

# **TRAITEMENT DES FRACTURES OUVERTES : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

---

THESE  
pour obtenir le grade de  
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ÉTAT

*présentée et soutenue publiquement en 2001  
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

*par*

**Jérôme, Vincent BOISSIER**  
Né, le 25 mai 1973 à MONTPELLIER (Hérault)

---

**Directeur de thèse : M. le Professeur AUTEFAGE**

---

## **JURY**

**PRESIDENT :**  
**M. BONNEVIALLE**

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

**ASSESEURS :**  
**M. AUTEFAGE**  
**M. MATHON**

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE  
Maître de Conférences à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE



ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

Directeur par intérim	: M.	<b>G. BONNES</b>
Directeurs honoraires.....	: M.	<b>R. FLORIO</b>
	M.	<b>R. LAUTIE</b>
	M.	<b>J. FERNEY</b>
	M.	<b>G. VAN HAVERBEKE</b>
Professeurs honoraires.....	: M.	<b>A. BRIZARD</b>
	M.	<b>L. FALIU</b>
	M.	<b>C. LABIE</b>
	M.	<b>C. PAVAU</b>
	M.	<b>F. LESCURE</b>
	M.	<b>A. RICO</b>

**PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE**

- M. **CABANIE Paul**, Histologie, Anatomie pathologique
- M. **CAZIEUX André, (sur nombre)** Pathologie chirurgicale
- M. **DORCHIES Philippe**, Parasitologie et Maladies Parasitaires
- M. **GUELFY Jean-François**, Pathologie médicale des Equidés et Carnivores

**PROFESSEURS 1<sup>ère</sup> CLASSE**

- M. **AUTEFAGE André**, Pathologie chirurgicale
- M. **BENARD Patrick**, Physique et Chimie biologiques et médicales
- M. **BODIN ROZAT DE MANDRES NEGRE Guy**, Pathologie générale, Microbiologie, Immunologie
- M. **BRAUN Jean-Pierre**, Physique et Chimie biologiques et médicales
- M. **CHANTAL Jean**, Pathologie infectieuse
- M. **DARRE Roland**, Productions animales
- M. **DELVERDIER Maxence**, Histologie, Anatomie pathologique
- M. **ECKHOUTTE Michel**, Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale
- M. **EUZEBY Jean**, Pathologie générale, Microbiologie, Immunologie
- M. **FRANC Michel**, Parasitologie et Maladies Parasitaires
- M. **GRIESS Daniel**, Alimentation
- M. **MILON Alain**, Pathologie générale, Microbiologie, Immunologie
- M. **PETIT Claude**, Pharmacie et Toxicologie
- M. **REGNIER Alain**, Physiopathologie oculaire
- M. **SAUTET Jean**, Anatomie
- M. **TOUTAIN Pierre-Louis**, Physiologie et Thérapeutique

**PROFESSEURS 2<sup>e</sup> CLASSE**

- Mme **BENARD Geneviève**, Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale
- M. **BERTHELOT Xavier**, Pathologie de la Reproduction
- M. **CORPET Denis**, Science de l'Aliment et Technologies dans les industries agro-alimentaires
- M. **DUCOS DE LAHITTE Jacques**, Parasitologie et Maladies parasitaires
- M. **ENJALBERT Francis**, Alimentation
- M. **LIGNEREUX Yves**, Anatomie
- M. **MARTINEAU Guy**, Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour
- M. **PICAVET Dominique**, Pathologie infectieuse
- M. **SHELCHER François**, Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour

## PROFESSEUR CERTIFIE DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*  
M. **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

## MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **JOUGLAR Jean-Yves**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour*

## MAITRES DE CONFERENCES 1<sup>ère</sup> CLASSE

- M. **ASIMUS Erick**, *Pathologie chirurgicale*  
Mme **BENNIS- BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*  
M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*  
M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*  
Mme **BOUCRAUT-BARALON Corine**, *Pathologie infectieuse*  
Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*  
M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Physiologie et Thérapeutique*  
M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale*  
M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*  
Mlle **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*  
M. **DUCOS Alain**, *Zootéchnie*  
M. **DOSSIN Olivier**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*  
Mlle **GAYRARD Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*  
M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*  
M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*  
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*  
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*  
Mme **MESSUD-PETIT Frédérique**, *Pathologie infectieuse*  
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*  
M. **SANS Pierre**, *Productions animales*  
M. **VALARCHER Jean-François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de basse-cour*

## MAITRES DE CONFERENCES 2<sup>e</sup> CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des Denrées Alimentaires d'Origine Animale*  
Mlle **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*  
Mlle **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*  
M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie du Bétail*  
Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la Reproduction*  
Mlle **HAY Magali**, *Zootéchnie*  
M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*  
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*  
Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*  
M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*  
Mlle **TRUMEL Catherine**, *Pathologie médicale des Equidés et Carnivores*  
M. **VERWAERDE Patrick**, *Anesthésie, Réanimation*

## ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Productions animales*  
M. **MAREDA Marc**, *Pathologie de la Reproduction*  
Mlle **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation*  
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*  
M. **MONNEREAU Laurent**, *Anatomie, Embryologie*

**A NOTRE JURY DE THESE :**

**A Monsieur le Professeur BONNEVIALLE**

Professeur des Universités

Praticien hospitalier

Chirurgie orthopédique et traumatologique

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.

Hommage respectueux.

**A Monsieur le Professeur AUTEFAGE**

De l'Ecole Vétérinaire de Toulouse

Pathologie chirurgicale

Qui nous a soutenu pendant la réalisation de cette thèse. Qui a su nous faire partager son savoir et éveiller en nous le goût de la chirurgie, avec patience et gentillesse, qu'il trouve ici le témoignage de notre profond respect et de notre grande admiration.

**A Monsieur le Docteur MATHON**

Maitre de Conférences de l'Ecole Vétérinaire de Toulouse

Pathologie chirurgicale

Qui nous a fait l'honneur de participer à notre jury de thèse, qu'il trouve ici le témoignage de notre sincère gratitude.



**A mes parents,**

Pour leur soutien tout au long de ma scolarité.  
Qu'ils trouvent dans ce travail le témoignage de ma reconnaissance et de mon amour.

**A Dadzu, Toulf et Isa,**

Pour m'avoir supporté.  
Soyez heureux.

**A mes grand parents** trop tôt disparus.

**A toute ma famille** qu'ils soient Chaptal, Prieur, Pradeilles ou Roumejon.

**A tous mes amis**, Daubi, Jeames, Brissou, Jérôme, Alba, Thomas, Jeremy, David, Benoît et Benoît, Paul, Adaman et tous les autres pour m'avoir fait passer d'aussi belles années à Toulouse. J'espère que les plus belles sont encore à venir.

**A Nicolas, Alex, et Thierry**, je ne vous oublierai jamais.

**A la famille Bosc.**

**A ceux qui ont partagé mes années passées au service** et particulier Erik, Mumu, Joelle, Kiki, Sophie et Cyrill.

**A Marie,**

**A la Lozère** qui m'aère.





# **TABLE DES MATIÈRES**

	Page
<b><u>Introduction</u></b>	13
<b><u>1. Généralités-Classification des fractures ouvertes</u></b>	14
<u>1 . 1 - Rôles d'une classification</u>	14
<u>1 . 2 - Les différentes classifications</u>	14
<u>Classification des fractures ouvertes selon Gustilo et Anderson :</u>	15
<u>Classification des fractures ouvertes du tibia d'après Byrd :</u>	18
<b><u>2 . Gestion du patient-évaluation initiale</u></b>	20
<u>2 . 1 - Examen complet du membre</u>	23
2 . 1 . 1 - Examen neurologique	23
2 . 1 . 2 - Le syndrome de loge	23
2 . 1 . 3 - Examen radiographique	26
2 . 1 . 4 - Vascularisation du membre	27
<u>2 . 2 - Traitement conservateur ou amputation ?</u>	29
<u>2 . 3 - Utilisation des antibiotiques</u>	38
2 . 3 . 1 - Utilisation par voie générale	38
2 . 3 . 2 - Utilisation locale des antibiotiques et antiseptiques	45
<u>Antibiotiques en solution de lavage</u>	45
<u>Les billes imprégnées d'antibiotiques</u>	45
<u>Les antiseptiques</u>	49
2 . 3 . 3 - Intérêt des cultures	50
<b><u>3. Gestion de la plaie</u></b>	53
<u>3 . 1 - Préparation du membre</u>	54
<u>3 . 2 - Importance de l'irrigation</u>	54
<u>3 . 3 - Principes du parage</u>	55
<u>3 . 4 - Etapes du parage</u>	55

<b><u>3 . 5 - Couverture de l'os- Fermeture des plaies</u></b>	58
3 . 5 . 1 - La suture primaire de la plaie	60
3 . 5 . 2 - Suture primaire retardée sans lambeau	61
3 . 5 . 3 - Fermetures par greffes et lambeaux	62
3 . 5 . 3 . 1 - Les lambeaux musculaires et musculo-cutanés	62
<u>3 . 5 . 3 . 1 . 1 - Lambeaux musculaires et musculo-cutanés                                 pédiculés</u>	64
<u>3 . 5 . 3 . 1 . 2 - Les lambeaux libres musculaires ou                                 musculo-cutanés</u>	70
3 . 5 . 3 . 2 - Les lambeaux fascio-cutanés	73
3 . 5 . 3 . 3 - Les couvertures cutanées	75
3 . 5 . 3 . 4 - Applications en médecine vétérinaire	76
3 . 5 . 3 . 5 - Une technique indirecte: les greffes pédiculées à distance	81
<b><u>4 - Gestion de la fracture</u></b>	82
<u>4 . 1 - Déficits et comblements osseux</u>	82
4 . 1 . 1 - Rôle des transports osseux non vascularisés : greffes spongieuses et cortico-spongieuses	83
4 . 1 . 2 - Les greffes osseuses vascularisées libres	86
4 . 1 . 3 - Techniques d'allongement et de transport osseux	88
4 . 1 . 4 - Les implants	93
4 . 1 . 5 - En médecine vétérinaire	93
<u>4 . 2 - La fixation</u>	100
4 . 2 . 1 - Traitement orthopédique	101
4 . 2 . 2 - Rôles de la fixation précoce des fractures ouvertes	102

4 . 2 . 3 - Avantages et inconvénients des différents types de fixation	103
4 . 2 . 4 - La fixation externe	103
4 . 2 . 5 - La fixation interne	107
4 . 2 . 5 . 1 - Les plaques	108
4 . 2 . 5 . 2 - L'enclouage centro-médullaire verrouillé	110
4 . 2 . 5 . 3 - Utilisation retardée de l'enclouage centro-médullaire verrouillé après une fixation externe	114
<b><u>4 . 3 - Etude de la stabilisation des fractures</u></b>	
<b><u>ouvertes par segment osseux</u></b>	117
4 . 3 . 1 - Fractures ouvertes de l'humérus	119
4 . 3 . 2 - Fractures ouvertes du radius-ulna	120
4 . 3 . 3 - Fractures ouvertes du fémur	122
4 . 3 . 4 - Les fractures ouvertes du tibia	128
4 . 3 . 4 . 1 - Types I et II	130
4 . 3 . 4 . 2 - Types III	131
<b><u>5 – Complications et cas particuliers</u></b>	138
<b><u>5 . 1 - Les fractures ouvertes chez le jeune</u></b>	138
<b><u>5 . 2 - Complications</u></b>	144
5 . 2 . 1 - Infections	144
5 . 2 . 2 - Les retards de consolidation	145
5 . 2 . 3 - Les pseudarthroses	145
5 . 2 . 4 - Les cals vicieux	146
5 . 2 . 5 - Amputations tardives	146
<b><u>5 . 3 - Les fractures par arme à feu</u></b>	147
5 . 3 . 1 - Balistique	148
5 . 3 . 2 - Lésions directes des tissus	148
5 . 3 . 3 - Le phénomène de cavitation	149

5 . 3 . 4 - Propriétés du projectile	150
5 . 3 . 5 - Calibre du projectile	152
5 . 3 . 6 - Réactions des différents tissus	154
5 . 3 . 7 - Plaie par balle et contamination	157
5 . 3 . 8 - Particularités du traitement des fractures par arme à feu	158
<b><u>Conclusion</u></b>	162
<b><u>Bibliographie</u></b>	163

## Table des illustrations

	Page
<b><u>Tableaux</u></b>	
<u>Tableau 1</u> : Classification des fractures ouvertes du tibia d'après Byrd	18
<u>Tableau 2</u> : Diagnostic et gestion des lésions vasculaires liées à un traumatisme orthopédique	28
<u>Tableau 3</u> : Le M.E.S.I (Index de gravité des lésions de l'extrémité mutilée)	32
<u>Tableau 4</u> : Le MESS (Score de gravité des lésions de l'extrémité mutilée)	34
<u>Tableau 5</u> : Le NISSSA	36
<u>Tableau 6</u> : Cultures sur fractures de type III infectées	40
<u>Tableau 7</u> : Etude rétrospective entre 1980 et 1984 portant sur la relation entre l'administration d'aminoglycosides et le taux d'infection dans le traitement des fractures ouvertes de Type III.	41
<u>Tableau 7'</u> : Exemple de protocole d'antibiothérapie prophylactique	43
<u>Tableau 8</u> : Principaux antibiotiques à bonne diffusion osseuse utilisables chez les carnivores domestiques	44
<u>Tableau 9</u> : Efficacité des cultures sur fractures ouvertes	51
<u>Tableau 10</u> : Valeurs prédictives des cultures	52
<u>Tableau 11</u> : Importance d'un recouvrement précoce des plaies lors des fracture ouverte	59
<u>Tableau 12</u> : Incidence du délai de couverture de la plaie par un lambeau musculaire sur le temps de consolidation et les principales complications	64
<u>Tableau 13</u> : Les lambeaux centrés sur un axe vasculaire, utilisables dans la couverture des fractures ouvertes, sont au nombre de 6	79
<u>Tableau 14</u> : Matériaux de greffe et propriétés fonctionnelles	88
<u>Tableau 15</u> : Quantité d'os spongieux collecté dans divers sites chez le chien	94
<u>Tableau 16</u> : Résultats de la fixation externe pour la stabilisation des fractures ouvertes	106
<u>Tableau 17</u> : Résultats de la fixation interne pour la stabilisation des fractures ouvertes	108
<u>Tableau 18</u> : Comparaison enclouage centro-médullaire verrouillé avec et sans alésage	112
<u>Tableau 19</u> : Résultats obtenus avec un enclouage centro-médullaire verrouillé après fixation externe	116
<u>Tableau 20</u> : Résultats obtenus avec un enclouage centro-médullaire verrouillé après fixation externe sur les fractures ouvertes de type IIIc	117
<u>Tableau 21</u> : Localisation des fractures ouvertes chez l'homme et l'animal	118
<u>Tableau 22</u> : Etiologie des fractures ouvertes chez le chien	118
<u>Tableau 23</u> : Classification des fractures ouvertes de l'humérus	119

<u>Tableau 24</u> : Classification des fractures ouvertes du radius ulna	120
<u>Tableau 25</u> : Lésions associées aux fractures ouvertes du fémur	121
<u>Tableau 26</u> : Résultats du traitement des fractures ouvertes du radius-ulna	122
<u>Tableau 27</u> : Les fractures ouvertes du fémur : classification (nombre de cas, pourcentage) et résultats	124
<u>Tableau 28</u> : Nombre de cas et classification des fractures ouvertes du tibia	129
<u>Tableau 29</u> : Les fractures de type III sur le tibia	131
<u>Tableau 30</u> : Comparaison enclouage centro-médullaire verrouillé – Fixateur externe : avantages et inconvénients	132
<u>Tableau 31</u> : Comparaison enclouage centro-médullaire verrouillé – Fixateur externe : Résultats	134
<u>Tableau 32</u> : Enclouage centro-médullaire verrouillé sans alésage sur les fractures ouvertes du tibia.	137
<u>Tableau 33</u> : Classification des fractures ouvertes chez l'enfant et lésions associées	139
<u>Tableau 34</u> : Les fractures ouvertes du membre supérieur chez l'enfant : résultats et complications	142
<u>Tableau 35</u> : Résultats obtenus dans le traitement des fractures ouvertes chez l'enfant	143
<u>Tableau 36</u> : Densité des tissus et sévérité des lésions	157

## Schémas

<u>Figure 1</u> : Classification des fractures ouvertes du tibia d'après Byrd	19
<u>Figure 2</u> : Exemple de positionnement des billes pour le traitement d'une fracture ouverte du tibia chez l'homme	48
<u>Figure 3</u> : Le comblement de la perte de substance par les billes	49
<u>Figure 4</u> : Transposition du muscle tibial cranial pour couvrir une perte de substance sur le tibia du chien	63
<u>Figure 5</u> : Les lambeaux musculaires pédiculés	66
<u>Figure 6</u> : Exemple de lambeau fascio-cutané	75
<u>Figure 7</u> : Utilisation du muscle fléchisseur ulnaire du carpe pour la reconstruction de lésions de la partie distale de l'antérieur.	77
<u>Figure 8</u> : Effet du raccourcissement de l'os sur les plaies. A. : Plaie transversale B. : Plaie longitudinale	92
 <u>Greffe libre osseuse chez le chien</u>	
<u>Figure 9</u> : Zone de prélèvement de l'ulna en partie distale	96
<u>Figure 10</u> : Sites d'ostéotomie sur le radius	97
<u>Figure 11</u> : Prélèvement de la greffe	98
<u>Figure 12</u> : Réalisation de l'anastomose	99
<u>Figure 13</u> : Exemple de fixateur externe sur un fémur de chien	127
<u>Figure 14</u> : Choix raisonné dans le traitement des fractures ouvertes du fémur	128
<u>Figure 15</u> : Exemple de montage sur une fracture comminutive du tibia avec un fixateur externe de type JAM	136
<u>Figure 16</u> : Le phénomène de cavitation	149
<u>Figure 17</u> : Différents types de projectile	153

## Introduction

Une fracture ouverte est une fracture qui communique avec l'atmosphère, l'os étant alors en communication avec le milieu extérieur. Cette solution de continuité pouvant varier d'une simple perforation des couches de couverture jusqu'à une exposition complète de l'os.

Le développement de véhicules de plus en plus rapides et l'augmentation du trafic automobile ont accru la fréquence des fractures ouvertes aussi bien chez l'homme que chez l'animal. Elles représentent à l'heure actuelle environ 5 à 10 % du nombre total des fractures. (24, 207)

Si l'on remonte dans le temps, les fractures ouvertes étaient considérées comme mortelles jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle. A tel point que lorsque l'amputation fût sûre en médecine humaine, elle devînt le traitement de choix des fractures ouvertes complexes.

La citation de Bell de 1804 est toujours d'actualité : " la plus petite perforation communicant avec le foyer de fracture ajoute une difficulté au traitement et un risque pour l'évolution. "

La prévention de l'infection des plaies et du foyer de fracture, la cicatrisation osseuse ainsi que le retour à une fonction du membre restent les objectifs du traitement des fractures ouvertes.

Pendant la première moitié de ce siècle, le traitement des fractures ouvertes était équivalent à celui de l'ostéomyélite et, jusque dans les années 70, les chirurgiens se sont demandé si l'ostéosynthèse des fractures ouvertes était légitime. (6, 7, 161, 240)

A l'heure actuelle, l'amélioration des techniques d'imagerie, d'anesthésiologie, de réanimation associée aux progrès des techniques chirurgicales de parage, d'ostéosynthèse et de chirurgie vasculaire ont permis la préservation de membres qui auparavant auraient été amputés.

Cependant, malgré certains points du traitement qui font l'unanimité (irrigation et parage, antibioprofylaxie intra-veineuse, stabilisation rigide, greffes osseuses), il n'existe pas de traitement universel pour les fractures ouvertes.

Avec l'appui des données de la médecine humaine, nous essaierons de donner des orientations visant à améliorer le traitement et le pronostic des fractures ouvertes chez les carnivores domestiques aussi bien liées aux accidents de la voie publique qu'aux armes à feu.



# 1. Généralités - Classification des fractures ouvertes

## 1 . 1 - Rôles d'une classification

Pourquoi avoir mis au point une classification des fractures ouvertes ?

La définition d'une fracture ouverte est simple mais ne permet pas de juger de la complexité des lésions aussi bien osseuses, musculo-nerveuses que vasculaires. L'intérêt d'une classification précise et internationale réside dans la possibilité d'obtenir des données statistiques précises sur le type de fracture en présence. On peut alors avoir une idée du traitement optimal à mettre en place, des chances de succès ou de complications, et également aborder un problème financier de façon précise. Ceci peut parfois aboutir à la prise de décisions difficiles (par exemple préserver l'intégrité d'un membre) tout en s'appuyant sur des données concrètes.(231)

Il est également possible, en cas de transfert ou de réception d'un patient, d'avoir une idée du type de lésion sans avoir à manipuler outre mesure le sujet.(25)

Enfin, la classification des fractures ouvertes est un instrument de travail pour tous les chirurgiens qui peuvent grâce à elle comparer leurs travaux.(29)

## 1 . 2 - Les différentes classifications

Jusqu'aux années 70, la classification la plus utilisée était celle de **Cauchoux** basée essentiellement sur l'étendue des lésions des tissus mous et de l'os.(240)

Il y a dans cette classification trois types de fracture ouverte :

-Type I : les plaies sont simples et faciles à suturer après une excision économique.

-Type II : ces lésions ont en commun le risque de nécrose cutanée secondaire, il peut s'agir :

- de vastes plaies délimitant des lambeaux de vitalité douteuse,
- de plaies petites mais entourées d'une peau contuse et ecchymotique,
- soit encore de plaies associées à des décollements cutanés ou aponévrotiques

importants.

-Type III : elles sont caractérisées par une perte de substance en regard du foyer de fracture. Il s'agit souvent de délabrements importants associant la complexité des lésions osseuses et cutanée

Grâce aux travaux de **Ramon B. Gustilo** et ses collaborateurs, réalisés entre 1955 et 1975, une nouvelle classification a été mise en place prenant en compte d'autres facteurs négligés par leurs prédécesseurs.(81)

Cette classification est fondée sur le mécanisme de la blessure, l'importance des lésions des tissus mous, la configuration de la fracture et le degré de comminution.

Dans un premier temps, cette classification ne comprenait que 3 types de fracture ouverte.(81)

### **Classification des fractures ouvertes selon Gustilo et Anderson :**

#### **-Type I :**

La plaie cutanée est propre et mesure moins d'un centimètre de long. Ce sont des fractures, en général, associées à des traumatismes de faible énergie. La perforation cutanée est due au déplacement d'un about fracturaire ou d'une esquille de l'intérieur vers l'extérieur. Le plus souvent l'ouverture a lieu au moment du traumatisme et l'os réintègre ensuite sa place dans le foyer de fracture provoquant en même temps la contamination de l'hématome fracturaire par la flore cutanée.

Pour des raisons mécaniques, les traits de fracture sont le plus souvent simples, transverses, obliques courts avec une faible comminution.(77)

Ce type de fracture provoque une contamination minimale mais dans un milieu propice à l'infection avec un hématome fracturaire, des débris musculaires et tissulaires.

La moindre plaie punctiforme proche d'un foyer de fracture, qu'elle soit ou non issue d'une saillie osseuse doit aboutir à la mise en place d'un traitement de fracture ouverte de type I.(231)

#### **Type II :**

La plaie cutanée n'est pas très importante et fait entre 1 et 10 centimètres de long. Ce sont des fractures associées à des traumatismes d'énergie modérée. L'origine de la plaie peut être interne, par une perforation osseuse de l'épiderme, ou externe par un corps étranger. Les lésions superficielles ne sont pas très étendues, sans lambeau ni avulsion des tissus mous.

On est en présence d'un site à contusion modérée, le plus souvent avec des débris tissulaires peu importants.

La fracture est à comminution moyenne mais, bien sur, la contamination attendue est plus importante que pour les types I.

#### **Type III :**

La ou les plaies sont étendues avec d'importants dégâts tissulaires : muscle, peau, structures vasculo-nerveuses et le degré de contamination est élevé.

La fracture est engendrée par un traumatisme à haute énergie aboutissant à une forte comminution et une instabilité majeure.

Les amputations traumatiques font parties de ce type de fracture ouverte.

En 1976 Gustilo et Anderson évoquent des catégories spéciales pour les types III :

- blessures par armes à feu
- blessures très souillées (en particuliers par la terre ou par des instruments agricoles)
- fractures ouvertes nécessitant une réparation vasculaire

En 1984, suite à une étude rétrospective sur les années 1976 à 1979, R. B. Gustilo et ses collaborateurs ont noté que les fractures ouvertes de type III étaient associées à une grande variété de lésions complexes (79):

- des dégâts tissulaires majeurs rendant le recouvrement de l'os problématique
- une contamination sévère des plaies
- une vascularisation compromise
- et une instabilité fracturaire très marquée

Cette étude a démontré, par les différents degrés de sévérité et surtout par les différences de pronostic, les limites de l'ancienne classification. Une trop grande variété de cas dans un même type rendait nécessaire la création de plusieurs sous-types. Il en existe trois :

#### Type IIIa :

Pour cette catégorie de fracture, la couverture de l'os par les tissus mous est réalisable malgré l'importance des lésions : plaies, lacérations et lambeaux.

Ce sous-type inclue également les fractures à haute énergie avec un foyer pluri-esquilleux ou à comminution importante quelle que soit la taille de la plaie (<10 cm ou >10 cm).(78, 79, 91, 231)

#### Type IIIb :

Les lésions tissulaires sont très importantes. Le périoste a été gravement atteint, déchiré ou arraché, et l'os est à nu.

La couverture tissulaire de l'os n'est plus possible et ce sont des fractures extrêmement contaminées. La comminution est très importante et les pertes osseuses fréquentes. Après parage, l'os est exposé et une technique complémentaire sera nécessaire pour le recouvrement.

#### Type IIIc :

Ce sont toutes les fractures ouvertes associées à des lésions vasculaires nécessitant un traitement chirurgical, pour pouvoir conserver le membre, sans tenir compte de l'étendue des lésions cutanées.

En pratique vétérinaire, ce type de fracture est très rare. En effet, l'importance de la circulation collatérale au niveau des extrémités distales des membres chez les animaux de compagnie explique le faible nombre de type IIIc. Par contre, un défaut de gestion ou d'immobilisation peuvent aboutir à une fracture ouverte de type IIIc.(231)

Cette classification est à l'heure actuelle la plus utilisée dans la littérature. Mais récemment, elle a été critiquée pour son côté subjectif par Horn B. et par Seligson D.. En effet, pour eux, certaines blessures à haute énergie avec contusion tissulaire sévère des tissus mous et arrachement du périoste sont associées à des plaies cutanées limitées.(104, 207, 236)

Seligson (208) préconise de classer les fractures ouvertes en fractures simples qui peuvent être irriguées, débridées et traitées comme des fractures fermées et en fractures complexes avec différentes caractéristiques :

- perte d'os ou de tissu mou
- lésion périostée
- contamination sévère
- blessure vasculaire

Pour lui, “ la complexité dans la classification pourrait être l'ennemi du progrès.”

Dans une étude réalisée par Brumback (25), un groupe de 245 chirurgiens a visionné la gestion de 12 fractures ouvertes à leur réception à l'hôpital avec les commémoratifs nécessaires et a ensuite classé les fractures en fonction de leur type.

Les chirurgiens étaient séparés en 2 groupes :

- un groupe de chirurgiens peu expérimentés
- un groupe de chirurgiens expérimentés avec plus de 12 fractures ouvertes traitées dans l'année

Les résultats obtenus se sont révélés être très variables avec un accord moyen de 60 % seulement des chirurgiens (42 à 94 % en fonction des fractures présentées).

Une fracture ayant été classée à 42 % en type I, 25 % en type II et 25 % en type IIIa.

Dans les 2 groupes, il existe une différence mais non significative, avec pour les moins expérimentés 59 % d'accord (33 à 94 %) et pour les autres 66 % d'accord (39 à 100 %).

Cette étude remet en cause l'efficacité de cette classification basée sur des données à la fois objectives et subjectives. L'accord de deux chirurgiens seulement sur trois diminue l'intérêt de cette classification comme base valide pour une décision thérapeutique ou la comparaison de résultats.

Brumback pense que la recherche de critères plus objectifs, plus détaillés et plus précis est indispensable pour une meilleure approche des fractures ouvertes et de leur classification.(25)

Gustilo reconnaît qu'il est impossible de classer les fractures ouvertes avec des critères spécifiques compte tenu de la gamme de lésions. De plus, en l'absence de mesures objectives, de nombreux facteurs de classification tels que la sévérité de la contusion ou l'importance de la contamination ne peuvent être décrits que par des adjectifs. Ainsi, comme tout système soumis

à des descriptions subjectives, le désaccord est inévitable entre les différents partis. Néanmoins, Gustilo estime que cette classification est fiable si l'on réévalue la classification des fractures après parage.(77, 230)

Une autre classification a été mise en place par **Byrd** (30), pour les fractures ouvertes de la jambe, après une revue de 191 cas (Tableau 1, figure 1). Elle tient compte des dommages à la fois de l'os et des tissus mous ainsi que de la dévascularisation du site.

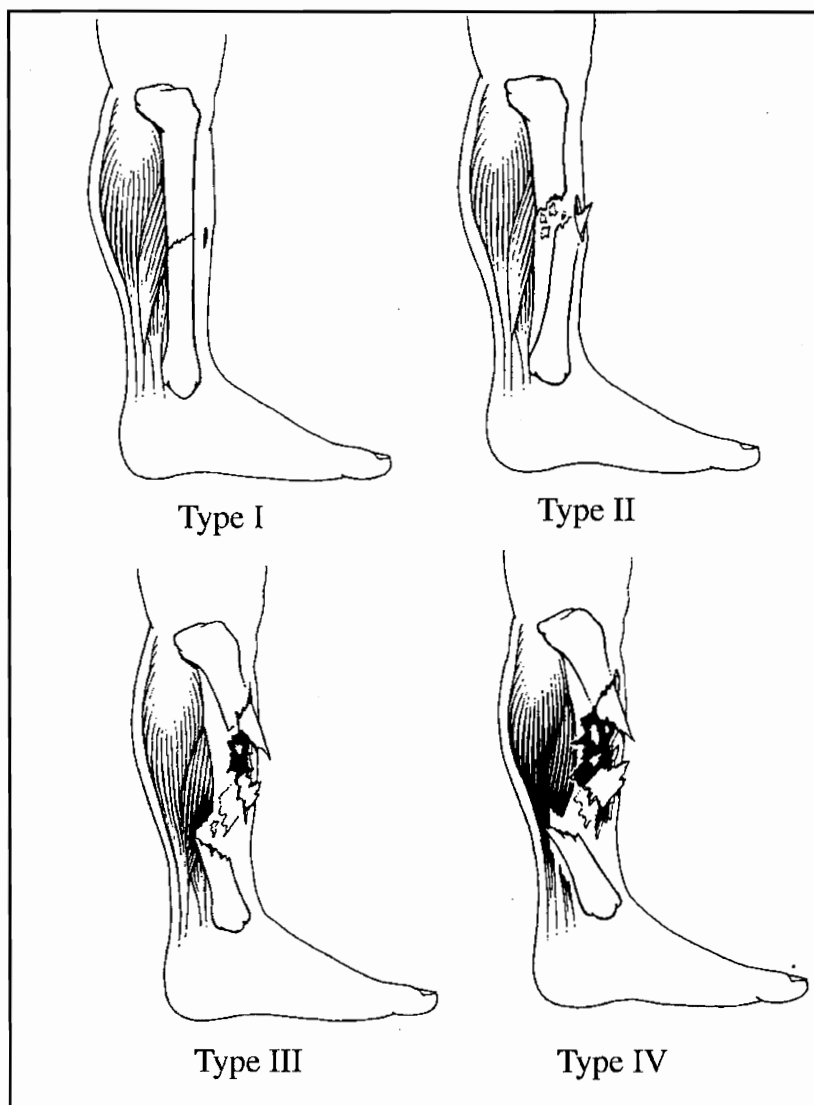
**Tableau 1 : Classification des fractures ouvertes du tibia d'après Byrd :**

Byrd HS – Management of open tibial fracture – Plastic and Reconstructive surgery 1985 , 76(5), 719-728.

Type I :	Des forces de faible énergie provoquent une fracture oblique ou spiroïde avec une lacération cutanée de moins de 2 cm de long et une plaie relativement propre
Type II :	Des forces de moyenne énergie provoquent une fracture comminutive ou déplacée avec une lacération cutanée de plus de 2 cm de long et une contusion modérée des muscles et de la peau adjacents mais sans dévascularisation
Type III :	Des forces de forte énergie provoquent une fracture très déplacée avec une comminution sévère, un segment intermédiaire ou une lacune osseuse avec des pertes cutanées étendues et présence de muscle dévitalisé
Type IV :	Même fracture que pour les types III mais avec un traumatisme à très haute énergie comme dans les fractures par balle à grande vitesse ou par fusil à bout portant, des commémoratifs d'écrasement ou d'abrasion ou associées à une lésion vasculaire nécessitant une réparation

**Figure 1 : Classification des fractures ouvertes du tibia d'après Byrd (30):**

D'après Henry S. Byrd, " Management of open tibial fractures ", Plastic and Reconstructive Surgery 1985 ,76(5), 719-728.



\* Dans le type I, la circulation à la fois de l'endoste et du périoste est maintenue pour les bouts proximaux et distaux. La couverture tissulaire est saine et la cicatrisation rapide et sans complication.

\* Dans les types II, la circulation endostée est interrompue mais la circulation périostée est maintenue par une enveloppe tissulaire intacte. Une fracture comminutive ou déplacée peut être présente mais le pronostic est favorable compte tenu de l'absence de muscle dévascularisé. La cicatrisation osseuse est normale cliniquement bien que les événements locaux diffèrent avec la prédominance de la vascularisation périostée.

\* Les blessures de type III comprennent une fracture dévascularisée, comminutive ou avec un segment intermédiaire. La circulation endostée est détruite et la circulation périostée compromise

par la perte d'insertions musculaires. Le pronostic est modifié par la présence de muscle dévascularisé et sain en interposition à l'intérieur du foyer de fracture. Le succès du traitement dépend de l'apport d'une couverture tissulaire bien vascularisée sur l'os exposé, avec une suppression des espaces morts et un retrait du muscle dévascularisé.

\* Pour les types IV, le processus de dévascularisation s'étend à tous les tissus périphériques. Tout le muscle autour du foyer est dévascularisé ou ischémique et l'intensité des lésions écarte son utilisation comme lambeau. Le succès du traitement dépendra de l'apport d'un tissu libre micro vascularisé pour restaurer une couverture adéquate avec une oblitération des espaces morts et un retrait des tissus dévascularisés.

À l'heure actuelle, la classification de Gustilo est toujours la plus utilisée et sert toujours de référence dans les différentes publications concernant le traitement des fractures ouvertes. Mais, avec l'expérience, les chirurgiens ont commencé à comprendre que le pronostic pour la fracture et le membre dépend plus des lésions profondes (muscle, nerfs, os et vaisseaux) de la plaie que des superficielles.(73)

## **2 . Gestion du patient-évaluation initiale**

Les fractures ouvertes sont le plus souvent le résultat de traumatismes à haute énergie soit par contact avec le sol, soit par un impact (véhicule ou projectile).

La quantité d'énergie dissipée durant la blessure est déterminée par la formule :  $E_c = 0,5mv^2$

( $E_c$ : énergie cinétique, m: masse, v: vitesse)

Ainsi entre une chute à pied et un accident de la voie publique, l'énergie absorbée lors du contact peut être multiplié par 1000. Cette énergie va provoquer des lésions sur les tissus rencontrés mais également provoquer la formation d'une onde de choc ayant des répercussions sur l'état général du sujet.(6, 7, 28, 73, 172, 201, 202) Un état de choc peut alors se mettre en place associé ou non à des lésions des organes vitaux

Il sera donc indispensable, avant de mettre en place un traitement chirurgical de la fracture ouverte, de procéder à un examen complet du patient et de vérifier ses fonctions vitales.

Trente pourcents des patients ayant une fracture ouverte ont d'autres lésions systémiques. Les problèmes vitaux doivent être décelés et gérés rapidement. Gustilo donne sur 329 patients polytraumatisés avec une fracture ouverte 53 décès (16 %).(77)

Le diagnostic de la fracture ouverte est en général aisé même si parfois une tonte est nécessaire sur l'animal pour confirmer l'ouverture du foyer.(36)

Cependant, les fractures ouvertes étant considérées comme des urgences réelles (pour permettre une sauvegarde du membre et éviter le passage d'une plaie contaminée à une plaie infectée), certaines précautions seront prises en même temps que les premiers examens sont réalisés sur le patient. Ces manœuvres peuvent modifier considérablement le devenir du membre (231) et toutes les manipulations devront être réalisées avec délicatesse.(28)

### Gestion initiale de la fracture

Les soins à apporter en même temps que l'examen général seront une couverture de la plaie par un pansement stérile après une irrigation rapide et, éventuellement si un pansement est déjà en place, le recouvrir d'une autre couche stérile.(77, 166) Le but de cette manœuvre étant de ne pas apporter une contamination supplémentaire par la flore de la salle d'urgence.(6, 81, 166, 201) En effet, la plupart des infections contiennent un germe du milieu hospitalier.

En pratique vétérinaire, une tonte rapide sera effectuée après protection de la plaie par un gel hydrosoluble ou une compresse imbibée d'antiseptiques, évitant la présence de poils supplémentaires. (6, 7, 231)

On ne pratiquera jamais ni exploration de la plaie ni culture dans la salle d'urgence qui est une des zones les plus souillées dans la structure hospitalière. De plus, une culture faite dans ces conditions n'isolera que des souches superficielles. (236)

En cas d'hémorragie, un pansement compressif pourra être mis en place le temps de compléter l'examen clinique (73, 165, 201).Parfois, si les saignements continuent, on pourra envisager de comprimer directement les vaisseaux concernés sans toutefois clamper ou ligaturer précocement une vascularisation déjà compromise. De plus, la mise en place d'un clamp peut entraîner des compressions sur les nerfs adjacents aux vaisseaux ainsi qu'une aggravation des lésions vasculaires pouvant compromettre une éventuelle réparation. Il sera, dans ce cas-là, préférable de mettre en place un garrot le temps pour le patient d'être apte à subir une chirurgie vasculaire réparatrice.(201)

La fracture sera ensuite immobilisée de façon temporaire à l'aide d'un pansement contentif, d'une résine ou d'un plâtre. Ceci n'est réalisable chez l'animal que sur les segments distaux au coude et au grasset. Pour les autres cas, un maintien en cage sera suffisant. (28, 73, 74, 77, 88, 194, 231, 236) Il est, par contre, fondamental de ne pas réaliser un pansement trop compressif qui pourrait aggraver l'ischémie des tissus atteints.(201)



### Examen général du patient

Les examens généraux réalisés sur le patient auront pour but de préserver la vie. Il faut en premier lieu répertorier et faire un bilan complet des fonctions vitales puis, ensuite mettre en place une réanimation non spécifique et adaptée.

Les mesures spécifiques complémentaires concernent une prophylaxie anti-tétanique (en médecine humaine), une antibiothérapie et une analgésie.

Des antalgiques sont administrés pour améliorer le confort du patient : morphiniques ou morphino-mimétiques (Ex. :Chlorhydrate de morphine 0,1-0,2 mg/kg).(172)

L'homme est un sujet très sensible au tétanos. Cette affection due à la neurotoxine de *Clostridium tétanie* (anaérobie gram+) présent dans le sol, la poussière et les fèces animales peut être évitée par une vaccination et/ou une sérothérapie. La prophylaxie peut aller d'un rappel de vaccination à l'association vaccination plus immunoglobulines (250 unités humaines ou 4500 unités équines).

L'antibiothérapie consiste, en général, pour les fractures ouvertes de type I et II en une administration d'antibiotiques à large spectre : céphalosporines de première génération par voie veineuse.

#### Exemple :

-Cefazoline : dose de charge : 1 à 2g, suivie par 1g toutes les 6 à 8h par patient en médecine humaine.(77, 78, 79, 80, 81, 173)

-Cefalexine : 30 mg/kg

Dans les autres types de fractures ouvertes associées à de plus importants dégâts tissulaires et une contamination plus sévère, on peut associer un aminoside.

#### Exemple :

-Gentamicine : à 6 mg/kg une fois par jour.

Dans tous les cas, la fonction rénale avec ce type d'antibiothérapie, doit être monitorée.

*Clostridium perfringens* (anaérobie gram+) peut, en cas de contamination de la plaie, fabriquer une exotoxine qui rapidement provoque une nécrose musculaire, des thromboses et, si un traitement n'est pas entrepris, la mort. Ainsi si la plaie est issue d'un accident de ferme, souillée par la terre, très contaminée ou avec une vascularisation compromise on associera de la pénicilline G (2 à 4 millions d'UI par voie veineuse toutes les 4 à 6h).

Au cours de cet examen, il est fondamental de récolter un maximum de commémoratifs sur l'origine et les circonstances de l'accident.(165)

Suite à cet examen général complet et aux premiers soins réalisés en urgence sur la fracture ouverte, une fois que le patient est stabilisé, une évaluation complète du membre est réalisée.

## 2 . 1 - Examen complet du membre

Cette étape fondamentale permet dans un premier temps de faire un bilan lésionnel complet : certaines lésions vasculaires ou nerveuses peuvent modifier considérablement le pronostic et, parfois, conduire à une amputation en première intention.(69) Une partie de cet examen peut être réalisée dans la salle d'urgence avant immobilisation de la fracture : recherche de sensibilité superficielle et profonde nécessitant la participation du patient vigile. Mais, en général cette évaluation complète sera pratiquée dans le bloc chirurgical.

### 2 . 1. 1 - Examen neurologique

Cet examen, délicat sur l'animal et impossible sur le patient inconscient, est d'une importance majeure en fonction du ou des nerfs atteints. Une lésion majeure d'un nerf peut faire passer une fracture ouverte d'un type II à un type IIIc avec bien sûr un pronostic tout à fait différent.(6, 147, 236, 252, 253)

L'examen neurologique repose essentiellement sur une évaluation de la sensibilité superficielle et profonde (consciente) du patient en fonction des différentes zones de stimulation. Ainsi, en médecine humaine, pour le membre inférieur, il est fondamental de vérifier l'intégrité du nerf tibial postérieur. La présence ou l'absence de sensibilité plantaire modifie complètement le devenir du membre.(236) Si le patient est inconscient, cet examen neurologique est réalisé après le traitement de la fracture ouverte, soit de façon clinique, soit par électromyographie. L'exploration chirurgicale n'est en aucun cas une urgence mais, au cours du parage chirurgical, il est possible de réaliser une évaluation si le nerf concerné est dans le site. Il s'agit souvent d'une contusion transitoire et rarement d'une section complète.(147)

En pré et postopératoire, il faut également explorer toute douleur inexplicée (73, 74, 236)

### 2 . 1 . 2 - Le syndrome de loge

Le syndrome de loge est connu depuis longtemps en médecine humaine. La première description remonte à 1881. Volkmann, suite à un pansement trop serré identifia une

contracture musculaire secondaire à la destruction ischémique des muscles. C'est en 1914, que fût proposé un traitement par fasciotomie de cette contracture dite de Volkman.

Même si les causes en sont diverses, la physiopathologie est toujours identique.

Un syndrome de loge correspond à toute condition clinique durant laquelle une augmentation de la pression interstitielle dans un compartiment ostéo-fascial va provoquer une atteinte de la micro vascularisation et des dégâts vasculo-nerveux.

3 mécanismes de base peuvent intervenir :

- une augmentation de volume (injection, hémorragie)
- un œdème
- ou une compression extérieure trop serrée

Il existe une corrélation linéaire entre l'augmentation de la pression de la loge aponévrotique et la chute de la perfusion. Les premières structures touchées sont les plus sensibles à l'hypoxie, c'est à dire le muscle et les nerfs.

Pendant longtemps, on pensait que ce type de trouble était réservé au membre supérieur et son étiologie était inconnue. Par la suite, plusieurs études ont montré que les quatre compartiments de la jambe étaient prédisposés à ce syndrome.

Des expérimentations ont montré qu'une augmentation de la pression interstitielle suffisante peut diminuer, voire arrêter, la circulation micro vasculaire à l'intérieur d'un compartiment musculaire.

Bien que clairement établi pour les fractures fermées, le syndrome de loge a été pendant longtemps rarement rapporté sur les fractures ouvertes. Certains auteurs ont remis en doute l'hypothèse selon laquelle les tissus étant déchirés, l'hématome ne peut pas se collecter et la pression ne peut donc pas augmenter lorsque le foyer est ouvert. Car, en fait, l'augmentation des dégâts tissulaires dans ce type de fracture induit un risque d'élévation de la pression interstitielle supérieur. Et, de plus, le muscle ne se comporte pas comme un liquide : un simple trou dans le fascia ne décomprime pas suffisamment.

On en distingue deux formes, une forme aiguë qui provient d'une augmentation rapide de la pression, le plus souvent secondairement à un traumatisme et en général une fracture. Une forme chronique concernant plus les athlètes pour lesquels l'augmentation temporaire de la pression fait suite à un exercice.(51)

En cas de limitation du phénomène entre l'os et le muscle, on parle de syndrome de loge ostéo-fascial. (135)

Le signe clinique évocateur de cette ischémie est une douleur hors de proportion. Le diagnostic clinique repose sur l'augmentation de la tension locale, le gonflement de la zone concernée, la douleur à la mise en tension passive des muscles du compartiment et une diminution des fonctions sensitives et motrices des nerfs concernés. Le pouls périphérique est en général conservé. S'il est absent, le clinicien doit s'assurer que la lésion vasculaire n'est pas antérieure

au développement du syndrome de loge. Une perte totale du pouls survient seulement si la pression de loge est égale ou supérieure à la pression diastolique du patient : cela apparaît longtemps après les premiers signes de syndrome de loge. De même, la présence d'un remplissage capillaire et la couleur rosée de l'extrémité n'excluent pas l'existence d'un syndrome de loge

Bien sûr, ces critères subjectifs dépendent de la coopération du patient. Un patient polytraumatisé peut s'avérer incapable de participer à l'examen clinique, soit à cause d'une anesthésie générale nécessaire à la réparation de lésions systémiques, soit à cause d'une insuffisance respiratoire avec sédation et ventilation assistée, soit à cause d'une perte de conscience. Dans ce cas précis, seuls la tension et le gonflement de la portion de membre concernée sont utiles pour le diagnostic.

Pour cette raison, la mesure de pressions intra-compartimentale, qui est utile pour confirmer un diagnostic sur le patient vigile, est indispensable sur le patient polytraumatisé ainsi que sur l'animal.

Il existe diverses méthodes pour en mesurer la valeur : un manomètre de mesure de pression veineuse centrale associée à une aiguille, un cathéter wick, un cathéter slit ou un système plus moderne de cathéter en fibre optique. Chez l'homme, la pression intramusculaire de repos est d'environ 4 mm de Hg (0 à 8 mm de Hg). Au cours d'un exercice cette pression peut augmenter jusqu'à 40 mm de Hg avec des pics à 75 ou 125 mm de Hg. Après l'exercice cette pression revient en cinq minutes aux valeurs de base. Ces valeurs sont comprises entre -2 et +8 mm de Hg chez le chien. Une décompression chirurgicale doit être envisagée dès que la pression est supérieure à 30 mm de Hg.(135)

Il est important de refaire une mesure après réduction et stabilisation car la restauration de la longueur de l'os peut induire une augmentation de la pression. Seuls 25 % des syndromes de loge sont diagnostiqués au cours du parage initial.

Les critères de réalisation d'une fasciotomie ne sont pas clairement définis. Ils dépendent de la technique utilisée et de la pression diastolique du patient.

Une pression interstitielle de plus de 30 mm de Hg dans un des quatre compartiments de la jambe est considérée comme pathologique et est immédiatement traitée par fasciotomie 4 loges. Cette pression de 30 mm de Hg semble être, pour certains auteurs, trop faible mais bien souvent le patient est en hypotension et une telle valeur suffit à diminuer la micro circulation.

Ainsi, certains auteurs recommandent la réalisation de fasciotomies lorsque la pression de loge est inférieure de 20 à 45 mm de Hg en dessous de la pression diastolique. (51)

**"Il vaut mieux réaliser une fasciotomie inutile que de ne pas en réaliser une indispensable."**(73, 202).

Les risques de complications suite à une fasciotomie sont bien moins importants que les séquelles d'un syndrome de loge non diagnostiqué et non traité.

Le traitement de choix pour les deux formes de syndrome de loge est donc la réalisation de décompressions chirurgicales des loges concernées. Les techniques non opératoires telles que les substances vasodilatatrices, les blocs sur les nerfs sympathiques, le mannitol hypertonique ainsi que l'oxygène hyperbare n'ont démontré aucune efficacité. (51)

Les incisions cutanées lors de fasciotomies doivent être pratiquées en tenant compte du recouvrement secondaire de l'os. Les plaies sont laissées ouvertes pour assurer une meilleure qualité de la décompression et plusieurs débridements peuvent être nécessaires à 24-48 h d'intervalle. Ces plaies sont ensuite refermées par suture primaire retardée ou par greffes cutanées en couche mince quand un tissu de granulation musculaire viable et non purulent est en place.(16)

Blick et coll., sur 198 fractures ouvertes du tibia, trouvent 9,1 % de syndrome de loge, le plus souvent suite à un AVP. Parmi ces cas, 83 % sont associés à des lésions osseuses et tissulaires sévères (type III).(16)

Aucune publication vétérinaire sur le traitement des fractures ouverte ne fait état de cette entité. Néanmoins, le chien sert souvent de modèle expérimental pour le syndrome de loge et la pression pathologique semble identique à celle de l'homme. Deux cas cliniques mentionnent un syndrome de loge diagnostiqué par mesure de pression. Cette faible fréquence de diagnostic suggère la rareté de cette complication. Une meilleure circulation collatérale des extrémités peut partiellement expliquer cette rareté par rapport à l'homme. Toutefois, cette faible fréquence peut aussi être secondaire à une difficulté de reconnaissance ou une ignorance de la part des vétérinaires. Dans certains cas, les fasciotomies réalisées lors du traitement chirurgical à foyer ouvert peuvent prévenir les complications de syndromes de loge non diagnostiqués.

De plus, les maladies fracturaires, les atrophies musculaires sévères ainsi que les ankyloses articulaires sont des complications fréquentes de la réparation des fractures. Il est possible qu'une partie de ces complications puisse être secondaire au développement d'un syndrome de loge non reconnu.(51)

### 2 . 1. 3 - Examen radiographique

Selcer (206) et Tamas (229) ont montré la nécessité de pratiquer un examen radiographique systématique sur tous les animaux traumatisés, associé à une mesure de la pression artérielle en oxygène et un électrocardiogramme. En effet, plus de 50 % des chiens ayant une fracture d'un os long ont des lésions pulmonaires. De plus, l'examen clinique ne révèle aucune anomalie chez environ 80 % des chiens ayant des lésions thoraciques (206, 229). Des clichés abdominaux,

avec ou sans préparation, sont nécessaires en cas d'épanchement abdominal ou de douleur abdominale aiguë.

La suite de l'évaluation du membre est pratiquée dans de parfaites conditions d'asepsie, et si possible sous anesthésie générale.

Une fois la contention externe retirée, des radios complémentaires peuvent être réalisées sur le membre atteint. Ces clichés vont concerner la totalité du membre et plus spécialement les articulations de part et d'autre du foyer de fracture.(6, 7, 28, 253) Des radios sous deux incidences sont indispensables pour déterminer l'étendue des lésions osseuses et préjuger des lésions tissulaires. Les clichés en traction sont réalisés seulement si l'on est sûr de ne pas provoquer ou aggraver des lésions vasculo-nerveuses.(202) Ces radios permettent, en fonction des dégâts sur les tissus mous, d'adapter un traitement définitif.(165, 166)

## 2 . 1 . 4 -Vascularisation du membre

Malgré les progrès de la chirurgie vasculaire, les fractures ouvertes associées à des lésions vasculaires nécessitant une réparation ont encore un taux de complication très élevé entraînant l'amputation dans 40 à 80 % des cas.( 31, 79, 207)

La rapidité de mise en place du traitement chirurgical est essentielle car une durée d'ischémie supérieure à 6h est une indication absolue de l'amputation.(129)

Dans une série de 1085 fractures ouvertes, 72 (6,6 %) étaient accompagnées de lésions artérielles nécessitant une réparation : 4 humérus (5,4 %), 10 radius-ulna (13,9 %), 8 fémur (11,1 %), 31 tibias (43,1 %), 10 chevilles (13,9 %) et 9 pieds (12,5 %).(169)

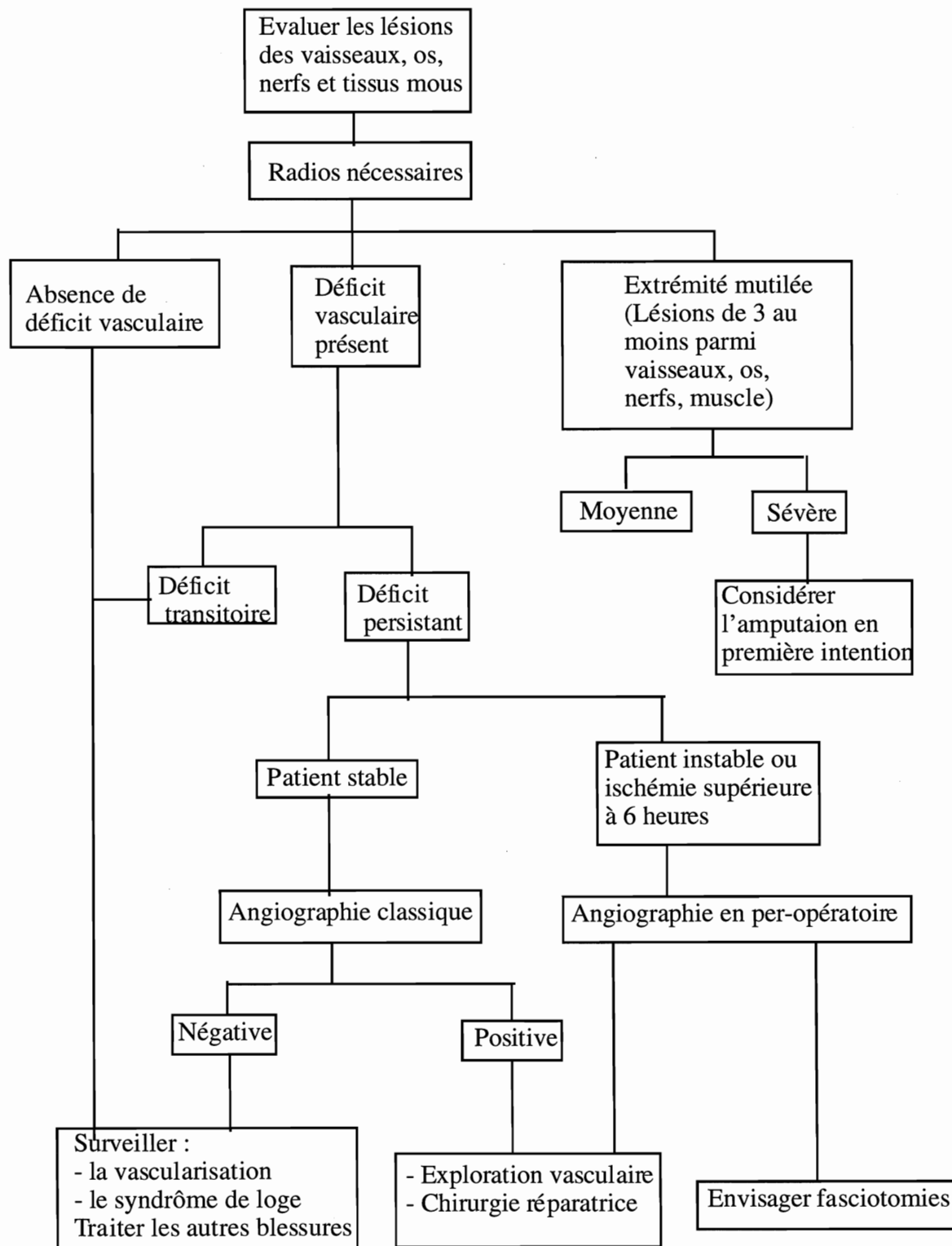
Le diagnostic d'une lésion vasculaire peut être évident en cas d'hémorragie externe. Le vaisseau est localisé dans la plaie, momentanément occlus puis réparé au cours du parage chirurgical si son rôle dans la vascularisation du membre est essentiel. Si ce n'est pas le cas, on peut envisager de le ligaturer ou de l'électrocoaguler. (248) Rose et Moore ont identifié un ensemble de signes simples sensibles à 100 % pour prédire une lésion vasculaire majeure : diminution ou absence de pouls, hématome étendu, hypotension inexplicée, lésion d'un nerf périphérique et saignement en jet extérieur.(168, 236)

Pour Sanders, si un examen clinique révèle une absence ou une diminution du pouls sur un membre avec un os fracturé déplacé ou une luxation, et si ce déplacement est susceptible d'entraîner une compression de l'appareil vasculaire, la réduction doit être réalisée.(168, 202)

En effet, le bénéfice apporté par la restauration du flux artériel est largement supérieur à celui apporté par le maintien de l'os à l'extérieur pour ne pas aggraver la contamination.

Le tableau 2 permet une démarche logique dans la recherche d'une lésion vasculaire.

**Tableau 2 : Diagnostic et gestion des lésions vasculaires liées à un traumatisme orthopédique.**



D'après Garramone, " Diagnosis and management of orthovascular trauma " Comtemp Orthop 1999, 20 : 583-590.

Cet examen minutieux des extrémités doit être complété par l'utilisation du Doppler et la réalisation d'une angiographie.(111, 207)

Le Doppler permet, de façon plus sensible, de juger du flux artériel mais ne permet pas d'observer la vascularisation complète de la zone concernée, surtout sur des lésions sévères.(202)

L'angiographie reste pour beaucoup l'examen de référence en terme d'exploration vasculaire non invasive. (236, 252, 253)

D'autres estiment que, dans le cas où l'examen au Doppler révèle une anomalie, la réalisation d'une angiographie rallonge le temps avant l'intervention. Ils préconisent plutôt l'exploration directe de la zone par un chirurgien vasculaire expérimenté.(73, 202)

Néanmoins l'angiographie semble indispensable pour la localisation précise des lésions vasculaires et elle peut très bien être pratiquée sur la table de chirurgie. Elle n'a, de plus, aucune répercussion sur une éventuelle anastomose vasculaire.(236, 252, 253)

En cas d'examen anormal, clinique ou à l'aide du Doppler, l'angiographie est pratiquée en préopératoire. L'angiographie doit être renouvelée après l'anastomose vasculaire et, en cas de spasme des vaisseaux sur l'examen initial, répétée pour surveiller l'apparition d'une thrombose secondaire à des lésions de l'intima.(129) Un arbre décisionnel concernant les lésions vasculaires est reporté dans le tableau 2.

En pratique vétérinaire, un examen rapide et simple permettant d'explorer la vascularisation d'une extrémité consiste à couper une griffe. Un saignement abondant révèle le présence d'une vascularisation complète de la patte mais ne permet pas de juger d'une ischémie qui aurait pu être transitoire L'absence de saignement après la section doit conduire le clinicien à une exploration plus poussée du membre à la recherche d'un phénomène compressif ou de la lésion vasculaire en cause. En fonction de l'ancienneté de l'ischémie, l'amputation doit être envisagée. (3,4,6,7)

Suite à ce bilan lésionnel complet, la fracture peut être classée parmi les différents types de fracture ouverte. Une réévaluation de la classification de la fracture pourra être effectuée après le parage initial.(81, 96)

## 2 . 2 - Traitement conservateur ou amputation ?

Les fractures ouvertes de type III sont associées à de nombreuses complications. Le clinicien a besoin de savoir rapidement si un traitement conservateur doit être entrepris ou si, compte tenu du risque potentiel de mortalité, d'infection et de nécrose secondaire, il n'est pas préférable d'amputer le membre en première intention.



L'amputation sur les types III est une des complications majeures (18,7 % des cas pour Gustilo). En cas de lésion vasculaire (type IIIc), cette amputation est nécessaire dans 40 à 80 % des cas.(31, 30, 73, 78, 79, 111, 129)

Quel que soit le choix du chirurgien, amputation ou traitement conservateur, les pressions psychologiques sont énormes. Pratiquer une amputation immédiate peut conduire le propriétaire, ou le patient, à se demander si la prise d'une telle décision était réellement nécessaire et si une sauvegarde du membre n'était pas envisageable. D'un autre côté, si le traitement conservateur est entrepris et que le membre s'infecte ou doit être amputé secondairement, le patient ou l'avocat du patient voudront connaître les raisons de l'échec.(85)

L'amputation précoce est recommandée pour les blessures artérielles avec de sévères pertes de tissus mous ou des lésions osseuses telles qu'une reprise fonctionnelle ne peut être espérée. Ceci est particulièrement vrai quand l'amputation sous le genou est possible.

Il est donc indispensable de considérer l'amputation en première intention pour les fractures ouvertes de type IIIb et IIIc.(231) Et, bien que cette option soit très souvent désagréable pour le vétérinaire, le propriétaire ou le patient, elle reste bien souvent la plus raisonnable. Chez les carnivores domestiques, le stress émotionnel et financier devra être considéré avant de tenter le sauvetage d'un membre avec des lésions très sévères. Il est inutile d'entreprendre en vain une thérapie lourde entraînant un stress et une souffrance sur le propriétaire et l'animal. Malheureusement, l'absence de prothèse et l'aspect de l'animal amputé font que bien souvent les propriétaires ont du mal à prendre une telle décision. Pourtant, il faut savoir que le chien ou le chat aura un confort de vie supérieur après une amputation plutôt qu'avec un membre non fonctionnel.

Toutefois, bien que l'aspect financier entraîne le propriétaire à demander l'amputation (voire l'euthanasie), celle-ci ne doit pas être entreprise simplement parce que le vétérinaire ne dispose pas du matériel ou des compétences nécessaires à la réalisation du traitement de la fracture.(231)

Le choix de pratiquer une amputation ne repose pas sur des critères bien établis. Dans la littérature humaine, différents auteurs ont essayé de mettre en place une méthode fiable pour scorer les lésions et ainsi, aider le praticien pour la décision thérapeutique.

Sanders (202) donne ainsi quelques exemples d'indications d'amputation sur fracture ouverte sans lésion vasculaire :

- un arrachement du nerf tibial postérieur associée à une lésion sévère du pied ou de la cheville
- une blessure intéressant une telle quantité de muscle que le parage rendra le membre non fonctionnel et spécialement quand une perte osseuse de plus de 6 cm est présente
- une large perte de substance sur l'articulation du genou et sur les extenseurs associée à une blessure du nerf péronier, qui en cas de traitement aboutira à une fusion du genou et une perte de la mobilité. (201)

Seligson (207) donne sur une série de 72 fractures ouvertes de type IIIc, 23 (**32,1 %**) amputations en première intention soit à cause d'un arrachement du nerf tibial postérieur au niveau du genou, soit à cause de plaies sévères non traitées passé un délai de 8 h.

Lange (129) dans une étude portant sur 23 fractures ouvertes de type IIIc aboutit à 14 (**61 %**) amputations en première (22 %) ou seconde (39 %) intention et aucun problème fonctionnel à un an malgré la perte du membre. Au contraire, tous les patients ayant eu un traitement conservateur ont nécessité d'autres interventions et avaient encore des plaies non cicatrisées ou des pseudarthroses. Ainsi Lange a proposé des **indications absolues** et des **indications relatives** pour l'amputation des fractures de type IIIc :(129)

### **Indications absolues :**

- Arrachement complet du nerf tibial postérieur chez l'adulte
- Blessure par écrasement avec ischémie chaude supérieure à 6 h

### **Indications relatives :**

- Polytraumatisme sévère associé
- Traumatisme majeur du pied ipsilatéral
- Lorsque le recouvrement des tissus mous et la reconstruction du tibia semblent compromis

Malheureusement, seulement une minorité des cas rentre dans ce type de classement et les indications relatives sont très subjectives nécessitant une expérience considérable pour être appliquées. (73, 202)

Récemment, Lange (129) a rajouté d'autres critères modifiant le choix thérapeutique :

- le patient : âge, pathologie chronique, occupations, souhaits du patient.
- le membre : mécanisme de blessure, type de fracture, localisation des blessures vasculaires et nerveuses, statut neurologique, état du pied ipsilatéral et persistances de zones d'ischémie après revascularisation.
- lésions associées : importance, durée du choc et durée de l'ischémie chaude.

Gregory et ses collaborateurs (74) ont proposé un index de gravité des lésions de l'extrémité mutilée: le M.E.S.I (Mangled Extremity Syndrome Index ) (Tableau 3). Il est basé sur le degré d'atteinte de 4 secteurs majeurs de l'extrémité : tégument, nerf, vaisseau et os, ainsi que le temps entre l'accident et le traitement, l'âge du patient, les affections préexistantes et le choc. Cette étude ne porte que sur 12 cas mais elle permet de dégager un index de 20 en dessous duquel le traitement conservateur est voué à l'échec et l'amputation inévitable.(74)

**Tableau 3 : Le M.E.S.I (Index de gravité des lésions de l'extrémité mutilée):**

D'après Gregory RT, "The mangled extremity syndrome (M.E.S.): a severity grading system for multisystem injury of the extremity. " - J Trauma. 1985, 25(12), 1147-1150.

Score de sévérité des lésions (ISS) :

0-25	1
25-50	2
>50	3

Tégument :

coupé	1
écrasé-brulé	2
arraché-déchiré	3

Nerf :

contusion	1
section	2
arrachement	3

Vaisseaux :

Artère: sectionnée	1
thrombosée	2
arrachée	3
Veine	1

Os :

- fracture simple	1
- fracture à 2 étages	2
- fracture comminutive	3
- fracture comminutive avec perte d'os < 6 cm	4
- fracture bifocale intra-extra articulaire	5
- fracture bifocale intra-extra articulaire avec perte d'os > 6 cm	6
** perte d'os > 6 cm	+1

Temps écoulé:

chaque heure après 6 h	+1
------------------------	----

Age :

40-50	1
50-60	2
60-70	3

Maladie préexistante :

1

Choc :

2

ISS : Système de classification mis au point par Baker en 1974 permettant de décrire le statut général d'un patient et évaluer ses besoins.

Plus récemment, Johansen (111) et Helfet (89) ont combiné les différentes études ci-dessus en une version appelée le M.E.S.S. (Mangled Extremity Severity Score) ou score de gravité des lésions de l'extrémité mutilée (Tableau 4). (111)

Ce système a tout d'abord été mis au point sur 25 victimes avec 26 fractures ouvertes sévères avec une vascularisation compromise puis testé sur 26 autres fractures sur une période de 12 mois. Les quatre critères principaux sont :

- les blessures de l'os et des tissus mous
- l'ischémie du membre
- le choc
- l'âge du patient

La différence a été significative entre les scores, avec une notation de **4,88** pour les 17 membres sauvés et **9,11** pour les amputés pour le développement du MESS, puis **4,00** pour 14 membres sauvés et **8,83** pour les 12 amputés du premier essai clinique.

Ainsi, Johansen (111) trouve qu'avec un score supérieur ou égal à 7 la valeur prédictive pour l'amputation est de 100 %.

Type	Caractéristique	Blessure	Points
<b>Os et tissus mous</b> Groupes :			
1	- Faible énergie	- Plaie par couteau, fracture fermée simple, ou ouverte par balle de petit calibre	1
2	- Énergie moyenne	- Fracture ou luxation ouverte ou multifocale, plaie modérée par écrasement	2
3	- Forte énergie	- Arme à feu à bout portant, ou projectile à grande vélocité	3
4	- Très forte énergie, écrasement massif	- AVP, grosse contamination, pertes cutanées majeures	4
<b>Choc</b> Groupes :			
1	- Tension normale > 90 mm/hg	- Pression stable en pré et per-opératoire	1
2	- Hypotension transitoire	- Pression instable mais bonne réponse à la fluidothérapie	2
3	- Hypotension prolongée	- Pression systolique < 90 mm Hg et réponse à la fluidothérapie tardive	3
<b>Ischémie</b> Groupes :			
1	- Aucune	- Pouls normal sans signe d'ischémie	0*
2	- Légère	- Pouls diminué sans signe d'ischémie	1*
3	- Moyenne	- Absence de pouls au doppler, paresthésie, diminution du temps de remplissage capillaire et diminution de l'activité motrice	2*
4	- Avancée	- Absence de pouls, froidur, paralysie, insensibilité, absence de remplissage capillaire	3*
<b>Age</b> Groupes :			
1	- Inférieur à 30 ans		0
2	- Entre 30 et 50 ans		1
3	- Supérieur à 50 ans		2

\* : Multiplié par 2 si ischémie supérieure à 6 heures.

**Tableau 4 : Le MESS (Score de gravité des lésions de l'extrémité mutilée)**  
D'après Helfet CK, " Limb salvage versus amputation : preliminary results of the mangled extremity severity score. " Clin Orthop 1990, 256, 80-85

Bonanni (17) en 1993 puis Clarke (44) en 1994 ont rapporté les nombreux défauts de ces systèmes basés sur des critères trop subjectifs.

Un défaut commun est le faible nombre d'individus dans chaque étude et les données, que ce soit pour Lange (129), Gregory (74) ou Johansen (111) et Helfet (89), ne sont que des tendances et non des bases statistiques significatives. Certains de ces systèmes ont même été testés sur l'échantillon de réalisation.

Aucune des méthodes ne tient compte du niveau d'atteinte sur l'os ni des lésions sous cutanées qui peuvent être très étendues. De même, le pronostic est différent en fonction de l'os atteint, de ses données anatomiques et de sa vascularisation. Chez l'homme, certains facteurs nécessaires pour la restauration fonctionnelle du membre inférieur comme la conservation de la proprioception, la continuité anatomique des nerfs majeurs et l'égalité de longueur ont moins de conséquences sur le membre supérieur. Les prothèses sont également plus avancées sur le membre inférieur. Tout cela rend nécessaire la différenciation des zones atteintes

Gregory (74) ne sanctionne une ischémie de 8 h que de 2 points alors que le pronostic est très sombre et que pour certains auteurs cela représente une indication absolue pour l'amputation.

Le dernier des défauts, et qui pourtant a son importance, est le devenir à long terme et la définition de succès. Dans tous les cas, il semble qu'il réside dans le fait que la jambe reste accrochée au patient.(17, 44)

En 1994, Mc Namara (147) conscient de l'intérêt que peut avoir un index tel que le M.E.S.S. a essayé de le compléter en rajoutant les lésions nerveuses et en séparant les lésions osseuses de celles des tissus mous (Tableau 5).(147) Mais ici encore l'échantillon est réduit (14 patients avec 24 fractures), même si le NISSSA (Nerve, Ischemia, Soft-tissue contamination, Skeleta, Shock, Age) s'est révélé plus sensible et plus spécifique que le MESS.

Bonanni ne pense pas que l'on puisse se baser sur des critères prédictifs, mais que la décision doit être le résultat d'une impression clinique et d'une bonne évaluation opératoire initiale. Il préconise un suivi attentif du membre et une amputation secondaire si la nécessité d'une amputation précoce n'est pas certaine. Les critères qui restent à définir sont ceux permettant d'interrompre un traitement conservateur s'il est voué à l'échec.(17)

Le membre douloureux, la détresse due à une hospitalisation prolongée, les difficultés fonctionnelles, le déséquilibre socio-économique ou psychologique ne sont jamais abordés. Et, il est possible qu'un nombre significatif de patient ait préféré l'amputation à la sauvegarde de leur membre.(44)

Pour effectuer une évaluation correcte, il semble indispensable de comparer le devenir des patients amputés avec celui de ceux qui ont conservé leur membre.

Une étude a été réalisée pour comparer le devenir et la qualité de vie à long terme des patients ayant eu une amputation précoce ou une sauvegarde du membre sur des fractures complexes du tibia. Cette étude porte sur des types IIIb et IIIc ayant eu soit une réparation avec lambeau musculaire libre (**groupe 1** : 27 patients avec un suivi satisfaisant pour 16 d'entre eux), soit une amputation (**groupe 2** : 18 patients). Les patients du groupe 1 ont eu plus de complications, plus de procédures opératoires et une hospitalisation plus longue.(70)

Hertel confirme ces résultats avec 8 contre 3,5 interventions par patient et 129 jours d'hospitalisation contre 101. (94)

Ensuite les fonctions à long terme (groupe 1 : 35 mois, groupe 2 : 44 mois) comme le report de poids, la capacité à monter les escaliers, à marcher ainsi que des données sur leur emploi, leur vie de famille, leur vie sexuelle et sociale, leurs loisirs et leurs vacances ont été évalués.

Les deux groupes ont répondu de façon à peu près similaire avec toutefois des gens non amputés se sentant plus diminués aussi bien professionnellement que dans leur vie sociale.

Cette étude montre que malgré les progrès de la chirurgie réparatrice, la sauvegarde à tout prix du membre est associée à de nombreuses complications pour une qualité de vie souvent inférieure. L'amputation se révèle parfois (si elle est distale sur le membre inférieur de l'homme) d'une récupération plus rapide, d'une incapacité à long terme réduite et d'un coût nettement inférieur.

**Tableau 5 : Le NISSA,**

d'après McNamara MG, " Severe open fractures of the lower extremity: a retrospective evaluation of the Mangled Extremity Severity Score." J Orthop Trauma. 1994,8(2),81-7.

Type	Caractéristique	Blessure	Points
<b>Nerfs (N)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensible</li> <li>- Perte sensibilité dorsale</li> <li>- Perte sensibilité plantaire partielle</li> <li>- Perte sensibilité plantaire complète</li> </ul>	<p>Pas de lésion nerveuse majeure</p> <p>Blessure du nerf fémoral ou du péronier superficiel ou profond</p> <p>Lésion du nerf tibial</p> <p>Lésion du nerf sciatique</p>	
<b>Ischémie(I)</b> Groupes :			
1	- Aucune	- Pouls normal sans signe d'ischémie	0*
2	- Légère	- Pouls diminué sans signe d'ischémie	1*
3	- Moyenne	- Absence de pouls au doppler, paresthésie, diminution du temps de remplissage capillaire et diminution de l'activité motrice	2*
4	- Avancée	- Absence de pouls, froidure, paralysie, insensibilité, absence de remplissage capillaire	3*
<b>Tissus mous(S)</b> Groupes :			
1	- Faible énergie	- Contusion minime ou absente, pas de contamination	0
2	- Énergie moyenne	- Lésions modérées, projectiles à faible vitesse, contamination et écrasements modérés	1
3	- Forte énergie	- Arme à feu à bout portant, ou projectile à grande vitesse, contamination majeure et couverture pouvant nécessiter la réalisation d'un lambeau	2
4	- Très forte énergie, écrasement massif	- AVP, grosse contamination, pertes cutanées majeures, écrasement important et lambeau indispensable	3
<b>Squelette(S)</b> Groupes :			
1	- Faible énergie	- Fracture fermée simple (spirale ou oblique), ou ouverte par balle de petit calibre	0
2	- Énergie moyenne	- Fracture ou luxation ouverte ou multifocale, comminution mineure	1
3	- Forte énergie	- Arme à feu à bout portant, ou projectile à grande vitesse, déplacement et comminutions modérées	2
4	- Très forte énergie, écrasement massif	- AVP, grosse contamination, pertes d'os ou comminution sévère	3
<b>Choc(S)</b> Groupes :			
1	- Tension normale > 90 mm/hg	- Pression stable en pré et per-opératoire	1
2	- Hypotension transitoire	- Pression instable mais bonne réponse à la fluidothérapie	2
3	- Hypotension prolongée	- Pression systolique < 90 mm Hg et réponse à la fluidothérapie tardive	3
<b>Age(A)</b> Groupes :			
1	- Inférieur à 30 ans		0
2	- Entre 30 et 50 ans		1
3	- Supérieur à 50 ans		2



Hertel (94) constate une guérison complète à 12 mois (2-108) pour les amputés contre 30 mois (12-72) pour les autres. Les douleurs résiduelles sont par contre plus présentes chez les amputés (50 %) et sont sévères pour 16% .

La grosse différence entre les deux études réside essentiellement dans la sélection de l'échantillon ici plus jeune que dans l'étude de Georgiadis (70). Hertel trouve une population beaucoup plus gênée par l'amputation et nettement moins intégrée. De plus, en tenant compte de la rééducation et des pensions d'invalidité le coût total du traitement devient supérieur pour les patients amputés.(94)

Bien que le vétérinaire ne soit pas concerné par de telles considérations, ces études peuvent soulever quelques questions quant à l'impact psychologique, professionnel, familial ainsi que financier du traitement d'une fracture ouverte sévère chez les carnivores domestiques.

## 2 . 3 - Utilisation des antibiotiques

### 2 . 3 . 1 - Utilisation par voie générale

L'utilisation des antibiotiques par voie générale, pour prévenir l'infection dans le traitement des fractures ouvertes, a été pendant longtemps sujette à controverses. Leur emploi, au départ, semblait inutile car les germes causant l'infection ne sont que rarement trouvés dans la plaie initiale.

Pour évaluer l'utilité de ces antibiotiques Patzakis (173) en 1974 a comparé dans 3 groupes de patients l'administration d'un placebo, d'une association de pénicilline et de streptomycine, et de céphalotine. Dans chaque groupe, des cultures ont été réalisées à 4 étapes du traitement : une première avant toute administration d'antibiotique, la deuxième lors du parage initial, la troisième en fin de parage avant la fermeture de la plaie et la quatrième sur la plaie fermée. Le taux d'infection a été de **13,9 %** sans antibiotiques, de **9,7 %** avec l'association pénicilline-streptomycine et de seulement **2,3 %** dans le groupe ayant reçu la céphalotine.

Les 4 cultures se sont révélées négatives dans seulement 90 cas sur 255 (35 %) et dans tous les autres cas, au moins une culture a été positive.

Gustilo constate, dans une première étude, 50,7 % de contamination sur une culture réalisée avant parage et 20 % de cultures positives après parage malgré une culture initiale négative. Ainsi, au total, le nombre de plaies contaminées est de 111 sur 158 (70,3 %).(81) En 1984, il retrouve sur des fractures de type III, 83 % de plaies contaminées (Tableau 6).

Les fractures sont donc dans plus de deux cas sur trois des fractures contaminées et l'emploi, en pré-opératoire, d'antibiotiques plus adaptés peut provoquer une baisse du nombre de complications infectieuses. (77, 78, 79, 80, 141, 173) Lortat (141) propose de parler **d'antibiothérapie prophylactique** et non d'antibioprophylaxie car la plaie doit être considérée comme contaminée voire infectée.

Le choix de l'antibiotique a été guidé, dans les différentes études, par le résultat des cultures issues des plaies ainsi que de celles des tissus infectés.

Gustilo, après avoir utilisé différents antibiotiques entre 1955 et 1973 (pénicilline, pénicilline + chloramphénicol, pénicilline-oxacilline et occasionnellement kanamycine) propose au regard des souches bactériennes isolées, l'utilisation d'une céphalosporine de première génération et considère l'antibiothérapie prophylactique comme essentielle. En effet, les céphalosporines sont efficaces contre tous les organismes gram+, Staphylocoques coagulase+ et -, et la majorité des *Escherichia coli*, *Klebsiella* et *Proteus* à l'exception des *Pseudomonas*. Dans cette première étude, les anaérobies n'apparaissent pas car sans doute à l'époque, les techniques de cultures n'étaient pas très efficaces.(81)

Les différentes cultures pratiquées en phase initiale de traitement ont révélé la présence d'une flore plutôt normale de la peau (*Staphylococcus epidermidis*, *Propionobacterium acnes*, *Corynebacterium* et *micrococcus*) ou issue de la contamination extérieure qui rarement cause l'infection (*Bacillus* et *Clostridium*). Certains types d'agents pathogènes sont également associés à des types de contaminations environnementales particulières : par exemple *Pseudomonas aeruginosa* et *Aeromonas hydrophila* se rencontrent lors d'un contact de la plaie avec une eau souillée. La croissance de *Pseudomonas aeruginosa* ou de *Staphylococcus aureus* sur les cultures de patients ayant une infection déclarée contraste avec la relative rareté de leur présence sur le site initial de la blessure. Ceci laisse à penser que la plupart de ces infections sont acquises à l'hôpital.(53, 79)

**Tableau 6 : Cultures sur fractures de type III infectées**

Selon Gustilo RB : " Classification of type III (severe) open fractures relative to treatment and results", Orthopedics 1987, 10(12).

Identification	Période d'étude		
	1980 à 1984	1976 à 1979	1955 à 1976
<i>Staphylocoagulases positives</i>	6	4	27
<i>Enterococcus</i>	3	3	0
<i>Staphylocoagulases négatives</i>	3	0	3
<i>Streptococcus veridans</i>	3	0	0
<b>Total de Gram +</b>	15 (55 %)	7 (20 %)	30 (64 %)
<i>Escherichia coli</i>	-	5	4
<i>Enterobacter cloacae</i>	1	5	-
<i>Enterobacter aerogenes</i>	1	3	-
<i>Klebsiella</i>	1	3	2
<i>Pseudomonas</i>	7	2	3
<i>Serratia marcessens</i>	3	2	-
<i>Proteus morganii</i>	-	2	-
<i>Proteus mirabilis</i>	-	1	3
<i>Proteus vulgaris</i>	-	1	-
<b>Total Gram -</b>	13 (45 %)	24 (80 %)	13 (36 %)
Culture négative	1	0	5

L'apparition de ces souches peut être expliquée par plusieurs hypothèses :

- ces organismes sont au départ en faible nombre et se développent à la faveur des parages et des soins locaux
- l'utilisation systématique de certains antibiotiques peut entraîner une sélection à hauteur de la plaie
- l'origine peut être nosocomiale (53,131)

Patzakis (173) base plutôt son choix sur l'efficacité des antibiotiques sur les germes habituellement responsables de l'infection. Ainsi, dans les plaies qui se sont infectées, les germes étaient résistants dans 60 % des cas pour l'association pénicilline-streptomycine contre seulement 20 % des cas pour la céphalotiné. L'infection est souvent due à des staphylocoques

coagulase positive (50 % des cas (173)) mais rarement isolés. Les cultures sur plaies infectées sous traitement à la céphalotine montrent la présence de germes gram - (80 % des cas entre 1976 et 1979 pour Gustilo) ou d'associations Gram+-Gram-.

Étant donnée, la fréquence des problèmes septiques liés aux gram-, l'emploi d'autres familles d'antibiotiques plus efficaces sur ces germes a été conseillé pour les fractures ouvertes les plus sévères et les plus contaminées. Gustilo préconise l'emploi systématique d'aminoglycosides dans la gestion des fractures de type III et obtient une diminution d'un tiers des complications septiques.(77, 78, 79)

**Tableau 7 : Etude rétrospective entre 1980 et 1984 portant sur la relation entre l'administration d'aminoglycosides et le taux d'infection dans le traitement des fractures ouvertes de Type III.**

D'après Gustilo RB, "Classification of type III (severe) open fractures relative to treatment and results." - Orthopaedics.1987,10,1781-1788.

	Céphalosporine	Céphalosporine + Aminoglycoside
Type III	24 cas	34 cas
Infection de la plaie : Nombre de cas (%)	7(29,1 %)	3(8,8 %)

Il est cependant nécessaire pour l'administration des aminoglycosides de procéder à une surveillance rapprochée des effets néphrotoxiques. Il est indispensable de doser les concentrations plasmatiques de l'urée et de la créatinine sanguine quotidiennement.(81)

Un autre type d'infection peut survenir en cas de fracture ouverte. En effet, la multiplication rapide et la sécrétion d'une exotoxine par des germes de type *Clostridium perfringens* peuvent entraîner une gangrène gazeuse. Patzakis (173) relève deux cas sur 310 fractures traitées alors que Gustilo n'en rapporte aucun sur 1800 patients. Néanmoins, l'emploi de pénicilline G ou de pénicilline + métronidazole est fortement conseillé lors de plaies contaminées par la terre ou survenues avec du matériel agricole.(78, 81, 141, 173)

Malheureusement la plupart de ces études datent des années 80 et n'ont pas envisagé l'utilisation de molécules plus modernes. Ainsi, Lortat-Jacob (141) pense qu'il serait intéressant d'utiliser une antibiothérapie prophylactique à l'aide d'une association amoxicilline-acide clavulanique. En effet, cette association permet d'avoir une efficacité identique à celle des céphalosporines de première et de deuxième génération sur les Staphylocoques avec un élargissement du spectre sur les bacilles négatifs, et un risque de sélection qui paraît faible. Par ailleurs, la prophylaxie peut être poursuivie en utilisation thérapeutique per-os. L'efficacité des antibiotiques est la même pour la prévention de l'infection par administration par voie orale ou veineuse.(123, 173)

De même, pour Gagey, une seule administration de Péfloxacine est aussi efficace que 2 jours de céfazoline associés à 3 jours d'oxacilline.(68)

Worlock (250, 251), dans ces travaux d'ostéomyélite expérimentale sur lapins, montre que non seulement les antibiotiques jouent un rôle dans la prévention de l'infection (le taux d'infection avec une seule injection avant l'inoculation expérimentale passe de 91 à 30% ), mais qu'en plus, quand la céphalosporine est injectée dans les 4 premières heures le taux d'ostéomyélite n'est que de 51 %, soit 40 % de moins que sans antibiotiques.(250, 251)

Ces résultats supportent l'administration systématique d'antibiotiques appropriés dans le traitement des fractures ouvertes malgré un délai de 4 heures après l'accident.

Auparavant, les bases de la prophylaxie s'appuyaient sur les travaux de Burke ne concernant pas une atteinte osseuse. Pour lui, si la première dose n'était pas donnée dans les 3 heures, elle n'avait aucun effet préventif.(250, 251) Dellinger confirme les résultats de Worlock en ne constatant pas cliniquement plus d'infections sur les patients ayant reçus des antibiotiques avant ou après 3 heures.(53)

La durée du traitement n'est pas encore bien définie. Dans les premières études, les auteurs avaient tendance à poursuivre tout traitement antibiotique pendant une durée de 7 à 10 jours. Ils n'avaient pourtant aucune preuve de l'utilité de cette thérapie et s'étaient basés sur le fait qu'une plaie cicatrise en 7 à 10 jours.

Dellinger par la suite a montré qu'il n'y avait pas de différences significatives, en terme d'infection, entre une antibiothérapie de 5 jours et de 10 jours.(53)

Il est maintenant recommandé de poursuivre l'antibiothérapie pendant 3 à 5 jours après toute chirurgie sur une fracture ouverte associée à une antibioprofylaxie avant l'intervention.

L'antibiothérapie ne sera pas reprise à chaque parage, mais sera recommandée en cas de fixation interne, de greffe cutanée ou osseuse, de lambeau musculaire ou de fermeture secondaire de la plaie.(77, 230)

En limitant la durée de l'antibiothérapie, on réduit l'émergence de souches nosocomiales résistantes et l'infection se déclare dans la structure hospitalière sous surveillance du personnel.(77, 81) "**Le moins fait le plus.**"

Les tableaux 7' et 8 regroupent quelques exemples d'antibiothérapie prophylactique et leur diffusion osseuse de quelques antibiotiques.

<p style="text-align: center;"><b>Tableau 7' : Exemple de protocole d'antibiothérapie prophylactique</b></p>
--

**Pour les fractures ouvertes de type I :**

-Céphalosporine de 1° ou 2° génération, (éventuellement Amoxicilline-ac. clavulanique, ampicilline ou péfloxacin) et pour les patients allergiques Aztreonam-clindamycine.

- cefazoline : 1 g toutes les 6 heures chez l'homme et 30 mg/kg chez le chien

- pénicilline G: 2 millions d'unités toutes les 6 heures ou 10 000 UI/kg chez les carnivores domestiques

ou

- ampicilline: 2 g puis 1 g toutes les 6 heures

pendant 48 à 72 heures

(6, 7, 68, 77, 81, 141, 165, 166, 207)

**Pour les fractures ouvertes de type II :**

- Si la contamination est faible, traitement identique aux fractures de type I sinon identiques aux types III

**Pour les fractures ouvertes de type III :**

-Identique aux types I avec en plus un aminoglycoside.

-tobramycine: 1,5 mg/kg lors de l'admission puis 3 à 5 mg/kg chaque jour en plusieurs prises pendant 3 jours.

-plaie souillée par de la terre : 10 millions d'UI de pénicilline ou métronidazole

( 77, 141)

**Pour les carnivores domestiques:**

-Types I et II : céfamandole (2° génération) et gentamicine ou tobramycine.

-Types III : idem + pénicilline ou métronidazole pour les anaérobies.

-Clindamycine en cas de fracture ouverte par morsure.

En cas d'infection spécifique, se référer au tableau 8.

(3, 4, 230)

**Tableau 8 : Principaux antibiotiques à bonne diffusion osseuse utilisables chez les carnivores domestiques** D'après Steven C. Budsberg : " Antimicrobial distribution and therapeutics in bone", Compend Contin Ed Pract Vet 1990 , 12, 1758-1762.

Molécule	Dose (mg/kg)	Voie d'administration	Intervalle (heures)
Amikacine*	10	IV, IM, SC	8
Amoxicilline	22 à 30	IV, IM, SC, PO	6 à 8
	22	PO	6 à 8
Amoxicilline-ac.clavulanique	22	IV, IM, SC, PO	6 à 8
Ampicilline	22	PO	8 à 12
Cefadroxil	22	IV, IM, SC	6 à 8
Cefazoline	20 à 40	IV, IM, SC	6 à 8
Cefoxitine	22	IV, IM	6 à 8
Ceftazimide	25	IV, IM	8 à 12
Cephalexine	22 à 30	PO	6 à 8
Cephalotine	22 à 30	IV, IM, SC	6 à 8
Cephapirine	22	IV, IM, SC	6 à 8
Cephradine	22	IV, IM, SC, PO	6 à 8
Ciprofloxacine	11	PO	12
Clindamycine	11	IV, IM, PO	8 à 12
Cloxacilline	10 à 15	IV, IM, PO	6 à 8
Enrofloxacine	5 à 11	PO	12
Gentamicine*	6,6	IV, IM, SC	24
Oxacilline	22	IV, IM, SC, PO	6 à 8
Penicilline G (aqueuse)	20000 à 40000 UI/kg	IV	6

\* Néphrotoxique et ototoxique. Un monitoring de la pression rénale est indispensable durant toute la durée du traitement

## 2 . 3 . 2 - Utilisation locale des antibiotiques et antiseptiques

Les différentes cultures réalisées sur les plaies après parage ont révélé la présence d'une contamination dans environ 27 à 40 % des cas malgré l'exérèse des tissus dévitalisés ou contaminés et malgré l'antibiothérapie. (125, 126, 131)

Compte tenu qu'une plaie contaminée a 5 fois plus de chances de s'infecter qu'une plaie propre,, certains auteurs ont proposé l'utilisation soit d'antiseptiques, soit d'antibiotiques par voie locale après parage chirurgical. (223)

L'utilisation directe des antibiotiques sur les plaies de fractures ouvertes se justifie par le fait que bien souvent leur distribution locale, après administration parentérale, n'est pas suffisante pour stériliser le milieu. De plus certains antibiotiques particulièrement efficaces sur les germes en cause dans de nombreuses infections (*Pseudomonas*) ont une toxicité non négligeable. (81)  
Pour l'utilisation locale, ces antibiotiques ne devront être ni cytotoxiques ni résorbables à effets généraux.(3, 4)

Leur utilisation se fait soit au cours du parage : solutions de lavage, soit après le parage : billes imprégnées d'antibiotiques.

### **Antibiotiques en solution de lavage**

Une étude expérimentale portant sur l'utilisation de la Bacitracine en solution à 50 UI/ml comme produit d'irrigation sur des hématomes fracturaires contaminés chez le chien a révélé un taux d'infection 3 fois moins important par rapport à une solution saline simple.(192)

D'autres études ont par la suite démontré l'efficacité de la Néomycine, de la Polymyxine B ainsi que de la Céfamandole. (192, 207)

Rosenstein (192) constate en plus de la diminution du nombre d'ostéomyélites aiguës une diminution du nombre d'infections chroniques due sans doute à une meilleure défense de l'hôte et une baisse de la population microbienne.

L'emploi des antibiotiques localement est maintenant répandu dans la phase initiale de traitement des fractures ouvertes.

### **Les billes imprégnées d'antibiotiques**

Leur utilisation découle des résultats obtenus dans le traitement des ostéomyélites déclarées. Leur principe repose sur la délivrance locale de très fortes concentrations d'antibiotiques sans effets systémiques. La présentation sous forme de billes, par l'augmentation de la surface de contact, permet un relargage plus important des molécules antibactériennes.(169)



Ces fortes concentrations sont nécessaires pour une efficacité optimale surtout sur les foyers de fracture très mal vascularisés en attendant une revascularisation par un éventuel lambeau musculaire. (208)

Klemm le premier a, dans les années 70, développé des billes imprégnées d'antibiotiques à partir de procédés utilisés pour les prothèses de hanche. Ensuite, une progression logique s'est faite jusqu'à leur utilisation dans le traitement des fractures ouvertes dans les années 80.(77, 92)

Ces billes sont le mélange, au départ, d'un ciment chirurgical : polyméthylmétacrylate (PMMA), avec un antibiotique: les premiers et les plus fréquemment utilisés sont les aminoglycosides (Tobramycine,Gentamicine).(92, 171)

**Exemple** : 40 g de ciment + 1 g de Cefazoline + 2,4 g de Tobramycine. (41)

Elles sont positionnées au niveau de la plaie après le parage puis couvertes soit par un film plastique stérile soit par des tissus mous. Le chirurgien doit compter le nombre de billes mises en places dans la plaie pour ne pas en oublier lors de leur retrait qui peut avoir lieu 4 à 8 semaines plus tard lors d'une greffe osseuse (Figure 2 et 3).(41)

Les résultats avec ce type de billes se sont révélés très positifs : le taux d'infection est passé de 17 % avec une antibiothérapie par voie générale seule (Céfazoline + tobramycine + pénicilline) à 4 % avec l'ajout de billes de PMMA avec de la tobramycine. (116)

La différence pour les types I et II n'est pas significative alors que pour les types III les infections aiguës ont diminué de 29 % à 6 % et les ostéomyélites chroniques de 15 % à 4 %. Par rapport aux données usuelles des taux d'infections d'environ 33 à 42 %, même si l'échantillon est différent, l'utilisation des billes imprégnées d'antibiotiques ramène ce taux d'infection à 8 %.(77, 116)

Cette diminution du risque infectieux est surtout très nette pour les types IIIb et IIIc associés à une fracture très contaminée et où la vascularisation est compromise.(169)

De plus, lorsque l'infection (aiguë ou chronique) se déclare, l'utilisation des billes imprégnées de tobramycine en début de gestion de la fracture ouverte diminue l'incidence des poly infections et modifie la gamme des organismes infectieux: (171)

- en cas d'infection aiguë la présence de plusieurs souches passe de 67 % à 46 %

- en cas d'ostéomyélites chroniques les infections polymicrobiennes passent de 57 % à 20 %

Une étude récente ne montre pas de supériorité d'une administration intra-veineuse seule par rapport à l'emploi de billes imprégnées d'antibiotiques. A l'heure actuelle, l'intérêt des billes n'est pas remis en cause mais ne dispense en aucun cas de l'utilisation des antibiotiques par voie intra-veineuse.(156)

Actuellement certains auteurs préconisent un changement aussi bien du support que de l'antibiotique. En effet, le PMMA a été adapté pour une antibioprofylaxie (pour les prothèses

totales de hanche) ou une antibiothérapie de longue durée qui n'est pas indispensable dans le traitement des fractures ouvertes. Le PMMA lors de sa polymérisation provoque une exothermie qui peut dénaturer certains antibiotiques (béta-lactamines, tétracyclines, chloramphénicol, polymixine B) et n'étant pas résorbable impose une intervention pour son retrait. (99)

Les travaux actuels s'orientent vers l'utilisation de deux matériaux : le plâtre de Paris (20) et les polymères résorbables (108).

Le plâtre de Paris, lui aussi issu du traitement des ostéomyélites, a l'avantage de ne pas provoquer de réaction exothermique, de ne pas être onéreux et de plus d'assurer des concentrations en antibiotiques trois fois supérieures par rapport aux billes de PMMA. Ces concentrations sont largement supérieures aux concentrations inhibitrices moyennes des différents germes pathogènes susceptibles de provoquer une infection (Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa et Enterobacter) pendant 72 heures. Cette durée est proche du temps entre le débridement et la fermeture primaire retardée et justifie l'utilisation in vivo du plâtre de Paris comme support d'antibiotiques.(20, 21)

Bowyer (20) suggère pour diminuer le pic de température lors de la polymérisation du PMMA de mélanger le polymère au monomère dans une proportion de 3/1 au lieu de 2/1. La température passe alors de 75° à 65° sans modifier la fabrication des billes.

Bien qu'actuellement de nombreux polymères résorbables soient à l'étude pour le traitement des ostéomyélites, seuls les polyesters aliphatiques à base d'acide lactique ou glycolique sont bien connus. L'emploi de l'acide polyglycolique ou polylactique dans les sutures résorbables remontant aux années 70, les données bien connues concernant la biocompatibilité, la facilité de fabrication et la cinétique de dégradation en font des matériaux intéressants pour la délivrance des médicaments in vivo.

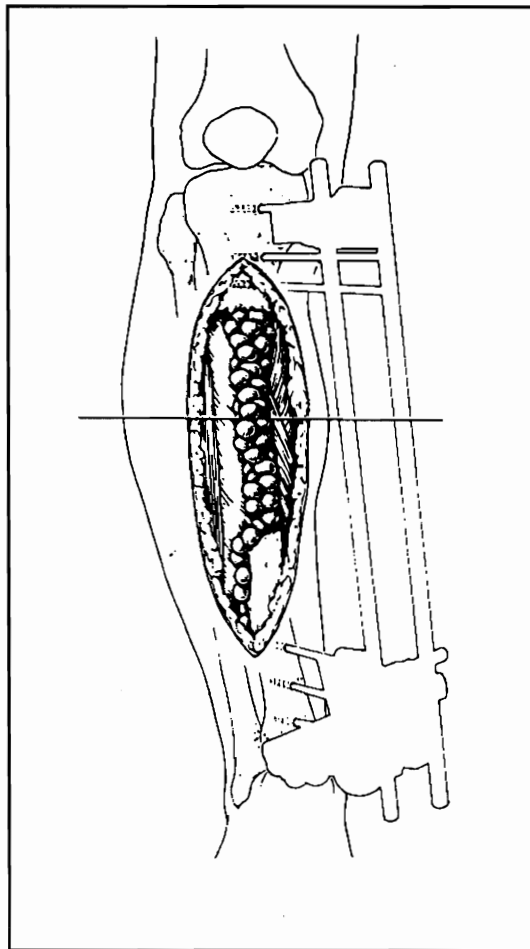
Les premières expérimentations in vivo ont montré leur efficacité et par la suite différentes formulations ont été faites à base de DL-lactide-co-glycolide et d'antibiotiques divers: ampicilline, amykacine, céfazoline, ciprofloxacine et gentamicine. Les travaux se poursuivent pour la tobramycine et la vancomycine et l'on peut envisager la fabrication de polymères associés à plusieurs antibiotiques en même temps.

Bien sûr, leur avantage réside dans la possibilité de les mettre en place et de les laisser malgré une couverture cutanée: leur dégradation est complète en 2 mois et leur efficacité importante même si ils sont mis en place plusieurs heures après la contamination.

Toutefois, il semblerait que la dégradation de ces matériaux volumineux puisse conduire à la formation d'un milieu acide favorable à la formation d'abcès froids.

La littérature vétérinaire est quasi inexistante quant à l'utilisation des billes imprégnées d'antibiotiques dans la prévention de l'infection. Seuls quelques articles de médecine équine rapportent l'intérêt de leur utilisation dans le traitement des fractures ouvertes.(99, 205)

**Figure 2 : Exemple de positionnement des billes pour le traitement d'une fracture ouverte du tibia chez l'homme**



Les billes imprégnées d'antibiotiques sont positionnées dans la perte de substance

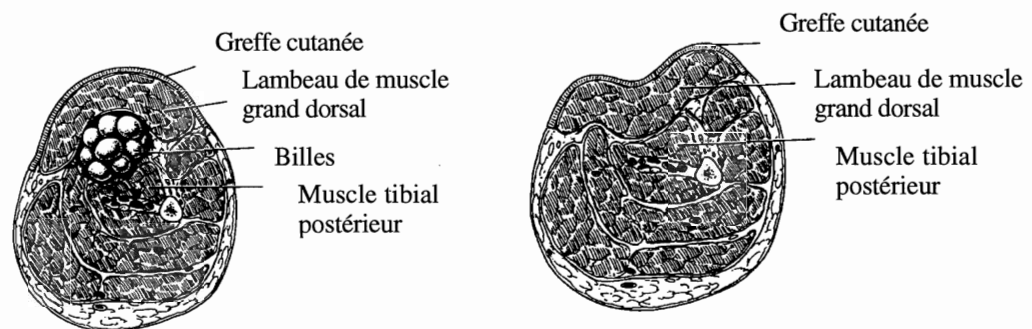
D'après Ostermann PA, " The role of local antibiotic therapy in the management of compound fractures." Clin Orthop.1993 , 295,102-111.

Un autre avantage de ces billes est leur utilisation dans le maintien d'un espace au niveau du foyer de fracture en cas de perte osseuse (Figure 2 et 3). Les transports osseux étant conseillés entre 4 et 6 semaines après la blessure, le comblement de la perte de substance par un tissu

fibreux cicatriciel ou un lambeau musculaire diminue considérablement la quantité de greffon osseux qui peut être placé dans le site.(41, 242)

Ainsi le travail de greffe osseuse est simplifié et de meilleure qualité dans un foyer imprégné par les antibiotiques pendant plusieurs semaines. La faible dissection nécessaire à la réalisation de la greffe osseuse permet de ménager la vascularisation qui s'est mise en place et les pédicules vasculo-nerveux parfois difficiles à localiser dans un tissu fibreux.(41)

**Figure 3 : Le comblement de la perte de substance par les billes**



D'après Ostermann PA, " The role of local antibiotic therapy in the management of compound fractures." Clin Orthop.1993 , 295,102-111.

Les billes de ciment maintiennent un espace sous le lambeau musculaire du grand dorsal en avant du muscle tibial postérieur. Cet espace mort est ensuite remplacé par le matériel de greffe.

### **Les antiseptiques**

L'infection de la plaie est connue pour retarder la cicatrisation. En effet, la production de collagénases bactériennes et la modification du pH du milieu entraînent une diminution de l'activité fibroblastique.

Les antiseptiques comme la chlorhexidine ou la povidone-iodée ont montré leur efficacité dans la réduction de la contamination ainsi que dans l'amélioration de la cicatrisation.

Malgré sa toxicité in vitro sur les fibroblastes aux doses antibactériennes ( 0,05 et 0,005 %), la chlorhexidine utilisée à faible dilution en soluté de lavage a montré des résultats supérieurs en terme de lutte contre l'infection par rapport à une solution saline simple ou de la povidone-iodée à 0,1 et 1 %.(200, 231)

Le diacétate de chlorhexidine, à des dilutions de 0,05 à 0,005 %, montre une réelle efficacité en réduisant de façon notable le nombre de plaies contaminées. Ainsi, la chlorhexidine a rapidement gagné en popularité comme antiseptique en solution de lavage. Ses avantages sur la povidone-iodée sont sa plus grande activité bactéricide résiduelle, sa meilleure activité

bactéricide en présence de sang, de pus ou de débris organiques, son absorption systémique minimale et sa faible toxicité.(142)

Cependant, certaines souches Gram négatif sont susceptibles de développer des résistances à la chlorhexidine : *Proteus mirabilis*, *Serratia marcescens* et *rubida*, ou *Pseudomonas cepacia*.

Des résistances sont également décrites chez certaines souches de *Staphylococcus aureus*.

En revanche, la povidone-iodée n'induit aucune résistance chez les souches Gram négatif précédemment citées. Ainsi, en cas d'irrigation à la povidone-iodée ou avec un soluté physiologique, les cultures montrent une contamination par une flore Gram positif dans 90 à 100 % des cas.(200)

Lozier dans une étude expérimentale *in vivo* et *in vitro* montre que l'excipient de dilution n'a pas d'importance (Lactate de Ringer, eau stérile ou Chlorure de Sodium à 0,9 %). (142)

Ainsi, malgré une certaine toxicité *in vitro*, l'emploi de diacétate de chlorhexidine à 0,05 % permet une cicatrisation plus rapide des plaies. En effet, les fibroblastes ne sont pas seuls en cause dans le phénomène de cicatrisation tissulaire. L'élimination des germes favorise la mise en place d'une néo-vascularisation permettant l'apport de cellules (monocytes, polynucléaires neutrophiles et macrophages) impliquées dans le processus cicatriciel et l'élimination de produits de dégradation.

Remarque : L'Hibitan (chlorhexidine) à 5 % contient un agent conservateur caustique pour les tissus, l'alcool octylcrésylpolyoxyéthylénique. (3, 4, Laboratoire I-C-I Pharma))

### 2 . 3. 3 - Intérêt des cultures

Faut-il réaliser des cultures ?

Les cultures réalisées systématiquement avant toute mise en place de traitement révèlent une contamination dans environ 70 % des cas.(81, 173) On sait pourtant que la plupart des infections ne sont pas issues des souches qui ont contaminé initialement le foyer de fracture. Plusieurs études ont permis de cibler les germes les plus souvent en cause et l'antibiothérapie prophylactique est à l'heure actuelle acceptée par tous les auteurs.(53)

La question se pose alors de savoir ce que va apporter la réalisation d'une culture. Ce qui intéresse le chirurgien, c'est de savoir s'il peut prédire à un moment ou à un autre le développement d'une infection et en conséquence adopter une stratégie prophylactique ou thérapeutique. (131)

**Tableau 9 : Efficacité des cultures sur fractures ouvertes**

Daprès J Lee, " Efficacy of cultures in the management of open fractures " Clin Orthop. 1997, 339, 71-75.

Organisme	Cultures en pré débridement (nombre de cas)	Organisme infectieux (nombre de cas)
<i>Staphylococcus epidermidis</i>	70	6
<i>Bacillus Gram-</i>	35	0
<i>Diphthéroïdes</i>	33	1
<i>Enterobacter cloacae</i>	14	19
<i>Actinobacter wolfii</i>	12	2
<i>Streptococcus Alpha</i>	12	0
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	12	15
<i>Staphylococcus aureus</i>	6	7
<i>Clostridium perfringens</i>	4	0
<i>Enterococcus</i>	4	2
<i>Enterobacter aerogenes</i>	4	2
<i>Escherichia coli</i>	3	4
<i>Aeromonas hydrophilia</i>	2	0
<i>Lactobacillus</i>	2	0
<i>Peptococcus</i>	2	4
<i>Serratia marcescens</i>	1	0
<i>Actinomyces</i>	1	1
<i>Aspergillus</i>	1	0
<i>Moraxella</i>	2	5
<i>Proteus mirabilis</i>	0	1
<i>Actinobacter anitratus</i>	0	1
<i>Bacillus cereus</i>	0	2
<i>Citrobacter freundii</i>	0	1
<i>Hafnia alvei</i>	0	2
<i>klebsiella</i>	0	1
<i>Pseudomonas maltophilia</i>		

Les études de Lee (131) portent sur la valeur prédictive, en termes d'infection, des cultures réalisées en pré-parage (culture 1) et en post-parage (culture 2) ainsi que de leur intérêt dans le schéma thérapeutique (Tableau 9 et 10).

Ainsi, 8 % seulement des organismes isolés sur la première culture sont à l'origine de l'infection et 7 % des cultures négatives en pré-parage ont développé une infection (26 % et 6 % pour Kreder (125, 126)). (131)

De même sur les plaies infectées, on retrouve les germes en cause dans seulement 22 % des cultures faites en pré-parage (29 % pour Kreder) (125, 126).

Pour les cultures en post-parage, sur 32 cultures positives, 9 plaies seulement se sont infectées (28 %) et sur 86 négatives, 10 plaies se sont infectées (11,6 %) (31 % et 21 % pour Kreder) et le germe en cause était cette fois présent dans 42 % des cas (60 % pour Kreder). (125, 126)

Ces études révèlent par ailleurs qu'en pré débridement les germes rencontrés sont essentiellement issus d'une contamination cutanée à l'exception d'*Enterobacter cloacae* et *Pseudomonas aeruginosa* qui se retrouvent également dans les plaies infectées.(125, 126, 131)

En post-parage, la culture a une meilleure valeur prédictive mais elle reste faible (42 à 60 %) et, en cas d'infection, une antibiothérapie plus ciblée peut être mise en place mais avec une chance sur deux de ne pas être adaptée.

**Tableau 10 : Valeurs prédictives des cultures**

	Culture1		Culture2	
	sensibilité	spécificité	sensibilité	spécificité
<b>Lee</b>	77,4 %	51 %	47,4 %	76 %
<b>Kreder</b>	88 %	43 %	50 %	63 %

La **sensibilité**, c'est la probabilité qu'un test positif prédise le développement d'une maladie.  
La **spécificité**, c'est la probabilité qu'un test soit négatif si la maladie est absente.

Lee (131) et Kreder (125, 126) pensent que les cultures en peri-opératoire n'ont que peu d'intérêt. On saura seulement, si une culture initiale est négative, que la plaie est propre et qu'elle a 94 % de chance de ne pas s'infecter (Tableau 10).

Les cultures quantitatives semblent avoir, si leur valeur est supérieure à  $10^5$  colonies par gramme de tissu, une bonne valeur prédictive ainsi qu'une sensibilité (89 %) et une spécificité (95 %) élevées pour la détection de l'infection. (23, 151) Mais, certains auteurs ne trouvent pas la même relation quantité de germes-taux d'infection, et Breidenbach (23) reconnaît que dans son étude la prévalence des infections étant élevée, son test quantitatif trouve son utilité. Dans un autre contexte, les cultures quantitatives peuvent être considérées comme des marqueurs de la qualité du parage et l'on sait qu'une fracture contaminée ( $10^5$  colonies par gramme de tissu) en fin d'opération a 5 fois plus de chance de développer une infection. (78, 223)

De plus, beaucoup de chirurgiens utilisent aujourd'hui les billes imprégnées d'antibiotiques, en plus des antibiotiques par voie systémique, pour la gestion des espaces morts après parage. Ces billes assurent une délivrance à forte concentration d'antibiotiques dans la plaie diminuant encore l'intérêt des cultures.

Les cultures si elles sont pratiquées ne doivent être considérées que comme des marqueurs de la qualité du parage qui reste, malgré le développement de l'emploi des antibiotiques par voie locale et générale, la première et, fondamentale étape, du traitement des fractures ouvertes.

### **3 . Gestion de la plaie**

L'un des buts du traitement des fractures ouvertes est la prévention de l'infection. Cette infection, basée sur la multiplication des germes ayant contaminé la plaie, est aussi associée à la décomposition des tissus dévitalisés retenus dans la plaie. Les corps étrangers ne feront eux qu'aggraver ou entretenir la suppuration. (84)

Ce débridement de la plaie doit être entrepris le plus rapidement possible. En effet, durant les 6 premières heures, la plaie est considérée comme simplement contaminée. Passé ce délai, la plaie devient infectée et après 12 heures elle est largement infectée, la sauvegarde du membre pouvant être compromise. (79, 207, 208) Pour les fractures de type II et III, un délai de 5 heures multiplie le risque d'infection par 5. (120)

Une ischémie de plus de 6 heures est une indication majeure de l'amputation. Cependant, si un pansement compressif a été mis en place, le diagnostic et le traitement d'une lésion vasculaire ne se feront que pendant le parage.(129)



Pour ces différentes raisons, le traitement des plaies des fractures ouvertes est considéré comme une urgence.

Le parage consiste à enlever tous les tissus morts ou dont la viabilité est fortement compromise, les hématomes ainsi que les corps étrangers et, dans un même temps, pratiquer certains gestes thérapeutiques. (6, 7)

En médecine vétérinaire, une fois que l'état général du patient le permet, un protocole anesthésique peut être envisagé avec éventuellement une prémédication, une induction et un maintien de l'anesthésie, le plus souvent par inhalation d'un halogéné volatil.

## Technique du parage chirurgical

### 3 . 1. Préparation du membre

Le parage chirurgical est réalisé dans les mêmes conditions d'asepsie qu'une chirurgie osseuse classique. La préparation du membre commence par la protection de la plaie avec un gel hydrosoluble stérile, ou une compresse imbibée d'antiseptique, et la tonte minutieuse des bords de la plaie et du reste du membre. (165, 172)

Ensuite, une asepsie du membre est réalisée par de la povidone iodée ou de la chlorhexidine.(248) Par irrigation sous pression avec un soluté isotonique ou un brossage doux le gel est ensuite retiré.

Il est conseillé, compte tenu de l'importance de l'irrigation dans ce type d'intervention d'utiliser en plus des champs-tissus classiques, des champs plastifiés étanches.(166)

### 3 . 2 . Importance de l'irrigation

L'irrigation fait partie intégrante du parage. Son rôle est essentiellement mécanique et pour cette raison certains auteurs préconisent l'utilisation d'un jet de lavage pulsé ou l'emploi d'une seringue de gros volume.(73, 76, 231) Au cours d'une intervention de ce type, ce n'est pas moins de 5 à 10 litres de soluté physiologique ou de Ringer-lactate qui sont utilisés en médecine humaine pour les types II et III.(77)

L'utilisation à la fin du parage de 2 litres d'une solution de bacitracine (50 UI/ml) et/ou de polymyxine B (500 UI/ml) s'avère intéressante pour diminuer la contamination de la plaie (ou Néomycine et sulfate de kanamycine).(73,77, 78, 79, 80, 81, 88,165, 166, 192)

### 3 . 3 . Principes du parage

Comme Gustilo le précise, un parage adéquat est la chose la plus importante pour obtenir un bon résultat dans le traitement des fractures ouvertes. Malheureusement, bien que les principes du parage soient simples et reconnus, une grande expérience est indispensable pour le réaliser correctement. La moindre erreur peut entraîner une augmentation du risque infectieux pour le patient.(202)

Pour cette raison, " Si le moindre doute persiste dans l'esprit du chirurgien à savoir si son parage a été suffisant ou pas après une fracture ouverte, la plaie ne doit pas être refermée indépendamment du type de fracture. Pour un chirurgien qui pratique occasionnellement ce type d'intervention, le plus sûr est de laisser la plaie ouverte." (81)

Le parage, si la viabilité des marges n'est pas certaine, peut être répété 48 à 72 heures plus tard. A ce moment-là, une différence plus nette de l'aspect des tissus dévitalisés permet une excision complète. Il faut répéter la manœuvre jusqu'à obtention de marges saines et d'une plaie propre. (77,252, 253)

### 3 . 4 - Etapes du parage

Le débridement commence toujours par une excision des marges de la plaie la plus fine possible pour la peau. Les plaies cutanées peuvent être agrandies pour une meilleure irrigation et une visualisation complète des tissus sous cutanés en particulier pour les fractures par projectiles dont le point d'entrée peut être petit pour des dégâts profonds sévères. L'onde de choc provoquée par le traumatisme entraîne l'arrachement des tissus sous-cutanés et il n'est pas rare de trouver un os découvert entouré de débris tissulaires et de corps étrangers malgré une plaie cutanée de petite taille. (73, 202) Cet élargissement ne doit ni compromettre la vascularisation cutanée ni gêner une éventuelle stabilisation osseuse par fixation externe. Toutefois si la perte cutanée est jugée trop importante après parage, on ne pratique une excision que sur une peau dont la dévascularisation est certaine et on réévalue les marges dans un second temps.(208)

Après le retrait des débris et des caillots, une exérèse systématique de tous les tissus nécrotiques doit être réalisée. Les corps étrangers sont retirés mais ne doivent pas être recherchés si l'exploration de la plaie aggrave les lésions. Les petits fragments métalliques peuvent parfois être difficiles à localiser et une chirurgie prolongée n'est pas nécessaire car ils ne causent que rarement des problèmes.(45)

La viabilité du muscle sera évaluée par les 4 critères définis par Scully, la règle des 4 C :

- la **couleur** : celle-ci, souvent utilisée, est pourtant la moins fiable compte tenu des variations d'éclairage dans un bloc chirurgical

- la **consistance**
- la **contractilité**
- la **capacité à saigner**

La contractilité testée par une pince ainsi que les saignements à la section sont de bons critères de choix. Néanmoins, le parage sera réalisé après la mise en place d'un garrot car les saignements provoqués par la section des muscles peuvent entraîner des pertes non négligeables et, de plus, gêner l'examen des autres zones de la plaie.(71) La capacité à saigner sera évaluée après retrait de la compression. (73, 165, 202)

Une zone musculaire pâle qui ne se contracte pas, qui se désintègre quand on la touche et qui ne saigne pas doit être enlevée. Il arrive parfois qu'un muscle entier soit excisé.

Les tendons, s'ils sont trop abîmés sont retirés sinon ils sont nettoyés et suturés.(202)

Les fascias sont incisés de façon longitudinale en fonction de leur inextensibilité ou suite à une augmentation de la mesure de pression à l'intérieur de la loge aponévrotique qui pourrait conduire à une ischémie sévère (un syndrome de loge).(16, 207, 208)

La graisse, peu vascularisée doit être retirée sans retenue.

Les nerfs sont les seules structures pour lesquelles le parage n'est pas agressif.(71)

En cas de greffe musculaire libre, il est parfois préférable de sacrifier un peu de tissu sain afin d'obtenir une surface plane apte à recevoir le lambeau, évitant ainsi la formation d'espaces morts où peuvent se former des hématomes.(71)

L'os, une fois qu'il est dévascularisé, apporte un substrat passif pour la colonisation bactérienne. Certaines souches du groupe des Staphylococci ont des récepteurs au collagène. L'os non viable, avec sa masse collagénique, est incorporé au processus infectieux, et ses protéines et minéraux sont utilisés comme substrat. L'os ayant une vascularisation incorrecte est incapable de délivrer des leucocytes et des macrophages sur le site. Parce que la prévention est le meilleur des traitements, un parage initial et précoce de l'os dévascularisé ou mal vascularisé est recommandé.( 45, 50, 226)

Les critères d'excision de l'os sont basés sur l'expérience du chirurgien et reposent sur la présence d'insertions musculaires et de saignements ponctiformes à la section Les attaches des muscles viables seront donc minutieusement préservées et la cavité médullaire curetée. À cause de la difficulté pour différencier l'os viable du non viable, des techniques complémentaires

comme l'injection de colorants vitaux ou l'utilisation de lasers Doppler pour mesurer le flux sanguin intra-osseux ont été étudiées mais ne sont pas encore développées à grande échelle.

Tous les fragments d'os cortical non viable représentent un risque potentiel de séquestration. Si leur taille est importante, on peut les garder sur la table et ils peuvent éventuellement servir à estimer la longueur du membre et à apprécier l'alignement et la réduction. Certains auteurs considèrent qu'il n'est plus acceptable de replacer de grosses esquilles dévascularisées, spécialement quand la contamination locale est sévère. (208, 226) D'autres les remettent dans le foyer si leur présence est importante dans la congruence d'une articulation ou dans la stabilité et l'alignement de l'os.

Compte tenu des possibilités actuelles de greffe et de transports osseux, la réinsertion de fragments dévascularisés d'os cortical trouvés sur les lieux de l'accident après leur stérilisation, est contre indiquée. (208, 226)

Pourtant deux cas cliniques ont été décrits avec une réimplantation d'un fragment d'os cortical dévascularisé et même l'un ramassé sur les lieux de l'accident. Les deux protocoles de stérilisation ont montré leur efficacité malgré une remise en place des fragments retardée jusqu'à 3 jours puis ont été confirmés expérimentalement. (113, 239). Le nettoyage de l'os à la povidone iodée associé à l'utilisation d'un autoclave et, le nettoyage à la chlorhexidine associé à un trempage de 40 minutes dans un bain d'antibiotiques (Bacitracine à 50 UI/ml + polymyxine B à 500 UI/ml) ont permis une élimination de 100 % des germes. Néanmoins, la réimplantation d'un os dévascularisé et contaminé comporte un énorme facteur de risque d'infection. Elle doit prendre en compte un certain nombre de facteurs que sont l'âge, le type de contamination, la facilité de nettoyage du fragment, la possibilité de greffes osseuses, l'importance du fragment dans la réduction ainsi que les vœux du patient ou du propriétaire. (113)

Les études expérimentales sont concluantes mais l'échantillon in vivo n'est pas représentatif : patients jeunes et en bonne santé. (113)

C'est à cette étape du traitement que bien souvent **une chirurgie vasculaire** et d'éventuelles **fasciotomies** sont pratiquées. Une bonne circulation permettra d'une part l'apport d'antibiotiques au niveau de la plaie mais également une meilleure réponse immunitaire.

Une fois la lésion vasculaire diagnostiquée et localisée, un traitement chirurgical est mis en place le plus rapidement possible parfois en urgence. (167, 207) La chirurgie vasculaire est toujours suivie d'une immobilisation pour créer un environnement stable: fixation externe ou interne. (81, 236)

La revascularisation permanente sera obtenue par suture directe, utilisation d'une greffe de veine saphène ou d'un matériau synthétique.

Dans les fractures de type IIIb et IIIc, le shunt artériel peut être réalisé avant la mise en place d'un traitement définitif.

Les indications d'utilisation des shunts artériels sont les suivantes:

- ischémie prolongée de plus de 6 heures
- priorités vitales ne permettant pas la mise en place d'un traitement définitif sur l'extrémité
- présence de dégâts majeurs nécessitant un parage préalable à la réparation vasculaire
- une combinaison de lésions artérielles et veineuses
- une lésion de l'artère poplitée avec section ou occlusion complète

Après la restauration du flux artériel, la circulation veineuse est aussi d'une grande importance. Des lésions majeures proximales à la trifurcation poplitée doivent être réparées. Dans les premières 72 heures une vascularisation collatérale se développe et l'occlusion veineuse est alors mieux tolérée.(236)

**"Le chirurgien peut et doit être agressif durant les parages successifs et sûr de sa capacité à obtenir une couverture secondaire." (32)**

### 3 . 5 - Couverture de l'os - Fermeture des plaies

Le moment de la fermeture de la plaie, après réalisation du parage chirurgical, reste encore de nos jours le sujet de nombreuses publications.

Le but de cette fermeture est d'obtenir le plus rapidement possible un milieu sain, couvert de façon durable, sans espaces morts, c'est-à-dire idéal pour une reconstruction osseuse secondaire.(77, 196)

Dans ses premières études rétrospectives, Gustilo (81) constatait un taux d'infection nettement supérieur (20 %) pour les plaies laissées ouvertes par rapport aux plaies fermées tout de suite après le parage (6 %). Ces données ne tenaient malheureusement pas compte du type de fracture mais de la qualité ou non du débridement. En effet, une plaie était laissée ouverte quand son parage et son irrigation paraissaient insuffisants.

Par la suite, sur une série de fractures avec d'importantes lésions osseuses et superficielles (type III), le taux d'infection a été 2 fois supérieur pour les fermetures primaires de la plaie.(81) Il semblait donc que les fractures de type I et II pouvaient être fermées immédiatement sous condition d'un parage efficace et que les types III devaient avoir une fermeture retardée.

Byrd (30), définit 3 phases dans la cicatrisation des plaies naturelles sur les fractures ouvertes:

- une phase aiguë (1 à 5 jours) durant laquelle la plaie est contaminée, hémorragique et œdémateuse avec un drainage séro-sanguin
- une phase subaiguë (1 à 6 semaines), où la plaie est colonisée et infectée, érythémateuse avec un drainage séro-purulent

- une phase chronique (après 6 semaines) où l'infection est limitée aux escarres et aux séquestres, avec un tissu de granulation et une contraction de la plaie.

En phase aiguë, la plaie doit être gérée par des parages agressifs et répétés. Les débridements ont lieu à 2 ou 3 reprises à 48 heures d'intervalle. Le but est de recouvrir la plaie par un lambeau avant sa colonisation (1 à 6 jours) pour diminuer le risque de complication et surtout d'infection.

Ainsi, une couverture de l'os durant cette période permet de réduire le risque infectieux à 5 % et le taux de complication à 19 % au lieu de 40 et 60 % pendant la phase subaiguë et, 33 et 33 % en phase chronique pour les types III.

A l'opposé, lors d'une cicatrisation par seconde intention, on note 29 % d'ostéomyélites et 71 % de complications.

Les lésions en phase subaiguë devront être couvertes seulement si nécessaire pour protéger des structures neuro-vasculaires.(30)

Pour les types IIIb, on constate une nette diminution du nombre de pseudarthrose, d'infection et d'amputation secondaires si le recouvrement par lambeau est réalisé dans un délai d'une semaine après l'accident (Tableau 11). (30, 31)

**Tableau 11 : Importance d'un recouvrement précoce des plaies lors des fracture ouverte**

(Différence entre une couverture du foyer de fracture avant et après une semaine)

Délai de recouvrement osseux	Pseudarthrose	Infections	Amputations
Avant 1 semaine (22 types IIIb)	23 %	8 %	8 %
Entre 1 et 12 semaines (13 types IIIb)	77 %	59 %	24 %

D'après Caudle RJ. - Severe open fractures of the tibia. - J Bone Joint Surg A 1987, 69(6), 801-806.

Pour les transferts musculaires, leur réalisation est beaucoup plus facile dans les 72 heures en raison de l'absence de fibrose. Pour les recouvrement retardés, la fibrose est présente au niveau de la plaie mais également dans les zones clivées et non contuses qui ont perdu leur continuité anatomique : tendons, muscles, structures neuro-vasculaires. Cette fibrose s'étend souvent le long de ces structures à 10 cm ou plus des plaies, compliquant les techniques de chirurgie

vasculaire. Les artères lésées, entourées de tissu fibreux sont sujettes à de longs spasmes pouvant compromettre le devenir du lambeau. Celles-ci ne peuvent plus être utilisées comme site receveur. Les veines prises dans la fibrose se déchirent très facilement lors des manipulations.

Au contraire, dans une reconstruction précoce, tous ces problèmes sont écartés et les vaisseaux lésés proches de la plaie sont susceptibles d'assurer la vascularisation d'un lambeau. (71)

Pour Cierny (32), la couverture définitive doit être effectuée dans les 5 à 7 premiers jours par un lambeau musculaire local, myocutané ou musculaire libre. Lors de cicatrisation des tissus mous dans un délai de 7 jours, la consolidation osseuse a lieu en 4 mois avec un taux de complications de 20,8 %. Si le recouvrement est retardé (entre 7 et 30 jours), la cicatrisation osseuse demande alors 6,4 mois et des complications arrivent dans 83,3 % des cas. (32)

Fischer (62) lui aussi conseille une couverture précoce de l'os, en général entre 5 et 10 jours après l'accident. Le taux d'infection est maximal lorsque la cicatrisation des tissus mous est obtenue entre 2 et 6 semaines (83 % contre 18 %). Après 6 semaines les complications septiques sont rencontrées dans 57 % des cas. (62)

Le délai de fermeture de la plaie, même s'il n'est pas établi précisément, semble être, pour les type III, de l'ordre de 5 à 7 jours.(77, 170, 196)

Cette couverture du tissu osseux peut être obtenue de différentes manières:

- fermeture primaire
- fermeture primaire retardée sans lambeau
- fermeture primaire retardée avec lambeau
- cicatrisation par seconde intention

### 3 . 5 . 1 - La suture primaire de la plaie

Ce type de fermeture ne concerne que les types I remplissant certaines conditions:

- la plaie ne doit pas avoir plus de 6 à 8 heures
- le parage et l'irrigation doivent permettre l'obtention d'une plaie propre
- la fermeture doit être simple et sans tensions
- la plaie ne doit pas être issue d'un écrasement des tissus
- aucune contamination par la terre
- le suivi de l'évolution de la plaie doit être possible (6, 7, 77, 78, 79, 80, 81, 88, 207, 208, 252, 253)

S'il y a le moindre doute sur la qualité du parage et de l'irrigation, la plaie doit rester ouverte.(77, 78, 79, 80, 81,84, 88)

Pour les fractures de type II, le chirurgien jugera de la qualité du parage ainsi que de l'irrigation et pourra, si la plaie est propre, la suturer.

Certains auteurs pensent cependant que toutes les plaies de fracture ouvertes, quel que soit leur type, doivent rester ouvertes le temps d'un second examen.(41, 195)

#### Remarque sur l'utilisation des drains

Les drains ont pour rôle une élimination des sécrétions (sang et exsudats) ainsi qu'une résorption des décollements tissulaires. (240) Ils diminuent ainsi les conditions favorables à la pullulation microbienne.

Les drains les plus couramment employés sont des drains de Penrose (69) ou des drains aspiratifs de Redon (117, 118, 240, 252). Ils sont laissés en place de 1 à 3 jours.(69, 170) Ils sont placés dans la plaie après suture ou sous un lambeau.

Toutefois leur utilisation est déconseillée associée à des billes imprégnées d'antibiotiques car ils diminuent la concentration locale des molécules en éliminant les antibiotiques relargués.(170)

### 3 . 5 . 2 - Suture primaire retardée sans lambeau

Entre le parage et la fermeture de la plaie, un pansement humide sert à protéger les tissus mous, le périoste et l'os de la dessiccation. L'utilisation de vaseline ou de pansements imbibés d'antiseptiques n'est plus recommandée à l'heure actuelle. (172)

Le traitement de choix semble consister en l'emploi des billes imprégnées d'antibiotiques recouverts de champs polyéthylènes poreux et adhésifs avec éventuellement la mise en place de plusieurs couches pour rendre l'ensemble plus hermétique. (169, 171, 207) Ces billes sont changées tous les 2 à 3 jours pour maintenir des concentrations en antibiotiques élevées dans la plaie. Certains auteurs recommandent l'utilisation de pansements synthétiques bactériostatiques ou à base d'hydrocolloïdes. (33, 224)

Dans tous les cas ces pansements doivent être renouvelés dans des conditions d'une chirurgie ostéo- articulaire avec une irrigation et un contrôle de la vitalité des marges de la plaie. (230)

La suture retardée sera réalisée après l'obtention d'une plaie propre, sans écoulements et dont le, ou les, parages auront été suffisants.

Les fractures ouvertes concernées sont de type I, II ou IIIa qui ne nécessitent pas l'apport d'un tissu supplémentaire. Néanmoins, des greffes cutanées en filet peuvent faciliter la fermeture en cas de tensions trop importantes. (77, 78, 88)



### 3 . 5 . 3 - Fermetures par greffes et lambeaux

Les fractures ouvertes de type III sont associées à des lésions majeures des tissus mous, du périoste et de l'os.

Ces tissus partagent de nombreuses anastomoses vasculaires. Lors de fracture, la prolifération des vaisseaux desservant le muscle et le périoste permettent au cal de se former. Il existe une phase, durant la cicatrisation osseuse, où le foyer de fracture est enveloppé d'un tissu ischémique. L'initiation de la formation du cal est retardée jusqu'à la restauration d'une vascularisation périphérique. Les complications ne dépendent pas de la taille de la plaie mais de la dévascularisation du foyer. Une plaie de 10 cm avec une fracture peu déplacée ou à comminution modérée se comporte comme un type I. (32, 151)

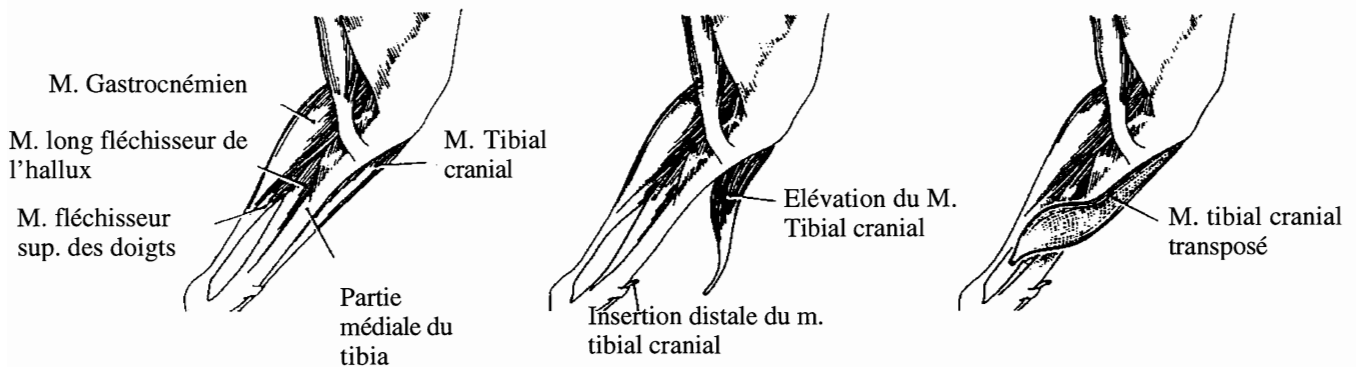
Ainsi, la couverture de l'os ne doit pas être simplement cutanée car elle a pour but d'amener une néovascularisation autour de l'os pour favoriser sa cicatrisation. Cette approche a considérablement réduit les inconvénients des procédés classiques de stabilisation avec cicatrisation dirigée jusqu'à l'obtention d'un tissu de granulation propice à la réception d'une greffe cutanée. Le nombre d'interventions, l'hospitalisation et le coût en sont ainsi réduits

Les lambeaux fasciocutanés, musculaires pédiculés et musculaires libres avec ou sans greffe cutanée sont en médecine humaine les plus couramment utilisés. (133, 252, 253)

#### 3 . 5 . 3 . 1 - Les lambeaux musculaires et musculo-cutanés

L'utilisation de lambeaux musculaires est largement répandue pour le traitement des fractures ouvertes et des ostéomyélites. Leur recours n'est pas récent en chirurgie orthopédique et traumatologique. Son essor est, à l'heure actuelle, considérable depuis l'apparition dans les années 70 des lambeaux libres.

**Figure 4 : Transposition du muscle tibial crânial pour couvrir une perte de substance sur le tibia du chien** D'après Basher A.W.P. " Muscle transposition as an aid in covering traumatic defects over the canine tibia " J Am Anim Hosp Assoc 1987, 23, 617-628.



D'après Basher A.W.P. " Muscle transposition as an aid in covering traumatic defects over the canine tibia " J Am Anim Hosp Assoc 1987, 23, 617-628.

Expérimentalement, la couverture d'un tibia de chien dévascularisé par un lambeau musculaire de rotation, ou libre, est associée à une augmentation significative de la formation de cal périosté et d'os nouveau intercortical (Figure 4). (9, 190)

Cette amélioration de la cicatrisation osseuse par le muscle est aujourd'hui confirmée par la mesure de la vascularisation de l'os comparée à une couverture simple cutanée. (190)

Le flux sanguin osseux avec une couverture musculaire est environ deux fois plus important et, en face craniale du tibia, jusqu'à cinq fois plus important. Cette amélioration est à la fois corticale (à 6 semaines) et intra-médullaire (à 11 semaines) et le taux d'union passe de 25 à 75 % grâce à cette technique

Les données expérimentales confirment les études cliniques mettant en évidence une cicatrisation osseuse plus rapide sur la face caudale du tibia en contact avec la masse musculaire.

L'augmentation du flux sanguin confirme également le rôle joué par le muscle dans la prévention de l'infection : délivrance locale des antibiotiques et réponse immunitaire locale supérieure à celle des autres types de lambeaux.(37, 62, 184, 197)

Les lambeaux musculaires permettent une couverture importante du foyer de fracture et peuvent être utilisés en urgence.(133, 161) Ils sont très malléables dans leur utilisation et peuvent facilement combler des pertes osseuses.

Les séquelles au niveau des sites donneurs doivent être replacées dans le contexte d'une fracture souvent complexe. Les lambeaux musculaires purs ne laissent qu'une cicatrice linéaire au

niveau du site de prélèvement alors qu'elle est plus difficile à accepter dans le cadre des lambeaux musculo-cutanés. Dans la prévention ou le traitement de l'infection, ils se révèlent plus efficaces que les lambeaux fascio-cutanés ou cutanés car la face profonde de l'aponévrose ou celle de la graisse sous-cutanée est moins vascularisée que le muscle. (133)

Leur utilisation en urgence est toutefois controversée malgré les bons résultats de certains auteurs.(161) En effet, un certain délai est nécessaire pour pouvoir préjuger de la viabilité d'un muscle et une couverture trop précoce peut masquer une nécrose ou un syndrome de loge sous-jacent.(133)

### 3 . 5 . 3 . 1 .1 - Lambeaux musculaires et musculo-cutanés pédiculés

**Tableau 12 : Incidence du délai de couverture de la plaie par un lambeau musculaire sur le temps de consolidation et les principales complications**

	Byrd (1985)		Cierny (1983)		Godina (1986)	
Couverture de l'os par les tissus mous	1 à 5 J.	1 à 6 sem.	1 à 7 j.	8 à 30 j.	0 à 3 j.	3 j. à 3 mois
Infections profondes post-opératoires (%)	10	40	4	50	1,5	17,5
Durée de consolidation osseuse (mois)	5,5	9	4	6,4	6,8	12,3
Pseudarthroses (%)	15	50	-	-	-	-

D'après C Meyer, " La couverture des pertes de substance post-traumatiques complexes de la jambe", Ann. Chir. Plast. Esthet. Août 1994, 39(4), 482-490.

Ces lambeaux consistent en la transposition d'un muscle pédiculé, ou bi pédiculé, à distance de son, ou de ses attaches. En médecine humaine, ils sont principalement utilisés pour le recouvrement des fractures complexes du tibia (Tableau 12). (77, 78, 79, 80, 154)

La base du lambeau musculaire ou du lambeau composé (musculo-cutané) correspond à l'aire d'entrée de la vascularisation. Plus la base est petite, plus le lambeau est mobile. Le maximum de mobilité est obtenu si le lambeau est élevé comme un îlot avec une seule artère et une seule veine comme pédicule vasculaire. La plupart des artères sont accompagnées de veines satellites dites comittantes. Un angiosome est un bloc de tissu (muscle, peau, os, nerf ou graisse) vascularisé par une artère et sa veine comittante. Et, chaque angiosome du corps communique avec les angiosomes adjacents via de petites anastomoses terminales.

Les lambeaux se limitent à un seul angiosome centré sur une artère de gros calibre car au-delà, la survie n'est pas sûre. Bien qu'un muscle puisse être entièrement contenu dans un angiosome, la plupart des muscles sont composés de 2 ou 3 angiosomes. (181)

Il existe une classification vasculaire des muscles en fonction de leur aptitude à servir de lambeau. Les critères de choix sont basés sur l'analyse des pédicules vasculaires dans le muscle : leur taille, leur nombre, la localisation des attaches musculaires et le type de distribution dans le muscle.

On distingue également des pédicules dominants de gros diamètre, ayant une localisation constante et dont la contribution à la vascularisation de l'angiosome est majeure, et des pédicules mineurs. Cette classification issue de la médecine humaine peut être extrapolée à l'animal et, un grand nombre de muscles ont ainsi été classés de façon expérimentale en fonction de leur vascularisation. (34)

### **Figure 5 : Les lambeaux musculaires pédiculés**

**Type I** : Un seul pédicule vascularise le muscle en entier. Il peut être élevé complètement et tourné sur sa base. (Droit du fémur, Figure 1')

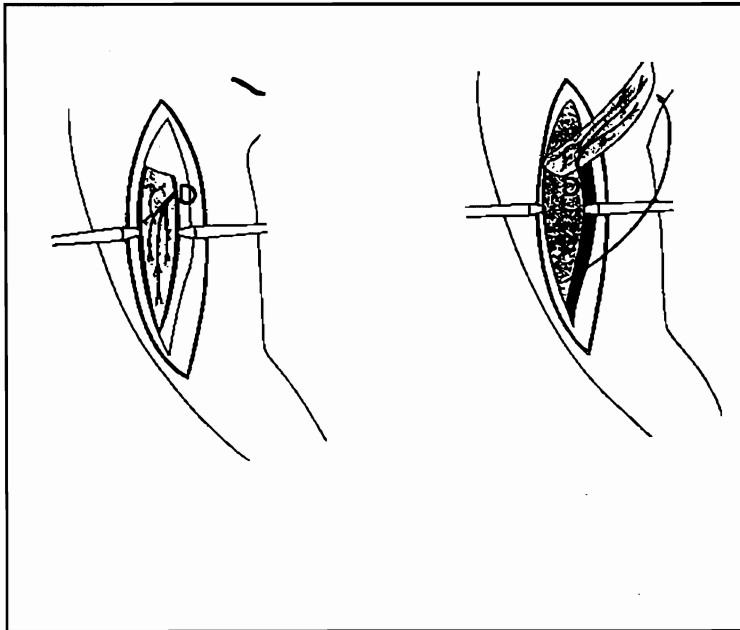


Figure 1' : Le muscle droit du fémur est exposé sur la partie latérale de la hanche. Le pédicule Dominant (D) issu de l'artère circonflexe fémorale latérale est isolé. Il s'agit d'un lambeau de type I. Le muscle droit du fémur peut subir une rotation pour couvrir la partie proximale du membre pelvien

**Type II** : Un ou plusieurs pédicules dominants pénètrent le muscle près de son insertion et des pédicules mineurs entrent au niveau du corps du muscle.(M. Sartorius cranial, m. trapèze: figures 2' et 3' )

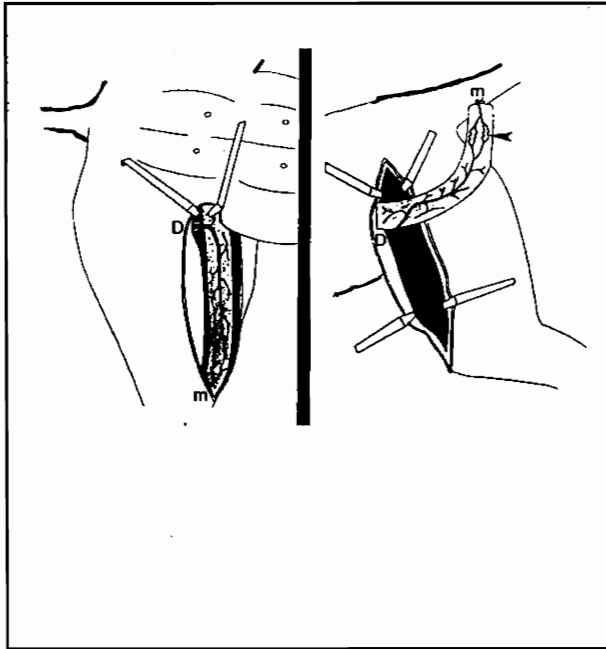


Figure 2' : Le muscle sartorius cranial est exposé sur la face médiale de la cuisse. Le pédicule dominant issu de l'artère iliaque circonflexe superficielle et le pédicule secondaire provenant de l'artère géniculée descendante sont isolés . Il s'agit d'un lambeau de type II. Le muscle sartorius cranial peut subir une rotation comme un lambeau en ilot et ainsi couvrir la partie latéro-proximale du membre pelvien. La flèche montre les anastomoses entre les deux pédicules.

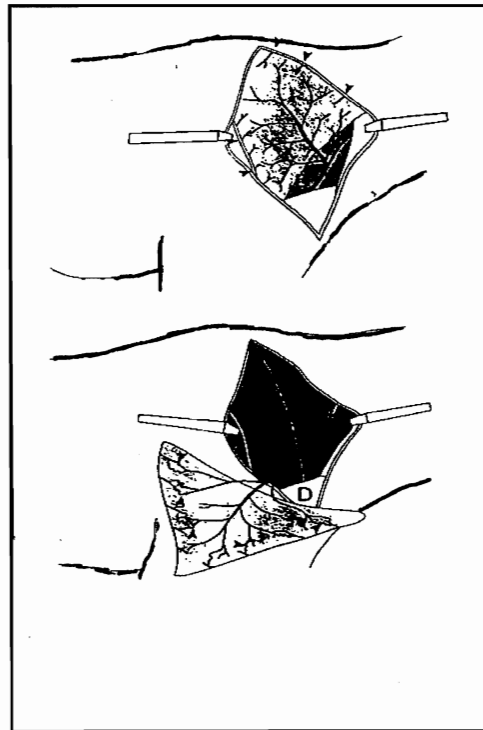


Figure 3' : La partie cervicale du muscle trapèze est isolée sur la partie caudale du cou. La vascularisation dominante du muscle issue de la branche préscapulaire du pédicule cervical superficiel (D) et de nombreux pédicules mineurs sont isolés. Il s'agit d'un muscle de type II. La partie cervical du muscle trapèze peut subir une rotation et ainsi couvrir la partie proximale du membre thoracique.

**Type III** : Deux pédicules dominants, dans deux régions du muscle différentes, assurent pour chacun environ la moitié de la vascularisation. La rotation d'un tel muscle est possible après ligature d'un des pédicules, mais la survie de la moitié opposée à la base est incertaine. (Semi-tendineux : figures 4'-a et 4'-b)

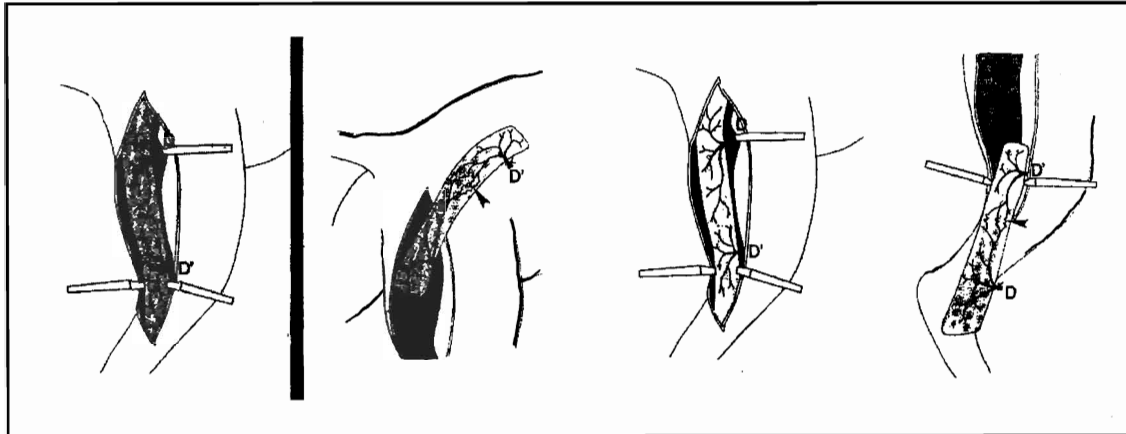


Figure 4'-a (à gauche) Le muscle semi tendineux est prélevé sur la face caudale de la cuisse. Les deux pédicules dominants, le glutéal caudal en région proximale (D) et le fémoral caudal distalement (D') sont isolés. A gauche le muscle semi tendineux peut subir une rotation autour du pédicule glutéal caudal jusqu'au périnée. Des anastomoses permettent une vascularisation du reste du lambeau. A droite, le semi tendineux permet une couverture de la partie latérale du tibia par rotation autour du pédicule fémoral caudal distal.

**Type IV** : Plusieurs pédicules mineurs pénètrent le corps du muscle de son origine jusqu'à son insertion. Leur arc de rotation est limité car chaque pédicule vascularise un petit morceau de muscle. On peut en transférer une partie après ligature d'un ou deux pédicules mineurs mais la survie est aléatoire. (sartorius caudal : figure 5')

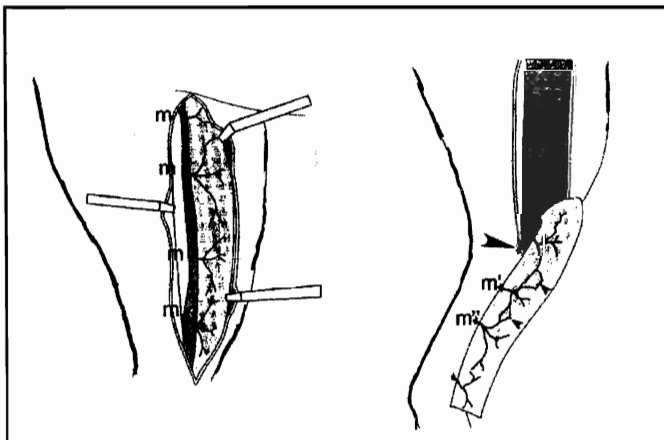


Figure 5' : Le muscle sartorius caudal est prélevé sur la face médiale de la cuisse. Les différents pédicules mineurs sont isolés (m). Le muscle sartorius caudal subit une rotation en ilot basée sur la vascularisation saphène réverse après ligature de l'artère saphène et de la veine saphène médiale (flèche) proximale à son entrée dans le muscle. La vascularisation peut se faire par des anastomoses sur le reste du lambeau.

**Type V** : Deux systèmes se partagent la vascularisation du muscle : un pédicule vasculaire dominant au niveau de l'insertion, et une série de pédicules mineurs le long de son origine. En cas de ligature d'un des deux systèmes, le muscle peut survivre mais si le pédicule dominant est sacrifié la rotation est limitée par la largeur de la base.( Figure 6')

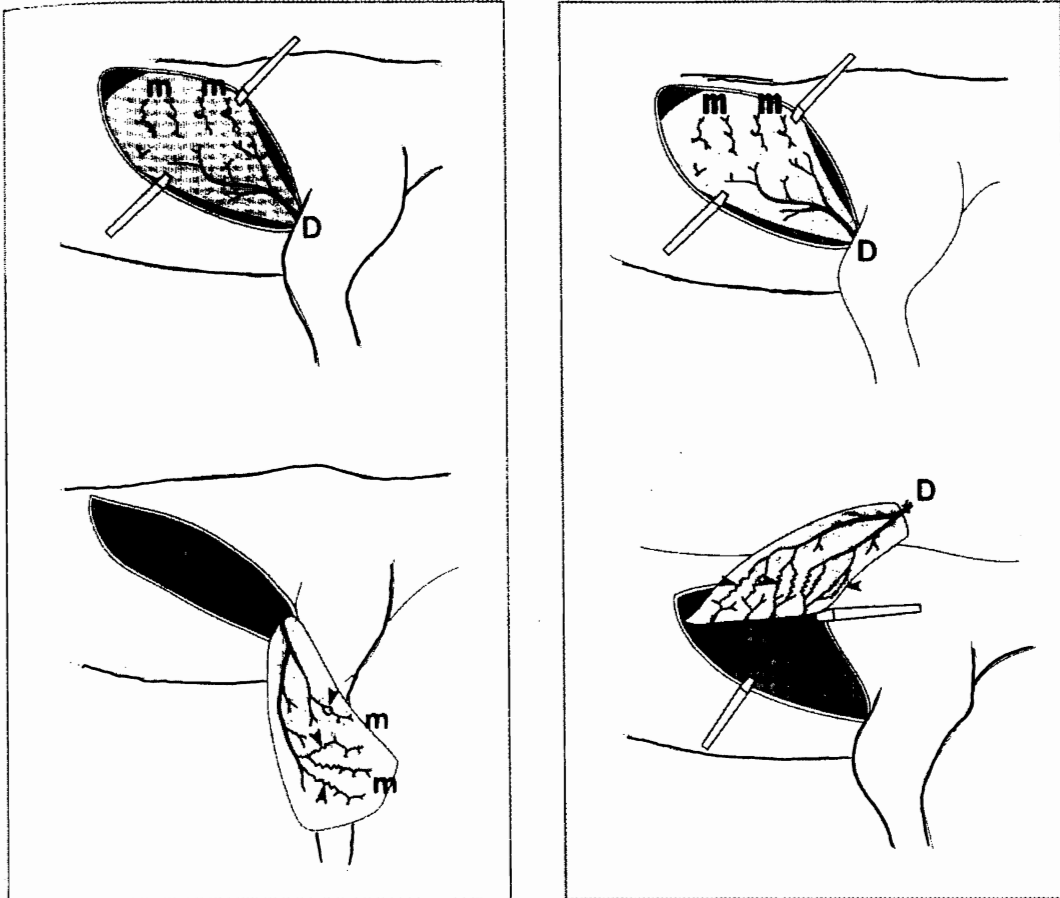


Figure 6' : Le muscle grand dorsal est prélevé sur la partie latérale du thorax droit. La vascularisation est assurée par un pédicule dominant issu de l'artère thoracodorsale (D) et une série de pédicules secondaires (m). A gauche, le muscle grand dorsal subit une rotation autour du pédicule dominant et couvre ainsi la partie latérale du membre thoracique. A droite, le muscle grand dorsal subit une rotation et couvre le rachis thoracique. La largeur de la base limite le degré de rotation. La viabilité de ce lambeau n'a pas été testée expérimentalement

Les muscles sélectionnés doivent être larges et épais, superficiels et facilement accessibles. La perte de substance doit se trouver dans l'arc de rotation du muscle. La morbidité sur le site donneur doit être minimale et la fonction du muscle sans importance ou maintenue par un autre muscle travaillant en synergie. (181)

Les principaux muscles utilisés sont pour le membre antérieur (ou supérieur) :

- le grand dorsal



- le brachio-radial (ou long supinateur)
- le grand pectoral

et pour le membre postérieur (ou inférieur) :

- le gastrocnémien médial
- le gastrocnémien latéral
- le soléaire à pédicule proximal ou distal (ou triceps sural)
- l'extenseur commun des doigts
- le long fléchisseur du doigt. (15, 77, 78, 133, 152, 161, 245, 252, 253 )

Le gastrocnémien est avec le soléaire à pédicule proximal surtout utilisé pour la couverture de la moitié ou des deux tiers proximaux de la jambe. Le taux de réussite (absence de nécrose totale ou partielle) approche les 90 % avec ce type de technique. (62, 77, 133, 245, 252)

Le soléaire à pédicule distal, intéressant pour les couvertures du tiers inférieur de la jambe se révèle d'une viabilité moins sûre (44 % d'échecs pour Meyer).(152)

L'extenseur commun des doigts, bien que de petite taille, se révèle utile pour les pertes de substance distales.

Les avantages de ce type de lambeaux sont leur facilité de réalisation même par un chirurgien orthopédiste et leur viabilité importante. (181)

Les inconvénients et les échecs peuvent être dus à plusieurs causes :

- la première tient à la contusion des muscles employés situés à proximité du site de fracture, le traumatisme à haute énergie créant inévitablement des lésions sur les muscles locaux. L'angiographie peut permettre de vérifier cette intégrité.
- le prélèvement du muscle au niveau du foyer de fracture aggrave la dévascularisation
- très fréquemment, la perte de substance est couverte en partie par l'extrémité du lambeau, c'est-à-dire la zone la moins vascularisée. (161, 187)

Ces lambeaux sont tout de même très utilisés pour la couverture de la moitié proximale du segment jambier . Pour la partie distale et pour les pertes étendues, l'utilisation des lambeaux musculaires libres assure une meilleure couverture.(133, 245)

### 3 . 5 . 3 . 1 . 2 - Les lambeaux libres musculaires ou musculo-cutanés

Le principe de ces lambeaux repose sur la revascularisation par anastomose vasculaire d'un muscle ou d'une partie de muscle à distance de son site de prélèvement.

C'est au niveau du tiers inférieur de la jambe qu'ils trouvent leurs principales indications ainsi que pour des pertes de substances importantes. Le taux de réussite maximum semble

significativement plus élevé s'ils sont réalisés dans les 3 à 5 premiers jours après l'accident. (32, 71, 184)

Passé ce délai, la dissection et les anastomoses micro chirurgicale, en particuliers veineuses sont plus difficiles en raison de la fibrose post traumatique.

Les avantages sont donc la possibilité de couvrir des zones étendues, où un lambeau pédiculé n'est pas suffisant, avec un muscle de bonne qualité qui n'a subi aucune contusion lors de l'accident. De plus, leur prélèvement n'aggrave pas la dévascularisation locale. (30, 55, 213)

Les taux de réussite avec ces techniques varie de 85 à 92 % en fonction des auteurs. (55, 62, 133, 245)

Tandis que Fischer (62) obtient des résultats équivalents à ceux des lambeaux pédiculés, Lenen constate une supériorité de ceux-ci par rapport aux lambeaux libres.(62, 133)

La récupération fonctionnelle est excellente, même sur les personnes âgées, malgré parfois une ankylose de la cheville.

Les causes d'échecs principales sont les thromboses, artérielle ou veineuse, et les infections. En milieu septique, le risque thrombogène particulièrement élevé explique la relative fréquence de ces échecs. Bien souvent, un mauvais parage entraîne la formation d'un sepsis sous le lambeau provoquant une thrombose secondaire. (107, 214) La nécrose ischémique du lambeau à la suite d'une infection est alors très rapide en postopératoire.

D'autres échecs peuvent provenir d'un défaut de la vascularisation au niveau des artères tibiales, principales artères receptrices. Et, le fait de greffer un lambeau musculaire peut aggraver une ischémie sous-jacente de l'extrémité. Hodgkinson (97) propose, en cas de défaillance vasculaire, l'utilisation des vaisseaux du membre opposé intact le temps d'une bonne récupération du membre atteint, mais ceci impose une immobilisation stricte et le plus souvent la mise en place d'un fixateur externe entre les deux jambes.(97, 252, 253)

Les principaux muscles utilisés sont le grand dorsal (latissimus dorsi), le droit de l'abdomen (rectus abdominis) et le muscle gracile (30, 32, 71, 72, 100, 133, 161, 163, 184, 245, 246, 247). D'autres muscles sont utilisés de façon moins fréquente : le parascapulaire (152) et le droit interne (161)

Pour combler de grandes surfaces, le grand dorsal est le muscle de référence pour plusieurs raisons :

- il s'agit d'un lambeau de grande taille (25-30 x 30-40 cm) aux vaisseaux de diamètre important (2-2,7 mm) possédant un pédicule de longueur suffisante (8,4 cm en moyenne) accessible au plan technique à tout chirurgien orthopédique
- son prélèvement peut être effectué à la demande : soit en totalité pour des défauts circonférentiels ou étendus à toute une face de la jambe, soit sous la forme d'un petit lambeau prélevé aux dépens de son faisceau antérieur, pédiculé sur la branche descendante de l'artère thoraco-dorsale

- dans les pertes de substance avec lésion des axes vasculaires, le prélèvement dans le même temps de l'artère du dentelé antérieur peut le transformer en véritable lambeau porte vaisseau pour le pontage. (133)

D'autres auteurs donnent certains avantages au droit de l'abdomen. Sa configuration rectangulaire permet une bonne adaptabilité à la forme du tibia et il peut être facilement taillé à la forme de la plaie. À la différence du grand dorsal, il possède deux veines chez la plupart des individus ce qui est très avantageux quand on sait que les thromboses sont les principales causes d'échec. Le calibre de ses vaisseaux varie de 2,5 à 4 mm ce qui est idéal pour les anastomoses vasculaires des extrémités. De plus, son accessibilité est facile et permet le travail de deux équipes en même temps (site de prélèvement et site receveur). (245)

Bien que considéré comme mince, le muscle gracile peut, une fois achevé le retrait de son épimysium, recouvrir une surface de 300 cm<sup>2</sup>. Sa finesse et sa très bonne vascularisation (malgré un pédicule court de 6 cm) avec deux veines et une artère de 1,5 à 2,5 mm de diamètre en font un très bon muscle pour la couverture des lésions tissulaires. Son accès en peropératoire est facile et sa longueur de 24 cm permet de couvrir la plupart des plaies. Ce n'est pas le muscle de choix mais il peut être envisagé en seconde intention. (100)

Ces techniques de couverture sont maintenant bien standardisées en médecine humaine et de nombreux lambeaux vascularisés sont décrits pouvant être composés de n'importe quel tissu tant qu'il est vascularisé par une artère et une veine uniques.

Les premiers cas de transferts tissulaires en pratique vétérinaire sont rapportés par Miller en 1986. Depuis cette époque, d'autres applications expérimentales et cliniques ont été décrites. Les lambeaux cutanés (cervical superficiel), fascio-cutanés (saphène), musculaires (trapèze et grand dorsal), musculo-péritonéaux (abdominal transverse) et osseux (ulna proximal et distal) ont été décrits dans la littérature vétérinaire.

Ainsi Fowler (66) dans une étude rétrospective sur 57 transferts tissulaires (cutané, fasciocutané, musculaire et osseux) libres avec revascularisation par anastomose vasculaire obtient un taux de réussite de 93 %. Sur les 57 interventions 18 concernaient des pertes cutanées dont 13 accompagnées de lésions orthopédiques.

La stratégie anti-agrégante repose sur un lavage systématique des vaisseaux avec une solution à 10 U/ml d'héparine, dans certains cas associé à l'administration d'acide acétylsalicylique à la posologie de 2 à 10 mg/kg (2 fois par jour pendant 4 à 14 jours) ou à l'administration peropératoire de colloïdes de haut poids moléculaire comme le dextran qui améliorent la perfusion post-anastomotique des lambeaux.

La préparation des vaisseaux est fondamentale pour prévenir l'incorporation de l'adventice dans la lumière vasculaire. Les vaisseaux sont manipulés avec précaution pour éviter les lésions de l'endothélium et une exposition du collagène sous-endothélial.

La plupart des anastomoses réalisées sont termino-terminales : la totalité des anastomoses veineuse et les 2 tiers des artérielles. Une suture termino-latérale permet un maintien de la vascularisation distale.

Dans ce type d'intervention, le bistouri électrique, même bipolaire doit être employé avec modération. Les sutures sont réalisées avec un fil 10-0 et des aiguilles de 70 ou 100 microns.

L'ischémie du lambeau dure de 35 à 210 minutes sans répercussions apparentes.

La visualisation de la plupart des ischémies par thrombose traumatique survenant dans les 30 minutes, il est intéressant de conserver un accès au site d'anastomose avant de finir les sutures superficielles.

Ensuite, le lambeau est maintenu humide et tiède sous un pansement qui ne doit ni être compressif ni masquer la partie extérieure de celui-ci.

Une congestion marque une insuffisance veineuse et un défaut artériel sera diagnostiqué seulement par Doppler. Une différence de chaleur ainsi qu'une absence de saignement lors de piqûre sont toutefois des signes évocateurs d'ischémie.

Fowler soulève le problème de l'expérience, non seulement celle du chirurgien mais également celle de l'aide. L'inexpérience de l'aide semblent être un facteur majeur de complications ainsi que l'emploi du lambeau musculaire grand dorsal de réalisation plus délicate que les autres types.(66, 67)

Ces complications sont de type infectieux ou déhiscence partielle de sutures. Les causes d'échecs sont le plus souvent liées à des thromboses associées à des problèmes septiques profonds.

(66, 67)

### 3 . 5 . 3 . 2 - Les lambeaux fascio-cutanés

Ces lambeaux développés dans les années 80 ne permettent pas l'apport d'une vascularisation aussi importante que les lambeaux musculaires. Leur utilisation se fait surtout pour des plaies plus superficielles.

La difficulté de ces lambeaux réside dans la réalisation des incisions.

Les principes de base des lambeaux fascio-cutanés se définissent comme suit :

- la faisabilité dépend de l'étendue de la lésion osseuse, de sa localisation et de la disponibilité locale des tissus
- le tissu de la face antéro-médiale du tibia est inutilisable comme donneur
- le schéma du lambeau est déterminé par l'orientation de la plaie avant le parage

- la base du lambeau doit être au-dessus du septum intermusculaire ou au-dessus de l'artère tibiale postérieure pour une bonne vascularisation du fascia

En général, ils sont utilisés pour des couvertures antéro-médiales du tibia. Les lambeaux fascio-cutanés bi pédiculés sont utilisés pour couvrir des plaies propres d'une taille inférieure à 3 cm (Figure 6). Pour de plus grosses lésions, un ou plusieurs lambeaux peuvent être utilisés.

La peau dépourvue d'attaches en relation avec la graisse sous-cutanée et le tissu oedématié sont incompatibles comme donneurs. La continuité entre le sous-cutané et le fascia doit être observée. Dans certaines plaies, la peau reste attachée à la graisse sous-cutanée mais est séparée du fascia profond et donc de la vascularisation septo-cutanée.

Le rapport longueur sur largeur de 3/1 est en général suffisant mais une dissection des vaisseaux septo-cutanés peut permettre la formation d'un lambeau fascio-cutané centré sur un axe vasculaire.

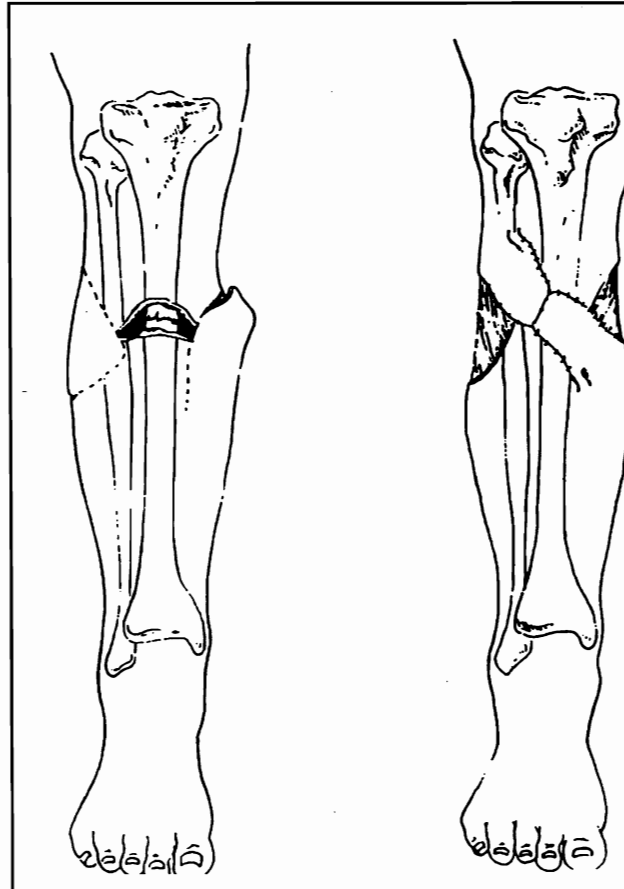
À l'heure actuelle, les lambeaux musculaires font l'unanimité dans le traitement des fractures ouvertes du tibia, mais Dean Cole, grâce à cette technique simple de transposition de tissu fascio-cutané, peu onéreuse obtient des résultats satisfaisants dans plus de 95 % des cas. Il n'est pas alors nécessaire d'immobiliser un chirurgien vasculaire et cette couverture précoce empêchant la contamination et la dessiccation peut être réalisée en urgence. (33)

Remarque : Un autre protocole est intéressant pour les pertes de substances horizontales parfois difficiles à combler. La fracture est tout d'abord réduite en diminuant la longueur du membre puis une fois la cicatrisation accomplie, l'os est rallongé. Il est par contre hors de question de pratiquer une excision d'os simplement pour obtenir une cicatrisation cutanée. La récupération fonctionnelle est rapide et, hormis l'allongement, nécessite peu d'interventions secondaires.

Ces résultats sont encourageants et devraient être envisagés sur les patients polytraumatisés ne pouvant subir une intervention trop lourde

### **Figure 6 : Exemple de lambeau fascio-cutané**

(d'après Dean Cole J – A sequential protocol for management of severe open tibial fractures . – Clin Orthop1995, 315, 84-103.)



#### **3 . 5 . 3 . 3 -Les couvertures cutanées**

Cette couverture cutanée peut être apportée par les lambeaux musculo-cutanés ou par les lambeaux fascio-cutanés, mais beaucoup préfèrent les greffes cutanées.

Les greffes cutanées utilisées sont dites en couche mince. Elles intéressent l'épiderme et une partie plus ou moins épaisse du derme. Le fait d'inciser le derme dans son épaisseur permet l'obtention d'une meilleure vascularisation qui sera exposée sur le site receveur. L'inconvénient de ces greffes est qu'elles sont fragiles et moins durables.

La réalisation de ces greffons nécessite un dermatome spécial permettant l'obtention d'une coupe régulière. Ils peuvent ensuite être incisés de façon à obtenir des filets. Ces greffes cutanées en couche mince et en filet permettent un écoulement des exsudats et du sang, une augmentation de la surface de la greffe et l'application sur des zones irrégulières.

Leur mise en place est réalisée soit sur une plaie fraîche soit de façon retardée (3 à 5 jours) après apparition d'un tissu de granulation. (224, 225,77, 78,152)

Elles ne prennent ni sur l'os, ni sur le cartilage, le tendon ou le nerf.

Leur application sur un lambeau musculaire sera décalée de 3 à 5 jours permettant ainsi une bonne observation de la plaie. (77)

En médecine humaine, leur résultat esthétique est nettement supérieur par rapport aux lambeaux musculo-cutanés qui ont des phases de remaniement longues et des cicatrices souvent boursouflées.

Remarque :

Les **lambeaux hétéro jambiers** ou " **cross-leg**", reposent sur l'utilisation de tissus sains du membre opposé en maintenant leur vascularisation en place. L'apparition des lambeaux libres et des lambeaux fascio-cutanés à pédicule distal a restreint leur indication.

Malgré leurs inconvénients (traumatisme supplémentaire, immobilisation prolongée avec une fixation externe tibio-tibiale), ces lambeaux gardent des indications :

- en première intention, lorsque l'état vasculaire et septique du membre contre-indiquent la réalisation d'un lambeau libre ou homo-jambiers
- en seconde intention, après l'échec d'un premier lambeau
- facilité et rapidité d'exécution

L'immobilisation, lors de la réalisation d'un lambeau hétéro-jambier, est de 3 semaines pour les fascio-cutanés et de 6 semaines pour les musculaires avant leur séparation. (152, 184)

### 3 . 5 . 3 . 4 - Applications en médecine vétérinaire

L'approche est différente entre l'homme et l'animal.

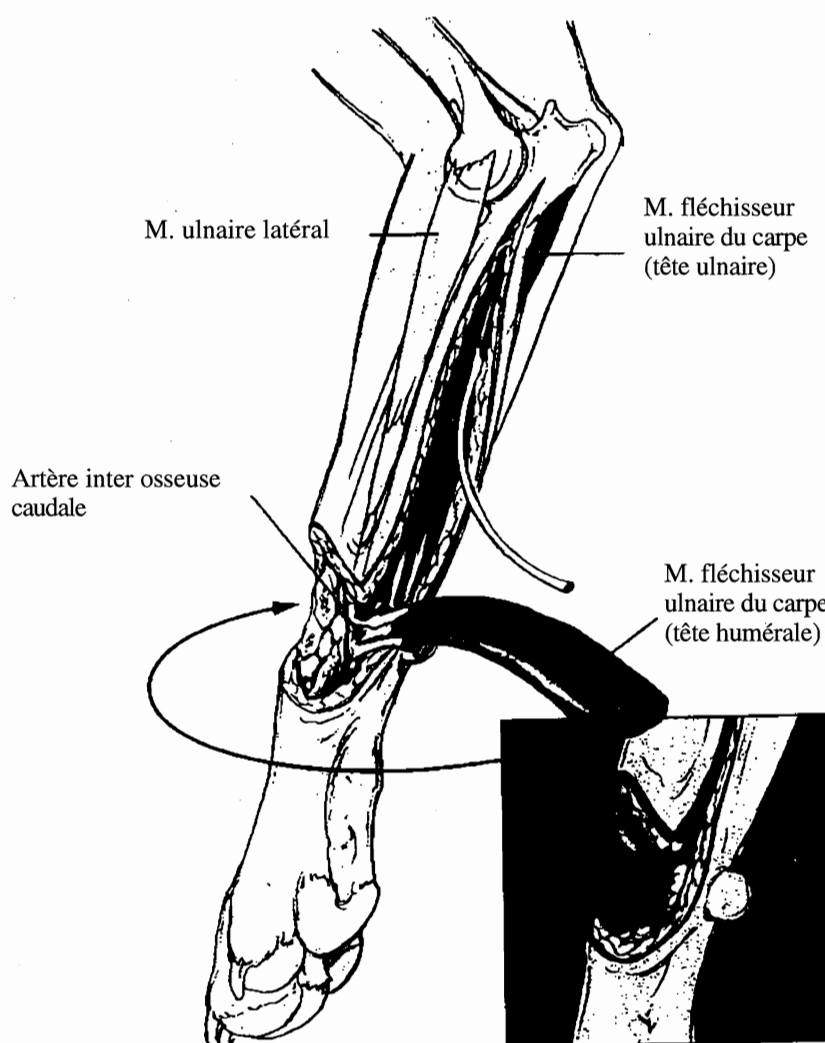
Le vétérinaire est soumis à un certain nombre de problèmes auquel n'est pas confronté le chirurgien de médecine humaine :

- la non coopération de certains animaux rend toute réalisation trop fragile difficile, risquée voire impossible : lambeaux libres ou greffes cutanées en filet
- les lambeaux libres bien que décrits dans la littérature nécessitent un transfert avec une anastomose vasculaire impliquant un équipement et une technique que ne possède pas la plupart des chirurgiens vétérinaires (66, 67, 231)
- de plus, la gestion des cas et leur transfert est souvent tardive compromettant la sauvegarde des membres les plus atteints
- le coût limite souvent les moyens thérapeutiques.(176, 231)

Compte tenu des différences anatomiques entre l'homme et les carnivores concernant la vascularisation cutanée, les résultats et les techniques opératoires ne peuvent pas être extrapolés. Ainsi, les lambeaux pédiculés fascio-cutanés ont un fort taux de nécrose chez le chien si on n'y associe pas la couche de muscle panniculaire.(174, 176)

Néanmoins, l'utilisation des lambeaux musculaires a montré son efficacité aussi bien au niveau expérimental que clinique (Figure 7). (9, 34, 35, 190) La couverture musculaire permet à la fois une rapidité de cicatrisation, une prévention de l'infection et une amélioration de la vascularisation osseuse. Malheureusement, cette technique n'a pas encore été décrite sur de grosses séries dans le traitement des fractures ouvertes.

**Figure 7 : Utilisation du muscle fléchisseur ulnaire du carpe pour la reconstruction de lésions de la partie distale de l'antérieur.**



D'après Chambers JN " Flexor carpi ulnaris muscle flap for reconstruction of distal forelimb injuries in two dogs" Vet Surg. 1998, 27, 342-347



Les transferts musculo-cutanés ne sont pas, dans la plupart des cas, nécessaires chez les carnivores domestiques compte tenu de l'élasticité de leur peau et de la facilité d'élévation de lambeaux centrés sur un axe vasculaire. Les lambeaux locaux de réalisation simple peuvent être réalisés en rotation ou en glissement, mono pédiculés ou bi pédiculés.

L'utilisation d'expansurs cutanés est possible chez le chien. Cependant leur coût est élevé et les échecs sont fréquents :

- déhiscence de sutures
- exposition du matériel d'expansion.

De plus, cette expansion est lente et s'adapte mal au traitement des fractures ouvertes qui nécessitent une couverture rapide.(188, 189)

#### Rappel :

Les vaisseaux cutanés directs courent parallèlement à la surface de la peau au niveau sous dermal en envoyant des ramifications aux niveaux supérieurs en formant un plexus sous-dermal. Ce plexus est étroitement lié aux muscles cutanés du tronc. Quand ce muscle est absent, sur les extrémités des membres, le plexus est positionné dans la graisse sous cutanée.

On distingue alors 2 types de lambeaux :

- les lambeaux centrés sur un axe vasculaire définissant ainsi des angiosomes centrés sur des artères cutanées directes
- les lambeaux de glissement ou bipédiculés vascularisés par un plexus sous-dermal court.(188, 189)

Ces différents territoires vasculaires, les repères anatomiques et la vascularisation cutanée directe sont actuellement bien connus (Tableau 13).

**Tableau 13 : Les lambeaux centrés sur un axe vasculaire, utilisables dans la couverture des fractures ouvertes, sont au nombre de 6 : (D'après Pavletic in Slatter DH, Textbook of Small Animal Surgery 2nd Edition, London, Saunders)**

Artère	Repères anatomiques	Incisions	Utilisations potentielles
<p><b><u>Branche cutanée de l'artère omocervicale</u></b></p>	<p>Épine de la scapula Bord cranial de la scapula Animal en décubitus latéral Origine des vaisseaux au niveau du nœud lymphatique pré-scapulaire.</p>	<p><u>Caudale</u> : épine de la scapula en direction dorsale <u>Craniale</u> : parallèle à la caudale à une distance de 2 fois la longueur épine-bord cranial de la scapula <u>Taille</u> : variable, jusqu'à l'articulation scapulo-humérale contro-latérale.</p>	<p><u>Perte de substance</u> facial, cervical, de l'épaule ou du creux axillaire</p>
<p><b><u>Artère thoracodorsale</u></b></p>	<p>Épine de la scapula Bord caudal de la scapula Origine des vaisseaux dans la dépression caudale de l'épaule sur une ligne parallèle à la partie dorsale de l'acromion</p>	<p><u>Crâniale</u>: épine de la scapula en direction dorsale <u>Caudale</u> : parallèle à la caudale à une distance de 2 fois la longueur épine-bord caudal de la scapula <u>Taille</u>: variable, peut survivre ventralement à l'articulation scapulo-humérale controlatérale</p>	<p><u>Perte de substance</u> thoracique, de l'épaule, de membre antérieur et du creux axillaire  Chez le chat, extension jusqu'au carpe</p>

<p><b><u>Artère brachiale superficielle</u></b></p>	<p>Face de flexion du coude Humérus Grand tubercule</p>	<p>La base du lambeau inclus le tiers antérieur de la face de flexion du coude  Les incisions sont parallèles au corps de l'humérus  <u>Taille</u> variable, se termine au niveau du grand tubercule</p>	<p><u>Perte de substance</u> de l'avant-bras et du coude</p>
<p><b><u>Artère épigastrique superficielle caudale</u></b></p>	<p>Ligne médiane de l'abdomen Chaîne mammaire ou base du prépuce</p>	<p><u>Médiale</u>: sur la ligne médiane de l'abdomen (chez le mâle, la base du prépuce est incluse dans l'incision)  <u>Latérale</u>: parallèle à l'incision médiale à distance égale des mamelles</p>	<p><u>Perte de substance</u> sur la face médiale du grasset Chez le chat, extension à la partie proximale des métatarsiens</p>
<p><b><u>Artère géniculée</u></b></p>	<p>Rotule Tubérosité tibiale Grand trochanter</p>	<p><u>Base du lambeau</u>: 1 cm proximal à la rotule et 1,5 cm distal à la tubérosité tibiale  Marges du lambeaux parallèles au fémur caudo-dorsalement  Se termine au niveau du grand trochanter</p>	<p><u>Perte de substance</u> Partie latérale et médiale du membre inférieur du grasset au jarret</p>
<p><b><u>Artère et veine saphène médiale</u></b></p>	<p>Rotule</p>	<p><u>Supérieure</u>: au niveau de la rotule  incisions parallèles à 0,5 ou 1 cm crânialement ou caudalement des branches craniales et caudales de l'artère saphène</p>	<p><u>Perte de substance</u> sur le tarse et les métatarses</p>

La survie des lambeaux centrés sur un axe vasculaire est de 96 à 100 % avec des repères anatomiques bien définis et une vascularisation qui permet leur mise en place sur des plaies hors des conditions optimales : contamination, os, tendon ou cartilage exposé. (Rémédios)

Ils sont simples à réaliser et ne nécessitent pas de matériel particulier. De plus, ils permettent la couverture de surfaces importantes en une seule intervention.

L'inconvénient principal mais d'importance mineure est d'ordre esthétique avec une cicatrice importante et une implantation du poil modifiée.

Les autres complications sont des collections séro-hémorragiques (qui peuvent être prévenues par la pose de drains de Penrose ou de drains aspiratifs pendant 3 ou 4 jours), de l'œdème, des déhiscences de sutures ou des infections superficielles.(Rémédios)

### **Remarque :**

Une récente comparaison de la revascularisation corticale induite par un lambeau musculaire libre ou par un lambeau cutané de saphène reverse soulève toute une série de questions et remet en cause certaines études. En effet, sur un modèle expérimental de fracture ouverte sur une extrémité, aucune différence significative n'a été mesurée pour la circulation sanguine osseuse, la formation d'os intra-cortical, la porosité corticale et la formation d'os périosté. Ces deux lambeaux apportent une revascularisation identique majorée par la dénervation sympathique qui provoque une vasodilatation.(182)

### 3 . 5. 3. 5 - Une technique indirecte:

#### les greffes pédiculées à distance

Il s'agit de détacher partiellement un segment de peau pour le suturer à une plaie distante. Cette technique n'est utilisée que si aucune autre plus simple n'est possible.

On différencie des pédicules simples avec une seule attache sur le site donneur et des pédicules doubles impliquant une tunnelisation du membre. La chirurgie peut être réalisée immédiatement si la plaie est propre mais il est préférable d'attendre l'apparition d'un tissu de granulation (durée de 11 à 28 jours).

La plaie est positionnée sous le lambeau préalablement formé par élévation du tissu cutané, avec sa vascularisation complète, en région thoracique ou abdominale. Ensuite les marges vont être suturées entre elles. La fin du transfert est effectuée après un délai de 2 ou 3 semaines durant lequel une immobilisation complète du membre par rapport au thorax est nécessaire. Cette technique ne peut être utilisée qu'en cas de fixation interne.

Cette technique permet néanmoins une couverture de 95 à 100 % de la plupart des plaies distales et surtout, des plaies circonférentielles.

L'infection superficielle est la complication la plus fréquente associée à cette technique, mais, elle ne modifie pas la survie du lambeau et répond bien à une antibiothérapie par voie générale.

Les autres complications proviennent de l'immobilisation prolongée du membre : ulcères de décubitus, amyotrophie et ankylose articulaire. (132)

Les greffes cutanées libres sont réalisables en pratique vétérinaire : en timbre, en pastille ou en lamelles. Les greffes en couche mince bien que décrites chez le chien ne sont que rarement réalisées en pratique. En effet, compte tenu de leur fragilité, elles nécessitent une immobilisation parfaite de la plaie difficile à obtenir. Chez le chat, la peau est d'une telle finesse qu'elles ne sont pas réalisables. (174, 176,177)

La fermeture complète de la plaie est le plus souvent obtenue par cicatrisation de seconde intention. (6, 7, 117, 118). Après une phase de contraction, la plaie bourgeonne et s'épithélialise. La guérison de la plaie s'effectue en 6 à 10 semaines en fonction de l'étendue de la perte de substance.

Une suture partielle de la plaie avec la technique de lacet de chaussure (élastiques et agrafes) permet un rapprochement maximal de la plaie sans risque de nécrose cutanée. Le chirurgien préplace une série d'agrafes le long de la plaie qu'il utilise pour passer un fil qui servira de lacet. Un serrage adéquat diminue la taille de la plaie.

#### **Remarque :**

Expérimentalement, cinq techniques ont été essayées pour stimuler la croissance du tissu de granulation sur l'os :

- perforation de la corticale et exérèse du caillot formé
- perforation de la corticale et maintien du caillot formé
- exérèse de la corticale à la curette et exérèse du caillot formé
- exérèse de la corticale à la curette et maintien du caillot formé
- traitement par médications locales.

Ainsi un curettage ou une perforation de la corticale de l'os à nu permet, par la mise en place et le remaniement de l'hématome formé l'obtention plus rapide du tissu de granulation. (130)

## **4 – Gestion de la fracture**

### **4. 1 - Défects et comblements osseux**

Les retards de consolidation et les pseudarthroses font partie des complications majeures du traitement des fractures ouvertes. Ce type de complication est rapporté dans 8 à 60 % des cas (en fonction du type de fracture ouverte) et semble deux fois plus fréquent pour les fractures ouvertes que pour les fermées.

(15, 61, 62,77, 78, 98, 112, 230)

Ainsi, après un parage minutieux et une stabilisation adéquate, la mise en place de traitements complémentaires éventuels doit avoir lieu pour favoriser la cicatrisation osseuse.

On sait que la couverture musculaire des foyers de fracture apporte une amélioration dans la vascularisation de l'os et ainsi permet une cicatrisation plus rapide avec expérimentalement un taux de non-union qui passe de 75 à 25 %. Pourtant, pour certaines fractures ouvertes associées à une perte de substance osseuse majeure ou avec une forte comminution, la couverture musculaire n'est pas suffisante. (62, 190)

Plusieurs auteurs, compte tenu de la forte probabilité d'obtenir un retard de cicatrisation ou une pseudarthrose ont proposé l'utilisation de greffes osseuses spongieuses ou cortico-spongieuses en prophylaxie.

Les principales causes de consolidation retardée sont :

- une instabilité trop importante du montage, le cal périosté est volumineux mais le cartilage inter fragmentaire ne parvient pas à se minéraliser. Tant que l'ossification du tissu fibro-cartilagineux ne se fait pas, la mobilité du site provoque des lésions sur la néovascularisation inter fragmentaire qui ne peut se mettre en place. Avec une instabilité modérée, le cartilage peut se calcifier mais ce processus est lent.
- un dégât vasculaire peut également diminuer le processus cicatriciel. Le radius -ulna et le tibia ont une cicatrisation déjà lente due à la faible quantité de tissus mous périphériques
- les grosses lacunes sur le foyer dues à un défaut de réduction, à une comminution sévère ou à une perte d'os augmentent le temps de cicatrisation
- les muscles, fascias et autres tissus interposés empêchent la formation du cal osseux inter fragmentaire
- un phénomène septique sur un site de fracture retarde ou empêche la cicatrisation en augmentant l'ischémie et la nécrose locale. Durant la réponse inflammatoire, les bactéries et les cellules de l'inflammation meurent et relarguent des enzymes protéolytiques avec une diminution du pH et une nécrose du tissu osseux.(112)

#### 4 . 1 . 1 - Rôle des transports osseux non vascularisés : greffes spongieuses et cortico-spongieuses

Le but des greffes osseuses est l'ostéogénèse. Cette ostéogénèse provient soit des cellules du transplant qui sont capables de fabriquer de l'os, soit des cellules de l'hôte.

La formation d'os par les cellules transplantées est rapide et intervient de façon la plus importante dans les 4 à 8 premières semaines : c'est l'ostéo-production.

L'os spongieux, grâce à sa vascularisation plus importante et sa grande population de cellules quiescentes ou d'ostéoblastes actifs a un potentiel d'ostéogénèse supérieur à l'os cortical (Tableau 14). Durant la phase de remodelage, une variété de protéines morphogéniques peuvent

induire la différenciation de cellules mésenchymateuses de l'hôte en cellules osseuses : ostéogénine, facteur inducteur des ostéoblastes, TGF  $\beta$ : c'est le rôle ostéoinducteur de la greffe.

De même, les cytokines (IL1) ont un rôle majeur dans la résorption ostéoclasique de l'os. Le TGF  $\beta$  stimule les ostéoblastes (*in vitro*), l'angiogénèse et la formation de tissu de granulation. De plus, quand il est placé dans une large perte de substance, cet os sert d'échafaudage, de support pour le développement de la vascularisation de l'os néoformé et pour la croissance de ses cellules osseuses: rôle ostéoconducteur.

Remarque : L'os cortical et les implants sont le plus souvent utilisés pour leur importance mécanique et n'ont aucun rôle dans l'ostéoinduction et l'ostéogénèse. (222)

Ces greffes peuvent être des autogreffes (site donneur sur le même patient) ou des allogreffes (site donneur sur un autre patient de la même espèce).

L'utilisation de greffes spongieuses en prophylaxie diminue nettement le taux de non union mais leur mise en place doit tenir compte de l'état de la vascularisation locale. Leur implantation doit, dans tous les cas, être réalisée le plus tôt possible après l'obtention d'un bon statut vasculaire.

Ainsi, pour une fracture de type I ou II, si la greffe est nécessaire (lacune osseuse ou comminution), elle pourra être réalisée soit immédiatement avant la fermeture cutanée, soit de façon précoce (à 2 ou 3 semaines chez l'homme). Toutefois, la mise en place du greffon ne doit jamais être réalisée dans un milieu infecté ou contaminé car elle servira de substrat à l'infection. Christian (41) et Fischer (62) recommandent une greffe 6 à 8 semaines après épithélialisation complète de la plaie ce qui est un signe d'absence d'infection et de bonne vascularisation de la plaie. Cependant, à ce stade du traitement, le retard de cicatrisation est déjà installé et la greffe est plus curative que préventive.

Ainsi, Blick et Gustilo obtiennent des résultats très satisfaisant avec des greffes précoces à 2 ou 3 semaines sur des fractures ouvertes simples.(15, 41, 62, 77, 78)

Pour les fractures ouvertes de type III, Blick conseille la réalisation de la greffe spongieuse 10 semaines après l'accident ou 8 semaines après l'obtention de la couverture cutanée. Il a montré, par rapport à un groupe de référence une diminution de 57,4 semaines à 45,7 semaines le temps moyen pour obtenir la cicatrisation osseuse.(15, 252, 253)

D'autres auteurs recommandent l'utilisation de ces greffes environ 4 à 6 semaines après l'accident quand la cicatrisation de la plaie est complète.(61, 77, 78, 79)

Dans la série de Blick (15), les fractures ont cicatrisé dans 96 % des cas mais 13 % (7 cas) ont nécessité une seconde greffe. Or, sur ces 7 cas, 4 avaient perdu un segment d'os et 2 avaient une perte d'os supérieure à 50 % de la circonférence de la corticale. Si on ramène ces chiffres aux données de l'échantillon, on s'aperçoit que c'est en fait 4 cas sur 9 avec une perte d'os et 2 cas sur 12 avec une perte supérieure à 50 % qui ont nécessité 2 greffes d'os spongieux. De plus, les pertes de segment d'os avaient une longueur moyenne de 3,8 cm avec un maximum de 8 cm, alors qu'en routine, il est fréquent d'avoir des pertes supérieures à 10 cm.

Les principaux inconvénients de cette technique pour les grosses lacunes sont le nombre répété d'interventions ( pour des défauts dont la taille moyenne est de 10,25 cm, 2 à 4 greffes d'os spongieux sont nécessaires par patient (41)), le matériel de greffe nécessaire important et la morbidité relative au prélèvement sur le site donneur.

De plus, cette technique impose un risque d'infection sur le site de prélèvement, une augmentation des pertes sanguines et un temps opératoire rallongés. En général, cette morbidité est faible chez les carnivores domestiques et le bénéfice de cette greffe est largement supérieur à ses inconvénients. (119)

Une lacune de moins de 3 cm est une bonne indication pour les greffes d'os spongieux. Certains auteurs proposent ce type de traitement pour des lacunes jusqu'à 7,6 cm (73, 202) et 8 cm (41, 253), même si Christian (41) obtient une cicatrisation sur des défauts supérieurs à 10 cm. Passées ces limites, d'autres techniques de transport doivent être envisagées et, pour des pertes de plus de 12 cm, l'amputation doit être conseillée en fonction du patient. (183, 230)

Le principal site de prélèvement en médecine humaine pour l'os spongieux se situe au niveau de la crête iliaque. (41, 62,73, 202) La collecte doit être faite dans des conditions de chirurgie orthopédique classique avec un matériel différent de celui utilisé pour le traitement de la fracture ouverte si la greffe a lieu de façon précoce.(231)

Des greffes cortico-spongieuses peuvent être réalisées si le transplant a un rôle mécanique dans la stabilité du foyer de fracture. Cependant, en milieu septique, l'os cortical, très lent à se revasculariser, conduit la plupart du temps à la formation de séquestres.

#### Apport de l'utilisation des billes imprégnées d'antibiotiques :

Il est recommandé, si la greffe est retardée, de mettre en place des billes imprégnées d'antibiotiques dans la lacune. Leur rôle est d'une part de relarguer localement des antibiotiques, mais ils participent également au maintien d'un espace bien défini permettant, par la suite, le positionnement plus facile et en plus grande quantité de greffon. Leur absence implique une dissection du tissu cicatriciel dans le foyer ainsi que d'éventuelles adhérences à l'os.(41, 242, 252, 253)



Ainsi, pendant longtemps, l'approche classique des fractures ouvertes du tibia chez l'homme consistait en une greffe de tissu spongieux postéro-latérale sur le tibia. (15, 242) Cette technique permettait le positionnement du greffon dans une zone bien vascularisée en ménageant la face antérieure souvent traumatisée.

Maintenant, les billes imprégnées d'antibiotiques associées à l'utilisation des lambeaux musculaires font que la voie d'abord antéro-médiale plus facile et aussi fiable a été adoptée par de nombreux auteurs. (41, 62, 242)

#### 4 . 1 . 2 - Les greffes osseuses vascularisées libres

Pour des pertes de substance osseuse supérieures à 6 ou 10 centimètres concomitantes à d'importantes lésions des tissus de couverture, la sauvegarde du membre peut être discutée. Un échec dans le traitement conservateur peut avoir des conséquences catastrophiques aussi bien fonctionnelles, que psychologiques et économiques pour le patient. (70, 183)

Si la décision est prise de sauvegarder le membre, l'utilisation de greffes osseuses vascularisée est une possibilité thérapeutique.

La première application clinique de cette technique a été réalisée en 1975 par Taylor : un segment de fibula fut utilisé pour reconstruire un défaut du tibia controlatéral. De la même façon, Sérafin et coll. utilisent une côte pour traiter une non-union suite à une exérèse carcinologique.(243)

Il s'agit de l'anastomose vasculaire d'un fragment d'os prélevé sur un site donneur avec la vascularisation du site receveur, éventuellement celle d'un précédent lambeau musculaire. (109)

L'intérêt étant d'apporter un tissu vascularisé, d'une viabilité supérieure à l'os spongieux) dans un tissu déjà lésé. Cependant, cette technique impose la réalisation d'une seconde chirurgie vasculaire et rend nécessaire la présence sur le site d'au moins 2 vaisseaux intacts.

L'association d'une fixation rigide à une bonne technique vasculaire assure expérimentalement une survie de 90 % des ostéocytes du transplant avec une cicatrisation très rapide (112)

Les greffes osseuses vascularisées libres sont recommandées pour des lacunes osseuses supérieures à 6-8 cm (243, 252, 253) même si certains auteurs utilisent les greffes d'os spongieux pour des pertes supérieures à 10 cm (62).

Les greffes les plus fréquemment utilisées sont la fibula ipsi ou contro-latérale et la crête iliaque centrée sur la vascularisation iliaque circonflexe profonde.

Ces greffes peuvent être osseuses, ostéo-musculaires, ostéo-cutanées ou ostéo-myocutanées.

Leur réalisation nécessite une technique et un matériel important, avec un temps chirurgical long d'environ 5 à 8 heures.

En fonction des auteurs, les résultats sont assez variables avec de 60 à 89 % de bons résultats.(61,243, 252, 253)

Watson (242) et coll. ont complètement abandonné cette technique qui nécessite la plupart du temps d'autres procédures chirurgicales (greffes d'os spongieux complémentaires dans 17 à 46 % des cas).(252, 253)

Les complications même si elles sont peu fréquentes aboutissent fréquemment à l'amputation.(242)

Les greffes iliaques vascularisées libres sont le plus souvent utilisées en cas de lésion de la fibula controlatérale, mais leur taille ne peut excéder 10 cm en raison de sa forme courbe. Si la perte de substance est supérieure à 10 cm, l'utilisation de greffes libres vascularisées de côtes est une autre alternative.(137) Toutefois, les côtes, malléables, sont d'une solidité moindre et leur prélèvement est parfois minutieux. Leur incurvation naturelle rend leur substitution à un os droit difficile. (252, 253)

Les greffes vascularisées libres permettent une immobilisation plus courte du patient avec une cicatrisation osseuse plus rapide. Les problèmes sur le site donneur liés au prélèvement sont rares, mais le membre opposé doit être intact.(243, 252, 253)

Même si la cicatrisation osseuse est rapide, l'appui sur le membre reste limité pendant 12 à 18 semaines le temps d'obtenir l'hypertrophie de la greffe.(145) Ainsi, l'appui complet pour une greffe de fibula (lacune de 12 cm) peut être obtenu à 70 semaines contre 42 semaines pour des greffes de tissu spongieux (lacune de 6 cm). (252, 253)

Pour les lambeaux ostéo-cutanés ou ostéo-myocutanés, la présence de peau sur la greffe permet un contrôle indirect de l'anastomose et en même temps de la vascularisation osseuse. Pour les greffes osseuses pures, le monitoring est rendu difficile mais le flux sanguin osseux peut être évalué par l'utilisation de thermocouples ou du scanner après injection de Technetium. (243)

Les greffes osseuses de réalisation complexes et d'un taux de complication parfois élevé sont remplacées par certains auteurs par des techniques de transport osseux.

Remarque: Les **allogreffes** d'os cortical représentent une autre alternative pour le comblement des pertes de substance osseuses. La réalisation d'une banque d'os est possible avec une conservation entre -15 et -20°C pendant une durée maximale de 1 an. En pratique, le risque de séquestration est très important, spécialement sur les os ayant une faible couverture musculaire. Pour des comminutions d'environ 3,5 cm chez le chat, les résultats sont bons dans 90 % des cas. Néanmoins, les fractures sont fermées, et si l'infection est difficile à gérer sur l'os ou les autogreffes, elle est impossible à résoudre sur les allogreffes. (93)

Leur utilisation sur des fractures ouvertes s'accompagne dans 80 % des cas de complications. Chmell et coll. rapportent sur leur série 50 % d'infections et recommandent leur utilisation en dernier recours. (40)

**Tableau 14 : Matériaux de greffe et propriétés fonctionnelles**

Matériel de greffe	Propriétés fonctionnelles			
	<u>Ostéogénèse</u>	<u>Ostéoconduction</u>	<u>Ostéoinduction</u>	<u>Mécaniques</u>
<b>Autogreffes</b>				
Spongieuse	+++	+++	++	-
Corticale	++	++	++	+
<b>Allogreffes</b>				
Spongieuse	-	+++	++	-
Corticale	-	++	++	+
Déminéralisées	-	+	+++	-
<b>Synthétique</b>				
BMP	-	-	++++	-
Sulfate de calcium	-	+	-	+

D'après R Fitch : " Bone autografts and allografts in dogs " Compend Contin Ed Pract Vet, 1997, 19(5), 558-574.

BMP: Protéine morphogénétique osseuse

- = mauvais, + = moyen, ++ = bon, +++ =très bon, ++++ = excellent

#### 4 . 1. 3 - Techniques d'allongement et de transport osseux

Cette technique de transport d'os est indiquée seulement pour les blessures les plus sévères des membres avec une perte d'os conséquente. Son utilisation dans certains cas, pourra également faciliter la gestion des pertes de tissu de couverture. (50, 73, 202)

Ces conditions sont rencontrées le plus souvent sur les fractures complexes du tibia. Cette technique est adaptée pour des lacunes de l'ordre de 6 à 12 cm. De plus grands défauts ne sont pas compatibles avec une sauvegarde du membre à cause de la durée du traitement et des lésions

associées (Lowenberg décrit un cas avec une perte de substance et un allongement de 2 sites d'ostéotomie) (145)

L'allongement osseux est la seule technique utilisable si un seul vaisseau vascularise la jambe (Artère péroniée ou artères tibiales) une greffe osseuse vascularisée risquant de compromettre la sauvegarde du membre. (242)

Le transport osseux est sans doute la technique la plus innovatrice permise par l'emploi de la fixation externe, et spécialement les fixateurs circulaires de type Ilizarov, dans la chirurgie orthopédique reconstructrice. Ce transport osseux implique la création d'un fragment osseux intercalaire. Ce fragment est issu d'un segment proximal, distal ou latéral au préalable stabilisé et proche du défaut osseux. Le fragment intermédiaire est déplacé à travers la perte de substance. Une formation d'os nouveau survient suite à la traction exercée sur un cal fibreux provoqué par corticotomie ou ostéotomie. Lorsque le fragment arrive à destination, une compression peut être réalisée avec le système de fixation externe. Une greffe de tissu spongieux après un parage du site receveur facilite la cicatrisation.

Cette technique ne nécessite pas une compétence particulière en chirurgie vasculaire et permet le comblement de pertes osseuses en milieu septique sans employer de greffes spongieuses ou corticospongieuses.

La technique préconisée par Ilizarov est une corticotomie réalisée par section des corticales crânielles, latérales et médiales à l'ostéotome. Puis, le cortex postérieur restant est rompu par une rotation manuelle de l'os. Ainsi, la vascularisation endostée et médullaire est préservée. Néanmoins, une ostéotomie complète à l'ostéotome ou à la scie oscillante peut être pratiquée si la vascularisation périostée est préservée sans conséquences sur le développement du régénérat. De plus, des angiographies post corticotomies révèlent des lésions majeures systématiques après la réalisation de l'ostéoclasie par rotation.

Un délai entre l'ostéotomie et le début de l'allongement est recommandé pour laisser la phase initiale de la cicatrisation osseuse se mettre en place. Ce temps de latence augmente l'ostéogénèse par une cellularité locale supérieure et un début de revascularisation.

La formation de ponts fibro-vasculaires va servir de trame pour une ossification inter-membranaire dans de bonnes conditions de stabilité, d'allongement contrôlé et de mise en charge du membre. Le délai recommandé est de 5 à 7 jours. Si l'allongement est immédiat, le régénérat a un volume inférieur avec une déficience vasculaire et tend à former du tissu fibreux. En vétérinaire, la plupart des auteurs suggèrent un délai de 3 à 5 jours. 1 à 3 jours suffisent par contre sur les squelettes immatures du chien et du chat, et 5 à 7 jours sont recommandés pour les transports osseux sur l'adulte.

Toutefois, ce temps de latence doit être réajusté en fonction de l'âge du patient, de l'os concerné, du type d'ostéotomie, de sa localisation (diaphysaire ou métaphysaire) et du degré de lésion associé au traumatisme : périoste et tissus mous.

La vitesse d'allongement est définie par une longueur de distraction par 24 heures ainsi que par un rythme d'allongement : nombre de distraction par jour. Il est aujourd'hui démontré que

l'accroissement quasi-continu par des auto-distracteurs n'a aucun intérêt et que le régénérat est d'aussi bonne qualité avec 1, 4 ou 720 phases d'allongement quotidiennes.(220)

Les complications de type : consolidation prématurée, neuropraxie, contractures musculaires ou tendineuses, subluxation et formation de cal insuffisante sont aussi fréquentes quel que soit le rythme. C'est la longueur d'allongement quotidien qui est importante. Un suivi radiologique permet au chirurgien de décider de la vitesse d'allongement : une vitesse de 0,5 à 2 mm par jour produit un régénérat de bonne qualité en général. Le plus souvent, 1 mm par jour est la bonne vitesse d'allongement divisée en deux ou quatre phases.(220)

Au fur et à mesure que le régénérat progresse, la calcification du cal se fait de manière linéaire parallèle aux lignes de tension issues de chaque extrémité des fragments. La zone radiotransparente au centre correspond à la couche fibro-vasculaire du cal. Cette zone doit avoir une largeur de 3 à 4 mm au bout de quelques semaines chez les carnivores domestiques. (134)

Une difficulté souvent rencontrée est la mise en compression tardive du site receveur qui est comblé par du tissu cicatriciel. Certains auteurs conseillent alors un parage du site receveur associé à une greffe d'os spongieux.(220, 235). D'autres utilisent des billes imprégnées d'antibiotiques pour maintenir un espace suffisant au positionnement du fragment transporté. Le retrait des billes peut se faire chirurgicalement ou en tirant sur le fil qui maintient les billes. (153, 242)

Le transport d'os peut être effectué avec différents types de fixateurs externes soit monolatéraux soit circulaires.(145)

La plupart des chirurgiens préfèrent utiliser les fixateurs hémifixant monolatéraux moins volumineux et mieux tolérés par les patients.

Les fixateurs circulaires trouveront leur utilisation dans les zones péri-articulaires ou pour l'os ostéopénique (183, 242)

Les hémifixants sont placés de façon latérale dans la plupart des cas, mais parfois la plaie guide leur positionnement. Certains auteurs placent les broches directement dans le lambeau libre et ne constatent aucune gêne.

Le fixateur est mis en place après avoir vérifié le bon alignement des structures osseuses puis la corticotomie est réalisée (l'alignement parfait est indispensable pour un bon affrontement final).

L'ostéotomie ou la corticotomie sont localisées en région sous trochantérienne pour le fémur, et pour le tibia elle sera le plus près possible de l'extrémité distale de la tubérosité tibiale.

Si l'ostéotomie est distale, elle sera le plus métaphysaire possible tout en permettant le positionnement de deux fiches distales sur le tibia.

L'allongement se fait à une vitesse de 1 mm par jour en 4 fois à partir de 10 jours après l'ostéotomie. (145)

Les patients seront suivis à un intervalle d'une semaine durant la phase d'allongement.

Dans la littérature, les résultats et les complications sont identiques entre les différents types de fixation externe : écoulements au niveau des broches, gêne en zone de contact et défaut d'alignement en fin d'allongement. (183, 242)

Compte tenu de la durée du traitement (environ 8 mois), le patient et le chirurgien doivent faire preuve d'une grande persévérance.(145)

Éventuellement, la fracture peut être réduite précocement avec un affrontement des abouts osseux, une mise en compression et une stabilisation dans cette position. Puis ensuite, un allongement est réalisé après une corticotomie dans un site différent pour retrouver la longueur du membre.

Cette technique appelée compression-allongement est surtout utilisée comme une aide dans la couverture de l'os sans lambeau musculaire libre, même si la mise en place d'un fixateur externe circulaire ne gêne en rien le transfert d'un lambeau libre vascularisé. (145) Le fixateur est mis à travers le lambeau si nécessaire et la croissance lente de l'os ne gêne pas la réussite du transfert musculaire(Figure 8).(145, 237)

Le raccourcissement du membre ne doit pas dépasser 14 cm car au-delà on risque une stase veineuse, un œdème et une douleur pouvant conduire à l'amputation.

Les meilleurs résultats sont obtenus avec les plaies transversales car les longitudinales tendent à "boudiner" et s'ouvrir.(183)

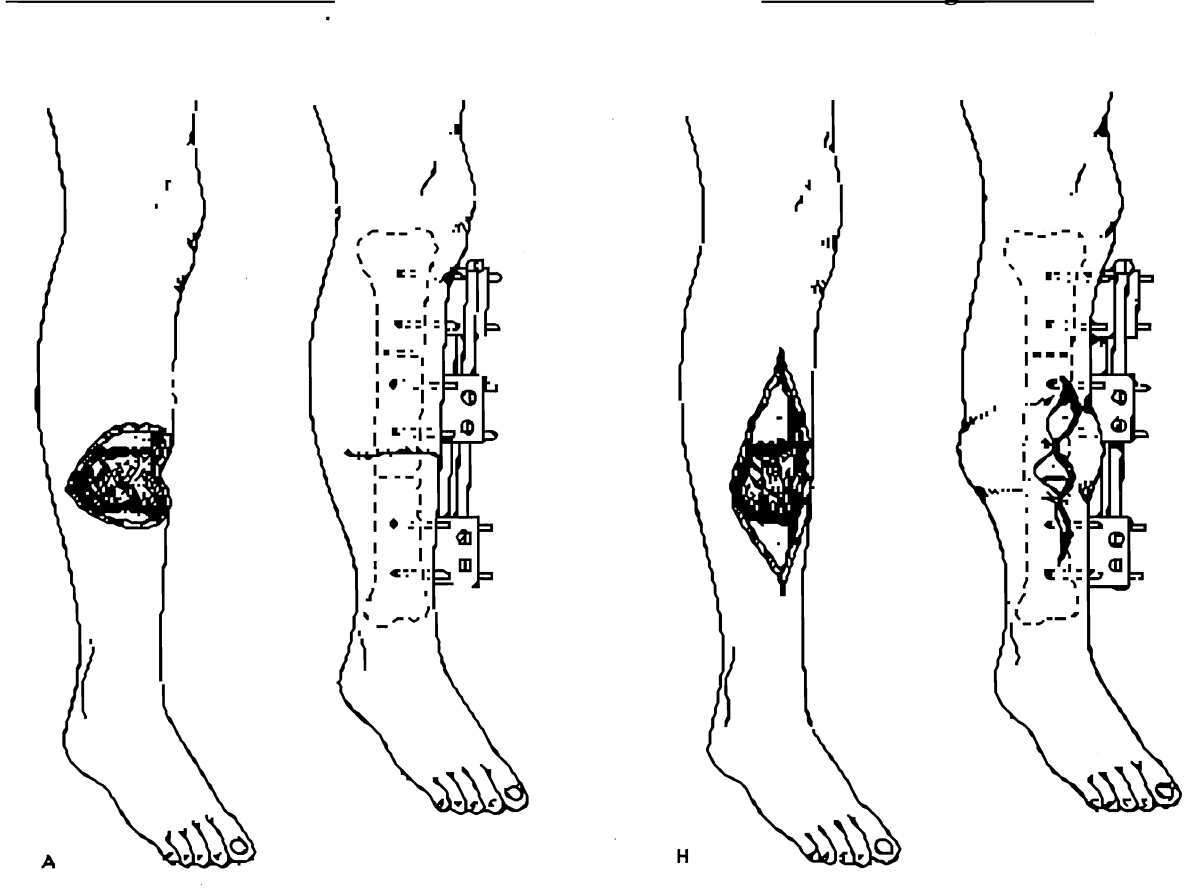
Il ne faut par contre jamais enlever un os bien vascularisé pour faciliter la fermeture cutanée car la couverture cutanée est toujours plus simple à réaliser que l'ostéogénèse par allongement.

Une combinaison des deux techniques est réalisable avec un raccourcissement partiel du défaut au départ puis progressivement un comblement de celui-ci et enfin un allongement pour retrouver la longueur du membre.

**Figure 8 : Effet du raccourcissement de l'os sur les plaies.**

**A. Plaie transversale**

**B. Plaie longitudinale**



(D'après Prokuski LJ - Segmental bone deficiency after acute trauma. The role of bone transport. - Orthop Clin North Am. 1994,25(4),753-63. )

**Remarques :**

- Dans le futur, on peut envisager des techniques permettant d'accélérer le processus d'allongement : électrostimulation, ultrasons ou médiateurs biologiques.
- À l'heure actuelle, on peut utiliser deux sites de corticotomie pour combler des pertes supérieures à 7 ou 8 cm.
- La cicatrisation sur les sites donneurs et receveurs peut être améliorée par l'utilisation de greffes de tissu spongieux.
- Le fixateur externe peut également être associé à un enclouage non verrouillé sans alésage de petit diamètre. Une fois l'allongement réalisé, le fixateur est retiré et le clou est verrouillé. Cette technique réduit considérablement le temps de fixation externe et est associée à de très bons résultats. (183)
- Cette technique se trouve inapplicable dans les zones articulaires et péri-articulaires où le positionnement des broches n'est pas possible. (237)

#### 4 . 1. 4 - Les implants

Ils correspondent à tous les tissus non-viables, aussi bien des céramiques, du métal que de l'os mort (os cortical autoclavé).

Leur rôle est simplement ostéoconducteur. Ils servent d'échafaudage en supportant les contraintes mécaniques et leur trame permet une colonisation rapide de la néovascularisation et des cellules osseuses.

Leur mise en place est décrite aussi bien chez l'homme que chez l'animal mais, leur utilisation en milieu contaminé présente d'énormes risques infectieux. (88, 222)

Le sulfate de calcium (Plâtre de Paris) a été utilisé comme substitut de l'os pour la première fois en 1892 et sur le chien en 1956.(63)

Les différents implants commercialisés à l'heure actuelle sont : le sulfate de calcium, le phosphate de calcium et l'hydroxyapatite.(63)

Ils sont pour l'instant réservés à la chirurgie carcinologique.

Des implants mixtes avec des cellules ostéogéniques prélevées sur le patient sont une des voies d'avenir des biomatériaux.(144)

Le futur repose également sur l'utilisation de facteurs de croissance influant sur la cicatrisation osseuse dont les protéines morphogéniques de l'os (BMP). Cette protéine a été purifiée en 1988 et des techniques recombinantes sont utilisées pour une production suffisante. Les premiers essais donnent des résultats très prometteurs mais elles sont toujours à l'étude et leur coût reste élevé. (63)

#### 4 . 1. 5 - En médecine vétérinaire

Les données bibliographiques sur l'apport de greffes osseuses, vascularisées ou non, dans le traitement des fractures ouvertes sont rares mais tous les auteurs conseillent leur utilisation ( 66, 67, 117, 118, 165, 231)

La greffe d'os spongieux suit les mêmes règles qu'en médecine humaine avec une réalisation précoce si la plaie est propre ou une mise en place retardée après l'obtention d'une bonne cicatrisation des tissus mous, environ 10 à 15 jours.(117, 118, 165)

Les sites les plus couramment utilisés pour le prélèvement de l'os spongieux sont l'ilium, la métaphyse proximale de l'humérus, la métaphyse proximale du tibia par abord médial et la partie proximale et latérale du fémur. (219)



**Tableau 15 : Quantité d'os spongieux collecté dans divers sites chez le chien**

	Humérus	Ilium	Tibia	Sternum
Poids moyen prélevé	10,5 g ± 2,06 g	4,02 g ± 0,88 g	6,19 g ± 1,24 g	2,82 g ± 0,2 g

D'après Culvenor JA. - Collection of cortico-cancellous bone graft from the ilium of the dog using an acetabular reamer. - J Small Anim Pract. 1996, 37,513-515

L'os est collecté à l'aide d'une curette après avoir perforé l'os cortical.

Une technique intéressante pour les grosses pertes osseuses, dérivée de la médecine humaine permet une collecte d'os cortico-spongieux avec une fraise acétabulaire sur l'ilium (Tableau 15). Le prélèvement passe de 3,95 g en moyenne avec une technique par curettage à 6,68 g avec le fraisage. (47, 218)

Une fois le prélèvement réalisé, le tissu spongieux est conservé dans une compresse imbibée de sang car l'air provoque une mort rapide des cellules. Les solutés salins et les antibiotiques inhibent l'ostéogénèse.

Même dans les meilleures conditions, cet os ne peut être conservé que quelques heures. (222)

En cas de lacune osseuse importante, le chirurgien peut utiliser des greffes cortico-spongieuses. Leur rôle est donc ostéoinducteur, ostéoconducteur et ostéoproduiteur. Compte tenu de la non-vascularisation de ces greffes, une attention particulière sera portée à la stabilisation qui doit être la plus rigide possible et à l'absence de sepsis. (172)

Les autogreffes cortico-spongieuses peuvent être prélevées au niveau de l'ilium, des côtes et de l'ulna. Les 9° et 10° côtes sont les plus faciles à récolter, mais elles sont moins droites que les premières. Les 11°, 12° et 13° côtes de par leur taille inférieure ne permettent pas un apport suffisant d'os cortico-spongieux.

Ces transplants sont associés dans les zones de contact à d'abondants apports d'os spongieux.

**Les allogreffes** d'os cortical sont décrites dans le traitement des fractures ouvertes. Aux Etats-Unis, 400 000 greffes de ce type sont mises en place chaque année chez l'homme. (63)

Les allogreffes peuvent être implantées fraîches mais cela implique de trouver un donneur qui va être euthanasié par la suite. Le prélèvement est obligatoirement pratiqué dans des conditions d'asepsie chirurgicale, ce qui n'est pas nécessaire dans certains modes de conservation. De plus, il existe un risque de réponse immunitaire contre les cellules du greffon.

Tous ces inconvénients font qu'il est plus simple d'établir une banque d'os. Cette banque d'os peut être obtenue à partir de chiens donateurs. Ainsi un chien donneur est susceptible d'apporter plusieurs os. (119)

Sélection des donneurs : Les animaux adultes, jeunes, de grande race, avec des commémoratifs de bonne santé et un suivi vaccinal complet sont de bons candidats. Fitch conseille également des sérologies pour *Brucella canis*, *Ehrlichia* et *Babesia* en plus des cultures faites sur chaque greffon avant son conditionnement et les bilans sanguins réalisés sur le donneur. (63)

Dueland (59) décrit une technique de préparation des os consistant en une exérèse de l'épiphyse associée à un alésage de la cavité médullaire avec des curettes à os puis une conservation dans des réfrigérateurs à -70°C pendant cinq ans.(63) Les os sont au préalable identifiés et placés dans un double sac. Aucun test immunologique n'est réalisé.(59)

D'autres techniques de conservation sont utilisables :

- conservation à -20°C pendant un an
- lyophilisation et maintien à température ambiante ou réfrigérée
- stérilisation à l'oxyde d'éthylène
- irradiation de type gamma (119)

(Les deux techniques de conservation par le froid obligent que le pas un prélèvement soit réalisé dans des conditions d'asepsie rigoureuse)

#### Mise en place de l'allogreffe :

La technique de fixation consiste en une ostéosynthèse par plaque. Une fixation sûre de l'allogreffe est indispensable avec un minimum de 2 vis dans l'implant et 3 vis de part et d'autre si possible. Les auteurs, pour favoriser la prise de la greffe ont associé des greffes spongieuses ou cortico-spongieuses sur les zones de contact : allogreffe – abouts osseux. Les greffons sont placés sur la circonférence de la surface périostée dans les zones de contact.

Les fragments osseux de foyer de fracture ne doivent pas être réutilisés en cas de fracture ouverte car leur fixation stable ne peut, dans la plupart des cas, être assurée.

Le retrait de l'implant n'est pas souhaité étant donnée la lenteur du remodelage de l'os. En effet, alors que les greffes spongieuses gagnent en solidité au fil du temps, la greffe corticale se résorbe en plusieurs mois à plusieurs années avec durant cette période un mélange de tissu nécrotique et de tissu viable néoformé.

Néanmoins, l'emploi des allogreffes s'adapte mieux au comblement des lacunes osseuses suite aux chirurgies carcinologiques. Ainsi, certains auteurs déconseillent fortement leur utilisation dans le traitement des fractures ouvertes, le risque de séquestration ou de résorption du greffon étant grandement augmenté par les conditions locales.(119) Si cependant il s'agit d'une dernière chance pour préserver un membre, une antibiothérapie ciblée est maintenue pendant toute la

durée de la cicatrisation (cette antibiothérapie peut durer 6 mois en médecine humaine) (63, 119).

Remarque : Les allogreffes spongieuses n'ont que peu d'intérêt. En effet, les cellules ostéogéniques survivant à l'intervention ont une incorporation très lente et provoquent souvent un rejet à médiation immune de l'hôte.

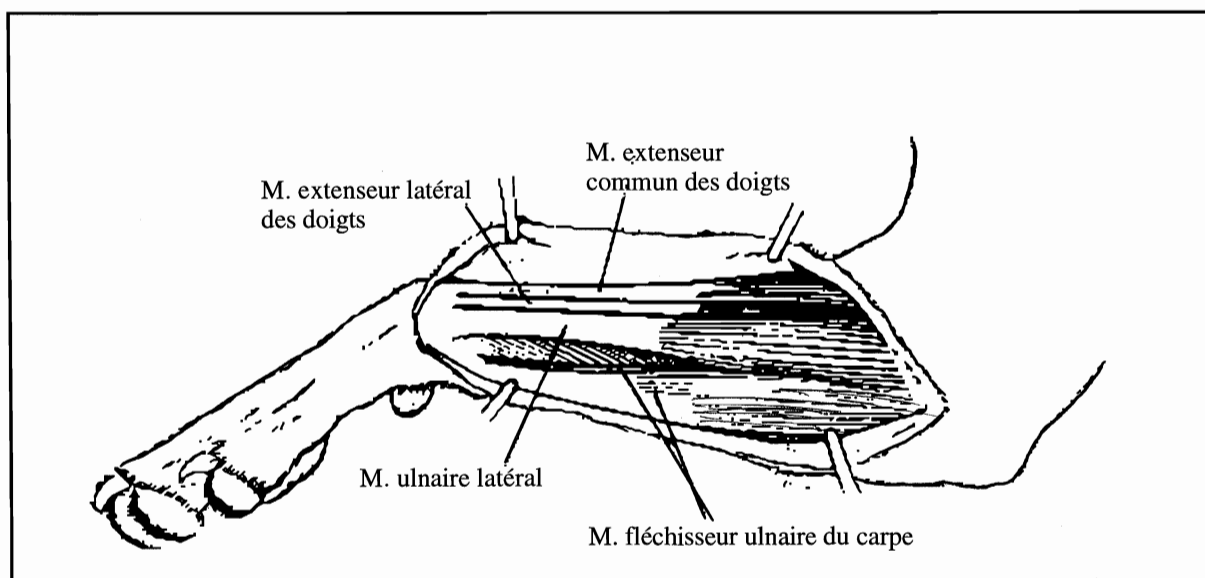
Les quelques cas de **transport osseux** en pratique vétérinaire concernent essentiellement des traitements de pseudarthroses septiques. Les résultats sont encourageants mais le délai entre la réalisation du fragment intermédiaire et le début de son transport à travers la lacune doit être porté à 14 jours si les dégâts locaux sont importants et spécialement si le périoste a été déchiré.(134)

Les principaux inconvénients des greffes dévascularisées proviennent de leur incorporation très lente. Le processus de vascularisation du greffon, de résorption du système Haversien dévascularisé et finalement le dépôt d'un os nouveau est lent. Cinq ans après leur mise en place, on peut retrouver des morceaux du greffon. Ainsi, les complications sont fréquentes : fractures, non-unions et infections.

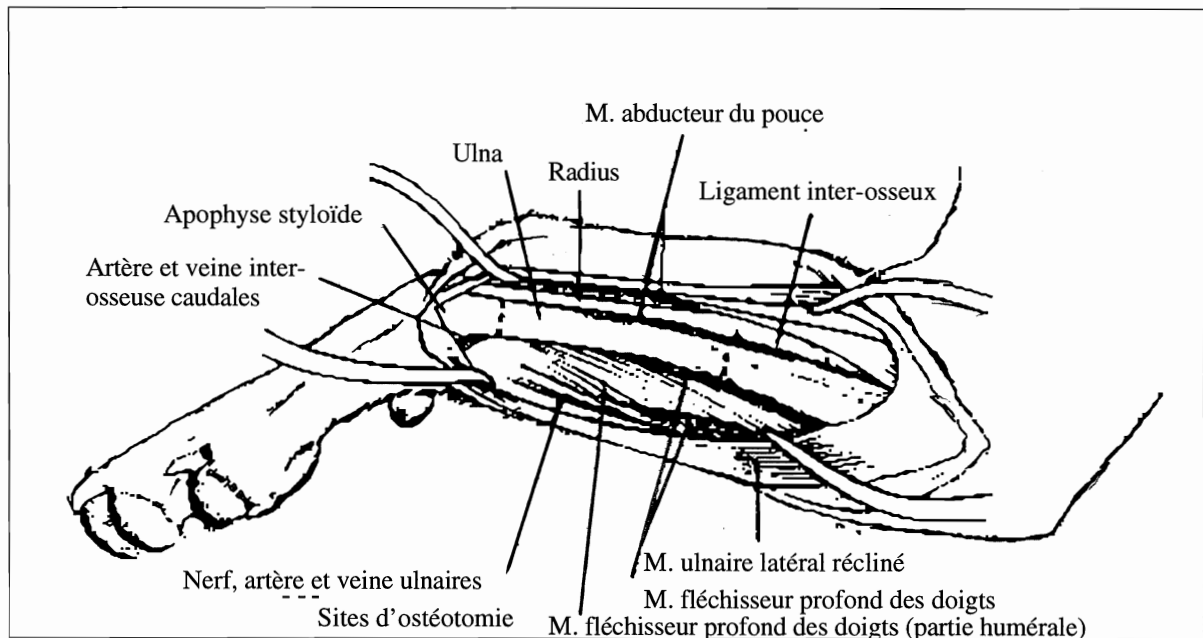
**Des greffes osseuses vascularisées** de côte, de fibula et de partie proximale de l'ulna ont été décrites expérimentalement (Figure 9, 10, 11 et 12). Les côtes et la fibula sont faciles à obtenir et sans complication sur le site donneur mais elles ne fournissent pas suffisamment d'os pour une reconstruction.

La portion distale de l'ulna a un bon potentiel avec une structure et une viabilité adéquates pour la reconstruction des os longs.

**Figure 9 : Zone de prélèvement de l'ulna en partie distale**



**Figure 10 : Sites d'ostéotomie sur le radius**

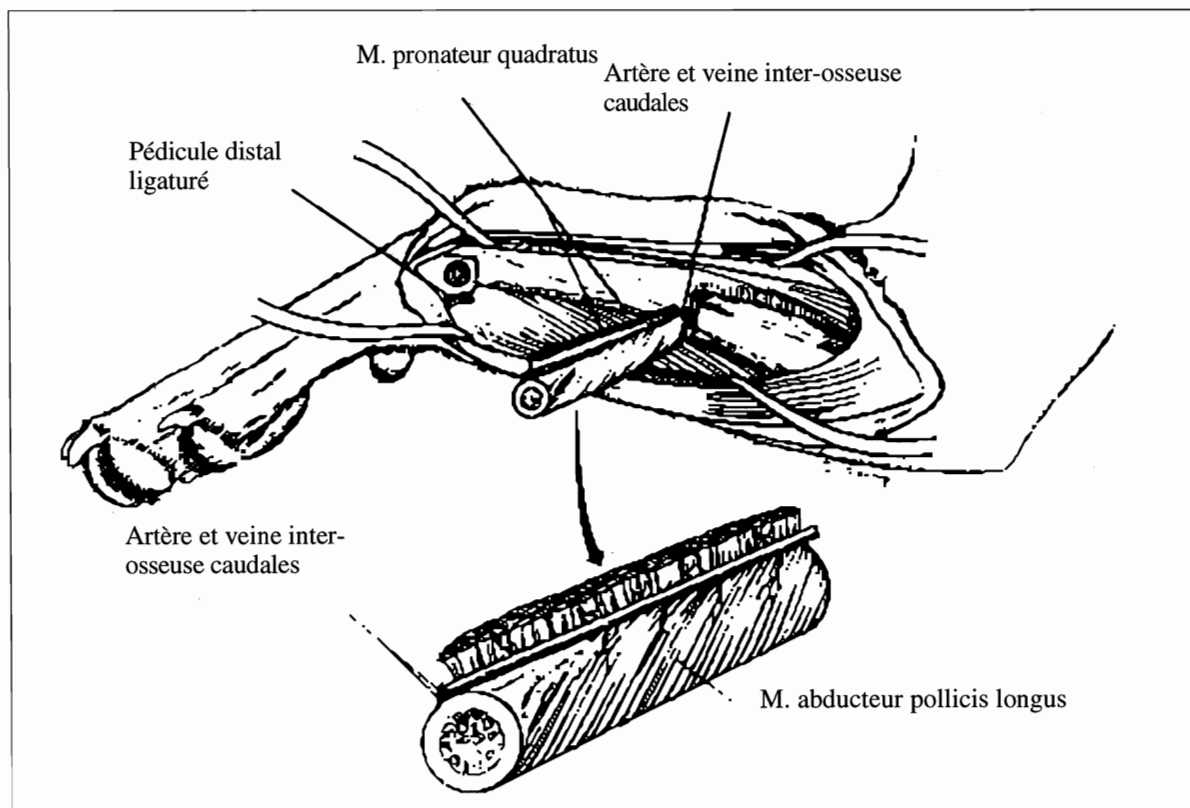


D'après Szentimrey D - The anatomic basis of a free vascularised bone graft based on the canine distal ulna - Vet Surg. 1994, 23, 529-533

Ces greffes osseuses vascularisées sont techniquement réalisables mais aucun cas clinique dans le traitement des fractures ouvertes n'a, à l'heure actuelle été publié. Leur bonne vascularisation, leur potentiel ostéogénique, leur capacité de cicatrisation sont nettement supérieurs à ceux des greffes non vascularisées.

Leur utilisation se limite à quelque cas de reconstruction osseuse après chirurgie carcinologique ou après parage chirurgical sur une ostéomyélite. (66, 67, 227, 228)

**Figure 11 : Prélèvement de la greffe**



D'après Szentimrey D - The anatomic basis of a free vascularised bone graft based on the canine distal ulna - Vet Surg. 1994, 23, 529-533.

La définition d'un angiosome est fondamentale pour l'étude des greffes vascularisées libres. Tous les tissus transférés doivent dépendre d'une même veine et d'une même artère. Le diamètre des vaisseaux doit être adéquat pour une bonne anastomose et la quantité de tissu apportée doit être suffisante pour assurer la reconstruction. Et pour finir, le prélèvement du greffon doit être associé à une morbidité minimale.

Bien que la collecte de muscle et de peau pose certains problèmes, le transfert osseux est compliqué de par son importance comme structure de support.

Expérimentalement, les côtes et la fibula ont été essayées mais elles ne fournissent pas suffisamment de matériel pour la reconstruction des os longs.

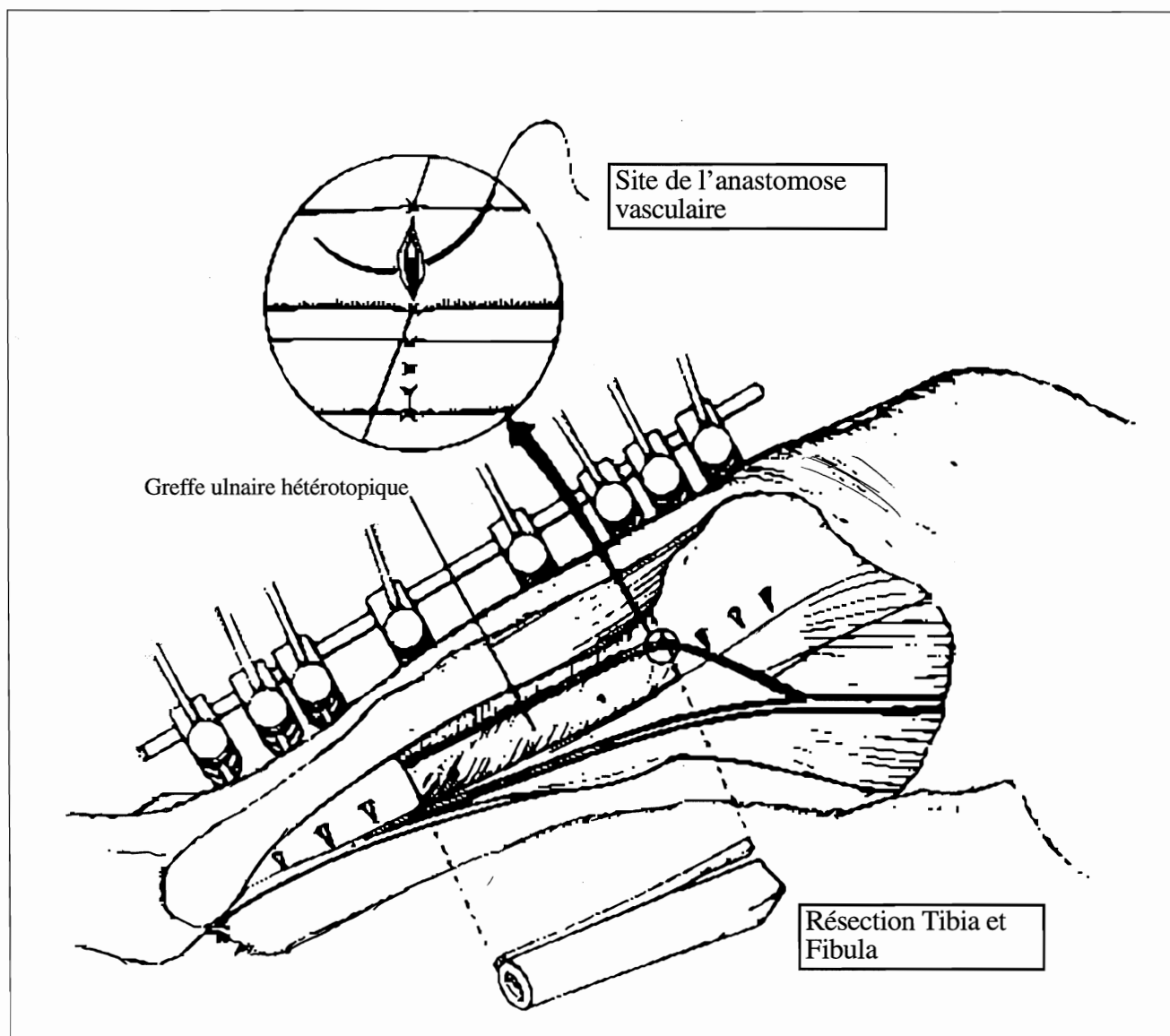
L'ulna a l'avantage d'être situé sur un segment double et, chez le chien, sa diaphyse peut être prélevée tout en maintenant une fonction correcte du membre. De plus, sa diaphyse apporte une masse suffisante pour combler la plupart des pertes de substance.

La partie proximale de l'ulna a un bon potentiel comme site donneur mais son prélèvement nécessite une dissection vasculaire minutieuse et les complications sur le site donneur sont fréquentes.

La partie distale de l'ulna possède également de bonnes qualités comme greffe libre avec une structure et une viabilité adéquates pour la reconstruction des os longs.

L'artère interosseuse caudale située entre le pronateur quadratus et l'abducteur du pouce dans l'espace inter-osseux assure la majorité de la vascularisation du périoste de la partie distale de l'ulna.

**Figure 12 : Réalisation de l'anastomose**



D'après Szentimrey D - Transplantation of the canine distal ulna as a free vascularised bone graft - Vet Surg. 1995, 24, 215-225

## 4 . 2 - La fixation

Les différents aspects du traitement des fractures ouvertes sont sujets à controverses. L'infection reste toujours la complication majeure mais la pratique d'un parage intensif, d'une irrigation et d'une fixation externe complétés par l'utilisation des antibiotiques et d'une couverture précoce a considérablement réduit le risque d'infection. Bien que tous les auteurs s'accordent à dire que la stabilisation est essentielle pour créer un milieu optimal permettant la cicatrisation de l'os et des tissus mous, la technique idéale n'est pas clairement déterminée. (6, 7, 48)

Les buts de cette fixation sont :

- une protection de l'intégrité des tissus viables restants, des muscles et des structures neuro-vasculaires
- un alignement de l'os et des surfaces articulaires
- un retour rapide à la fonction
- une rigidité maximale
- un accès facile pour la gestion des plaies

Dans la prévention de l'infection, le foyer de fracture doit être le plus stable possible. Entre un enclouage centro-médullaire et une plaque en compression, le risque d'infection sur un foyer de fracture contaminé est diminué de 50 %. (250)

Ainsi une stabilisation précoce permet une revascularisation rapide du foyer de fracture et, par la diminution des mouvements, une réduction du traumatisme local. Une réduction anatomique et une stabilisation vont permettre de limiter les espaces morts et ainsi diminuer le risque de formation d'hématome. (250)

La fixation stable permet aussi une mobilisation précoce du patient polytraumatisé, un confort supérieur lors des soins réalisés sur la plaie et un retour rapide à la mobilité articulaire. (78)

Outre la stabilité, le matériel ne doit pas gêner la cicatrisation des tissus mous et de l'os. Sa mise en place ne doit pas entraîner une dévascularisation trop importante et toute lésion tissulaire (dépériostage, incision cutanée...) doit être compensée par un gain conséquent de stabilité. La présence de matériel dans le site de fracture, outre les lésions engendrées par sa mise en place peut servir de site de fixation à certains germes capables de former un glycocalyx qui les protège de toute atteinte antibactérienne. (3, 4). Une simple vis insérée dans un foyer de fracture contaminé augmente de façon importante le risque d'infection. (208)

Les moyens chirurgicaux de fixation peuvent être séparés en deux classes : **fixation interne** ou **fixation externe**.

Le traitement orthopédique peut être assuré par le plâtre, la résine, l'attelle ou un système de traction en médecine humaine (traction sur une broche implantée dans un segment osseux proche de l'os concerné, exemple : broche dans la métaphyse proximale du tibia pour une fracture du fémur).

La fixation interne comprend, dans le traitement des fractures ouvertes les enclouages centro-médullaires simples ou verrouillés (avec ou sans alésage), les cerclages, les plaques et les vis.

Ce matériel de fixation peut être utilisé de façon combinée soit simultanément soit séparément. (236)

Le choix de la fixation dépendra du type et de la localisation de la fracture, de la gravité des dégâts tissulaires associés et de l'expérience du chirurgien. Aucune méthode n'est idéale pour le traitement de toutes les fractures ouvertes. (77) Néanmoins, l'échec, l'ostéomyélite ou la non-union proviendront le plus souvent d'un défaut de réalisation ou d'indication du montage. (248)

#### 4 . 2 . 1 -Traitement orthopédique

Leur réalisation rapide, ne nécessitant pas le plus souvent d'anesthésie générale, permet en urgence une immobilisation relative le temps de gérer des problèmes d'ordre vital. Le moyen de contention orthopédique est mis en place sur un pansement stérile et retiré sous anesthésie avant le traitement chirurgical de la plaie.

Leur utilisation permet de préserver la vascularisation du site et leur coût est réduit. Mais, en contrepartie, la mobilité articulaire est diminuée, les risques de problèmes cutanés sont importants et les changements de pansement provoquent une mobilisation du foyer de fracture. (165)

La sélection des fractures susceptibles d'être traitées par ce type de contention est la même que pour les fractures à foyer fermé. Pour immobiliser une fracture ouverte de cette façon, il faut être sûr de la faible atteinte des tissus mous.

Les fractures doivent être simples de type I avec une plaie propre après parage et des abouts fracturaires peu déplacés. (248) Compte tenu de la faible stabilité de cette contention, la fracture doit être très peu mobile au départ. (165)

Leur usage en médecine vétérinaire sera limité et ne trouvera son indication que pour des fractures d'un seul os sur un segment double (Ex. : Radius-ulna) ou distales au carpe et au tarse. (69,88)



Ils peuvent également être mis en place après une fixation externe, quand la plaie est propre et cicatrisée pour certains types I et II stables. (77, 78, 88)

L'une des complications majeures est le défaut d'alignement qui peut atteindre pour certains auteurs 70 % des cas. (114, 115)

#### 4 . 2 . 2 - Rôles de la fixation précoce des fractures ouvertes

La fixation doit être immédiate dans certains cas particuliers. En effet, la réduction et la stabilisation rapide des fractures articulaires, le plus souvent par des plaques et des vis, permettent l'obtention d'une réduction anatomique, une compression inter fragmentaire et une reprise précoce de la mobilité difficiles à obtenir avec une intervention chirurgicale tardive. (38, 65, 88)

La stabilisation immédiate est également nécessaire pour les patients poly-traumatisés pour des raisons d'ordre vital. Les complications pulmonaires potentielles comme le syndrome de détresse respiratoire de l'adulte peuvent être évitées par une immobilisation précoce du foyer de fracture sur un segment proximal : pour le fémur et occasionnellement pour l'humérus.(26, 38, 39, 76)

Les fractures ouvertes ayant des lésions vasculaires doivent être stabilisées rapidement afin de protéger les réparations artérielles ou veineuses. Bien que la fixation interne ne semble pas indispensable pour protéger une réparation vasculaire, certains cas de sutures vasculaires sous-tension ou de lésion vasculaire par l'os seront mieux protégés par une stabilisation de ce type.

Une fixation interne précoce est parfois nécessaire sur certains types III avec des pertes massives de tissus mous, et où la taille de la plaie rend la fixation externe difficile. (38)

Enfin, les sujets âgés, ayant un temps de récupération plus long, doivent retrouver une mobilité articulaire et une activité musculaire le plus rapidement possible. (38, 231)

Ainsi, Bone (19) a reporté une baisse de l'incidence des syndromes de détresse respiratoire aiguë de l'adulte, une diminution du nombre de jour en soins intensifs, du nombre de jour de support respiratoire, de la durée du séjour à l'hôpital et du coût, du coût total pour les patients ayant eu une réparation précoce de leur fémur par rapport à une fixation tardive. (19, 25, 26)

### 4 . 2. 3 - Avantages et inconvénients des différents types de fixation

Le but de la fixation externe est de stabiliser le foyer de fracture avec des implants qui sont loin de celui-ci et qui ne gênent pas la cicatrisation et la vascularisation locale tout en laissant la plaie accessible pour les soins locaux.(6, 7, 61, 77, 78, 88, 172, 218, 248)

Cependant, dans certains cas la fixation externe peut gêner voire empêcher la réalisation de lambeaux libres ou pédiculés. En contrepartie, leur retrait généralement aisé permet l'utilisation d'un autre moyen de contention en relais.(61,77, 78)

La fixation interne en rapprochant les implants de l'os permet une stabilisation de meilleure qualité du foyer de fracture et, ainsi, diminue le risque d'infection des plaies contaminées. Cette fixation stable permet une reprise fonctionnelle rapide qui s'accompagne d'une diminution du risque d'amyotrophie, de fibrose, d'ankylose articulaire, d'ostéoporose d'immobilisation et d'ulcères de décubitus et permet une cicatrisation rapide des tissus superficiels.( 38, 53)

Les soins et l'hospitalisation du patient sont réduits ainsi que le coût du traitement.( 38, 53)

Le gros défaut de la fixation interne reste toujours les lésions vasculaires inévitables qu'impose la mise en place du matériel d'ostéosynthèse ainsi que le risque d'adhésion des germes sur les implants. Au contact de ce matériel, certaines bactéries sont en effet capables de se protéger par un biofilm de glycocalyx qui rend toute antibiothérapie ou tout parage superficiel inefficace. L'implant joue alors le rôle d'un corps étranger.(3, 4, 50)

La nécrose de l'os corical est présente aussi bien avec les plaques qu'avec les enclouages centro-médullaires verrouillés. Néanmoins, les lésions de nécrose corticale ne sont rencontrées que si le clou est en contact de l'endoste et ailleurs, la vascularisation corticale est respectée.(250)

### 4 . 2. 4 - La fixation externe

La fixation externe a pendant longtemps été considérée comme le moyen de stabilisation idéal pour le traitement de toutes les fractures ouvertes, avec un taux d'infection nettement inférieur par rapport à la fixation interne : 5 % contre 19 % pour Gustilo en 1976 (81) (Tableau 16).

Qu'il soit circulaire, transfixant ou hémifixant, simple ou double barre, son utilisation simple et rapide le rend susceptible de traiter toutes les fractures ouvertes. Sur le patient polytraumatisé, sa mise en place est deux fois plus rapide que celle d'un clou. (157)

La fixation externe moins stable en général que la fixation interne permet néanmoins une bonne cicatrisation des tissus mous. L'instabilité du montage peut par contre poser des problèmes de consolidation osseuse.

Le but de la fixation externe est de permettre une consolidation rapide de l'os par formation d'un cal périosté volumineux. Le chirurgien doit juger du type de fixateur à réaliser en fonction des forces passant par le foyer de fracture et, il peut en fonction de la réponse osseuse dynamiser le montage tout en maintenant une stabilité suffisante pour protéger la vascularisation locale.(138)

Une réduction parfaite n'est pas nécessaire et la restauration de la fonction de l'os fracturé est le but principal. À partir du moment où les articulations sont bien alignées et que la fonction est normale la forme de l'os a peu d'importance.(138)

Le fixateur externe peut également être utilisé pour ponter une articulation lors de fractures articulaires le temps d'obtenir un début de cicatrisation osseuse.(138, 159)

Les fixateurs externes les plus fréquemment utilisés dans la littérature humaine anglo-saxonne sont de type Orthofix, AO, Hoffman et Ilizarov.(61, 127, 128, 202, 210)

L'association de la fixation externe à d'autres moyens de contention mis à l'intérieur du foyer de fracture a montré une réelle efficacité dans l'augmentation de la rigidité des montages. Cependant, leur utilisation dans la stabilisation des fractures ouvertes ne révèle aucune différence significative au point de vue temps de cicatrisation, délai de reprise d'appui, taux de problème de cicatrisation, d'ostéomyélite, de mal union ou de sepsis sur les broches (superficiel ou profond) par rapport à la fixation simple. De plus, le pourcentage de refracture et le taux de greffes osseuses nécessaires se trouvent multipliés par deux.

Le défaut de cal périosté résultant du gain en stabilité et la dévascularisation provoquée par la mise en place des implants expliquent la fréquence des complications avec les montages mixtes.(127, 128,138)

Compte tenu des défauts de la fixation externe et bien que son utilisation soit susceptible de traiter la plupart des fractures ouvertes, la majorité des auteurs recommande sa mise en place simplement pour certains types II et la quasi-totalité des types III. (6, 7, 26, 61, 77, 78, 88, 172, 231, 248)

Ceci est cependant à moduler en fonction du segment osseux atteint. Ainsi, sur un os avec une vascularisation de très bonne qualité comme le fémur, les conditions mécaniques d'un enclouage centro-médullaire verrouillé avec alésage vont permettre une bonne cicatrisation osseuse de la plupart des fractures ouverts de type III(26, 76, 207, 208, 244)

Pour les types IIIc, la fixation externe permet une stabilisation rapide du foyer tout en laissant un accès aux lésions vasculaires.

Bien qu'elle puisse être maintenue jusqu'au terme de la cicatrisation, la fixation externe peut être ensuite remplacée par un autre mode de contention aussi bien pour les types I et II que pour les types III. (105) Les montages sont définitifs (64, 157) ou temporaires (61,77, 78, 88) jusqu'à cicatrisation des plaies. L'immobilisation peut alors être poursuivie par un traitement orthopédique ou une fixation interne. (78)

En pratique vétérinaire, la fixation externe convient parfaitement à la stabilisation des fractures ouvertes du tibia et du radius-ulna.(6, 7, 12, 138)

Les résultats obtenus sont satisfaisants malgré 29,2 % de complications dont 9,8 % relèvent d'un problème septique.(64)

Les fixateurs externes restent cependant la technique de choix dans le traitement des fractures par balles à grande vitesse. (3, 4)

**Tableau 16 : Résultats de la fixation externe pour la stabilisation des fractures ouvertes**

Auteur	Durée de la fixation	Taux d'infection	Complications sur les broches	Retard de cicatrisation	% de mal-union	% D'amputation
<i>Edwards</i> 102 tibias type III	12 semaines	15 % puis 9 % (avec un parage de meilleure qualité)	9 % de 1500 broches, 29 % des patients	Moyens: 9 mois Non-union: 3 %	>10° 9 %	4%
<i>Gustilo 87</i> Type III		13,7 %		18,5%		18,7 %
<i>Shtaker</i> Fémurs types,I,II,IIIa et IIIb	16 semaines		34,4%		>5° 3,1 %	Raccourcisse- ment de 1 cm,3 %
<i>Mostafavi</i> Humérus de types I, II, III	11 semaines	6 %	44 %	Moyens: 5 mois Non-union: 6 %	16 %	
<i>Mohr</i> Fémurs 11 % de type II et 89 % de type III	23 semaines	11 % précoce 11 % tardive		Moyennes: 166 Jours Non-union: 0%	>18 ° 7 %	Raccourcisse- ment : 7 %
<i>Krettek</i> I, II, III		5 %	9 %	Moyens: 133 jours Non-union: 11 %	13 %	
<i>Font</i> Vétérinaire Type:17,1%, type II: 43,9 %, type III: 39 %		9,8 % dont 2,4 aiguë		Moyennes: 9,6 semaines Non-union: 7,3 %	4,9 %	

#### 4 . 2 . 5 - La fixation interne

La stabilité associée à une restauration de la longueur normale de l'os et un bon alignement permettent un environnement idéal pour la cicatrisation des tissus mous et de l'os. (38, 39)

Or, pour qu'un implant stabilise au mieux un foyer de fracture, il doit être le plus près possible de l'os. Qu'il soit intra-médullaire ou en contact de la corticale extérieure, l'implant sera toujours dans le foyer de fracture.

Sa mise en place ou sa présence peuvent concourir à aggraver les dégâts tissulaires ou vasculaires.

Pour les types I, la fixation interne peut être réalisée avec la même sûreté que pour une fracture à foyer fermé. La plaie peut être fermée en première intention même si certains auteurs préfèrent retarder cet acte afin de pratiquer un deuxième examen du site.

Le risque d'infection pour les types II restant élevé, la plaie doit être laissée ouverte dans un premier temps puis recouverte précocement.

Pour les types III, la fixation interne doit être envisagée en cas de problème vital pour le membre ou le patient. Elle est réservée aux cas les plus graves où l'amputation est envisagée et où la plaie gêne la fixation externe (Tableau 17).

**Tableau 17 : Résultats de la fixation interne pour la stabilisation des fractures ouvertes**

	Infection	Non-union	Cals vicieux	Amputation	Remarques
Moed 50 plaques	4 %	12 % Moyennes: 13,2 semaines	—	—	Douleur : 4 %
Stampley (vét.) 32 plaques	15 %	6 % Retard: 12 %	6 %	3 %	Rupture implant : 3 %
Yokoyama Type I : 20% Type II : 45,5% Type IIIa: 16,7% Type IIIb : 9,1% Type IIIc : 9,1%	4,5 %	6,1 % Retard: 12,2 % Moyenne : 6,6 mois (tibia)	—	—	59,2 % de blessures multiples dont 20 % de genoux flottants
Keating Type I : 28 % Type II : 34 % Type IIIa : 21 % Type IIIb : 18 % ECMV +alésage	Total : 5% 0 % 10 % 0 % 11 %	Moyenne: 3 % 29 sem 5 % 32 sem 13 % 34 sem 17 % 39 sem	Total : 6 % 6 % 3 % 13 % 5 %	Précoce : 10 % des IIIb	Couverture cutanée : 5 jours Synd. de loge : 7 % Rupture implant : 8 %

#### 4 . 2 . 5 . 1 - Fixation par plaque vissée

La fixation par plaque vissée nécessite un abord sur le foyer de fracture avec le plus souvent un agrandissement de la plaie ou la réalisation d'une plaie supplémentaire. Leur mise en place au contact de l'os implique des lésions périostées et une dévascularisation de l'os. (202) Mais, bien appliquées, elles apportent une stabilité excellente et une mobilisation rapide du membre.(38, 39)

Elles permettent de plus une réduction anatomique et un très bon alignement articulaire.

Les plaques et les vis sont les mieux adaptées pour satisfaire aux exigences de la chirurgie réparatrice des fractures articulaires : une réduction anatomique parfaite ainsi qu'une compression inter fragmentaire associées à une mobilisation précoce et un retour à la fonction. (38, 39, 43)

Les plaques sont également indispensables pour la stabilisation des fractures métaphysaires pour lesquelles la fixation externe entraîne des complications articulaires et l'enclouage centro-médullaire n'est pas suffisamment stable. (Exemple : Sur un tibia si la fracture est à moins de 5 cm du genou ou à moins de 3 cm de la cheville) (114, 115)

Les lésions vasculaires et tissulaires peuvent être diminuées par la technique et l'habileté du chirurgien. (248)

Leur utilisation se fait essentiellement pour les parties proximales des membres ainsi que pour les radius-ulna de type I et II. (38, 39, 77, 155)

Moed et coll. (155) préconisent une fixation par plaque immédiate de toutes les fractures du bras avec une fermeture primaire ou retardée à 3 ou 6 jours pour les types I et II, et une fermeture secondaire pour les types III. Les résultats sont satisfaisants et semblent identiques à ceux obtenus avec une fixation retardée. La récupération fonctionnelle est par contre supérieure avec une mobilité articulaire précoce. (155)

Sur les parties distales des membres, en particuliers les types II et IIIa, leur emploi aggrave de façon trop importante les lésions périostées et dévitalise l'os. (73, 202)

L'incision cutanée doit toujours être limitée et il est préférable mais pas indispensable de couvrir la plaque. Si la plaque ne peut pas être couverte, elle est retirée à 3-5 mois et des greffes cutanées sur le tissu de granulation permettent une cicatrisation secondaire. (38, 39, 77, 78, 231)

Leur utilisation sera contre indiquée en cas de dégât vasculaire nécessitant une intervention chirurgicale, de contamination importante de la plaie (terre, morsure, plaie de ferme), d'incapacité à supporter l'anesthésie et si la plaie n'a pas été correctement gérée : protection précoce, irrigation.(73, 202)

L'utilisation des plaques en chirurgie vétérinaire est incontournable dans la réalisation des fixations internes. Néanmoins leur rôle est limité aux fractures de type I, à la majorité des types II pour tous les os longs et aux types IIIa et IIIb pour les segments proximaux sous réserve de ne pas créer de dégâts majeurs lors de leur mise en place.(6, 7, 231)

Stampley et coll. (218) rapportent des taux d'infection de 11 % pour les types I, de 25 % pour les types II et de 20 % pour les types III, ce qui bien qu'étant proches des données de médecine



humaine est bien supérieur aux 9,8 % obtenus par Font et le fixateur externe de type JAM. (64, 218)

#### 4 . 2 . 5 . 2 - L'enclouage centro-médullaire verrouillé

Les enclouages simples sont réservés à certains types de fractures peu instables. Si l'indication est bonne et la fracture convenablement stabilisée, la cicatrisation a toutes les chances de se réaliser. (218)

La mise en place des enclouages centro-médullaires doit se faire si possible à foyer fermé pour diminuer les lésions locales et ainsi le risque infectieux.(38, 39)

L'association enclouage centro-médullaire et cerclage entraîne des lésions à la fois endostées et périostées, une erreur dans la réalisation d'un tel montage avec une plaie contaminée est le site idéal pour le développement d'une ostéomyélite ou d'une pseudarthrose. L'infection peut alors gagner toute la cavité médullaire.(6, 7, 165, 172)

L'enclouage centro-médullaire verrouillé, peu développé en chirurgie vétérinaire, reste pour le moment réservé au traitement des fractures fermées mais pourrait probablement être avantageusement utilisé pour la stabilisation de certaines fractures ouvertes.

L'enclouage centro-médullaire verrouillé est à l'heure actuelle considéré en médecine humaine comme le traitement de choix de la majorité des fractures fermées du fémur et du tibia. (39, 114, 115, 26, 244)

Les excellents résultats obtenus avec cette technique de fixation ont poussé les chirurgiens à l'essayer dans le traitement des fractures ouvertes.

Cet enclouage peut être réalisé soit à foyer fermé, soit à foyer ouvert. Chapman (39), dans une étude bibliographique portant sur 1500 fractures, trouve un taux d'infection 4 fois supérieur avec une réduction à foyer ouvert et jusqu'à 10 fois supérieure pour les fractures ouvertes. De même, le taux de pseudarthrose est multiplié par 10 par rapport à une réduction à foyer fermé. (39)

Pendant la mise en place du clou, la plaie doit être couverte par un pansement stérile. Cette plaie doit être isolée du champ opératoire de l'enclouage, elle ne doit pas être utilisée pour la palpation et la réduction de la fracture. (26)

Quand réaliser cette fixation interne ?

La fixation immédiate des fractures ouvertes a été pendant longtemps réservée à certains cas particuliers :

- fracture articulaire
- patient polytraumatisé
- réparation vasculaire fragile
- personnes âgées (26, 38, 39, 231, 244, 255)

À l'heure actuelle, la stabilisation précoce du foyer de fracture tend à se développer. Les différentes études réalisées ne montrent pas de complications majeures dans la réalisation d'une fixation interne immédiate (dans les 24 heures) par rapport à une fixation retardée. (26, 38, 39, 110, 198, 254, 255)

La fixation intra-médullaire immédiate après la gestion de la plaie pour les fractures du fémur comporte un taux de complication identique à une fixation tardive pour les types I, II et III. (26, 110, 198, 244)

Pour les fractures du tibia, bien que certains auteurs la déconseillent (39, 254), la plupart réalisent une fixation interne immédiate de tous les types avec des résultats tout à fait satisfaisants. (18, 49, 57, 114, 115, 201, 202)

Il existe deux type majeurs d'enclouage centro-médullaire verrouillé : **avec ou sans alésage**

L'alésage conduisant à la vidange du contenu de la cavité médullaire, de nombreuses questions sont soulevées quant à l'innocuité d'une telle manœuvre. Rhinelandier puis Klein (122) ont montré que l'alésage de la diaphyse des os longs diminuait la vascularisation endostée. Cette vascularisation étant responsable de l'apport de sang de la majeure partie du cortex interne, celui-ci est quasi complètement dévitalisé.

Chez le chien, Curtis a montré que l'enclouage avec alésage diminue la vascularisation corticale de 70 % contre 15 à 30 % sans alésage. (48)

Néanmoins, Rhinelandier a également mis en évidence, suite aux lésions de l'endoste, la mise en place rapide d'une néovascularisation centripète dans les premières semaines et une reprise de la circulation endostée dans les zones libres de la cavité médullaire. (39)

Au plan histologique, après alésage, les lésions de nécrose osseuse sont évidentes et atteignent parfois toute l'épaisseur du cortex mais, le tissu cicatriciel se met rapidement en place autour de l'implant. De plus, la vascularisation du site redevient rapidement normale avec une compensation périostée en 3 ou 4 semaines. (48)

Ainsi, malgré les lésions évidentes de l'endoste, une étude récente ne révèle aucune différence au niveau du cal de fracture à 3 mois entre une fixation par enclouage centro-médullaire verrouillé avec ou sans alésage.(114, 115)

En effet, les enclouages centro-médullaires verrouillés sans alésage ne sont la plupart du temps que des clous d'un diamètre inférieur avec un alésage partiel (Exemple: pour le tibia de l'homme, leur diamètre est de 8-9 mm contre 11-12 avec alésage).( 114, 115, 201, 236)

En contrepartie les clous avec alésage, du fait de leur taille supérieure assurent une meilleure rigidité susceptible de diminuer la fréquence des retards de cicatrisation, pseudarthroses ou cals vicieux.

Keating (115), dans son étude comparative entre les deux techniques n'a pas mis en évidence de différence majeure. Les résultats obtenus ainsi que les complications sont identiques même si sans alésage, le risque de rupture de vis est supérieur (Tableau 18).

**Tableau 18 : Comparaison enclouage centro-médullaire verrouillé avec et sans alésage**

	<b>Enclouage centro-médullaire verrouillé avec alésage (50 cas)</b>	<b>Enclouage centro-médullaire verrouillé sans alésage (44 cas)</b>
Taille du clou	11,5 mm	9,2 mm
Fermeture de la plaie	5 jours	5 jours
Pertes sanguines	346 ml	326 ml
Durée de (minutes):		
- radioscopie	1,2	1
- insertion du clou	39,8	37,9
- verrouillage proximal	8,6	11
- verrouillage distal	14,7	14,4
Temps de cicatrisation (sem.):		
- type I	28 ( 12-45)	21 ( 6-38)
- type II	28 ( 21-36)	27 ( 17-36)
- type IIIa	34 ( 23-45)	31 ( 20-43)
- type IIIb	30 ( 10-51)	35 ( 18-52)
Infections	2/50 1 type II et 1 type IIIb	1/44 1 type II
Rupture de vis	9 %	29 %
Rupture de clou	2/50	1/44
Pseudarthrose	2/50	1/44

D'après Keating JF - Locking intramedullary nailing with and without reaming for open fractures of the tibial shaft. A prospective, randomized study. - J Bone Joint Surg Am. 1997 , 79(3),334-41

Néanmoins, l'utilisation de clous verrouillés avec alésage sur les fractures ouvertes du tibia se révèle catastrophique pour certains auteurs avec 15 % d'infection pour les types II et 40 % pour

les types III.(110) Gustilo partage ce point de vue car il retrouve 6 % d'infection sur des fractures ouvertes de type I où classiquement il n'obtient aucune complication septique.

L'enclouage centro-médullaire verrouillé avec alésage reste préconisé pour la stabilisation de tous les types de fracture ouverte du fémur excepté :

- s'il existe une lésion vasculaire nécessitant une réparation
  - si la contamination est trop importante
  - si le patient est polytraumatisé et ne peut supporter une anesthésie trop longue
- et si le parage et l'irrigation ont été réalisés trop tardivement. (26)

L'utilisation de l'enclouage centro-médullaire verrouillé sans alésage est conseillé par la majorité des auteurs pour les fractures du tibia de types I à IIIb. (18, 49, 57, 201, 245) Un des défauts de l'enclouage centro-médullaire verrouillé sans alésage est le taux élevé de pseudarthrose ou de retard de cicatrisation. (19)

En cas de retard de consolidation, certaines interventions peuvent accélérer la cicatrisation osseuse :

- la dynamisation du montage par le retrait d'une ou plusieurs vis de verrouillage (en général les vis les plus éloignées du foyer de fracture) (50)
  - réalisation d'une greffe d'os spongieux
  - changement pour un clou avec alésage
- (- ostéotomie fibulaire pour les fractures du tibia)

Certains auteurs préconisent une dynamisation précoce des clous à 6-8 semaines associée à une greffe d'os spongieux.

Pour les fractures comminutives, si à 4-6 mois le retard de cicatrisation est objectivé, une seconde greffe est pratiquée et le clou est changé et remplacé par un enclouage avec alésage.

Les fractures stables au départ doivent être immobilisées de façon dynamique puis à 3-6 mois, si un retard de cicatrisation est mis en évidence, une greffe d'os spongieux doit être pratiquée.(19, 221) Cette immobilisation dynamique se fait par compression du foyer de fracture quand celui-ci est transverse, oblique court ou à comminution courte. En cas de comminution étendue, le risque de raccourcissement du membre est trop important. (50)

#### 4 . 2 . 5 . 3 - Utilisation retardée de l'enclouage centro-médullaire verrouillé après une fixation externe

La fixation externe peut être utilisée de façon temporaire ou définitive. Compte tenu des complications fréquentes dues aux broches et de la gêne qu'il provoque, certains auteurs proposent un retrait précoce du fixateur externe et mise en place d'une contention orthopédique.(77, 78). Le but étant pour le patient de retrouver une fonction du membre le plus rapidement possible. Cependant, ce type de contention extérieure ne permet pas une bonne mobilisation des articulations, assure une stabilisation de qualité médiocre et gêne le contrôle de la plaie et des sites d'implantation des broches. Certains auteurs reportent des cals vicieux avec des défauts d'alignement dans 30 % des cas et des pseudarthroses dans 28 à 50 % des cas.(1, 32)

Ainsi, s'est développé l'utilisation de l'enclouage centro-médullaire verrouillé retardé après une fixation externe pour essayer de limiter les complications incluant les sepsis sur les broches (29 % des cas), les pseudarthroses (11 à 48 % des cas), les cals vicieux (10,5 à 46 % des cas) et les infections (7 à 30 % des cas) (1, 12, 61, 14, 105, 150, 213)

L'utilisation de la fixation interne secondaire est à l'heure actuelle essentiellement étudiée sur le membre inférieur et avec l'enclouage centro-médullaire verrouillé mais nous pensons qu'il est possible d'extrapoler ces résultats au membre supérieur ainsi qu'à l'utilisation de plaques. Une telle étude n'a pas encore été réalisée malgré l'utilisation des plaques de façon retardée dans les zones métaphysaires par Bernat (12) et quelques cas de fixation par plaque du radius-ulna après une fixation externe.(12, 158)

Les premiers essais de McGraw (146) et Lin (137) ont donné un taux d'infection de 44 % et 50 % de pseudarthrose sur une série de 16 cas. Malgré un délai de 21 jours entre le retrait du fixateur, les complications majeures et en particulier les complications septiques profondes se sont révélées 10 fois plus fréquentes qu'avec les techniques classiques.(31, 146) Mc Graw (146) concluait donc que d'autres techniques devaient être explorées pour améliorer les défauts d'alignement et les délais de cicatrisation osseuse. Par la suite, d'autres auteurs ont confirmé ces travaux et ont préconisé d'éviter cette technique de substitution du fixateur externe par un enclouage centro-médullaire verrouillé : 33 à 35 % d'infection.(98, 254, 255)

Néanmoins, l'utilisation de cette technique semble donner de bons résultats si certaines précautions sont prises.

Maurer (150) trouve une forte corrélation entre l'infection au niveau des broches et l'infection secondaire sur l'enclouage. Et, dans 80 % des cas, le germe isolé sur le sepsis des broches est identique à celui déclenchant l'infection profonde sur le clou. Ainsi, le taux d'infection pour un

enclouage centro-médullaire verrouillé avec alésage après une fixation externe ayant eu un écoulement au niveau des broches est de 71 % malgré un délai de trente cinq jours entre les deux interventions.(150) Les infections superficielles des broches étant en relation avec une fixation externe prolongée, d'autres auteurs préconisent une fixation interne précoce après couverture de l'os et cicatrisation complète des tissus mous afin d'éviter ce risque d'infection profonde secondaire.

La plupart des auteurs utilisent cette technique de façon tardive après une fixation externe de 45 à 185 jours et avec des intervalles entre le retrait du matériel et la mise en place du clou allant de 0 à 73 jours. Pour eux, il s'agit d'accélérer la cicatrisation osseuse une fois que le retard ou la pseudarthrose est diagnostiqué.(12, 150, 213)

Les résultats sont encourageants avec des taux d'infection de 0 à 20 % (pour un intervalle moyen retrait fixateur externe - enclouage de quinze jours) et des délais de consolidation qui bien que longs furent à terme d'excellente qualité. La fixation interne est dans ce cas-là associée à une greffe d'os spongieux et une antibiothérapie est pratiquée pendant la phase de repos.

Après le retrait de l'appareillage externe, un délai de neuf à dix jours est conseillé pour obtenir une cicatrisation des sites d'insertion des broches.(1, 14). Bernat déconseille ce délai car pendant cette période l'immobilisation du foyer de fracture par plâtre ou résine est trop instable et risque de provoquer des lésions sur un site de fracture fragilisé. (12) De même, Siebenrock (213) ne constate pas de différence significative avec ou sans délai pour l'ostéosynthèse secondaire.

Ainsi, les résultats de Blachut (14) confirmés par Antich-Adrover (1) laissent penser qu'une ostéosynthèse secondaire par enclouage centro-médullaire après une fixation externe et une mise au repos de 9-10 jours est acceptable et permet de réduire le taux de complication (pseudarthrose, retard de consolidation, sepsis) et le temps de cicatrisation de façon significative (Tableau 19). (1, 14)

L'utilisation d'un enclouage centro-médullaire verrouillé avec ou sans alésage ne semble pas avoir d'importance même si Bernat trouve que l'alésage permet un bon nettoyage de la cavité médullaire.(12, 14, 213)

	Nombre de type II, IIIa et IIIb	Durée de la fixation externe (jours)	Intervalle de sécurité (jours)	Infections sur les trajets de broche (%)	Ostéomyélite* (%)	Temps de cicatrisation total* (semaines)	Pseudarthroses* (%)	Cals vicieux*
Mc Graw 1988	7/16	59,5	16	42,8	28,5	13,6	57,1	
Maurer 1989	20/24	52 (7-230)	73	25	20	-	-	
Blachut 1990	34/41	17	9	5	5	-	5	
Siebenrock 1995	28/31	39	49	9,4	3 IIIb: 11 %	31,2	3 IIIb: 11 %	19 % IIIb
Bernat 1996	10/21	185	0	9,5	0	19,5	-	
Antich-Adrover 1997	17/17	27	10	20,5	5,8	26	5,8	

**Tableau 19 : Résultats obtenus avec un enclouage centro-médullaire verrouillé après fixation externe**

\* : Résultats obtenus après enclouage centro-médullaire

L'utilisation de la fixation externe est essentiellement réservée aux fractures de type IIIc et aux patients dont l'état général ne permet pas une fixation interne. Bien qu'elle puisse être utilisée de façon définitive, le risque de retard de cicatrisation, d'ankylose et de défaut d'alignement susceptible de survenir font qu'une fixation interne secondaire par enclouage centro-médullaire verrouillé avec alésage peut être envisagée après une fixation externe de 11 à 21 jours. Aucun délai entre les deux interventions ne semble nécessaire (Tableau 20).

(26, 105, 238)

**Tableau 20 : Résultats obtenus avec un enclouage centro-médullaire verrouillé après fixation externe sur les fractures ouvertes de type IIIc**

	Durée de fixation externe (jours)	Taux d'infection*	Cals vicieux*	Délai de cicatrisation osseuse (semaines)*
Iannacome 5 types IIIc par arme à feu	11 (3-20)	1/5	0	25 (12-40)
Van den Bosche 20 cas Types II, IIIa, IIIb et IIIc	21	0	–	40,6

\* : Résultats obtenus après enclouage centro-médullaire

### 4 . 3 - Etude de la stabilisation des fractures ouvertes par segment osseux

La couverture musculaire et la vascularisation sont deux composantes essentielles pour la cicatrisation osseuse et la lutte contre l'infection. Chaque os n'est pas protégé de façon équivalente (Tableau 21). Ainsi, en fonction du segment atteint, la conduite à tenir sera différente.



**Tableau 21 : Localisation des fractures ouvertes chez l'homme et l'animal**  
(Nombre de cas et pourcentage relatif parmi les fractures ouvertes)

	Fémur	Tibia-fibula	Humérus	Radius-ulna	Cheville	Autre
Stampley (vétérinaire) 33 cas	14 (43 %)	6 (18 %)	5 (15 %)	8 (24 %)	-	-
Yokoyama 66 cas	24 (36,4 %)	22 (33,3 %)	4 (6,1 %)	10 (15,2 %)	5 (7,6 %)	Clavicule 1 (1,5 %)
Dellinger 263 cas	59	107	34	37	36	-
Gustilo 303 cas	45	112	33	28	-	Rotule 18 Bassin 7 Scapula 1
Vives 80 cas	13	34	7	17	-	Rotule 7
Ostermann 381 cas	58 (15 %)	192 (50 %)	15 (4 %)	32 (8 %)	49 (13 %)	Rotule 6 (2%) Pied 29 (8 %)
Henry 227	39	118	7	16	33	Rotule 4 Pied 10

**Tableau 22 : Etiologie des fractures ouvertes chez le chien**

Origine	Nombre	Pourcentage
Accident de la voie publique	15	47
Armes à feu	7	22
Chute	6	19
Coup de pied de cheval	1	3
Morsure de chien	1	3
Inconnue	2	6
<b>Total</b>	<b>32</b>	<b>100</b>

D'après A R Stampley, "The result of internal fixation for the treatment of open fractures in 32 dogs", Canine Pract, 1991, 16 (6), 22-27

### 4 . 3 . 1 - Fractures ouvertes de l'humérus

Les fractures ouvertes de l'humérus résultent le plus souvent chez l'homme, comme chez les animaux domestiques, d'accidents de la voie publique ou de blessures par balle. Ces fractures à haute énergie sont fréquemment associées à des lésions neuro-vasculaires (Cf classification des fractures ouvertes de l'humérus : Tableau 23). (159)

**Tableau 23 : Classification des fractures ouvertes de l'humérus**

	Type I	Type II	Type IIIa	Type IIIb	Type IIIc
Mostafavi 97 18 cas	4 (22 %)	1 (5 %)	1 (5 %)	2 (10 %)	10 (58 %)
Yokoyama 4 cas	0	50 %	25 %	0	25 %

(Nombre de cas et pourcentage relatif parmi les fractures ouvertes de l'humérus)

Grâce à son excellente couverture tissulaire, l'humérus tolère très bien une stabilisation par plaque et vis permettant une fixation rigide et une mobilisation précoce. Ce mode de fixation est particulièrement bien adapté aux fractures de type I, II et IIIa. Pour les types IIIb et IIIc, le plus souvent dues à des fractures par balle, la fixation externe doit être utilisée.(39, 159)

L'enclouage centro-médullaire de l'humérus, même pour les fractures fermées n'a jamais été populaire en médecine humaine car la fixation est fréquemment instable et le point d'entrée proximal interfère avec la mécanique de l'épaule. Le point d'entrée distal permet simplement la mise en place de clous de petit diamètre. (39, 255)

Les enclouages centro-médullaires sans alésage sont préférés aux clous avec alésage nécessitant un site d'entrée proximal plus large pouvant gêner les muscles rotateurs. Leur meilleure indication est sans doute pour les types I et II stables et ne donnant pas une exposition du foyer suffisante pour poser une plaque.

Les traumatismes à haute énergie responsables de ce type de fracture sont associés dans environ 55 % des cas à d'autres lésions sur le patient ou sur une structure neuro-vasculaire proche. La stabilisation doit être rapide tout en permettant une gestion des lésions nerveuses, vasculaires ou tissulaires.

Un fixateur externe unilatéral est alors le plus souvent utilisé. Mostafavi (159) conseille une technique semi-ouverte pour diminuer les lésions neuro-vasculaires iatrogènes. Une incision de 1 à 2 cm est faite puis une dissection douce poursuivie jusqu'à l'os. Ceci est particulièrement important dans le tiers distal à cause de la proximité du nerf radial. La durée de la fixation externe est de 11 semaines chez l'homme avec seulement 6 % de retard de cicatrisation et 44 % de sepsis sur les broches.(159)

Le protocole peut être modifié avec un retrait précoce du fixateur externe à 6 semaines, quand les tissus mous ont complètement cicatrisé et que la réparation vasculaire est mature. La contention est ensuite assurée par une orthèse.

Bardet décrit un cas de fracture par balle de type IIIa de l'humérus géré de façon tardive. Une stabilisation par plaque latérale associée à un parage, une irrigation et une antibiothérapie adéquates ont permis, après une seconde intervention pour greffer, une consolidation à 2 mois sans séquelles. (6)

#### 4 . 3 . 2 -Fractures ouvertes du radius-ulna

La réparation des fractures de l'avant-bras est une priorité en médecine humaine. Le maintien et la restauration d'une réduction anatomique sont fondamentaux pour la conservation des fonctions du membre supérieur.(158)

**Tableau 24 : Classification des fractures ouvertes du radius-ulna**

	Type I	Type II	Type III	Pseudarthrose	Infections
Moed 50 cas	20 (40 %)	19 (38 %)	11 (22 %)	7 (14 %)	2 (4 %)
Yokoyama 10 cas	1 (10 %)	7 (70 %)	2 (20 %)		

(Nombre de cas et pourcentage relatif parmi les fractures ouvertes du radius-ulna)

Une stabilisation de type orthopédique peut être envisagée pour les fractures d'un seul os sur un segment double avec une plaie limitée (type I ou II)

Cette fracture doit être au départ peu mobile et peu déplacée. L'utilisation d'une contention bivalve permet un suivi correct de la plaie.(Egger dans slatter)

Pendant longtemps, la fixation interne des fractures ouvertes du radius-ulna a été retardée après une gestion de la plaie sous pansement contentif. Par la suite, Moed a développé un protocole avec une fixation immédiate et une fermeture retardée de la plaie à 5 ou 7 jours. En effet, dans la

plupart des cas, après le parage, l'exposition du foyer de fracture est suffisante pour permettre le positionnement de la plaque. (39, 155)

Ce matériel assure une réduction anatomique et une stabilisation rigide qui permettent un retour rapide à la fonction.

Une fixation retardée augmente le risque de défaut de réduction et provoque une ankylose articulaire. (155)

En associant la stabilisation précoce à une greffe d'os spongieux lors de la fermeture de la plaie, on obtient les résultats suivants (Tableau 25): (158)

**Tableau 25 : Résultats du traitement des fractures ouvertes du radius-ulna**

	Taux d'union (%)	Infections (%)	Résultats bon ou excellents (%)
Type I	97	0	90
Type II	89	5	88
Type III	84	9	70
Total	88	4	85

D'après Morgan WJ - Complex fractures of the forearm. - Hand Clin. 1994,10(3),375-90.

La fixation externe du radius-ulna doit être envisagée sur le patient polytraumatisé, les foyers très contaminés ou dont les plaies sont très étendues. Cette fixation peut être temporaire ou définitive. Elle peut être remplacée par une contention externe ou mieux une fixation interne qui permettra une bonne rééducation.

La fixation par plaque après une fixation externe n'a pas fait l'objet d'études sur de gros échantillons mais quelques cas laissent à penser que cette technique est fiable.

Une fixation externe définitive permet rarement une réduction anatomique et un maintien de l'alignement. Ceci peut aboutir à une disparition de l'espace inter-osseux ou un défaut de positionnement radio-ulnaire entraînant l'un comme l'autre une diminution des mouvements en rotation de l'avant-bras. (158)

En médecine humaine, la longueur n'est pas une priorité mais le chirurgien vétérinaire doit veiller à la préserver autant que possible. Les pronations et supinations ainsi que la mobilité de la main ont une importance moindre chez l'animal, ce qui fait que la fixation externe est couramment utilisée avec de bons résultats fonctionnels. (64, 231)

Pour les fractures ouvertes articulaires du coude, la fixation par plaque est le traitement de choix. (43)

L'enclouage centro-médullaire radio-ulnaire simple (de type Rush) peut être réalisé sur le patient humain mais n'assure pas une stabilité suffisante pour l'avant-bras bien qu'utilisé par certains auteurs.(39, 255). Il est en général contre indiqué sauf pour quelques cas exceptionnels où les dégâts des tissus mous ne permettent ni la mise en place d'une plaque ni d'un fixateur externe.

Une autre utilisation de l'enclouage concerne les fractures ouvertes de types I et II de l'ulna.(39)

Néanmoins, la fixation par plaque reste la meilleure technique de stabilisation pour ce type de fracture.

### 4 . 3 . 3 -Fractures ouvertes du fémur

Le traitement des fractures ouvertes du fémur, spécialement chez le patient poly-traumatisé, reste très controversé.(238)

Ces fractures résultent le plus souvent de traumatismes à très haute énergie, à l'exception des fractures par balle à faible vitesse.(26, 136)

Le chirurgien doit donc d'abord gérer les lésions vitales avant de mettre en place un traitement de stabilisation de la fracture. Mais, dans l'attente, la fracture doit être immobilisée par traction et la plaie protégée par un pansement stérile après irrigation. (5, 244)

Les lésions associées sont présentes dans 40 à 70 % des cas et les fractures sur un autre segment osseux très fréquentes : 55 à 80 % des cas (Tableau 26).

(5, 75, 198, 244)

Dans l'article de Williams (244), sur 70 patients admis en urgence avec une fracture ouverte du fémur, 17 soit 27 % sont morts avant les premiers soins sur la plaie. (244)

**Tableau 26 : Lésions associées aux fractures ouvertes du fémur**

Lésion associée	Baixaui 25 cas sur 28	Grosse 94 cas sur 111	Rutter 23 cas sur 28	Williams 25 cas sur 44
Tête	16	54	10	9
Thorax	5	24	6	10
Bassin	2	19	-	19
Rachis	1	4	-	
Membre supérieur	13	45	-	
Autre membre inférieur	3	54	-	
Membre postérieur ipsilatéral	12	-	-	
Abdomen	-	11	2	5
Neuro-vasculaire	-	5	6	6

Comme pour les fractures à foyer fermé, les fractures ouvertes du fémur ont pendant longtemps été traitées par traction avec des taux d'infection très bas, de l'ordre de 3 %. Mais, cette technique de stabilisation, inapplicable en médecine vétérinaire, a beaucoup d'inconvénients :

- l'accès à la plaie peut être problématique, en particulier pour les plaies postérieures
- le contrôle de la stabilité très insuffisant fait que les abouts fracturaires aggravent les lésions tissulaires et retardent la cicatrisation
- la traction nécessite un allitement prolongé qui augmente le risque de mortalité
- l'ankylose du genou est très importante
- l'alignement et le contrôle de la longueur sont difficiles
- le patient supporte mal cette technique (26)

La traction peut être utilisée en traitement d'attente mais seulement si le patient n'est pas polytraumatisé. Elle peut éventuellement assurer la stabilisation d'un foyer de fracture nécessitant plusieurs parage avant une fixation interne.

Bien que la fixation externe puisse jouer ce rôle tout en permettant une certaine mobilité du patient et un meilleur accès à la plaie, la traction ne traumatise pas le quadriceps et ne nécessite pas l'introduction de matériel dans la cavité médullaire avant une fixation interne. (136)

**Tableau 27 : Les fractures ouvertes du fémur : classification (nombre de cas, pourcentage) et résultats**

Auteur	N° de cas	Type I	Type II	Type IIIa	Type IIIb	Type IIIc	Infection	Consolidation (Mois)	Non-union Retards de cicatrisation	Remarques
Jenny ECMV avec alésage	100	51 %	49 %	-	-	-	6 %	-	0	
Yokoyama ECMV avec alésage	24	25 %	33 %	20 %	8,5 %	9,5 %		3,5-5,8	- 8,5 % - 17 %	
Brumback ECMV avec alésage	89	30 %	18 %	22 %	30 %	0	11 % sur IIIb, 0 % sur I, II et IIIa	5,2	NR	Fermeture de la plaie à 14,6 jours
Williams	44	12 (29 %)	38 %	14 %	12 %	7 %	2,4 %	3,8	- 2,4 % - 2,4 %	
Grosse	115	31 %	36,5 %	17,5 %	10,5 %	4,5 %	3 cas (2,6 %)	5	- 0 - 4 cas	10 raccourcissements mais < à 2 cm
Rutter	28	35,7 %	32 %	10,7 %	18 %	3,6 %	1 cas	-	NR	4 cas de cals vicieux
Baixauli	28	32 %	50 %	18 %	-	-	0 %	5	0	2 cas de raccourcissement Retrait du clou à 18,3 mois
Mohr	18	-	11 %	89 %			11 %	5,5	0	Raccourcissement 7 %

Compte tenu de la très bonne couverture musculaire du fémur, la nécessité de lambeaux est moins importante et les chirurgies des tissus mous concernent essentiellement les greffes cutanées.

Les fractures ouvertes du fémur sont moins sujettes à la dévascularisation et le risque de pseudarthrose est réduit (de 0 à 8,5 %). La plupart des problèmes de cicatrisation osseuse seront résolus par une greffe osseuse secondaire ou une dynamisation de la fixation interne. (5, 136, 244)

Bien que les lésions vasculaires soient rares (2 % des fractures) avec les fractures diaphysaires, les fractures plus distales doivent faire l'objet d'un examen vasculaire minutieux car l'artère fémorale y est très superficielle.(105, 136)

Le rôle de la fixation par plaque en médecine humaine dans le traitement des fractures ouvertes du fémur est limité. L'application d'une plaque suffisamment longue pour stabiliser la diaphyse fémorale nécessite le plus souvent une aggravation des lésions périostées, des tissus mous et de la dévascularisation de l'os. La biomécanique des plaques n'est pas aussi bonne que celle des clous intra-médullaires et elles conduisent souvent à l'échec en cas de retard de cicatrisation. Bien que des séries de fixation par plaque de fractures ouvertes du fémur ne soit pas rapportée, leurs complications en cas de foyer fermé atteignent 20 % des cas.

Un fait intéressant est la rareté des accidents respiratoires lors de leur utilisation, en particuliers sur le patient poly-traumatisé. (136)

Néanmoins, dans certaines situations particulières, les plaques et les vis peuvent être appropriées. En cas de réparation vasculaire, la fracture peut être stabilisée par plaque ou même fixation externe. De même, lorsqu'un patient a une fracture du bassin ou du rachis associée, le positionnement adéquat pour la mise en place de l'enclouage peut être difficile et les plaques sont alors utilisées. (73, 136, 202)

Pour les fractures proximales et distales, l'utilisation de la fixation par plaque est également incontournable.

Dans la fixation des fractures fermées, l'enclouage centro-médullaire verrouillé avec alésage est actuellement le traitement de choix. C'est pourquoi, étant donnée la bonne couverture musculaire de l'os, plusieurs auteurs ont appliqué cette technique à la stabilisation des fractures ouvertes du fémur.(5, 26, 39, 110, 136, 244)

Les buts du traitement des fractures ouvertes sont la prévention de l'infection, obtenir une cicatrisation des plaies et de l'os et permettre un retour rapide à la fonction initiale. Néanmoins, la vie du patient reste la priorité et le traitement de la fracture ne doit en aucun cas augmenter le



mortalité. Ainsi, beaucoup d'études ont essayé de déterminer le moment idéal pour la stabilisation des fractures ouvertes du fémur. (26, 38, 39, 244)

Bone (19) a montré l'importance d'une fixation rigide des os longs dans la prévention des syndromes de détresse respiratoire aiguë. Une fixation précoce réalisée dans les 24 premières heures assure une nette diminution du nombre de complications respiratoires (embols de graisse, pneumonies) et augmente le taux de survie. De plus, en ce qui concerne les résultats locaux, Brumback (26) trouve sur les fractures de type III une diminution nette du taux d'infection lorsque la fixation est immédiate. (5, 198, 244)

L'alésage de la cavité médullaire, provoque des lésions de l'endoste et de sa vascularisation. Mais, il provoque également l'embolisation de fragments d'os spongieux dans la circulation locale et pour finir dans la vascularisation pulmonaire. Une étude récente a révélé que l'insertion d'un clou de 8 mm lors de la pose d'une prothèse totale de genou diminue la pression partielle en O<sub>2</sub>, ce qui peut également être le cas avec un enclouage sans alésage. (136)

Ainsi, parce que la fracture ouverte du fémur est fréquemment associée à des troubles pulmonaires, la fixation interne immédiate par enclouage sur le patient polytraumatisé doit être évitée et remplacée par une fixation temporaire par traction, fixateur externe ou plaque. (105, 136, 244)

La fixation immédiate et définitive des fractures ouvertes du fémur par enclouage centro-médullaire verrouillé sera pratiquée sur les types I, II, IIIa et IIIb, si la plaie semble propre, avec une fermeture retardée des tissus mous à 5-7 jours. Ceci sous réserve d'un bilan général en relation avec la possibilité d'une anesthésie un peu plus longue. (26, 110, 136)

L'enclouage centro-médullaire verrouillé sans alésage a montré son efficacité dans le traitement des fractures fermées du fémur, mais sa moindre stabilité et son risque équivalent d'embols n'en font pas une bonne technique.

Pour les fractures de type IIIc et certains types IIIb très contaminées ou infectées parées dans un délai de 8 heures, la fixation externe doit être envisagée en première intention.

L'utilisation de la fixation externe est rendue très difficile par l'anatomie de la région. En effet, le fémur est recouvert sur toute sa circonférence de muscles qui peuvent être lésés par la mise en place des implants. (136)

Même si certains auteurs l'emploient pour le traitement de tous les types de fracture, les résultats morphologiques et fonctionnels semblent bien inférieurs à ceux de la fixation interne :

- déficit de flexion du genou > 50° = 35-44 %
- raccourcissement du fémur = 15 %
- traitement complémentaire nécessaire dans 70 à 93 % des cas (traction, attelles)

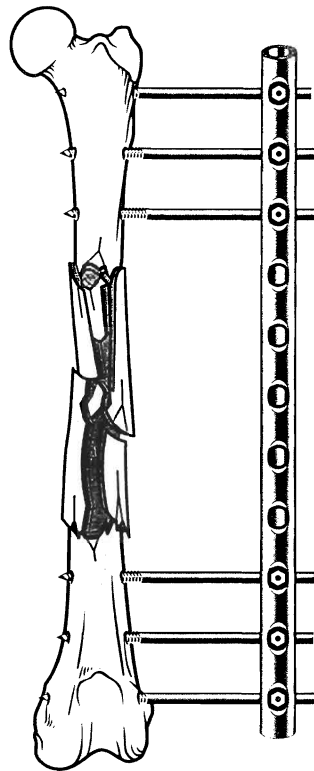
- infections = 50 % (surtout superficielles)
- problèmes de consolidation = 28 % (136, 157)

Le fixateur externe reste néanmoins un excellent moyen de stabilisation temporaire. Comme pour les plaques, il peut permettre une bonne réparation vasculaire pour les types IIIc et être retiré par la suite . Le remplacement du montage, le plus souvent unilatéral, se fait environ à 11 jours sans délai entre les deux interventions.(105)

Si la fixation externe dépasse 2 semaines, il est préférable de laisser un délai pour laisser cicatriser les sites d'insertion des broches. Dans l'attente, l'immobilisation est apportée par une traction avec une broche au niveau de la partie proximale du tibia.(136)

### Figure 13 : Exemple de fixateur externe sur un fémur de chien

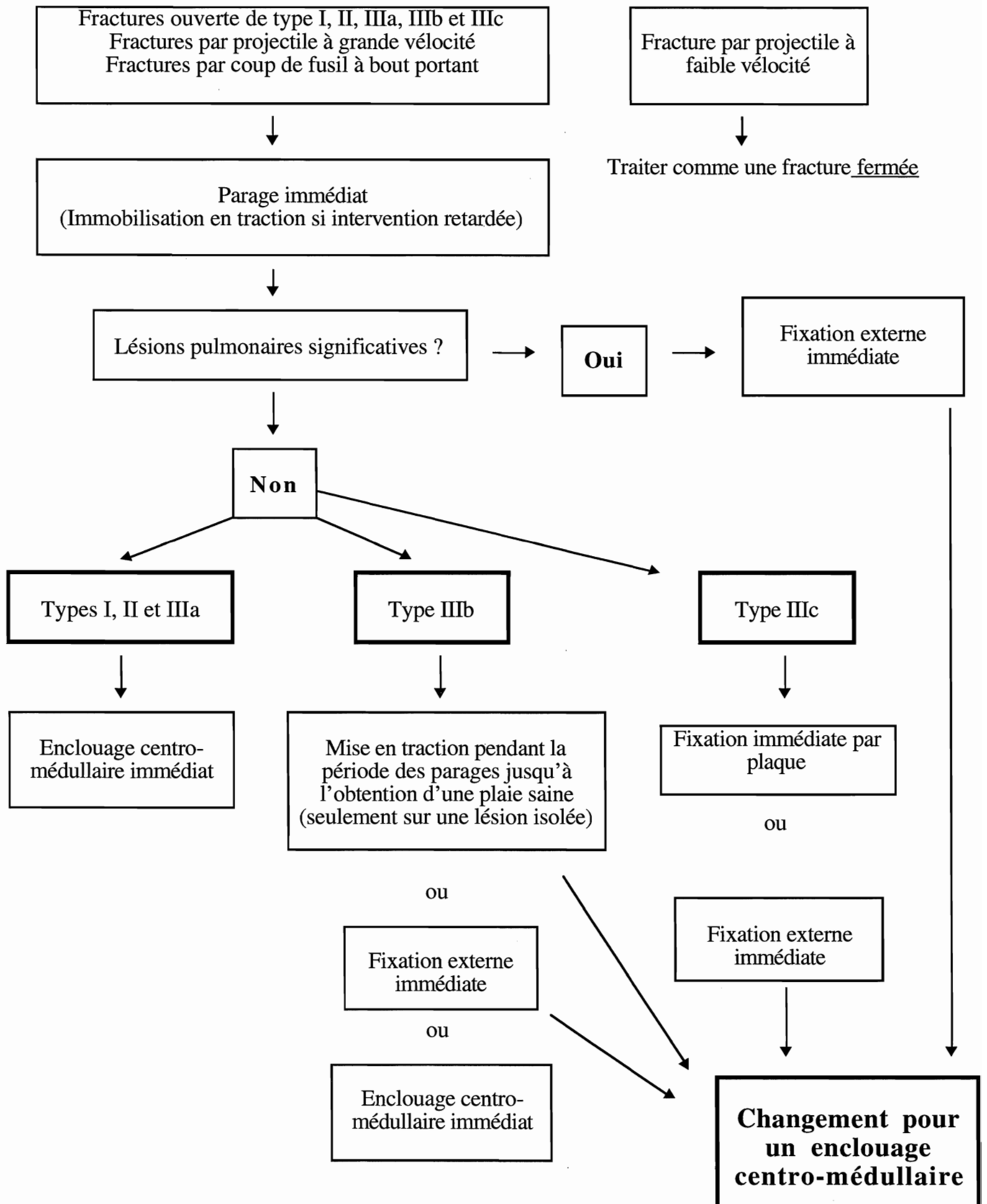
D'après le " Manuel de fixation externe" Latte Y.,Meynard JA



Le montage de la figure 13 bien que réalisable n'est intéressant que pour les fractures de type III. En effet, la mise en place et la présence des fiches dans les muscles de la face latérale de la cuisse gênent de façon majeure la mécanique du membre concerné. Pour cette raison, l'ostéosynthèse par plaque reste le traitement de choix pour la réparation des fractures ouvertes du fémur chez les carnivores domestiques.

**Figure 14 : Choix raisonné dans le traitement des fractures ouvertes du fémur**

(D'après DW Lhowe, Orthopedic clinics of north america, 1994" Open fractures of the femoral shaft")



### 4 . 3 . 4 - Les fractures ouvertes du tibia

Le traitement des fractures ouvertes du tibia et en particuliers des types III est encore à l'heure actuelle une problème thérapeutique majeur.

Les délais de cicatrisation et les complications restent, malgré les améliorations réalisées ces 20 dernières années, très importantes. Le risque d'infection pour les fractures ouvertes du tibia est dix à vingt fois plus important que pour toute autre fracture ouverte (196). Ce risque passe de 2 % pour les types I et II à plus de 50% pour les types III.

A la fois l'anatomie du tibia et la nature du traumatisme font de ces fractures de vrais challenges thérapeutiques.(72)

A la différence du membre antérieur (ou supérieur), du squelette axial et du fémur, la jambe manque de couverture musculaire et d'une circulation collatérale. Toute la partie antéro-médiale manque complètement de couverture musculaire. De plus, les artères tibiales antérieures et postérieures ainsi que les muscles adjacents n'ont que très peu d'interconnexions. Ainsi, chez les carnivores domestiques, environ 50 % des fractures du tibia sont ouvertes. (193)

La faible couverture musculaire protège mal le tibia des traumatismes à haute énergie comme les accidents de la voie publique.

La fixation par plaque des fractures ouvertes du tibia est réservée à certains cas particuliers précédemment cités, essentiellement en région articulaire et métaphysaire. En effet, compte tenu des lésions provoquées par leur mise en place, leur emploi s'avère beaucoup trop risqué avec une prévalence de 35 % d'infection et 19 % d'ostéomyélite en comparaison des 13 et 3 % de la fixation externe et même si les défauts d'alignement sont moins fréquents.(18, 168, 230)

**Tableau 28 : Nombre de cas et classification des fractures ouvertes du tibia**

(30, 61, 77, 78, 79, 80, 81, 211, 236)

Auteur	Nombre de cas	Type I	Type II	Type IIIa	Type IIIb	Type IIIc
Keating	94	14	34	35	11	-
Keating	108	30	36	22	20	-
Dean cole	50	5	14	5	22	4
Sanders 94	64	10	16	17	21	-
Bonatus	72	10	16	17	21	-
Darder-Garcia	39	23	12	3	1	-
Templeman	133	29	36	29	31	8
Jenny	249	140	90	10	8	1
Infection		0-2 %	2-7 %	7 %	10-50%	25-57%
Amputation		0 %	0 %	0 %	16 %	50-78 %

#### 4 . 3 . 4 . 1 - Types I et II

La fixation externe peut être une technique tout à fait efficace dans le traitement des fractures de type I et II mais elle reste tout de même associée à de nombreuses complications : écoulements au niveau des broches, gêne pour le patient et pour la réalisation de lambeaux (236), soins locaux, retards de cicatrisation et pseudarthrose.

Des taux de pseudarthrose de 2 à 12 %, des sepsis sur les broches dans 80 % des cas et des défauts d'alignement dans 2 à 26 % des cas ont été rapportés avec la fixation externe.(61, 98)

On leur préférera les enclouages centro-médullaires verrouillés malgré les résultats expérimentaux de Curtis.(48)

Holbrook (98) fut un des premiers à comparer la fixation externe à l'enclouage centro-médullaire, avec des clous de Ender dits "flexibles», en se basant sur sept paramètres que sont :

- le temps de consolidation
- l'alignement
- le nombre total d'intervention
- la mobilité du genou et de la cheville
- la douleur
- la présence d'infection
- et la présence d'autres complications

L'enclouage de Ender s'est révélé être une technique tout à fait fiable avec une consolidation osseuse à 5,9 mois au lieu de 6,6 mois, une incidence des ostéomyélites divisée par deux (14 à 7%), un nombre d'intervention passant de 2,8 à 1,9 par patient, un taux de cal-vicieux passant de 36 à 21 % et la douleur diminuée par deux.

Néanmoins, les auteurs reconnaissent que leur échantillon de type III est trop petit pour conclure.(98)

Ainsi, la majeure partie des auteurs utilise l'enclouage centro-médullaire verrouillé comme moyen de stabilisation pour les fractures ouvertes du tibia de type I et II.

L'utilisation de l'alésage est elle encore très controversée malgré les résultats d'études pour lesquelles aucune différence majeure n'est à signaler au point de vue complications et résultats. L'alésage du tibia permettrait la mise en place de clous de diamètre supérieur donc apporterait une meilleure stabilité avec un défaut de vascularisation rapidement compensé. (114, 115)

D'autres considèrent cette technique comme acceptable pour les types I et II mais le risque septique est multiplié par 8 pour les types III par rapport aux types I et par 4 par rapport aux types II : les taux d'infection sont de l'ordre de 15 à 33 %. (56, 110, 204, 245)

L'enclouage centro-médullaire verrouillé sans alésage semble donc être la technique la plus appropriée avec une utilisation immédiate ou retardée.(18, 57, 73, 50, 202, 230)

Du fait de la moindre stabilité de l'enclouage sans alésage, certains protocoles permettent une diminution du risque de problème de consolidation et de défauts d'alignement, il en existe deux types principaux :

- dynamisation à 8-12 semaines par retrait d'une vis de verrouillage ou changement de matériel et passage à un clou avec alésage d'un diamètre supérieur
- greffes à 2-6 semaines sur les fractures instables.(19, 38, 39, 215, 230)

#### 4 . 3 . 4 . 2 - Types III

Pour ce type de traumatismes, dus le plus souvent à des accidents de la voie publique à haute énergie, les fractures dans 31 à 81 % des cas sont associées à d'autres lésions osseuses ou articulaires et dans 20 à 67 % des cas, à des problèmes d'ordre vital. (49, 50, 204, 211, 232, 233). Les taux d'amputation en première intention vont de 7 à 18 %. Georgiadis signale lui 86 % de complications dont 56 % d'infection pour les types IIIb et IIIc. (70)

**Tableau 29 : Les fractures de type III sur le tibia**

Etude	Nombre de cas	Amputation	Pourcentage
Gustilo 1984	12	5	42
Caudle 1987	9	7	78
Lange 1985	23	14	61
Helfet 1990	52	21	40
Georgiadis 1993	17	15	88
Gopal 2000	84	4	5

Pour les fractures ouvertes plus sévères, la méthode de stabilisation la plus utilisée par le passé était la fixation externe.(31, 61) Actuellement, après plusieurs études comparatives, l'utilisation de l'enclouage centro-médullaire verrouillé sans alésage semble recommandée par la plupart des auteurs.(18, 38, 39, 49, 73, 91, 201, 202)

L'importance d'un parage agressif et répété, d'une antibiothérapie adaptée, d'une fixation stable et d'une couverture précoce de l'os ainsi que l'utilisation de greffes osseuses ont permis

d'améliorer de façon importante le pronostic de ces fractures. (30, 42, 56, 62, 71, 72, 77, 78, 79, 80, 81, 173)

A l'exception des fractures de type IIIc, des fractures très contaminées ou sur un patient polytraumatisé et des tibias présentant des lacunes osseuses supérieures à 6-8 cm qui seront immobilisés préférentiellement par fixation externe, les types IIIa et IIIb restent encore le sujet de nombreuses études.(91)

Pendant longtemps la fixation externe a été le traitement de choix, associée à un parage agressif et la réalisation de greffes cutanées et de lambeaux musculaires, qui ont permis de faire passer le taux d'infection de 21 à 9 %. (38, 39, 61)

Cependant cette technique reste associée à de nombreuses complications : pseudarthroses, sepsis, douleur et ankylose articulaire.

**Tableau 30 : Comparaison enclouage centro-médullaire verrouillé - Fixateur externe :avantages et inconvénients**

	Avantages	Inconvénients
Fixateur externe de type Hoffman	<ul style="list-style-type: none"> <li>- moins de pertes de sang</li> <li>- dissection limitée des tissus mous</li> <li>-( moins d'infections)</li> <li>- facile et rapide à poser</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sepsis sur les broches</li> <li>- gêne les procédures de couverture</li> <li>- aspect extérieur</li> <li>- cals vicieux et pseudarthroses plus fréquentes</li> <li>- difficulté de fixation des fragments intermédiaires</li> </ul>
Enclouage centro-médullaire verrouillé sans alésage	<ul style="list-style-type: none"> <li>- moins de pseudarthroses</li> <li>- moins de défauts de rotation</li> <li>- respect de la longueur</li> <li>- préservation d'une partie de l'endoste</li> <li>- aspect extérieur</li> <li>- permet les procédures de couvertures</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- technique et expérience</li> <li>- rupture de clous et de vis</li> <li>- radiation par radioscopie</li> <li>- (taux d'infection)</li> </ul>

D'après Tu YK, "Unreamed interlocking nail versus external fixator for open type III tibia fractures." J Trauma. 1995,39, 2, 361-367.

Une revue de la littérature sur la **comparaison fixation externe - enclouage centro-médullaire** verrouillé sans alésage met en évidence l'intérêt de ce type de technique (Tableaux 30 et 31). (91, 98, 204, 232, 234)

A part Tu (234) qui trouve un taux d'infection nettement supérieur pour la fixation par enclouage des fractures de type IIIb, tous les autres auteurs s'accordent à dire que les avantages de cette technique sont nombreux : diminution du nombre d'intervention, de défauts d'alignement, de retard de consolidation et de pseudarthrose.

Les résultats fonctionnels sont également supérieurs avec une reprise de l'appui plus rapide et une meilleure acceptation du patient. Les complications articulaires sont nettement moins fréquentes. L'incidence des infections du foyer de fracture est équivalente mais les sepsis en contact du matériel sont rares avec l'enclouage.

Pour les enclouages centro-médullaires verrouillés, bien que le taux de rupture de vis soit élevé, cela n'a le plus souvent aucune conséquence hormis une augmentation de la difficulté lors du retrait du matériel. (91, 201)

Un autre inconvénient de ce type de fixation est l'impossibilité d'immobiliser correctement une fracture très proximale ou très distale. (91, 201, 232, 233)

Une douleur au niveau du site d'insertion du clou est parfois signalée : 38 % des patients pour Holbrook.(98)

**L'enclouage centro-médullaire verrouillé sans alésage est donc à l'heure actuelle le traitement de choix des fractures ouvertes du tibia de type I, II, IIIa et IIIb. Les fractures de type IIIc seront stabilisée par fixation externe dans un premier temps, puis par fixation interne.**

(14, 56, 204, 213, 232)



	Holbrook 1989 Type I,II,III		Tometta 1994 Type IIIb		Tu 1995 Types IIIa		Tu 1995 Types IIIb		Schadelmaier 1997 Type IIIb		Henley 1998 Types II,IIIa, IIIb	
	FE (28)	Clou de Ender (29)	FE (14)	ECMV (15)	FE (10)	FI (10)	FE (8)	FI (8)	FE (15)	ECMV (17)	FE (70)	ECMV (104)
Infections (%):												
- profonde	14	7	7,1	6,7	10	10	12,5	37,5	11,6	13,3	21	2
- superficielles	4	0	14,2	13,3	-	-	-	-	-	-	-	13
- sur broche	21	-	21,3	-	-	-	-	-	46	-	50	-
Temps d'union (mois)	6,6	5,9	7	5,7	5,5	5,5	7,5	7,5	9	7,5	-	-
Retard de consolidation (%)	21	14	-	-	10	0	25	0	-	-	17,1	13
Pseudarthrose (%)	11	10	14,2	13,3	20	10	37,5	25	-	-	9	4
Défait d'alignement (%)	36	21	14,2	0	10	0	25	0	-	-	31	8
Douleur (%)	-	38	-	-	10	0	12,5	12,5	52	35	-	-
Complications (%):												
- broches	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
- vis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,6	-
- clou	-	0	-	-	-	20	-	25	-	-	-	3,8
Perte de mobilité:												
- genou	14%	7%	0-120°	0-130°	-	-	-	-	-	-	-	-
- cheville	11%	0%	0-30°	0-35°	-	-	-	-	-	-	-	-
Nombre d'intervention par patient	2,8	1,9	-	-	2,8	1,6	6,4	4,9	-	-	3,9	2,7
Durée de fixation externe (mois)	2,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fermeture de la plaie (jours)	Retardée	Retardée	5,8	4,9								
Grefe osseuse	non	non	9 précoces 1 Retardée	10 1					50	17,4	36	14

**Tableau 31 : Comparaison enclouage centro-médullaire verrouillé - Fixateur externe : Résultats**

FE = Fixation Externe, FI = Fixation Interne, ECMV = Enclouage Centro-Médullaire verrouillé.

Un des avantages de l'enclouage centro-médullaire verrouillé est la possibilité de verrouillage statique ou dynamique du montage. Et, pour beaucoup, cette possible dynamisation est un des avantages en terme de consolidation osseuse par rapport au fixateur externe.(19, 72, 221)

Ainsi, le protocole de fixation par enclouage centro-médullaire verrouillé inclus une série d'interventions supplémentaires susceptibles d'améliorer la cicatrisation osseuse:

- dynamisation du clou
- greffe d'os spongieux
- ostéotomie fibulaire
- changement pour un clou avec alésage (15, 18, 19)

Pour Bone (19) et Stegeman (221), 50 % des fractures de type I, II et IIIa nécessitent une ou plusieurs interventions (moyenne : 1,9) supplémentaires pour accélérer la cicatrisation osseuse. De même, il y a une très forte corrélation entre la nécessité d'une intervention et la comminution du foyer de fracture.(19, 220)

L'échange précoce pour un clou avec alésage reste une alternative simple et efficace dans le traitement des retards de consolidation. Le changement peut être fait quand la plaie a cicatrisé ou dans un second temps si le retard de consolidation est objectivé trois ou quatre mois après l'intervention.

Le clou initial peut être verrouillé de deux façons, soit **statique**, soit **dynamique**.

Le verrouillage dynamique avec impaction des deux bouts est limité aux fractures à comminution courte, à trait transverse ou légèrement oblique. Un seul verrouillage, proximal ou distal, est alors réalisé. L'appui doit être partiel pendant 6 à 8 semaines. Ensuite, à 4-6 mois, si la fracture n'est pas cicatrisée, il faut envisager la réalisation d'une greffe d'os spongieux.(18, 33)

Le verrouillage statique est réservé aux cas de comminution supérieure à 50 % de la circonférence de l'os ou aux cas de pertes osseuses pour ne pas entraîner de diminution de la longueur du segment. (18, 221, 230)

Pour ces dernières, une greffe d'os spongieux ainsi qu'une dynamisation précoce sont conseillées à 6-8 semaines après la mise en place du clou sous réserve d'une stabilité axiale de la fracture. Ces deux procédures peuvent être pratiquées en même temps. Par la suite, si au bout de 4 à 6 mois, la fracture n'est pas stabilisée, une seconde greffe est réalisée et le clou est changé pour un clou avec alésage.

Ce protocole permet une diminution du temps moyen de consolidation de trente-sept semaines à vingt-quatre semaines pour les fractures verrouillées statiquement. Cette réduction du temps de consolidation concerne surtout les fractures de type III. (221)

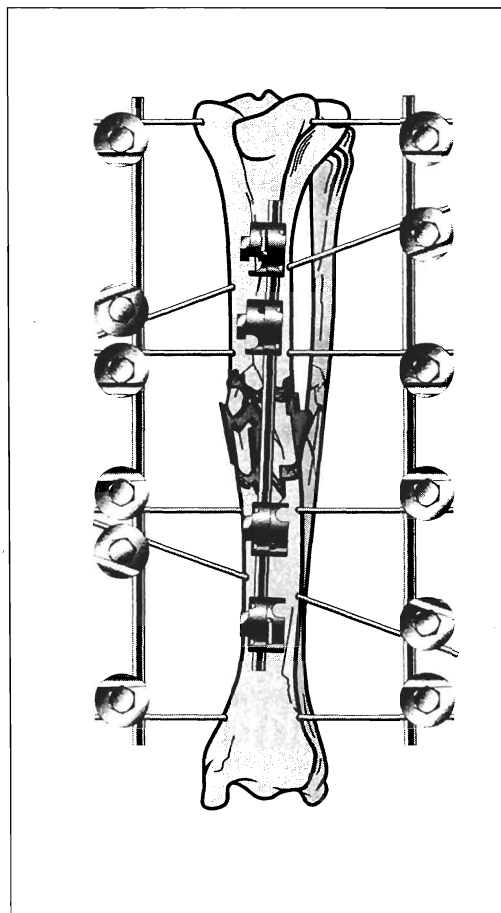
En comparaison, Sanders (201) qui applique simplement un verrouillage statique ou dynamique lors de la stabilisation initiale, malgré des résultats satisfaisants en terme d'infection, de fonction et de complications autres constate un temps moyen de consolidation osseuse de 27 semaines. Pour les types I et II, ce temps de consolidation est de 19 semaines, pour les types IIIa il passe à 33 semaines et pour les types IIIb à 37 semaines avec des taux de retard de cicatrisation respectifs de 0 %, 16 %, 60 % et 80 %.(201)

Ces données appuient l'application de greffes osseuses et de dynamisation précoces et agressives sur les fractures verrouillées statiquement. (19, 221, 230)

Chez les carnivores domestiques, les fractures ouvertes représentent 22 % à 50 % de toutes les fractures du tibia. La fixation externe représente le mode de stabilisation le plus usité pour ce type de fracture (Exemple figure 15). Le montage peut être mixte avec des vis pour les types I et II mais simple pour les types III. Le chirurgien doit s'attendre à un délai de cicatrisation beaucoup plus long (normalement environ 12 semaines) et parfois une greffe d'os spongieux secondaire doit être envisagée. (193)

**Figure 15 : Exemple de montage sur une fracture comminutive du tibia avec un fixateur externe de type JAM-**

D'après le " Manuel de fixation externe" Latte Y.,Meynard JA



Auteur	Nombre de cas	Infection profonde (%)	Temps d'union (semaines)	Cal vicieux (%)	Pseudarthrose Retard de consolidation (%)	Rupture de matériel (%)	Grefte osseuse (%)	Changement de clou (%)	Dynamisation (%)
Tornetta 1994 Dont 15 type IIIb	29	6,6	23	0	0 13,3	-	70	-	-
Sanders 1994 10 type I, 16 typeII, 17 type IIIa,21 type IIIb	13	27	-	15 44	Vis 20	9	11	-	
Stegeman 1995 15 type I, 12 typeII, 14 type IIIa	41	2,4	22	0	0 4,8	-	22	2,4	19
Bonatus 1997 27 type I, 22 typeII, 11 type IIIa,12 type IIIb	72	5	-	10	0 15	1,5	14	2,8	11,1
Shepherd 1998 3 typeII, 1 type IIIa, 29 type IIIb	33	6	27	-	-	0	20	6,6 % par plaque	21
Henley 1998 51 typeII, 41 type IIIa,12 type IIIb	104	2	-	8	4 13	13	14	10	-
Dickson 1998 14 type IIIa,26 type IIIb	40	0	-	-	-	5	20	10	17,5

**Tableau 32 : Enclouage centro-médullaire verrouillé sans alésage sur les fractures ouvertes du tibia.**

## **5 – Complications et cas particuliers**

### **5 . 1 - Les fractures ouvertes chez le jeune**

Beaucoup d'études ont été réalisées chez l'adulte mais peu sur le jeune individu.(103)

Aucune publication vétérinaire n'aborde cette particularité.

L'enfant a des capacités de cicatrisation tissulaires aussi bien cutanées que osseuses nettement supérieures à l'adulte. Ces facultés sont dues à un potentiel biologique supérieur du périoste et à une combinaison de facteur à la fois locaux et régionaux tels que l'hyperhémie. (8)

Par contre le jeune n'a que très peu de stock de greffe osseuse et des cartilages de croissance fragiles et qui doivent impérativement être préservés.

Une fracture du tibia fermée cicatrise en général en 16 semaines chez l'adulte ou l'adolescent. Pour un enfant de 3 ans, la cicatrisation intervient à 3 ou 4 semaines et à 12 semaines pour un enfant de 15 ans.(103)

Au niveau épidémiologique, la plupart des fractures sont associées à des accidents de la voie publique (64 % à 91 % des cas).( 8, 74, 125, 126)

Lors de fracture ouverte du tibia, cette lésion est isolée dans seulement 48 à 78 % des cas. Les lésions associées sont osseuses chez 10 à 55 % des individus ou crâniennes dans 13 à 27 % des cas.

La mortalité dans les 48 premières heures est en général d'environ 3-4 % excepté pour Kreder où elle atteint 7,1 %, mais sur une série comprenant 46 % de type III.(8, 46, 74, 103, 106, 125, 126)

**Tableau 32 : Classification des fractures ouvertes  
chez l'enfant et lésions associées.**

	type I	type II	type IIIa	type III b	type IIIc	Lésions* associées	Autres fractures	Décès
Cullen 83 tibias	24 (29 %)	40 (48 %)	13 (15,6%)	6 (7,4 %)	0	34%	55 %	1,5 %
Irwin 58 tibias	25 (43 %)	23 (40 %)	5 (8,5 %)	3 (5,1 %)	2 (3,4 %)	13	15	0
Kreder 56 tibias	14 (25 %)	16 (29 %)	12 (21 %)	8 (14 %)	6 (11 %)	42 %	31 %	7,1 %
Grimard 90 tibias	38 (42,2%)	35 (38,8%)	12 (13,5%)	3 (3,3 %)	2 (2,2 %)	44,4 %	27 %	3,3 %
Hope 92 tibias	22 (24 %)	51 (55 %)	5 (5 %)	13 (14 %)	1 (1 %)	44 %	34 %	3,2 %
Haasbeck 15 humérus	9 (60 %)	4 (27 %)	—	—	2 (13 %)	—	—	—
46 radius	35 (76 %)	5 (11 %)	6 (13 %)	—	—	—	—	—

\*N.B : Lésions associées sur le thorax, la tête ou l'abdomen.

\_ : Résultats non communiqués par l'auteur.

La gestion du patient est la même avec un bilan général : crânien, thoracique, abdominal, suivi d'une analgésie, d'une protection de la plaie et d'une immobilisation de la fracture. L'antibiothérapie est entreprise le plus tôt possible avec une céphalosporine de 1<sup>o</sup> génération pour les types I et II et associée à un aminoglycoside pour les types III. Elle est ensuite poursuivie pendant 3 à 5 jours.

Le parage est réalisé de la même manière que chez l'adulte à l'exception de l'exérèse des fragments d'os dévascularisés. Si leur nettoyage correct est possible, ils sont remis en place et leur incorporation est rapide. (8). Les fragments très contaminés sont retirés du foyer de fracture. Pour les pertes de segments d'os, compte tenu du manque de greffe spongieuse, l'os peut être raccourci dans un premier temps pour permettre une consolidation correcte et allongé dans un second temps par un système de fixation externe circulaire. Pour le bras, ce raccourcissement ne sera pas forcément suivi d'un traitement chirurgical d'allongement. Si le périoste est resté en place, son potentiel ostéoformateur peut reconstituer le défaut. Ainsi, le périoste doit être préservé au maximum au cours du parage chirurgical et seulement les parties très abîmées ou très contaminées de celui-ci doivent être excisées. (8, 82)

Le syndrome de loge doit faire l'objet d'un diagnostic et d'un traitement précoce. Son incidence est de 2% lors de fracture ouverte du tibia, 0% pour l'humérus et jusqu'à 20 % pour les fractures du radius-ulna médio-diaphysaire.

Bien que la fréquence des fractures de type IIIc semble être inférieure à l'adulte, un taux d'amputation de 66 à 100% en fonction des auteurs impose une prise en charge rapide. (46, 106). De même, ces fractures sont associées aux plus forts taux d'infections, de retard de consolidation et de pseudarthrose. (125, 126)

Les lésions vasculaires nécessitant un traitement chirurgical sont présentes dans 3 à 4 % des fractures ouvertes du tibia chez l'enfant. (33, 75, 106) Haasbeck confirme cette faible incidence sur le radius-ulna mais trouve dans 13 % des cas des lésions artérielles et dans 57 % des cas des lésions nerveuses qui, la plupart du temps, ne nécessitent pas d'exploration et qui toutes s'améliorent spontanément. (82)

Cole et Grimard pensent que cette faible fréquence des fractures ouvertes de type IIIc serait due à une relative élasticité de la vascularisation chez l'enfant. (33, 75)

En ce qui concerne la couverture de l'os, les bons résultats obtenus par certains auteurs avec une fermeture primaire de la plaie sur drains remettent en cause les principes énoncés chez l'adulte. (8, 103, 106, 125, 126)

Néanmoins, la comparaison entre une fermeture primaire ou retardée n'est jamais significative dans ces différentes études car les plaies laissées ouvertes sont les plus souillées ou regroupent celles dont le parage a été insuffisant (75). Il semble donc possible de fermer certaines plaies en première intention mais seulement pour des types I et II.

Pour les types III, une couverture de l'os au bout de quelques jours par lambeau libre ou local est recommandée avec des techniques équivalentes à celles de l'adulte. (62, 71, 122, 154)

La fixation comme pour l'adulte doit être stable mais également préserver les cartilages de conjugaison. Ainsi, afin d'éviter un arrêt de la croissance iatrogène, les enclouages utilisés seront systématiquement non verrouillés. Les plaques et les fixateurs externes peuvent être utilisés et le plus souvent une assistance par radioscopie est apportée pour leur mise en place.

La fixation interne comprend essentiellement les plaques et les vis pour les fractures diaphysaires du radius-ulna, du fémur et dans certains cas de l'humérus. (82) La mise en place de vis reste également incontournable pour la plupart des fractures intercondyliennes humérales et fémorales.

Les enclouages sont toujours d'un faible diamètre et souples (de type Kirschner ou Rush) afin de préserver les cartilages de conjugaison et toujours associés à un traitement orthopédique. (75,82)

L'utilisation de broches transcutanées ou de vis est proposée pour les fractures instables ayant une couverture musculaire suffisante. Elles permettent d'obtenir une réduction anatomique mais

en contre partie, le développement d'un cal pontant et solide est plus long qu'avec un plâtre seul. (46, 75)

La fixation externe est réservée aux fractures instables avec une plaie étendue et sur les patients polytraumatisés. (103)

Etant donnée la vitesse de consolidation, la fixation externe est le plus souvent définitive. Elle est remplacée par une contention externe en cas de complication septique ou par une fixation interne en cas de problème de consolidation.

Toutefois, l'immobilisation par plâtre ou résine reste encore la technique la plus couramment employée : 40 à 83 % des cas, alors que chez l'adulte le traitement orthopédique est réservé à des fractures stables de type I (46, 75, 81, 103, 106). En effet, la relative stabilité apportée par ce mode de contention implique un risque de retard de consolidation, de pseudarthrose et de sepsis trop élevé pour des lésions plus sévères. Les facultés de cicatrisation particulières des enfants permettent de diminuer ce risque. Les plaies, elles, sont gérées par une fenêtre ménagée dans le plâtre ou la résine. Bien sûr, si la plaie est trop étendue, une fixation externe sera mise en place. (8, 103)

Quelle que soit la technique de fixation mise en œuvre, les taux de retard de cicatrisation sont quasiment identiques à l'adulte, à la différence près que dans la plupart des cas une immobilisation prolongée seule suffit pour obtenir la consolidation complète

Chez le jeune, une intervention supplémentaire sera nécessaire pour parvenir à la consolidation osseuse seulement dans 2 à 10 % des cas en comparaison des 40 % souvent rencontrés chez l'adulte. (19, 46, 75, 103, 106, 125, 126, 211, 221)

Les pseudarthroses concernent de 1 à 11,8 % des enfants avec pour Kreder un maximum à 20,8 % dans une série comportant 46 % de fractures de type III. Leur traitement passe par la mise en place d'une fixation interne associée à une greffe d'os spongieux. (125, 126)

Plusieurs auteurs indiquent des taux parfois deux à trois fois supérieurs de retard de consolidation avec la fixation externe mais tous reconnaissent qu'ils utilisent cette technique pour les cas les plus sévères. (46, 75)

Dale Blasier dans une étude portant sur l'âge comme facteur de pronostic pour les fractures ouvertes du tibia de l'enfant indique qu'un enfant de moins de douze ans nécessite un traitement chirurgical moins agressif, cicatrise plus vite, est plus résistant face à l'infection et subit moins de complications qu'un enfant plus vieux. (13)

L'âge serait donc le principal facteur influant sur le temps de cicatrisation associé à la gravité de la lésion. (74, 125, 126)

Ainsi pour un temps moyen de cicatrisation de cinq mois, il sera de trois mois pour un enfant de moins de six ans, de cinq mois pour les 7-12 ans et de sept mois pour les plus de douze ans. Les fractures de type I cicatrisent en trois mois environ, les types II en 4,6 mois, les types IIIa en 6,2 mois et les types IIIb en 7,8 mois. (75)



**Tableau 34 : Les fractures ouvertes du membre supérieur chez l'enfant :  
résultats et complications**

	<b>Humérus ( n = 15)</b>		<b>Avant-bras (n = 46)</b>	
	<b>n</b>	<b>(%)</b>	<b>n</b>	<b>(%)</b>
Lésion vasculaire	2	13	1	2
Lésion nerveuse	7	47	5	11
Syndrome de loge	0		5	11
Infection	0		0	
Union normale	15	100	36	78
Retard de cicatrisation	0		2	4
Pseudarthrose	0		2	4
Cals vicieux	0		5	11
Refracture	0		4	9
Arrêt de croissance	0		0	

D'après J F Haasbeek, " Open fractures of the arm in children" J Bone Joint Surg. 1995, 77B, 4, 576-581.

Les infections sont rares et restent le plus souvent superficielles : 7 à 10 % des cas. Les ostéomyélites, en fonction des auteurs, concernent de 0 à 7 % des fractures ouvertes chez l'enfant. (8, 74, 103, 106, 125, 126)

Les défauts d'alignement restent fréquents (7,5 à 19 %) mais généralement ne nécessitent pas de traitement correcteur. Ceci étant lié à la réduction à foyers fermés et au mode de stabilisation employés. (8, 46, 103)

Remarque : Une stimulation du cartilage de conjugaison par la fracture, sans doute par hyperhémie locale, peut provoquer une augmentation de la taille de l'os de l'ordre de 0,5 à 3 cm dans 37 % des cas. (103)

Une autre complication possible est la fermeture partielle ou complète du cartilage de conjugaison. Cette affection reste rare et intervient dans 0 à 2 % des cas mais nécessite la plupart du temps une ostéosynthèse d'allongement. (75, 103, 125, 126)

	Nombre de cas	Infection (%)		Temps d'union (semaines)	Retard de cicatrisation (+ de 16 semaines)	Pseudarthrose (+ de 6 mois)	Cal vicieux (%)	Mode de fixation (%)			Syndrome de loge (%)	Fermeture cartilage de croissance (%)
		superficielle	profonde					Plâtre	FE	FI + plâtre		
Hope Tibia	92	8	3	13,5	16	7,5	6,5	72	28	0	8	2
Kreder Tibia	55	7	7	20	20,8	8,3	7	42	42	16	-	0
Irwin Tibia	58	10,3	0	9,1	5	0	12	83	17	-	1,4	0
Cullen Tibia	83	2	0	15	22	1	19	41	10,9	48,1	2	0
Grimard Tibia	90	7,1	0	18	11,8	8,2	-	45	34,8	20,2	-	0
Bartlett Tibia	23	41	10	13,1	8	0	0	12	84	4	4	0
Haasbeck												
Humérus	15	-	0	-	0	0	0	6,7	0	93,3	0	0
Radius-ulna	46	-	0	-	4	4	11	44	2	54	11	0

**Tableau 35 : Résultats obtenus dans le traitement des fractures ouvertes chez l'enfant.**

## 5 . 2 - Complications

Malgré un débridement agressif, une antibiothérapie adaptée, une couverture précoce de l'os et une stabilisation rigide, les fractures ouvertes ont toujours un taux de complication élevé. Les problèmes septiques, même si l'amélioration du protocole thérapeutique a diminué leur incidence restent encore l'une des complications majeures. (231)

### 5 . 2 . 1 - Infections

Le risque septique concerne surtout les fractures à forts dégâts tissulaires de type II et surtout III. L'infection peut être superficielle ou profonde.

Les signes de cette infection seront une inflammation avec une rougeur, un œdème, une sensibilité augmentée associée à une hyperhémie et une suppuration. ( 3, 4, 22, 173)

Le diagnostic repose sur six paramètres :

- la suppuration
- l'œdème
- une réaction périostée
- l'évolution radiographique
- la microbiologie
- et l'histo-pathologie

Le traitement de l'ostéomyélite repose sur une identification de l'organisme pathogène, une stabilisation du foyer de fracture, un retrait des séquestres associés à une greffe d'os spongieux, un retrait des implants métalliques après cicatrisation de la fracture et une antibiothérapie de longue durée .

L'antibiothérapie locale par les billes imprégnées d'antibiotiques est maintenant recommandée associée à l'administration systémique. (231)

Ce traitement passe donc par l'amélioration de l'environnement consistant à éliminer les germes et les conditions de leur développement et à stabiliser le site pour permettre une bonne revascularisation.

#### Remarque :

Les infections nosocomiales, rarement signalées par les auteurs, font inévitablement partie des complications du traitement des fractures ouvertes qui implique de longues durées d'hospitalisation. Dellinger rapporte sur 240 patients : 21 cas de pneumonie, 11 cas d'infection urinaire, 3 bactériémie et 13 autres infections. (53)

## 5 . 2 . 2 - Les retards de consolidation

Les causes les plus fréquents en sont l'instabilité du montage, la présence d'un défaut osseux, une interposition de tissus mous dans le foyer de fracture ou un défaut de vascularisation. (138) Ce type de complication peut être évité par une bonne gestion de la fixation associée à l'utilisation en prophylaxie de greffes d'os spongieux. Une dynamisation des montages (Fixateur externe ou enclouage centro-médullaire verrouillé) associée à la mise en place de greffes d'os spongieux permet d'éviter l'évolution en pseudarthrose. (231)

Les retards de consolidation sont surtout fréquents en zone diaphysaire ou la surface de contact est inférieure, la quantité d'os spongieux moindre et la vascularisation moins importante. Les jeunes, bien qu'aussi sujets aux retards de cicatrisation osseuse ne nécessitent que très rarement des interventions supplémentaires. (112)

Ces problèmes peuvent être associés à un phénomène septique. La modification du montage est alors dans ce cas là associée au traitement classique de l'ostéomyélite.

## 5 . 2 . 3 - Les pseudarthroses

La différence avec un retard de consolidation qui évolue lentement n'est pas toujours facile à faire en phase initiale. La pseudarthrose elle, n'est pas du tout évolutive. (112)

On distingue classiquement deux types de pseudarthrose: les biologiquement actives et les biologiquement inactive basées sur leur aspect radiologique.

**Les pseudarthroses biologiquement actives** sont caractérisées par la formation d'un cal périosté volumineux avec persistance d'un trait radio-transparent sur le site de fracture. Le traitement consiste à utiliser un montage plus stable associé dans certains cas à une ouverture du site de fracture pour retirer le fibro-cartilage cicatriciel et reperméabiliser la cavité médullaire. La greffe d'os spongieux, comme le parage du foyer de fracture, bien que non indispensable et conseillée pour accélérer la cicatrisation. (138, 246)

Les techniques classiques de fixation seront internes (: plaque ou enclouage centro-médullaire verrouillé avec alésage) pour les pseudarthroses non infectées et externe pour les autres. (246)

**Pour les pseudarthroses biologiquement inactives**, le parage du site est primordial. Il passe par le retrait de tout le tissu fibreux et de tout l'os dévascularisé conduisant souvent à un raccourcissement du segment. Les cavités médullaires sont revascularisées par perforation du

tissus cartilagineux ou osseux qui les obtures. Un apport d'os spongieux ou cortico-spongieux est indispensable pour induire l'ostéogénèse. Les pertes d'os cortical peuvent être compensées par des techniques d'allongement ou de greffes osseuses libres.(112, 199)

La fixation doit être rigide et le foyer de fracture mis en compression si une technique d'allongement n'est pas envisagée. Les modes de fixation les plus usités restent la plaque et l'enclouage centro-médullaire verrouillé qui associent compression dynamique et rigidité.

Cette compression peut être également réalisée par **des fixateurs externes circulaires** de type Ilizarov. Leur utilisation permet également le transport de segments d'os pour combler d'éventuelles pertes d'os cortical : technique dite " **en ascenseur** "(153)

Les fixateurs externes circulaires sont essentiellement utilisés après un échec de la fixation interne compliquée par une infection. Bien que les résultats soient équivalents aux techniques classiques (plaques et enclouages verrouillés) en terme de cicatrisation, d'éradication de l'infection, d'angulation finale ainsi que de nombre de complications, la longueur finale est beaucoup mieux respectée avec cette méthode. (149)

## 5 . 2 . 4 - Les cals vicieux

Un cal vicieux est une fracture qui a cicatrisé dans une position anormale à cause d'un défaut de réduction initiale ou suite à une immobilisation imparfaite du foyer . Cette mobilité provient à la fois du type de fracture et du mode de contention. (112)

Classiquement un cal vicieux peut correspondre à un raccourcissement supérieur à 1 cm, une angulation de plus de 5° en valgus ou en varus, de 10° en antéro-postérieur ou à une rotation axiale de plus de 10° vers l'intérieur ou l'extérieur. (201)

Ces défauts peuvent à terme provoquer des arthropathies dégénératives par une mauvaise distribution des charges.

Le traitement consiste en une ou plusieurs ostéotomies correctrices en fonction du type de défaut.

## 5 . 2 . 5 - Amputations tardives

Ce type de complication, heureusement rare intervient le plus souvent après un problème neuro-vasculaire. Pour les fractures complexes, le taux d'amputation reste élevé principalement par la durée ou l'absence de reconnaissance de l'ischémie, ou l'échec d'une réparation vasculaire. (241)

Lange (129) et ses collaborateurs rapportent le cas de six patients qui avaient apparemment une extrémité viable et pour lesquels aucune chirurgie vasculaire n'a été entreprise, et dont trois parmi eurent à subir une amputation secondaire à cause d'un phénomène ischémique. (129) Waikakul (241), dans une étude récente trouve jusqu'à 28 % de lésions vasculaires associées aux fractures de type IIIb avec une exploration chirurgicale des artères tibiales antérieures et postérieures, des artères péronées ainsi que des veines saphènes.

Les lésions nerveuses, à part les sections nettes du nerf tibial postérieur tendent à s'améliorer spontanément. Cependant, en cas de contusion majeure, la récupération fonctionnelle est aléatoire et peut aboutir à une amputation secondaire. (87)

### 5 . 3 - Les fractures par arme à feu

Les blessures par balle sont très fréquentes aux Etats-unis et plus rares chez nous. La plupart d'entre elles sont accidentelles chez le chien. (175, 178, 179)

La localisation de ces fractures par balle dépend de l'environnement dans lequel vit l'animal. En ville, les fractures sont souvent rencontrées sur la mâchoire lors d'intrusion de personnes dans un appartement et le plus souvent causées par des armes de poing à bout portant.

En zone rurale, elles sont en général causées par des projectiles destinés à la chasse dans une partie aléatoire du corps. Cependant, il est intéressant de remarquer une plus grande fréquence des fractures de l'humérus sans doute à mettre en relation avec le point de visée que représente la partie antérieure du thorax.

Les fractures par coup de fusil sont heureusement rares car à une distance de plus de 20 mètres, les plombs s'écrasent sur l'os. (24)

Parmi ce type de blessure, 15 % environ sont associées à des fractures en humaine. (148)

Schwach (203) avait mis au point une classification des fractures par arme à feu chez les carnivores domestiques mais elle semble peu utilisée. Cette classification comprend 3 types :

- Le **type 1** comprend des fractures à **faible énergie** avec en général un orifice d'entrée mais pas de sortie. Les tissus sont simplement lésés sur le trajet du projectile et la fracture est simple. La sévérité des dégâts osseux dépend aussi de l'os atteint car une grande partie de l'énergie est dissipée lors de la traversée des tissus mous. Ainsi avec le même type de projectile, une fracture du tibia sera plus complexe qu'une fracture du fémur. La balle est généralement peu déformée, les fragments de plomb sont volumineux même si un peu de poussière peut être présente.
- Les fractures à **haute énergie**, de **type 3**, sont beaucoup plus complexes avec une plaie d'entrée et une plaie de sortie. A cause du phénomène de cavitation, à la fois l'os et une partie du projectile sont transformés en poussière très fine. La plus grosse partie du projectile ressort du membre et peut parfois créer une autre lésion .

- Les fractures de type 2 sont d'une énergie intermédiaire et le plus souvent produites par des balles relativement lourdes à faible ou moyenne vitesse. Les fragments de plombs sont mixtes : poussières et gros débris. (203)

Bien que ce type de fracture reste isolé, elle comportent de nombreuses particularités qui font de leur traitement un vrai challenge pour le chirurgien.

Comme pour les accidents de la voie publique, l'étendue des lésions est proportionnelle à l'énergie dissipée dans le membre.

L'évaluation de cette énergie libérée dans l'os lors de l'impact est différente en fonction du type de projectile utilisé. L'étude de telles fractures implique une approche succincte de la balistique. (10, 11, 101, 102, 139, 148, 175, 178, 179)

### 5 . 3 . 1 - Balistique

La nature d'une plaie par balle dépend d'un phénomène complexe résultant de l'action du projectile et de la réaction des tissus. (11)

Les caractéristiques de la balle sont inhérentes au projectile lui-même (masse, forme, composition) et en partie conférées par l'arme (vitesse longitudinale et de rotation). Les caractéristiques des tissus rencontrés (élasticité, densité et cohésion) affectent fortement la nature de la plaie. La sévérité des lésions est également influencée par l'orientation de la balle durant le déplacement dans les tissus et sa possibilité de fragmentation ou de déformation (balles à pointes creuses ou balles souples).

Deux mécanismes interviennent dans la formation des plaies :

- l'écrasement des tissus rencontrés par le projectile : formation de la cavité permanente
- et l'étirement des tissus autour de la cavité permanente formant une cavité temporaire

### 5 . 3 . 2 - Lésions directes des tissus

Un projectile écrase les tissus qu'il traverse et forme une cavité permanente. Une partie de ces tissus est projetée à l'extérieur soit par le trou d'entrée soit par le trou de sortie du projectile.

En cas de modification de l'axe de pénétration de la balle, la quantité de tissu traversée peut être jusqu'à 3 fois supérieure à celle traversée si le projectile reste sur son axe longitudinal..

De même, certaines balles en se déformant augmentent leur surface de contact avec les tissus. Ainsi, une balle expansive ayant un diamètre 2,5 fois supérieur après expansion provoque 6,25 fois plus de dégâts par écrasement qu'un projectile non déformé.

De plus, la fragmentation d'un projectile provoque une augmentation de la surface de contact avec les tissus et donc une aggravation des lésions d'écrasement. Pour certains projectiles

d'armes de poings et de carabines de chasse, cette fragmentation se produit au contact de l'os. A ce moment là, certains fragments d'os peuvent devenir des projectiles secondaires créant encore d'autres dégâts. (101, 102)

### 5 . 3 . 3 - Le phénomène de cavitation

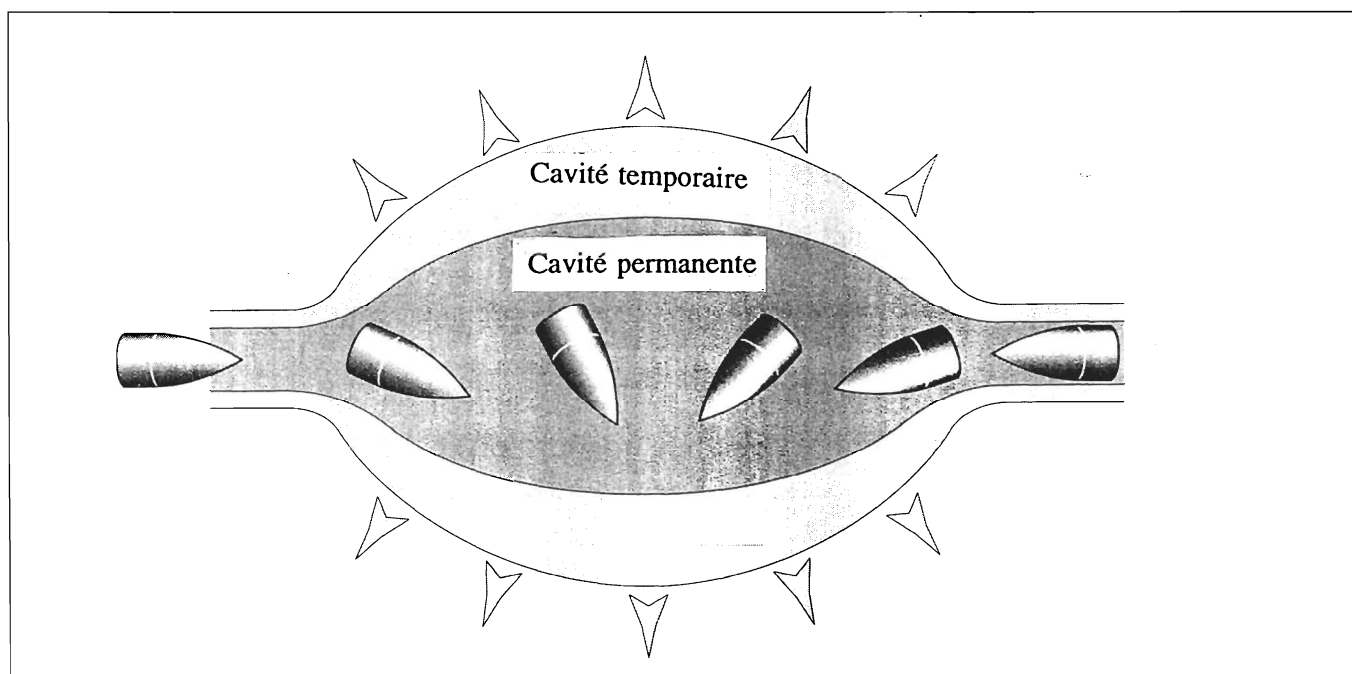
Durant leur vol, la plupart des balles sont stabilisées contre l'oscillation longitudinale par une rotation rapide sur leur axe issue du rainurage de l'arme (20000 tours/min).(175, 178, 179)

Dans les tissus, cette rotation n'est plus suffisante à cause de la densité supérieure du milieu. Si elle ne se déforme pas, la balle peut faire une rotation de 180° (Tête à queue). Quand elle passe à 90 °, son pouvoir d'écrasement est au maximum puis elle ralentie progressivement. (101, 102)

L'onde de choc produite par la transmission de l'énergie cinétique aux tissus rencontrés, eux mêmes devenant des projectiles secondaires donne naissance à une cavité temporaire : c'est le phénomène de cavitation ( Figure 17 et a,b).

**Figure 17 : Le phénomène de cavitation.**

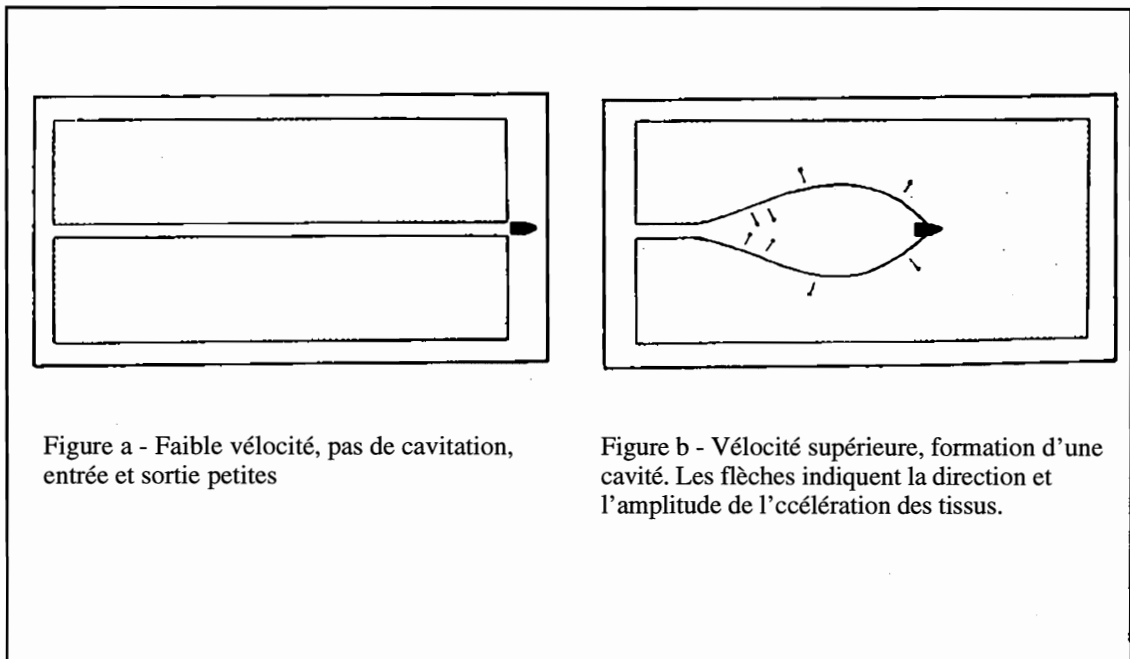
D'après Autefage A. - Fractures ouvertes, fractures par armes à feu, ostéomyélite - " Manuel de fixation externe" Latte Y., Meynard JA 158-170.



La formation de cette cavité commence 2 à 3 microsecondes après le passage du projectile dans les tissus et l'expansion du trajet peut former une cavité dont le volume atteint 30 fois la taille du projectile.



On pense que les lésions à distance du trajet permanent sont issues de la compression et de l'écrasement des tissus lors de l'expansion de cette cavité. (139)



D'après Pavletic MM, " Gunshot wounds in veterinary medicine : Projectile ballistics "  
Compend Contin Ed Pract Vet, 1986, 8, 2, 125-136.

Ce phénomène de cavitation est négligeable pour les balles à faible vitesse inférieure à 600 mètres par seconde. Leur pouvoir destructeur est surtout lié à l'écrasement des tissus rencontrés. (101, 102, 175, 178, 179)

Cette cavité temporaire peut atteindre une largeur de 10 à 25 cm avec une carabine de chasse. Malgré cette taille, seuls les tissus assez denses peuvent être abîmés par l'onde de choc (foie, cerveau, os). Les fractures d'os n'ayant pas été frappés par le projectile reste cependant assez rares. (101, 102)

### 5 . 3 . 4 - Propriétés du projectile

L'énergie cinétique est une approche de la capacité destructrice d'une balle mais il faut également tenir compte de la forme de la balle, de sa composition et des tissus rencontrés.

Cette énergie cinétique est calculée par la formule:

$$\frac{1}{2}mv^2$$

Ainsi en doublant la masse, on double l'énergie cinétique alors qu'en doublant sa vitesse on la multiplie par 4.

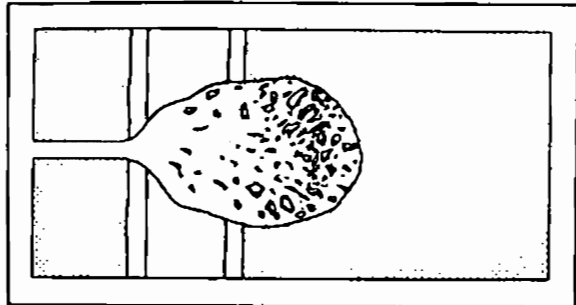


Figure c - Vitesse identique à la figure 2, mais déformation de la balle et création de projectiles secondaires.

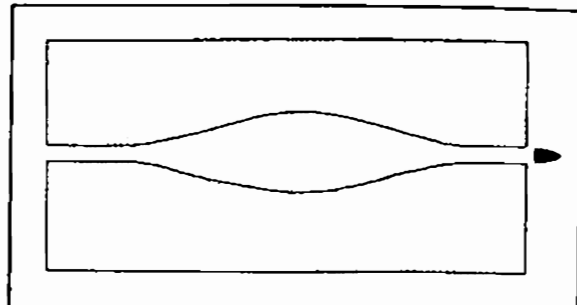


Figure d - La vitesse, le calibre et l'épaisseur des tissus font que la cavitation se fait en profondeur et que les deux orifices d'entrée et de sortie sont de taille identique.

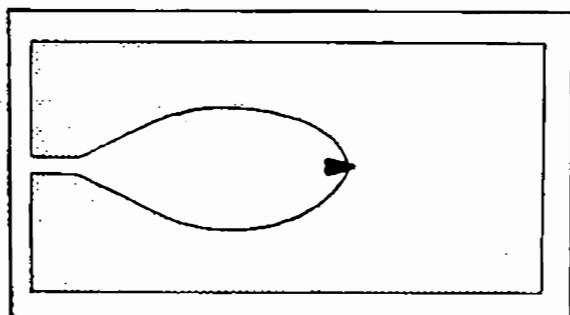


Figure e- Très grande vélocité, grande cavitation et petite entrée. Le trou de sortie peut être large

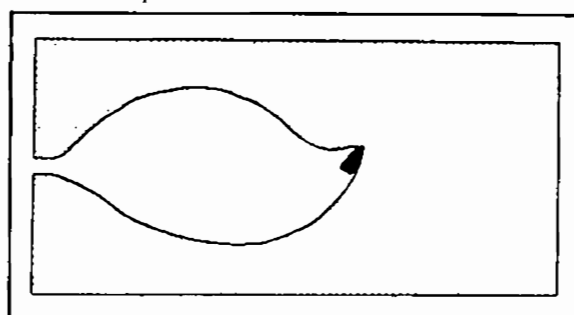


Figure f - Cavitation asymétrique lorsque le projectile oscille et se déforme.

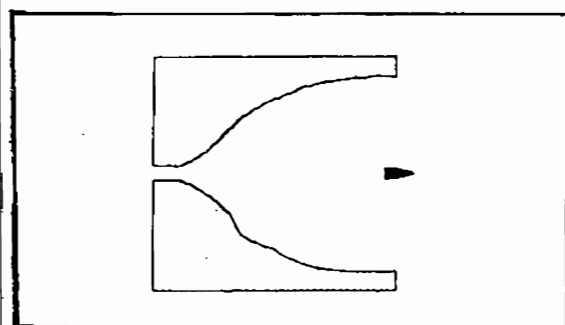


Figure g - Très grande vélocité, cible étroite et sortie large.

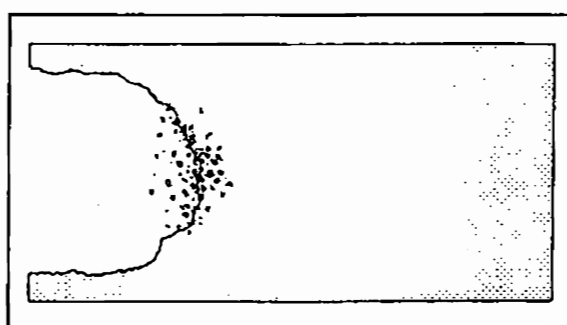


Figure h - Très grande vélocité, petit calibre. Projectile à fragmentation.

D'après Pavletic MM, " Gunshot wounds in veterinary medicine : Projectile ballistics "

Compend Contin Ed Pract Vet, 1986, 8, 2, 125-136.

### 5 . 3 . 5 - Calibre du projectile

Le calibre correspond au diamètre de la balle exprimé en millimètres ou en millièmes d'inch. pour certains calibres, un deuxième numéro peut indiquer soit l'année d'introduction, soit la charge en poudre.

Pour les fusils, le calibre correspond au nombre de balles pouvant être moulées avec une livre de plomb. Les cartouches tirées par ces armes peuvent contenir différents types de plombs.

Les balles ou les plombs sont propulsés par les gaz formés lors de la combustion de la poudre à l'intérieur de la douille. Ensuite, le mouvement de rotation de la balle est apporté par le rainurage particuliers du canon.

On distingue ensuite deux types de projectile :

- à faible vitesse < 600m/s
- à grande vitesse > 600 m/s

Les balles à grande vitesse sont de 2 types, soit couvertes soit expansives.

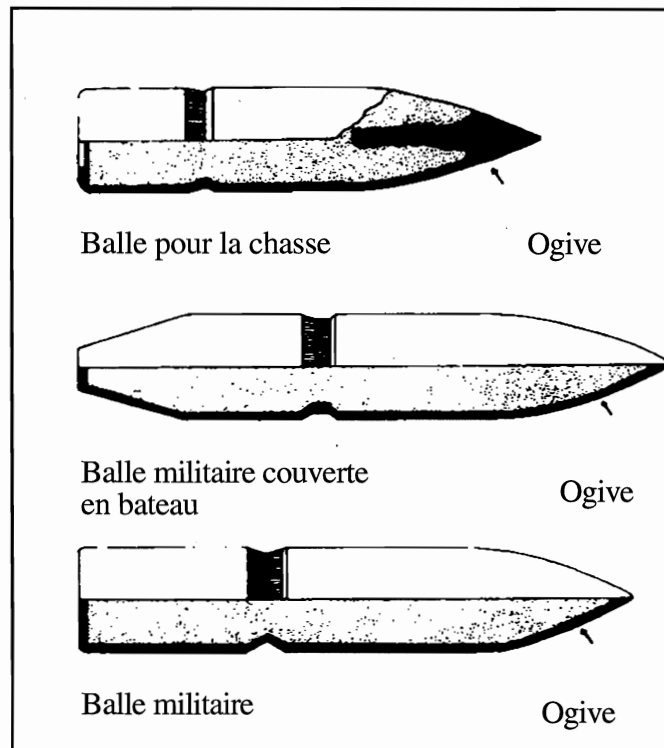
Les balles couvertes sont faites d'un noyau de plomb entièrement recouvert de cuivre. Elles se déforment très peu lors de l'impact. Elles sont réservées à l'usage militaire conformément aux conventions de Genève et de La Hague. Le trajet qu'elles créent est généralement cylindrique. Leur rôle n'est pas de tuer mais simplement de blesser. Leur grande vitesse en vol les rend parfois très instables ce qui peut conduire à une aggravation des lésions. (175, 178, 179)

Les balles expansives utilisées pour la chasse, au contraire, ont un trajet de forme conique à l'intérieur des tissus qui peut provoquer des plaies jusqu'à 40 fois plus importantes en volume qu'avec une balle couverte. Ces projectiles sont réalisés en laissant dépasser une partie du plomb contenu dans l'enveloppe de cuivre ou en faisant un trou sur leur partie crâniale. La partie antérieure va alors s'écraser et la balle va s'ouvrir comme une "banane" (Tableau 17).

L'expansion dépend également de l'épaisseur de la couverture de cuivre, ainsi que de la quantité et de la dureté du plomb exposé.

La couverture de cuivre a un rôle protecteur lors du passage de la balle dans le canon pour éviter sa déformation et le dépôt de plomb.

**Figure 18 : Différents types de projectile**



D'après Pavletic MM, " Gunshot wounds in veterinary medicine : Projectile ballistics "  
Compend Contin Ed Pract Vet, 1986, 8, 2, 125-136.

Les projectiles à air comprimé n'ont pas une puissance suffisante pour provoquer des dégâts tissulaires importants et encore moins des fractures.

Les fusils ont une fonction différente des carabines et armes de poings. Ils sont au départ destinés à la chasse des petits animaux à déplacement rapide. Une décharge consiste en un grand nombre de petits projectiles sphériques de plomb qui forment une grappe qui dépend de la longueur et du chockage du canon.

En effet, la longueur du canon permet une propulsion groupée plus ou moins importante des plombs qui, à la sortie du fusil vont se disperser.

Le groupage des plombs dépend également de la constriction qui peut être apportée à la bouche du canon. Plus la chasse se pratique à distance plus la constriction sera importante, plus le chokage sera important.

Ainsi, à 30 mètres, la quantité de plombs atteignant une cible de 60 cm de diamètre peut passer de 40 à 70 % de la charge initiale.

Il est important de signaler que les cartouches de fusil contiennent une bourre entre la poudre et les plombs qui assure une propulsion homogène de toute la charge. De plus, les fusils peuvent tirer des balles très destructrices de faible vitesse mais de masse importante qui, à courte et moyenne distance peuvent créer des dégâts considérables. (175, 178, 179)

D'un point de vue ballistique, le fusil se montre inférieur en divisant l'énergie de combustion de la poudre sur de nombreux projectiles de petite taille. A courte distance, inférieure à 20 mètres, une décharge de fusil devient particulièrement destructrice. Les débris tels que les poils sont alors très nombreux. La bourre en plastique qui se sépare des plombs peut elle même devenir projectile et pénétrer profondément dans la plaie. Le point d'entrée correspond en fait à une multitude de petites lésions superficielles.

Comme les balles à grande vitesse, les dommages causés par ces projectiles dépendent également des spécificités des tissus rencontrés (densité, élasticité et cohésion).

### 5 . 3 . 6 - Réactions des différents tissus

Les milieux traversés par les projectiles ayant une densité élevée tel que l'os sont plus atteints que les tissus mous (Tableau 35). Au fur et à mesure de leur passage, les forces rétentives des tissus combattent les forces destructrices du projectile afin de le ralentir.

La peau et les poumons, de par leur grande élasticité, supportent très bien ce type de traumatisme et leur intégrité est le plus souvent conservée.

Le muscle et le foie ont des densités équivalentes mais réagissent différemment lors du passage d'un projectile à grande vitesse.

Le muscle strié est organisé en différents corps avec entre eux des enveloppes de connexion. Ces enveloppes contiennent des fibres d'élastine, de collagène, des fibroblastes, des histiocytes et les artères, les veines et les vaisseaux lymphatiques forment des réseaux autour des fibres musculaires. Le foie au contraire est couvert par une fine capsule fibreuse et une fine couche de péritoine. Les seuls tissus de connexion sont des vaisseaux et des canaux biliaires.

Le foie et le muscle absorbent la même quantité d'énergie, mais les dommages hépatiques sont nettement supérieurs. (11)

Ainsi, bien que le muscle puisse être déplacé par l'onde de choc à une distance considérable du trajet de la balle, les dommages causés sur les fibres ont simplement une étendue superficielle. Une zone de nécrose de 0,5 à quelques centimètres d'épaisseur peut toutefois apparaître. A ce moment là, le phénomène est progressif et le plus souvent lié à des lésions vasculaires.

En effet, les vaisseaux n'ont pas besoin d'une atteinte directe car l'élongation ou la déchirure dans certains cas peut provoquer soit des thromboses soit des hémorragies. Ces dommages vasculaires peuvent apparaître à distance suite à des épanchements entre les différents fascias. Ce phénomène explique la nécessité des fasciotomies en phase initiale de traitement pour prévenir toute ischémie. (10)

Remarque: Les plus grandes lésions musculaires sont associées à une fragmentation de la balle ou à l'explosion d'un os. (165)

Les gros vaisseaux sont résistants au traumatisme indirect, et examinés macroscopiquement, ils semblent intacts après le passage de l'onde de choc. (165) En effet, ces vaisseaux contiennent dans leur paroi une grande quantité de fibres élastiques. Ils sont étirés lors de la cavitation et reviennent ensuite à leur place quand les pressions locales diminuent. Certaines lésions microscopiques peuvent être présentes sur l'intima de ces vaisseaux et secondairement conduire à des thromboses.

Les nerfs, à la différence des vaisseaux sanguins, peuvent être sévèrement abîmés même si macroscopiquement rien ne transparaît. Un examen histologique de ces nerfs révèle de sévères dommages avec de nombreuses séparations de fibres nerveuses. (165)

Approximativement 70 % des nerfs qui ne sont pas fonctionnels immédiatement après la blessure par balle retrouvent leur fonction et la plupart des auteurs ne conseille pas l'exploration chirurgicale des nerfs excepté si cet examen est possible au cours du parage ou d'une réparation vasculaire. (148). Si le déficit perdure, l'exploration doit être envisagée à 4 mois après la blessure. La déchirure complète d'un nerf liée à la pénétration d'un projectile a un pronostic sombre avec en médecine humaine seulement 25 % de récupération partielle après réparation chirurgicale.

Les structures neuro-vasculaires peuvent également être lésées par une augmentation de pression dans une loge musculaire. Chez le patient conscient, une induration ou une douleur à la palpation ou à l'étirement de ces muscles doit conduire à la réalisation de fasciotomies. Chez le patient inconscient, un monitoring de la pression intra-fasciculaire doit être réalisé spécialement pour l'avant bras et la jambe.

En cas de perte de la vascularisation d'une extrémité, le diagnostic et la localisation doivent être rapides par l'exploration chirurgicale ou l'angiographie.

L'angiographie doit être réalisée en première intention si l'atteinte est multifocale ou proximale sur le membre. C'est un complément d'information si l'exploration est nécessaire et elle est indispensable si cette même exploration n'est pas indiquée.

On distingue deux types de structure osseuse plus ou moins présentes dans les os longs et les os courts.

L'os cortical, tout d'abord, a une densité élevée et forme la partie extérieure de la plupart des os. Son épaisseur et sa densité sont déterminées par les contraintes que l'os subit. Les diaphyses ont plus d'os cortical que les métaphyses et les épiphyses. L'os spongieux est lui plus présent dans les parties proximales et distales des os longs et sépare la partie externe de l'interne dans les os plats. Il est beaucoup moins dense que l'os cortical.

L'effet de l'impact d'une balle est variable en fonction du type d'os rencontré et des structures qui l'entourent.

Une balle à faible vitesse ou une décharge de plomb ne va pas forcément provoquer une fracture sur une partie distale de fémur par exemple. Le trou formé sera du diamètre du projectile.

Un même impact sur de l'os cortical, sur une diaphyse fémorale par exemple, va fissurer l'os de façon radiaire avec de nombreuses esquilles en aile de papillon.

A grande vitesse, le phénomène de cavitation a été décrit même au sein du tissu osseux. Lorsque la balle frappe l'os, celui-ci explose et certains fragments peuvent devenir des projectiles secondaires tandis que d'autres, attachés au périoste reviennent en place.

Un autre type de fracture mais de gravité moindre peut survenir lors du passage d'un projectile à grande vitesse à proximité de l'os. Expérimentalement, des billes de plomb passant à une vitesse de 800 m/s sont capables de produire des fractures sans heurter l'os. En effet, ces fractures sont provoquées par l'augmentation de la pression à proximité de l'os. Ce sont en général des fractures simples à côté des fractures comminutives résultant d'un impact. (165, 175, 178, 179)

**Tableau 36 : Densité des tissus et sévérité des lésions.**

Tissu	Densité	Sévérité des lésions
Poumons	0,4-0,5	minime
Graisse	0,8	modérée
Foie	1,01-1,02	marquée
Muscle	1,02-1,04	marquée
Peau	1,09	marquée
Os	1,11	sévère

D'après Pavletic MM - Gunshot wounds in veterinary medicine-Part II Compend Contin Ed Pract Vet .1986 Fev, vol 8, 125-132.

### 5 . 3 . 7 - Plaie par balle et contamination

La contamination des fractures par balle est systématique.

Les projectiles à petite et grande vitesse sont susceptibles d'introduire dans la plaie de grandes quantités de corps étrangers : poils, terre, débris de peau etc... Les bactéries sont bien sûr elles aussi introduites dans la plaie.

La cavité temporaire durant sa formation crée une pression négative qui aspire les bactéries dans le trajet permanent. L'hypothèse selon laquelle les projectiles, spécialement ceux à grande vitesse seraient stérilisés par la chaleur générée par le passage dans le canon et le frottement dans l'air est complètement fautive. Des études expérimentales ont montré qu'un projectile dont la surface a été recouverte de bactéries, tiré dans un bloc de gélatine va inoculer ce milieu tout le long de son trajet permanent et dans les fissures créées. De même, des balles stérilisées tirées par une arme stérile dans un bloc de gélatine stérile mais protégée par une barrière couverte de germes à l'entrée et à la sortie démontre que les bactéries sont conduites ou aspirées dans la cible à la fois à l'entrée mais aussi à la sortie. De la même façon, des balles tirées au travers d'un aérosol de bactéries colonisent une gélose stérile. (58)

Ainsi toute plaie par balle est fortement contaminée. Le risque d'infection est surtout important pour les balles à grande vitesse où la comminution est importante, les dégâts tissulaires considérables et la vascularisation compromise. (175, 178, 179)



Doherty, dans une série de vingt fractures par coup de fusil, obtient seulement une seule culture bactériologique positive. Dans cette même étude, trois cas développèrent une ostéomyélite, tous trois avec une culture pré-opératoire négative. (58)

### 5 . 3 . 8 - Particularités du traitement des fractures par arme à feu

Comme pour les autres types de fracture ouverte, un examen général du patient doit être réalisé. Le patient peut être choqué, blessé à plusieurs endroits et une réanimation en urgence peut s'avérer nécessaire. Les commémoratifs ont aussi leur importance pour essayer de déterminer le type d'arme utilisé et le temps écoulé entre la blessure et la prise en charge du patient. (45)

En effet, le traitement et en particulier le parage dépendront du type d'arme employé.

Il est également fondamental d'évaluer la circulation périphérique et le statut neurologique du membre concerné et si nécessaire un traitement rapide est mis en place ( réparation vasculaire ou shunt vasculaire). (10)

Les mêmes règles de protection de la plaie et d'antibiothérapie que pour les autres fractures ouvertes sont appliquées.

L'examen radiographique nous renseigne ensuite sur la présence de corps étrangers métalliques. Leur absence indique une perforation du membre. Lors de cette perforation, l'énergie cinétique du projectile ne s'est pas entièrement dissipée dans les tissus du patient et les lésions sont en général moins importantes.

Le projectile peut être présent sous forme de débris de plomb ou bien sous forme de poussière radiodense mêlée aux fragments d'os . (24, 45, 175, 178, 179)

En cas de perforation, les plaies d'entrée et de sortie doivent être isolées. En général, l'entrée est de taille inférieure et équivaut au diamètre du projectile.

L'examen radiographique renseigne également sur le type de fracture, la nature et la localisation du projectile ainsi que sur son trajet à l'intérieur des tissus. La présence de zones gazeuses est également fréquente pour les balles à grande vitesse.(45)

Le traitement des plaies par armes à feu est encore très controversé.

Il faut avant tout distinguer les plaies par balles à grande vitesse de celles à faible vitesse. Mais, dans les deux cas, un parage et une immobilisation sont recommandés et le but du traitement est toujours d'obtenir une plaie propre, sans débris tissulaires et avec un minimum de corps étrangers.

**Pour les projectiles à faible vitesse**, la plaie est le plus souvent de taille limitée avec des dégâts tissulaires modérés. Un parage large et profond n'est pas en règle générale nécessaire. Le site de pénétration est agrandi, la zone nettoyée et abondamment irriguée, et les corps étrangers (poils, fragments de peau et de balle) sont retirés simplement s'ils sont visualisés sans exploration destructrice. (45)

Les autres fragments du projectile ne sont recherchés que s'ils sont proches de structures vitales et s'ils sont intra-articulaires ou douloureux. (10, 139) En revanche une exploration en profondeur est préconisée en cas de lésion vasculaire majeure pour procéder aux réparations nécessaires.

La plaie est ensuite laissée ouverte et fermée secondairement après réévaluation ou laissée pour une cicatrisation par seconde intention.

**Pour les projectiles à grande vitesse**, il faut toujours suspecter des lésions tissulaires très importantes. De plus, la plupart des balles utilisées en France pour la chasse au grand gibier sont de type expansive avec des dégâts jusqu'à 6 fois plus importants que les balles militaires.

Les parages et irrigations doivent être répétés car les phénomènes ischémiques et de nécrose peuvent apparaître de façon décalée dans le temps. Le statut vasculaire doit également être réévalué en permanence. Le parage doit commencer par un agrandissement de la plaie d'entrée. L'excision des marges est le plus souvent limitée car la peau est résistante de par son élasticité. L'incision est faite longitudinalement sur le membre afin de permettre une meilleure décompression des muscles et une visualisation plus facile des structures abîmées. Tous les tissus sont excisés jusqu'aux portions viables (Muscles, tendons, fascias).

Pour les projectiles perforants, le parage est fait de part et d'autre et l'idéal est d'obtenir une communication des deux plaies.

L'os doit également subir un parage. Tous les fragments dévitalisés de petite taille doivent être retirés et la cavité médullaire est curetée pour enlever un maximum de débris. (45, 139, 140)

Le recouvrement de l'os est pratiqué comme pour les autres types de fracture soit de façon primaire retardée soit par seconde intention, avec la possibilité d'utiliser des lambeaux musculaires, musculo-cutanés ou des greffes cutanées.

La stabilisation de ces fractures dépend à la fois des lésions des tissus mous, de la mobilité du foyer, du segment concerné, de la présence ou non de lésions vasculaires et de l'état général du patient.

La forme d'immobilisation la moins traumatisante est sans aucun doute de type orthopédique, bien que la plupart du temps les plâtres ou résines n'apportent pas suffisamment de stabilité. De plus, la gestion de la plaie est très difficile à réaliser même avec une fenêtre car le moindre œdème diminue la circulation sanguine locale.

Ce type de contention peut donc être envisagé comme traitement d'attente ou secondaire mais rarement comme moyen de stabilisation définitive.(10, 160)

La fixation par plaque chez les carnivores domestiques assure une stabilisation rigide compensant les dégâts de leur mise en place. Cette technique est particulièrement indiquée pour les fractures de type I et II, le plus souvent provoquées par des balles à faible vitesse.

Pour les segments proximaux (Humérus et fémur), la fixation externe est réservée aux fractures de type III avec une forte comminution ou avec des lésions vasculaires. (256)

Pour les segments proximaux (humérus et fémur), la fixation externe est réservée aux fractures de type III avec une forte comminution ou avec des lésions vasculaires. (256)La fixation est immédiate et utilise des montages unilatéraux le plus rigides possibles. (10, 82, 140)

Pour les autres cas, la fixation interne par plaque ou enclouage centro-médullaire peut être immédiate ou retardée après stabilisation par traction ou fixation externe. (83)

Pour les fractures distales (radius-ulna et tibia), la stabilisation dépend également des mêmes facteurs.

Les fractures du radius-ulna seront stabilisées par plaque soit immédiatement si les dégâts sont modérés soit secondairement après fixation externe ou contention orthopédique pour les types II. (148)

Les fractures tibiales par arme à feu sont gérées de la même façon que les autres fractures ouvertes. Mais, étant données la sévérité des dégâts osseux et musculaires, et l'importance de la contamination du foyer, la fixation externe représente souvent le traitement de choix.

La facilité de réalisation et la rigidité des fixateurs externes transfixants en font une méthode de choix pour la stabilisation de toutes les fractures de type III du tibia et du radius-ulna. Pour les animaux de gros gabarit, un montage associant un cadre transfixant et un hémifixant dans un autre plan apportera une rigidité largement suffisante.(117, 118)

En cas de perte osseuse, les greffes osseuses spongieuse, cortico-spongieuses ou libres sont réalisées quand le foyer est considéré comme stérile : de 10 à 15 jours chez l'animal en général. (10, 117, 118) Cependant pour les fractures par coup de fusil, la mise en place du greffon spongieux huméral ou cortico-spongieux iliaque ne semble pas augmenter le nombre de complications septiques.(58)

La complication la plus fréquente reste l'infection chez l'animal avec par exemple 37 % des fractures de type III, quelle qu'en soit l'étiologie, qui développent une ostéomyélite. La prévalence des infections à germes anaérobies reste faible pour ce type de fracture.(58)

Les retards de cicatrisation font aussi partie des complications communes avec un temps de cicatrisation de quatorze à vingt-quatre semaines pour les types III contre huit semaines pour les types I et II. (10)

Remarque:

Compte tenu de la chondrotoxicité du plomb, les fragments logés dans les espaces articulaires doivent faire l'objet d'un retrait systématique. Le plomb présent à ce niveau peut en plus former des dépôts sous-synoviaux qui avec le temps peuvent conduire à une fibrose périarticulaire.

Si le plomb est laissé en place, les lésions mécaniques et chimiques résultent en une dégénérescence articulaire.(10)

**Pronostic :**

En cas de fracture à haute énergie, le pronostic doit rester réservé. Une dynamisation des montages peut être entreprise à huit semaines pour favoriser la formation d'un cal osseux solide.

Pour les autres fractures, la cicatrisation se fait entre six et dix semaines comme pour une fracture de même type mais à foyer fermé. (24)

## **Conclusion**

Bien qu'il n'existe pas de traitement type des fractures ouvertes aussi bien chez l'homme que chez l'animal, la découverte de nouvelles molécules antibiotiques ou antiseptiques, la standardisation du parage chirurgical et une meilleure maîtrise des techniques d'ostéosynthèse ont permis d'améliorer de façon très nette le pronostic.

L'un des progrès majeur dans ce domaine en médecine humaine réside dans la prise de conscience de la nécessité d'un recouvrement rapide du foyer de fracture. Le développement de techniques complexes de reconstruction microchirurgicales introduites par Daniel et Taylor en 1973 a permis de réduire les inconvénients des procédés classiques de stabilisation avec cicatrisation dirigée jusqu'à l'obtention d'une granulation propice à recevoir une greffe cutanée ou osseuse.

L'utilisation de greffes vascularisées libres osseuses, musculaires ou cutanées permet une diminution du nombre d'intervention, une baisse du taux de complications en particuliers septiques ainsi qu'une réduction du coût de traitement.

L'emploi des enclouages centro-médullaires longtemps considéré comme une hérésie pour les foyers de fractures contaminés est rendu possible par le développement de clous verrouillés assurant une stabilisation supérieure.

Certains cas cliniques de reconstruction après chirurgie carcinologique à l'aide de lambeaux libres vascularisés ou de traitement de fractures fermées par enclouage centro-médullaire verrouillé chez les carnivores domestiques permettent d'envisager une association bénéfique pour le traitement des fractures ouvertes.

De nouvelles voies thérapeutiques se présentent pour le vétérinaire orthopédiste qui désire améliorer sa gestion des fractures ouvertes même si la chirurgie vasculaire reste peu développée chez les carnivores domestiques.

**AGREMENT ADMINISTRATIF**

Je soussigné, M. BONNES, Directeur par intérim de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse, certifie que  
**M. BOISSIER Jérôme, Vincent**  
a été admis(e) sur concours en : 1992  
a obtenu son certificat de fin de scolarité le : 12 juillet 1996  
n'a plus aucun stage, ni enseignement optionnel à valider.

**AGREMENT SCIENTIFIQUE**

Je soussigné, Professeur AUTEFAGE  
déclare que j'ai lu la thèse de :

**M. BOISSIER Jérôme, Vincent**  
intitulée :

*Traitement des factures ouvertes : étude bibliographique*  
et que je prends la responsabilité de l'impression.

de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,

**Le Professeur**  
**de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse**



**Professeur A. AUTEFAGE**

**Vu :**  
**Le Directeur**  
**de l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse**



**Professeur Gilbert BONNES**

**Vu :**  
**Le Président de la thèse :**

**Professeur P. BONNEVIALLE**



**Vu le : 8 mars 2001**  
**Le Président**  
**de l'Université Paul Sabatier**

**Professeur R. BASTIDE**

1. **Antich-Adrover P** - External fixation and secondary intramedullary nailing of open tibial fractures. A randomised, prospective trial. - *J Bone Joint Surg.* 1997, **79 B**, 3, 433-437.
2. **Anderson JT** – Immediate internal fixation in open fractures.- *Orthop Clin North Am* 1980, **11**, 569-578.
3. **Autefage A.** - Fractures ouvertes, fractures par armes à feu, ostéomyélite in Latte Y, Meynard JA, Manuel de fixation externe” PMCAC Editions 1997, 158-170.
4. **Autefage A.** - L’ostéomyélite. Cours du CES de traumatologie ostéo-articulaire et orthopédie animales.
5. **Baixauli F Sr** - Interlocked intramedullary nailing for treatment of open femoral shaft fractures. - *Clin Orthop.* 1998, **350**, 67-73.
6. **Bardet JF** - Fractures ouvertes chez le chien et le chat. - *Rec Med Vet.*1983 Mai, **159**, 5, 461-469.
7. **Bardet J F** - Open fractures : classification and treatment. - Congrès WSAVA Vienne, Autriche, 1991.
8. **Bartlett CS 3<sup>rd</sup>** - Treatment of type II and type III open tibia fractures in children. - *J Orthop Trauma.* 1997, **11**, 5, 357-362.
9. **Basher AWP** - Muscle transposition as an aid in covering traumatic tissue defects over the canine tibia. - *J Am Anim Hosp Assoc.*1987, **23**, 617-628.
10. **Bebchuk** - Gunshot injuries : pathophysiology and treatment - *Vet Clin North Am Small Anim Pract* . 1995, **25**, 5 : 1111-1125
11. **Berg P.** – Wound ballistics. - In Newton DC, Nunamaker DM, Textbook of small animal orthopaedics.JB Lippincott, Philadelphia, 1985, 486-497.
12. **Bernat M** - Ostéosynthèse interne secondaire après fixation externe pour fracture ouverte, récente ou ancienne du membre inférieur - *Rev Chir Orthop Rep Appar Mot.* 1996, **82**, 2, 137-44.
13. **Blasier RD.** - Age as a prognostic factor in open tibial fractures in children.- *Clin Orthop.* 1996, **331**, 261-264.
14. **Blachut PA** - External fixation and delayed intramedullary nailing of open fractures of the tibial shaft. - *J Bone Joint Surg* .1990, **72A**, 5, 729-735.
15. **Blick SS** - Early prophylactic bone grafting of high energy tibial fractures. - *Clin Orthop.* 1989, **240**, 21-41.
16. **Blick SS** - Compartment syndrome in open tibial fractures. - *J Bone Joint Surg.* 1986, **68A**, 9, 1348-1352.
17. **Bonanni F** - The futility of predictive scoring of mangled lower extremities. - *J Trauma.* 1993, **34**, 1, 99-104.

18. **Bonatus T.** - Nonreamed locking intramedullary nailing for open fractures of the tibia. - *Clin Orthop*. 1997, **339**, 58-64.
19. **Bone LB.** - Prospective study of union rate of open tibial fractures treated with locked, unreamed intramedullary nails. - *J Orthop Trauma*. 1994, **8**, 1, 45-9.
20. **Bowyer GW.** - Antibiotic release from impregnated pellets and beads. - *J Trauma*. 1994, **36**, 3, 331-335.
21. **Bowyer GW.** - Antibiotic impregnated beads in open fractures. A report on the technique and possible applications in military surgery. - *J R Army Med Corps*. 1993, **139**, 3, 100-104.
22. **Braden TD** – Posttraumatic osteomyelitis. - *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 1991, **21**, 4, 781-811.
23. **Breidenbach WC** - Quantitative culture technique and infection in complex wounds of the extremities closed with free flaps. - *Plast Reconstr Surg*. 1995, **95**, 5, 860-865.
24. **Brinker, Piermattei, Flo** – Handbook of small animal orthopedics and fracture repair. Third Edition 1997, 133-146.
25. **Brumback RJ.** - Interobserver agreement in the classification of open fractures of the tibia. The results of a survey of two hundred and forty-five orthopaedic surgeons. - *J Bone Joint Surg* . 1994, **76A**, 8, 1162-1166.
26. **Brumback RJ.** - Intramedullary nailing of open fractures of the femoral shaft. - *J Bone Joint Surg* .1989, **71A**, 9, 1324-1330.
27. **Budsberg SC.** - Antimicrobial distribution and therapeutics in bone. - *Compend Contin Ed Pract Vet*. 1990, **12**, 12, 1758-1762
28. **Bureau S.** - Conduite à tenir devant une fracture ouverte. - *Point Vét* 1998, **29**, 112-117.
29. **Burstein AH** - Editorial : Fracture classification systems : do they work and are they useful ?. - *J Bone Joint Surg*. 1993, **75A**, 12, 1743-1744.
30. **Byrd HS** – Management of open tibial fracture – *Plast Reconst surg* 1985, **76**, 5, 719-728.
31. **Caudle RJ.** - Severe open fractures of the tibia. - *J Bone Joint Surg* 1987, **69A**, 6, 801-806.
32. **Cierny G** - Primary versus delayed soft tissue coverage for severe open tibial fractures. - *Clin Orthop* 1983 ., **178**, 54-62.
33. **Cole JD.** - A sequential protocol for management of severe open tibial fractures. - *Clin Orthop*. 1995, **315**, 84-103.
34. **Chambers JN.** - Identification and anatomic categorization of the vascular patterns to the pelvic limb muscles of dogs. - *Vet Research* 1990, **51**, 2, 305-313.
35. **Chambers JN** - Flexor carpi ulnaris (Humeral head) muscle flap for reconstruction of distal forelimb injuries in two dogs. - *Vet surg*.1998, **27**, 342-347.



36. **Chancrin JL.** - Traitement d'urgence des fractures ouvertes.- Congrès CNVSPA 1998.
37. **Chang N.** - Comparison of the effect of bacterial inoculation in musculocutaneous and random pattern flaps. - *Plast Reconstr Surg.* 1982, **70**, 1, 18.
38. **Chapman MW.** - The role of early fixation in the management of open fractures. - *Clin Orthop.*1979, **138**, 120-130.
39. **Chapman MW.** - The role of intra-medullary fixation for open fractures. - *Clin Orthop.*1986, **212**, 24-34.
40. **Chmell MJ.** - Structural allografts for reconstruction of lower extremity open fractures with 10 centimeters or more of acute segmental defects. - *J Orthop Trauma.* 1995, **9**, 3, 222-226.
41. **Christian EP.** - Reconstruction of large diaphyseal defects, without free fibular transfer, in grade IIIb tibial fractures. - *J Bone Joint Surg.* 1989 ., **71A**, 7, 994-1003.
42. **Ciorny G.** - Primary versus delayed soft tissue coverage for severe open tibial fractures. - *Clin Orthop* 1983, **178**, 54-62.
43. **Clark DM.** - Treatment of open comminuted intraarticular fractures of the proximal ulna in dogs - *J Am Anim Hosp Assoc* 1987, **23**, 331-336.
44. **Clarke P** - The criteria for amputation in severe lower limb injury. - *Injury.* 1994, **25**, 3, 139-143.
45. **Coupland RM.** - Technical aspect of war wound excision. - *Br J Surg.* 1989, **76**, 663-667.
46. **Cullen MC.**- Open fracture of the tibia in children. - *J Bone Joint Surg .* 1996, **78A**, 7, 1039-1047.
47. **Culvenor JA.** - Collection of cortico-cancellous bone graft from the ilium of the dog using an acetabular reamer. - *J Small Anim Pract.* 1996, **37**, 513-515.
48. **Curtis MJ.**- Contaminated fractures of the tibia: a comparison of treatment modalities in an animal model. - *J Orthop Res.* 1995, **13**, 2, 286-95.
49. **Darder-Garcia A.** - Nonreamed flexible locked intramedullary nailing in tibial open fractures. - *Clin Orthop.* 1998, **350**, 97-104.
50. **Dean Cole J** – A sequential protocol for management of severe open tibial fractures . – *Clin Orthop* 1995, **315**, 84-103.
51. **De Haan JJ .** - Compartment syndrome in the dog : case report and litterature review - *J Am Anim Hosp Assoc.* 1993, **29**, 134-140.
52. **Dekok HJ.** - During open fracture treatment, the repositioning of bone fragments is sometimes difficult. - *J Trauma.* 1994, **37**, 3, 516.
53. **Dellinger EP** - Risk of infection after open fracture of the arm and leg. - *Arch surg.*1988, **123**, 1320-1327.
54. **De Long WG.** - Aggressive treatment of 119 fracture wounds. - *J Trauma* 1999, **46**, 6, 1049-1053.

55. **Dennis RH 2nd.** - Outcome of microvascular free-tissue transfer in lower extremity fractures. - *J Natl Med Assoc.* 1996, **88**, 11, 705-708.
56. **Dervin GF.** - Skeletal fixation of grade IIIB tibial fractures. The potential of metaanalysis. - *Clin Orthop.* 1996, **332**, 10-15.
57. **Dickson KF.** - Unreamed rod with early wound closure for grade IIIA and IIIB open tibial fractures: analysis of 40 consecutive patients. - *Orthopedics.* 1998, **21**, 5, 531-535.
58. **Doherty MA** – Contamination and infection of fractures resulting from gunshot trauma in dogs : 20 cases (1987 –1992) – *J Am Vet Med Assoc* 1995, **206**, 2, 203-205.
59. **Dueland RT.** - Cryopreserved intercalary bone allografts : early experience (1975-1980) in eight canine cases. - *J Am Anim Hosp Assoc* 1989, **25**, 305-316.
60. **Dunel WS.** - Clinical response to antibiotic impregnated polymethyl-methacrylate bead implantation of dogs with severe infections after limb sparing and allograft replacement : 18 cases (1994-1996). - *Vet comp orthop traumatol.* 1998, **1**, 94-99.
61. **Edwards CC** – Severe open tibial fractures : results treating 202 injuries with external fixation – *Clin Orthop* 1988, **230**, 98-115.
62. **Fischer MD-** The timing of flap coverage, bone-grafting and intramedullary nailing in patients who have a fracture of the tibial shaft with extensive soft-tissue injury. - *J Bone Joint Surg.* 1991, **73A**, 9, 1316-1322.
63. **Fitch R** - Bone autografts and allografts in dogs - *Compend Contin Ed Pract Vet.* 1997, **19**, 5, 558-575.
64. **Font J** - A review of 116 clinical cases treated with external fixation. - *Vet Comp Orthop Traumatol.* 1997, **10**, 173-182.
65. **Fontaine D.** - Fractures et fractures luxations ouvertes du 3° degré. - Congrès CNVSPA 1993.
66. **Fowler JD** - Microvascular free tissue transfer : results in 57 consecutive cases. - *Vet Surg* 1998, **27**, 406-412.
67. **Fowler JD** - Transfer of free vascular cutaneous flaps by microvascular anastomosis. Results in six dogs. - *Vet Surg* 1987, **16**, 6, 446-450.
68. **Gagey O** - Prophylaxie des infections dans les fractures ouvertes de jambe. - *Rev Chir Orthop Rep Appar Mot* 1999, **85**, 328-336.
69. **Gambardella PC** - Open fractures. 762-764.
70. **Georgiadis GM** - Open tibial fractures with severe soft tissue loss. Limb salvage compared with below the knee amputation. - *J bone Joint Surg* .1993, **75A**, 10, 1431-1441.
71. **Godina M** - Early microsurgical reconstruction of complex trauma of the extremities. - *Plast Reconstr Surg.* - 1986, **78**, 3, 286-292.

72. **Gopal S** - Fix and flap : the radical orthopaedic and plastic treatment of severe open fractures of the tibia. - *J Bone Joint Surg*. 2000, **82B**, 7, 959-966.
73. **Gregory P** - The management of severe fractures of the lower extremities. - *Clin Orthop*. 1995, **318**, 95-105.
74. **Gregory RT** - The mangled extremity syndrome (M.E.S.) : a severity grading system for multisystem injury of the extremity. - *J Trauma*. 1985, **25**, 12, 1147-1150.
75. **Grimard G** - Open fractures of the tibia in children. - *Clin Orthop*. 1996, **332**, 62-70.
76. **Grosse A** - Open adult femoral shaft fractures treated by early intramedullary nailing. - *J Bone Joint Surg* .1993, **75B**, 4, 562-565.
77. **Gustilo RB** - Current concepts review : The management of open fractures. - *J Bone Joint Surg* .1990, **72A**, 2, 299-303.
78. **Gustilo RB** - Classification of type III (severe) open fractures relative to treatment and results. - *Orthopedics*.1987, **10**, 1781-1788.
79. **Gustilo RB** – Problems in the management of type III (severe) open fractures : a new classification of type III open fractures. *J Trauma* 1984, **24**, 8, 742-746.
80. **Gustilo RB** – Use of antimicrobials in the management of open fractures . *Arch Surg* 1979, **114**, 7, 805-808.
81. **Gustilo RB** - Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty five open fractures of long bones. - *J Bone Joint Surg* .1976, **58A**, 4, 453-458.
82. **Haasbeek JF** - Open fractures of the arm in children. - *J Bone Joint Surg* . 1995, **77B**, 4, 576-81.
83. **Hammer RR** - Simplified external fixation for primary management of severe musculoskeletal injuries under war and peace time conditions. - *J Orthop Trauma*. 1996, **10**, 8, 545-554.
84. **Hampton OP Jr.** - Management of open fractures and open wounds of joints. 1968. - *Clin Orthop*. 1997, **345**, 4-7.
85. **Hansen ST** - Editorial : The type IIIc tibial fracture, salvage or amputation. - *J Bone Joint Surg*. 1987, **69A**, 6, 799-800.
86. **Harrington P.** - Open tibial fractures with severe soft-tissue loss. Limb salvage compared with below-the-knee amputation. - *J Bone Joint Surg* . 1994, **76A**, 10, 1594-1595.
87. **Hartford JM** - Reconstructive amputation after grade IIIc open tibial fracture. One method of preserving residual limb length. - *J Orthop Trauma*. 1994, **8**, 4, 354-8..
88. **Healey KM** - Treatment of open fractures. - *Clin Podiatr Med Surg*. 1995, **12**, 4, 791-800. Review.
89. **Helfet CK** - Limb salvage versus amputation : preliminary results of the mangled extremity severity score. *Clin Orthop* 1990, **256**, 80-85

90. **Helland P** - Open tibial fractures treated with the Ex-fi-re external fixation system. - *Clin Orthop*. 1996, **326**, 209-220.
91. **Henley MB** - Treatment of type II, IIIA, and IIIB open fractures of the tibial shaft: a prospective comparison of unreamed interlocking intramedullary nails and half-pin external fixators. - *J Orthop Trauma*. 1998, **12**, 1, 1-7.
92. **Henry SL** - The antibiotic bead pouch technique. The management of severe compound fractures. - *Clin Orthop*. 1993, **295**, 54-62
93. **Henry WB** - Diaphyseal allograft in the repair of long bone fracture - *J Am Anim Hosp Assoc* 1981, **17**, 525-534.
94. **Hertel R** - Amputation versus reconstruction in traumatic defects of the leg: outcome and costs. - *J Orthop Trauma*. 1996, **10**, 4, 223-9.
95. **Hertel R** - On the timing of soft-tissue reconstruction for open fractures of the lower leg - *Acta Orthop Trauma surg*. 1999, **119**, 223-9.
96. **Hiatt MD** - The decision to salvage a severely injured limb.- *J South Orthop Assoc*. 2000, **9**, 1, 72-78.
97. **Hodgkinson PD** - Cross-leg free muscle flaps for reconstruction of open fractures of the tibia. - *Injury*. 1994, **25**, 10, 637-640.
98. **Holbrook JL** - Treatment of open fractures of the tibia shaft : ender-nailing versus external fixation - *J Bone Joint Surg* . 1989, **71A**, 8, 1231-1238.
99. **Holcombe SJ** - Use of antibiotic-impregnated polymethyl methacrylate in horses with open or infected fractures or joints : 19 cases (1987-1995). - *J Am Vet Med Assoc*. 1997, **211**, 7, 889-93.
100. **Holle J** - The extended gracilis muscle flap for reconstruction of the lower leg. - *Br J Plast Surg*. 1995, **48**, 6, 353-359.
101. **Hollerman JJ** - Gunshot wounds : 1. Bullets, Ballistics and mechanisms of injury. - *Am J Radio* . 1990, **155**, 685-690.
102. **Hollerman JJ** - Gunshot wounds : 2. Radiology. - *Am J Radio* . 1990, **155**, 691-702.
103. **Hope PG** - Open fractures of the tibia in children. - *J Bone Joint Surg* . 1992, **74B**, 546-553.
104. **Horn BD** - Interobserver reliability in the Gustilo and Anderson classification of open fractures. - *J Orthop Trauma* 1993, **7**, 4, 357-360.
105. **Iannacone WM** - Early exchange intramedullary nailing of distal femoral fractures with vascular injury initially stabilized with external fixation. - *J Trauma*. 1994, **37**, 3, 446-451.
106. **Irwin A** - Open fractures of the tibia in children. - *Injury*. 1995, **26**, 1, 21-24.
107. **Isenberg JS** - Microvascular transplantation in the salvage of lower extremity trauma in the elderly. - *Ann Plast Surg*. 1996, **36**, 3, 273-275.

108. **Jacob** - Delayed local treatment of rabbit tibial fractures with biodegradable cefazolin microspheres - *Clin Orthop*.1997, **336**, 278-285.
109. **Jeng SF** -Use of the vascular pedicle of a previously transferred muscle as the recipient vessel for a subsequent vascularized bone flap. - *Plast Reconstr Surg*. 1997, **99**, 4, 1129-1133.
110. **Jenny JY** - Le risque infectieux de l'enclouage centro-médullaire verrouillé des fractures ouvertes du fémur et du tibia. - *Acta Orthop Belg*. 1995, **61 Suppl 1**, 212-215.
111. **Johansen K** - Objective criteria accurately predict amputation following lower extremity trauma. - *J Trauma*. 1990, **30**, 5, 568-573.
112. **Kaderly RE** – Delayed union, nonunion and malunion – In Slatter DH, Textbook of Small Animal Surgery 2nd Edition, London, Saunders, vol 2, chap. 125, 1676-1685.
113. **Kao JT** - Reimplantation of a contaminated and devitalized bone fragment after autoclaving in an open fracture. - *J Orthop Trauma*. 1995, **9**, 4, 336-340.
114. **Keating JF** - Reamed interlocking intramedullary nailing of open fractures of the tibia. - *Clin Orthop*. 1997, **338**, 182-191.
115. **Keating JF** - Locking intramedullary nailing with and without reaming for open fractures of the tibial shaft. A prospective, randomized study. - *J Bone Joint Surg* . 1997, **79A**, 3, 334-341.
116. **Keating JF** - Reamed nailing of open tibial fractures: does the antibiotic bead pouch reduce the deep infection rate? - *J Orthop Trauma*. 1996, **10**, 5, 298-303.
117. **Kerdelhue B** - Traitement chirurgical d'un cas de fracture radio-ulnaire ouverte ancienne chez un chat. – *Prat Med Chir Anim Comp*.1995, **30**, 695-704.
118. **Kerdelhue B** - Conduite à tenir devant une fracture ouverte chez les chiens et les chats. - *Point Vét*.1994 , **160**, 26, 133-138.
119. **Kerwin SC** - Bone grafting and banking - *Compend Contin Ed Pract Vet* 1991, **13**, 10, 1558-1566
120. **Kindsfater K** - Osteomyelitis in grade II and III open tibia fractures with late debridement. – *J Orthop Trauma*. 1995, **9**, 2, 121-127.
121. **Kirk NT** – The classic : amputations. *Clin Orthop* 1989, **243**, 3-16.
122. **Klein DM** - Local-advancement soft-tissue coverage in a child with ipsilateral grade IIIB open tibial and ankle fractures. - *J Orthop Trauma*. 1996, **10**, 8, 577-580.
123. **Knapp TP** - Comparison of intravenous and oral antibiotic therapy in the treatment of fractures caused by low-velocity gunshot. - *J Bone Joint Surg* . 1996, **78A**, 8, 1167-1171.
124. **Kostolich M** –Axial pattern flap based on the genicular branch of the saphenous artery. - *Vet Surg*. 1987, **16**, 3, 217-222.
125. **Kreder HJ** - A review of open tibia fractures in children. - *J Pediatr Orthop*. 1995, **15**, 4, 482-488.

126. **Kreder HJ** - The significance of perioperative cultures in open pediatric lower-extremity fractures. - *Clin Orthop*. 1994, **302**, 206-212.
127. **Krettek C** - Rotationplasty for the treatment of severe bone loss and infection of the distal end of the femur. A case report. - *J Bone Joint Surg* . 1997, **79A**, 5, 771-774.
128. **Krettek C** - The role of supplemental lag-screw fixation for open fractures of the tibial shaft treated with external fixation. - *J Bone Joint Surg* .1991, **73A**, 6, 893-897.
129. **Lange RH** - Open tibial fractures with associated vascular injuries : prognosis for limb salvage. - *J Trauma*. 1985, **25**, 3, 203-207.
130. **Lee AH** - Wound healing over denuded bone - *J Am Anim Hosp Assoc* 1986, **23**, 75-84.
131. **Lee J.** - Efficacy of cultures in the management of open fractures. - *Clin Orthop*. 1997, **339**, 71-75.
132. **Lemarié** - Distant abdominal and thoracic pedicle skin flaps for treatment of distal limb skin defects - *J Small Anim Pract* 1995, **36**, 255-261.
133. **Le Nen D** – Utilisation des lambeaux musculaires dans le traitement des fractures ouvertes des membres. A propos de 42 cas. - *Rev Chir Orthop Rep Appar Mot*. 1997, **84**, 5, 423-434.
134. **Lesser AS** - Segmental bone transport for the treatment of bone deficits - *J Am Anim Hosp Assoc* 1994, **30**, 322-330.
135. **Lewis DD** - Self assessment colour review of small animal orthopaedics. - 1998, 24.
136. **Lhowe DW** - Open fractures of the femoral shaft. - *Orthop Clin North Am*. 1994, **25**, 4, 573-580.
137. **Lin CH** - Free composite serratus anterior and rib flaps for tibial composite bone and soft-tissue defect. - *Plast Reconstr Surg*. 1997, **99**, 6, 1656-1665.
138. **Lincoln JD** - Treatment of open, delayed union and non union fractures with external skeletal fixation. - *Vet Clin North Am Small Anim Pract*.1992, **22**, 1, 195
139. **Lipowitz AJ** - Management of gunshot wounds of the soft tissues and extremities. – *J Am Anim Hosp Assoc*.1976, **12**, 813-821.
140. **Loden D** - A conservative management of gunshot wounds. A case report. - *J Am Anim Hosp Assoc*.1982, **18**, 753-757.
141. **Lortat-Jacob A** - Antibio prophylaxie en chirurgie orthopédique. - *Ann Fr Anesth Reanim*. 1994, **13**, 5 Suppl, 551-560.
142. **Lozier S** – Effects of four preparation of 0,05 % chlorhexidine diacetate on wound healing in dogs- *Vet Surg* 1992, **21**, 2 107-112.
143. **Martin DD** - Trauma patients in : Thurmon JC, Tranquilli WJ, Benson GJ : Lumb and jones' Veterinary anesthesia, 1996, 3° Edition, 829-843.

144. **Mathon D** – Contribution a la mise au point d'un tissu osseux bioartificiel. – Th. D. : Biomateriaux : Toulouse, 1999, n° 3471, 234.
145. **Lowenberg DW** - Combined muscle flap and Ilizarov reconstruction for bone and soft tissue defects. - *Clin Orthop*. 1996, **332**, 37-51.
146. **Mc Graw** - Treatment of open tibial-shaft fracture : external fixation and secondary intramedullary nailing - *J Bone Joint Surg* . 1988, **70A**, 6, 900-910
147. **McNamara MG** - Severe open fractures of the lower extremity: a retrospective evaluation of the Mangled Extremity Severity Score. - *J Orthop Trauma*. 1994, **8**, 2, 81-7.
148. **McAndrew MP** - Penetrating orthopedic injuries. - *Surgical clinics of north America*. 1991, **71**, 2, 297-303.
149. **Marsh JL** - Chronic infected tibial nonunions with bone loss. Conventional techniques versus bone transport. - *Clin Orthop*. 1994, **301**, 139-146.
150. **Maurer DJ** - Infection after intramedullary nailing of severe open tibial fractures initially treated with external fixation. - *J Bone Joint Surg* . 1989, **71A**, 6, 835-838.
151. **Merritt K** - Factors increasing the risk of infection in patients with open fractures. - *J Trauma*. 1988, **28**, 6, 823-827.
152. **Meyer C** - La couverture des pertes de substance post-traumatiques complexes de la jambe. A propos d'une série de 35 cas. - *Ann Chir Plast Esthet*. 1994, **39**, 4, 482-90
153. **Minehara H** - Bone transport combined with free flap reconstruction and antibiotic bead spacers for a type IIIB open tibial fracture : case report. - *J Trauma*. 1998, **44**, 6, 1103-1107.
154. **Moda SK** - The role of early flap coverage in the management of open fractures of both bones of the leg. - *Injury*. 1994, **25**, 2, 83-85.
155. **Moed BR** - Immediate internal fixation of open fractures of the diaphysis of the forearm. - *J Bone Joint Surg* 1986 ., **68A**, 7, 1008-1017.
156. **Moehring HD** – Comparison of antibiotic beads and intravenous antibiotics in open fractures. – *Clin Orthop*. 2000, **372**, 254-261.
157. **Mohr VD** - External fixation of open femoral shaft fractures. - *J Trauma*. 1995, **38**, 4, 648-652.
158. **Morgan WJ** - Complex fractures of the forearm. - *Hand Clin*. 1994, **10**, 3, 375-90.
159. **Mostafavi HR** - Open fractures of the humerus treated with external fixation. - *Clin Orthop*. 1997, **337**, 187-197.
160. **Moyikoua A** - Fractures ouvertes par armes à feu en pratique civile. A propos de 31 cas. - *Ann Chir*. 1994, **48**, 11, 1020-1024.
161. **Najean D** - Couverture en urgence des fractures ouvertes de jambe. A propos d'une série de 24 cas cliniques. - *Ann Chir Plast Esthet*. 1994, **39**, 4, 473-9, discussion 480-481.

162. **Naziri W** - The contribution of open extremity fractures to infection in multiply injured patients. *Injury*. 1994, **25**, 3, 181-183.
163. **Nejedly A** - Importance of an early tissue transfer in the treatment of complicated injuries of lower extremities. - *Acta Chirurgicae Plasticae*.1994, **36**, 1, 11-14.
164. **Nieminen H** - Free flap reconstruction of 100 tibial fractures - *J Trauma* 1999, **46**, 6, 1031-1035
165. **Nunamaker** - Open fractures and gunshot injuries. - In Newton DC, Nunamaker DM, Textbook of small animal orthopaedics. JB Lippincott, Philadelphia, 1985, 481-485.
166. **Nunamaker** - Management of infected fractures. - *Vet Clin North Am Small Anim Pract*.1975, **5**, 2, 259-271.
167. **O'Brien PJ** . - Management of the compromised lower extremity. - *Can J Surg*. 1995, **38**, 3, 218-220.
168. **Olson** - Open fractures of the tibial shaft : Current treatment - *J Bone Joint Surg* . 1996, **78A**, 9, 1428-1436.
169. **Ostermann PA** - Local antibiotic therapy for severe open fractures. A review of 1085 consecutive cases. - *J Bone Joint Surg* . 1995, **77B**, 1, 93-97.
170. **Ostermann PA** - Timing of wound closure in severe compound fractures. - *Orthopedics*. 1994, **17**, 5, 397-399.
171. **Ostermann PA** - The role of local antibiotic therapy in the management of compound fractures. - *Clin Orthop*.1993, **295**, 102-111.
172. **Parker** - The initial treatment of open fractures. - *Vet Clin North Am Small Anim Pract*.1980, **10**, 3, 701-716.
173. **Patzakis MJ** - The role of antibiotics in the management of open fractures - *J Bone Joint Surg* .1974, **56A**, 3, 532-541.
174. **Pavletic MM** – Atlas of small animal reconstructive surgery. Second edition. Saunders.
175. **Pavletic MM** - Gunshot wound management - *Compend Contin Ed Pract Vet* 1996, **18**, 12, 1285-1299.
176. **Pavletic MM** - Pedicle grafts - In Slatter DH, Textbook of Small Animal Surgery 2nd Edition, London, Saunders, vol 1, chap. 27, 295-325.
177. **Pavletic MM** - Les lambeaux cutanés en chirurgie reconstructrice. - *Point Vét* 1992, **24**, 125-135.
178. **Pavletic MM** - Gunshot wounds in veterinary medicine-Part I - *Compend Contin Ed Pract Vet* .1986, **8**, 48-60.
179. **Pavletic MM** - Gunshot wounds in veterinary medicine-Part II - *Compend Contin Ed Pract Vet*.1986 , **8**, 125-132.
180. **Philibert D** - The trapezius osteomusculocutaneous flap in dogs - *Vet Surg*. 1993, **22**, 6, 444-450.



181. **Philibert D** - Use of muscle flaps in reconstructive surgery. - *Compend Contin Ed Pract Vet* 1996, **18**, 4, 395-402.
182. **Porter CD** – A comparison of skin and muscle for cortical revascularization - *Vet Comp Orthop Traumatol* 2000, **13**, 128-134.
183. **Prokuski LJ** - Segmental bone deficiency after acute trauma. The role of bone transport. - *Orthop Clin North Am.* 1994, **25**, 4, 753-763.
184. **Provenzani S** - Recouvrement par lambeau des fractures ouvertes du segment jambier par haute énergie - *Rev Chir Orthop Rep Appar Mot.* 1993, **78**, 99-110.
185. **Rand N** - The role of intramedullary nailing in modern treatment of open fractures of the tibia and femur. - *Mil Med.* 1994, **159**, 11, 709-13. Review.
186. **Raschke MJ** – Distraction of hypertrophic callus in the treatment of segmental bone loss in the femur. – *J Bone Joint Surg.* 2000 ., **82A**, 1, 101-104.
187. **Reigstad A.** - Soft tissue defects and bone loss in tibial fractures--treatment with free flaps and bone transport. - *Acta Orthop Scand.* 1997, **68**, 6, 615-622.
188. **Remedios AM** - Axial pattern flaps in cutaneous reconstruction of lower limb wounds – *Compend Contin Ed Pract Vet* 1995, **17**, 11, 1356-1364.
189. **Remedios AM** – Thoracodorsal and caudal superficial epigastric axial pattern skin flaps in cats. *Vet Surg.* 1989, **18**, 5, 380-385.
190. **Richards RR** - Effect of muscle flap coverage on bone blood flow following devascularization of a segment of tibia : an experimental investigation in the dog. - *J Orthop Research.* 1989, **7**, 4, 550-558.
191. **Robla J** - Assessment of soft tissue injury in open tibial shaft fractures by transcutaneous oximetry. - *Clin Orthop.* 1994, **304**, 222-228.
192. **Rosenstein BD** - The use of bacitracin irrigation to prevent infection in post-operative skeletal wounds. - *J Bone Joint Surg.* 1989, **71A**, 3, 427-430.
193. **Roush JK** - Fractures of the tibia - *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 1992, **22**, 1, 161-169
194. **Roush JK** - Fracture management decision. - *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 1995, **25**, 5, 1059-1072.
195. **Rowley DI** - The management of war wounds involving bone - *J Bone Joint Surg .* 1996, **78B**, 5, 706-709.
196. **Russel GG** - Primary or delayed closure for open tibial fractures. - *J Bone Joint Surg.* 1990, **72B**, 125-128.
197. **Russel RC** - Experimental evaluation of the antibiotic carrying capacity of a muscle flap into a fibrotic cavity. - *Plast Reconstr Surg.* 1988, **81**, 2, 162-167.
198. **Rutter JE** - Intramedullary nailing of open femoral shaft fractures. - *Injury.* 1994, **25**, 7, 419-422.

199. **Saitoh S** - Peroneal osteocutaneous flap raised on reconstructed popliteal artery for delayed union following open tibial fractures. - *Microsurg.* 1996, **17**, 4, 230-7.
200. **Sanchez IR** – Effects of chlorhexidine diacetate and povidone-iodine on wound healing in dogs. *Vet Surg* 1988, **17**, 6, 291-295.
201. **Sanders R** - The treatment of open tibial shaft fractures using an interlocked intramedullary nail without reaming. - *J Orthop Trauma.* 1994, **8**, 6, 504-510.
202. **Sanders R** - The management of fractures with soft tissue disruptions. - *J Bone Joint Surg* .1993, **75A**, 5, 778-789.
203. **Schwach RP** – Gunshot fractures of the extremities : Classification, management and complications.-*Vet Surg* 1979, **8**, 57-62.
204. **Schandelmaier P** - Superior results of tibial rodding versus external fixation in grade 3B fractures. - *Clin Orthop.* 1997, **342**, 164-72.
205. **Schneider RK** - Use of antibiotic-impregnated polymethyl-methacrylate for treatment of an open radial fracture in a horse – *J Am Vet Med Assoc.* 1995, **207**, 11.
206. **Selcer BA** - The incidence of thoracic trauma in dogs with skeletal injury. *J small Anim Pract.* 1987, **28**, 21-27.
207. **Seligson D** - The management of open fractures associated with arterial injury requiring vascular repair. - *J Trauma.* 1994, **37**, 6, 938-940.
208. **Seligson D** - Treatment of compound fracture.- *Am J Surg.*1991, **161**, 693-701.
209. **Shaposhnikov YG** - New concepts of the pathogenesis in the healing process of gunshot wounds. - *Clin Orthop.* 1995, **320**, 40-42.
210. **Shtarker H** - Treatment of open tibial fractures with primary suture and Ilizarov fixation. - *Clin Orthop.* 1997, **335**, 268-74.
211. **Shepherd LE** - Local or free muscle flaps and unreamed interlocked nails for open tibial fractures. - *Clin Orthop.* 1998, **350**, 90-6.
212. **Shields Henney LH** - Axial pattern flap based on the superficial brachial artery in the dog. - *Vet Surg* 1988, **17**, 6, 311-317.
213. **Siebenrock KA** - Sequential intramedullary nailing of open tibial shaft fractures after external fixation. - *Arch Orthop Trauma Surg.* 1997, **116**, 1-2, 32-6.
214. **Sinclair JS**- Primary free-flap cover of open tibial fractures. - *Injury.* 1997, **28**, 9-10, 581-587.
215. **Singer RW** - Open tibial diaphyseal fractures.Results of unreamed locked intramedullary nailing. - *Clin Orthop.*1995, **315**, 138-152
216. **Sorger JI** - Once daily, high dose versus divided, low dose gentamicin for open fractures. - *Clin Orthop.* 1999, **366**, 197-204.
217. **Soucacos PN** - Open type IIIB and IIIC fractures treated by an orthopaedic microsurgical team. - *Clin Orthop.* 1995, **314**, 59-66.

218. **Stampley AR** - The results of internal fixation for the treatment of open fractures in 32 dogs. -*Canine pract.* 1991, **16** , 16, 21-27.
219. **Stallings JT** - A comparison of autogenous cortico-cancellous bone graft obtained from the wing of the ilium with an acetabular reamer to autogenous cancellous bone graft obtained from the proximal humerus in dogs. - *Vet Comp Orthop Traumatol* 1997, **10**, 79-87.
220. **Stallings JT** - An introduction to distraction osteogenesis and the principles of the Ilizarov method - *Vet Comp Orthop Traumatol* 1998, **11**, 59-67.
221. **Stegemann P** - Management protocol for unreamed interlocking tibial nails for open tibial fractures. - *J Orthop Trauma.* 1995, **9**, 2, 117-20.
222. **Stevenson S** – Bone grafting - In Slatter DH, Textbook of Small Animal Surgery 2nd Edition, London, Saunders, vol 2, chap. 127, 1694-1703.
223. **Stevenson S** - Bacterial culturing for prediction of post-operative complications following open fractures repair in small animals. -*Vet surg.*1986, **15**, 1, 99-102.
224. **Swaim SF** - Principles of plastic and reconstructive surgery - In Slatter DH, Textbook of Small Animal Surgery 2nd Edition, London, Saunders, vol 1, chap. 26, 280-295.
225. **Swaim SF** - Skin grafts - In Slatter DH, Textbook of Small Animal Surgery 2nd Edition, London, Saunders, vol 1, chap. 28, 325-341.
226. **Swiontkowski MF** - Criteria for bone debridement in massive lower limb trauma. - *Clin Orthop* 1989, **243**, 41-46.
227. **Szentimrey D** - The anatomic basis of a free vascularised bone graft based on the canine distal ulna - *Vet Surg.* 1994, **23**, 529-533.
228. **Szentimrey D** - Transplantation of the canine distal ulna as a free vascularised bone graft - *Vet Surg.* 1995, **24**, 215-225.
229. **Tamas PM**- Thoracic trauma in dogs and cats presented for limb fractures. *J Am Anim Hosp Assoc* 1985, **21**, 161-166.
230. **Templeman DC** - Update on the management of open fractures of the tibial shaft.- *Clin Orthop.* 1998, **350**, 18-25.
231. **Tillson DM.** - Open fracture management. - *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 1995, **25**, 5, 1093-110.
232. **Tornetta P 3<sup>rd</sup>** - Treatment of grade-IIIb open tibial fractures. A prospective randomised comparison of external fixation and non-reamed locked nailing. - *J Bone Joint Surg* . 1994, **76B**, 1, 13-19.
233. **Tornetta P 3<sup>rd</sup>** - Anterograde interlocked nailing of distal femoral fractures after gunshot wounds. -*J Orthop Trauma.* 1994, **8**, 3, 220-227.
234. **Tu YK** - Unreamed interlocking nail versus external fixator for open type III tibia fractures. -*J Trauma.* 1995, **39**, 2, 361-367.
235. **Tukiainen E** - Use of the Ilizarov technique after a free microvascular muscle flap transplantation in massive trauma of the lower leg. - *Clin Orthop.* 1993, **297**, 129-34.

236. **Turen CH** - Treatment of grade IIIB and grade IIIC open tibial fractures. - *Orthop Clin North Am.* 1994, **25**, 4, 561-71.
237. **Vainionpaai S** - Benzylpenicillin ineffective for open fractures : prospective study of 60 cases. -*Acta Orthop Scand.*1990, **61**, 2, 158-160.
238. **Van den Bossche MR** - Open fractures of the femoral shaft, treated with osteosynthesis or temporary external fixation.- *Injury.* 1995, **26**, 5, 323-325.
239. **Van winkle BA** - Management of open fracture with sterilization of large, contaminated, extruded cortical fragments. - *Clin Orthop.*1987, **223**, 275-281.
240. **Vives P** - L'ostéosynthèse des fractures ouvertes est elle légitime? - *J Chir.*1971, **102**, 4, 331-342.
241. **Waikakul S** - Vascular injuries in compound fractures of the leg with initially adequate circulation. - *J Bone Joint Surg* . 1998, **80B**, 2, 254-8.
242. **Watson JT** - Management strategies for bone loss in tibial shaft fractures. - *Clin Orthop.* 1995, **315**, 138-52.
243. **Weiland AJ** - Vascularized bone autografts. - *Clin Orthop* 1983, **174**, 87-94.
244. **Williams MM** - Primary reamed intramedullary nailing of open femoral shaft fractures. - *Clin Orthop.* 1995, **318**, 182-190.
245. **Wiss DA** - External skeletal fixation and rectus abdominis free-tissue transfer in the management of severe open fractures of the tibia. - *Orthop Clin North Am.*1993, **24**, 3, 549-556.
246. **Wiss DA** - Compression plating for non-union after failed external fixation of open tibial fractures. - *J Bone Joint Surg* . 1992, **74A**, 9, 1279-1285.
247. **Wiss DA** - Interlocking nailing for the treatment of femoral fractures due to gunshot wounds. - *J Bone Joint Surg* . 1991, **73A**, 4, 598-606.
248. **Withrow SJ** - Orthopedic emergencies in small animals. - *Vet Clin North Am Small Anim Pract.*1981, **11**, 1.
249. **Woods JM 4<sup>th</sup>** - Free temporoparietal fascia flap in reconstruction of the lower extremity. - *Ann Plast Surg.* 1995, **34**, 5, 501-506.
250. **Worlock P** - The prevention of infection in open fractures: an experimental study of the effect of fracture stability. - *Injury.* 1994, **25**, 1, 31-38.
251. **Worlock P** - The prevention of infection in open fractures : an experimental study of the effect of fracture stability. - *J Bone Joint Surg* 1988, **70A**, 9, 1341-1347.
252. **Yaremchuk MJ** - Soft tissue management of open tibia fractures. - *Acta Orthop Belg.* 1996,**62 Suppl 1**, 188-192.
253. **Yaremchuk MJ** - Acute and definitive management of traumatic osteocutaneous defects of the lower extremity. - *Plast reconstr surg* 1987, **80**, 1, 1-11.

254. **Yokoyama K** - Contributing factors influencing type III open tibial fractures. - *J Trauma*. 1995, **38**, 5, 788-93.
255. **Yokoyama K** - Immediate internal fixation for open fractures of the long bones of the upper and lower extremities. - *J Trauma*. 1994, **37**, 2, 230-6.
256. **Zinman C** - External fixation for severe open fractures of the humerus caused by missiles. - *J Orthop Trauma*. 1997, **11**, 7, 536-9.









Toulouse, 2001

NOM: BOISSIER

PRENOM: JEROME

TITRE: LE TRAITEMENT DES FRACTURES OUVERTES : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

RESUME :

Le traitement des fractures ouvertes a toujours représenté un challenge pour l'orthopédiste aussi bien en médecine humaine que vétérinaire. La prévention de l'infection, la cicatrisation osseuse et la récupération fonctionnelle représentent les objectifs du traitement.

Ce traitement doit être entrepris de façon méthodique afin d'obtenir un résultat optimal. La gestion initiale du patient et de la fracture sont déterminantes pour le devenir du patient.

De nouvelles molécules antibactériennes ainsi que d'autres modes d'utilisation permettent une meilleure lutte contre l'infection. Certaines étapes du traitement, comme le parage, reconnues indispensables sont maintenant bien codifiées. D'autres, comme la méthode de fixation, ont été totalement remises en cause depuis l'apparition des enclouages centro-médullaires verrouillés. La prise de conscience de la nécessité d'un recouvrement précoce du foyer de fracture et les progrès réalisés dans le domaine de la chirurgie vasculaire ont considérablement réduit les délais de cicatrisation osseuse et l'incidence des ostéomyélites post-traumatiques. Cette revue bibliographique aborde également deux domaines particuliers, le jeune patient et les fractures par armes à feu qui, de par leurs particularités lésionnelles, nécessitent un traitement spécifique. Le développement de techniques chirurgicales récentes chez l'homme et leur apport dans l'amélioration de la gestion des fractures complexes ouvrent de nombreux horizons pour le vétérinaire orthopédiste.

MOTS-CLES : FRACTURE OUVERTE – THERAPEUTIQUE – CHIEN – CHAT

---

ENGLISH TITLE : OPEN FRACTURE TREATMENT : A LITTERATURE REVIEW

ABSTRACT :

The treatment of open fractures remains a challenge for orthopedic surgeon for both human and animal patients. The objectives of the treatment are prevention of infection, bone union and restoration of function. The treatment should be done in a methodical way in order to achieve an optimal result. The patient's and fracture's initial management are determinant for the pronostic. New antibiotics as also other methods of use allows a better control against infection. Some of the treatment stages like debridment, known as essential, are now well codified. Others, like technique of fixation, have been totally modified since the locked intramedullary nailing use. The awareness that a precoce wound covery was necessary and the advent of vascular microsurgery have considerably reduce time to bony union and incidence of post-traumatic osteomyelytis. This litterature review also approach two particular fields, the young patient and gunshot fractures which need a specific treatment.

Recently developped surgical techniques in human medecine and their contribution to improve compound fracture management open up new horizons for the veterinary orthopedic surgeon.

KEY WORDS : OPEN FRACTURE – TREATMENT – DOG - CAT