaines
25	Popeye	2 jours	NEGATIF	Rilexine 20 mg/kg BID pendant 6 semaines
27	Couillette	0 jour	NEGATIF	Mais infection d'une plaie abdominale qui a mis en évidence 4 colonies de coques GRAM -, traité à la Rilexine 30 mg/kg BID pendant 5 semaines
40	Blue Bay	0 jour	<i>non réalisé</i>	Rilexine 30 mg/kg BID et Metronidazole 10 mg/kg pendant 3 semaines
62	Foucalt	0 jour	<i>non réalisé</i>	Rilexine 30 mg/kg BID pendant 3 semaines
65	Sauvagine	0 jour	NEGATIF	Rilexine 20 mg/kg BID et Metronidazole 12,5 mg/kg SID pendant 8 semaines
73	Filou	0 jour	<i>non réalisé</i>	<i>non renseigné</i>

SID : une fois par jour, BID : « Bis in die » : deux fois par jour, D : droit.

2.2.7. Fracture(s) concomitante(s)

Etant donné les causes de fracture, 23 animaux de l'étude ont des fractures concomitantes, ce qui représente 31 % des animaux. Le relevé de ces fractures, ainsi que les traitements qui ont été mis en place pour les traiter, sont inventoriés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Détail des fractures concomitantes et de leur traitement

N° Cas	Nom	Autre fracture	Traitement
3	Felix	Mandibule	Cerclage
4	Potus	Métacarpes II et III droit	Traitement conservateur
		Métacarpe IV gauche	Traitement conservateur
		Luxation du coude gauche	Réduction sous anesthésie
		Tête du radius droit	Traitement conservateur
5	Engie	Métacarpe IV gauche	Taitement conservateur avec un Robert Jones
		Métatarses III et IV gauche	Broche de 1 mm de diamètre pour le IV mais impossible pour le III
8	Fiasco	Scapula gauche	Traitement conservateur
		Rupture de Ligament Croisé Antérieur gauche	Angelis modifié
		Métacarpes III, IV et V gauche	Broches (Dowel pinning)
11	Gossipe	Ulna	Clou centro médullaire
12	Rihanna	Métatarses droit (tous)	Fixateur externe (Spider)
		Fémur droit	Clou centro médullaire de 1,2 mm de diamètre et plaque en T de 2 mm
14	Pelote	Fémur gauche	Plaque LCP 2,4 et clou centro médullaire de 1,5 mm de diamètre
		Humérus gauche	Plaque LCP 2,0 et clou centro médullaire de 1,2 mm de diamètre
15	Gris-gris	Métacarpes II, III et IV droit et gauche	Broches (Dowel pinning)
19	Pom pom	Tête du fémur gauche	Exérèse tête col
23	Gaby	Radius droit	Plaque LCP 2,4
		Radius gauche	Plaque LCP 2,4
32	Caline	Ilium gauche	Plaque LCP 2,4
33	Maloo	Pubis droit (double fracture)	Traitement conservateur
35	Tigrou	Métacarpes III et IV gauche	Cagéo thérapie pendant un mois
43	Tommy	Col du fémur gauche	Exérèse tête col
44	Boss	Tibia droit (fracture ouverte)	Fixateur externe bilatéral avec entretoise
45	Garfield	Col du fémur droit	Exérèse tête col
		Métacarpes II, III et IV gauche	Clou centro médullaire de 1 mm de diamètre dans chaque métacarpe
49	Boulette	Côtes 4 à 12 à droite et 4 à 7 à gauche	Traitement conservateur
51	Sony	Col du fémur droit	Exérèse tête col
57	Tchoupi	Luxation coxo-fémoral droite	2 points en X au PDS 3.0 sur la capsule
61	Whisky	1/3 rostral de la mandibule droite entre la canine et le prémolaire 1	Résine interdentaire
		Fémur gauche	Brochage en croix de 1,5 mm de diamètre, puis clou centro médullaire de 2 mm de diamètre avec brochage en croix, puis 2 plaques LCP 2
63	Mississa	Col du fémur droit	Exérèse tête col
64	Hulys	Métacarpes IV à gauche et a droite	Traitement conservateur
72	Naya	Radius/ulna droit	Plaque VCP

VCP : « Veterinary Cuttable Plate » : Plaque sécable vétérinaire.

2.3. Description de la méthode de stabilisation

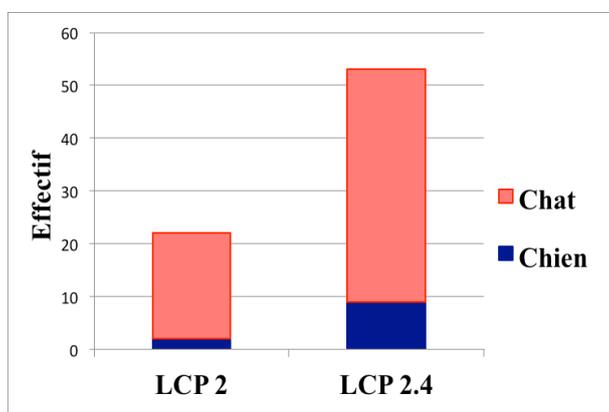
Le tableau en Annexe 5 fournit un récapitulatif des descriptions de la méthode de stabilisation des fractures de notre étude.

2.3.1. Caractéristiques liées à l'implant

- **Taille de la plaque**

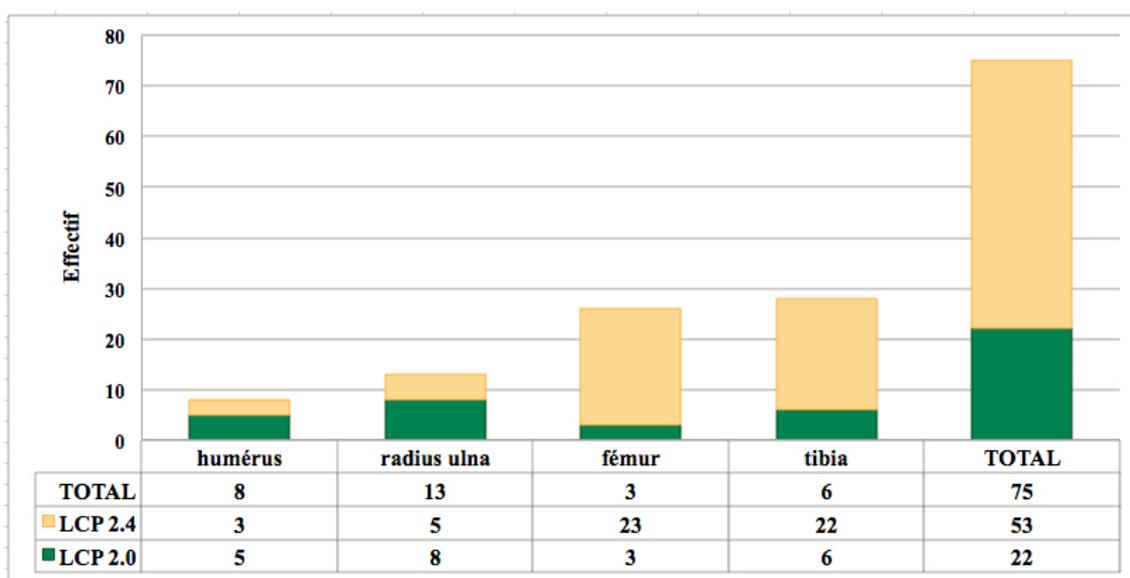
Parmi les 75 fractures de notre étude, 22 ont été traitées avec une plaque LCP 2.0 et 53 avec une plaque LCP 2.4, selon la répartition présentée dans la figure 22.

Figure 22 : Nombre de fractures en fonction de la taille de la plaque utilisée



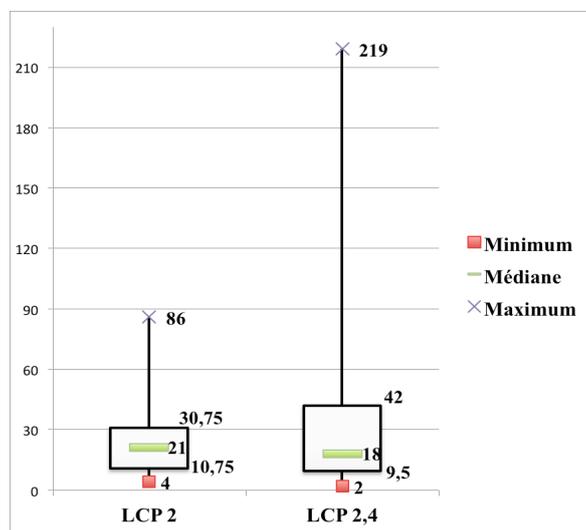
La figure 23 montre la répartition des plaques en fonction des os fracturés. Les plaques LCP 2.4 sont ainsi plus fréquemment utilisées sur les membres postérieurs.

Figure 23 : Répartition des plaques en fonction de l'os fracturé



La médiane des âges des animaux ayant une plaque de 2.0 est de 21 mois [10,75 - 30,75] et de 18 mois [9 - 48] pour les plaques de 2,4 mm, comme le montre la figure 24. Le test de Wilcoxon montre que la différence entre ces deux médianes n'est pas significative ($p = 0,92$).

Figure 24 : Répartition de l'âge des animaux en fonction de la taille de la plaque



La moyenne du poids des animaux ayant une plaque de 2.0 est de $3,97 \text{ kg} \pm 1,2$ et de $4,96 \pm 2,07$ pour les plaques de 2.4. Le test de Student montre, cette fois, qu'il existe une différence significative entre ces deux moyennes ($p = 0,04$). Cette étude montre l'intérêt des implants de 2.4 dès lors que le poids de l'animal augmente.

- **Rapport entre le nombre vis et le nombre de trous = PSD**

Les plaques utilisées ont de 5 à 14 trous, quelle que soit leur taille (LCP 2.0 ou 2.4). La répartition des plaques en fonction de leur taille et de l'espèce de l'animal est répertoriée dans le tableau 5.

Tableau 5 : Répartition des plaques en fonction de leur taille et de l'espèce de l'animal

Taille de la plaque	Nombre de trous	Chien	Chat
LCP 2.0	5	1	0
	6	1	3
	7	0	1
	9	0	4
	10	0	5
	12	0	3
LCP 2.4	14	0	4
	5	1	0
	6	0	2
	7	0	4
	8	2	4
	9	1	4
	10	2	10
12	3	18	
	14	0	2

Après calculs, on obtient un PSD compris entre 0,29 et 1 (ce qui correspond à autant de vis insérées dans la plaque que de trous disponibles), avec une médiane de 0,50 [0,40-0,68].

Plus précisément, la médiane du PSD pour les fractures simples est de 0,65 [0,44-0,81] et de 0,42 [0,33-0,59] pour les fractures complexes.

- **Nombre de vis et de corticales engagées par plaque et par fragment**

Parmi les 75 fractures de notre étude, il y a 4 à 8 vis insérées par plaque, avec une médiane de 5 vis [4-6]. Les vis engagent entre 7 et 16 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 [2-3] et qui engagent 3 à 8 corticales par fragment, avec une médiane de 4 corticales [4-6].

Pour ces résultats, il est intéressant de distinguer les fractures simples des fractures complexes, car les recommandations ne sont pas les mêmes pour ces différents types de fractures. Ainsi le nombre de vis par fragment a une médiane de 3 [2-3] pour les fractures simples et de 2 [2-3] pour les fractures complexes, avec respectivement, pour le nombre de corticales par fragment, une médiane de 6 [4-6] et 4 [4-6].

À partir de ces données on peut distinguer deux groupes, d'une part les montages avec deux vis engagées par fragment et d'autre part les montages avec plus de deux vis engagées par fragment. Le premier groupe concerne 30 fractures, les deux vis étant bicorticales sauf dans trois cas où une vis est monocorticale (cas n° 26 Teddy, cas n°42 Bounty et cas n°51 Sony). Le second groupe comprend 45 fractures.

- **Rapport entre le diamètre des vis et le diamètre de l'os où il est le plus étroit**

Le diamètre des os fracturés varie entre 5 et 11 mm, avec une médiane de 8 mm [7-8]. Le plus petit diamètre (5 mm) correspond à un radius, chez un chiot Lévrier d'Italie de 4 mois (Mimi, cas n°1). Le plus grand diamètre (11 mm) correspond à un fémur, chez un chien adulte Jagded terrier de deux ans et demi (Couillette, cas n°27).

Le rapport entre le diamètre des vis et le diamètre où l'os est le plus étroit varie de 0,2 à 0,67, avec une médiane de 0,3 [0,29-0,34].

- **Nombre de trous vides autour de la zone de fracture et longueur utile**

Le nombre de trous vides autour de la zone de fracture varie de zéro à dix, avec une médiane de 4 [1,5-6]. La longueur utile varie de 5 à 77 mm, avec une médiane de 34 mm [18,5-55].

Plus précisément, pour les fractures simples la longueur utile a une médiane de 33 mm [17,75-54], contre 40 mm [21,5-59] pour les fractures complexes.

- **Rapport entre la longueur de la plaque et la longueur de l'os**

Le rapport entre la longueur de la plaque et la longueur de l'os varie de 0,32 à 0,98, avec une moyenne de $0,69 \pm 0,16$.

- **Rapport entre la longueur de la plaque et la longueur de la fracture = PSW**

Le PSW varie de 1,41 et 42, avec une médiane de 4 [2,19-11,55].

Plus précisément, la médiane du PSW pour les fractures simples est de 11,55 [3,75-16,92] et seulement de 2,67 [1,90-4,51] pour les fractures complexes.

2.3.2. Caractéristiques mécaniques du montage

- **Technique de chirurgie**

Parmi les 75 fractures de notre étude, 14 ont été traitées par ostéosynthèse mini-invasive (MIPO), 2 chiens et 12 chats, ce qui représente 19 % des fractures.

Plus précisément, 11 fractures complexes sur 39 (28 %) ont été traitées par MIPO, contre seulement 3 fractures simples sur 36 (8 %).

- **Présence d'autre dispositif**

Parmi les 75 fractures traitées, 34 possèdent un ou plusieurs dispositifs en plus d'une plaque LCP 2.0 ou 2.4. C'est le cas pour 5 chiens et 29 chats, et pour la moitié des plaques LCP 2.0 et 23 des plaques LCP 2.4. De plus, 14 des 36 fractures simples (39 %) ont un autre dispositif en plus de la plaque LCP et 20 des 39 fractures complexes (51 %).

Ces dispositifs sont : 23 clous centromédullaires, 9 vis en compression, 4 cerclages, 3 broches en regard de la fracture, 1 « rush pin » et 1 hauban. La description de ces montages se trouve dans le tableau 6.

Pour les clous centromédullaires, nous avons précisé le rapport entre le diamètre du clou et le diamètre du canal médullaire. Les clous centromédullaires utilisés ont un diamètre allant de 1 à

2 mm, avec un diamètre du canal médullaire allant de 4 à 7 mm. Les rapports calculés vont de 0,14 à 0,33 avec une médiane de 0,25 [0,21-0,27].

De plus, 13 des 23 cas ayant un clou centromédullaire appartiennent au groupe des cas ayant plus de deux vis engagées par fragment, soit 57 % des cas ayant un clou centromédullaire en plus de la plaque LCP, contre 10 ayant deux vis engagées par fragment.

Tableau 6 : Description des dispositifs autre que les plaques LCP

N° cas	Nom	Description du dispositif
1	Mimi	<u>Broche dans l'ulna en regard du site de fracture</u> : diamètre 1 mm, longueur 8mm
3	Félix	* <u>Vis en compression</u> : diamètre 1,5 mm, longueur 11 mm * <u>CCM</u> : diamètre 1,5 mm, longueur 96 mm, diamètre canal médullaire 7 mm (r = 0,21)
4	Potus	<u>CCM</u> : diamètre 1 mm, longueur 120 mm, diamètre canal médullaire 4 mm (r = 0,25)
6	Lucifer	* <u>CCM</u> : diamètre 1 mm, longueur 33 mm, diamètre canal médullaire 7 mm (r = 0,14) * <u>Vis en compression</u> : diamètre 1,5 mm
9	Lili	* <u>Vis en compression</u> : diamètre 2 mm, longueur 18 mm * <u>Broche en regard du site de fracture</u> : diamètre 0,8 mm
10	Sky	<u>Cerclage</u>
11	Gossipe	<u>CCM (ulna)</u> : diamètre 1,2 mm, longueur 113 mm, diamètre canal médullaire 4 mm (r = 0,30)
13	Carotte	<u>CCM</u> : diamètre 1,2 mm, longueur 98 mm, diamètre canal médullaire 7 mm (r = 0,17)
14	Pelote	<u>CCM</u> : diamètre 1,2 mm, longueur 73 mm, diamètre canal médullaire 5 mm (r = 0,24)
14	Pelote (fémur)	<u>CCM</u> : diamètre 1,5 mm, longueur 76 mm, diamètre canal médullaire 5 mm (r = 0,30)
16	Rouky	<u>Rash pin</u>
17	Vilette	<u>CCM</u> : diamètre 1,2 mm, longueur 113 mm, diamètre canal médullaire 6 mm (r = 0,20)
24	Iris	* <u>Cerclage</u> * <u>Vis en compression</u> : diamètre 2 mm, longueur 10 mm
27	Couillette	<u>Hauban</u>
28	Tyson	<u>CCM</u> : diamètre 2 mm, longueur 109 mm, diamètre canal médullaire 7 mm (r = 0,29)
29	Uggy	<u>CCM</u> : diamètre 1,5 mm, longueur 100 mm, diamètre canal médullaire 7 mm (r = 0,21)
33	Maloo	<u>CCM</u> : diamètre 2 mm, longueur 97 mm, diamètre canal médullaire 6 mm (r = 0,33)
34	Simba	<u>CCM</u> : diamètre 1,5 mm, longueur 116 mm, diamètre canal médullaire 6 mm (r = 0,25)
36	Felix	<u>CCM</u> : diamètre 1,5 mm, longueur 113 mm, diamètre canal médullaire 6 mm (r = 0,25)
37	Felix	<u>Cerclages</u>
38	Greystoke	<u>Vis en compression intercondyloire</u> : longueur 20 mm
41	Pussy cat	<u>CCM</u> : diamètre 1,5 mm, longueur 102 mm, diamètre canal médullaire 6 mm (r = 0,25)
42	Bounty	<u>CCM</u> : diamètre 1,5 mm, longueur 97 mm, diamètre canal médullaire 6 mm (r = 0,25)
43	Tommy	<u>CCM</u> : diamètre 1,5 mm, longueur 102 mm, diamètre canal médullaire 5 mm (r = 0,30)
48	Grisou	<u>CCM</u> : diamètre 1,5 mm, longueur 115 mm, diamètre canal médullaire 7 mm (r = 0,21)
49	Boulette	<u>CCM</u> : diamètre 1,5 mm, longueur 108 mm, diamètre canal médullaire 6 mm (r = 0,25)
50	V-Twin	<u>CCM</u> : diamètre 1,25 mm, longueur 128 mm, diamètre canal médullaire 7 mm (r = 0,18)
51	Sony	* <u>Broche en regard du site de fracture</u> * <u>Cerclage</u>
54	Filou	<u>2 vis en compression</u> : diamètre 1,5 mm, longueur 14 mm et 12 mm
56	Jo	<u>CCM</u> : diamètre 1,5 mm, longueur 99 mm, diamètre canal médullaire 6 mm (r = 0,25)
57	Tchoupi	<u>CCM</u> : diamètre 1,5 mm, longueur 106 mm, diamètre canal médullaire 7 mm (r = 0,21)
59	Geluck	<u>CCM</u> : diamètre 1,5 mm, longueur 108 mm, diamètre canal médullaire 5 mm (r = 0,30)
63	Mississa	<u>CCM</u> : diamètre 1,5 mm, longueur 101 mm, diamètre canal médullaire 7 mm (r = 0,21)
65	Sauvagine	<u>2 vis en compression</u> : diamètre 2 mm, longueur 14 mm

CCM : Clou centromédullaire, r : rapport entre le diamètre du CCM et le diamètre du canal médullaire

- **Type de montage**

Les types de montage utilisés sont essentiellement des montages en soutien ou en neutralisation. En effet il n'y a qu'un seul montage en compression, contre 39 en soutien (dont 3 chiens) et 35 en neutralisation (dont 8 chiens). Les fractures complexes sont majoritairement traitées par des montages en soutien (33/39, soit 85 %), alors que les fractures simples sont préférentiellement traitées par des montages en neutralisation (29/36, soit 81 %).

2.4. Suivis et complications

2.4.1. Suivi radiographique

Du fait du caractère rétrospectif de notre étude, les suivis radiographiques n'ont pas été réalisés à intervalles réguliers pour tous les patients. Ainsi, ils ont été réalisés dans un délai allant de quatre jours à un an et neuf mois après l'intervention chirurgicale (moyenne 76 jours) avec une moyenne de deux évaluations radiographiques par fracture.

Un seul suivi radiographique a été effectué pour 31 fractures, deux suivis radiographiques pour 22 fractures, trois suivis radiographiques pour 14 fractures, quatre suivis radiographiques pour 7 fractures et enfin cinq suivis radiographiques pour une fracture.

Les premières radiographies de suivi ont été effectuées comme suit : 39 fractures ont été vues dans les 30 jours après l'opération, 27 fractures ont été vues entre 30 et 60 jours après l'opération et 9 fractures ont été vues entre 61 jours et 1 an après l'opération.

Les derniers suivis radiographiques ont été effectués comme suit : 10 fractures ont été vues dans les 30 jours après l'opération, 25 fractures ont été vues entre 30 et 60 jours après l'opération, 13 fractures ont été vues entre 60 et 90 jours après l'opération et 27 fractures ont été vues entre 91 jours et 1 an et 9 mois après l'opération.

2.4.2. Délai de cicatrisation

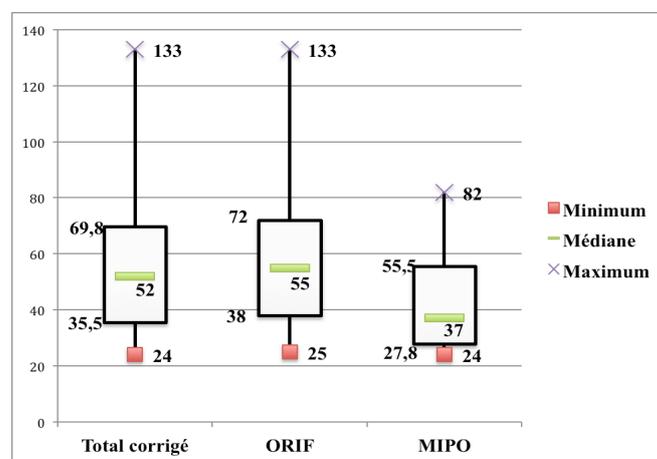
Les délais de cicatrisation, hors cas avec des complications, vont de 24 jours à un an. Néanmoins quatre animaux ont eu leur premier suivi à plus de 7 mois, leurs fractures étaient donc cicatrisées mais probablement depuis quelques mois ce qui fausse nos résultats. Si on ne prend pas en compte ces quatre animaux, les délais de cicatrisation vont de 24 jours à 4,5 mois, avec une médiane de 52 jours [35,5 – 69,8], comme le montre la figure 25.

Il est intéressant de regarder plus précisément les délais de cicatrisation en fonction de la technique de chirurgie utilisée. Les animaux ayant été opérés par MIPO ont un délai de cicatrisation allant de

24 à 82 jours, avec une médiane de 37 jours [27,8 – 55,5] et ceux ayant été opérés par ORIF ont cicatrisé entre 25 et 133 jours, avec une médiane de 55 jours [38 -72], comme le montre la figure 25.

Le test de Wilcoxon montre que la différence entre ces deux médianes est significative ($p = 0,03$). Ainsi dans notre étude, avec les limites d'une étude rétrospective, les fractures opérées par MIPO ont tendance à cicatriser plus rapidement que celles opérées par ORIF.

Figure 25 : Répartition des délais de cicatrisation des fractures en fonction de la technique chirurgicale utilisée



2.4.3. Complications

Des complications sont survenues pour 13 des 75 fractures, soit un taux de complication de 17 %. Parmi les 13 complications, sept sont classées comme des problèmes de montage, soit 9% des fractures étudiées, avec un cas de rupture de plaque, trois cas de plaques pliées, un cas de vis arrachées et deux cas d'échec de l'implant auxiliaire. Les autres complications (6 cas) se répartissent en trois cas d'infection de l'incision, trois cas d'ostéomyélite et une réduction inappropriée avec une déviation axiale (un cas cumule deux complications, Engie cas n°5).

Les complications impliquent l'humérus dans 2 cas, le radius et/ou l'ulna dans 4 cas, le fémur dans 2 cas et le tibia dans 5 cas. Un seul des 10 chiens présente une complication (Popeye, cas n° 25).

Les complications ont été observées entre 4 jours et 9 mois après la chirurgie, avec une médiane de 32 jours. Les complications liées au montage ont été observées entre 4 jours et 9 mois après la chirurgie, avec une médiane de 35 jours, et les autres complications, entre 4 jours et 8 mois après la

chirurgie, avec une médiane de 29 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 7 détaille ces complications et les corrections qui ont été mises en place.

Toutes les complications ont été résolues après un traitement approprié. Ainsi deux des trois infections de l'incision ont été traitées avec des antibiotiques (Rilexine ou Amoxicilline-acide clavulanique), et le troisième cas a été traité par le retrait des fils sous cutanés et un drainage ouvert de la plaie. Parmi les cas considérés comme des ostéomyélites, deux cas ont été diagnostiqués sur des examens radiographiques sans signes cliniques associés. Ces cas se sont résolus sans nécessiter de traitement. Pour le troisième cas, l'exérèse de l'implant a été réalisée, la cicatrisation osseuse étant terminée. Enfin, le cas ayant présenté une réduction inappropriée avec une légère déviation axiale n'a pas eu de traitement particulier car l'animal ne présentait pas de gêne dans ses déplacements.

Tableau 7 : Description des complications rencontrées dans l'étude

	N° cas	Nom	Complication (observée à x jours post-opératoire)	Correction mise en place
Problèmes de montage	14	Pelote (Fémur)	Vis arrachée (264 jours)	AMO car cicatrisation terminée
	17	Vilette	CCM sorti d'environ 2 mm au niveau du plateau tibial (35 jours)	AMO conseillée
	20	Daniel	Plaque pliée (11 jours)	Reprise de chirurgie : repose d'une plaque LCP 2, mais avec 6 vis et un CCM
	21	Merlin	Plaque pliée (29 jours)	Aucune
	25	Popeye	Plaque cassée (60 jours)	Reprise de chirurgie : pose d'une plaque LCP 2,7
	36	Felix	CCM déplacé (92 jours)	AMO du CCM le 25 juin
	52	Narandji	Plaque pliée (4 jours)	Reprise de chirurgie : repose d'une plaque LCP 2,4 dans les mêmes trous + pose d'une plaque VCP
Autres complications	4	Potus	Infection incision (16 jours)	Traitement antibiotique (Amoxicilline, Acide clavulanique 20 mg/kg pendant 15 jours)
	5	Engie	Infection incision (4 jours) Ostéomyélite (240 jours)	Retrait fils sous cutanés et drainage de la plaie AMO car cicatrisation terminée
	8	Fiasco	Ostéomyélite (38 jours)	Bonne évolution par la suite
	16	Rouky	Infection incision (17 jours) (fracture ouverte)	Traitement antibiotique (Rilexine 30 mg/kg BID pendant 20 jours)
	34	Simba	Ostéomyélite (59 jours)	Bonne évolution par la suite
	50	V-Twin	Réduction inappropriée avec une légère déviation proximo-caudo-latéral de l'about distal (29 jours)	Aucune

AMO : Ablation du matériel d'ostéosynthèse, CCM : Clou centromédullaire

- **Plaque cassée (n = 1)**

Le cas n° 25, Popeye, est un chien mâle croisé caniche de 15 ans, pesant 8,3 kg au moment de la chirurgie. Suite à un accident de la voie publique, le chien a eu une fracture ouverte mediodiaphysaire simple transverse du radius gauche et oblique courte de l'ulna gauche. Une plaque LCP 2.4 de 8 trous (64 mm de long), avec trois vis proximales bicorticales et trois vis distales bicorticales, a été utilisée afin de traiter la fracture du radius. Aucune des six vis n'était verrouillée.

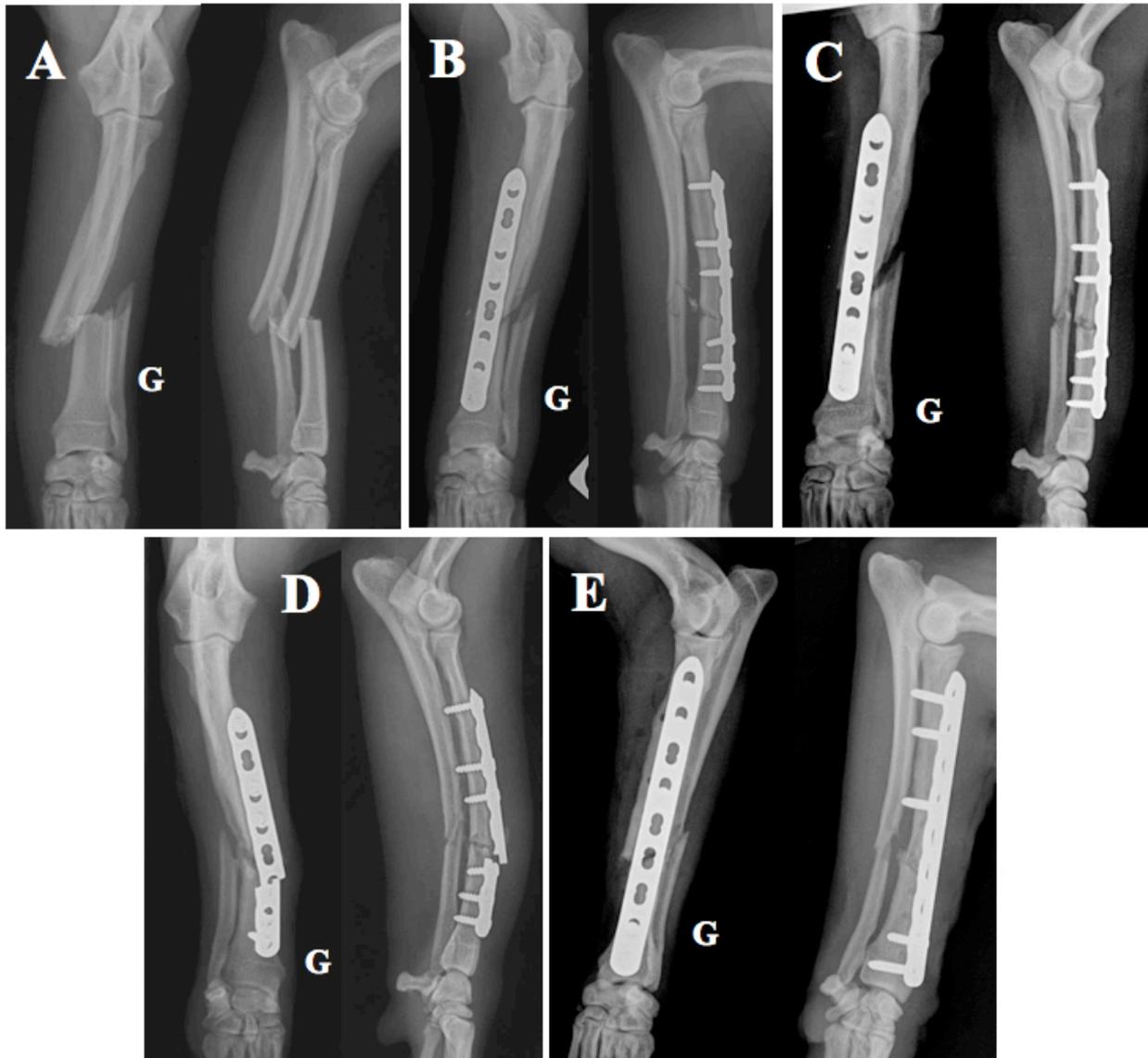
Lors du suivi radiographique à 60 jours postopératoire, nous avons constaté que la plaque était cassée, alors qu'elle était intacte au contrôle à 31 jours postopératoire, comme le montre les radiographies de la figure 26.

La cicatrisation osseuse n'étant pas complète à 60 jours postopératoires, un nouvel implant a été nécessaire. Ainsi la plaque LCP 2.4 a été retirée et remplacée par une plaque LCP 2.7 de 9 trous, avec 3 vis bicorticale proximales et 2 vis bicorticales distales, toutes verrouillées.

Après cette révision de chirurgie, la cicatrisation a pu se faire normalement et les propriétaires nous ont confirmés par téléphone que le chien ne présentait aucune séquelle de cette complication.

Figure 26 : Cas n°25, Popeye, fracture mediadiaphysaire simple transverse du radius gauche et oblique courte de l'ulna gauche.

A) Vues cranio-caudale et médio-latérale préopératoires, **B)** vues cranio-caudale et médio-latérale postopératoires, **C)** vues cranio-caudale et médio-latérale du suivi à 31 jours, **D)** vues cranio-caudale et médio-latérale du suivi à 60 jours (plaque cassée), **E)** vues cranio-caudale et médio-latérale après révision.



- **Plaque pliée (n = 3)**

Le premier cas et le deuxième cas sont les cas n° 20 et 21, Daniel et Merlin. Ce sont deux chats mâles européens de respectivement 2 ans et 10 mois, pesant respectivement 4,3 kg et 4 kg au moment de la chirurgie.

Daniel a présenté une fracture mediodiaphysaire multi-esquilleuse du tibia droit et simple transverse de la fibula droite, dont l'origine n'est pas précisée dans le dossier clinique. Et Merlin, suite à un accident de la voie publique, a eu une fracture mediodiaphysaire comminutive du tibia gauche et simple transverse de la fibula gauche

Une plaque LCP 2.0 de 14 trous (99 mm de long), avec deux vis proximales bicorticales et deux vis distales bicorticales, a été posée selon la technique de MIPO dans les deux cas. Toutes les vis étaient verrouillées.

Pour Daniel, un contrôle radiographique à 11 jours postopératoire a été réalisé, car l'animal présentait une boiterie avec appui intermittent et une douleur. Cette radiographie nous a permis de voir que la plaque était pliée, comme le montre les radiographies de la figure 27. 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 une nouvelle plaque LCP 2.0 a été posée, avec cette fois 3 vis bicorticales proximales et 3 vis bicorticales distales. Un clou centromédullaire a également été ajouté. Après cette révision de chirurgie, la cicatrisation a pu se faire normalement et sans conséquence pour l'animal.

Pour Merlin, c'est le suivi radiographique à 29 jours qui, de façon fortuite, nous a permis de constater que la plaque était pliée, comme le montre la figure 28. L'angulation étant peu importante et l'animal ne présentant ni gêne ni boiterie, aucune révision n'a été faite et la cicatrisation s'est poursuivie normalement.

Figure 27 : Cas n°20, Daniel, fracture mediadiaphysaire multi-esquilleuse du tibia droit et simple transverse de la fibula droite.

A) Vues cranio-caudale et médio-latérale préopératoires, **B)** vues cranio-caudale et médio-latérale postopératoires, **C)** vues cranio-caudale et médio-latérale du suivi à 11 jours (plaque pliée), **D)** vues cranio-caudale et médio-latérale après révision, **E)** vues cranio-caudale et médio-latérale du suivi à 35 jours après révision, **F)** vues cranio-caudale et médio-latérale du suivi à 68 jours après révision.

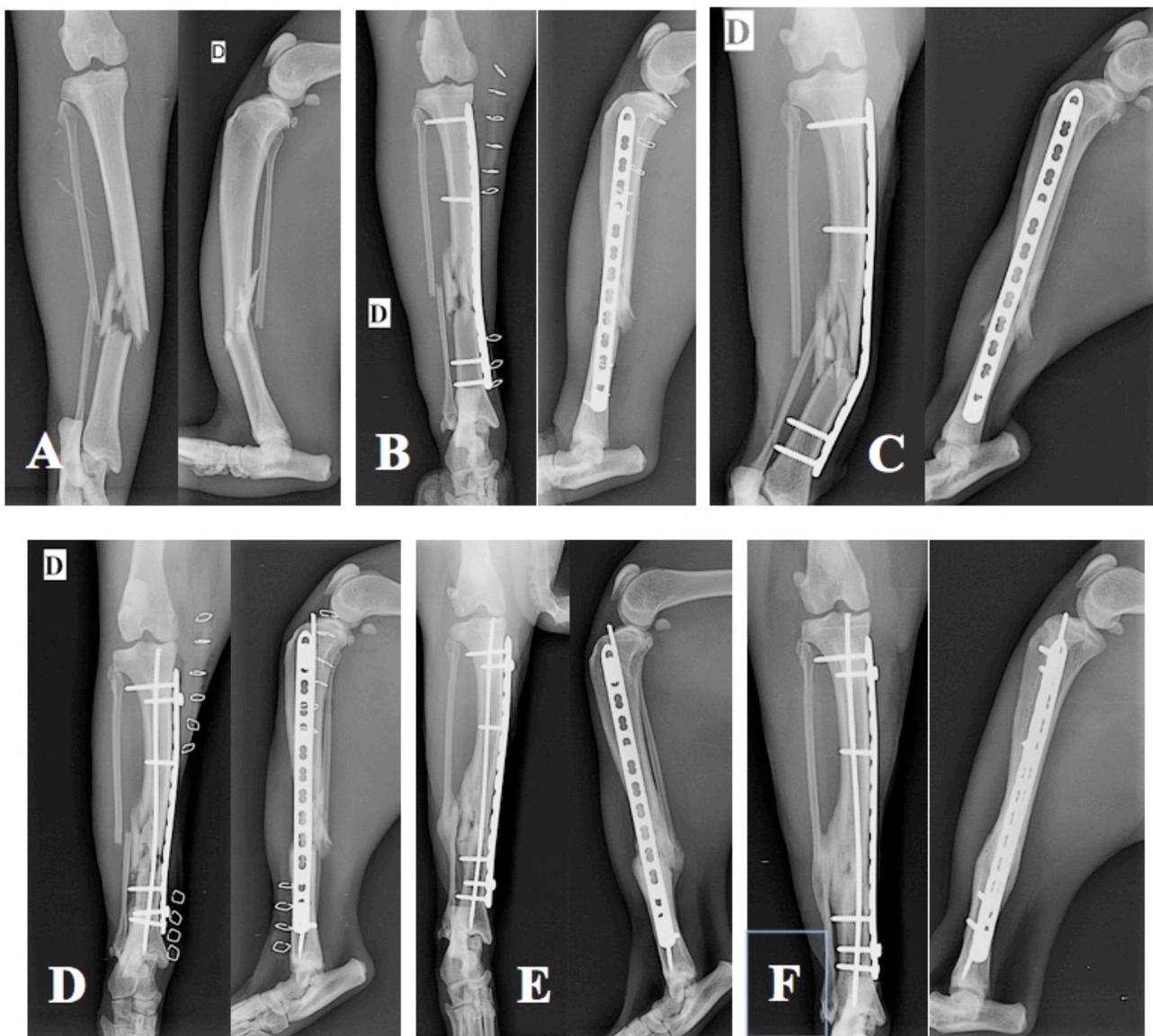
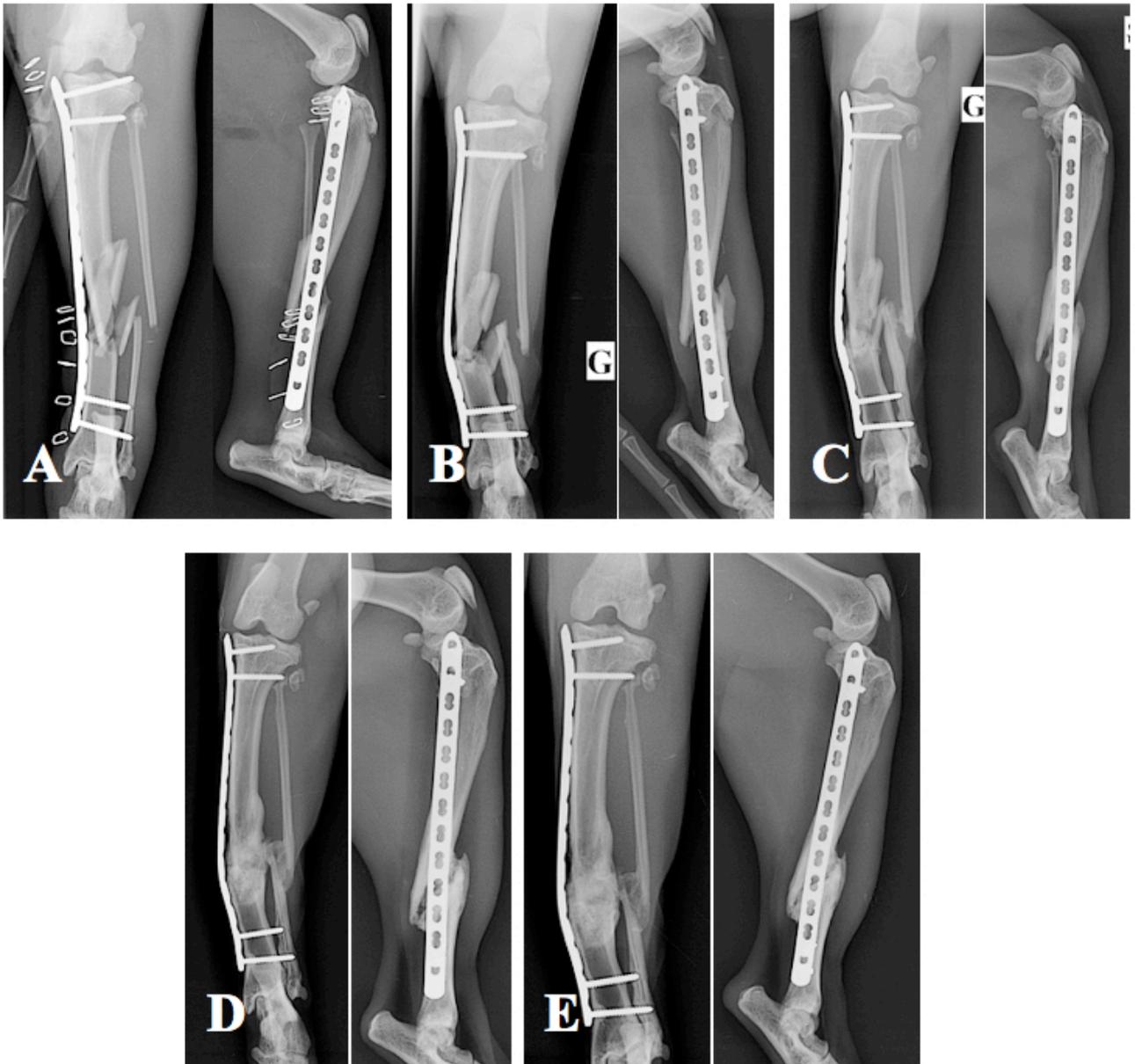


Figure 28 : Cas n°21, Merlin, fracture mediodiaphysaire comminutive du tibia gauche et simple transverse de la fibula gauche.

A) Vues cranio-caudale et médio-latérale postopératoires, **B)** vues cranio-caudale et médio-latérale du suivi à 29 jours (plaque pliée), **C)** vues cranio-caudale et médio-latérale du suivi à 48 jours, **D)** vues cranio-caudale et médio-latérale du suivi à 90 jours, **E)** vues cranio-caudale et médio-latérale du suivi à 118 jours.



Le dernier cas est le cas n° 52, Narandji. C'est un chat mâle castré européen de 5 ans et 7 mois, pesant 6 kg au moment de la chirurgie.

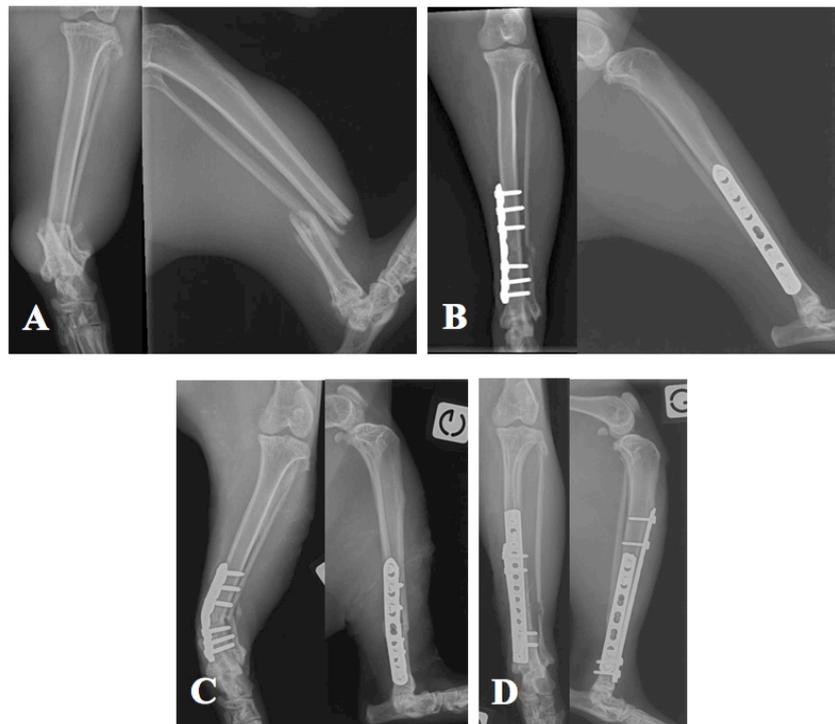
Narandji a présenté une fracture comminutive du tiers distal de la diaphyse du tibia et de la fibula gauche, suite à un choc contre un meuble. Une plaque LCP 2.4 de 7 trous (56 mm de long), avec trois vis proximales bicorticales et trois vis distales bicorticales, a été posée. Aucune vis n'était verrouillée.

Un contrôle radiographique à 4 jours postopératoire a été réalisé, car l'animal présentait une douleur et une angulation anormale de la patte. Cette radiographie nous a permis de voir que la plaque était pliée, comme le montre les radiographies de la figure 29.

Une reprise de chirurgie a été nécessaire. Ainsi la plaque pliée a été retirée et une nouvelle plaque LCP 2.4 a été reposée dans les mêmes trous et une plaque sécable vétérinaire (VCP) a été ajoutée perpendiculairement, avec deux vis bicorticales proximales et deux vis bicorticales distales. Après cette révision de chirurgie, la cicatrisation a pu se faire normalement et sans conséquence pour l'animal.

Figure 29 : Cas n°52, Narandji, fracture comminutive du tiers distal de la diaphyse du tibia et de la fibula gauche.

A) Vues cranio-caudale et médio-latérale préopératoires, **B)** Vues cranio-caudale et médio-latérale postopératoires, **C)** vues cranio-caudale et médio-latérale du suivi à 4 jours (plaque pliée), **D)** vues cranio-caudale et médio-latérale après révision.



- **Vis arrachée (n = 1)**

Le cas n°14, Pelote, est un chat femelle stérilisé de deux ans et 3 mois, pesant 3,8 kg au moment de la chirurgie. Suite à un accident de la voie publique, le chat a présenté une fracture comminutive du tiers proximal de la diaphyse du fémur gauche, ainsi qu'une fracture médiadiaphysaire oblique courte de l'humérus gauche.

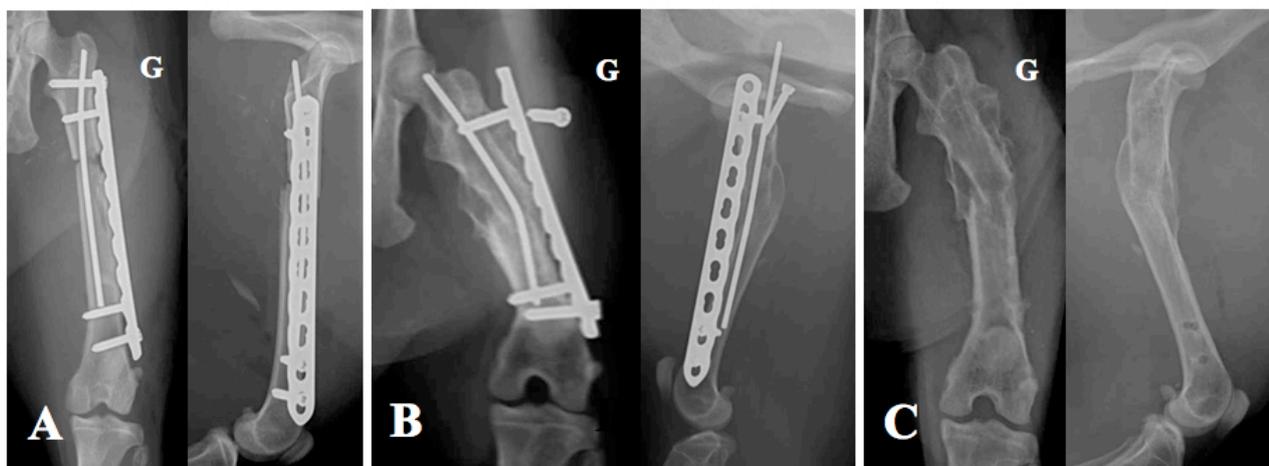
Une plaque LCP 2.4 de 10 trous (80 mm de long), avec deux vis proximales bicorticales et deux vis distales bicorticales, et un clou centromédullaire de 1,5 mm de diamètre ont été utilisés afin de traiter la fracture du fémur. L'humérus a été traité à l'aide d'une plaque LCP 2.0 et d'un clou centromédullaire de 1,2 mm de diamètre.

Lors d'un suivi radiographique à 9 mois postopératoire, nous avons constaté que la vis la plus proximale était arrachée et que le clou centromédullaire était plié, comme le montre les radiographies de la figure 30. La propriétaire rapportait alors une boiterie intermittente, mais qui ne gênait pas l'animal pour sauter et courir.

La cicatrisation osseuse terminée, le matériel d'ostéosynthèse a été retiré.

Figure 30 : Cas n°14, Pelote, fracture comminutive du tiers proximal de la diaphyse du fémur gauche.

A) Vues cranio-caudale et médio-latérale postopératoires, **B)** vues cranio-caudale et médio-latérale du suivi à 9 mois (vis arrachée et CCM plié), **C)** vues cranio-caudale et médio-latérale du suivi après AMO.



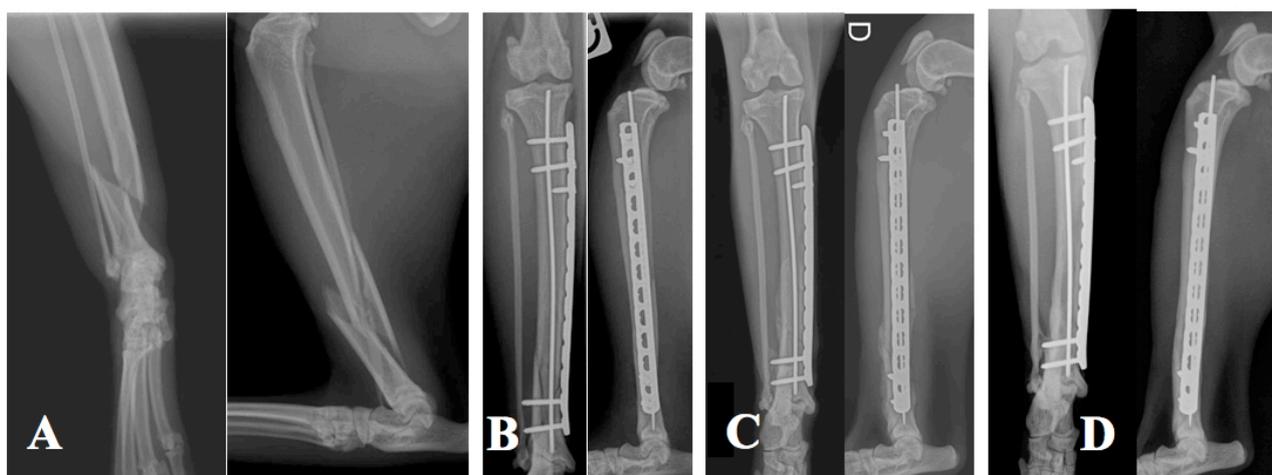
- **Echec du clou centromédullaire (n = 2)**

Le cas n°17, Vilette, est un chat femelle stérilisé de 4 ans et 1 mois, pesant 4,4 kg au moment de l'opération. Suite à une chute du premier étage, le chat a présenté une fracture multi-esquilleuse du tiers distal de la diaphyse du tibia droit.

Une plaque LCP 2.0 de 12 trous (84 mm de long), avec trois vis proximales, dont une monocorticale, et deux vis distales bicorticales, et un clou centromédullaire de 1,2 mm de diamètre ont été utilisés afin de traiter la fracture.

Lors du premier suivi radiographique à 35 jours postopératoires, nous avons constaté que le clou centromédullaire sortait de 2 mm environ au niveau du plateau tibial, comme le montre les radiographies de la figure 31. Au suivi radiographique suivant (106 jours postopératoires), la même observation a été faite et les propriétaires rapportaient une boiterie intermittente chez le chat. La cicatrisation osseuse étant terminée, il a été conseillé de retirer le matériel d'ostéosynthèse.

Figure 31 : Cas n°17, Vilette, fracture multi-esquilleuse du tiers distal de la diaphyse du tibia droit. **A)** Vues cranio-caudale et médio-latérale préopératoires, **B)** Vues cranio-caudale et médio-latérale postopératoires, **C)** vues cranio-caudale et médio-latérale du suivi à 35 jours (CCM sorti d'environ 2 mm au niveau du plateau tibial), **D)** vues cranio-caudale et médio-latérale du suivi à 106 jours.



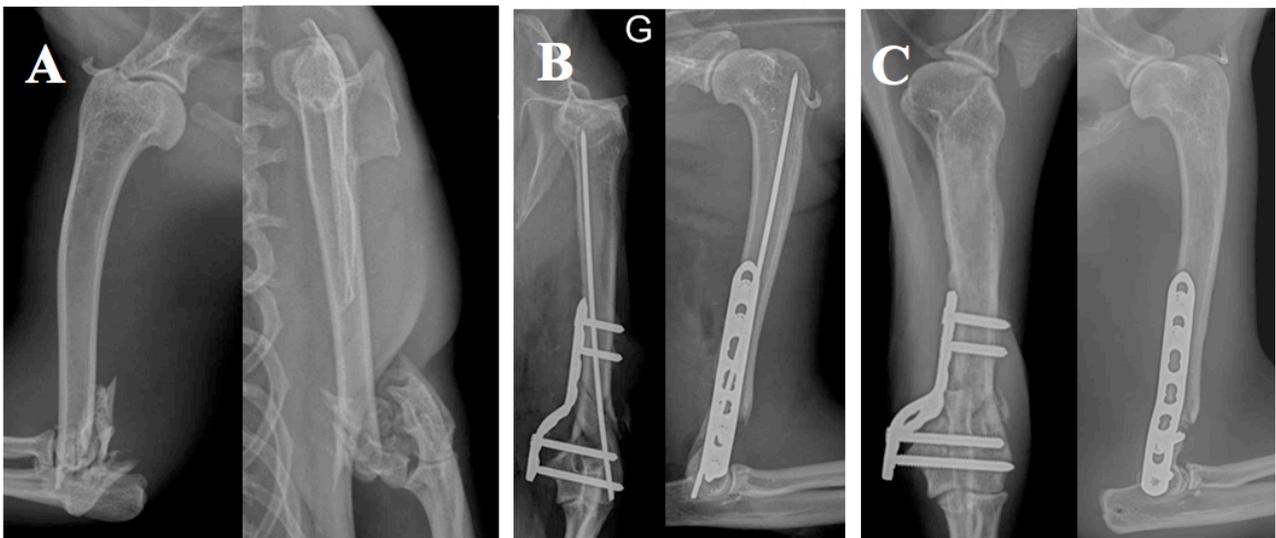
Le cas n°36, Felix, est un chat mâle de 16 ans et 8 mois, pesant 4,5 kg au moment de l'intervention. Suite à une chute du deuxième étage, le chat a présenté une fracture comminutive du tiers distal de la diaphyse de l'humérus gauche.

Une plaque LCP 2.4 de 7 trous (56 mm de long), avec deux vis proximales bicorticales et deux vis distales bicorticales, et un clou centromédullaire de 1,5 mm de diamètre ont été utilisés afin de traiter la fracture, comme le montre les radiographies de la figure 32.

Les propriétaires ayant constaté une boiterie permanente avec appui, un suivi radiographique à 92 jours postopératoire a été réalisé. Les radiographies montraient que le clou centromédullaire était déplacé et sortait au niveau du coude. Le clou centromédullaire a donc été retiré.

Figure 32 : Cas n°36, Felix, fracture comminutive du tiers distal de la diaphyse de l'humérus gauche.

A) Vues cranio-caudale et médio-latérale préopératoires, **B)** Vues cranio-caudale et médio-latérale postopératoires, **C)** vues cranio-caudale et médio-latérale après révision à 92 jours postopératoire.



2.4.4. Résultats statistiques

Notre analyse statistique nous permet de dire que, dans notre étude, il n'existait pas de différence significative dans l'apparition de complications liées au montage entre les cas ayant deux vis engagées par fragment et les cas ayant plus de deux vis engagées par fragment ($p=0,43$).

Les tableaux 8 et 9 présentent les résultats statistiques obtenus en comparant l'apparition de complications liées au montage pour les différents paramètres étudiés.

À la vue de ces résultats, nous constatons qu'il n'existait aucune différence significative entre l'apparition de complications liées au montage et les différents paramètres étudiés, au seuil du risque d'erreur de première espèce corrigé de Bonferroni (0,002). Le paramètre qui s'en rapprochait le plus était l'âge ($p = 0,04$). Ainsi les animaux ayant eu des complications liées au montage semblent plus âgés que ceux sans complication, mais sans que cette différence soit significative au seuil corrigé de 0,002.

Tableau 8 : Résultat des tests statistiques pour la comparaison de deux variables qualitatives

Paramètre étudié	Test utilisé	Complication + (n = 7)	Complication - (n = 68)	p-value	Significatif (O/N) au seuil corrigé de Bonferroni
		Pourcentage	Pourcentage		
Espèce	Fisher	chien	14,3%	1,00	N
		chat	85,7%		
Os fracturé	Fisher	humérus	14,3%	0,60	N
		radius/ulna	14,3%		
		fémur	14,3%		
		tibia/fibula	57,1%		
Localisation de la fracture	Fisher	1/3 proximal	14,3%	0,45	N
		mediodiaphysaire	42,9%		
		1/3 distal	28,6%		
		métaphyse	14,3%		
Type de fracture	Fisher	épiphyse	0,0%	0,63	N
		transverse	14,7%		
		oblique courte	0,0%		
		oblique longue	0,0%		
		spiroïde	0,0%		
		multi-esquilleuse	28,6%		
Fracture ouverte ou fermée	Fisher	comminutive	57,1%	0,23	N
		bifocale	0,0%		
Présence ou absence de fracture(s) concomitante(s)	Fisher	fermée	71,4%	0,43	N
		ouverte	28,6%		
Taille de la plaque	Fisher	absence	85,7%	0,41	N
		présence	14,3%		
Vis engagées par fragment (2 ou >2)	Fisher	2.0	42,9%	0,43	N
		2.4	57,1%		
Technique utilisée	Fisher	2	57,1%	0,43	N
		> 2	42,9%		
Présence ou absence autre(s) dispositif(s)	Fisher	ORIF	71,4%	0,61	N
		MIPO	28,6%		
Type de montage	Fisher	absence	57,1%	1,00	N
		présence	42,9%		
		neutralisation	28,6%		
	Fisher	soutien	71,4%	0,49	N
		compression	0,0%		

Tableau 9 : Résultat des tests statistiques pour la comparaison des variables quantitatives avec une variable binaire

Paramètre étudié	Test utilisé	Complication + (n = 7)	Complication - (n = 68)	p-value	Significatif (O/N) au seuil corrigé de Bonferroni
		Moyenne [SD]	Moyenne [SD]		
Poids	Student	5,04 [1,60]	4,63 [1,94]	0,59	N
Rapport longueur de plaque / longueur d'os	Student	0,69 [0,18]	0,69 [0,15]	0,98	N
		Médiane [IQR]	Médiane [IQR]		
Age	Wilcoxon	49 [24-182]	16,5 [10-219]	0,04	N
PSW	Wilcoxon	4,42 [3,09-11,20]	3,97 [2,05-11,9]	0,62	N
Nombre de vis pr plaque	Wilcoxon	4 [4-6]	5 [4-6]	0,24	N
Nombre de corticales par plaque	Wilcoxon	8 [8-12]	10 [8-12]	0,33	N
Nombre de vis par fragment	Wilcoxon	2 [2-3]	3 [2-3]	0,17	N
Nombre de corticales par fragment	Wilcoxon	4 [4-6]	4 [4-6]	0,27	N
PSD	Wilcoxon	0,42 [0,29-0,75]	0,50 [0,40-0,68]	0,43	N
Rapport diamètre vis / diamètre os	Wilcoxon	0,30 [0,29-0,34]	0,30 [0,27-0,34]	0,89	N
Nombre de trous vides autour de la zone de fracture	Wilcoxon	6 [1-8]	3,5 [1,5-6]	0,29	N
Longueur utile	Wilcoxon	55 [19-63]	34 [18-54,5]	0,44	N

SD : Standard Deviation : Ecart type, IQR : Distance interquartile.

3. Discussion

3.1. Critères d'inclusion

Etant donné le caractère rétrospectif de notre étude, il était important de définir des critères d'inclusion stricts pour que l'étude soit la plus précise et homogène possible.

Ce caractère rétrospectif apporte néanmoins de nombreuses limites à notre étude, notamment par la perte d'informations. Les dossiers médicaux sont souvent incomplets et les suivis cliniques et radiographiques ne sont pas toujours réalisés ou réguliers. Ceci entraîne une réduction importante des effectifs, avec la perte de presque la moitié des cas (75 fractures retenues sur 147 au départ).

De plus notre étude est réalisée à l'aide des données recueillies dans deux écoles vétérinaires françaises, ce qui permet d'une part d'augmenter les effectifs retenus, mais d'autre part multiplie également le nombre d'intervenants sur les différentes fractures. C'est un paramètre qu'il aurait été intéressant de prendre en considération, car l'expérience et les préférences du chirurgien peuvent influencer le traitement mis en place. Néanmoins, ce paramètre n'a pas pu être pris en compte car les dossiers médicaux précisaient rarement ces informations.

3.2. Description des animaux, des fractures et des suivis

Notre étude permet une bonne description de l'utilisation des plaques LCP 2.0 et 2.4, à l'ENVA et à ONIRIS.

3.2.1. Description des animaux

On remarque notamment une grande diversité des âges des animaux, qui va de 2 mois à 18 ans. Or ce paramètre peut avoir une grande influence sur la cicatrisation osseuse. D'une part, les délais de cicatrisation augmentent avec l'âge de l'animal. Johnson *et al.* (2005) ont confirmé statistiquement que les chiens de moins d'un an, considérés comme juvéniles, ont un périoste très actif et donc cicatrise plus rapidement par rapport aux chiens plus âgés. D'autre part, la reprise de charge et la convalescence n'est pas la même pour un animal jeune, qui reprendra un appui sur sa patte fracturée plus rapidement qu'un chien âgé.

Concernant le poids des animaux, il va de 1,1 à 10 kg, or les plaques LCP 2.4 sont normalement indiquées pour des animaux allant jusqu'à 8 kg (Fiches produits Synthes, 2010). Il y a donc 6 chiens qui se trouvent au dessus de ces recommandations, dont Popeye (cas n°25) qui a eu sa plaque cassée.

3.2.2. Description des fractures

Le délai médian d'opération est de 2 jours, c'est un délai très raisonnable car de nombreux facteurs influencent cette variable. Les animaux ayant des fractures appendiculaires sont fréquemment des animaux polytraumatisés du fait de la cause de leur fracture qui est souvent une chute ou un accident de la voie publique. Ainsi, ces animaux sont souvent en état de choc à leur arrivée à l'hôpital et il faut parfois plusieurs jours pour arriver à les stabiliser afin qu'ils soient anesthésiables.

Le caractère rétrospectif de notre étude, induit des types de fractures très divers. Les plaques LCP sont particulièrement adaptées au traitement des fractures métaphysaires et diaphysaires, beaucoup moins aux fractures épiphysaires (une seule fait partie de notre étude). Dans notre étude, les trois quarts des fractures étudiées concernent des membres postérieurs, mais cette constatation ne nous permet pas pour autant de dire que ces plaques sont plus adaptées aux fémurs et aux tibias qu'aux humérus et radius/ulna.

Dans notre étude, il y a quasiment autant de fractures simples que de fractures complexes, respectivement 48 % et 52 % de l'ensemble des fractures. Cela est à corrélérer au fait que les plaques LCP peuvent s'utiliser aussi bien en mode plaque de compression (type plaque LC-DCP) qu'en mode plaque de soutien, avec l'utilisation soit de vis standard, soit de vis verrouillées, soit d'un système mixte.

3.2.3. Suivis et délais de cicatrisation

Comme nous l'avons précisé précédemment, la nature rétrospective de notre étude nuit beaucoup à la qualité des suivis réalisés, notamment par un manque de standardisation du protocole d'étude.

Les suivis radiographiques n'ont pas été réalisés à des intervalles réguliers. Il y a notamment neuf animaux qui ont eu leur premier suivi radiographique à plus de deux mois, dont un à un an, et 41 %

des animaux (31/75) n'ont eu qu'un seul suivi radiographique. Cette irrégularité des suivis ne nous permet donc pas de conclure précisément sur le délai de cicatrisation des animaux. Il faudrait en effet un suivi régulier à un mois postopératoire, puis deux mois postopératoire, puis chaque mois jusqu'à la cicatrisation pour pouvoir conclure précisément. Nous observons toutefois que les animaux ayant été opérés par MIPO (ostéosynthèse à foyer fermé) ont tendance à cicatriser plus rapidement que ceux traités par ORIF. Ceci est à corréluer au fait que lors de MIPO, le foyer de fracture est préservé, la plaque présente un plus grand pouvoir de flexion contrôlée, ce qui favorise les micromouvements au sein de la fracture et donc favorise la formation d'un cal osseux volumineux et rapide.

Enfin, les dossiers médicaux et les suivis cliniques ne nous ont pas permis d'évaluer le temps de récupération fonctionnelle, avec la reprise d'appui sur le membre opéré. Une étude prospective, avec des suivis cliniques et radiographiques imposés permettrait de prendre en considération ce facteur. Nous pourrions voir si une chirurgie par MIPO entraîne une récupération fonctionnelle et une reprise d'appui plus rapide que les techniques de chirurgie ouverte, comme le suggèrent Kreder *et al.* (2005) dans leur étude.

3.3. Mise en relation de la méthode de stabilisation avec les complications

3.3.1. Taux de complication

Nous avons observé un taux de complications global de 17 % et un taux de complications liées au montage de 9 %. Toutes les complications ont été résolues après un traitement adapté. Ce nombre est comparable aux résultats obtenus par d'autres auteurs pour l'évaluation de différents systèmes de plaques verrouillées pour le traitement des os appendiculaires des petits animaux (chats ou petits chiens). Haaland *et al.* (2009) obtiennent un taux de complications global de 13 % et 11 % de complications liées au montage dans son étude sur les plaques LCP dans le traitement des fractures appendiculaires des chiens. Nicetto *et al.* (2013) rapportent un taux de complications global de 11 % (8,5 % de complications liées au montage) pour l'utilisation de plaques verrouillées de type « Fixin locking plate ». Voss *et al.* (2009), quand à eux, observent un taux de complications global de 19,5 % pour l'utilisation du système « unilock », avec un taux de complications liées au montage de 10,6 %. Enfin, Barnhart *et al.* (2013), qui étudient le système PAX, rapportent un taux de complications de 19 %.

Nous avons déjà fait la remarque que dans notre étude, un grand nombre de chirurgiens intervient et ce paramètre n'a pas pu être pris en considération. Or, comme pour l'utilisation de chaque implant, il existe une courbe d'apprentissage de la part du manipulateur. Ainsi nous aurions peut-être pu observer que les complications peuvent être plus fréquentes chez les chirurgiens novices que chez les chirurgiens seniors.

Les complications liées à l'implant ont concerné en majorité des tibias (5/7). Néanmoins, dans notre étude, c'est l'os qui est le plus représenté pour l'utilisation de ces plaques. Nous ne pouvons donc pas corréliser ce résultat avec l'apparition des complications.

3.3.2. Analyse des complications

Les plaques de verrouillage de type LCP sont relativement nouvelles dans la médecine vétérinaire, notamment le système 2.4. La plupart des lignes directrices, expliquant leur utilisation, sont extrapolées à partir des études humaines sur la réparation des fractures appendiculaire. C'est le cas des recommandations que nous avons présentées dans la partie 1.3.

- **Plaque cassée**

Popeye, cas n° 25, est un vieux chien (15 ans) qui a donc une cicatrisation plus lente qu'un chien de moins d'un an. De plus, il avait au départ une fracture ouverte, ce qui peut compliquer la cicatrisation.

Il pèse 8,3 kg, or nous avons vu que les plaques LCP 2.4 sont recommandées pour des animaux allant jusqu'à 8 kg.

Si on regarde plus précisément les caractéristiques biomécaniques de son montage, qui a servi à traiter une fracture simple, on observe :

- un rapport entre la longueur de la plaque et la longueur de l'os de 0,65. Bien que nous n'ayons pas de normes concernant cette donnée, ce rapport peut sembler faible.
- un PSW de 16, ce qui correspond aux normes établies par Gautier et Sommer (2003),
- un PSD de 0,75, alors qu'on préconise qu'il doit être inférieur à 0,3-0,4 pour une fracture simple,
- 3 vis qui engagent 6 corticales dans chaque fragment, ce qui correspond aux attentes pour une fracture simple,
- un trou vide autour de la zone de fracture, et les recommandations sont 0 à 3,

- un rapport entre le diamètre des vis et le diamètre de l'os où il est le plus étroit de 0,34. Celui-ci est inférieur à 0,4, or Johnson *et al.* (2005) précisent qu'il est recommandé que le diamètre de la vis ne doit pas dépasser 40 % du diamètre de l'os car la résistance de l'os diminue à mesure que la taille de la vis augmente.

Ainsi plusieurs facteurs ne respectent pas les recommandations pour les montages LCP. La plaque sans doute trop courte et le PSD trop élevé ont pu diminuer le pouvoir de flexion de la plaque, ce qui a pu favoriser sa rupture. De plus, lors de la reprise de chirurgie, la plaque LCP 2.4 a été remplacée par une plaque LCP 2.7, ce qui confirme le fait qu'une plaque LCP 2.4 est souvent trop petite pour un animal de plus de 8 kg.

- **Plaque pliée**

Daniel et merlin (cas n°20 et 21) ont des montages similaires, et bien qu'ils aient des âges différents, ils ont des poids comparables.

Si on regarde plus précisément les caractéristiques biomécaniques de leurs montages respectifs, qui ont servi à traiter des fractures complexes, on observe :

- un rapport entre la longueur de la plaque et la longueur de l'os de 0,87 et 0,91,
- un PSW de respectivement 4,71 et 3,09,
- un PSD de 0,29 chacun,
- 2 vis qui engagent 4 corticales dans chaque fragment, ce qui correspond aux attentes pour une fracture complexe,
- respectivement 7 et 10 trous vides autour de la zone de fracture,
- un rapport entre le diamètre des vis et le diamètre de l'os où il est le plus étroit de 0,29 chacun.

De plus, leurs fractures ont été traitées par MIPO, ce qui est préférable pour des fractures complexes.

Ainsi toutes les recommandations sont respectées. Cependant dans leurs cas, on peut se demander si une plaque de 2.0 est suffisante pour le traitement d'un tibia chez un chat d'environ 4 kg. Pour Daniel, un clou centromédullaire a été ajouté au montage pour contrer la force de flexion.

Narandji, cas n°52, a également sa plaque LCP 2.4 qui a pliée 4 jours après la chirurgie. C'est un chat plus lourd que les deux précédents (6 kg) mais c'est une plaque de 2.4 qui a été utilisée et non une 2.0.

Si on regarde plus précisément les caractéristiques biomécaniques de son montage, qui ont servi à traiter une fracture complexe, on observe :

- un rapport entre la longueur de la plaque et la longueur de l'os de 0,44, ce qui est très faible,
- un PSW de 11,2,
- un PSD de 0,86, ce qui est nettement supérieure à la recommandation de 0,5 – 0,4,
- 3 vis qui engagent 6 corticales dans chaque fragment,
- 1 seul trou vide autour de la zone de fracture, alors qu'il en faudrait au minimum 3,
- un rapport entre le diamètre des vis et le diamètre de l'os où il est le plus étroit de 0,34.

Ainsi la plaque trop courte et le PSD trop élevé ont pu diminuer le pouvoir de flexion de la plaque, comme pour le cas de Popeye, ce qui a favorisé la déformation à long terme de la plaque. Lors de la reprise de chirurgie, une plaque sécable vétérinaire (VCP) a été ajoutée au montage initial, perpendiculairement à la plaque LCP. Cette nouvelle plaque a donc permis de contrer la force de flexion et a fortement contribué à la réussite du second traitement.

- **Vis arrachée**

Le montage réalisé sur le fémur de Pelote, cas n° 14, respecte toutes les recommandations faites par l'AO. Néanmoins, d'autres facteurs ont pu influencer la survenue d'un arrachage de vis.

Premièrement, Pelote est un animal polytraumatisé, qui présentait une fracture sur le membre antérieur homolatéral, également traitée par une plaque LCP. Cette fracture concomitante a nécessairement eu des effets sur la reprise d'appui des deux membres, avec possiblement une plus grande charge du membre postérieur, afin d'épargner le membre antérieur.

De plus, si on observe les radiographies postopératoires immédiates, on constate que la tête de la vis la plus proximale dépasse de la plaque, ce qui signifie qu'elle n'était pas correctement verrouillée à l'origine. Ce problème technique permet d'expliquer, en grande partie, que cette vis ait pu s'arracher du montage, ce qui est par ailleurs quasiment impossible pour une vis correctement verrouillée au départ.

- **Echec du clou centromédullaire**

Enfin, en ce qui concerne les deux derniers cas de complication, Vilette et Felix (cas n°17 et 36), le paramètre le plus important à regarder est le diamètre du clou par rapport au diamètre du canal médullaire. Pour Vilette ce rapport est de 0,2 et pour Felix de 0,25.

Les recommandations faites par Johnson *et al.* (2005), précisent qu'une broche d'environ 70 % du diamètre du canal médullaire est considérée comme optimale. Néanmoins cette donnée est applicable lorsqu'il y a uniquement un clou centromédullaire utilisé pour traiter la fracture. Aucune étude n'a étudié ce rapport lors de l'utilisation d'une plaque et d'un clou centromédullaire. Il est évident que lors de cette utilisation combinée, ce rapport peut et doit être diminué, notamment pour permettre l'insertion des vis sans que le clou centromédullaire ne soit gênant.

De plus, pour ces deux cas, comme pour l'ensemble des cas de notre étude, aucune information sur la qualité et la durée de la convalescence n'est précisée. Ces complications pourraient s'expliquer si l'animal n'a pas respecté les consignes de repos après l'opération.

3.3.3. Résultats statistiques

Notre étude statistique n'a révélé aucune différence significative entre les différents paramètres étudiés et l'apparition de complications, notamment dans l'apparition de complications liées au montage entre les cas ayant deux vis engagées par fragment et ceux ayant plus de deux vis engagées par fragment.

Mais notre étude statistique présente beaucoup de limites. En particulier, la petite taille des effectifs et le faible nombre de complications entraînent une faible puissance statistique. Encore une fois, c'est le caractère rétrospectif de notre étude qui se trouve pénalisant.

De plus, la correction de Bonferroni, que nous avons dû appliquer, diminue le seuil de significativité et réduit d'avantage nos possibilités d'obtenir un résultat significatif. Même sans cette correction, seul le paramètre âge, comparé à l'apparition de complications liées au montage, nous donnait un p inférieur à 0,05.

En conclusion, nous remarquons que les échecs de fixation dans notre étude étaient liés à des erreurs chirurgicales, notamment dans l'estimation de la longueur ou de la taille de la plaque ou dans l'estimation du nombre de vis à insérer et leur position.

Dans l'ensemble, il semble que les systèmes LCP 2.0 et 2.4, sont des implants adaptés à la stabilisation des fractures appendiculaires chez les chats et les petits chiens. Notre avis est que l'utilisation du système 2.4 est particulièrement bien adapté au traitement des fractures du tibia et du fémur, à condition de respecter les recommandations établies par l'AO, qui semblent bien adaptées à la médecine vétérinaire.

CONCLUSION

L'objectif de ce travail était de décrire l'évolution des patients ayant une fracture appendiculaire stabilisée par une plaque LCP de 2.0 ou 2.4 mm, afin de vérifier les recommandations pour l'utilisation de ces implants.

Cette étude s'est appuyée sur le suivi radiographique de 75 fractures de chats et de petits chiens opérés au service de chirurgie de l'ENVA et d'ONIRIS, entre octobre 2010 et juin 2013. Ces animaux présentaient des fractures de types très divers qui touchaient des humérus, des radius et/ou ulna, des fémurs et des tibias. Ces fractures étant essentiellement survenues lors d'accident de la voie publique ou de défenestrations.

Nous avons analysé les dossiers médicaux de tous les patients afin de décrire les animaux de l'étude, leur fracture et la méthode de stabilisation qui a été utilisée pour les traiter. Nous nous sommes particulièrement intéressés aux complications qui sont survenues et avons comparé nos résultats aux recommandations liées à la pose de ces implants.

Le taux de complications que nous avons observé est comparable aux taux de complications qui sont décrits dans des études similaires, analysant d'autres types de fixateurs internes.

Aucune différence significative entre l'apparition de complications et les différents facteurs étudiés n'a été mise en évidence. Il semble que l'apparition de complications, pour les fractures stabilisées avec deux vis par fragment ou plus de deux vis par fragment, ne présente pas de différence statistique. Cette étude montre les limites de ces montages sur certaines fractures instables. Les ruptures ou déformations d'implants peuvent s'expliquer soit par des erreurs dans la technique de pose, soit par une sous évaluation de la résistance mécanique de l'implant.

En conclusion, nos résultats suggèrent que les systèmes LCP 2.0 et 2.4 peuvent être utilisés avec succès pour le traitement des fractures appendiculaires chez les chats et les petits chiens. Notre étude présente tout de même des limites. Le caractère rétrospectif de l'étude ne permet pas une standardisation du protocole d'étude. Notre étude comprend ainsi de faibles effectifs associés à un large panel de types de fractures différents.

Le système LCP combine les avantages mécaniques du fixateur externe avec le confort, pour les patients, des fixateurs internes. Toutefois, la planification préopératoire, une connaissance et une compréhension approfondies des principes biomécaniques impliqués sont obligatoires.

BIBLIOGRAPHIE

AGUILA AZ, MANOS JM, ORLANSKY AS, TODHUNTER RJ, TROTTER EJ et VAN DER MEULEN MCH. In vitro biomechanical comparison of limited contact dynamic compression plate and locking compression plate. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* 2005, **18** (4), 220-226.

AHMAD M, NANDA R, BAJWA AS, CANDAL-COUTO J, GREEN S et HUI AC. Biomechanical testing of the locking compression plate: When does the distance between bone and implant significantly reduce construct stability? *Injury.* 2007, **38** (3), 358-364.

AUSTIN RT. The sarmiento tibial plaster: A prospective study of 145 fractures. *Injury.* 1981, **13** (1), 10-22.

BEALE BS. Practical treatment of comminuted fractures for the general practitioner. *Annual North American Veterinary Conference, Orlando (USA), 2007.*

BARNHART MD, RIDES CF, KENNEDY SC, AIKEN SW, WALLS CM, HORSTMAN CL *et al.* Fracture repair using a polyaxial locking plate system (PAX). *Vet. Surg.* 2013, **42** (1), 60-66

EGOL KA, KUBIAK EN, FULKERSON E, KUMMER FJ et KOVAL KJ. Biomechanics of locked plates and screws. *J. Orthop. Trauma.* 2004, **18** (8), 488-493.

FARGHEON M. Ostéosynthèse par plaque vissée sur un modèle de fracture comminutive du tibia ovin : étude biomécanique de l'intérêt du verrouillage des vis en compression. Thèse Méd. Vét., Toulouse, 2011, 105 p.

Fiches produits, dans : Catalogue vétérinaire de Synthés, édition 2010, [document PDF], 205-220.

FOSSUM TW, DEWEY CW, HORN CV *et al.* *Small animal Surgery.* 4th ed. Elsevier Mosby, St Louis, Missouri, 2013, 1619 p.

FRIGG R. Development of the locking compression plate. *Injury.* 2003, **34** Suppl S-B6-S-B10.

GAUTIER E et SOMMER C. Guidelines for the clinical application of the LCP. *Injury* 2003, **34**, 63-76.

HAALAND PJ, SJÖSTRÖM L, DEVOR M et HAUG A. Appendicular fracture repair in dogs using the locking compression plate system: 47 cases. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* 2009, **22** (4), 309-15.

HORSTMAN CL, BEALE BS, CONZEMIUS MG et EVANS R. Biological osteosynthesis versus traditional anatomic reconstruction of 20 long-bone fractures using an interlocking nail: 1994-2001. *Vet. Surg.* 2004, **33** (3), 232-237.

JOHNSON AL, SMITH CW et SCHAEFFER DJ. Fragment reconstruction and bone plate fixation versus bridging plate fixation for treating highly comminuted femoral fractures in dogs: 35 cases (1987-1997). *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 1998, **213** (8) 1157-1161.

JOHNSON AL, HOUTLON JEF et VANNINI R. *AO principles of fracture management in the dog and cat*. Thieme, Davos (Suisse), 2005, 529 p.

KALFAS I.H. Principles of bone healing. *Neurosurg Focus*, 2001 **10** (4) : Article 1, 7-10.

KIM T, UMA, HASKELL A, MICLAU T et PUTTLITZ CM. Fixation of osteoporotic distal fibula fractures: A biomechanical comparison of locking versus conventional plates. *J. Foot. Ankle. Surg.* 2007, **46** (1), 2-6.

KREDER HJ, HANEL DP, AGEL J, MCKEE M, SCHEMITSCH EH, TRUMBLE TE et STEPHEN D. Indirect reduction and percutaneous fixation versus open reduction and internal fixation for displaced intra-articular fractures of the distal radius: A randomised, controlled trial. *J. Bone Joint Surg. Br.* 2005, **87** (6), 829-36.

KRETTEK C, MÜLLER M et MICLAU T. Evolution of minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) in the femur. *Injury* 2001, **32** Suppl 3, SC14-23.

LEUNIG M, HERTEL R, SIEBENROCK KA, BALLMER FT, MAST JW et GANZ R. The evolution of indirect reduction techniques for the treatment of fractures. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2000, **375**, 7-14.

MCKIBBIN B. The biology of fracture healing in long bones. *J. Bone Joint Surg. Br.* 1978, **60-B** (2), 150-62.

MILLER DL et GOSWAMI T. A review of locking compression plate biomechanics and their advantages as internal fixators in fracture healing. *Clinical Biomechanics*. 2007, **22** (10), 1049-1062.

NICETTO T, PETAZZONI M, URIZZI A et ISOLA M. Experiences using the fixin locking plate system for the stabilization of appendicular fractures in dogs. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* 2013, **26**, (1), 61-68.

PALMER RH. Biological osteosynthesis. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.* 1999, **29** (5), 1171-85.

PERREN SM. Evolution of the internal fixation of long bone fractures. The scientific basis of biological internal fixation: Choosing a new balance between stability and biology. *J. Bone Joint Surg. Br.* 2002, **84** (8), 1093-110.

PIERMATTEI DL, FLO GL et DECAMP E. *Manuel d'orthopédie et traitement des fractures des animaux de compagnie*. Quatrième édition, Med'com, 2009.

Plaque de compression à verrouillage LCP. Combinaison sans compromis. Instructions d'utilisation. Synthes, Oberdorf (Suisse).

[<http://www.synthes.com/sites/intl/IntlContent/Files/026.000.019.pdf>] (Consulté le 25/11/13)

POZZI A, HUDSON CC, GAUTHIER CM et LEWIS DD. Retrospective comparison of minimally invasive plate osteosynthesis and open reduction and internal fixation of radius-ulna fractures in dogs. *Vet. Surg.* 2013, **42**, (1), 19-27.

RADASCH RM. Biomechanics of bone and fractures. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.* 1999, **29** (5), 1045-1082.

RAHN BA. Bone healing: Histologic and physiologic concepts. *Bone in Clinical Orthopedics.* 1982, **2**, 287-332.

SCHATZKER J et BRUDNICKI J. The evolution of AO/ASIF views on fracture treatment. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol.* 2006, **71** (4), 275-279.

SCHWANDT CS et MONTAVON PM. Locking compression plate fixation of radial and tibial fractures in a young dog. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* 2005, **18** (3), 194-198.

SOMMER C, GAUTIER E, MÜLLER M, HELFET DL et WAGNER M. First clinical results of the locking compression plate (LCP). *Injury.* 2003, **34**, 43-54.

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

TAN SL et BALOGH ZJ. Indications and limitations of locked plating. *Injury.* 2009, **40** (7), 683-691.

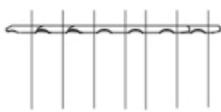
VIATEAU V. *Traitement général des fractures*. Polycopié. Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort, Unité pédagogique de Pathologie chirurgicale, 2004-2005, 72 p.

VOSS K, KULL M.A, HÄSSIG M et MONTAVON P. Repair of long-bone fractures in cats and small dogs with the unilock mandible locking plate system. *Vet. Comp. Orthop. Traumatol.* 2009, **22**, (5), 398-405.

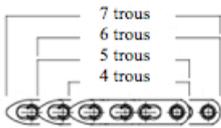
WAGNER M. General principles for the clinical use of the LCP. *Injury.* 2003, **34**, 31-42.

Annexe 1 : Taille et épaisseur des plaques LCP 2.0

**LCP vétérinaire 1.5/2.0,
épaisseur 1,2 mm**



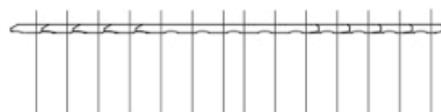
Vue latérale



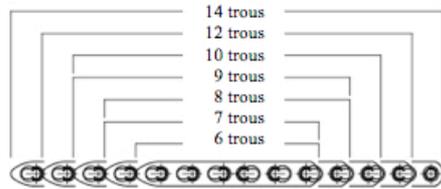
Vue antéro-postérieure

acier	trous	longueur
VP4011.04	4	27 mm
VP4011.05	5	34 mm
VP4011.06	6	41 mm
VP4011.07	7	48 mm

**LCP vétérinaire 1.5/2.0,
épaisseur 1,5 mm**



Vue latérale



Vue antéro-postérieure

acier	trous	longueur
VP4012.06	6	42 mm
VP4012.07	7	49 mm
VP4012.08	8	56 mm
VP4012.09	9	63 mm
VP4012.10	10	70 mm
VP4012.12	12	84 mm
VP4012.14	14	98 mm

1.15 Grossissement



À utiliser uniquement avec les systèmes d'implants
et l'instruments de l'AO



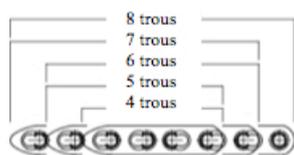
Synthes GmbH
Eimattstrasse 3
CH-4436 Oberdorf
www.synthes.com

Annexe 2 : Taille et épaisseur des plaques LCP 2.4

**LCP vétérinaire 2.4,
épaisseur 1,7 mm**



Vue latérale



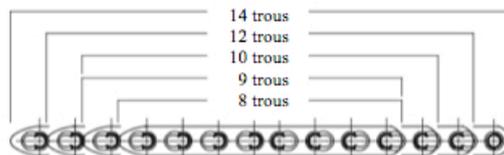
Vue antéro-postérieure

acier	trous	longueur
VP4021.04	4	32 mm
VP4021.05	5	40 mm
VP4021.06	6	48 mm
VP4021.07	7	56 mm
VP4021.08	8	64 mm

**LCP vétérinaire 2.4,
épaisseur 2,0 mm**



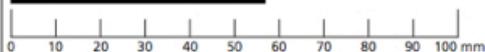
Vue latérale



Vue antéro-postérieure

acier	trous	longueur
VP4022.08	8	64 mm
VP4022.09	9	72 mm
VP4022.10	10	80 mm
VP4022.12	12	96 mm
VP4022.14	14	112 mm

1.15 Grossissement



À utiliser uniquement avec les systèmes d'implants
et l'instruments de l'AO

SYNTHES

Synthes GmbH
Eimattstrasse 3
CH-4436 Oberdorf
www.synthes.com

Annexe 3 : Tableau récapitulatif des descriptions des animaux

N° cas	Nom	Espèce	Sexe	Stérilisation	Age en mois	Poids en kg	Cause de fracture
1	Mimi	chien	F	non	4	3,0	NC
2	Ema	chien	F	non	11	1,1	Reprise de chirurgie due à l'échec du précédent implant
3	Felix	chat	M	oui	19	3,6	Accident de la voie publique
4	Potus	chat	M	oui	86	5,8	Chute du 3ème étage
5	Engie	chat	F	oui	24	3,5	Chute du 7ème étage
6	Lucifer	chat	M	oui	10	4,2	NC
7	Rock	chat	M	non	12	4,5	Chute
8	Fiasco	chat	M	oui	29	5,8	Chute du 4ème étage
9	Lili	chat	F	oui	15	3,5	Accident de la voie publique
10	Sky	chat	M	non	7	2,0	Chute d'un arbre
11	Gossipe	chat	M	oui	15	4,7	Chute du 1er étage
12	Rihanna	chat	F	non	36	3,0	Chute du 6ème étage
13	Carotte	chat	M	oui	61	6,5	Accident de la voie publique
14	Pelote	chat	F	oui	27	3,8	Accident de la voie publique
15	Gris-gris	chat	M	oui	NC	3,3	Chute du 7ème étage
16	Rouky	chat	M	oui	50	4,7	Chute du 1er étage
17	Vilette	chat	F	oui	49	4,4	Chute du 1er étage
18	Padi	chat	F	non	23	3,4	Accident de la voie publique
19	Pom pom	chat	M	non	NC	4,4	Accident de la voie publique
20	Daniel	chat	M	non	24	4,3	NC
21	Merlin	chat	M	non	10	4,0	Accident de la voie publique
22	Gus	chat	M	oui	10	4,0	NC
23	Gaby	chien	F	non	6	9,7	Accident de la voie publique
24	Iris	chien	F	non	9	8,8	Chute du 1er étage
25	Popeye	chien	M	non	182	8,3	Accident de la voie publique
26	Teddy	chien	M	non	3	2,8	Accident domestique
27	Couillette	chien	F	non	31	10,0	Accident de chasse
28	Tyson	chien	M	non	2	5,2	Accident domestique
29	Uggy	chien	M	non	109	8,9	Accident de la voie publique
30	Easy	chien	F	non	36	10,0	Accident de la voie publique
31	Rajah	chat	M	non	17	3,4	Accident de la voie publique
32	Caline	chat	F	oui	18	4,3	Chute du 4ème étage
33	Maloo	chat	F	oui	67	3,5	Chute du 4ème étage
34	Simba	chat	M	oui	6	5,0	Accident de la voie publique
35	Tigrou	chat	M	non	13	5,0	Chute du 3ème étage
36	Felix	chat	M	non	200	4,5	Chute du 2ème étage
37	Felix	chat	M	oui	28	3,8	Chute du 1er étage

38	Greystoke	chat	M	oui	9	4,2	Chute du 3ème étage
39	Buni	chat	M	non	27	3,0	Accident de la voie publique
40	Blue Bay	chat	F	non	7	2,3	Accident de la voie publique
41	Pussy Cat	chat	F	oui	219	3,5	Accident domestique
42	Bounty	chat	F	non	48	2,1	Chute du 4ème étage
43	Tommy	chat	M	oui	7	4,2	Chute du 6ème étage
44	Boss	chat	M	non	24	5,2	Chute du 2ème étage
45	Garfield	chat	M	non	12	5,3	Chute du 2ème étage
46	Gribouille	chat	F	oui	8	3,0	Chute du 8ème étage
47	Kalhua	chat	F	oui	23	3,8	NC
48	Grisou	chat	M	non	11	5,0	Chute du 5ème étage
49	Boulette	chat	F	non	101	3,6	NC
50	V-Twin	chat	M	non	79	7,1	Chute du 2ème étage
51	Sony	chat	M	non	5	2,5	Chute du 4ème étage
52	Narandji	chat	M	oui	67	6,0	Accident domestique
53	Nyno	chat	M	oui	15	3,0	Chute du 4ème étage
54	Filou	chat	M	non	197	3,5	Accident de la voie publique
55	Garou	chat	M	oui	7	3,6	Accident de la voie publique
56	Jo	chat	M	non	10	3,4	Accident de la voie publique
57	Tchoupi	chat	M	oui	16	4,8	Accident de la voie publique
58	Gandga	chat	M	oui	12	3,3	Chute du 4ème étage
59	Geluck	chat	M	oui	11	4,8	Accident de la voie publique
60	Gonesse	chat	F	non	20	4,3	Chute du 4ème étage
61	Whisky	chat	M	non	14	5,0	Chute du 9ème étage
62	Foucault	chat	M	oui	30	5,5	NC
63	Mississa	chat	F	non	14	5,0	Chute du 4ème étage
64	Hulys	chat	M	non	11	6,5	Chute du 5ème étage
65	Sauvagine	chat	F	oui	197	3,9	Morsure par chien
66	Lilou	chat	F	oui	53	4,8	Accident de la voie publique
67	Aston	chat	M	oui	34	6,8	Accident de la voie publique
68	Masack	chat	M	oui	NC	4,1	Accident de la voie publique
69	Felix	chat	M	oui	109	5,6	Accident de la voie publique
70	Rouxy	chat	M	oui	24	5,5	NC
71	Mimi	chat	F	non	NC	NC	Accident de la voie publique
72	Naya	chat	F	non	9	2,6	Accident de la voie publique
73	Filou	chat	M	oui	35	4,8	Accident de la voie publique

F : Femelle, M : Mâle, NC : Non connu.

Annexe 4 : Tableau récapitulatif des descriptions des fractures

N° cas	Nom	Délai d'opération après le traumatisme (jours)	Os fracturé	Localisation de la fracture	Type de fracture	Fracture ouverte	Fracture(s) concomitante(s)
1	Mimi	0	Radius G (Ulna)	diaphyse (1/3 distal)	oblique courte	non	non
2	Ema	11	Radius G (Ulna)	diaphyse (1/3 distal)	transverse	non	non
3	Felix	0	Humérus G	diaphyse (1/3 distal)	multi-esquilleuse	non	oui
4	Potus	8	Ulna D	épiphyse proximal	multi-esquilleuse	non	oui
5	Engie	1	Radius G	diaphyse (1/3 distal)	transverse	non	oui
6	Lucifer	0	Humérus G	métaphyse (1/3 distal)	multi-esquilleuse	non	non
7	Rock	4	Tibia D (Fibula)	médiadiaphysaire	comminutive	non	non
8	Fiasco	3	Radius D	diaphyse (1/3 distal)	oblique courte	non	oui
9	Lili	13	Fémur D	métaphyse proximale	multi-esquilleuse	non	non
10	Sky	1	Fémur D	diaphyse (1/3 distal)	spiroïde	non	non
11	Gossipe	3	Radius D (Ulna)	diaphyse (1/3 distal)	oblique courte	non	oui
12	Rihanna	3	Radius D (Ulna)	médiadiaphysaire	transverse	non	oui
13	Carotte	6	Humérus D	diaphyse (1/3 distal)	comminutive	non	non
14	Pelote	4	Humérus G	médiadiaphysaire	oblique courte	non	oui
		1	Fémur G	diaphyse (1/3 proximal)	comminutive	non	oui
15	Gris-gris	0	Radius D (Ulna)	médiadiaphysaire	multi-esquilleuse	non	oui
16	Rouky	2	Humérus G	métaphyse (1/3 distal)	oblique courte	oui	non
17	Vilette	2	Tibia D	diaphyse (1/3 distal)	multi-esquilleuse	non	non
18	Padi	1	Tibia G	médiadiaphysaire	bifocale	oui	non
19	Pom pom	NC	Fémur G	diaphyse (1/3 distal)	transverse	non	oui
20	Daniel	NC	Tibia D	médiadiaphysaire	multi-esquilleuse	non	non
21	Merlin	NC	Tibia G	médiadiaphysaire	comminutive	oui	non
22	Gus	NC	Tibia D	diaphyse (1/3 distal)	transverse	non	non

23	Gaby	1	Radius D (Ulna)	diaphyse (1/3 distal)	oblique courte	oui	oui
		1	Radius G	diaphyse (1/3 distal)	transverse	non	oui
24	Iris	1	Tibia G (Fibula)	médiodiaphysaire	spiroïde	non	non
25	Popeye	2	Radius G (Ulna)	médiodiaphysaire	transverse	oui	non
26	Teddy	0	Tibia D	diaphyse (1/3 distal)	spiroïde	non	non
27	Couillette	0	Fémur D	métaphyse proximale	multi-esquilleuse	oui	non
28	Tyson	2	Fémur D	médiodiaphysaire	oblique courte	non	non
29	Uggy	1	Tibia D (Fibula)	diaphyse (1/3 distal)	multi-esquilleuse	non	non
30	Easy	NC	Tibia D	médiodiaphysaire	multi-esquilleuse	non	non
31	Rajah	0	Tibia D (Fibula)	diaphyse (1/3 distal)	comminutive	non	non
32	Caline	1	Fémur G	diaphyse (1/3 proximal)	spiroïde	non	oui
33	Maloo	5	Tibia D (Fibula)	médiodiaphysaire	bifocale	non	oui
34	Simba	0	Fémur D	diaphyse (1/3 distal)	multi-esquilleuse	non	non
35	Tigrou	4	Radius D (Ulna)	médiodiaphysaire	transverse	non	oui
36	Felix	4	Humérus G	métaphyse distale	comminutive	non	non
37	Felix	6	Tibia G (Fibula)	diaphyse (1/3 distal)	spiroïde	non	non
38	Greystoke	3	Humérus G	diaphyse (1/3 distal)	oblique longue	non	non
39	Buni	2	Fémur G	diaphyse (1/3 distal)	transverse	non	non
40	Blue Bay	0	Fémur D	médiodiaphysaire	transverse	oui	non
41	Pussy Cat	3	Tibia D (Fibula)	diaphyse (1/3 proximal)	multi-esquilleuse	non	non
42	Bounty	5	Fémur G	diaphyse (1/3 proximal)	multi-esquilleuse	non	non
43	Tommy	2	Fémur G	diaphyse (1/3 distal)	multi-esquilleuse	non	oui
44	Boss	4	Tibia G (Fibula)	médiodiaphysaire	transverse	non	oui
45	Garfield	2	Fémur D	diaphyse (1/3 distal)	transverse	non	oui
46	Gribouille	2	Fémur G	diaphyse (1/3 distal)	transverse	non	non
47	Kalhua	7	Fémur D	médiodiaphysaire	spiroïde	non	non
48	Grisou	3	Tibia G	diaphyse (1/3 distal)	comminutive	non	non
49	Boulette	0	Fémur G	médiodiaphysaire	bifocale	non	oui

50	V-Twin	3	Tibia D (Fibula)	diaphyse (1/3 distal)	oblique longue	non	non
51	Sony	3	Fémur D	métaphyse (1/3 distal)	comminutive	non	oui
52	Narandji	0	Tibia G (Fibula)	diaphyse (1/3 distal)	comminutive	non	non
53	Nyno	1	Tibia G (Fibula)	médiadiaphysaire	comminutive	non	non
54	Filou	0	Tibia G (Fibula)	médiadiaphysaire	multi- esquilleuse	non	non
55	Garou	0	Fémur G	médiadiaphysaire	oblique courte	non	non
56	Jo	0	Fémur G	médiadiaphysaire	comminutive	non	non
57	Tchoupi	3	Fémur D	médiadiaphysaire	comminutive	non	oui
58	Gandga	11	Tibia G	médiadiaphysaire	spiroïde	non	non
59	Geluck	0	Fémur G	médiadiaphysaire	multi- esquilleuse	non	non
60	Gonesse	2	Tibia G (Fibula)	médiadiaphysaire	comminutive	non	non
61	Whisky	0	Humérus G	médiadiaphysaire	transverse	non	oui
62	Foucault	0	Tibia D	médiadiaphysaire	oblique courte	oui	non
63	Mississa	4	Fémur D	diaphyse (1/3 distal)	comminutive	non	oui
64	Hulys	4	Radius D	médiadiaphysaire	oblique courte	non	oui
65	Sauvagine	0	Fémur G	diaphyse (1/3 distal)	spiroïde	oui	non
66	Lilou	NC	Tibia D	diaphyse (1/3 distal)	spiroïde	non	non
67	Aston	NC	Tibia G	médiadiaphysaire	transverse	non	non
68	Masack	NC	Tibia G	diaphyse (1/3 proximal)	comminutive	non	non
69	Felix	NC	Tibia G	diaphyse (1/3 distal)	comminutive	non	non
70	Rouxy	NC	Tibia Fibula D	médiadiaphysaire	comminutive	non	non
71	Mimi	NC	Fémur G	médiadiaphysaire	comminutive	non	non
72	Naya	NC	Fémur G	médiadiaphysaire	multi- esquilleuse	non	oui
73	Filou	NC	Fémur D	médiadiaphysaire	comminutive	oui	non

D : droit, G : gauche.

75 fractures chez 73 animaux, les cas n°14 et 23 ont deux fractures.

Annexe 5 : Tableau récapitulatif des descriptions des méthodes de stabilisation

N° cas	Nom	Diamètre des vis		PSD	Nombre de vis par plaque	Nombre de corticales par plaque		Nombre vis par fragment		Nombre de corticales par fragment	Rapport diamètre des vis / diamètre de l'os	Nombre de trous vides autour de la zone de fracture	Longueur utile	Rapport longueur de la plaque sur longueur de l'os		PSW	MIPO	Présence d'un autre dispositif	Type de montage
1	Mimi	2,0	0,83	5	10	3	2	6	4	0,40	0	44	0,41	42,00	non	oui	neutralisation		
2	Ema	2,0	1,00	5	9	3	2	5	4	0,40	0	21	0,49	34,00	non	non	neutralisation		
3	Felix	2,0	0,50	5	9	2	3	4	5	0,20	5	22	0,68	2,26	non	oui	soutien		
4	Potus	2,0	1,00	6	12	3	3	6	6	0,40	0	12	0,32	3,00	non	oui	soutien		
5	Engie	2,0	1,00	6	12	4	2	8	4	0,33	0	11	0,41	14,00	non	non	neutralisation		
6	Lucifer	2,0	0,71	5	10	3	2	6	4	0,22	2	41	0,47	4,45	non	oui	soutien		
7	Rock	2,0	0,67	8	16	4	4	8	8	0,25	4	34	0,60	6,46	non	non	soutien		
8	Fiasco	2,0	0,44	4	8	2	2	4	4	0,29	5	18	0,55	14,75	non	non	neutralisation		
9	Lili	2,0	0,67	6	9	3	3	4	6	0,29	2	50	0,57	3,93	non	oui	soutien		
10	Sky	2,0	0,80	8	15	4	4	8	7	0,25	2	46	0,69	2,41	non	oui	neutralisation		
11	Gossipe	2,0	0,83	5	10	3	2	6	4	0,33	1	10	0,42	8,40	non	oui	neutralisation		
12	Rihanna	2,0	0,67	6	12	3	3	6	6	0,33	3	29	0,60	19,67	non	non	neutralisation		
13	Carotte	2,0	0,67	6	10	3	3	6	4	0,25	1	30	0,53	2,46	non	oui	neutralisation		
14	Pelote (humérus)	2,0	0,60	6	12	3	3	6	6	0,29	4	8	0,74	11,67	non	oui	neutralisation		
	Pelote (fémur)	2,4	0,40	4	8	2	2	4	4	0,30	6	54	0,77	3,81	non	non	neutralisation		
15	Gris-gris	2,0	0,60	6	12	3	3	6	6	0,33	3	9	0,74	8,75	non	oui	soutien		
16	Rouky	2,0	0,40	4	8	2	2	4	4	0,20	6	5	0,59	3,89	non	oui	soutien		
17	Vilette	2,0	0,42	5	9	3	2	5	4	0,29	8	63	0,72	4,42	non	non	soutien		
18	Padi	2,0	0,50	6	10	3	3	5	5	0,22	3	55	0,86	1,91	non	non	soutien		

19	Pom pom	2,0	0,43	6	12	3	3	6	6	0,25	1	14	0,87	32,00	oui	non	soutien
20	Daniel	2,0	0,29	4	8	2	2	4	4	0,29	7	33	0,87	4,71	oui	non	soutien
21	Merlin	2,0	0,29	4	8	2	2	4	4	0,29	10	74	0,91	3,09	oui	non	soutien
22	Gus	2,0	0,29	4	8	2	2	4	4	0,25	1	7	0,88	24,50	non	non	neutralisation
23	Gaby (droit)	2,4	0,70	7	12	4	3	8	4	0,30	2	54	0,52	11,43	non	non	neutralisation
	Gaby (gauche)	2,4	0,42	5	10	3	2	6	4	0,34	2	40	0,61	24,00	non	oui	neutralisation
24	Iris	2,4	0,63	5	9	3	2	5	4	0,24	3	23	0,78	3,05	non	non	neutralisation
25	Popeye	2,4	0,75	6	12	3	3	6	6	0,34	1	33	0,65	16,00	non	non	neutralisation
26	Teddy	2,4	0,80	4	7	2	2	3	4	0,40	1	40	0,65	2,22	non	oui	neutralisation
27	Couillette	2,4	0,67	8	15	4	4	8	7	0,22	0	60	0,66	4,57	non	oui	soutien
28	Tyson	2,4	0,44	4	8	2	2	4	4	0,27	5	71	0,64	5,54	non	oui	neutralisation
29	Uggy	2,4	0,40	4	8	2	2	4	4	0,34	6	8	0,80	2,35	oui	non	soutien
30	Easy	2,4	0,33	4	8	2	2	4	4	0,30	8	47	0,89	2,83	oui	non	soutien
31	Rajah	2,4	0,33	4	8	2	2	4	4	0,34	8	18	0,84	1,88	oui	non	soutien
32	Caline	2,4	0,57	4	8	2	2	4	4	0,34	3	54	0,50	3,29	non	non	soutien
33	Maloo	2,4	0,42	5	9	2	2	4	4	0,34	7	53	0,87	1,96	non	oui	soutien
34	Simba	2,4	0,50	6	12	3	3	6	6	0,27	6	17	0,76	8,00	non	non	soutien
35	Tigrou	2,4	1,00	7	14	4	3	8	6	0,40	0	15	0,51	28,00	non	oui	neutralisation
36	Felix	2,4	0,57	4	8	2	2	4	4	0,30	3	34	0,48	2,67	non	oui	soutien
37	Felix	2,4	0,58	7	14	4	3	8	6	0,30	5	56	0,80	1,78	non	oui	neutralisation
38	Greystoke	2,4	0,83	5	10	2	3	4	6	0,30	1	55	0,51	1,41	non	non	neutralisation
39	Buni	2,4	0,88	7	14	4	3	8	6	0,30	1	73	0,56	12,80	non	non	compression
40	Blue Bay	2,4	0,75	6	12	3	3	6	6	0,34	2	33	0,65	12,80	non	oui	neutralisation
41	Pussy Cat	2,4	0,33	4	8	2	2	4	4	0,30	8	55	0,82	1,88	oui	oui	soutien
42	Bounty	2,4	0,40	4	7	2	2	3	4	0,34	6	21	0,78	2,11	non	oui	soutien
43	Tommy	2,4	0,50	6	12	4	2	8	4	0,34	2	72	0,88	19,20	non	non	soutien
44	Boss	2,4	0,89	8	16	4	4	8	8	0,30	0	30	0,56	6,55	non	non	soutien
45	Garfield	2,4	0,50	6	12	4	2	8	4	0,30	3	21	0,79	24,00	non	non	neutralisation
46	Gribouille	2,4	0,83	5	10	3	2	6	4	0,34	1	17	0,47	16,00	non	non	neutralisation
47	Kalhua	2,4	0,60	6	11	3	3	6	5	0,30	4	15	0,70	4,00	non	oui	neutralisation
48	Grisou	2,4	0,42	5	10	3	2	6	4	0,27	7	31	0,78	2,74	non	non	soutien
49	Boulette	2,4	0,33	4	8	2	2	4	4	0,30	8	9	0,87	1,81	non	oui	soutien
50	V-Twin	2,4	0,60	6	11	3	3	5	6	0,30	4	21	0,59	2,00	non	oui	neutralisation
51	Sony	2,4	0,50	4	7	2	2	4	3	0,30	4	19	0,56	1,78	non	non	soutien
52	Narandji	2,4	0,86	6	12	3	3	6	6	0,34	1	24	0,44	11,20	non	non	soutien
53	Nyno	2,4	0,40	4	8	2	2	4	4	0,34	6	68	0,67	2,16	oui	oui	soutien
54	Filou	2,4	0,33	4	8	2	2	4	4	0,27	8	40	0,76	1,85	non	non	neutralisation
55	Garou	2,4	0,67	6	12	3	3	6	6	0,30	3	57	0,69	9,00	non	oui	neutralisation
56	Jo	2,4	0,70	7	14	3	4	6	8	0,30	3	14	0,71	2,67	non	oui	soutien
57	Tchoupi	2,4	0,67	6	11	3	3	5	6	0,27	1	76	0,60	3,60	non	non	soutien
58	Gandga	2,4	0,40	4	8	2	2	4	4	0,34	6	42	0,71	2,00	oui	oui	soutien

59	Geluck	2,4	0,40	4	8	2	2	4	4	0,30	6	77	0,70	1,70	non	non	soutien
60	Gonesse	2,4	0,33	4	8	2	2	4	4	0,34	8	66	0,84	1,92	oui	oui	soutien
61	Whisky	2,4	0,75	6	12	3	3	6	6	0,24	1	43	0,60	6,40	non	non	neutralisation
62	Foucault	2,4	0,40	4	8	2	2	4	4	0,30	6	45	0,63	6,67	non	non	neutralisation
63	Mississa	2,4	0,33	4	8	2	2	4	4	0,30	8	22	0,83	1,48	oui	oui	soutien
64	Hulys	2,4	0,67	6	12	3	3	6	6	0,34	3	62	0,62	14,40	non	non	neutralisation
65	Sauvagine	2,4	0,33	4	8	2	2	4	4	0,34	8	68	0,80	2,82	non	oui	neutralisation
66	Lilou	2,4	0,33	4	8	2	2	4	4	0,34	4	56	0,87	12,13	oui	non	neutralisation
67	Aston	2,4	0,50	6	12	3	3	6	6	0,30	4	18	0,96	28,75	non	non	soutien
68	Masack	2,4	0,33	4	8	2	2	3	4	0,34	2	58	0,84	6,60	non	non	neutralisation
69	Felix	2,4	0,29	4	8	2	2	4	4	0,30	7	74	0,93	6,71	oui	non	neutralisation
70	Rouxy	2,4	0,36	5	10	3	2	6	4	0,27	5	11	0,98	5,18	oui	non	neutralisation
71	Mimi	2,4	0,50	6	12	3	3	6	6	0,30	6	75	0,91	1,89	non	non	soutien
72	Naya	2,4	0,40	4	8	2	2	4	4	0,34	6	31	0,86	1,67	non	non	soutien
73	Filou	2,4	0,50	6	12	3	3	6	6	0,30	6	54	0,82	1,59	non	non	soutien

75 fractures chez 73 animaux, les cas n°14 et 23 ont deux fractures.

UTILISATION DES PLAQUES À VIS VERROUILLÉES DE 2.0 ET 2.4 DANS LE TRAITEMENT DES FRACTURES APPENDICULAIRES CHEZ LES CHATS ET LES PETITS CHIENS : ÉTUDE RÉTROSPECTIVE DE 75 CAS

Audrey SAVIN :

Résumé

Le système de plaque à vis verrouillées LCP est couramment utilisé pour la réparation de fractures en médecine humaine, où des principes de choix de l'implant et de technique de pose ont été définis pour leur utilisation. Certains de ces principes ont été transposés à l'orthopédie vétérinaire.

Ce travail est une étude rétrospective, sur 75 fractures appendiculaires chez des chats et des petits chiens, traitées à l'aide de plaques LCP 2.0 et 2.4 à l'ENVA et à ONIRIS entre 2010 et 2013. L'objectif est d'évaluer la stabilisation des fractures appendiculaires chez les chiens et les chats à l'aide d'implants LCP 2.0 et 2.4. Les dossiers médicaux et radiographiques des animaux ont été examinés. Les données enregistrées comprennent : le signalement des animaux, la description de la fracture, la description de l'implant et du montage, la technique chirurgicale utilisée et les complications.

Un taux de complications globales de 17% a été mis en évidence et un taux d'échecs liés au montage de 9 %. Toutes les variables ont été évaluées statistiquement afin de connaître leur impact sur les complications. Aucune différence statistiquement significative n'a été observée entre l'apparition de complications liées au montage et les différents paramètres étudiés, notamment l'utilisation de deux vis engagées par fragment principal ou de plus de deux vis. De plus, il semble que certains échecs de fixation soient liés à des erreurs chirurgicales et non à l'implant lui-même.

Il apparaît ainsi que les systèmes LCP 2.0 et 2.4, avec un minimum de deux vis engagées par fragment, sont des implants appropriés pour le traitement des fractures chez les chats et les petits chiens.

Mots clés : ORTHOPÉDIE / FRACTURE APPENDICULAIRE / TRAITEMENT / CHIRURGIE ORTHOPÉDIQUE / TECHNIQUE CHIRURGICALE / IMPLANT / PLAQUE ORTHOPÉDIQUE / PLAQUE VERROUILLÉE / COMPLICATION / CARNIVORE / CHIEN / CHAT / ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE / ALFORT / NANTES

Jury :

Président : Pr.

Directeur : Dr. Pascal FAYOLLE

Assesseur : Dr. Nathalie CREVIER-DENOIX

Invité : Dr. Rosario VALLEFUOCO

USE OF 2.0 AND 2.4 LOCKING COMPRESSION PLATES IN THE TREATMENT OF APPENDICULAR FRACTURES IN CATS AND SMALL DOGS: A RETROSPECTIVE STUDY OF 75 CASES

Audrey Savin:

Summary

The Locking Compression Plate (LCP) system is commonly used for human fracture repair, and principles of implant selection and installation techniques have been defined for its use. Some of these principles have been adapted to veterinary orthopedics.

This work is a retrospective study of 75 appendicular fractures in cats and small dogs, treated with 2.0 and 2.4 LCP, at two French national veterinary schools - ENVA and ONIRIS -, between 2010 and 2013. The objective is to evaluate the stabilization of appendicular fractures in dogs and cats with 2.0 and 2.4 LCP. Medical and radiographic records of the animals were studied. The data recorded include: description of animals, description of fractures, description of implants, surgical technique used and complications.

A 17 % overall complication rate was demonstrated and a 9 % implant failure rate. All variables were statistically evaluated to determine their impact on complications. No statistically significant differences were observed between the occurrence of complications and the various parameters studied, including the use of two screws per main fragment or more than two screws. Moreover, it appears that some implant failures are related to surgical errors and not to the implant itself.

It thus appears that the 2.0 and 2.4 LCP systems, with a minimum of two screws per fragment, are suitable implants for the treatment of appendicular fractures in cats and small dogs.

Keywords: ORTHOPEDICS / APPENDICULAR FRACTURE / TREATMENT / ORTHOPEDIC SURGERY / SURGICAL TECHNIQUE / IMPLANTS / ORTHOPEDIC PLATE / LOCK PLATE / COMPLICATION / CARNIVORE / DOG / CAT / NATIONAL VETERINARY SCHOOL / ALFORT / NANTES

Jury:

President: Pr.

Director: Dr. Pascal FAYOLLE

Assessor: Dr. Nathalie CREVIER-DENOIX

Guest: Dr. Rosario VALLEFUOCO