

A notre Jury de Thèse

Monsieur le professeur Paul Bonneville

Professeur des Universités

Praticien hospitalier

Chirurgie orthopédique et traumatologie

Qui nous fait l'honneur de présider notre jury de thèse,

Hommage respectueux.

Monsieur le Docteur Didier Mathon

Maître de Conférence

De l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Pathologie Chirurgicale

Qui nous a proposé ce sujet et conseillé tout au long de ce travail.

Qu'il soit remercié pour son aide précieuse.

Madame le Docteur Patricia Collard-Meynaud

Maître de Conférence

De l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Pathologie Chirurgicale

Qui nous fait l'honneur de participer à notre jury de thèse.

Qu'elle soit assurée de nos sincères remerciements.

A mon grand-père,

parti trop tôt pour voir l'un de ses rêves se réaliser.

A mes grands-mères

Qui m'ont toujours encouragée affectueusement.

A mes parents,

qui m'ont toujours tout donné et que je ne remercierai jamais assez.

A ma famille,

Pour son soutien.

A mes ami(e)s,

Adeline, Agnès, Alice, Anne-Sophie, Canarette, Christy, Cynthia, Johanna, Mado, Bonheur, Boris, GrosMin, Guillaume, Guizmo, Olivier pour les bons moments passés et à venir en leur compagnie.

Sommaire.

Table des illustrations.....	15
Introduction.....	23
Partie I. L'immobilisation dans le traitement des lésions orthopédiques.....	27
I. Les lésions orthopédiques et leur cicatrisation.....	29
A. Les fractures.....	29
1. Eléments de physiologie et de biomécanique du tissu osseux...	29
2. La cicatrisation osseuse.....	31
a. Evolution histologique.....	31
b. Limites de la cicatrisation spontanée.....	37
c. La cicatrisation par première intention.....	38
B. Les lésions musculaires.....	40
1. Rappel d'anatomie et de microanatomie du muscle normal.....	41
2. La cicatrisation musculaire.....	43
3. Type lésionnel et cicatrisation.....	45
C. Les lésions tendineuses.....	46
1. La structure tendineuse.....	46
2. La cicatrisation tendineuse.....	49
3. Type lésionnel et cicatrisation.....	51
D. Les lésions ligamentaires.....	52
1. La structure ligamentaire.....	52
2. La cicatrisation ligamentaire.....	53
3. Type lésionnel et cicatrisation.....	54

II.	Pansements contentifs plâtrés ou renforcés par des attelles.....	55
A.	Principes généraux du traitement des fractures par pansements contentifs.....	56
1.	Rappels de biomécanique.....	56
2.	Indications.....	58
a.	Le type fracturaire	58
b.	Signalement de l'animal.....	59
c.	Utilisation de l'animal.....	59
d.	Le coût.....	59
3.	Contre-indications.....	60
4.	Réduction de la fracture.....	61
5.	Confection d'un pansement plâtré ou renforcé par une attelle...	63
6.	Soins post-application.....	68
7.	Retrait.....	68
B.	Pansements complémentaires à une ostéosynthèse.....	69
1.	Pansements utilisés en préopératoire.....	69
2.	Pansements utilisés en postopératoire.....	71
C.	Complications.....	72
Partie II.	Matériaux rigides disponibles en médecine vétérinaire pour la constitution des pansements contentifs.....	75
I.	Rappel historique.....	77
II.	Le plâtre de Paris.....	80
A.	Structure.....	80
B.	Propriétés.....	81
1.	Résistance.....	81
2.	Température atteinte au cours de la réaction exothermique.....	84

3.	Longévité.	84
4.	Production de poussières au cours du retrait du matériel.	84
5.	Radiotransparence.	84
6.	Développement de germes.	85
7.	Réactions allergiques.	85
C.	Conclusion.	85
III.	Les matériaux synthétiques.	86
A.	Classification.	86
B.	Propriétés.	86
1.	Commodités d'application.	86
2.	Résistance.	87
3.	Effets de l'eau.	88
4.	Longévité.	88
5.	Température atteinte au cours de la réaction exothermique.	89
6.	Production de poussières au cours du retrait du matériel.	89
7.	Radiotransparence.	90
8.	Inflammation des bandages synthétiques et index de protection thermique.	91
C.	Conclusion.	92
IV.	Les plâtres hybrides.	92
V.	Les attelles et leur utilisation.	93
A.	Utilisation des attelles.	93
B.	Description des attelles disponibles.	94
1.	Les attelles conventionnelles.	94

a. Les attelles en bois.....	94
b. Les attelles en PVC (tuyau).....	95
c. Les attelles en aluminium.....	95
d. Les attelles gouttières doublées de mousse.....	95
2. Les attelles conformables.....	96
a. Les attelles thermoformables	96
b. Les attelles thermoplastiques	96
c. Les attelles autopolymérisables (Dynacast Prelude ND).....	96
 Partie III. Etude de cas cliniques.....	 101
Cas n°1.....	103
Cas n°2.....	107
Cas n°3.....	109
Cas n°4.....	111
Cas n°5.....	113
Cas n°6.....	115
Cas n°7.....	117
Cas n°8.....	119
Cas n°9.....	121
Cas n°10.....	123
 Conclusion.	 125
 Bibliographie.....	 129

Table des illustrations.

Liste des figures.

Figure 1 :	Exemple d'essai de traction ou courbe force/allongement.....	30
Figure 2 :	Représentation idéalisée de la relation entre la direction d'une force appliquée à l'os et la fracture résultante.....	31
Figure 3 :	Chronologie des phases de cicatrisation osseuse.....	32
Figure 4.a :	Diagramme d'une fracture chez un lapin 24 heures après la lésion.....	33
Figure 4.b :	Dessin montrant la mise en place de la néovascularisation.....	33
Figure 4.c :	Diagramme d'une fracture à une semaine post-lésionnelle chez le lapin.	34
Figure 4.d :	Diagramme d'une fracture à trois semaines post-lésionnelles chez le lapin.....	35
Figure 4.e :	Illustration schématique du processus de remodelage de l'os primaire non lamellaire.....	36
Figure 4.f :	Au cours du modelage, le cal inutile est résorbé alors que les zones sollicités mécaniquement sont renforcées.....	36
Figure 5 :	Représentation schématique simplifiée de la situation mécanique au site de fracture après compression axiale.....	38
Figure 6 :	Illustration schématique de la cicatrisation par première intention.....	39
	Figure 6.a : Cicatrisation au niveau d'un défaut.....	39
	Figure 6.b : Cicatrisation au niveau d'une zone de contact.....	39
Figure 7 :	Représentation schématique de la fibre musculaire.....	41
Figure 8 :	Organisation du muscle squelettique avec son tendon.....	42
Figure 9 :	Dessin schématique de la jonction neuromusculaire.....	43
Figures 10.a à 10.c :	Cicatrisation de la fibre musculaire.....	44
Figure 11 :	Représentation schématique de la structure tendineuse.....	47
Figure 12.a :	Schéma d'une gaine synoviale ouverte montrant le mésotendon.....	48
Figure 12.b :	Microvascularisation d'un tendon après injection à l'encre de	

	Chine.....	48
Figure 13.a :	Représentation schématique d'une section transversale d'une gaine tendineuse.....	49
Figure 13.b :	Représentation schématique d'une section transversale d'une bourse tendineuse.....	49
Figures 14.a à 14.c :	Séquence des événements survenant suite à une lacération tendineuse.....	51
Figure 15 :	Photomicrographie de l'attachement au fémur du ligament croisé crânial illustrant les zones de transition.....	53
Figures 16.a à 16.d :	Représentation schématique des types lésionnels ligamentaires.....	54
Figures 17.a et 17.b :	Attelle en T.....	57
Figure 18 :	Contre-indications des pansements contentifs : fractures de l'humérus et du fémur.....	60
Figure 19.a :	Représentation d'un étendeur de Gordon.....	61
Figure 19.b :	Représentation schématique de la séquence de mouvements réalisés lors de l'application de l'angulation de Böhler.....	62
Figure 19.c :	Représentation schématique du mouvement de rotation appliqué pour une réduction de fracture.....	62
Figure 20 :	Longueur optimale de l'attelle ou du matériau de plâtrage pour une fracture située au dessous du coude ou du genou.....	63
Figure 21 :	Position adéquate du membre antérieur pour l'application d'un pansement rigide.....	64
Figures 22.a à 22.f :	Etapes de la mise en place du pansement contentif.....	65
Figures 22.g à 22.k :	Etapes de la mise en place du pansement contentif.....	67
Figures 23.a à 23 d :	Etapes de la mise en place d'un pansement de Robert-Jones.....	70
Figure 24 :	Positionnement des attelles dans un pansement contentif renforcé.....	71
Figure 25.a :	Doberman mâle de huit trois mois atteint d'une maladie fracturaire et d'une contracture du quadriceps secondaires à une fracture distale du fémur.....	72

Figure 25.b :	Vue latérale du membre pelvien gauche avant intervention chirurgicale avec la présence d'un « genu recurvatum ».....	72
Figure 26 :	Immobilisation des fractures osseuses avec des feuilles de palmier en Egypte antique (momie).....	77
Figure 27.a :	Ultrastructure du gypseum. Poudre mélangée à de l'eau à 30°C selon un ratio de 3/2.....	82
Figure 27.b :	Gypseum et eau froide.....	82
Figure 27.c :	Gypseum et eau en excès.....	82
Figure 27.d :	Gypseum et mise en charge.....	82
Figure 27.e :	Gypseum et manque d'eau.....	82
Figure 28 :	Volume de matériau perdu lorsqu'un patient marche en se servant du membre bandé.....	89
Figure 29.a :	Micrographie électronique montrant le maillage d'un bandage de fibre de verre non imprégné et imprégné de résine de polyuréthane.	90
Figure 29.b :	Micrographie montrant un échantillon typique de poussières collectées lors du sciage d'un bandage en fibre de verre imprégné de résine de polyuréthane.....	90

Liste des tableaux.

Tableau 1 :	Valeurs moyennes des paramètres mécaniques de l'os.....	30
--------------------	---	----

Liste des photos.

Photo 1 :	Attelle Dynacast Prelude ND	97
Photo 2 :	Boite distributrice.....	97
Photo 3 :	Attelle tirée hors de son emballage, clip ouvert.....	97
Photo 4 :	Rembourrage mis en place sur le membre.....	98
Photo 5 :	L'attelle activée est positionnée sur le membre.....	99

Photo 6 :	Fixation de l'attelle avec une bande cohésive de revêtement.....	99
Photos 7.a à 7.b :	Cas n°1.....	104
	Photo 7.a : Aspect radiographique du tarse droit de face, en oblique et de profil.	
	Photo 7.b : Contrôle radiographique en post-opératoire immédiat. Tarse droit vu de face et de profil.	
Photos 8.a à 8.d :	Cas n°2.....	106
	Photo 8.a : Aspect radiographique du carpe gauche de face.	
	Photo 8.b : Aspect radiographique du carpe gauche de profil.	
	Photo 8.c : Attelle en semi-flexion positionnée sur le membre thoracique gauche.	
	Photo 8.d : Chien avec son pansement contentif.	
Photos 9.a à 9.d :	Cas n°3.....	108
	Photo 9.a : Vue du carpe droit lors de la présentation de l'animal à la consultation.	
	Photo 9.b : Vue du carpe gauche lors de la présentation de l'animal à la consultation	
	Photo 9.c : Présentation de l'attelle en position palmaire au membre thoracique droit.	
	Photo 9.d : Chien avec ses deux pansements contentifs.	
Photos 10.a à 10.e :	Cas n°4.....	110
	Photo 10.a : Aspect radiographique du carpe droit de face.	
	Photo 10.b : Aspect radiographique du carpe droit de profil.	
	Photo 10.c : Aspect radiographique du carpe droit en hyperextension.	
	Photo 10.d : Radiographies postopératoires (membre droit à gauche et membre gauche à droite).	
	Photo 10.e : Contrôle radiographique à 3 semaines pour le membre thoracique droit.	

Photos 11.a à 11.d :	Cas n°5.....	112
	Photo 11.a :	Aspect radiographique du carpe droit de profil et de face.
	Photo 11.b :	Contrôle radiographique en postopératoire immédiat. Aspect radiographique du carpe droit de face et de profil.
	Photo 11.c :	Contrôle radiographique du carpe droit de face à 60 jours postopératoires.
	Photo 11.d :	Contrôle radiographique du carpe droit de profil à 60 jours postopératoires.
Photos 12.a à 12.e :	Cas n°6.....	114
	Photo 12.a :	Aspect radiographique du carpe gauche de face.
	Photo 12.b :	Aspect radiographique du carpe gauche de profil.
	Photo 12.c :	Aspect radiographique du carpe gauche en flexion.
	Photo 12.d :	Contrôle radiographique en postopératoire immédiat. Aspect radiographique du carpe gauche de face.
	Photo 12.e :	Contrôle radiographique en postopératoire immédiat. Aspect radiographique du carpe gauche de profil.
Photos 13.a à 13.b :	Cas n°7.....	116
	Photo 13.a :	Aspect radiographique du tibia droit de face et de profil.
	Photo 13.b :	Contrôle radiographique du tibia droit de face et de profil 28 jours après la mise en place du pansement contentif.
Photos 14.a à 14.c :	Cas n°8.....	118
	Photo 14.a :	Aspect radiographique du membre thoracique gauche de profil et de face. Une ostectomie ulnaire a déjà été pratiquée.
	Photo 14.b :	Contrôle radiographique en postopératoire immédiat. Radius-ulna de face et de profil.

Photo 14.c : Vue de profil du chien avec son pansement contentif.

Photos 15.a à 15.f : Cas n°9..... 120

Photo 15.a : Aspect radiographique de profil du carpe droit.

Photo 15.b : Aspect radiographique du carpe droit de face.

Photo 15.c : Aspect radiographique du carpe droit en flexion.

Photo 15.d : Contrôle en postopératoire immédiat. Carpe droit de profil et en flexion.

Photo 15.e : Contrôle à 15 jours postopératoires. Carpe droit de profil.

Photo 15.f : Contrôle radiographique à 1 mois postopératoire. Vue de face du carpe droit.

Photos 16.a à 16.g : Cas n°10..... 122

Photo 16.a : Vue de face du chien avec un double radius curvus.

Photo 16.b : Aspect radiographique du membre droit de profil et de face.

Photo 16.c : Aspect radiographique du membre gauche de face et de profil.

Photo 16.d : Aspect radiographique du membre droit en postopératoire immédiat de face et de profil. (L'aspect est le même pour le membre gauche).

Photo 16.e : Attelle en place sur le membre thoracique droit.

Photo 16.f : Chien avec ses deux pansements renforcés.

Photo 16.g : Contrôle radiographique à 9 mois postopératoires. (membre droit).

Introduction.

La traumatologie représente une composante importante de l'activité quotidienne des vétérinaires canins. En effet, les animaux de compagnies (chiens et chats) paient un lourd tribut aux Accidents de la Voie Publique (AVP). Les lésions orthopédiques sont multiples et le squelette appendiculaire est particulièrement exposé.

De réels progrès sont perceptibles en matière de fixation interne et d'ostéosynthèse, tant sur le plan des acquis techniques et scientifiques qu'en ce qui concerne le développement ou l'évolution de matériels spécifiques. Le domaine de la contention externe évolue également, de façon peut-être moins spectaculaire mais l'orthopédie et la traumatologie vétérinaires bénéficient des retombées des progrès effectués dans le domaine de la médecine humaine. Des dispositifs présentant un design original (couleur, présentation facilitant leur utilisation) sont confectionnés. La légèreté, la rigidité et la solidité croissantes des matériaux offrent de nouvelles perspectives à l'utilisation des matériaux pour confection de pansements rigides ou renforcés par des attelles.

Dans le travail suivant, nous mettrons en avant dans une première partie la place de l'immobilisation dans le traitement des lésions orthopédiques. Après un rappel de la cicatrisation des différentes lésions orthopédiques, nous développerons les indications et contre-indications de la mise en place d'un pansement contentif rigide ou renforcé par une (des) attelle(s) ainsi que leur mode de confection et les soins qui sont à y apporter. Les matériaux actuellement disponibles en médecine vétérinaire pour la constitution des pansements contentifs (plâtre de Paris, résines synthétiques, attelles) seront présentés dans la deuxième partie de la thèse après un bref rappel historique. Lors de la présentation des attelles, nous nous arrêterons plus longuement sur l'attelle Dynacast PreludeND, motif de la réalisation de ce travail. Une troisième partie sera consacrée au rapport de quelques cas cliniques au cours desquels l'attelle Dynacast PreludeND a été utilisée.

Partie I.

L'immobilisation dans le traitement des lésions orthopédiques.

I. Les lésions orthopédiques et leur cicatrisation.

A. Les fractures.

Nous présentons pour commencer la cicatrisation du tissu osseux de façon détaillée. Nous verrons par la suite que la cicatrisation du muscle, du tendon et du ligament se déroulent selon un schéma similaire.

1. Eléments de physiologie et de biomécanique du tissu osseux.

Le squelette constitue la charpente du corps des mammifères vertébrés. Les contraintes mécaniques supportées par les os sont plus liées aux efforts musculaires et aux mouvements qu'aux effets de la pesanteur. En effet, les contractions musculaires protègent l'os lors des chocs et impacts liés aux déplacements et à la pesanteur : une personne vigile subit moins de dommages osseux lors d'un accident de voiture par le fait de la contraction musculaire qu'une personne endormie ⁽⁶⁵⁾.

L'os est un tissu vivant capable de se remodeler tout au long de l'existence. Il s'adapte selon les lois de Wolff aux contraintes qui lui sont appliquées. Ce remodelage consiste en une modification de son architecture ou de sa géométrie. Au contraire, si les contraintes qui lui sont appliquées sont en deçà des stimulations physiologiques, l'os se fragilise par appauvrissement de sa substance minérale. C'est ce dernier phénomène que l'on observe avec le vieillissement : avec l'âge, le diamètre endosté et de façon plus lente le diamètre cortical augmentent. Il en résulte une expansion de la diaphyse et du canal médullaire ⁽⁶⁵⁾. D'autre part, les trabécules de l'os spongieux s'amincissent ⁽⁶⁵⁾. On note également des phénomènes similaires lors de suppression d'appui sur de longues périodes.

Sur un plan purement mécanique, l'os en traction se comporte d'abord de manière linéaire et élastique ⁽⁶⁵⁾. Lorsque la traction est arrêtée, l'os reprend sa forme initiale : il réagit comme un ressort. Au delà de ce comportement élastique, l'os adopte un comportement plastique irréversible : après traction, il subsiste une élongation résiduelle et le matériau a été modifié. Si la charge exercée sur l'os continue à augmenter, la limite de rupture est atteinte et l'os casse (figure 1).

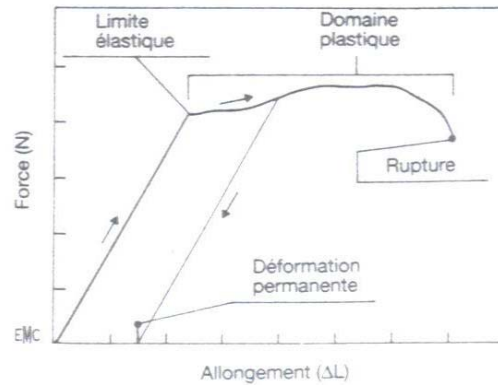


Figure 1 :Exemple d'essai de traction ou courbe force/allongement. (D'après SEDEL L. [66])

Sous l'effet des contraintes imposées, l'os compact ne se comporte pas tout à fait de la même façon que l'os spongieux ⁽²⁶⁾. L'os spongieux casse sous des forces de traction plus faibles que l'os cortical. Par contre, il présente une phase plastique plus importante liée au collapsus progressif des trabécules lors de l'application d'une force de compression ⁽²⁶⁾.

L'os cortical présente des propriétés variables lorsqu'il est soumis à une traction ou à une compression. L'os a des propriétés viscoélastiques. Cela signifie que la quantité d'énergie absorbée avant la rupture est plus importante si la force est appliquée plus rapidement ⁽²⁶⁾. Il faut donc plus d'énergie pour rompre un os au cours d'une mise en contrainte brutale que lors d'une application progressive et lente.

D'autre part, l'os cortical est anisotrope, c'est-à-dire qu'il n'a pas les mêmes propriétés mécaniques dans toutes les directions. En effet, il est plus fragile si la direction de la contrainte qui lui est appliquée est perpendiculaire aux ostéons qui le constituent que si elle leur est parallèle ⁽⁶⁵⁾ (Tableau 1).

Type d'os	Direction de l'effort	Densité apparente	Charge à la rupture (10 ⁶ MPa)	Module d'élasticité (10 ⁶ MPa)
Cortical	Traction longitudinale	1.85	133	17.000
	Compression longitudinale	1.85	193	17.000
	Cisaillement longitudinal	1.85	68	3.300
	Traction transversale	1.85	51	11.500
	Compression transversale	1.85	133	11.500
Spongieux	Compression	0.31	6	76

Tableau 1 : Valeurs moyennes des paramètres mécaniques de l'os. (D'après SEDEL L. [65])

Dans un contexte traumatique, la fracture se produit lorsque l'os en tant que matériau, n'est plus en mesure de restituer l'énergie qu'il a emmagasinée. Il « élimine » le surplus d'énergie absorbée en se rompant. La complexité de la fracture et la sévérité de la division osseuse sont alors proportionnelles à la quantité d'énergie absorbée. Le trait de fracture illustre la façon dont la contrainte s'applique ⁽²⁶⁾: une force de traction conduit à une fracture transverse (figure 2.a) alors qu'une force de compression entraîne un trait de rupture oblique ⁽²⁶⁾ (figure 2.b). Beaucoup d'os présentent une certaine incurvation naturelle. Une force perpendiculaire au grand axe de l'os, ou force de courbure, se traduit à la face opposée à l'impact par une force de traction. Il en résulte une rupture transverse qui se poursuit obliquement suite à la force de compression exercée au point d'impact (figure 2.c). On obtient une fracture en forme d'aile de papillon. Une force de torsion induit l'apparition d'une fracture spiroïde, celle-ci étant influencée par la forme initiale de l'os. Ce dernier type fracturaire apparaît fréquemment sur l'humérus qui présente naturellement une torsion axiale autour de son grand axe ⁽²⁶⁾ (figure 2.d).

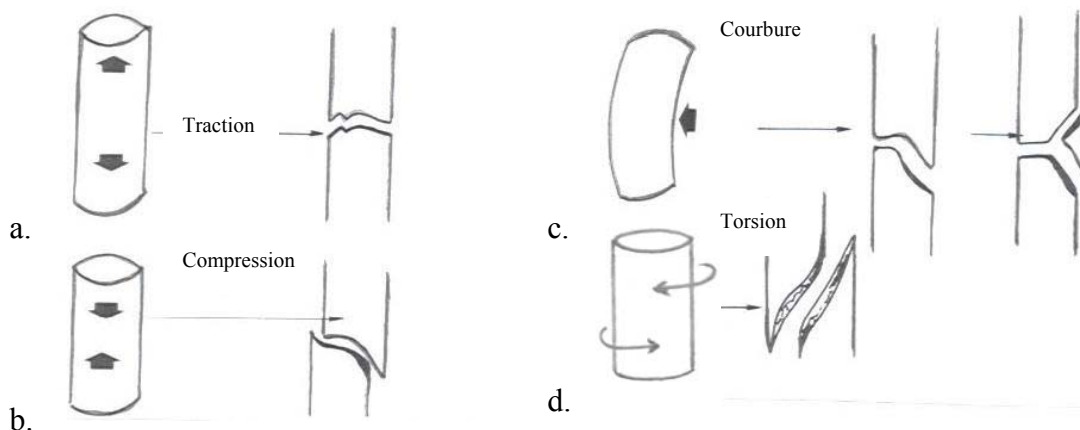


Figure 2 : Représentation idéalisée de la relation entre la direction d'une force appliquée à l'os et la fracture résultante. (D'après DENNY HR. [26])

2. La cicatrisation osseuse.

a. Evolution histologique.

La cicatrisation osseuse peut être décomposée en trois grandes étapes histologiques: la phase inflammatoire, la phase de réparation avec formation successive d'un cal fibreux puis cartilagineux et enfin osseux, et la phase de remodelage-modelage. Ces trois phases

s'étendent respectivement sur approximativement 10%, 40% et 70% du temps total de la cicatrisation osseuse mais peuvent être présentes simultanément sur un site donné ⁽¹⁵⁾ (figure 3).

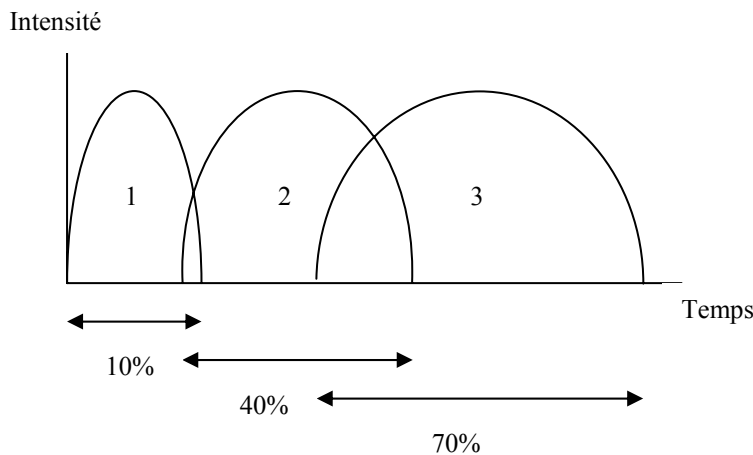


Figure 3 : Chronologie des phases de cicatrisation osseuse. Les pourcentages représentent le temps relatif de chaque phase. Chez un chien adulte, on considère que deux mois s'écoulent entre le début de la phase 1 et le sommet de la phase 2. (D'après CHANOIT G. [15])

Nous présenterons ici le cas de la cicatrisation de l'os compact puis succinctement les particularités de la cicatrisation de l'os spongieux.

→ Phase inflammatoire :

Lors du traumatisme osseux, les saignements qui surviennent aux extrémités fracturaires induisent la formation d'un caillot sanguin. Une réaction inflammatoire aiguë des tissus périfracturaires se met en place. Dans les premières heures après la fracture des lacis capillaires se développent. Une exsudation de plasma et un envahissement de leucocytes se produit. Les histiocytes et mastocytes parvenus au site de fracture entament alors le nettoyage de ce dernier. Durant le temps vasculaire initial, la thrombose ou la section du réseau capillaire intra-osseux induit une nécrose osseuse localisée. Cette nécrose pérennise la réaction inflammatoire. L'hématome fracturaire, conséquence de la rupture vasculaire et du trauma des tissus environnants qui surviennent lors du processus de fracture héberge de la fibrine. Cette fibrine va servir d'échafaudage à la prolifération cellulaire ^(66,26).

La prolifération cellulaire débute environ huit heures après le trauma et se termine au bout de vingt-quatre heures (figure 4.a). La multiplication des cellules indifférenciées pluripotentes à partir des tissus périphériques et plus importante qu'à partir de la couche

cambiale (couche interne du périoste), notamment chez l'adulte ⁽⁶⁶⁾. La multiplication cellulaire, l'apparition d'œdème et l'invasion vasculaire favorisent la dissociation des fibres musculaires. Une tuméfaction au site de fracture se développe. Les cellules multipotentes se différencient pour donner des fibroblastes, des ostéoblastes et des chondroblastes en fonction des conditions biologiques locales.

Dans le même temps, une néovascularisation d'origine médullaire et/ou d'origine extraosseuse se met en place (figure 4.b). La néovascularisation d'origine extraosseuse prend naissance dans les tissus mous entourant l'os et constitue un système vasculaire temporaire qui n'emprunte pas les trajets d'insertion musculaires ⁽¹⁵⁾. La néovascularisation progresse de façon centripète et permet d'apporter une pression locale en oxygène suffisante pour le développement des ostéoblastes. Dans un premier temps, le système extraosseux d'irrigation nourrit exclusivement le cal périosté. Les néoformations provenant de l'artère médullaire irriguent quant à elles les cals endosté et cortical. Dans les fractures non déplacées, la vascularisation provient de l'artère médullaire seulement alors que pour des fractures déplacées, la vascularisation provient de l'artère médullaire et du système extraosseux à parts égales ⁽¹⁵⁾.

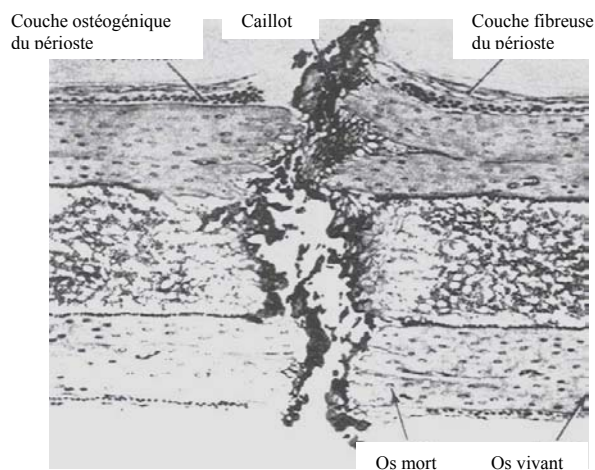


Figure 4.a: Diagramme d'une fracture chez un lapin 24 heures après la lésion. (D'après HARRIS R. [38])

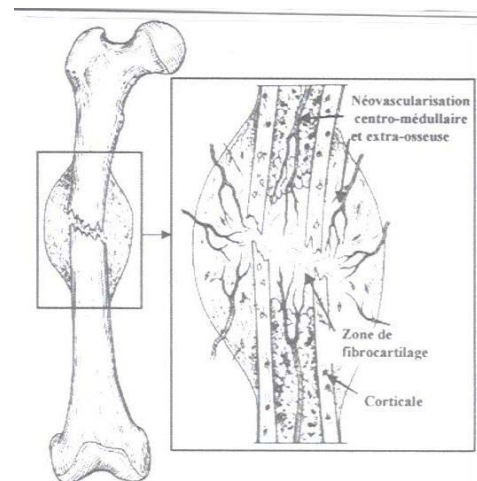


Figure 4.b: Dessin montrant la mise en place de la néovascularisation. (D'après CHANOIT G. [15])

Au cours de cette phase, les fibroblastes, les lipoblastes et la substance fondamentale sont associés dans l'élaboration du tissu conjonctif. Les ostéoblastes et les chondroblastes produisent les matrices osseuse et cartilagineuse.

→ Phase de réparation:

La phase inflammatoire est suivie par la phase de réparation proprement dite. Au cours de celle-ci sont mis en place un tissu de granulation, un cal fibreux puis cartilagineux et enfin osseux.

Les cellules précurseurs se différencient selon les facteurs locaux en fibroblastes, en cellules constitutives des vaisseaux et en cellules de la substance fondamentale. Un tissu de granulation se forme dans l'espace interfragmentaire. Puis les macrophages, les cellules géantes et autres cellules migratrices provenant de l'hématome fracturaire envahissent le tissu de granulation pour le nettoyer. Des ostéoclastes apparaissent et commencent à éroder les surfaces des bouts osseux. Les ostéoblastes provenant du cambium produisent une substance ostéoïde dans laquelle il n'y a pas d'arrangement des fibres de collagène: l'os primaire. Les ostéoblastes provenant de l'endoste participent aussi à la formation d'os mais les ostéocytes survivants ne paraissent pas former de tissu de réparation ⁽¹²⁾. La majorité des cellules intervenant dans l'ostéogénèse apparaissent au site de fracture en même temps que le tissu de granulation. Les cellules mésenchymateuses prolifèrent, se différencient dans le foyer de fracture et produisent le cal constitué de tissu fibreux, de cartilage et d'os immature. (figure 4.c)

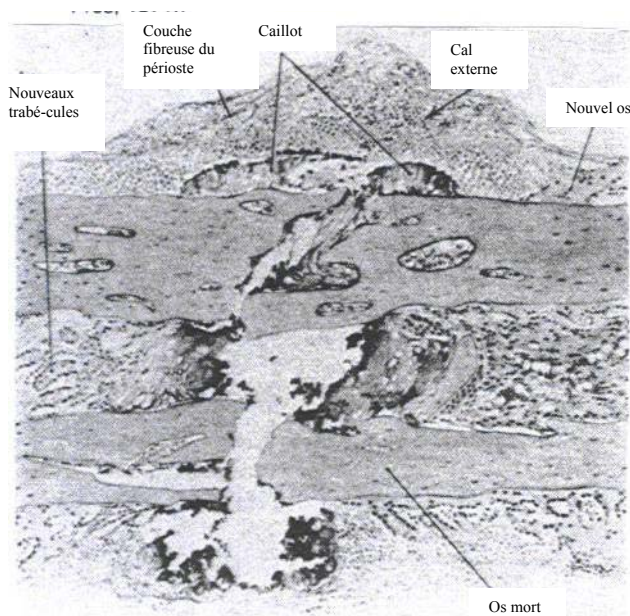


Figure 4.c : Diagramme d'une fracture à 1 semaine post-lésionnelle chez le lapin. Les bouts osseux sont joints par un cal comprenant des ostéoblastes et des chondroblastes qui dérivent des cellules ostéogéniques. (D'après HARRIS R. [38])

Le cal osseux est formé initialement à la périphérie de la réaction inflammatoire par ossification endoconjonctive après différenciation des cellules mésenchymateuses en ostéoblastes. Le cal cartilagineux est formé au centre de la réaction inflammatoire là où la pression en oxygène est plus faible après différenciation des cellules mésenchymateuses en chondroblastes. Au fur et à mesure que la stabilité au site de fracture augmente, le cal cartilagineux est transformé en os par ossification endochondrale. (figure 4.d)

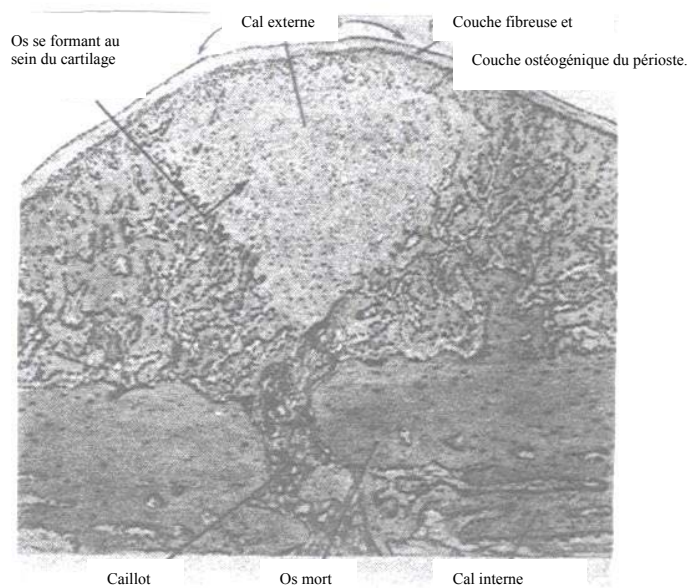


Figure 4.d : Diagramme d'une fracture à 3 semaines post-lésionnelles chez le lapin. Le cal central cartilagineux est peu à peu absorbé et remplacé par les ostéoblastes. (D'après HARRIS R. [38])

Au cours de l'ossification endochondrale et endoconjonctive, les concentrations en collagène I, en phosphatase alcaline et en protéines spécifiques de l'os augmentent jusqu'à ce que la matrice extracellulaire se minéralise. Le processus de minéralisation du cal appelle deux fonctions cellulaires. Dans un premier temps, les cellules modifient les conditions environnantes de la matrice du cal fibrocartilagineux pour inhiber la minéralisation. Puis après préparation de la matrice (la matrice est constituée d'une grande quantité de collagène I et présente des espaces réguliers qui favorisent le dépôt de groupes de cristaux d'hydroxyapatite autour des fibres de collagène), les chondroblastes puis les ostéoblastes relarguent des vésicules contenant des complexes de phosphate de calcium. Les membranes des vésicules contiennent des protéases neutres et des phosphatases alcalines qui dégradent les protéoglycanes de la matrice et hydrolysent l'ATP et autres esters de phosphate riches en énergie. Des ions phosphates sont alors produits et précipitent avec les ions calcium⁽¹²⁾. La minéralisation débute aux extrémités ou en périphérie du cal si le périoste est seulement

décollé, puis se généralise. L'espace interfragmentaire se comble et la cicatrisation devient assez solide pour conférer une résistance croissante à la réparation osseuse.

Le cal interne ou endosté provenant selon certains de la couche périphérique du stroma médullaire et selon d'autres de l'équivalent de la couche profonde du périoste ⁽⁶⁶⁾ aurait besoin d'une stabilité suffisante pour se mettre en place. La réunion du cal endosté et du cal externe par comblement de l'espace interfragmentaire constitue le cal d'union.

→ le remodelage-modelage:

Le cal osseux formé est transformé au cours du remodelage en os mature. Le remodelage consiste en une résorption ostéoclastique et une apposition ostéoblastique. Les ostéoclastes portés par les axes vasculaires creusent un tunnel dans l'os nécrotique ou l'os immature. Puis les vaisseaux sanguins colonisent ces tunnels et permettent l'arrivée d'ostéoblastes qui déposent l'os lamellaire. Les ostéons se forment. Des ostéons secondaires se mettent en place entre les extrémités corticales du cal. Ces ostéons sont alignés parallèlement aux contraintes mécaniques principales appliquées de part et d'autre du trait de fracture (figure 4.e).

Le modelage est un phénomène contemporain au remodelage et qui se poursuit plusieurs mois après la fin du remodelage. Il consiste en la résorption du cal externe surnuméraire (figure 4.f). Le "lifting" du cal périphérique est très rapide chez le jeune.

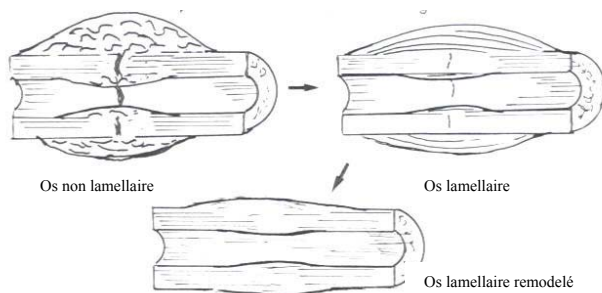


Figure 4.e : Illustration schématique du processus de remodelage de l'os primaire non lamellaire. (D'après DENNY HR [26])

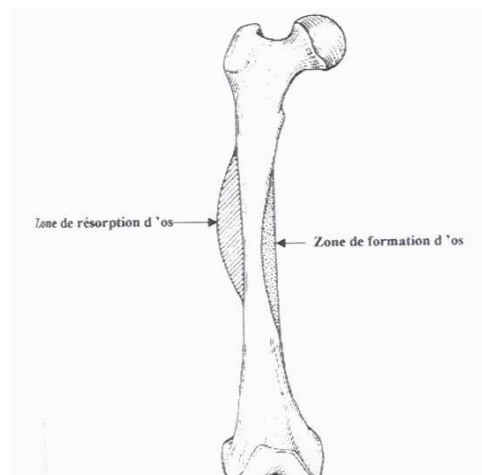


Figure 4.f : Au cours du modelage, le cal inutile est résorbé alors que les zones sollicitées mécaniquement sont renforcées. (D'après CHANOIT [15])

→ Particularités de la cicatrisation de l'os spongieux:

La cicatrisation de l'os spongieux présente quelques particularités. La prolifération cellulaire s'effectue dans les espaces intertrabéculaires dans les deux à trois premiers jours post-traumatiques. La formation osseuse est d'emblée lamellaire. L'os nouveau est formé par dépôt de nouvelles lamelles sur les travées osseuses existantes ou par dépôt d'îlots entre les travées osseuses. Si le site de fracture est stable, la formation osseuse progresse en direction de l'espace interfragmentaire; s'il est instable, un cal externe se développe. Dans le cadre de la cicatrisation, aucun modelage ne fait suite au remodelage⁽⁶⁴⁾.

b. Limites de la cicatrisation spontanée.

La vitesse de cicatrisation est variable selon le type d'individu (jeune vs adulte) et le type de fracture. L'os spongieux est mieux irrigué et héberge plus de cellules. Il cicatrise plus rapidement que l'os cortical⁽²⁶⁾. Une fracture épiphysaire ou métaphysaire cicatrise donc plus vite qu'une fracture diaphysaire⁽¹⁵⁾. La réparation est d'autant plus rapide que les fragments de fracture sont proches.

La cicatrisation est lente en cas de fracture communitive à cause de l'instabilité et de la perturbation de la supplémentation sanguine qui y est associée⁽²⁶⁾. Une fracture simple, où les contraintes concentrées sur une aire réduite favorisent l'instabilité, cicatrise aussi lentement⁽²⁶⁾. Les mouvements de rotation, de cisaillement et de flexion du foyer réduisent voire interrompent la vascularisation et perturbent la cicatrisation. Plus le foyer est instable, plus le cal formé est important. Ce cal formé permet de réduire le bras de levier au niveau du foyer de fracture, et de limiter les micromouvements⁽¹⁵⁾ responsables de la rupture des néovaisseaux. L'oxygénation alors insuffisante des tissus interdit la formation d'os. Seul un cal cartilagineux voire fibrocartilagineux peu résistant peut se mettre en place⁽¹⁵⁾.

L'éloignement des abouts osseux joue un rôle non négligeable dans la cicatrisation. Un espace interfragmentaire inférieur à 0.3 millimètre permet le comblement de l'espace interfragmentaire par de l'os immédiatement lamellaire. Un os immature non lamellaire est mis en place dans le cas d'un espacement compris entre 0.3 et 1 millimètre. Du tissu fibreux apparaît si l'espace est supérieur à 1 millimètre. Si les abouts sont éloignés d'une distance supérieure à 1.4 fois le diamètre diaphysaire, une pseudarthrose se développe^(15,50). Une distance trop importante conduit à une non-union par défaut de vascularisation et instabilité.

Une réduction imparfaite de la fracture ou une angulation trop importante entre les fragments osseux conduisent à la formation d'un cal vicieux, d'une pseudarthrose ou à un retard de cicatrisation, selon le degré d'instabilité.

La présence d'une infection entretient la réaction inflammatoire. Elle favorise la résorption osseuse et augmente de façon indirecte l'instabilité du site de fracture ⁽¹⁵⁾. Le sepsis se traduit ensuite cliniquement par un retard de cicatrisation ou une pseudarthrose suppurée.

c. La cicatrisation par première intention.

La cicatrisation par première intention se déroule sans formation de cal externe ^(26,39) [note 1]. La cicatrisation par première intention est réalisée si les bouts osseux sont parfaitement apposés et comprimés l'un contre l'autre. L'absence de mouvements le long de la ligne de fracture inhibe le signal pour la formation d'un cal ⁽⁶⁰⁾.

Sous l'effet d'une plaque, des zones de contact parfait et des zones où il existe un léger défaut de contact peuvent apparaître (figure 5). Il existe des artifices pour les éviter (précontrainte de la plaque).

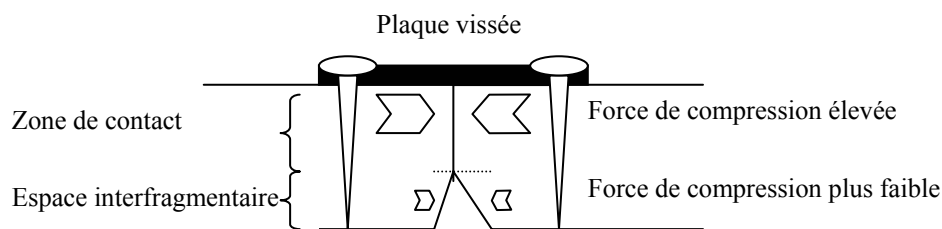


Figure 5 : Représentation schématique simplifiée de la situation mécanique au site de fracture après compression axiale.

Aucun mouvement n'est observé entre les deux fragments osseux tant que les forces externes sont inférieures à celles exercées par la plaque vissée. Au niveau des défauts de contact, une certaine amplitude de mouvement est possible. L'amplitude de mouvement est limitée à la déformation élastique des zones en contact adjacentes. Tant que l'os n'est pas détruit dans les zones de contact, les contraintes occasionnées par les micromouvements aux endroits où le contact n'est pas parfait sont assez faibles pour permettre la formation d'os ⁽⁶⁰⁾.

Note 1 : Un cal minimal peut être formé même sous des conditions de stabilité et de compression idéales en réponse à une stimulation mécanique des traumas du périoste et de l'endoste, notamment chez le jeune ⁽²⁶⁾.

→ Cicatrisation par première intention dans les zones de contact :

Dans les zones de contact, le remodelage haversien procède à travers la ligne de fracture. Un pontage osseux se forme. Il est constitué d'os mature orienté selon l'axe de l'os fracturé. L'os au niveau du trait de fracture est résorbé puis un nouvel os est déposé dans les cavités de résorption ⁽⁶⁰⁾. (figure 6.a)

→ Cicatrisation par première intention au niveau des défauts de contact :

Un tissu de granulation apparaît en premier dans l'espace interfragmentaire. Il apporte la néovascularisation. Du tissu conjonctif est observé au centre du défaut alors que de l'os lamellaire se dépose à la surface des abouts osseux (figure 6.b). Le dépôt d'os lamellaire se poursuit jusqu'à ce que l'espace interfragmentaire soit totalement comblé ⁽⁶⁰⁾.

Pour des espaces plus importants (supérieurs à 0.3 mm) ⁽⁶⁴⁾, un réseau d'os fibreux est observé en premier. De l'os lamellaire comble secondairement l'espace occupé par l'os immature. L'os lamellaire est orienté selon le grand axe de l'espace interfragmentaire (parallèle à l'axe de la fracture). La fracture est unifiée mais l'os n'est pas cicatrisé. Le remodelage permet de retrouver la continuité du tissu osseux. Deux types d'ostéons sont observés au cours du remodelage :

◆ Ceux qui ont pour origine un fragment. Ils traversent l'espace interfragmentaire comblé et pénètrent dans le deuxième fragment (figure 6.b) ^(56,60).

◆ Ceux qui ont pour origine l'espace interfragmentaire. Ils pénètrent dans un fragment ^(56,60).

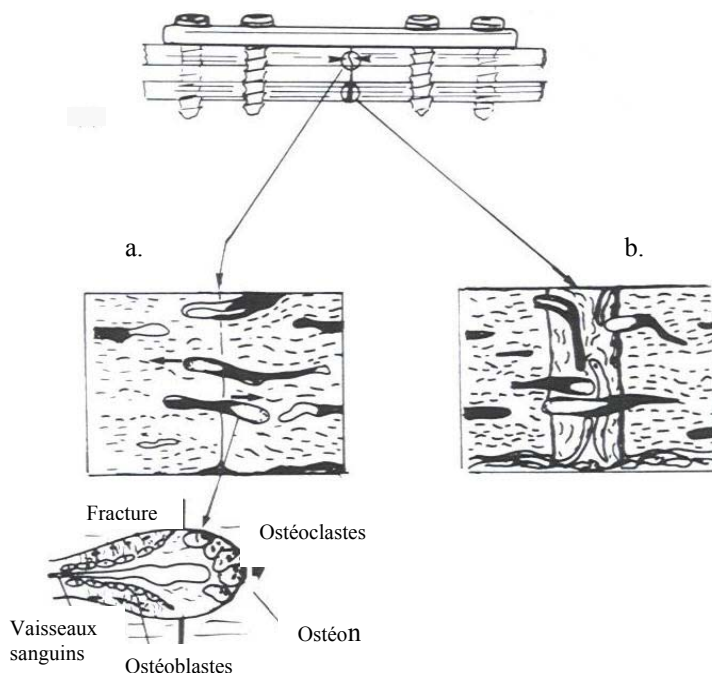


Figure 6 : Illustration schématique de la cicatrisation par première intention.

a. cicatrisation au niveau d'une zone de contact.

b. cicatrisation au niveau d'un défaut de contact.

(D'après DENNY HR. [26])

Intérêts de la recherche d'une cicatrisation par première intention ⁽⁶⁰⁾ :

- ◆ La fixation interne nécessaire à la mise en place d'une cicatrisation par première intention permet une restauration de la vascularisation médullaire plus précoce. Elle maintient de plus une réduction anatomique de l'os.
- ◆ La mobilisation précoce du membre est possible. Le risque de développement d'une maladie fracturaire est donc limité.
- ◆ Un cal exubérant ne se forme pas.

Désavantages et risques associés à la recherche de la cicatrisation par première intention ⁽⁶⁰⁾ :

- ◆ La solidité de l'os à travers la zone cicatrisée est plus longue à revenir à la normale que lors d'une cicatrisation spontanée associée à la formation d'un cal osseux.
- ◆ Des dommages nerveux et vasculaires sont possibles au cours de l'intervention chirurgicale menée pour mettre en place la plaque vissée. Il faut toutefois reconnaître que de telles lésions peuvent être provoquées lors d'une tentative de réduction par taxis externe.
- ◆ Le développement d'ostéoporose est possible suite à une perturbation de la supplémentation vasculaire due à la présence de la plaque vissée à la surface de l'os.
- ◆ Un traitement chirurgical comporte toujours un risque septique.
- ◆ Dans certains cas, des réactions à corps étranger peuvent être observées.

B. Les lésions musculaires

Le muscle constitue le tissu qui fait naître le mouvement alors que les tendons peuvent être considérés comme des éléments de transmission du mouvement. D'un point de vue fonctionnel, il est nécessaire de considérer le complexe muscle-tendon. Cependant dans un souci de clarté nous présenterons dans cette partie les lésions affectant le muscle et leur mode de cicatrisation. Les mêmes rubriques concernant le tendon seront développées ultérieurement.

Les muscles profonds sont généralement monoarticulaires alors que les muscles superficiels seront eux plutôt polyarticulaires. Les systèmes polyarticulaires ne sont pas adaptés à des mouvements combinés. Par exemple, lors d'une flexion du poignet, la flexion

complète des doigts est impossible. Les systèmes monoarticulaires quant à eux sont assez longs pour permettre des extensions et flexions complètes. Des mouvements de précision sont ainsi possibles. Les masses musculaires sont volumineuses à la racine des membres et réduites à leur extrémité. L'encombrement des masses musculaires est réduit à l'extrémité des membres de façon à permettre une amplitude articulaire maximale des articulations distales (carpe, jarret). Des tendons longs avec un grand débattement longitudinal sont alors nécessaires pour assurer la transmission muscle-squelette.

1. Rappel d'anatomie et de microanatomie du muscle normal.

Le muscle est constitué de cellules contenues dans une matrice organisée et élaborée de faible volume ⁽¹²⁾.

→ **La cellule musculaire** : Elle constitue la fibre musculaire. Les fibres musculaires sont groupées en faisceaux ou fascicules. La fibre musculaire correspond à un syncytium multinucléé qui renferme dans son sarcoplasme (cytoplasme) en plus des organites classiques présents dans toute cellule (lysosome, mitochondries, ribosomes...), un réticulum endoplasmique appelé réticulum sarcoplasmique et des protéines contractiles organisées en éléments cylindriques : les myofibrilles. Chaque myofibrille consiste en plusieurs sarcomères. Le sarcomère est l'unité contractile du muscle. La membrane du réticulum sarcoplasmique entoure la myofibrille ^(12,14) (figure 7).

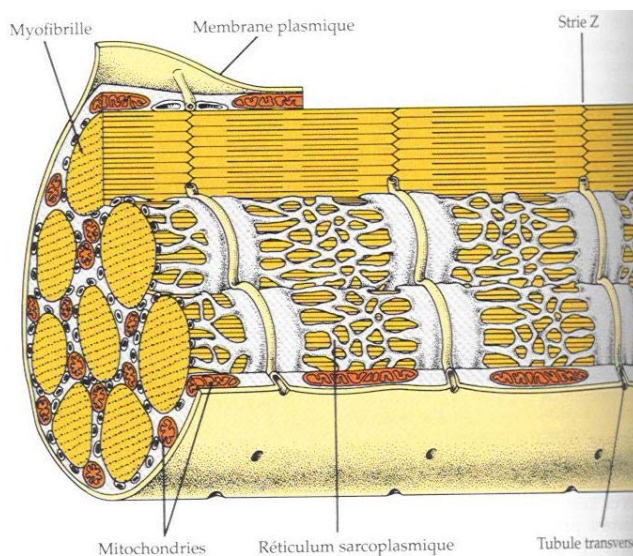


Figure 7 : Représentation schématique de la fibre musculaire (D'après CAMPBELL [13]).

→ **La matrice extra-cellulaire** : Bien que présente en faible quantité, la matrice extra-cellulaire est indispensable au bon fonctionnement du muscle et à sa réparation. La fibre musculaire est entourée par une membrane basale contenant du collagène, des protéines non collagéniques et des protéoglycanes spécifiques du muscle. La membrane basale associée à des fibrilles de collagène plus superficielles forme l'endomysium ^(12,22). Le périmysium recouvre les fascicules musculaires. Il correspond à une enveloppe plus épaisse constituée de fibrilles de collagène et de fibres élastiques. L'épimysium, tissu conjonctif plus périphérique, couvre le muscle. Il est souvent en continuité avec le fascia recouvrant le muscle ^(12,14). Les composants de la matrice extra-cellulaire relient les membranes des fibres musculaires au fibrilles de collagène des tendons (figure 8). Ceci permet la transmission des forces de contraction générées par les myofibrilles au tendon ⁽¹²⁾.

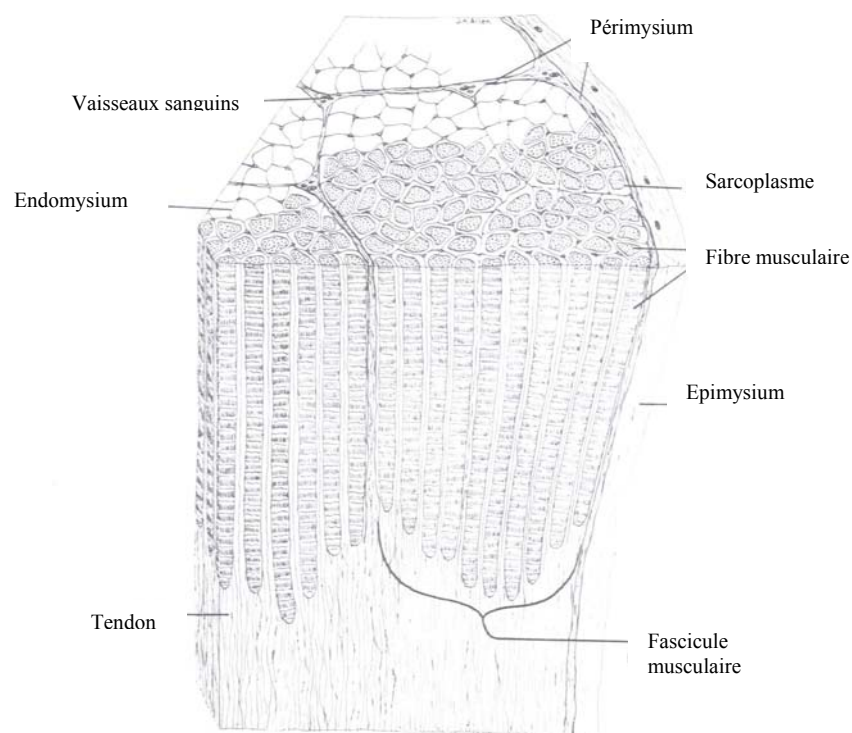


Figure 8 : Organisation du muscle squelettique avec son tendon. (D'après CLAIR LE St. [19])

→ **Nerfs et Vaisseaux** : Les nerfs et vaisseaux courent à travers le périmysium ⁽²²⁾. Les nerfs pénètrent dans la matrice qui recouvre les fibres musculaires. Ils forment des jonctions neuromusculaires avec la membrane des fibres musculaires (figure 9).

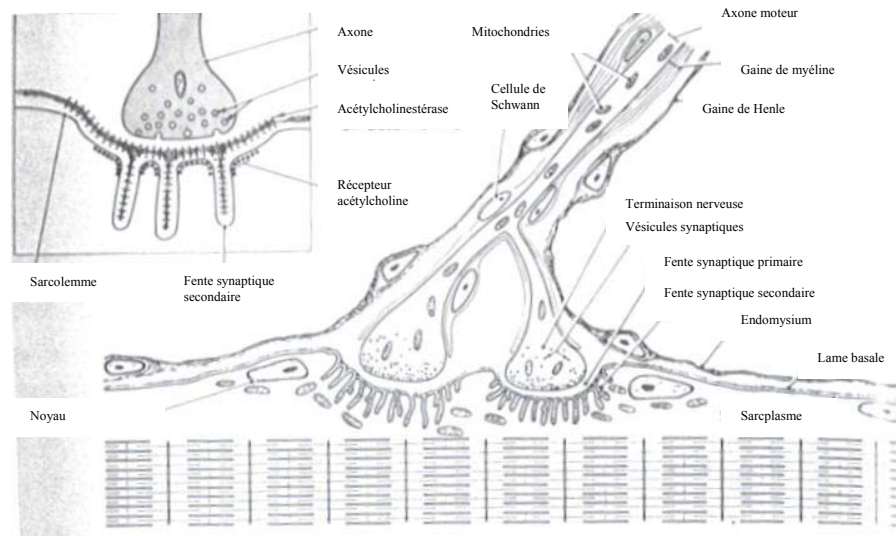


Figure 9 : Dessin schématique de la jonction neuromusculaire.
(D'après CAPLAN A, CARLSON B, FAULKNER J et al. [14])

La membrane basale sert d'interface spécialisé pour l'attachement des nerfs.

Les vaisseaux sanguins forment un maillage capillaire riche autour des fibres musculaires. Les capillaires sont tortueux quand le muscle est contracté. Ils sont droits lors d'une décontraction musculaire. Ceci est une adaptation au changement de longueur des muscles au cours de leur travail ⁽¹⁴⁾.

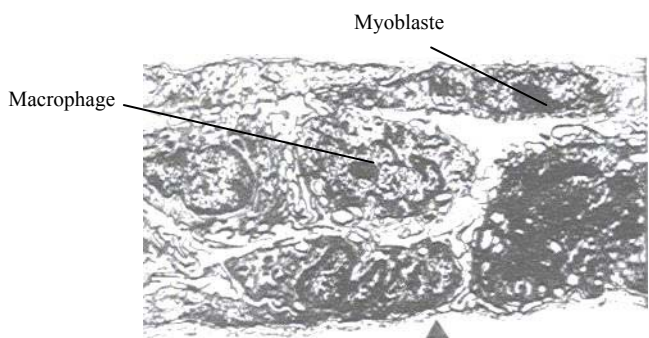
2. La cicatrisation musculaire.

La réparation musculaire demande non seulement la réparation du tissu musculaire proprement dit et de sa vascularisation mais aussi celle de son innervation et de la jonction neuromusculaire.

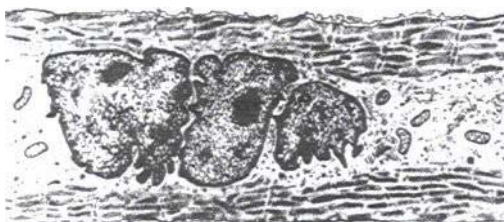
La lésion de la myofibrille engendre une réaction inflammatoire. Les cellules phagocytaires (macrophages en général) interviennent à des temps variables selon la vascularisation persistante (figure 10.a). Si la vascularisation locale n'est pas endommagée (exemple : après une injection intra-musculaire) les macrophages sont visibles au bout de douze heures chez l'homme. Si la vascularisation locale est atteinte (exemple : ischémie), la revascularisation peut prendre des semaines. Or ce n'est qu'une fois la vascularisation rétablie

que les macrophages pourront pénétrer au niveau du muscle nécrotique ⁽¹⁴⁾. La phagocytose des parties nécrosées permet le nettoyage du site et stimule la régénération des myofibrilles.

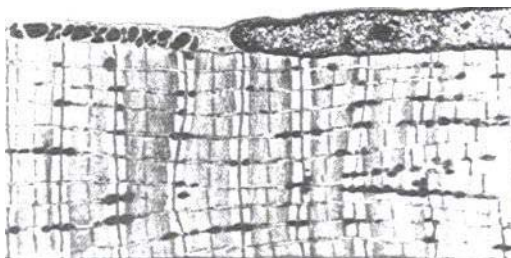
Des cellules myogéniques fusiformes (myoblastes) apparaissent sous la lame basale de la fibre musculaire originale ⁽¹⁴⁾ et prolifèrent (figure 10.a). Les myoblastes fusionnent pour former des myotubes syncytiaux avec des chaînes de noyaux centraux ^(14,22) (figure 10.b). Au fur et à mesure qu'ils s'accroissent, les myotubes produisent leur réticulum sarcoplasmique et s'assemblent en bandes organisées de filaments contractiles. La transition des myotubes en fibres musculaires est progressive. La chaîne centrale nucléaire se rompt et migre en périphérie du myotube (figure 10.c). Les protéines contractiles s'accumulent. Les myofibrilles se constituent.



a.



b.



c.

Figure 10 : Cicatrisation de la fibre musculaire.

a. Les macrophages nettoient le site lésé. Les myoblastes apparaissent sous la lame basale de la fibre musculaire initiale.

b. Les myoblastes ont fusionné pour donner un myotube multinucléé. Les myofibrilles se constituent en périphérie

c. Fibre musculaire régénérée mature.

(D'après CAPLAN. [14])

Pour devenir fonctionnelle, la nouvelle fibre musculaire doit être innervée et former une jonction neuromusculaire. Une fois que les fibres musculaires sont apparues, la matrice extra-cellulaire continue à se remodeler ⁽²²⁾.

Le manque de matrice extra-cellulaire limite la formation d'un tissu musculaire organisé. Même si un tissu musculaire organisé se forme, le défaut de tissu de support pour la réinnervation empêche le retour à la fonctionnalité de la fibre musculaire.

3. Type lésionnel et cicatrisation.

Le muscle peut être lésé suite à un traumatisme externe par choc direct (contusion). Mais le plus souvent le muscle crée sa propre lésion, en étirement ou contraction exagérés.

Il faut distinguer ici ⁽⁵⁾ :

- ◆ Les accidents musculaires sans atteinte anatomique. Il s'agit des élongations et contractures. Elles sont provoquées par un dépassement des propriétés d'élasticité du muscle.

- ◆ Les accidents musculaires avec atteinte anatomique. Il s'agit dans ce cas d'une déchirure isolée de quelques fibres, d'un faisceau de fibres ou du muscle dans sa totalité. Le symptôme principal est alors la formation d'un hématome intramusculaire. En fonction de la structure musculaire atteinte, on peut classer les lésions en trois types:

- Lésion de type I : Seules les fibres musculaires sont lésées. La matrice extra-cellulaire, les vaisseaux sanguins et les faisceaux nerveux sont intacts. Ce type lésionnel peut être dû à un trauma rapide, un étirement rapide, une ischémie temporaire. La cicatrisation est spontanée et conduit à la restauration de la structure initiale ⁽¹²⁾.

- Lésion de type II : Il y a atteinte de la suppléance nerveuse. Les myofibrilles sont atteintes ou non. Les vaisseaux sanguins et la matrice extra-cellulaire sont quant à eux intacts. Une lésion de type II peut être causée par une atteinte nerveuse périphérique isolée ou par un étirement nerveux et musculaire. La régénération des fibres nerveuses jusqu'à la jonction neuromusculaire est nécessaire pour permettre un retour de la fonctionnalité de la fibre musculaire ⁽¹²⁾.

- Lésion de type III : Il y a perte ou nécrose de tous les composants du tissu musculaire. Ce type lésionnel fait suite à un trauma sévère, une déchirure,

une pénétration. Si la vascularisation demeure intacte, la réaction inflammatoire engendrée par le traumatisme élimine le tissu nécrotique. Si la vascularisation est atteinte, un débridement chirurgical du tissu nécrotique est nécessaire ⁽¹²⁾.

Quel que soit le type lésionnel, une période de repos devra être prescrite.

En cas d'élongation, un repos de cinq à dix jours devra être observé. Le non respect de cette consigne peut faire passer la lésion au stade de déchirure musculaire ⁽⁵⁾.

Lors de déchirure, de la glace est appliquée au niveau de la zone lésée pour réduire la formation de l'hématome. Un repos complet de vingt jours est préconisé chez l'homme. Chez l'animal, il est beaucoup plus difficile de contrôler les périodes d'activité. Dès qu'il se sent mieux, l'animal peut être tenté de se remettre à courir ou sauter alors que la cicatrisation n'est pas achevée. Immobiliser le membre par un pansement contentif durant toute la période de cicatrisation est donc nécessaire ⁽⁵⁾.

La rupture musculaire représente le stade le plus grave des déchirures. Le corps charnu du muscle est rétracté. Une intervention chirurgicale est nécessaire pour évacuer l'hématome et le granulome inflammatoire et pour rapprocher les deux abouts musculaires. La suture est effectuée bout à bout ou sur une aponévrose voisine. Une immobilisation du membre de quatre à cinq semaines doit être observée ⁽⁵⁾.

C. Les lésions tendineuses.

1. La structure tendineuse.

Le tendon présente trois régions fondamentales : une zone d'insertion à l'os, un corps et une jonction tendino-musculaire. Le tendon comprend relativement peu de cellules qui de plus ont un faible niveau métabolique ⁽¹²⁾.

→ **L'insertion tendino-musculaire** : Elle est caractérisée par la prolongation des fibres de collagène de l'épimysium, du péri-mysium et de l'endomysium musculaires dans le tendon, ainsi que par l'imbrication des cellules musculaires avec les fibres de collagène ⁽⁶⁷⁾.

→ **Attachement du tendon à l'os** : Les fibres tendineuses s'insèrent directement dans l'os ou le périoste. La transition d'un tissu tendineux à osseux est progressive. Les fibres de

collagène traversent des structures de raideur croissante (fibrocartilage puis fibrocartilage minéralisé) ⁽⁶⁷⁾.

→ **La fibre tendineuse** : La fibre tendineuse est l'unité structurale de base du tendon. Elle est composée de fibrilles qui contiennent des fibres de collagène de type I orientées parallèlement à l'axe long du tendon. De rares fibres élastiques, discontinues, sont présentes entre les fibres de collagène et parallèles à elles ⁽⁸⁾. De nombreuses liaisons croisées inter- et intramoléculaires existent entre les fibres de collagène ⁽⁶⁷⁾. Les fibrilles de collagène sont disposées entre les rangs de cellules tendineuses (tendinocytes). Les expansions cytoplasmiques des tendinocytes tendent à entourer les fibrilles de collagène. Les fibrilles de collagène sont regroupées en fascicules. Les fascicules sont délimités par un tissu conjonctif lâche : l'endoténon. Les fascicules sont groupés en un ordre de troisième degré. Ils sont orientés parallèlement au grand axe du tendon. Les tendons sont recouverts par un tissu conjonctif fin : l'épiténon. L'endoténon est une expansion de l'épiténon ⁽²⁾ (Figure 11).

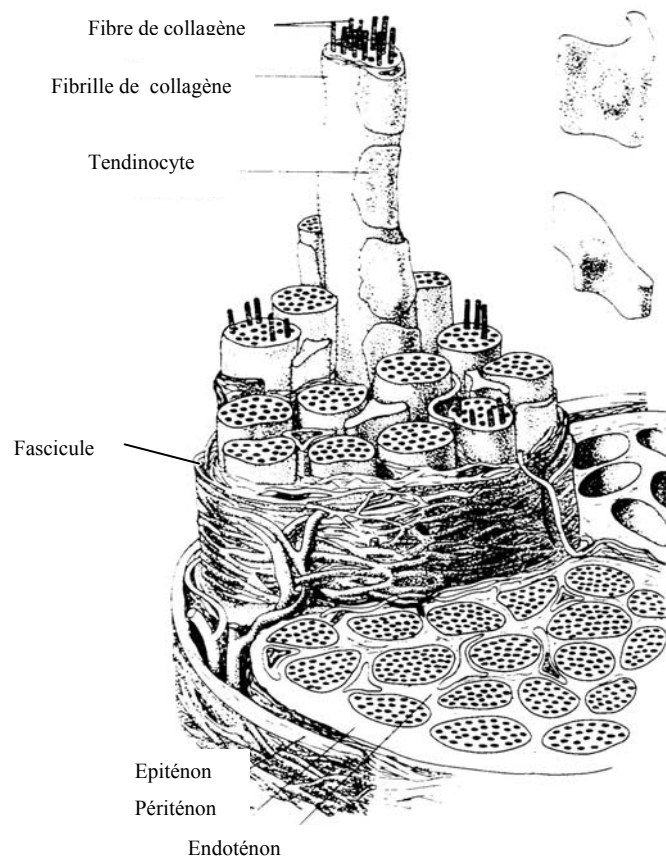


Figure 11 : Représentation schématique de la structure tendineuse (D'après MAILLET M. [48]).

→ **La vascularisation** : La vascularisation tendineuse dérive de trois sources ^(2, 8, 67) :

◆ les vaisseaux provenant des tissus environnants. Ils pénètrent par le mésotendon, véritable hile vasculaire (figure 12.a). Le réseau intratendineux se dispose sous forme d'échelle avec de nombreuses anastomoses (figure 12.b).

◆ les vaisseaux provenant de l'os ou du périoste sur lequel le tendon s'insère. Les artères sont filiformes, sans trajet fixe. Il n'existe pas d'anastomose artérielle avec le tendon.

◆ Les vaisseaux provenant de branches musculaires. Les artères du pérимыsium se poursuivent dans le tendon avec des anastomoses variables .

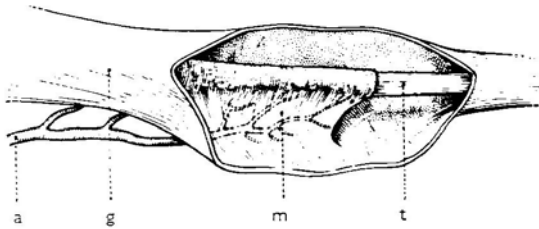


Figure 12.a : Schéma d'une gaine synoviale ouverte montrant le mésotendon.
a : artère ; g : gaine ; m : mésotendon ; t : tendon.
(D'après Maillat M. [48]).



Figure 12.b : Microvascularisation d'un tendon après injection à l'encre de Chine. (D'après BONNEL F, CANOVAS F. [8]).

→ **Structures de glissement** : Pour que le tendon puisse assurer sa fonction de transmission entre les muscles et l'os, il faut qu'il puisse glisser par rapport aux tissus qui l'entourent. Ceci est possible grâce à la présence de bourses, de gaines et du paratendon ⁽⁶⁷⁾.

Dans les zones où le tendon croise une articulation ou doit faire des changements de direction brutaux, une gaine tendineuse est présente. La gaine permet de limiter les frottements entre le tendon et les structures environnantes notamment les rétinacles des fascias musculaires (exemple : rétinacle des fléchisseurs/ tendon des fléchisseurs profonds des doigts). De plus, la gaine permet de maintenir le tendon dans sa course normale quand il croise une articulation. La gaine tendineuse est constituée de cellules synoviales enveloppées dans un tissu conjonctif lâche. La gaine présente une couche pariétale et une couche viscérale formant une cavité circonscrite contenant du liquide synovial ⁽⁶⁷⁾ (figure 13.a).

Les bourses tendineuses sont rencontrées dans les zones où le tendon croise des proéminences osseuses (exemple : tendon calcanéen) ^(22,67). Les bourses sont similaires aux gaines sauf qu'elles ne couvrent qu'une circonférence du tendon (figure 13.b).

Le paratendon entoure le tendon lorsqu'il a une course droite simple. Il est constitué d'un tissu conjonctif lâche, élastique et vascularisé ⁽⁶⁷⁾.

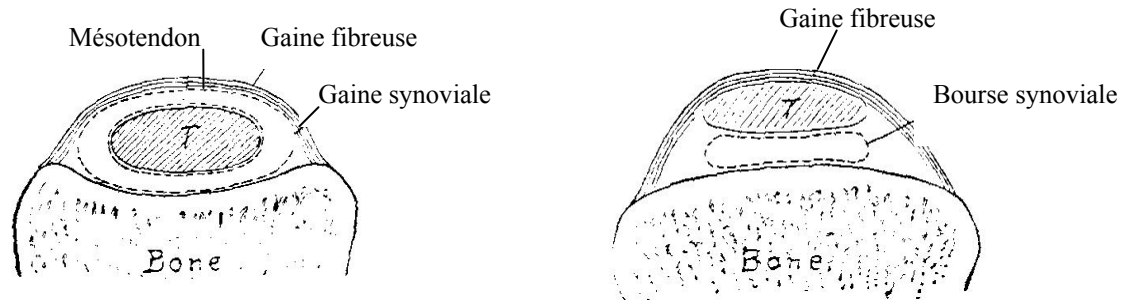


Figure 13.a: Représentation schématique d'une section transversale d'une gaine tendineuse. (D'après CLAIR L.E. St. [19])

Figure 13.b : Représentation schématique d'une section transversale d'une bourse tendineuse. (D'après CLAIR L.E. St. [19]).

2. La cicatrisation tendineuse.

Une rupture complète du tendon s'accompagne toujours d'une « perte de substance » qui résulte de l'élargissement de la solution de continuité du tissu tendineux. Le défaut est dû à la conjonction d'un phénomène passif mécanique, la rupture tendineuse, et d'un phénomène actif, la contracture musculaire provoquée par la réaction douloureuse. La reconstruction chirurgicale du tendon est alors nécessaire.

Le tendon peut être lésé suite à un traumatisme direct (coupure par un élément tranchant) ou suite à un traumatisme fonctionnel. Le tendon a une capacité de cicatrisation à la fois extrinsèque et intrinsèque ⁽³⁴⁾. Cependant, dans la plupart des lésions tendineuses, la cicatrisation extrinsèque est prépondérante. La majorité des constituants de la cicatrisation dérivent des éléments vasculaires provenant des tissus péri-tendineux ⁽⁶⁷⁾. Dans certains cas de traumatisme fonctionnel où la gaine tendineuse n'est pas atteinte, l'emploi de techniques visant à favoriser la pénétration vasculaire et la migration des fibroblastes est justifié (ex : styletting percutané chez le cheval).

Il se produit tout d'abord une exsudation, une infiltration par des cellules inflammatoires et formation de nouveaux capillaires (figure 14.a). Un tissu de granulation migre dans le défaut. Il comprend des fibroblastes provenant des tissus extrinsèques, et des cellules provenant de l'épiténon et de l'endoténon : les ténocytes. Les ténocytes sont rapidement débordés par le tissu de granulation et les fibroblastes extrinsèques. Beaucoup des cellules qui migrent dans les premiers jours suivant la lésion ont une activité phagocytaire. Les fibroblastes se disposent de façon perpendiculaire au grand axe du tendon. Ils sécrètent des fibrilles de collagène dès le cinquième jour post-lésionnel (figure 14.b). Les fibrilles de collagène sont désorganisées et orientées dans un plan perpendiculaire à l'axe longitudinal du tendon ⁽³⁴⁾. Si le tendon a été suturé, le matériel de suture maintient les deux abouts tendineux rapprochés jusqu'à ce que les fibroblastes aient produit assez de collagène pour constituer un cal tendineux sans orientation privilégiée ⁽¹²⁾. Les fibroblastes provenant de l'endoténon deviennent prépondérants chez l'homme à partir du quarante-deuxième jour. Les fibroblastes s'orientent dans l'axe longitudinal du tendon. Les fibres de collagène sont réorientées dans la même direction (figure 14.c). Pendant les deux mois et demi suivants, le tissu de réparation est remodelé jusqu'à ce qu'il ressemble à un tendon nouveau. Quatre mois après la lésion, la maturation et la cicatrisation sont achevées. Les fibroblastes se reconvertissent en ténocytes quiescents ⁽³⁴⁾.

La cicatrisation du tendon résulte dans un premier temps d'un comblement rapide, désorganisé, exubérant de la zone de rupture. Le « tissu » élaboré est une cicatrice collagénique qui ne respecte pas l'histologie habituelle du tendon ni ses dimensions. L'encombrement de cette cicatrice et la présence éventuelle d'adhérences peuvent avoir pour effet de réduire ou perturber les fonctions de glissement du tendon. Une mobilisation précoce maîtrisée et bien conduite peut limiter ces phénomènes et permettre un retour aux fonctions de glissement du tendon réparé ⁽⁶⁷⁾.

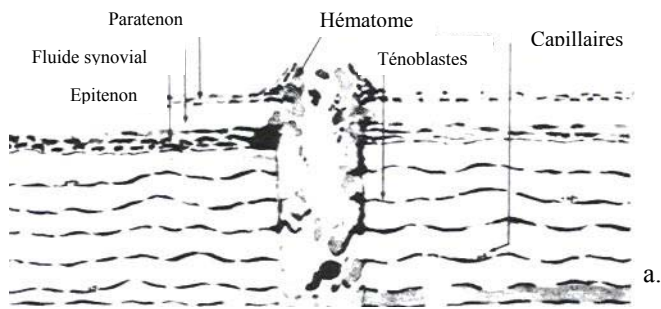
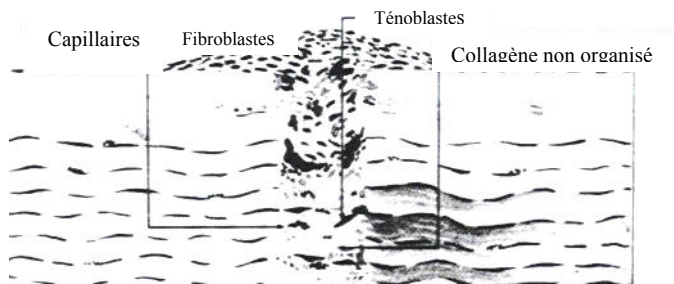
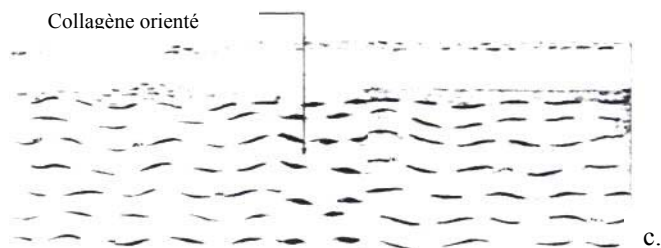


Figure 14 : Séquence des événements survenant suite à une lacération tendineuse.

a. Les cellules inflammatoires pénètrent dans le défaut via la néovascularisation



b. Les fibroblastes produisent un collagène non organisé.



c. Les fibres de collagène sont réorientées selon l'axe longitudinal du tendon.

(D'après ROCKWOOD CA. [12])

3. Type lésionnel et cicatrisation.

La tendinite est l'affection la plus fréquente du tendon. Elle est caractérisée par une élévation voire une rupture de certaines fibres tendineuses. Bien que le tendon soit très peu cellulaire, la réaction inflammatoire qui accompagne une tendinite peut être importante et atteindre la gaine synoviale. On parle alors de téno-synovite. Une tendinite aiguë est toujours associée à une inflammation des tissus environnants (péritendinite). Une tendinite chronique résulte de lésions anciennes consécutives à un épisode de tendinite aiguë. Lors de la rupture des fibres tendineuses, une hémorragie se produit. Un hématome se collecte.

Une tendinite modérée se résout souvent avec un traitement conservateur. Celui-ci consiste en l'application de froid pour limiter l'hémorragie et l'exsudation de fibrine et en l'immobilisation et la prévention d'un stress de tension. Si la tendinite est sévère mais que la rupture du tendon n'est que partielle, le segment atteint est immobilisé temporairement par un bandage de Robert-Jones. Puis un pansement contentif rigide est mis en place.

Une rupture tendineuse complète à l'étage de la jonction musculotendineuse ou au niveau du corps du tendon nécessite une réparation chirurgicale suivie d'une immobilisation stricte de quatre à six semaines.

Une avulsion tendineuse sera traitée chirurgicalement. Le tendon est réinséré par la mise en place d'une vis de traction et d'une rondelle et suturé. Une immobilisation par pansement contentif est également mise en place.

Au cours du traitement, on cherche à supprimer les tensions axiales qui s'exercent sur le tendon lésé. Lors de l'immobilisation, il faut donc prendre en considération le couple tendon-muscle et non pas seulement le tendon. Les articulations sur lesquelles agit le muscle dont le tendon est atteint doivent être immobilisées.

D. Les lésions ligamentaires.

1. Structure.

Le ligament est constitué de fibres longitudinales de collagène. Le collagène représente environ 70% du poids sec du ligament ⁽²⁾. La structure ligamentaire est assez complexe, proche sur le plan général de celle du tendon. Les fibrilles de collagène disposées en un réseau de fibrilles non parallèles constituent des fascicules de premier ordre. Les fascicules de premier ordre sont délimités par un tissu conjonctif lâche : l'endoténon. Plusieurs fascicules de premier ordre sont groupés en fascicules d'un ordre supérieur entourés par l'épiténon ⁽²⁾. Observées à la lumière polarisée, les fibres de collagène forment au repos un réseau ondulé. Ce caractère ondulé permet à la matrice collagénique un certain degré d'élasticité. Lors de l'application d'une charge, les fibres de collagène sont tendues. Le ligament agit ainsi comme un ressort ⁽³²⁾.

Les ligaments qui supportent une articulation sont soit incorporés dans la capsule articulaire, un épaississement en corde de la capsule est alors observé (épaule du chien); soit ils en sont séparés par des expansions des bourses synoviales. Près de l'insertion à l'os, la structure collagénique du ligament est progressivement remplacée par une structure fibrocartilagineuse et un fibrocartilage minéralisé (ex : collatéral médial du coude du chien, ligament croisé crânial du genou) (figure 15).

La transition progressive du tissu ligamentaire flexible au tissu osseux rigide permet une modification graduelle de la répartition des forces. Ceci évite une concentration des contraintes au niveau de l'insertion ligamentaire ⁽²⁾.



Figure 15 : Photomicrographie de l'attachement au fémur du ligament croisé crânial illustrant les zones de transition : 1 : ligament ; 2 : fibrocartilage ; 3 : fibrocartilage minéralisé ; 4 : os. (D'après ARNO CZKY SP. [2])

2. La cicatrisation ligamentaire.

Le muscle ne génère aucune tension sur les ligaments . La rétraction musculaire n'aura donc aucune incidence sur l'importance du défaut formé entre les deux abouts ligamentaires. La cicatrisation ligamentaire suit le même schéma que la cicatrisation tendineuse.

Après rupture, le défaut est comblé par un caillot sanguin. Les fluides s'accumulent dans les premières heures post-traumatiques. Un œdème se forme. Les monocytes et macrophages nettoient le défaut. Des fibroblastes se forment à partir de cellules mésenchymateuses indifférenciées. Ils synthétisent la matrice extra-cellulaire et déposent des fibrilles de collagène orientées au hasard. Des bourgeons vasculaires apparaissent dans la plaie. La concentration en collagène augmente. L'élastine commence à apparaître. Une phase de remodelage se produit ensuite. La vascularisation diminue, le nombre de fibroblastes et de macrophages décroît. La matrice de collagène s'oriente selon l'axe longitudinal du ligament ⁽¹⁾.

Le rapprochement des abouts ligamentaires et la stabilisation du site de lésion réduisent la formation de tissu cicatriciel. Une immobilisation complète de l'articulation où siège la lésion ligamentaire semble cependant diminuer la quantité mais aussi la qualité de la

cicatrisation ⁽¹⁾. Une mobilisation précoce et l'application de contraintes mécaniques modérées sont favorables à la cicatrisation.

3. Type lésionnel et cicatrisation.

Lésion de premier degré : il y a rupture partielle longitudinale intraligamentaire, avec collection d'un hématome intraligamentaire (figure 16.a). La réparation est rapide. L'application de froid permet de limiter la formation de l'hématome en provoquant une vasoconstriction. Le traitement passe par ailleurs par l'administration d'anti-inflammatoires et la mise en place d'un bandage léger de contention.

Lésion de second degré : il y a une rupture partielle du ligament avec une hémorragie et la formation d'un œdème inflammatoire (figure 16.b). Une immobilisation de quinze jours à trois semaines est nécessaire.

Lésion de troisième degré : il y a rupture complète du ligament (figure 16.c). Une immobilisation de quinze jours à trois semaines est possible si les deux extrémités osseuses sont bien solidaires (exemple de l'articulation carpo-métacarpienne). Dans le cas contraire, un traitement chirurgical (arthrodèse, ligamentoplastie, ostéosynthèse de la zone d'insertion) est nécessaire.

Lésion de quatrième degré : il y a avulsion osseuse(figure 16.d). Les règles de traitement sont les mêmes que pour le cas précédent.

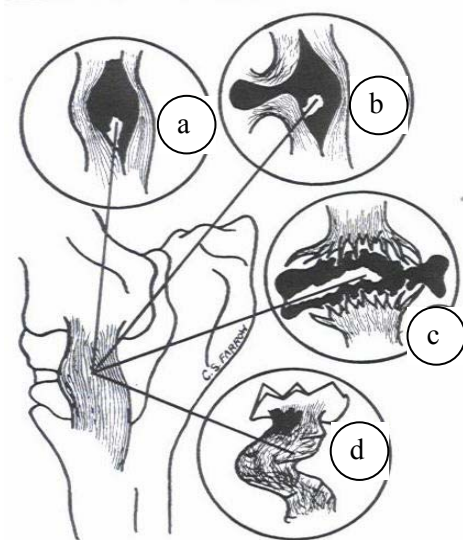


Figure 16 : Représentation schématique des types lésionnels ligamentaires.

- a. Lésion de type I : Rupture partielle longitudinale du ligament et formation d'un hématome intraligamentaire.
- b. Lésion de type II : Rupture partielle du ligament avec hémorragie.
- c. Lésion de type III : Rupture complète du ligament avec hémorragie.
- d. Lésion de type IV : Avulsion osseuse

(D'après BRINKER. [11])

L'immobilisation est un élément fondamental dans la prise en charge des lésions musculo-squelettiques. Les pansements contentifs sont largement utilisés lors de lésions ligamentaires, tendineuses et musculaires comme nous venons de le voir. Il a été vu que pour les tissus fibreux denses (ligaments et tendons), le retour à une mise en charge contrôlée de la zone lésée est bénéfique à la cicatrisation. Le contrôle de la mise en charge est facilité par la présence d'un pansement contentif dont la rigidité peut être modulée en fonction de son mode de confection et des matériaux utilisés.

II. Pansements contentifs plâtrés ou renforcés par des attelles.

L'inventaire des lésions orthopédiques auquel nous venons de procéder montre l'intérêt thérapeutique de l'immobilisation. Si elle peut être librement consentie par le patient humain et mise en œuvre dans des situations particulières (traction, décubitus etc...) l'animal n'accepte pas ces dispositions particulières. L'immobilisation chez l'animal devient donc synonyme de contention externe orthopédique. Cette contention peut être, dans des situations particulières, obtenue avec des dispositifs de fixation externe (triangulation sur le jarret par exemple). Dans la grande majorité des cas, le chirurgien orthopédiste fait appel à des pansements rigides ou à des pansements attelles. Ces pansements contentifs peuvent être employés soit :

- comme moyen unique de traitement
- comme traitement adjuvant d'un traitement chirurgical.

et ce, que la lésion soit osseuse, capsulo-ligamentaire, tendineuse ou musculaire.

Dans les paragraphes suivants, nous allons voir dans quelles situations de tels dispositifs sont utilisables, quels sont les soins à y apporter, quels en sont les avantages et les risques. Nous nous placerons dans le cas du traitement d'une fracture pour ce qui est des indications, les indications d'un pansement contentif pour le traitement des lésions musculaires, tendineuses et ligamentaires ayant été envisagées dans les paragraphes concernant ces types lésionnels. La confection des pansements, leur entretien et les complications pouvant découler de leur utilisation suivent les mêmes règles quel que soit le type de lésion orthopédique (osseuse, musculaire, tendineuse, ou ligamentaire).

Un pansement contentif quel qu'il soit doit remplir quatre fonctions : ⁽³³⁾

① la protection des plaies éventuelles se trouvant sous lui contre les contaminations bactériennes extérieures.

② l'absorption des liquides de drainage de la plaie. L'absorption des liquides est assurée par le coton constituant le pansement. Si la couche absorbante est trop fine, des phénomènes de macération peuvent apparaître.

③ la compression des tissus mous. La compression exercée limite l'accumulation de fluides (hématome, œdème) pouvant gêner la cicatrisation et favoriser une contamination.

④ une stabilisation suffisante du site lésionnel pendant tout le temps nécessaire à la cicatrisation.

A. Principes généraux du traitement des fractures par des pansements contentifs.

Avant d'envisager les indications et contre-indications de la mise en place d'un pansement plâtré ou renforcé par une attelle pour le traitement d'une fracture, il est bon de voir en quelques lignes les caractéristiques biomécaniques d'un tel dispositif.

1. Rappels de biomécanique.

Quatre types de forces s'appliquent sur un foyer de fracture : des forces de rotation, de compression, de traction et d'angulation-torsion. Une fracture peut être traitée par pansement contentif si elle est réductible à foyer fermé et si ces quatre forces sont neutralisées. Les forces de rotation et de torsion sont neutralisées par un pansement plâtré cylindrique si les articulations proximales et distales à la fracture sont immobilisées. La résistance du pansement contentif aux forces d'angulation est accrue :

◆ en augmentant l'épaisseur du dispositif mais cela induit nécessairement un alourdissement du pansement ⁽¹⁸⁾.

◆ en renforçant le pansement dans le plan où s'exercent les forces par des attelles. Cimino et Skinner ⁽¹⁸⁾ ont montré que des attelles antéro-postérieures augmentent d'avantage la résistance des plâtres cylindriques aux forces de flexion et d'extension que des attelles médio-latérales. Ils ont montré de plus que le renforcement par une attelle est surtout intéressant pour des plâtres courts (plâtre en

dessous du genou chez l'homme). La forme même des attelles intervient dans la solidité du dispositif. Mc Kinney ⁽⁵²⁾ a montré qu'une attelle est plus solide en combinant le long de la ligne de contrainte maximale un plan vertical au plan horizontal. Une attelle du poignet chez l'homme sera donc renforcée par une attelle en face dorsale si le poignet est immobilisé en flexion et par une attelle en face palmaire si le poignet est maintenu en extension (figure 17).

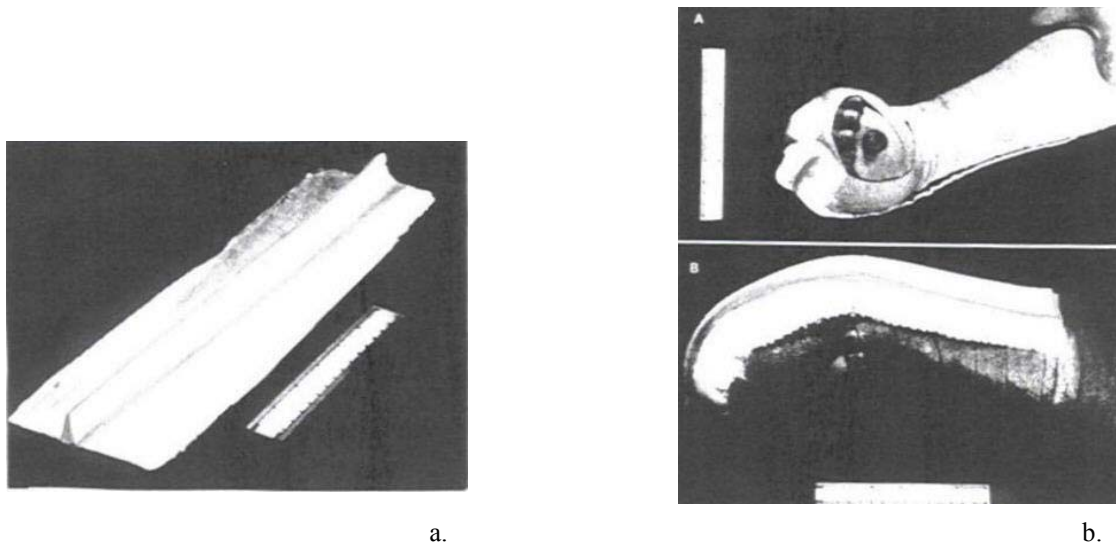


Figure 17 : Attelle en T : a. Principe du modèle de renforcement d'une attelle en plâtre de Paris b. Vues de face et latérale d'une application sur poignet fléchi. (D'après Mc KINNEY P. [52]).

Des forces de traction et de compression ne sont pas neutralisées par un pansement contentif. On ne pourra donc pas traiter idéalement une fracture oblique ou communitive. En effet, lors de la reprise d'appui, une compression est engendrée au site de fracture ce qui modifie la réduction et induit une forme d'instabilité ⁽³³⁾.

D'autre part, la capacité d'un pansement contentif à immobiliser une fracture dépend de la rigidité du pansement contentif, du contact entre l'os et le matériau rigide et de la localisation de la fracture. La présence de muscles épais à la périphérie de l'os réduit le couple mécanique entre le système rigide et l'os au niveau de l'humérus et du fémur ⁽⁶²⁾.

2. Indications.

Une stabilisation par pansement contentif est envisageable en première intention dans un nombre limité de cas de fracture. La localisation de la fracture, la configuration fracturaire, le type d'animal et son utilisation future par le propriétaire sont autant de facteurs qui entrent en compte dans la prise de décision.

a. Le type fracturaire.

Une stabilisation par pansement contentif pourra être envisagée pour des fractures (10,33,62) :

- **pour lesquelles les articulations proximales et distales sont immobilisables, ce qui limite aux fractures situées au-dessous du genou et au-dessous du coude.**
- des fractures pour lesquelles une réduction par taxis externe est possible, le cas échéant.
- stables (après réduction par taxis externe ou non).
- non articulaires.
- des fractures relativement stables comme les fractures en bois vert.
- des fractures très peu déplacées notamment du jeune chez qui le périoste est épais et constitue un élément de contention.
- des fractures d'os pairs dont l'un reste intact. C'est par exemple le cas d'une fracture du radius où l'ulna demeure intacte ou d'une fracture du tibia avec une fibula conservée ; fractures d'un ou deux métacarpiens (métatarsiens).
- des fractures obliques simples ou spiroïdes stables après réduction.

Le traitement d'une fracture uniquement par pansement contentif est limité à des cas particuliers. Une enquête rétrospective [Note 2] des cas de fractures présentés sur une année à l'Ecole Vétérinaire de Toulouse montre que seulement 38.8% des cas sont des fractures situées au-dessous du coude ou du genou (atteintes du radius-ulna, du tibia, du jarret, du segment carpe-métacarpe-main et du segment tarse-métatarse-pied). Ce pourcentage ne tient compte que du facteur « localisation anatomique » de la fracture. Si on tient compte des autres conditions nécessaires pour qu'une fracture puisse être traitée par un pansement contentif uniquement (type de fracture), le pourcentage des cas indiqués de fractures est encore diminué. Compte tenu de la répartition des fractures en fonction des différents sites

anatomiques et de leur type, le traitement des fractures par pansement contentif n'est donc pas le mode de traitement le plus fréquemment utilisé.

b. Signalement de l'animal.

Un membre peut être maintenu dans un plâtre quatre à six semaines chez l'adulte. Les jeunes animaux dont le potentiel de cicatrisation est supérieur à celui des animaux adultes sont de meilleurs candidats à la pose d'un pansement contentif à condition qu'ils soient bien surveillés : adéquation à la croissance, contrôle des lésions articulaires iatrogènes. En contrepartie, ils sont plus sujets à la survenue de complications. Les animaux chondrodystrophiques ou obèses sont difficiles à plâtrer à cause de la conformation de leurs membres. Une intervention chirurgicale sera donc préférée. La chirurgie est indiquée pour traiter les fractures distales du radius et de l'ulna chez les races toys ⁽⁶²⁾. En effet, chez ces chiens, l'incidence notoirement élevée de pseudarthroses (même après ostéosynthèse interne) du radius-ulna, probablement pour des raisons trophiques et/ou vasculaires interdit leur traitement par un dispositif de contention externe quel qu'il soit.

c. Utilisation de l'animal.

L'utilisation de l'animal souhaitée par le propriétaire est également un facteur à prendre en compte. Un traitement chirurgical sera préféré dans le cas d'animaux athlétiques ou destinés au travail (chien de chasse à longue quête, lévriers de course) ⁽⁶²⁾.

d. Le coût.

Le prix du matériel utilisé pour le plâtrage peut être supérieur à celui d'un dispositif simple de fixation externe. L'incidence de complications susceptibles d'engendrer des frais supplémentaires (anesthésie, renouvellement du pansement) est à prendre en considération. Lorsqu'on compare le budget d'un fixateur externe et d'un pansement contentif, il faut aussi prendre en compte les soins quotidiens nécessités par l'entretien d'un fixateur externe et les risques septiques associés ⁽⁶²⁾.

3. Contre-indications.

La pose d'un pansement contentif comme moyen unique de traitement d'une fracture est contre-indiquée dans le cas de ⁽³³⁾:

◆ fracture articulaire. Dans le cas de fracture articulaire, une réduction parfaite en compression est nécessaire pour que l'articulation reste fonctionnelle. Le traitement par la seule mise en place d'un pansement contentif est insuffisant dans ce cas pour atteindre les objectifs « thérapeutiques ». Un défaut de stabilité conduit inéluctablement au développement d'arthrose ou à l'apparition de lésions d'abrasion. Une ankylose articulaire se développe alors.

◆ fracture oblique communitive, instable ou à déplacement important. Un pansement contentif est dans ce cas insuffisant pour neutraliser toutes les forces mises en jeu (forces de traction et de compression).

◆ fracture de l'humérus, du fémur. Compte tenu de la conformation des membres des carnivores, le pansement contentif risque de s'arrêter au niveau de la fracture et de devenir ainsi, paradoxalement, un facteur d'instabilité (figure 18). Il exerce alors un effet de pendule sur le membre. Cet effet contribue à aggraver la lésion et les dommages des tissus mous. De plus, au niveau de ces segments osseux, la masse musculaire est importante. Elle réduit le couple mécanique entre le système rigide et l'os. D'autre part, la cuisse et le bras des carnivores sont de forme générale conique et le maintien d'un pansement contentif sur ces régions est très difficile compte tenu de leur morphologie.

◆ fracture de la scapula, du bassin, du rachis et du crâne.

◆ traumatismes des tissus mous tels que l'œdème ou l'inflammation. Ils doivent être traités avant la mise en place du pansement contentif. Si le pansement contentif est mis en place alors que le membre est œdématié, il risque de glisser lorsque l'œdème se sera résorbé. L'immobilisation n'est alors plus assurée.

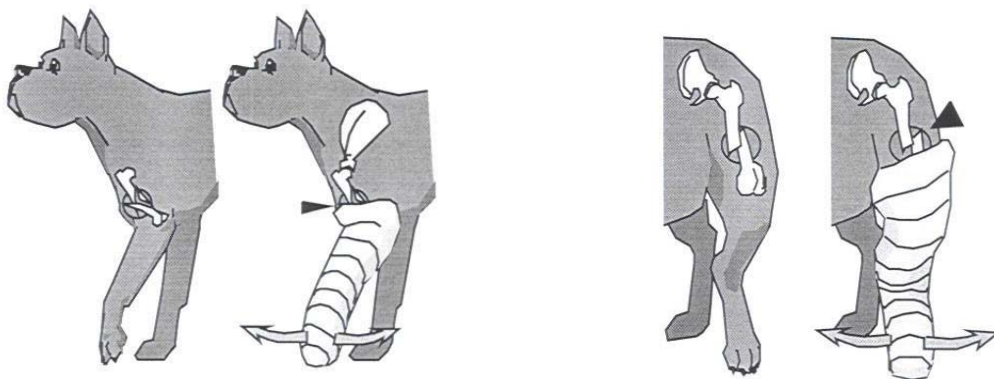


Figure 18 : Contre-indications des pansements contentifs : fractures de l'humérus et du fémur. Le pansement dans ces cas est un facteur d'instabilité.

4. Réduction de la fracture.

Lorsque c'est nécessaire, les fractures traitées par pansement contentif sont au préalable réduites par taxis externe à foyer fermé. Le chirurgien utilise une combinaison de tractions linéaires et de mouvements de levier des bouts osseux. La réduction est un temps délicat. La présence de masses musculaires à l'étage proximal des bouts osseux et l'œdème des tissus mous peuvent rendre difficiles la palpation des bouts osseux et la prise de repères. D'autre part, une réduction différée trop longtemps peut devenir impossible suite à la contraction musculaire et à la formation de cal ⁽⁶²⁾.

Lors de la réduction, une traction continue est appliquée pour surmonter le spasme musculaire et produire un haut degré de fatigue musculaire. La plupart des contractions musculaires peut être surmontée en quinze à trente minutes par un étendeur de Gordon qui est un dispositif d'extension-contre extension applicable aussi bien aux membres thoraciques que pelviens (figure 19.a) ⁽²⁵⁾. Il permet de combattre le raccourcissement musculaire qui interdit une réduction anatomique.

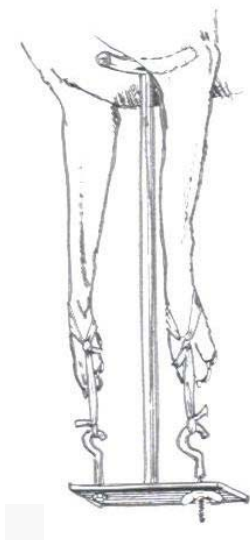


Figure 19.a : Représentation d'un étendeur de Gordon. Ce dispositif permet d'appliquer une traction progressive et continue sur le membre. Le spasme musculaire provoqué par la réaction douloureuse consécutive à la fracture est peu à peu réduit. (D'après EGGER EL. [25])

Le protocole anesthésique et la profondeur de l'anesthésie ont un effet sur le degré de traction qu'il sera nécessaire d'appliquer pour la réduction. On cherche à obtenir un protocole qui procure le meilleur compromis en terme de myorelaxation, d'analgésie et de narcose, afin d'obtenir les conditions optimales de confort à la fois pour le clinicien et le patient ⁽²¹⁾.

La réduction met en jeu plusieurs techniques selon les positionnements relatifs des deux bouts osseux :

- Soit la réduction est réalisée par alignement du cortex du fragment distal avec celui du fragment proximal sur un côté. Une angulation du fragment distal par rapport au fragment proximal maintenu en position stable est ensuite créée avant de ramener l'angle formé entre les deux bouts osseux à 180° . Cette technique est connue sous le nom d'angulation de Böhler (figure 19.b). Cette technique comporte quelques risques notamment celui de coincer entre les bouts osseux un vaisseau sanguin ou un nerf. Une nécrose, une paraplégie ou une paralysie du membre ou d'une partie du membre peut alors être observée.
- Soit on applique une rotation de l'un des deux fragments selon son grand axe tandis que le second est stabilisé. (figure 19.c)
- La réduction peut également résulter de l'application d'une force de traction, le membre est dans ce cas soumis à une force axiale suffisante pour aligner les fragments.
- Enfin on peut appliquer sur chacun des fragments osseux des forces axiales opposées l'une de l'autre ⁽²⁵⁾.

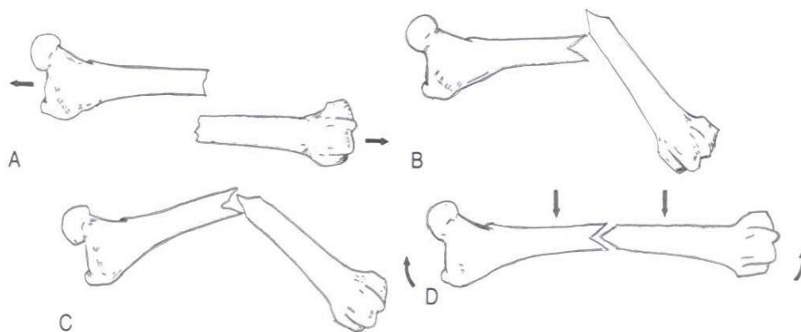


Figure 19.b : Représentation schématique de la séquence des mouvements réalisés lors de l'application de l'angulation de Böhler. (A : traction, B et C : angulation, D : retour à un angle de 180° entre les deux fragments osseux). (D'après EGGER EL. [25])

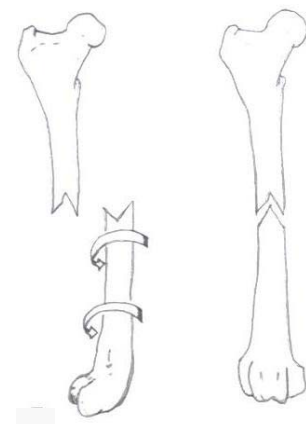


Figure 19.c : Représentation schématique du mouvement de rotation appliqué pour une réduction de fracture. (D'après EGGER EL. [25])

5. Confection d'un pansement plâtré ou renforcé par une attelle.

→ Mesures préliminaires :

Un traitement local et général contre les parasites externes, notamment les puces doit être effectué. Il a pour but d'éviter des démangeaisons liées à la présence des parasites et ainsi de limiter la dégradation du pansement par l'animal.

La technique de pose d'un pansement plâtré est la même quel que soit le matériau utilisé. Si les tissus mous sont oedématisés, le plâtrage doit être retardé et un bandage semi-compressif mis en place jusqu'à la réduction de l'œdème qui peut prendre deux à trois jours ⁽⁶²⁾. Toute plaie cutanée doit être débridée et fermée si nécessaire. Les poils sont rasés s'ils doivent interférer avec la mise en place du pansement contentif. Le membre est ensuite nettoyé et séché.

→ Choix de la longueur du pansement contentif :

Le pansement contentif doit immobiliser les articulations proximales et distales au site de fracture. La figure 20 illustre la longueur optimale du pansement en fonction de la localisation de la fracture. Le pansement doit s'étendre des doigts au coude (genou) pour une fracture du carpe et du métacarpe (tarse ou métatarse). Il doit remonter jusqu'à mi hauteur de l'humérus (fémur) pour une fracture du radius ou de l'ulna (tibia ou fibula).

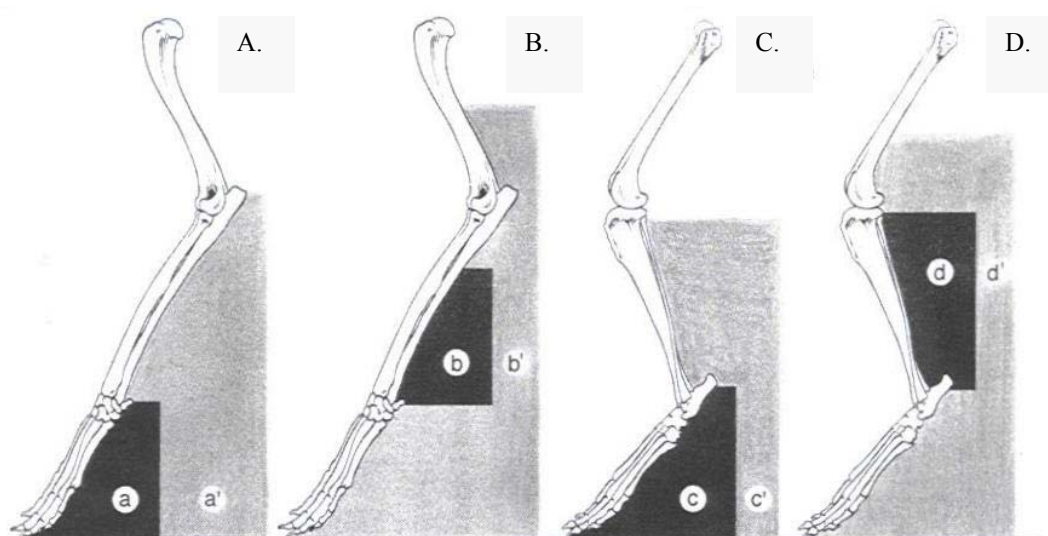


Figure 20 : Longueur optimale de l'attelle ou du matériel de plâtrage pour une fracture située au-dessous du coude ou du genou. La zone grisée représente la longueur de l'attelle ou du matériel de plâtrage. La zone noire symbolise la localisation de la fracture. A et B : cas pour un membre thoracique. C et D : cas pour un membre pelvien. (D'après BRINKER. [10])

→Position du membre :

Au cours de la confection du pansement rigide, le membre est maintenu en position physiologique. Le membre pelvien est maintenu en position normale avec le jarret légèrement fléchi. Selon certains auteurs, lors du bandage du membre thoracique le carpe doit être placé en flexion de 15° et dévié médialement de 15° (figure 21). Cette position aidera à prévenir un valgus. La rotation externe du métacarpe est évitée et la main doit être gardée en position neutre ⁽⁷⁾. Cette analyse ne fait pas l'unanimité. D'autres auteurs préfèrent maintenir le carpe en position physiologique plutôt qu'en position forcée.

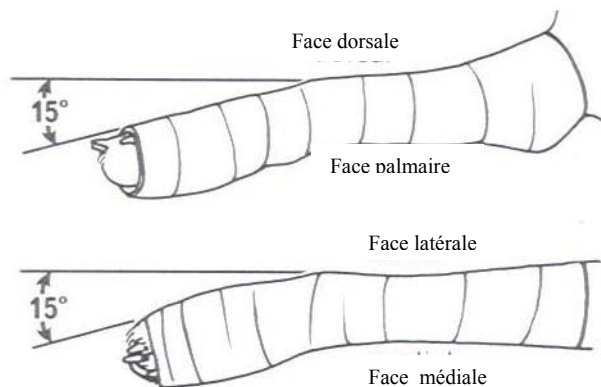


Figure 21 : Position adéquate du membre antérieur pour l'application d'un pansement rigide. Le carpe est légèrement fléchi et dévié médialement. (D'après : BOJRAB M.J. [7])

→Étapes de la mise en place du pansement contentif : (figure 22)

- ① Dégraissage à l'éther de la peau,
- ② Pose des étriers (bandes adhésives type sparadrap) sur les faces crâniale et caudale du membre ou sur les faces latérale et médiale. Ces bandes ont pour but d'éviter un glissement distal du bandage. Les parties des bandes dépassant du membre sont collées l'une à l'autre ou à chaque face d'une baguette de bois (figure 22.a).
- ③ Le membre est recouvert d'une chaussette (figure 22.b). La chaussette dépasse du membre distalement et remonte proximale jusqu'à la région axillaire ou inguinale, respectivement du membre thoracique ou pelvien.
- ④ Rembourrage : Dans le cas où les poils n'ont pas été rasés, peu de rembourrage est nécessaire, une ou deux chaussettes suffisent ⁽⁷⁾. Dans le cas où la patte est rasée, deux couches de rembourrage orthopédique (SOFFBANND, BSN



Figure 22.a : Pose des bandes adhésives ou étriers



Figure 22.b : La chaussette de protection peut être remplacée par une épaisseur de bande type VELPAU.



Figure 22.c : Mise en place du rembourrage.



Figure 22.d : Le rembourrage est recouvert par une bande élastique (ici Velpeau)



Figure 22.e : Le matériau durcissable est appliqué tout autour du membre en suivant les recommandations du fabricant.



Figure 22.f : Vue du pansement achevé recouvert d'une bande cohésive de revêtement

(D'après GARNIER E. [33])

médical, Le Mans) sont appliquées. Les bandes sont roulées à partir de l'extrémité distale du membre. Les phalanges distales des 2 doigts centraux doivent être laissées accessibles s'il n'y a pas de report de poids sur le membre bandé. Si le support du poids est prévu sur le membre atteint une barre d'aluminium peut être ajoutée distalement pour éviter une excoriation des doigts ou des coussinets ⁽⁷⁾. Chaque tour de rembourrage orthopédique recouvre de moitié le tour précédent. Une quantité limitée de rembourrage est utilisée sous le plâtre (ou l'attelle) pour permettre une conformation adéquate du matériel à la silhouette du membre. Lors de rembourrage excessif, le rembourrage se tasse au bout de quelques temps ce qui permet alors une rotation et un glissement du plâtre ou de l'attelle ⁽⁴¹⁾. Au niveau des saillies osseuses (condyles huméraux et fémoraux, olécrâne, tubérosité calcanéenne.) une ou deux couches supplémentaires de matériel de rembourrage peuvent être rajoutées ⁽¹²⁾. Le glissement du pansement suite à la réduction de l'œdème et du trauma peut être limité en utilisant un bandage en mousse de polyuréthane ⁽⁴⁰⁾. La mousse de polyuréthane, extensible, comble le vide créé entre le membre et le pansement lors de la réduction de l'œdème ⁽³⁹⁾. Une couche compressive permet de compacter le rembourrage (figure 22.d).

⑤ L'attelle ou le matériel de plâtrage est ensuite appliqué (figure 22.e). L'application du matériel de plâtrage est réalisée de la même façon que celle du rembourrage orthopédique, une marge de rembourrage orthopédique de un à deux centimètres est respectée proximale et distale. La tension d'application est accrue au fur et à mesure que l'on progresse vers l'épaule ou la hanche ⁽⁶²⁾. Des attelles longitudinales de plâtre peuvent être ajoutées latéralement et médialement ou crânialement et caudalement pour fortifier le plâtre avant la mise en place de la dernière couche de matériel de plâtrage ⁽⁷⁾.

⑥ Une fois le matériel de plâtrage rigidifié, le rembourrage et la chaussette sont réclinés sur lui et sécurisés au plâtre avec des bandes adhésives. Les étriers sont dissociés l'un de l'autre, tournés de 180° et collés au plâtre distalement.

⑦ Le tout est recouvert par une bande cohésive de revêtement (figure 22.f).

Pour faciliter le retrait du bandage, le plâtre peut être coupé le long de ses faces latérale et médiale. Le matériel de plâtrage peut-être découpé une fois sec (fin de la phase

⑤) :

-à la scie oscillante à plâtre.

-à l'aide de scies-fils qui ont été placées sur les faces latérale et médiale du membre entre la couche de rembourrage et le matériau de plâtrage. Dans ce cas où le matériau durcissable pourra être retiré, un plastique est positionné au-dessus du rembourrage avant d'appliquer le matériau de plâtrage afin de ne pas humidifier les couches sous-jacentes (figure 22.g à 22.i).

Les demi-coques sont solidarisées à l'aide de bandes adhésives (figure 22.j et 22.k) Mais cette découpe peut nuire aux propriétés du matériel et n'est donc pas recommandée. De même, réaliser une fenêtre dans le pansement pour pouvoir inspecter une plaie est à éviter à cause du risque de protrusion de tissu oedématié à travers elle.



Figure 22.g : Le membre est recouvert par un plastique.



Figure 22.h : Deux scies-fils sont disposées aux faces latérale et médiale du membre. Les scies-fils sont suffisamment longues pour dépasser proximement du matériau durcissable qui sera disposé par la suite.

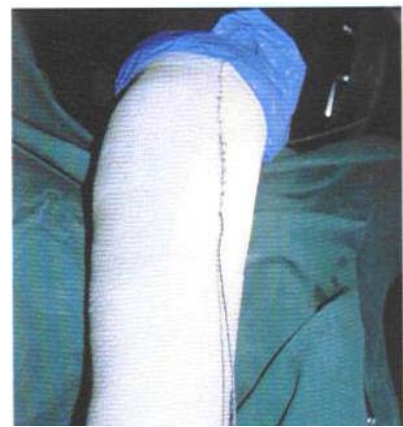


Figure 22.i : Une fois sec le matériau durcissable peut être scié à l'aide des deux scies fils qui sont réclinées en direction distale de membre.



Figure 22.j :Présentation des deux demi-coques obtenues.



Figure 22.k : Les deux demi-coques sont solidarisées l'une à l'autre par des bandes adhésives. Les étriers sont rabattus et collés sur le matériau durcissable.

(D'après Garnier E. [33]).

6. Soins post-application.

Une bonne maintenance du pansement rigide est essentielle. Le propriétaire doit être éduqué par le praticien. Pour les plâtres traditionnels, l'animal est hospitalisé vingt-quatre heures pour s'assurer du bon séchage du matériau. Si un matériel synthétique est utilisé, l'animal sera mis sous surveillance pendant douze à vingt-quatre heures pour être sûr que le plâtre a été appliqué correctement ⁽⁷⁾. Un premier contrôle sera effectué vingt-quatre à quarante-huit heures après la pose du pansement ; l'animal sera vu par la suite de façon hebdomadaire ⁽⁴¹⁾.

Les doigts et la partie proximale du membre doivent être évalués quotidiennement. Une décoloration ou un refroidissement des doigts, une abrasion cutanée, une odeur nauséabonde s'émanant du pansement sont à rechercher. Tout glissement, toute déformation angulaire ou dommage du pansement devra être signalé. Un report de poids sur le membre controlatéral, un léchage ou une destruction par morsure du plâtre par l'animal, sont autant de signes de complication potentielle. Chacun de ces signes est une indication de retrait du pansement pour inspecter le membre.

L'exercice excessif compromet la durabilité du plâtrage et prédispose aux complications. Il contribue à l'écrasement des matériaux de rembourrage et favorise les lésions d'abrasion cutanée ou les escarres à l'aplomb des proéminences osseuses. L'extrémité du pansement doit être protégée par un sac plastique fixé à l'aide de bandes élastiques quand l'animal est sorti sur terrain humide.

7. Retrait.

Le temps du développement de la cicatrisation prend trois à six semaines selon le patient et le type de fracture. Une radiographie est nécessaire pour confirmer une cicatrisation adéquate. Le plâtre est découpé longitudinalement sur sa face médiale et sa face latérale à la scie oscillante à plâtre avant d'être retiré (cas où des scies-fils non pas été utilisées lors de la confection du bandage) ⁽⁶²⁾. Après le retrait, la reprise d'appui et d'activité sont propres à chaque situation. Le temps pendant lequel le pansement contentif a été appliqué, l'évolution du cal, l'instabilité intrinsèque de la fracture et la performance de l'appareil de contention retiré sont autant de facteurs à prendre en compte.

B. Pansements complémentaires à une ostéosynthèse.

1. Pansements utilisés en phase préopératoire.

L'application d'un bandage en préopératoire a pour but de limiter une lésion additionnelle des tissus mous (muscles, vaisseaux, nerfs), d'éviter qu'une fracture fermée ne devienne une fracture ouverte suite à une manipulation malencontreuse. Le bandage a également pour but de soulager l'animal en limitant les déplacements des éléments osseux et de limiter la constitution de collections et d'œdèmes. Le bandage le plus utilisé dans ce cas est le bandage de Robert-Jones.

La réalisation d'un bandage de Robert-Jones est proche de celle d'un pansement contentif plâtré ou renforcé par une attelle.

① Dégraissage à l'éther de la peau.

② Pose des étriers (bandes adhésives type sparadrap) aux faces latérale et médiale du membre (figure 23.a). Celles-ci ont pour but d'éviter un glissement distal du bandage. Les parties de bande dépassant du membre sont collées l'une à l'autre ou à chaque face d'une baguette de bois.

③ Rembourrage : une première couche de rembourrage est roulée autour du membre en prenant comme départ l'extrémité distale du membre (figure 23.b). On utilise du coton cardé ou du SOFFBANND chez les grands chiens. La ouate ou le coton cardé sont préférés chez les petits chiens et les chats car ils sont plus faciles à utiliser^(u3). Le rembourrage est appliqué de façon à ce que chaque tour recouvre de moitié le tour précédant. Les griffes des deux doigts centraux sont laissées accessibles, mais cette approche n'est pas partagée par tous les auteurs.

④ La première couche de rembourrage est maintenue en place par une bande de crêpe ou une bande de structure cohésive (EASIFIXND). L'application de la bande débute une fois de plus en région distale et chaque tour est recouvert de moitié par le tour suivant. La bande est serrée modérément (figure 23.c).

⑤ Les étriers sont réclinés et collés.

⑥ Une deuxième couche de rembourrage est appliquée de la même façon que la première.

⑦ Une bande de crêpe ou de structure cohésive est mise en place comme précédemment. Elle est bien serrée.

⑧ Une couche superficielle de protection est enfin mise en place (exemple : bande cohésive de revêtement, VétrapND.) (figure 23.d).

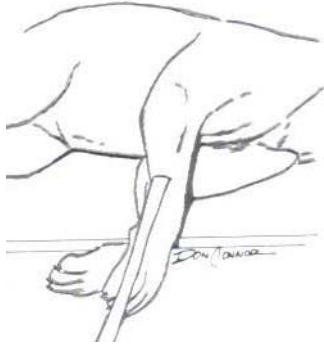


Figure 23.a : Mise en place des étriers (bandes adhésives) aux faces latérale et médiale du membre.

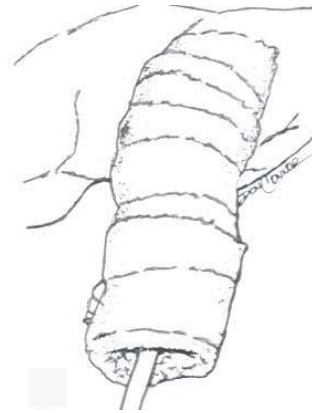


Figure 23.b : Mise en place de la première couche de rembourrage. Chaque tour recouvre le tour précédent de moitié.



Figure 23.c : La couche de rembourrage est compactée par une bande cohésive ou de crêpe.

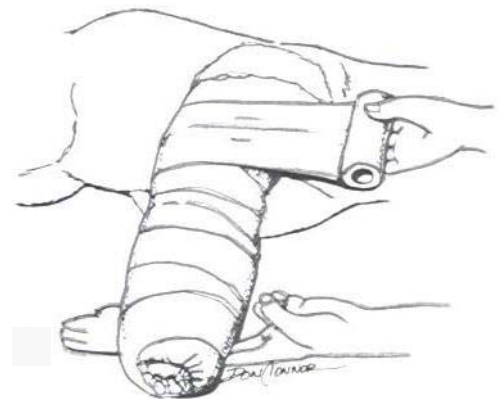


Figure 23.d : Après avoir mis en place une deuxième couche de rembourrage serrée par une bande cohésive ou de crêpe et récliné les étriers, le pansement est recouvert par une bande cohésive de revêtement.

(Daprès BOJRAB MJ. [7])

⑨ Aux extrémités distale et proximale du bandage, le coton débordant est retourné vers l'intérieur. Si le bandage a été correctement réalisé, une percussion au doigt produit un son mat identique à celui obtenu à la percussion d'un melon d'Espagne⁽⁷⁾.

2. Pansements utilisés en postopératoire.

L'application d'un bandage en postopératoire est réalisée dans trois buts ⁽⁴¹⁾:

- minimiser l'œdème postchirurgical des tissus mous.
- protéger l'incision cutanée d'une contamination au cours de la période postopératoire immédiate.
- limiter le mouvement et la douleur des tissus mous durant cette même période.

Dans ce cas un bandage de Robert-Jones est mis en place et laissé pendant trois à cinq jours.

On peut également utiliser un pansement contentif rigide ou renforcé par une attelle à titre complémentaire à une intervention chirurgicale ⁽⁷⁾. Les attelles sont alors appliquées aux faces crâniale et caudale du membre pour immobiliser le jarret (figure 24.a). Elles sont appliquées aux faces latérale et médiale du membre pour stabiliser une fracture un peu plus sévère du radius, de l'ulna, du tibia ou de la fibula. Elles sont alors utiles pour compenser les forces d'angulation qui peuvent s'exercer sur le membre au niveau du site de fracture par exemple après fixation interne, stabilisation articulaire ou arthrodèse (figure 24.b). Une attelle fabriquée par stratification de quatre à cinq couches de matériau synthétique de plâtrage est généralement suffisante pour des carnivores domestiques ⁽⁷⁾. Il est possible de recourir à d'autres matériaux pour la réalisation des attelles.

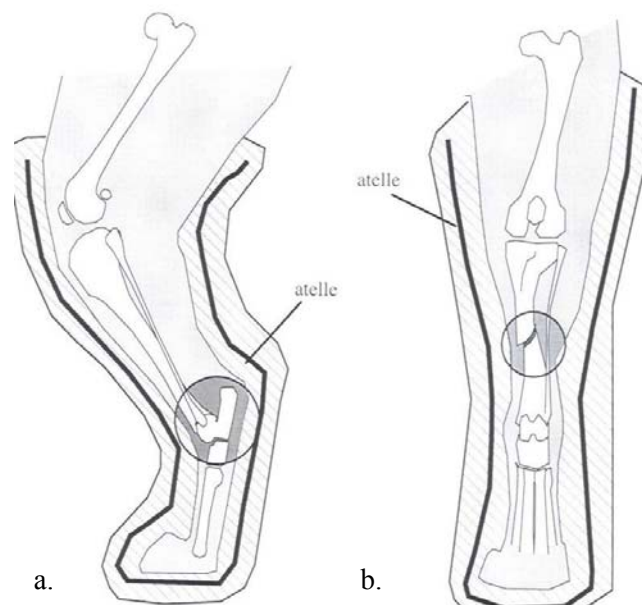


Figure 24 : Positionnement des attelles dans un pansement contentif renforcé.
a. : Attelle en position crânio-caudale sur un membre pelvien. Elle permet d'immobiliser le jarret ; b. : Attelle latéro-médiale. Elle permet de contrecarrer les forces d'angulation.

C. Complications.

➤ Ankylose - maladie fracturaire : L'immobilisation peut provoquer une ankylose articulaire irréversible. Celle-ci est plus marquée chez les patients jeunes ayant subi des dommages périarticulaires des tissus mous. En effet, une atteinte des tissus mous périarticulaires exacerbe la fibrose et les adhérences périarticulaires. Le degré d'ankylose peut être limité par une immobilisation de l'articulation en flexion. Le risque est alors de voir apparaître une ankylose en flexion ou un raccourcissement des muscles fléchisseurs. Dans le pire des cas, une maladie fracturaire peut se développer. Elle est caractérisée par un syndrome d'enraidissement, une fibrose et des adhérences périarticulaires et intraarticulaires, une dégénérescence cartilagineuse, une atrophie musculaire et de l'ostéoporose. La maladie fracturaire est rencontrée essentiellement chez les jeunes chiens. La contracture du quadriceps et le genu recurvatum résultant d'une immobilisation en extension du membre pelvien sont des complications dévastatrices (figures 25.a et 25.b). L'amputation est souvent le seul traitement envisageable ⁽⁴⁾. Dans quelques cas rares, le membre pelvien atteint peut être récupéré. Mais le chien reste dans ce cas très handicapé sur le plan de la locomotion.



Figure 25.a : Doberman mâle âgé de trois mois atteint d'une maladie fracturaire et d'une contracture du quadriceps secondaires à une fracture distale du fémur. (D'après BARDET JF. [4])



Figure 25.b : Vue latérale du membre pelvien gauche avant intervention chirurgicale avec la présence d'un « genu recurvatum ». (D'après BARDET JF. [4])

➤Laxité articulaire : La laxité articulaire est une complication particulière des jeunes chiens de grande taille. La plus fréquente d'entre elles est l'hyperextension carpienne associée à la laxité du ligament carpien palmaire apparaissant sur le membre contro-latéral au membre pansé. Maintenir le membre bandé par un pansement contentif est contre-indiqué lors de la survenue d'une telle complication ⁽⁶²⁾. Dans la majorité des cas la guérison est spontanée avec un report de poids contrôlé sur le membre atteint.

➤Oedème du membre : L'application d'une tension excessive au cours de l'application d'un pansement contentif cause l'atténuation des drainages lymphatique et veineux (la pression exercée par le pansement est supérieure à la pression veineuse mais pas à la pression artérielle). Un œdème de stase apparaît en région distale du membre. Cet œdème peut apparaître quelques heures seulement après la pose du pansement. L'hospitalisation de l'animal durant une nuit est donc recommandée pour observer l'apparition d'une éventuelle complication ⁽⁶²⁾. D'autre part, l'application d'un plâtre avec une pression inadéquate sur des tissus gonflés peut provoquer le développement ultérieur d'un œdème déclive du membre.

➤Nécrose ischémique : Une mauvaise application du pansement (pression exercée plus importante en région proximale que distale du membre) peut résulter en un effet garrot. Un effet garrot prolongé peut provoquer une ischémie définitive et la dévitalisation irréversible des tissus situés distalement à la zone d'étranglement ⁽³³⁾. Une nécrose de l'extrémité du membre apparaît. L'amputation est alors le seul traitement envisageable.

➤Lésions aux points de pression : Les proéminences osseuses telles que l'olécrâne, l'os accessoire du carpe, le calcanéum sont particulièrement vulnérables aux lésions cutanées. Deux mécanismes sont responsables des atteintes cutanées : la nécrose de pression (escarres) et l'abrasion ⁽⁶²⁾. Une bonne technique d'application (couche de rembourrage) et un bon suivi réduisent l'incidence et la sévérité de telles complications.

➤Mauvais entretien - macération : Un trauma cutané direct et un environnement humide sous le plâtre prédisposent à l'apparition d'une dermatite bactérienne en général à Staphylocoques. Le développement d'une plaie cutanée profonde peut permettre l'extension de l'infection aux tissus sous-jacents et à la nécrose cutanée. Il est possible qu'aucun signe d'ordre général ne soit visible et qu'une réaction purulente au niveau du

plâtre soit le seul signe d'appel. Les soins locaux permettent en général le contrôle de ces phénomènes ⁽⁶²⁾. L'amputation sera dans certains cas sévères et compliqués la seule solution de traitement.

➤ Perte du pansement rigide : La disparition de l'œdème des tissus mous et l'amyotrophie engendrée par une immobilisation du membre favorisent le glissement du pansement. Il en découle un défaut de stabilité du site de fracture au long cours et des abrasions cutanées.

➤ Toute complication peut être la cause d'une cicatrisation retardée ou d'une non-union. Le retrait et la repose fréquente d'un plâtre contribuent à mobiliser le foyer de fracture et affectent le processus normal de réparation tissulaire.

Les pansements contentifs sont utilisés soit comme moyen primaire de traitement de certaines lésions du système musculo-squelettique, soit comme élément complémentaire de stabilisation après réalisation d'une ostéosynthèse. De même qu'ils peuvent être utiles, les pansements contentifs peuvent générer des lésions graves. Une technique d'application correcte et une bonne gestion du pansement sont nécessaires pour éviter l'apparition de complications. Chez un animal de moins de six mois, un pansement contentif immobilisant une articulation ne devra pas être appliqué plus de cinq jours quelles que soient les circonstances. Chez un adulte, dans l'hypothèse où aucun problème ne survient, un pansement contentif est renouvelé tous les dix jours.

L'éventail des matériaux disponibles est aujourd'hui important. Les industriels ne cessent de développer de nouveaux matériaux pour pansements contentifs dans le but d'en favoriser l'utilisation, d'en améliorer les propriétés et de réduire la survenue de complications.

Partie II.

Matériaux rigides disponibles en médecine vétérinaire pour la confection des pansements contentifs.

Une attelle consiste en un matériau rigide, conformé pour s'approcher de la forme du membre. Il existe des attelles préformées en plastique ou en aluminium (attelle de Mason) appliquées à la face caudale du membre, sur le rembourrage. Le problème de ces dernières est d'être rigides et totalement rectilignes alors que le membre présente des courbes. L'application d'un rembourrage adéquat est donc nécessaire pour compenser les défauts d'adaptation de l'attelle au membre et pour éviter l'apparition de complications des tissus mous. Mais il peut en résulter un défaut d'immobilisation. Les attelles en matériaux durcissables (plâtre traditionnel, fibre de verre ou matériau thermoplastique), modelables à souhait à la silhouette du membre sont pour cela mieux tolérées par les patients et causent moins de lésions des tissus mous.

Des progrès technologiques importants ont été réalisés ces dernières années dans le domaine des matériaux durcissables. L'apparition de matériaux en résine et en fibre de verre a été une véritable révolution. Peu utilisés au départ car trop chers, leurs propriétés physiques ont su les imposer comme des produits de premier choix pour la confection des pansements contentifs.

I. Rappel historique.

Les premières traces d'utilisation d'un système d'immobilisation de membre fracturé dateraient de la préhistoire comme semblent le montrer des études d'ossements. Le papyrus Edwin-Smith datant de 2500 av. JC décrit le traitement des fractures de l'avant-bras conséquences à l'époque des Pharaons d'une punition traditionnelle par coups de bâton. Le soin consiste en une immobilisation par une attelle en écorce d'acacia ou en nervure de palme ou encore avec des bandes de lin enduites de gomme ou de plâtre⁽²⁰⁾ (figure 26).



Figure 26 : Immobilisation des fractures osseuses avec des feuilles de palmier en Egypte antique (momie). (D'après COMBES. [20])

En 860 av. JC, le physicien arabe Rhasus Athuricus décrit l'application médicale d'un dispositif plâtré. Il utilisait un bandage constitué d'élyme et de blanc d'œuf ⁽³⁵⁾. Hippocrate évoque dans ses écrits un mélange de colle de farine, de gomme et d'encens pour les fractures du nez et l'application de cire associée à des bandelettes imbibées de résine pour les fractures de la jambe et du bras ⁽³⁾. Aucune amélioration ne sera apportée aux dispositifs de contention externe en Europe au cours du Moyen-âge. Les Arabes en revanche mettent au point au cours du X^{ème} siècle une bouillie plâtrée pour immobiliser les membres cassés. Celle-ci est constituée au départ d'oxyde de calcium mélangé à du blanc d'œuf. L'oxyde de calcium finira par être remplacé par du sulfate de calcium, le fameux plâtre de Paris que nous connaissons, moins irritant. A partir du XI^{ème} siècle, un système constitué de plusieurs couches de tissu imbibé de blanc d'œuf recouvertes d'un chiffon imprégné d'un mélange de farine et de glaire est utilisé en Europe. Au XVI^{ème} siècle, Ambroise Paré utilise des bandes imprégnées de cire et des attelles de bois. Dominique Larrey, médecin de l'armée de Napoléon 1^{er}, rapporte de la guerre d'Espagne une technique utilisant des bandes de toiles imprégnées d'un mélange d'alcool, de camphre, d'acétate de plomb et de blanc d'œuf. Tous les dispositifs utilisés jusqu'alors sont longs à construire et surtout à sécher : les pansements pourrissent et procurent une mauvaise immobilisation ^(17,55).

Il faudra attendre la fin du XVIII^{ème} siècle pour voir apparaître en Europe les premiers matériels plâtrés, ramenés de Perse et de Mésopotamie par des officiers anglais. Les matériels sont enduits sur le membre fracturé et moulés. Ils sont résistants aux chocs, moins longs à sécher que les dispositifs connus jusqu'alors par les Européens mais ils sont aussi très lourds. La généralisation de leur emploi en France ne se fera qu'à partir du XIX^{ème} siècle après les travaux de Hergott et Maisonneuve. En 1816, Hubinthal tente la mise au point d'une formule en mélangeant à parts égales du plâtre de Paris avec du papier buvard pulvérisé. Le mélange était appliqué à l'aide d'une spatule sur l'extrémité fracturée. Koyl et Klye, deux physiciens allemands modifient cette technique en conseillant de remplir un moule qui entoure l'extrémité fracturée par du plâtre de Paris liquide. Mais cette méthode trop salissante ne fut pas bien reçue ⁽⁵¹⁾.

La plus grande avancée en matière de dispositif plâtré se fera en 1851 avec Mathijsen, médecin militaire hollandais. Celui-ci alors en garnison à Haarlem utilise les premières bandes plâtrées constituées d'une couche de plâtre en poudre disposée entre deux compresses de flanelle ou de calicot, préparées longtemps à l'avance et mouillées après pose sur le membre. Un an plus tard, Mathijsen énonce les huit règles auxquelles doit répondre un appareil immobilisateur :

- ◆ Permettre une application facile et propre.
- ◆ Atteindre une solidification complète en quelques minutes.
- ◆ Permettre une surveillance des lésions originelles.
- ◆ S'adapter à la forme du membre.
- ◆ Conserver son activité après contact avec le pus ou toute autre sécrétion.
- ◆ Ne pas être affecté par le contact avec le pansement humide de la partie blessée.
- ◆ Présenter un poids raisonnable.
- ◆ Être d'un coût accessible.

Dans le même temps, Samuel St John à New York introduit le rembourrage en coton (24).

La méthode de Mathijssen est décriée par la Société des Sciences Médicales et Naturelles de Bruxelles : le système est jugé salissant, il s'élargit en durcissant, sèche trop vite. La Société des Sciences Médicales et Naturelles de Bruxelles recommande le bandage amidonné de Seutin. Mais Mathijssen bénéficie du soutien de Van de Loo qui met au point en 1853 la fabrication de bandes plâtrées en faisant passer la bande dans un récipient contenant du plâtre en poudre et en l'enroulant ensuite. Un appareil permettant de produire ces bandes est mis au point par Wywodzoff. Van de Loo voyage partout en Europe au cours de l'année 1853 et répand la technique de Mathijssen. La méthode finit par s'imposer. Elle va subir alors diverses modifications associant divers systèmes de bouillie plâtrée et des tissus de natures variables. En 1878, Beely utilise de l'étoffe trempée dans une bouillie plâtrée et moulée sur le corps. Cinq ans plus tard, de l'amidon jouant le rôle d'agent de liaison est ajouté au plâtre. Breiger utilise des morceaux de ouate encollés de plâtre en poudre. Calot, en France au début du XX^{ème} siècle met au point une gaze trempée dans une bouillie de plâtre fin.

Au cours de la Grande Guerre, les formations françaises et allemandes possèdent un stock important de bandes plâtrées fabriquées par saupoudrage mécanique ou par fixation par frottement de plâtre sur la gaze. Mais le plâtre n'est pas reparti de façon uniforme et est parfois trop mouillé ce qui provoque un ramollissement du montage perceptible quelques jours après la pose du dispositif. En 1927, des liants synthétiques sont mis au point pour retenir le plâtre sur le bandage. Depuis, le bandage plâtré n'a pas été fondamentalement modifié (17,55).

Il est difficile d'identifier à quand remonte l'utilisation du gypse et de ses dérivés en médecine vétérinaire. Des cas anecdotiques montrent cependant que certains vétérinaires savaient les utiliser. En 1916, W.F. Guard applique avec succès un pansement plâtré sur un

chien adulte qui souffrait d'une fracture bilatérale du tibia. En 1924, E.A Ehmer rapporte le traitement d'un chien souffrant d'une fracture du col du fémur traitée à l'aide d'un plâtre enserrant son bassin ⁽⁵⁷⁾.

Il existe actuellement une multitude de matériaux durcissables pour confectionner un pansement rigide. On peut scinder les matériaux durcissables en deux groupes : celui des plâtres de Paris et autres produits non stratifiés et le groupe des produits stratifiés. Aucun des matériaux ne présente l'ensemble des caractéristiques suivantes définies pour un plâtre idéal ^(27,62):

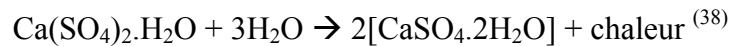
- ◆ Etre facile à appliquer.
- ◆ Etre facile à mouler au membre.
- ◆ Présenter une grande solidité.
- ◆ Prendre rapidement.
- ◆ Atteindre rapidement sa solidité maximale.
- ◆ Tolérer des déformations minimales.
- ◆ Etre réutilisable et économique.
- ◆ Etre facile à enlever.
- ◆ Etre non irritant.
- ◆ Etre radiotransparent et ne pas interférer avec l'interprétation radiologique.
- ◆ Etre léger.
- ◆ Etre perméable à la vapeur d'eau.
- ◆ Permettre une bonne stratification des couches pour les matériaux synthétiques ⁽⁴⁶⁾.

II. Le plâtre de Paris

A. Structure.

Le plâtre de Paris doit son nom à la butte Montmartre, quartier de Paris, lieu où le sulfate de calcium a été découvert. Le plâtre de Paris est constitué à partir de sulfate de calcium dihydrate ou gypse trouvé dans la nature, souvent associé avec des sels ou des gemmes. Le gypse est soumis à une température intense (128°C) pour en éliminer l'eau ⁽³⁵⁾.

La poudre restante obtenue suite à la réaction de calcination constitue le plâtre de Paris composé de cristaux de sulfate de calcium. Le plâtre de Paris est ensuite incorporé dans des bandages de gaze ^(7,30). Lorsque l'eau est ajoutée à la bande plâtrée, le processus de cristallisation par hydratation du sulfate de calcium en gypse est enclenché selon la réaction exothermique suivante :



Le matériel durcit suite à la formation de liaisons entre les cristaux de sulfate de calcium. Le plâtre prend en trois à huit minutes selon la température de l'eau ajoutée et de la quantité d'eau restante dans le rouleau après immersion et rinçage. L'eau en excès doit ensuite s'évaporer à partir de la surface avant que le plâtre n'atteigne sa rigidité maximale. Cette dernière étape peut prendre entre huit et quarante-huit heures selon la largeur, l'épaisseur et le type de plâtre utilisé mais aussi selon la température et l'humidité de l'air ambiant. Des vides d'air se forment entre les cristaux de sulfate de calcium au cours du séchage. Le plâtre est ainsi poreux ; l'air peut atteindre la peau à travers les pores ⁽⁴⁷⁾.

La rigidité du plâtre est proportionnelle à son épaisseur mais il est bon d'utiliser le plâtre le plus fin possible afin de limiter le poids du dispositif. De plus, plus le plâtre est épais, plus il est long à sécher et plus la réaction exothermique est importante. Lavalette, Pope et Dickstein ⁽⁴⁷⁾ ont montré que pour un plâtre de plus de huit couches, la température atteinte au cours de la réaction exothermique peut être suffisante pour entraîner des brûlures chez l'homme. Il est donc préférable de renforcer le plâtre par une attelle plutôt que de l'épaissir.

On dénombre quatre types de plâtre de Paris selon leur vitesse de prise (rapide, extra-rapide) et les constituants qui y ont été ajoutés (élastique, résine pour augmenter la rigidité et la résistance du dispositif à l'eau) ^(7,51).

B. Propriétés.

1. Résistance.

Un plâtre de Paris n'atteint sa résistance maximale qu'au bout de 24 heures. La rigidité d'un matériel cristallin est fonction de la largeur et de l'agencement de ses cristaux. Marwan

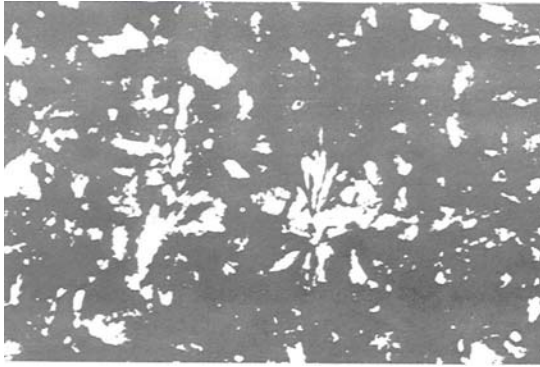


Figure 27.a : Ultrastructure du gypseum. Poudre mélangée à de l'eau à 30°C selon un ratio de 3/2. Les aires blanches représentent les cristaux de gypseum et les aires grises représentent les débris. L'imbrication des cristaux de gypseum est nette. (lumière polarisée, grossissement $\times 250$).

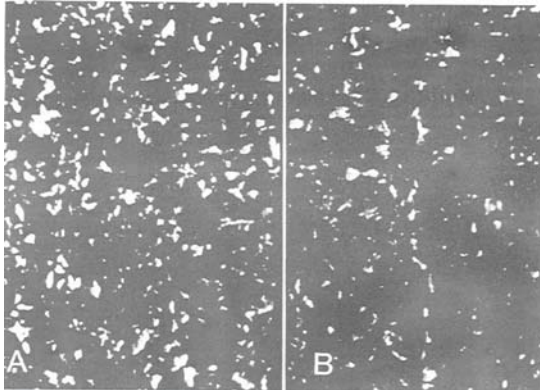


Figure 27.b : Gypseum et eau froide. A : conditions idéales, avec température de base 40°C. B : conditions idéales mais avec température de l'eau à 8°C. On note une réduction de la formation de cristaux de gypseum. (lumière polarisée, grossissement $\times 100$)

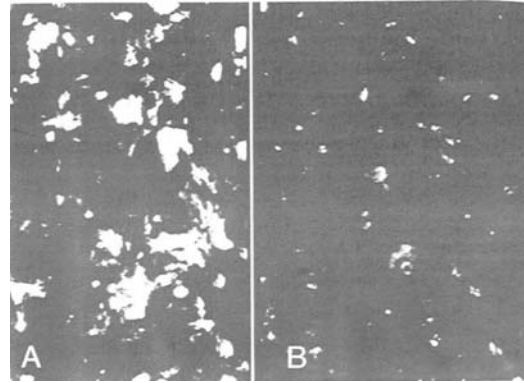


Figure 27.c : Gypseum et eau en excès. A : conditions idéales pour comparaison : parts égales d'eau et de plâtre. B : mêmes conditions que A mais avec ration eau/plâtre de 2/1. Les cristaux de gypseum sont moins nombreux en B. (lumière polarisée, grossissement $\times 250$)

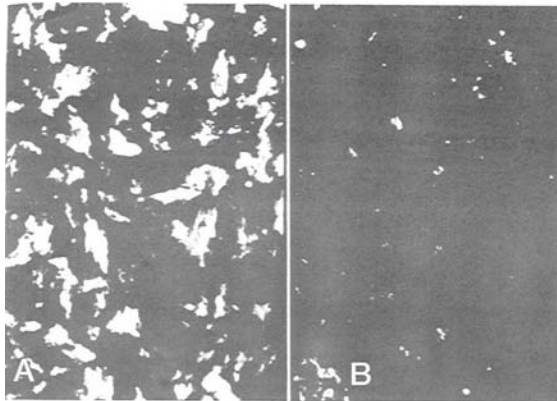


Figure 27.d : Gypseum et mise en charge. A : plâtre prenant sans mise en charge. B : même conditions qu'en A mais avec application d'une charge pendant la prise du plâtre. Il en résulte une perte de cristaux non négligeable. (lumière polarisée, grossissement $\times 250$)

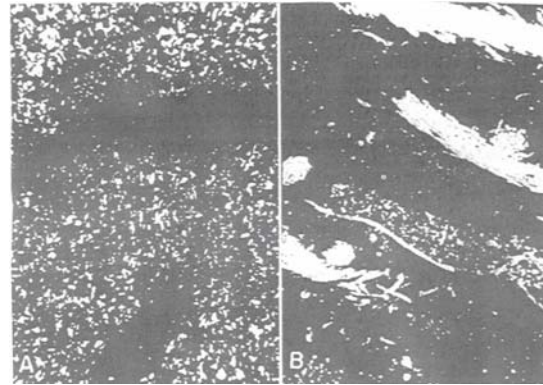


Figure 27.e : A : Gypseum et manque d'eau. Ratio plâtre/eau de 3/1. Des zones sans cristaux sont évidentes. B : Ultrastructure après prise : Les zones non cristallisées suivent un dessin linéaire. (lumière polarisée, grossissement $\times 250$)

(D'après MARWAN A. [51])

et Wehbe ⁽⁵¹⁾ ont montré que les meilleurs résultats de solidité sont obtenus lorsque des quantités égales de plâtre et d'eau sont utilisées, quand l'eau dans laquelle la bande plâtrée est immergée est à 40°C et qu'aucune contrainte n'est appliquée sur le bandage construit tant que le plâtre n'est pas complètement sec (figure 27.a). Ils ont montré d'autre part que la structure cristalline est altérée si l'eau dans laquelle est immergée la bande plâtrée est à une température inférieure à 20°C ou si l'eau est utilisée en excès (figures 27.b et 27.c). Si au contraire l'eau n'est pas utilisée en quantité suffisante, des trous cristallins apparaissent disposés selon un arrangement linéaire (figures 27.d et 27.e).

La température de l'eau d'immersion est donc un facteur critique. Si celle-ci est trop froide, le praticien disposera de plus de temps pour mouler son bandage au membre du patient mais en contre partie le plâtre sera plus mou. Au contraire, si l'eau d'immersion est trop chaude, des brûlures cutanées peuvent survenir ^(24,28, 51). El-Tannir ⁽²⁹⁾ a montré l'influence de la température de l'eau d'immersion sur le temps de prise. Une eau entre 1 et 30°C n'a pas d'effet sur le temps de prise. Une eau comprise entre 30 et 40°C provoque une augmentation du temps de prise. De même, une eau entre 40 et 50°C augmente le temps de prise mais à des niveaux inférieurs à ceux atteints précédemment. L'augmentation du temps de prise est maximale pour une eau à plus de 50°C.

Un plâtre doit pouvoir sécher avec un minimum de contraintes appliquées sur lui : il faudrait attendre 48 à 72 heures avant de pouvoir exercer sur le plâtre des charges équivalentes à celles engendrées par le poids de l'organisme. Les fabricants donnent souvent le temps au bout duquel une charge faible peut être appliquée sur le plâtre sans provoquer de dégradation irréversible de sa structure. Il faut donc distinguer le temps après lequel un plâtre peut supporter sans dommage une charge équivalente à celle exercée lors de la marche (48 heures pour le GypsonaND) et le temps nettement plus long requis pour le développement d'une solidité maximale ⁽³⁶⁾.

Le plâtre de Paris n'est pas résistant à l'eau, et l'application d'une charge sur celui-ci alors qu'il vient d'être mouillé entraîne inexorablement une altération de sa structure.

Enfin comme l'ont montré Wytch et al. ⁽⁷⁴⁾, le plâtre de Paris résiste mieux à des forces longitudinales que transverses. Le plâtre de Paris résiste mieux à des forces de compression qu'à des forces de traction ⁽⁶⁹⁾.

2. Température atteinte au cours de la réaction exothermique.

Suite à la réaction de cristallisation, la température cutanée du patient augmente. Le pic de température est atteint vingt à trente minutes après l'immersion du bandage dans l'eau au niveau de la voûte plantaire chez l'homme ⁽⁷⁰⁾. Celui-ci est fonction de la température de l'eau d'immersion. Plus la température de l'eau d'immersion est haute, plus le pic de température augmente et est maintenu longtemps. Une eau à 40°C peut amener la température au niveau de la peau du patient à 50°C pendant dix minutes, ce qui est suffisant pour provoquer une brûlure cutanée ^(47,51).

Trois facteurs sont source potentielle de brûlures cutanées : une eau à plus de 24°C, un plâtre de plus de huit couches, une mauvaise circulation de l'air. Si trop peu d'eau est utilisée, la chaleur produite au cours de la réaction de cristallisation n'est pas absorbée, ce qui favorise l'apparition de brûlures ^(35,47). La circulation de l'air autour du plâtre est un facteur fondamental. Si le bandage fraîchement posé est entouré d'une bande élastique, s'il est isolé par tout moyen externe des courants d'air (drap...), alors la température au niveau du plâtre augmente de façon nette ⁽³⁷⁾.

3. Longévité.

La résistance à l'abrasion d'un plâtre de Paris est faible. Dans des tests comparatifs, le Gypsona ND a le plus mauvais résultat ⁽⁴⁴⁾. Cela implique une fragilisation du bandage qui peut alors rompre, d'où la nécessité de refaire fréquemment les bandages en plâtre de Paris et ce de façon complète.

4. Production de poussières au cours du retrait du matériel.

Le plâtre de Paris a été classé par le Health & Safety Executive comme nuisance ^(73,75). En effet, lors du retrait des bandages plâtrés à la scie oscillante, de nombreuses particules capables d'atteindre les ramifications terminales de l'arbre respiratoire sont produites ⁽⁷⁵⁾.

5. Radiotransparence.

Le plâtre de Paris absorbe et diffracte les rayons X du fait de sa structure cristalline ce qui interfère avec l'interprétation des détails radiologiques. Ce caractère est accru en pratique

où les plâtres confectionnés sont plus épais que ceux servant au cours des expérimentations. Il est commun d'augmenter la pénétration des rayons X de 5 à 10 kV pour un bandage en plâtre de Paris par rapport à un bandage synthétique et de l'augmenter de 10 à 15 kV si le plâtre est mouillé ^(44,71).

6. Développement de germes.

Les microorganismes, notamment des *Pseudomonas* peuvent survivre et se multiplier au cours de la phase de séchage du pansement plâtré. Mais cela varie en fonction de la souche de germe. Par exemple, malgré un inoculum relativement important (105 organismes), les germes de la lignée M14 ne survivent pas alors que des germes de la lignée sauvage se multiplient rapidement dans les premiers jours. Le nombre de germes diminue au fur et à mesure que le plâtre sèche. La taille de l'inoculum initial affecte la survie des microorganismes dans le plâtre. Une augmentation du nombre de germes semble accroître la probabilité de contamination du rembourrage et de la surface cutanée. Le réservoir de l'infection peut être représenté par l'eau dans laquelle est plongé le rouleau de plâtre. Depuis que de l'eau stérile est utilisée à cet usage, aucun cas de contamination n'a été reporté ⁽⁴²⁾.

7. Réactions allergiques.

Des réactions allergiques ont été constatées suite à un contact avec le chlorure de benzalkonium. Le chlorure de benzalkonium est un ammonium quaternaire à propriétés antiseptiques ajouté au plâtre de Paris pour améliorer les caractéristiques de liaison du matériau ⁽⁴⁸⁾.

C. Conclusion.

Le plâtre de Paris présente comme gros avantages d'être facile à mouler et d'être économique. En revanche son application salissante, son absence de résistance à l'eau, sa longévité limitée, son poids, et l'impossibilité d'exercer une charge sur le membre plâtré avant 48 à 72 heures après le montage du dispositif sont autant d'inconvénients majeurs à son utilisation.

III. Les matériaux synthétiques.

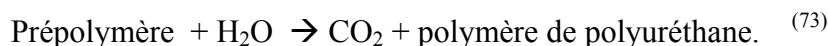
A. Classification.

Les matériaux synthétiques peuvent être classés :

◆ Selon la nature du bandage de base : Fibre de verre (VetcastND), coton (HexeliteND), polyester tressé (DynacastND), polypropylène (Dynacast proND).

◆ Selon le mode d'activation : rayons ultra-violets (LightcastND), immersion dans l'eau (BaycastND, HexeliteND, DynacastND). [Note 3]

La plupart des matériaux synthétiques actuellement sur le marché sont des bandages recouverts d'un prépolymère de résine de polyuréthane dont les groupements terminaux isocyanates réagissent avec les atomes d'hydrogène actifs présents dans l'eau ⁽⁷³⁾.



(avec groupements
terminaux isocyanates)

B. Propriétés.

1. Commodité d'application.

Les bandages imprégnés de résine de polyuréthane (BaycastND, VetcastND, DynacastND) peuvent être difficiles à appliquer et à mouler au membre. De plus la température de l'ensemble catalyseur-résine est un élément critique qui détermine la vitesse de prise du système. Une température trop élevée peut provoquer une réaction instantanée alors que si la température du système est trop basse, un retard net dans la prise de la résine peut être observé ⁽⁴³⁾.

Les bandages imprégnés de résine de polyester (LightcastND) durcis sous l'action de rayons ultra-violets d'une longueur d'onde de 3500-3900 Angströms sont plus faciles à utiliser. De plus, aucune réaction exothermique n'est observée ^(28,43).

Les matériaux thermoplastiques (HexeliteND, San-LiteND) sont d'application facile et rapide ⁽⁵⁴⁾. Le matériau est stable à une température de 93.5°C. La température de l'eau dans

Note 3 : BAYCAST ND, Bayer, Leverkusen
LIGHTCAST ND, Solar laboratories
HEXELITE ND, Hexcel, Lyon

VETCAST ND, 3M, Cergy
DYNACAST ND, BSN médical, Le Mans

laquelle le rouleau est immergé n'est pas critique mais ne doit pas être inférieure à 76.5°C. Le plâtrage prend en dix minutes et peut supporter un poids au bout de quinze à vingt minutes⁽²⁴⁾.

Dans tous les cas, l'emploi d'une scie à plâtre oscillante est nécessaire pour effectuer le retrait du pansement.

2. Résistance.

De façon générale, les matériaux synthétiques sont plus résistants que les plâtres traditionnels et atteignent leur solidité maximale beaucoup plus rapidement (en moins de 24 heures). Par exemple le LightcastND, deux heures après son application, présente une solidité qui est supérieure à celle du plâtre de Paris à vingt-quatre heures⁽²⁸⁾. Ceci est un avantage en pratique vétérinaire car il faut que le plâtre soit suffisamment solide pour supporter le poids de l'animal quand celui-ci se réveille⁽⁴⁴⁾.

Comme pour le plâtre de Paris, il faut distinguer le temps au bout duquel le matériau synthétique peut supporter une charge équivalente à celle exercée lors de la marche et le temps au bout duquel le matériau a atteint sa solidité maximale (trente minutes vs huit heures pour le BaycastND par exemple)⁽³⁶⁾.

Le module d'élasticité des matériaux synthétiques est plus faible que celui du plâtre de Paris. Il est résulte que ceux-ci sont plus flexibles ce qui leur confère une plus grande résistance à la rupture sous des charges d'impact. Ceci constitue un avantage par rapport au plâtre de Paris. Cependant, dans la plupart des cas, seul un degré de flexion faible est acceptable. Pour certains matériaux dont le module de flexion est particulièrement bas (HexeliteND), la charge maximale qu'ils peuvent supporter est donc plus liée à la déviation qu'ils peuvent subir qu'à leur solidité intrinsèque⁽³⁶⁾.

Mihalko et al. ont montré que les matériaux en plâtre (Specialist plaster bandageND de Johnson & Johnson) présentent une grande rigidité mais aussi un point de rupture bas sous l'effet d'une charge alors que les matériaux en fibre de verre sont moins raides et ont un point de rupture deux fois plus élevé⁽⁵³⁾. D'après ces résultats, il faudrait en pratique utiliser dans les premières semaines des matériaux en plâtre pour obtenir une rigidité maximale, puis dans les semaines suivantes des matériaux en fibre de verre qui sont plus résistants pour compenser la reprise progressive de l'activité du patient. Wytch, Mitchell Wardlaw et al.⁽⁷⁴⁾ ont montré que les bandages à base de fibre de verre sont plus résistants à des charges appliquées de façon transversale plutôt que longitudinale. Wytch, Ross et Wardlaw⁽⁷⁶⁾ ont montré d'autre

part que les bandages synthétiques d'autre nature (polyester [Dynacast plusND], polypropylène [Dynacast proND]) sont aussi résistants contre des forces appliquées dans l'une ou l'autre des directions.

Les matériaux en polypropylène (Dynacast proND) sont plus indulgents et plus flexibles que ceux en fibre de verre tout en ayant une solidité comparable⁽³⁰⁾.

La solidité des bandages en fibre de verre-résine est fonction de plusieurs facteurs :

- ◆ la nature de la résine (les constituants de la résine en polyuréthane diffèrent d'un fabricant à l'autre. Ceci influe sur la résistance intrinsèque de la résine).

- ◆ la charge en résine du bandage de base.

- ◆ l'épaisseur du bandage en fibre de verre.

Si la charge en résine du bandage de fibre de verre est insuffisante soit par défaut de répartition suite au stockage des bandes, soit par défaut de fabrication (ratio épaisseur du bandage en fibre de verre/charge en résine trop élevé), alors la cohésion entre couches de matériau durcissable sera diminuée soit par endroits soit dans son ensemble à cause d'un défaut de liaisons entre couches. Le pansement contentif aura donc des propriétés mécaniques plus faibles. Retourner les bandes de plâtrage régulièrement lors du stockage peut être un moyen efficace pour limiter les défauts de cohésion entre couches de matériau durcissable⁽⁶⁾.

3. Effets de l'eau.

Les matériaux synthétiques perdent de leur solidité lorsqu'ils sont mouillés (jusqu'à 40% de leur solidité initiale). Ils restent cependant nettement plus solides que les bandages à base de plâtre de Paris. La perte de solidité des matériaux synthétiques lors de leur passage d'un état sec à un état mouillé n'est donc pas un problème en terme clinique puisqu'ils présentent toujours une solidité suffisante pour assurer une immobilisation satisfaisante^(6,54).

4. Longévité.

Les matériaux synthétiques sont plus résistants à l'abrasion que les plâtres traditionnels, parmi eux les bandages en coton ou en polyester sont les plus résistants⁽²⁵⁾ (figure 28). De plus, certains présentent le net avantage de pouvoir être réparés sans avoir à reconstruire entièrement le bandage, c'est le cas de l'HexeliteND qui peut être remodelé après avoir été réchauffé^(44,70,74).

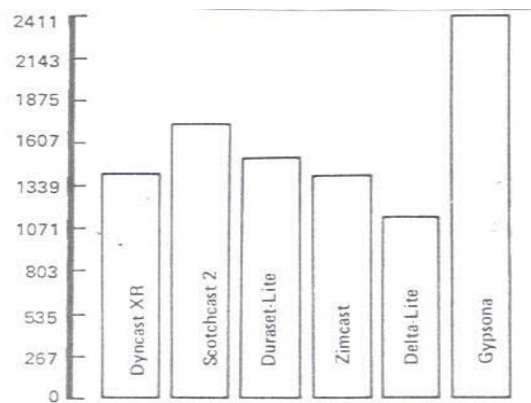


Figure 28 : Volume de matériau perdu lorsqu'un patient marche en se servant du membre bandé. (D'après WYTCH R. [74])

5. Température atteinte au cours de la réaction exothermique.

Pole, Callahan et al. ont montré que les matériaux synthétiques présentent peu de risques de provoquer une brûlure⁽⁵⁹⁾. Ceci s'explique en partie par le fait que les matériaux synthétiques sont bien perméables à la vapeur grâce aux pores formés par le maillage de leur bandage. Cependant, si le nombre de couches augmente, la perméabilité du bandage réduit.

6. Production de poussières au cours du retrait du matériel.

De nombreux techniciens présents dans les salles de retrait des plâtres en médecine humaine se plaignent d'irritations au niveau du cou, de la face et du poignet. Des études ont donc été menées par Wytch et al.⁽⁷⁵⁾ pour déterminer la nature des déchets produits lors du découpage des matériaux synthétiques et leur danger pour la santé du personnel soignant. Ils ont montré que les particules obtenues à partir de bandages enduits de résine de polyuréthane sont plus grosses que les poussières produites lors du découpage de plâtre de Paris et qu'elles sont constituées à la fois de bandage et de résine. Les particules sont donc plus lourdes et moins mobiles que les poussières de plâtre de Paris. De plus, les bandages synthétiques produisent un niveau de poussières nettement plus faible que les bandages traditionnels. Celui-ci reste cependant significatif. 90% des poussières provenant de bandages en fibre de verre et 98% de celles provenant de bandage en coton (DeltacastND) ou en polyester (Dynacast plusND) sont respirables si on considère la limite de taille des poussières inhalables à sept micromètres. Tous les filaments trouvés ont eux un diamètre supérieur à la limite d'inhalation des filaments fixée à trois micromètres. (figures 29.a et .b).

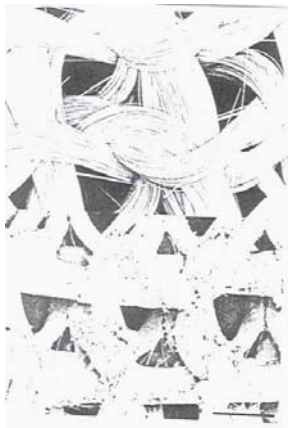


Figure 29.a : En haut : Micrographie électronique montrant le maillage d'un bandage de fibre de verre. En bas : Le même bandage imprégné de résine de polyuréthane (D'après WYTCH R. [75])

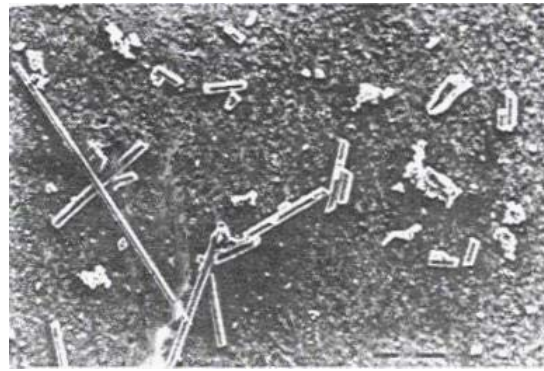


Figure 29.b: Micrographie montrant un échantillon typique de poussières collectées lors du sciage d'un bandage en fibre de verre imprégné de résine de polyuréthane. Un mélange de filaments et de particules de résine ou de fibre de verre est observé. (D'après WYTCH R. [75])

Les matériaux synthétiques produisent donc moins de poussières que les matériaux traditionnels lors de leur découpage et parmi eux, ceux à base de coton ou de polyester sont les moins poussiéreux. Les filaments produits ne peuvent pas atteindre les ramifications terminales de l'arbre respiratoire. Par contre, ils sont suspectés de provoquer des irritations cutanées ^(75,76).

7. Radiotransparence.

Les matériaux synthétiques absorbent moins et diffractent moins les rayons X que les plâtres traditionnels. Les matériaux en fibre de verre possèdent le coefficient d'atténuation le plus important certainement à cause des impuretés de silicate présentes dans le verre tandis que les bandages à base de coton, de polypropylène et de polyester ont les coefficients les plus faibles. Les bandages en polyester, en polypropylène et en coton ont les meilleurs résultats en terme de radiotransparence. Ils provoquent le moins d'interférences avec l'interprétation radiographique. Le DynacastND est une exception. Il est moins radiotransparent et provoque plus d'interférences à l'interprétation radiographique que les autres bandages ayant des coefficients d'atténuation similaires. Ceci est dû à son maillage large qui provoque une diffraction importante des rayons par différence d'absorption des rayons X entre les zones aériques et les zones avec matière.

La résine en polyuréthane assure une bonne radiotransparence grâce à sa structure amorphe et sa faible densité.

Dans les études comparatives menées, il est toujours montré que les matériaux synthétiques sont plus radiotransparents et interfèrent moins avec les interprétations radiologiques que les plâtres traditionnels. Ceci est accru en clinique où les plâtres traditionnels pour avoir une solidité comparable aux plâtres synthétiques doivent être plus épais. ^(71,73,76)

8. Inflammation des bandages synthétiques et index de protection thermique.

Toutes les résines brûlent facilement. Leur capacité d'inflammation peut être modifiée lors de la construction du bandage par la distribution inconstante de la résine sur le bandage, le nombre de couches de bandage, l'angle d'incidence de la flamme par rapport au bandage ⁽⁷³⁾. D'après Ritchie et al. ⁽⁶¹⁾ la plupart des matériaux avec de la résine de polyuréthane pourraient être enflammés dans un intervalle de quatre secondes (ScotchflexND) à cinquante secondes (DeltaliteND) lorsqu'ils sont présentés sous forme de plaque. Wytch et al. ⁽⁷⁶⁾ ont montré qu'une plaque de bandage imprégné de résine de polyuréthane est enflammée en 6 secondes pour un bandage de polyester et en 45 secondes pour un bandage en polypropylène. Mais ces résultats ne représentent pas la réalité. Un plâtre moulé à un membre peut prendre feu après une exposition de trente secondes à la flamme d'un brûleur. Cependant, lorsqu'il prend feu, le plâtre ne produit qu'une flamme ténue ou se consume seulement.

Une mesure plus utile est représentée par l'Index de protection thermique. Cet index mesure la capacité de protection d'un matériau contre la chaleur. Il représente le temps que met la température au sein du matériau pour augmenter de 25°C. Cet index doit être assez bas pour alerter le patient d'une augmentation de température avant que le matériau ne prenne feu. Il faut donc un index inférieur à 30. Pour tous les matériaux testés par Ritchie et al., l'index a été trouvé inférieur à 29.

Tous les bandages en polypropylène sont plus difficiles à enflammer que les bandages en fibre de verre ⁽⁷⁶⁾. Par contre, ils ne s'éteignent pas tout seuls et continuent à brûler une fois qu'ils sont enflammés.

C. Conclusion .

Les résines sont semblables pour tous les matériaux synthétiques. Par contre le bandage sur lequel elles reposent diffère. Les matériaux en fibre de verre semblent meilleurs en terme de solidité, de stratification et de flexibilité que ceux montés sur coton. Le polypropylène est plus flexible que la fibre de verre tout en ayant une solidité comparable. La fibre de verre et la résine paraissent bien s'associer et la nature du maillage semble aider la liaison des molécules de chaque côté de la couche. Les matériaux synthétiques présentent une longévité et une radiotransparence supérieures aux plâtres traditionnels, de plus ils sont plus légers. La cohésion des couches nécessite une construction sélective en prenant compte du temps nécessaire à la formation des liaisons entre couches superposées. Ainsi, le pansement contentif peut être construit avec une solidité variable en fonction des contraintes attendues sur celui-ci. Les matériaux synthétiques sont plus solides mais certains se révèlent être également plus difficiles à mouler par rapport au plâtre de Paris. Il se peut que parfois la solidité doive être sacrifiée au moins partiellement pour permettre une meilleure conformation ⁽⁶³⁾.

Les matériaux synthétiques sont à l'achat deux à cinq fois plus chers que les plâtres traditionnels ⁽⁹⁾. Cependant, ils sont plus résistants et ont moins tendance à se rompre que les plâtres traditionnels qu'il faut alors renouveler. Il en résulte en fin de traitement une différence de coût beaucoup moins nette entre un traitement pratiqué avec des plâtres traditionnels et un traitement pratiqué avec des matériaux synthétiques ⁽⁷²⁾.

IV. Plâtres hybrides.

Les plâtres hybrides sont constitués de plâtre de Paris recouvert de matériau synthétique. Charles et Yen ⁽¹⁶⁾ ont étudié un plâtre hybride constitué de deux couches de plâtre de Paris (Gypsona ND) recouvert d'une couche de matériau en fibre de verre (Dynacast XR ND). Lors de l'application d'une force de courbure, la fibre de verre réagit selon un mode plastique tandis que le plâtre de Paris se brise. Les plâtres hybrides présentent une combinaison des deux comportements à savoir une déformation plastique suivie d'une rupture des couches de plâtre de Paris ⁽¹⁶⁾. Ils ont montré que le plâtre hybride présente une résistance qui est intermédiaire entre celle du plâtre de Paris et celle du matériau en fibre de verre. La

présence d'une seule couche de fibre de verre suffit à augmenter la résistance globale du pansement hybride. Le module d'élasticité de la fibre de verre est supérieur à celui du plâtre de Paris. Dans un plâtre hybride, la couche superficielle de fibre de verre supporte mieux les déformations que ne le ferait une couche superficielle de plâtre de Paris. La couche de fibre de verre protège donc le plâtre de Paris contre les déformations, ce qui contribue à augmenter la solidité du dispositif hybride par rapport à un pansement constitué de plâtre de Paris exclusivement.

Le plâtre hybride pèse 14% moins lourd qu'un pansement en plâtre de Paris et 42% plus lourd qu'un pansement contentif en fibre de verre. La quantité de matériau en fibre de verre utilisée pour la confection d'un pansement hybride est deux fois moins importante que celle nécessaire pour élaborer un pansement tout synthétique ^(16,58). Ceci permet de réduire le coût du pansement hybride par rapport à celui des pansements en matériau synthétique.

Les plâtres hybrides sont donc plus intéressants en terme de prix par rapport aux pansements contentifs tout synthétiques. Ils sont d'autre part plus intéressants en terme de poids par rapport aux pansements en plâtre de Paris alors qu'ils ne présentent par de réel désavantage en terme de coût par rapport à ce même type de pansement ^(16,58). Les plâtres hybrides présentent de plus la facilité de moulage du plâtre de Paris et la solidité, la résistance et la rapidité de temps de prise des matériaux synthétiques ^(16,31,58).

V. Les attelles et leur utilisation.

A. Utilisation des attelles.

Il existe deux types d'attelles : les attelles préformées (en aluminium, en PVC, en plastique doublé de mousse) et les attelles conformables (thermoformables, thermoplastiques, autopolymérisables) constituées avec des matériaux semblables à ceux utilisés pour la confection des pansements contentifs plâtrés.

Les attelles préformées sont indiquées pour les fractures distales du radius et de l'ulna, les fractures-dislocations du carpe et du tarse et les fractures des os du métacarpe, du métatarses et des phalanges. La stabilisation des fractures proximales du radius et de l'ulna n'est pas satisfaisante avec de tels dispositifs car l'articulation proximale ne peut pas être immobilisée ⁽⁷⁾. Les attelles préformées sont rigides et rectilignes. Elles ne permettent donc

pas d'immobiliser l'extrémité du membre antérieur (portion distale à l'articulation antébrachio-carpienne) dans une position fonctionnelle. Leur utilisation n'est alors conseillée que pour des immobilisations temporaires ou d'urgence de ce segment du membre ⁽²⁵⁾.

Les attelles conformables peuvent être utilisées dans toutes les situations pour lesquelles les attelles préformées sont utilisées. Elles tendent à reléguer les attelles préformées à un second plan. Les attelles préformées ne sont pas idéales pour une immobilisation à long terme. L'incidence non négligeable de complications des tissus mous (escarres) et un faible pouvoir d'immobilisation en sont la cause. Le seul moyen de stabiliser un membre curviligne dans une attelle préformée droite est d'utiliser une grande quantité de rembourrage. Mais cela affecte les qualités de l'immobilisation. Une attelle conformable bien adaptée peut en revanche être laissée en place six semaines sans apparition de complications des tissus mous ⁽¹¹⁾.

Les attelles conformables peuvent également servir pour des immobilisations incluant l'articulation du coude ou du grasset. Elles sont aussi utiles dans le cas de fractures sévères du radius et de l'ulna ou du tibia et de la fibula. Elles sont utiles pour la neutralisation des forces de flexion après fixation interne ou pour stabiliser une articulation. Selon Bartels ⁽⁷⁾ le matériel durcissable peut être étendu jusqu'à l'épaule ou la hanche pour constituer une écharpe modifiée et permettre l'immobilisation partielle de ces articulations.

B. Description des attelles disponibles sur le marché.

1. Les attelles conventionnelles.

a. Attelles en bois

→ abaisse-langue :

Les abaisse-langues, légers et peu épais, peuvent être coupés à la longueur et la largeur désirée en fonction de la taille du chien. Ils sont utilisés pour des fractures ou luxations des doigts, des métacarpiens ou des métatarsiens ⁽²³⁾. Ils sont faciles d'utilisation. Leur emploi est cependant limité à des indications strictes. Les abaisse-langues constituent d'excellentes attelles pour les doigts, les métacarpes et les métatarses des chiens de petit format et des chats ^(17,55). Ils peuvent également être utilisés pour les rayons osseux de l'avant-bras et de la jambe du chat ⁽⁵⁵⁾.

→ Les autres attelles en bois (yuca, contreplaqué) n'ont qu'un intérêt historique et sont aujourd'hui abandonnées.

b. Attelles en PVC (tuyau).

Ce type d'attelle droite est utilisé le plus souvent pour l'immobilisation du radius, de l'ulna ou du carpe. L'attelle est appliquée à la face palmaire du membre. La patte est bandée avec au moins deux couches de matériel de rembourrage orthopédique (SOFFBANND, BSN médical) puis par une couche d'ELASTOPLASTND (BSN médical) qui évitera le glissement de l'attelle⁽²⁷⁾. Si l'attelle est appliquée au membre postérieur, le jarret devra être fléchi pour éviter que le chien ne reporte son poids sur le membre atteint. L'immobilisation en flexion du jarret est assurée par la mise en place d'une attelle conformable moulée à la face plantaire de l'articulation de façon à former une gouttière ou un demi-plâtre. Le matériel est ensuite maintenu en place par une bande d'ELASTOPLASTND⁽²⁷⁾.

c. Attelles en aluminium.

Les attelles en aluminium sont très malléables. Elles se présentent sous forme de lames de largeur variable. Leur face en contact avec le membre est protégée par une mousse souple. L'attelle en place doit épouser la forme du membre et s'arrondir à son extrémité distale.

Ces attelles ne conviennent pas au traitement des fractures proximales exception faite des fractures du radius avec conservation de l'ulna, car elles ne permettent pas d'immobiliser les deux articulations adjacentes.

d. Attelles en gouttières doublées de mousse.

Ce sont des attelles en PVC doublées de mousse. Leur usage est facilité par leur prédécoupage à une extrémité et leur forme arrondie en cupule à l'autre extrémité. Elles sont donc sécables et peuvent être ajustées à la longueur du segment contenu.

2. Les attelles conformables.

a. Attelles thermoformables.

Les attelles thermoformables se présentent sous forme de plaques plastiques perforées ou non. Le matériau de base les constituant est l'isoprène. Elles ont la particularité d'être des matériaux « mémoire ». Modelés une première fois après chauffage et refroidissement, elles peuvent être de nouveau chauffées pour retrouver leur forme initiale en plaque.

(exemple : San-splintND, OrthoboardND).

→ Avantages :

- ◆ Bonne aptitude au modelage.
- ◆ Rigidité excellente sans nécessité d'un renforcement supplémentaire.
- ◆ Possibilité de réadapter l'attelle au membre en cas de fonte musculaire ou après résorption d'un éventuel œdème par simple chauffage local au sèche cheveux.

→ Inconvénients :

- ◆ Coût élevé.
- ◆ Nécessité d'un chauffage à température élevée (70-80°C) et risque de brûlure.

b. Attelles thermoplastiques.

Les attelles thermoplastiques sont modelables quand elles sont chauffées. Elles se présentent sous formes de grilles. Utilisées en une ou plusieurs couches, les grilles peuvent être découpées à la longueur désirée. Elles sont trempées dans de l'eau chaude, modelées sur la région concernée puis refroidies avant d'être mises en place. Une fois échauffées, les grilles collent entre elles et sont déformées définitivement.

(exemple : HexeliteND, San-LiteND).

c. Attelles autopolymérisables. (Dynacast PreludeND).

Les attelles autopolymérisables sont constituées de plusieurs bandes de résine gainées d'un matériau amortissant et protecteur.

Exemple : l'attelle Dynacast PreludeND.

→ Fiche technique :

L'attelle Dynacast PreludeND est constituée de 5 à 7 couches de fibre de verre enduites de résine de polyuréthane et entièrement recouvertes d'une garniture de polypropylène (photo 1).

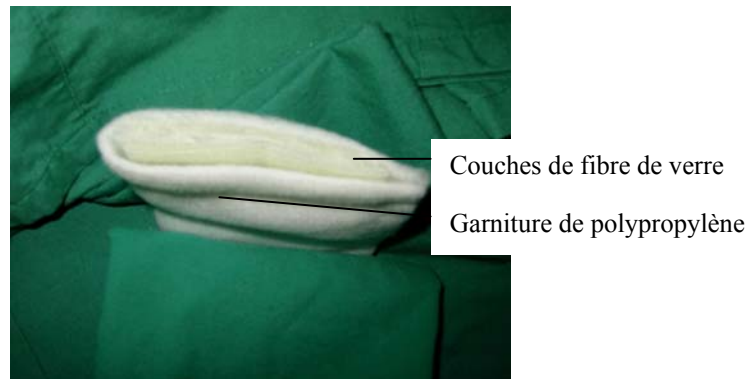


Photo 1 : Attelle Dynacast PreludeND.

→ Présentation :

L'attelle se présente sous forme de rouleaux dans une boîte distributrice (photo 2). Chaque boîte distributrice contient deux rouleaux. L'attelle est protégée par un emballage en aluminium fermé à l'aide d'un clip (photos 3). Les rouleaux, de 4.6 mètres de long, existent dans six largeurs différentes : 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 et 15 centimètres.



Photo 2 : Boîte distributrice.



Photo 3 : Attelle tirée hors de son emballage, clip ouvert.

→ Caractéristiques :

◆ Commodité d'application : le revêtement par une garniture en polypropylène de part et d'autre de la bande permet une application propre sans nécessité de port de gants.

◆Résistance : la mise en charge peut être effectuée vingt minutes après activation de la bande.

◆Nettoyage possible avec de l'eau savonneuse en cas de port prolongé ou de souillure.

◆Légèreté.

→ Confection d'un pansement renforcé :

◆Mise en place de la couche de rembourrage (photo 4).



Photo 4 : Rembourrage mis en place sur le membre.

◆Le membre est protégé par un sac plastique ou par un gant d'exploration rectale pour grands animaux.

◆Choisir une largeur d'attelle adaptée et découper la longueur désirée.

◆Refermer immédiatement l'emballage en aluminium. Pour cela, repousser le rouleau dans l'emballage et lisser pour évacuer l'air. Mettre en place le clip sur le sachet sans pli.

◆Retirer l'attelle de son emballage et l'humidifier avec de l'eau tiède à 20-25°C. Une eau trop chaude peut accélérer la réaction, réduire le temps de séchage et augmenter l'exothermie.

◆Rouler l'attelle dans une serviette pour essorer l'excès d'eau.

◆Tirer sur la garniture aux extrémités de l'attelle pour recouvrir les bords de la fibre de verre.

◆Placer l'attelle sur le patient (photo 5).



Photo 5 : L'attelle activée est positionnée sur le membre

◆ Modeler l'attelle sur le membre en position fonctionnelle et la fixer avec un bandage élastique.

◆ Laisser prendre pendant 2 à 4 minutes.

◆ Retirer l'attelle et la faire sécher à l'air libre ou à l'aide d'une soufflerie.

◆ Replacer l'attelle sur le membre et la fixer avec une bande cohésive de revêtement (photo 6).



Photo 6 : Fixation de l'attelle avec une bande cohésive de revêtement.

Partie III.

Cas cliniques.

Cas n°1 : Chien mâle Croisé Briard de six ans.

Motif de la consultation : Le chien est présenté pour une instabilité du jarret droit apparue après un accident de la voie publique.

Examen orthopédique : Le chien présente une boiterie de soutien du membre pelvien droit. Des plaies sont observées sur les faces dorsales des doigts 3-4-5 en regard de l'articulation métatarso-phalagienne. Une instabilité importante de l'articulation tarso-métatarsienne est mise en évidence dorsalement et médialement.

Examen radiographique : Des clichés radiographiques du tarse de profil, de face et en position forcée sont effectués. Une fracture de l'os tarsal 4 et des images de remaniements de l'articulation tarso-tarsienne sont observées (photo 7.a).

Diagnostic : Ce chien est atteint d'une luxation de l'articulation tarso-métatarsienne (seuls les moyens d'union en position plantaire sont préservés) associée à une fracture de l'os tarsal 4.

Traitement : La plaie phalangienne est parée, un drain est mis en place. La cicatrisation par seconde intention de la plaie est favorisée par l'application de pansement UrgotulleND. Un pansement contentif renforcé par une attelle en face palmaire est confectionné pour immobiliser l'articulation en attendant que la plaie soit cicatrisée et que l'arthrodèse tarso-métatarsienne puisse être entreprise.

Evolution : Un mois après l'accident, la plaie est en voie d'épidermisation. L'instabilité tarso-métatarsienne semble s'être plus ou moins stabilisée. L'arthrodèse partielle tarso-métatarsienne est réalisée (photo 7.b). Un pansement de Robert-Jones est mis en place en post-opératoire immédiat. Il est remplacé au bout de deux jours par un pansement contentif renforcé par une attelle en face plantaire.

Quinze jours après l'opération, la cicatrisation est bonne. Le pansement contentif est laissé en place pour une quinzaine de jours supplémentaires. Mais le chien revient deux semaines plus tard avec une boiterie d'appui et de soutien du membre pelvien droit. L'extension et la flexion du jarret sont douloureuses. Les clichés radiographiques montrent une fusion tarso-métatarsienne du doigt 4 en cours, une ostéolyse péri-implantaire. Le pansement contentif est maintenu quinze jours de plus.

Photos 7 : Cas n°1.



Photo 7.a : Aspect radiographique du tarse droit de face, en oblique et de profil.

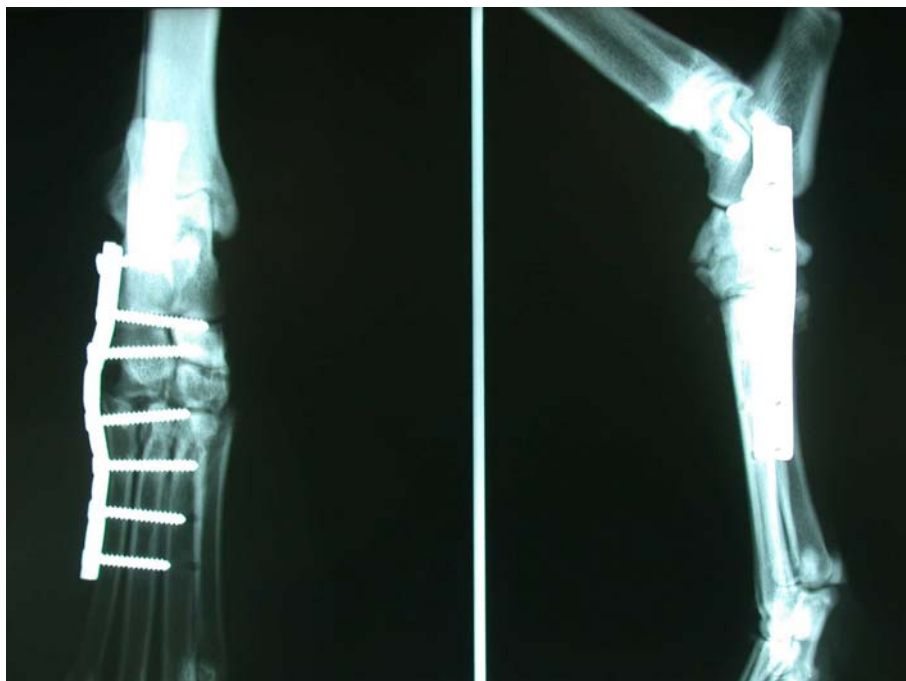


Photo 7.b : Contrôle radiographique en post-opératoire immédiat. Tarse droit vu de face et de profil.

Un mois et demi après l'arthrodèse, le pansement contentif est retiré. Le chien présente alors une boiterie de soutien du membre pelvien droit. Le propriétaire fait remarquer que l'animal s'appuyait beaucoup sur son pansement. L'examen radiographique montre une fusion en cours avec début d'ostéolyse sur les deux vis réalisant l'ancrage proximal. L'ostéolyse est certainement liée à une trop grande activité de l'animal. Le pansement est maintenu encore quinze jours.

Lors du contrôle à deux mois post-opératoires, la fusion est en très bonne voie. L'amplitude articulaire du jarret est limitée en flexion et est normale en extension. Le pansement contentif est retiré. Il est prescrit au propriétaire de limiter l'activité de son animal et de ne le sortir qu'en laisse pendant une quinzaine de jours. Quelques minutes après le retrait du pansement, le chien est en mesure de se déplacer au pas et sans boiter dans la salle de consultation.

Photos 8 : Cas n°2.



Photo 8.a : Aspect radiographique du carpe gauche de face.



Photo 8.b : Aspect radiographique du carpe gauche de profil.



Photo 8.c : Attelle en semi-flexion positionnée sur le membre thoracique gauche.



Photo 8 d : Chien avec son pansement contentif.

Cas n°2 : Chien mâle Rottweiller de trois mois et demi.

Motif de la consultation : Le chiot est présenté pour une boiterie du membre pelvien droit et une boiterie du membre thoracique gauche survenues après une chute dans des escaliers.

Examen orthopédique : La flexion du carpe gauche et l'extension du grasset droit sont douloureuses.

Examen radiographique : Une radiographie du carpe gauche est effectuée (incidences : face, profil). Une fracture de l'épiphyse proximale du métacarpe 5 est observée (photos 8.a et 8.b). Le cliché en flexion montre une tendance à la réduction spontanée de la fracture. La radiographie (face, profil) du grasset droit ne permet pas de mettre en évidence de lésion.

Diagnostic : Une fracture par arrachement de l'épiphyse proximale du métacarpe 5 du membre thoracique gauche est diagnostiquée.

Traitement : Un pansement contentif renforcé par une attelle en semi-flexion est mis en place pendant trois semaines (photos 8.c et 8.d).

Evolution : La boiterie a disparu lors du contrôle à un mois.

Photos 9 : Cas n°3.



Photo 9.a : Vue du carpe droit lors de la présentation de l'animal à la consultation.



Photo 9.b : Vue du carpe gauche lors de la présentation de l'animal à la consultation.



Photo 9.c : Présentation de l'attelle en position palmaire au membre thoracique droit.



Photo 9.d : Chien avec ses deux pansements contentifs.

Cas n° 3 : Chien femelle type Pitt bull de deux ans et demi.

Motif de la consultation : La chienne est amenée suite à un accident de la voie publique.

Examen orthopédique : La chienne est polytraumatisée. Elle présente des plaies par abrasion avec défaut osseux de l'articulation antébrachio-carpienne aux membres thoraciques droit et gauche. La plaie par abrasion découvre toute la face dorsale du carpe. Les plaies exposent tout le massif osseux et articulaire des deux carpes droit et gauche (photos 9.a et 9.b). Les apophyses styloïdes radiales sont détruites à gauche. L'épiphyse distale du radius est totalement érodée à sa face dorsale sur le même membre.

Examen radiographique : Une instabilité radio-carpo-carpienne crânio-caudale et médiale est mise en évidence sur le carpe droit. Une instabilité radio-carpo-carpienne médiale est présente sur le membre gauche.

Traitement :

→ Membre thoracique droit : Une fermeture complète des plaies par suture est réalisée.

→ Membre thoracique gauche: En raison de la perte cutanée importante, une fermeture très partielle de la plaie est effectuée. Une cicatrisation par seconde intention à l'aide de pansements quotidiens stériles à base d'hydrocolloïde est mise en œuvre jusqu'à obtention d'une détersion complète de la plaie.

Un pansement rigide avec une attelle en position palmaire (photo 9.c) est mis en place aux deux membres thoraciques (photo 9.d).

Evolution : Le membre thoracique gauche est inspecté tous les trois jours pendant un mois. Le pansement contentif est défait pour pouvoir observer l'évolution de la cicatrisation de la plaie et renouveler le pansement à base d'hydrocolloïdes. La fermeture des plaies du membre thoracique gauche est obtenue au vingtième jour. Une ligamentoplastie est effectuée sur le même membre au trentième jour.

Conclusion : Le pansement contentif renforcé par une attelle n'est pas utilisé ici dans un but de traitement orthopédique. Le dispositif de contention est mis en œuvre à titre temporaire le temps que les tissu mous se réparent et qu'une intervention chirurgicale puisse être réalisée.

Photos 10 : Cas n°4.



Photo 10.a : Aspect radiographique du carpe droit de face.



Photo 10.b : Aspect radiographique du carpe droit de profil.



Photo 10.c : Aspect radiographique du carpe droit en hyperextension.



Photo 10.d : Radiographies postopératoires (membre droit à gauche et membre gauche à droite)



Photo 10.e : Contrôle radiographique à 3 mois pour le membre thoracique droit.

Cas n° 4 : Chien mâle Sharpei de cinq ans et demi.

Motif de la consultation : Le chien est présenté pour une plantigradie des deux membres thoraciques apparue suite à une chute d'un étage.

Examen orthopédique : Le chien est capable de se déplacer et la boiterie est plus marquée à gauche. Les extrémités distales des membres thoraciques sont déjetées latéralement. Les carpes sont tuméfiées et chaudes. La mobilisation révèle une instabilité médiale et dorsale à l'étage radio-carpien ou carpo-métacarpien sur les deux membres thoraciques.

Examen radiographique : Des radiographies sous anesthésie générale sont réalisées. Les deux carpes sont radiographiées de face, de profil et en position forcée (photos 10.a, 10.b et 10.c). Le bilan lésionnel fait état d'une instabilité carpo-métacarpienne bilatérale.

Diagnostic : Instabilité carpo-métacarpienne bilatérale.

Traitement : Une arthrodèse partielle carpo-métacarpienne est préconisée sur les deux membres thoraciques (photo 10.d). Le membre gauche qui est le plus marqué cliniquement est opéré en premier. Le membre droit sera opéré après cicatrisation du membre gauche. Un pansement de Robert-Jones est mis en place au membre gauche en postopératoire immédiat. Un pansement contentif renforcé par des attelles en position cranio-caudale est mis en place trois jours plus tard pour une période de huit semaines sur les deux membres thoraciques.

Deux mois après l'intervention, l'évolution au membre thoracique gauche est favorable. L'appui est correct, le membre est porté en position normale, les espaces articulaires sont presque totalement fusionnés. L'arthrodèse partielle carpo-métacarpienne du carpe droit est alors réalisée. Les pansements contentifs sont maintenus en place huit semaines supplémentaires.

Deux mois après la deuxième intervention, le carpe gauche est bien cicatrisé et le carpe droit est en bonne évolution de fusion. Les pansements contentifs sont retirés. Le chien est mis au repos strict pendant un mois.

Le contrôle postopératoire à cinq mois pour l'arthrodèse du carpe gauche et à trois mois pour le carpe droit montre une cicatrisation de l'arthrodèse presque totale à gauche et l'absence d'instabilité. Un bâillement médial à l'étage radio-carpien est observé du côté droit, la cicatrisation de l'arthrodèse est en cours (photo 10.e).

Remarque : Une arthrodèse des extrémités suppose l'emploi de pansements contentifs rigides. Le Dynacast PreludeND peut ici se substituer à une authentique résine bivalve.

Photos 11 : Cas n°5.



Photo 11.a : Aspect radiographique du carpe droit de profil et de face.



Photo 11.b : Contrôle radiographique en postopératoire immédiat. Aspect radiographique du carpe droit de face et de profil.



Photo 11.c : Contrôle radiographique du carpe droit de face à 60 jours postopératoires.



Photo 11.d : Contrôle radiographique du carpe droit de profil à 60 jours postopératoires.

Cas n° 5 : Chien femelle Golden Retriever de cinq ans.

Motif de la consultation : La chienne vient pour une boiterie de soutien du membre thoracique droit. Une ligamentoplastie du ligament collatéral médial avait été réalisée sur ce même membre quelques temps auparavant.

Examen orthopédique : La main droite est déviée en valgus. Une laxité articulaire importante du carpe est mise en évidence. La douleur est nette à la manipulation du carpe. Une fistule au niveau des articulations radio-métacarpienne et carpo-métacarpienne avec suppuration en face médiale du carpe droit est présente.

Examen radiologique : Des clichés radiographiques du carpe de face et de profil sont réalisés. Les trous de ligamentoplastie sont visibles sur le métacarpien mais peu visibles sur le radius (photo 11.a).

Diagnostic : Une rupture de la ligamentoplastie suite vraisemblablement à un phénomène septique (ostéomyélite) est diagnostiquée.

Traitement : La prothèse ligamentaire est retirée. Un prélèvement local est réalisé pour effectuer une bactériologie. Des drains de Penrose sont mis en place pendant 24 heures. Le chien est mis sous céfalexine (La sensibilité des germes a été mise en évidence par l'antibiogramme réalisé sur le prélèvement.). Un pansement contentif avec une attelle en position palmaire est mis en place sur le membre atteint jusqu'à la réalisation de l'arthrodèse du carpe. Un intervalle de temps significatif a séparé cette intervention de l'arthrodèse par souci de s'affranchir du risque de récurrence du sepsis.

L'arthrodèse du carpe est effectuée sept semaines et demi après la première intervention, une fois la fistule complètement cicatrisée (photo 11.b). Un pansement de Robert-Jones est mis en place en postopératoire immédiat. Il est remplacé quatre jours après par un pansement contentif avec une attelle en position palmaire. Le pansement contentif est retiré au bout de deux mois. Aucune douleur et aucune mobilité anormale ne sont constatées au niveau de l'arthrodèse. Une reprise progressive de l'activité est prescrite pour l'animal (deux ou trois semaines en laisse courte pour favoriser la reprise d'appui sur le membre antérieur droit.). L'évolution radiologique de l'arthrodèse est normale à soixante jours postopératoires (photos 11.c et 11.d).

Photos 12 : Cas n°6.



Photo 12.a : Aspect radiographique du carpe gauche de face.



Photo 12.b : Aspect radiographique du carpe gauche de profil.



Photo 12.c : Aspect radiographique du carpe gauche en flexion.



Photo 12.d : Contrôle radiographique en postopératoire immédiat. Aspect radiographique du carpe gauche de face.



Photo 12.e : Contrôle radiographique en postopératoire immédiat. Aspect radiographique du carpe gauche de profil.

Cas n°6 : Chien mâle Labrador de trois ans.

Motif de la consultation : Le chien est présenté pour une boiterie marquée du membre thoracique gauche apparaissant à l'effort (boiterie à chaud). La boiterie évolue depuis une semaine.

Examen orthopédique : L'articulation du carpe gauche est légèrement déformée (épaississement de la face dorsale du carpe). Son volume est faiblement augmenté en comparaison avec le membre controlatéral. Aucune douleur n'est mise en évidence à la palpation-pression. L'amplitude articulaire du carpe est légèrement réduite.

Examen radiographique : Des clichés radiographiques du carpe de face, de profil et oblique sont réalisés (photos 12.a à 12.c). Une fêlure de l'os radial du carpe est mise en évidence.

Diagnostic : Une fêlure de l'os radial du carpe est diagnostiquée.

Traitement : Une immobilisation à l'aide d'un pansement attelle est mise en place pour une durée de trois semaines.

Evolution : Aucune cicatrisation n'est visible au bout de trois semaines. Une plaie de macération s'est développée sur la face dorsale du carpe. Un traitement chirurgical est proposé avec mise en place d'une vis de traction sur l'os radial du carpe (photos 12.d et 12.e).

Un pansement contentif renforcé par une attelle en position palmaire est mis en place en postopératoire. Le pansement est retiré au bout de deux semaines à cause de l'apparition d'une plaie cutanée. Le matériel de contention est retiré et l'animal est sévèrement confiné.

Le trait de fracture n'est plus observable trente jours après l'opération.

Complications : Des plaies de frottements se sont développées en région médiale du carpe et sous le doigt I. Les plaies sont traitées à l'aide d'un pansement UrgotulleND renouvelé une fois par semaine. Les coussinets sont laissés à l'air libre.

Photos 13 : Cas n°7.



Photo 13.a : Aspect radiographique du tibia droit de face et de profil.



Photo 13.b : Contrôle radiographique du tibia droit de face et de profil 28 jours après la mise en place du pansement contentif.

Cas n° 7 : Chien femelle Malinois de sept ans.

Motif de la consultation : La chienne est présentée pour une mobilité anormale du tibia droit suite à un traumatisme « agricole ».

Examen radiographique : Des radiographies de face et de profil du tibia droit sont effectuées. Elles mettent en évidence une fracture transverse du tibia droit à la jonction tiers moyen / tiers distal. Le foyer de fracture est court et communitif (photo 13.a).

Traitement : L'ostéosynthèse par plaque vissée est refusée par le propriétaire pour une raison financière. Un traitement conservateur par mise en place d'un pansement renforcé par une attelle en position crânio-caudale est mis en oeuvre.

Evolution : Un début de formation de cal osseux est observable vingt-huit jours après la mise en place du pansement contentif. L'aspect radiologique de la fracture évoque la mise en place d'une pseudarthrose (photo 13.b). Le cal formé est important. La proposition d'un geste chirurgical est de nouveau refusée par le propriétaire. Le pansement est renouvelé. Le chien n'est pas suivi par la suite.

Conclusion : Ce cas illustre les limites et les insuffisances du traitement par contention externe. Cette fracture ne figurait pas dans les indications évoquées précédemment pour un traitement de ce type.

Photos 14 : Cas n°8.



Photo 14.a : Aspect radiographique du membre thoracique gauche de profil et de face. Une ostectomie ulnaire a déjà été pratiquée.



Photo 14.b : Contrôle radiographique en postopératoire immédiat. Radius-ulna gauche de face et de profil.



Photo 14.c : Vue de profil du chien avec son pansement contentif.

Cas n°8 : Chien mâle Pointer de huit mois.

Motif de la consultation : Le chien est présenté pour un radius curvus bilatéral. Le radius-curvedus est très prononcé à gauche, mineur à droite. Une ostectomie ulnaire a déjà été réalisée sur les deux membres thoraciques. Le chien présente une boiterie de soutien du membre thoracique gauche. Les deux radius-curvedus ont des longueurs similaires. Les cartilages de croissance sont fermés.

Diagnostic : Un radius-curvedus par fermeture déjà ancienne du cartilage de croissance distal de l'ulna est diagnostiqué.

Traitement : Une ostéotomie correctrice du radius fixée par plaque est pratiquée au membre thoracique . (photos 14.a et 14.b). Un pansement attelle est mis en place (photo 14.c).

Evolution : Lors du contrôle à deux mois postopératoires, le montage est jugé être bien toléré. Le pansement contentif est retiré et l'exercice du chien est restreint.

Dix mois après l'opération, le chien présente une démarche un peu anormale. Il jette le membre thoracique gauche vers l'avant. Cependant, il ne semble pas être gêné pour l'exercice. Une ankylose du carpe gauche s'est développée. La flexion carpienne est limitée à gauche. Le membre antérieur gauche est atteint d'un léger valgus. Aucune douleur n'est mise en évidence au cours de l'examen orthopédique.

L'évolution est jugée bonne. Il n'y a pas d'arthrose du carpe. L'ankylose du carpe est due à la promiscuité des tendons extenseurs avec le cal osseux. La gêne est donc liée à un problème mécanique.

Photos 15 : Cas n°9.



Photo 15.a : Aspect radiographique de profil du carpe droit.



Photo 15.b : Aspect radiographique du carpe droit de face.



Photo 15.c : Aspect radiographique du carpe droit en flexion.



Photo 15.d : Contrôle en postopératoire immédiat. Carpe droit de profil et en flexion.



Photo 15.e : Contrôle à 15 jours postopératoires. Carpe droit de profil.



Photo 15.f : Contrôle radiographique à 1 mois postopératoire. Vue de face du carpe droit.

Cas n°9 : Chien femelle Epagneul Breton de cinq ans et demi.

Motif de la consultation : La chienne est présentée pour une boiterie de soutien du membre thoracique droit qui évolue depuis trois mois. La boiterie n'est pas améliorée par les anti-inflammatoires non stéroïdiens.

Examen orthopédique : Le carpe droit est tuméfié. Sa flexion est douloureuse et d'amplitude diminuée. Une luxation bilatérale des rotules de type 1 est décelée.

Examen radiographique : Des radiographies de profil, de face et en flexion du carpe droit sont effectuées (photo 15.a à 15.c). L'interligne carpo-carpien est réduit. L'os radial du carpe est fracturé en trois segments. Une arthrose importante est présente.

Traitement : Le vissage de l'os radial du carpe est effectué (photo 15.d). On procède à l'ablation du fragment intermédiaire. La perte de substance est remplie avec une autogreffe spongieuse. Un pansement renforcé par une attelle en position palmaire est confectionné sur le membre thoracique droit en postopératoire.

Evolution : Quinze jours après l'opération, la patte est douloureuse. La boiterie est importante. Les images radiographiques montrent cependant une cicatrisation en cours. Le montage est stable. Une réaction périostée dorsale s'est mise en place (photo 15.e). Le chien est traité au Métacam[®] pendant cinq jours. Le pansement est reconduit pour un mois.

Lors du contrôle à un mois (photo 15.f), le chien présente une boiterie d'appui marquée. Il n'y a ni inflammation, ni douleur à la palpation. Une thérapeutique analgésique à base de tramadol (TopalgicND gélule 50mg) à raison de 1 gélule par jour pendant quinze jours est instaurée. Par la suite, la situation évolue lentement vers l'amélioration. Six mois plus tard, la chienne ne présente plus aucune boiterie.

Photos 16 : Cas n°10.



Photo 16.a : Vue de face du chien avec un double radius curvus.



Photo 16.b : Aspect radiographique du membre droit de profil et de face.



Photo 16.c : Aspect radiographique du membre gauche de face et de profil.



Photo 16.d : Aspect radiographique du membre droit en postopératoire immédiat de face et de profil. (L'aspect est le même pour le membre gauche)



Photo 16.e : Attelle en place sur le membre thoracique droit.



Photo 16.f : Chien avec ses deux pansements renforcés.



Photo 16.g : Contrôle radiographique à 9 mois postopératoires. (membre droit)

Cas n° 10 : Chien mâle Dogue Allemand de sept mois.

Motif de la consultation : Le chien est présenté pour une déviation latérale des deux carpes. La déviation est plus prononcée au membre thoracique gauche qu'au membre thoracique droit.

Examen orthopédique : Le chien est atteint d'un radius curvus bilatéral (photo 16.a).

Examen radiographique : On observe un radius curvus sans incongruence du coude. Le cartilage de croissance distal de l'ulna est fermé. Il y a suspicion d'une fermeture partielle du cartilage de croissance distal du radius (photos 16.b et 16.c).

Diagnostic : Radius curvus bilatéral.

Traitement : Une intervention chirurgicale est pratiquée sur chaque membre à trois semaines d'intervalle. Le membre droit est opéré en premier. L'intervention chirurgicale consiste en une ostectomie ulnaire associée à une ostectomie cunéiforme du radius stabilisée par plaque vissée (photo 16.d).

Un pansement contentif renforcé par une attelle est mis en place en postopératoire (photos 16.e et 16.f).

Evolution : Le chien se déplace dès le lendemain de la première intervention. Il n'a alors qu'un seul pansement contentif. Après la deuxième intervention, les deux membres thoraciques de l'animal sont bandés. Le chien reste immobile pendant trois jours. Il commence à se déplacer péniblement sur ses deux antérieurs au quatrième jour postopératoire.

Un contrôle est effectué quatre mois après l'intervention chirurgicale. Le chien ne boite pas. Il présente un défaut de flexion du carpe à droite. Des synostoses se sont formées entre le radius et l'ulna sur les membres thoraciques droit et gauche. Une réaction périostée importante recouvre les plaques. Une ostéolyse est observable sous les plaques. A neuf mois postopératoires, la récupération fonctionnelle des membres thoraciques est bonne avec un retour à une mobilité normale et l'absence de douleur. Les radiographies de contrôle des avant-bras gauche et droit montrent un recouvrement de la plaque vissée par la corticale de l'os et un épaissement du radius (photo 16.g).

Conclusion.

L'orthopédie vétérinaire a su faire d'immenses progrès ces 30 dernières années. S'il l'a été, le bandage orthopédique n'est plus aujourd'hui un standard en traumatologie des membres chez les carnivores. Depuis longtemps maintenant, les différentes techniques d'ostéosynthèse et dérivées permettent de traiter avantageusement la quasi-totalité des lésions de l'appareil locomoteur des animaux de compagnie.

Toutefois, même si leur champ d'indication va sans cesse diminuant, il reste de la place pour les pansements contentifs externes dans l'arsenal thérapeutique du vétérinaire orthopédiste. Dans ce contexte en évolution constante, il nous a paru judicieux de nous intéresser à un produit original et nouveau dans le concept d'utilisation de l'attelle orthopédique : Dynacast PreludeND.

Si Dynacast PreludeND fait appel à une technologie qui a déjà fait ses preuves, à savoir celles des résines polyuréthanes autopolymérisables, c'est dans son mode d'utilisation que ce produit est innovant. Présenté en dévidoir sous emballage protecteur, Dynacast PreludeND est une bande de résine gainée que l'on coupe à la longueur voulue et que l'on conforme sur la région anatomique concernée pour confectionner une attelle rigide en quelques minutes. Elle est ensuite facilement intégrée à des pansements contentifs, qu'ils constituent la base du traitement orthopédique ou qu'ils soient employés à titre de moyen complémentaire.

Ces critères techniques (adaptabilité, rapidité de mise en œuvre, absence de gaspillage) sont de nature à séduire les vétérinaires pour lesquels la facilité d'utilisation et les contraintes économiques sont des éléments d'appréciation majeurs.

Les attelles confectionnées sont particulièrement bien adaptées, ne nécessitent pas l'application d'un matériau de rembourrage à leur surface, et présentent un compromis qualité de contention/confort qui dépasse les performances des autres attelles actuellement disponibles sur le marché vétérinaire.

Il faut toutefois préciser un inconvénient qui est que ces attelles doivent être mouillées pour polymériser. Il en résulte que si la dureté du matériau est acquise en quelques minutes, l'attelle n'est pas pour autant sèche et prête à l'emploi. On doit attendre à peu près une heure à température ambiante, ou utiliser des moyens appropriés pour en obtenir le séchage plus rapidement, si l'on veut intégrer rapidement cette attelle à un pansement contentif. Le risque est en effet de maintenir sous le pansement une humidité préjudiciable à la tenue, aux effets et à la tolérance cutanée de la contention externe.

Un inventaire de quelques cas cliniques d'animaux pour lesquels l'utilisation d'un pansement contentif intégrant Dynacast PreludeND a été indiquée a montré que (i) cette attelle a le plus souvent donné satisfaction aux utilisateurs et à leurs patients (ii) les aspects

innovants de Dynacast PreludeND ne compensent pas une technique de pose insuffisante (iii) les limites des indications des pansements-attelles restent ce qu'elles sont même lorsqu'on emploie Dynacast PreludeND.

Il est important de bien approcher le cadre de l'utilisation de Dynacast PreludeND ainsi que ses aspects techniques et fonctionnels. Au-delà, les nouveautés apportées par cette attelle peuvent en faire un outil apprécié par les vétérinaires pour ses qualités et sa facilité d'utilisation.

Bibliographie.

1. ADRIACCHI T, SABISTON P, DEHAVEN K & AL.
Ligament: injury and repair.
In: Savio LH Woo, Buckwalter Joseph.
Injury and repair of the musculoskeletal soft tissues.
American academy of orthopaedic surgeons symposium, 1987.104-125.
2. ARNOCZKY SP, WILSON JW.
The connective tissues.
In: Canine orthopedics 2ème Ed.
Londres:Lea & Febriger, 1990. 21-41.
3. AUSTIN RT.
Treatment of broken legs before and after the introduction of gypsum.
Injury. 1983 Mar;14(5):389-94.
4. BARDET JF.
Contracture du quadriceps et maladie fracturaire. Physiopathologie et traitement.
Prat. Med. Chir. An. Comp. 1991 Mai-Juin; 26(3):271-275.
5. BENEZIS C.
Les accidents musculaires. Problèmes pratiques.
In: BENEZIS C, SIMERAY J, SIMON L.
Actualités en médecine du sport. Muscles Tendons et Sport.
Paris: Masson, 1985. 199-206.
6. BERMAN AT, PARKS BG.
A comparison of the mechanical properties of fiberglass cast materials and their clinical relevance.
J Orthop Trauma. 1990;4(1):85-92.
7. BOJRAB MJ.
Orthopedic bandaging: principles and application.
In: Current techniques in small animal surgery, 3^{ème} Ed.
Londres: Lea et Febiger,1990. 911-929.
8. BONNEL F, CANOVAS F.
Anatomie et physiologie du tendon normal.
Ed Méd chir. 14007 A10:1-6.
9. BOWKER P, POWELL ES.
A clinical evaluation of plaster-of-Paris and eight synthetic fracture splinting materials.
Injury. 1992;23(1):13-20.
10. BRINKER, PIERMATTEI, FLO.
Fractures: classification, diagnosis, and treatment.
In: BRINKER, PIERMATTEI, FLO
Brinker, Piermattei and Flo's Small animal orthopedics and fracture repair, 3^{ème} Ed.
Londres: WB Saunders Company, 1997.24-146.
11. BRINKER, PIERMATTEI, FLO.

Principes en chirurgies articulaires.

In: BRINKER, PIERMATTEI, FLO.

Manuel d'orthopédie et de traitement des fractures des petits animaux, 2^{ème} Ed.

Maison-Alfort: Editions du point vétérinaire, 1994.311-337.

12. BUCKWALTER JA, RICHARD LC.

Healing of the soft tissues.

In: Rockwood Charles A Jr, Green David P, Bucholz Robert W.

Rockwood and Green's fractures in adults 3^{ème} Ed.

Londres: JP Lippincott Company, 1991.181-215.

13. CAMPBELL

Mécanismes sensoriels et moteurs chez les animaux.

In: CAMPBELL

Biologie, 3^{ème} Ed.

Saint-Laurent : Editions du Renouveau Pédagogique Inc, 1995.10415-1047.

14. CAPLAN A, CARLSON B, FAULKNER J, FISCMAN D.

Skeletal muscle.

In: Savio LH Woo, Buckwalter Joseph.

Injury and repair of the musculoskeletal soft tissues.

American academy of orthopaedic surgeons symposium, 1987.213-291.

15. CHANOIT G, MATHON DH, AUTEFAGE A

Aspects fondamentaux de la cicatrisation osseuse et de sa pathologie. Application aux cas particuliers des pertes de substances osseuses diaphysaires.

Revue Méd Vét. 1999 ;150(11) :851-68.

16. CHARLES MN, YEN D.

Properties of a hybrid plaster-fibreglass cast.

Can J Surg. 2000 Oct;43(5):365-7.

17. CHAVE G.

Contribution à l'étude des bandages en orthopédie vétérinaire: la bande plastico-plâtrée cellamin (ND).

Th.:med.vet.:Créteil, Faculté de Médecine:1984:5-7.

18. CIMINO WR, SKINNER HB.

The stiffness of cylindrical casts enforced with splint lamination: biomechanical considerations.

J Orthop Trauma. 1989;3(4):338-44.

19. CLAIR LE St.

General myology.

In: GETTY

Sisson and Grossman's The anatomy of the domestic animals

Londres: W.B Saunders compagny, 1975.39-47.

20.COMBE V.

Contribution à l'étude de l'histoire de l'orthopédie et de la traumatologie de la préhistoire au début du vingtième siècle.

Th:med.vet.:Lyon, Université Claude Bernard:1993:7-26.

21. DECAMP CE.

External coaptation.

In : Slatter

Textbook of small animal surgery, 2^{ème} Ed.

Londres : WB Saunders compagny, 1993. 1661-1679.

22. DENIS C, LACOUR JR.

Muscle normal.

Ed Méd Chir. 14006 A10 :1-10.

23. DUPRE G.

Contribution à l'étude des bandages en orthopédie vétérinaire. Application : le verplex.

Th :med.vet. :Créteil, Faculté de médecine :1982 :3-28.

24. EDWARDS GB, CLAYTON J.

Use of hexelite for the immobilisation of the limbs of large animals.

Vet Record. 1978 mai;6:397-9

25. EGGER EL, WHITTICK WG.

Principles of fracture management.

In: WHITTICK WG

Canine orthopedics, 2^{ème} Ed.

Londres: Lea & Febriger, 1990. 215-296.

26. DENNY HR, BUTTERWORTH SJ.

Fracture healing.

In: A guide to canine and feline orthopaedic surgery, 4^{ème} Ed.

Paris: Blackwell Science Ltd, 2000. 3-17.

27. DENNY HR, BUTTERWORTH SJ.

Option in fracture management.

In: A guide to canine and feline orthopaedic surgery, 4^{ème} Ed.

Paris: Blackwell Science Ltd, 2000.87-131.

28. DINGWALL JS, HORNEY FD, McDONELL W, DUNCAN DB, FRETZ PW.

A comparison of breaking strengths of various casting materials.

Can Vet Jour. 1973 Mar;14(3):62-5.

29. EL TANNIR MD.

The effect of temperature on the setting time of plaster of Paris. A preliminary report on temperatures between 10 and 80 degrees C.

Egypt Dent J. 1969 Jul;15(3):163-6.

30. ESSER M.

Plaster techniques in general practice. How to apply splints and plaster casts in a clinical or casualty setting.

Aust Fam Physician. 1996 Sep;25(9):1429-33, 1435-7.

31. FLEETCROFT J.

Plastering: a combination of old and new.
Injury. 1981 Sep;13(2):131-2.

32. FRANK C, SAVIO W, ANDRIACCHI T & AL.

Normal ligament : structure, function, and composition.
In : Savio LH Woo, Buckwalter Joseph.
Injury and repair of the musculoskeletal soft tissues.
American academy of orthopaedic surgeons symposium, 1987.45-101.

33. GARNIER E.

Pose d'une résine chez le chien et chez le chat.
Le Point Vét. 2001 Déc ;221 :56-58.

34. GELBERMAN R, GOLDBERG V, AN K-N, BANES A.

Tendon.
In : Savio LH Woo, Buckwalter Joseph.
Injury and repair of the musculoskeletal soft tissues.
American academy of orthopaedic surgeons symposium, 1987.5-40.

35. GIBSON D, LINDSEY RW.

Plaster of Paris--its history, functional properties and potential complications.
Conn Med. 1985 Août;49(8):525-8.

36. GILL JM, BOWKER P.

A comparative study of the properties of bandage-form splinting materials.
Eng Med. 1982 Juil;11(3):125-34.

37. GINSBERG F.

What plaster is and how it works.
Mod Hosp. 1968 Dec;111(6):94.

38. GUERRA JJ, BEDNAR JM.

Equipment malfunction in common hand surgical procedures. Complications associated with the pneumatic Tourniquet and with the application of casts and splints.
Hand. Clin. 1994 Fev;10(1):45-52.

39. HARRIS R.

Fracture healing.
In: WHITTICK WG
Canine orthopedics, 2^{ème} Ed.
Londres: Lea et Febriger, 1990. 158-165.

40. HAY RL, INESON NR.

A comparison of Lyoband with cotton wool as a lining for plaster casts.
Injury. 1981 Sep;13(2):170-2.

41. HOLMBERG DL.

- Tissue handling.
In: WHITTICK WG
Canine orthopedics, 2^{ème} Ed.
Londres: Lea & Febriger, 1990. ?-157.
- 42.** HOUANG ET, BUCKLEY R, SMITH M, O'RIORDAN SM.
Survival of *Pseudomonas aeruginosa* in plaster of Paris.
J Hosp Infect. 1981 Sep;2(3):231-5.
- 43.** HOULTON JEF.
A new polymer splinting material.
Vet record. 1981 Juil;4:10-2.
- 44.** HOULTON JEF.
A comparaison of some casting materials.
Vet record. 1985 Juil; 117:55-58.
- 45.** JORGENSEN U, NORDKILD P.
Hexcelite versus plaster of Paris: a controlled trial of the below-knee walking cast.
Prosthet Orthot Int. 1986 Dec;10(3):114-6.
- 46.** LANGLEY-HOBBS SJ, ABERCROMBY RH, PEAD MJ.
Comparison and assessment of casting materials for use in small animals.
Vet Record. 1996;139:258-62.
- 47.** LAVALETTE R, POPE MH, DICKSTEIN H.
Setting temperature of plaster casts
J Bone Joint Surg. 1982 Juil;64-A(6):907-11
- 48.** LOVELL CR, STANIFORTH P.
Contact allergy to benzalkonium chloride in plaster of Paris.
Contact Dermatitis. 1981 Nov;7(6):343-4.
- 49.** MAILLET M.
Classification et description sommaire des différents types de rissu conjonctif.
In: MAILLET M.
Les tissus de soutien, Vol 3.
Paris: Ed. Vigot, 1979.31-38.
- 50.** MATHON DH, FRAYSSINET P, ASIMUS E et al.
Development of a segmental long-bone defect model in sheep.
Vet Comp Orthop Traumatol. 1998;11:1-7.
- 51.** MARWAN A, WEHBE MD.
Plaster uses and misuses.
Clin Orthop. 1982 Juil;167:242-9.
- 52.** McKINNEY P.
The plaster teesplint.
Plast Reconstr Surg. 1967 Août;40(2):190-1.

- 53. MIHALKO WM, BEAUDOIN AJ, KRAUSE WR.**
 Mechanical properties and material characteristics of orthopaedic casting material.
J Orthop Trauma. 1989;3(1):57-63.
- 54. NIELSEN K, LAURITZEN J.**
 A new thermoplastic casting material.
Acta Orthop Scand. 1981;52:27-9.
- 55. NOBILI M.**
 Contribution à l'étude du pansement de Robert Jones: utilisation et intérêt en orthopédie chez le chien et chez le chat.
 Th.: Med. vet.: Lyon, Université Claude Bernard: 1989.14-16.
- 56. PERREN SM.**
 Physical and biological aspects of fracture healing with special reference to internal fixation.
Clin. Orthop. Rel. Res. 1979 Jan-Fev;138:175-196.
- 57. PETIT GD.**
 A history of veterinary orthopedic surgery.
 In: WHITTICK WG
 Canine orthopedics, 2^{ème} Ed.
 Londres: Lea & Febriger, 1990.
- 58. PHILBIN TM, GITTINS ME.**
 Hybrid casts: a comparison of different casting materials.
J Am Osteopath Assoc. 1999 Juin;99(6):311-2.
- 59. POPE MH, CALLAHAN PH D, LAVALETTE R et al**
 Setting temperatures of synthetic casts
J Bone Joint Surg. 1985 Fev; 2(67-A):262-4.
- 60. RAHN BA.**
 Bone healing: histologic and physiologic concepts.
 In: SUMMER-SMITH G.
 Bone in clinical orthopaedics-A study in comparative osteology.
 Londres: WB Saunders Company,1982. 335-386.
- 61. RITCHIE IK, WYTCH R, WARDLAW D.**
 Flammability of modern synthetic bandages.
Injury. 1988 Jan;19(1):31-2.
- 62. ROE S**
 Biomechanical basis of bone fracture and fracture repair.
 In: British Small Animal Veterinary Association.
 Manual of small animal fracture repair and management.
 Andrew Coughlan and Andrew Miller,1998. 17-28.

- 63.** ROWLEY DI, PRATT D, POWELL ES, NORRIS SH, DUCKWORTH T.
The comparative properties of plaster of Paris and plaster of Paris substitutes.
Arch Orthop Trauma Surg. 1985;103(6):402-7.
- 64.** SCHENK.
Histologie de la consolidation des fractures et des pseudarthroses.
Bulletin A.O. 1979 Nov.
- 65.** SEDEL L, MEUNIER A, NIZARD R.
Biomécanique de l'os. Application au traitement des fractures.
Ed Med Chir. 1993; 14031 A30: 1-12.
- 66.** SEDEL L, VAREILLES JL.
Consolidation des fractures.
Ed Med Chir. 1992;14031 A20:1-11.
- 67.** WATKINS JP.
Tendon and ligament biology.
In: AUER JA.
Equine Surgery.
Londres: WB Saunders Compagny, 1992.910-915.
- 68.** WILSON DG, VANDERBY R.
An evaluation of six synthetic casting materials: strength of cylinders in bending.
Vet Surg. 1995;24:55-9.
- 69.** WILSON DG, VANDERBY R.
An evaluation of fiberglass cast application techniques.
Vet Surg. 1995;24:118-121.
- 70.** WYTCH R, ASHCROFT GP, LEDINGHAM WM, WRDLAW D, RITCHIE IK.
Modern splinting bandages.
J Bone Joint surg. 1991 Jan;73-B(1):88-91.
- 71.** WYTCH R, ASHCROFT GP, McKENZIE G, WARDLAW D, LEDINGHAM WM.
Radographic assessment of splinting bandages.
Injury. 1991;22(1):41-4.
- 72.** WYTCH R, MITCHELL C.
Splinting materials: getting plastered.
Nurs Times. 1986 Sep 3-9;82(36):48-50.
- 73.** WYTCH R, MITCHELL C, RITCHIE IK, WARDLAW D, LEDINGHAM W.
New splinting materials.
Prosthet Orthot Int. 1987 Avr;11(1):42-5.
- 74.** WYTCH R, MITCHELL CB, WARDLAW D, LEDINGHAM WM, RITCHIE IK.
Mechanical assessment of polyurethane impregnated fibreglass bandages for splinting.
Prosthet Orthot Int. 1987 Dec;11(3):128-34.

75. WYTCH R, RITCHIE IK, CLAYTON R, GREGORY DW, WARDLAW D.
Dust emission during cutting of polyurethane-impregnated bandages.
Prosthet Orthot Int. 1988 Dec;12(3):155-60.
76. WYTCH R, ROSS N, WARDLAW D.
Glass fiber versus non-glass fibre splinting bandages.
Injury. 1992 ;23(2) :101-6.