

TABLE DES MATIERES

<u>TABLE DES MATIERES</u>	8
<u>TABLE DES ILLUSTRATIONS</u>	11
<u>INTRODUCTION</u>	14
<u>PREMIERE PARTIE</u>	16
<u>ANATOMIE ET STABILISATION CHIRURGICALE DES FRACTURES- LUXATIONS DU RACHIS LOMBAIRE CHEZ LE CHIEN</u>	16
<u>I.1 RAPPEL ANATOMIQUE DU RACHIS LOMBAIRE</u>	17
<u>I.1.1 LE CORPS DE LA VERTÈBRE</u>	19
<u>I.1.2 L'ARC DE LA VERTÈBRE</u>	19
<u>I.2 TECHNIQUES DE STABILISATION CHIRURGICALE DES FRACTURES-LUXATIONS DU RACHIS LOMBAIRE</u>	19
<u>I.2.1 PLAQUE DORSALE OU PLAQUE DE LUBRA [31]</u>	19
<u>I.2.2 PLAQUE VISSÉE SUR LA FACE DORSO-LATÉRALE DU CORPS VERTÉBRAL [25]</u>	21
<u>I.2.3 ASSOCIATION PLAQUE DE LUBRA ET PLAQUE VISSÉE SUR LE CORPS VERTÉBRAL</u>	22
<u>I.2.4 BROCHES DE KIRCHNER PAR ABORD DORSO-LATÉRAL</u>	22
<u>I.2.5 IMPLANTS DANS LE CORPS VERTÉBRAL AVEC FIXATION PAR CIMENT DE POLYMÉTHYLMÉTHACRYLATE</u>	23
<u>I.2.6 FIXATION DES PROCESSUS ÉPINEUX PAR DES BROCHES ET DES CERCLAGES</u>	24
<u>I.2.7 PLAQUE VISSÉE SUR LE CORPS VERTÉBRAL PAR ABORD VENTRAL</u>	25
<u>I.2.8 VIS PÉDICULAIRES</u>	29
<u>DEUXIEME PARTIE</u>	32
<u>ETUDE EXPERIMENTALE</u>	32

<u>I.1</u>	<u>MATÉRIELS ET MÉTHODES</u>	33
<u>I.1.1</u>	<u>MATÉRIELS</u>	33
<u>I.1.1.1</u>	<u>Les animaux</u>	33
<u>I.1.1.2</u>	<u>Le matériel d'ostéosynthèse</u>	33
<u>I.1.1.3</u>	<u>Le système d'extraction</u>	34
<u>I.1.2</u>	<u>MÉTHODES</u>	34
<u>I.1.2.1</u>	<u>Prélèvement des vertèbres L6</u>	34
<u>I.1.2.2</u>	<u>Implantation des vis</u>	35
<u>I.1.2.3</u>	<u>Inclusion dans la résine</u>	35
<u>I.1.2.4</u>	<u>Extraction de la vis pédiculaire</u>	36
<u>I.1.2.5</u>	<u>Préparation pour l'extraction de la vis vertébrale</u>	37
<u>I.1.2.6</u>	<u>Extraction de la vis vertébrale</u>	37
<u>I.1.2.7</u>	<u>Analyse des résultats</u>	37
<u>I.2</u>	<u>RÉSULTATS</u>	38
<u>III</u>	<u>TROISIEME PARTIE</u>	40
<u>DISCUSSION</u>		40
<u>CONCLUSION</u>		44
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>		46

TABLE DES ILLUSTRATIONS

LISTE DES FIGURES

Figure n°1 : Vertèbres lombaires du chien, d'après Barone [2].

Figure n°2 : Plaque de Lubra appliquée sur les processus épineux, d'après Wheeler [29].

Figure n°3 : Plaque vissée sur la face dorso-latérale du corps vertébral, d'après Wheeler [29] (en région thoracique, un cerclage est posé entre les processus épineux et les côtes).

Figure n°4 : Broches croisées dans les corps vertébraux, d'après Matthiesen [12].

Figure n°5 : Position des broches pour l'application de ciment de méthylméthacrylate, d'après Wheeler [29].

Figure n°6 : Position des vis pour l'application de ciment de méthylméthacrylate, d'après Wheeler [29].

Figure n°7 : Broche en U et cerclages sur les processus épineux, d'après Wheeler [29].

Figure n°8 : Radiographie d'une plaque vissée sur la face ventrale des corps vertébraux.

Figure n°9 : Coordonnées du point d'entrée des vis pédiculaires sur une vue dorsale du rachis lombaire du chien, selon Malet [11].

Figure n°10 : Coupe transversale illustrant les deux lieux d'implantation des vis.

Figure n°11 : Positionnement de la vertèbre avec la vis N°1 et inclusion dans la résine.

Figure n°12 : Positionnement de la vertèbre avec la vis N°2 et inclusion dans la résine.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n°1 : Comparaison de la raideur du montage et du moment de force pour les différentes techniques de fixation du rachis, d'après Walter [26].

Tableau n°2 : Degré de rotation des différentes techniques testées au point de rupture et test statistique comparatif des segments fixés par rapport au segment intact [28].

Tableau n°3 : Récapitulatif des données biomécaniques des différentes techniques d'après les études de Walter [26] et Waldron [28].

Tableau n°4 : Tableau regroupant les longueurs d'implantation, les forces d'extraction, le rapport FM/longueur, les moyennes, écart-types et valeurs de p pour l'ensemble des données concernant l'extraction des vis pédiculaires et vertébrales sur la sixième vertèbre lombaire du chien.

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photographie n°1 : Vue crâniale de la sixième vertèbre lombaire du chien

Photographie n°2 : Vue latérale de la sixième vertèbre lombaire du chien

Photographie n°3 : Système d'extraction

INTRODUCTION

Les techniques chirurgicales de stabilisation des fractures-luxations du rachis lombaire du chien sont nombreuses mais ne répondent pas aux critères idéaux de stabilisation.

Le pédicule vertébral est une structure osseuse, très utilisée comme site d'implantation en chirurgie humaine. Il apparaît que les dimensions de ce pédicule récemment étudiées chez le chien puissent offrir la possibilité d'y placer du matériel d'ostéosynthèse. La mise en place de cette technique nécessite naturellement une étude biomécanique de ce site d'implantation.

Des rappels d'anatomie du rachis lombaire, ainsi qu'une description succincte des différentes techniques chirurgicales de stabilisation du rachis sont abordés dans une première partie.

En seconde partie, l'étude expérimentale propose une comparaison de la force d'extraction de deux vis, l'une implantée dans le pédicule vertébral et l'autre dans le corps vertébral de la même vertèbre.



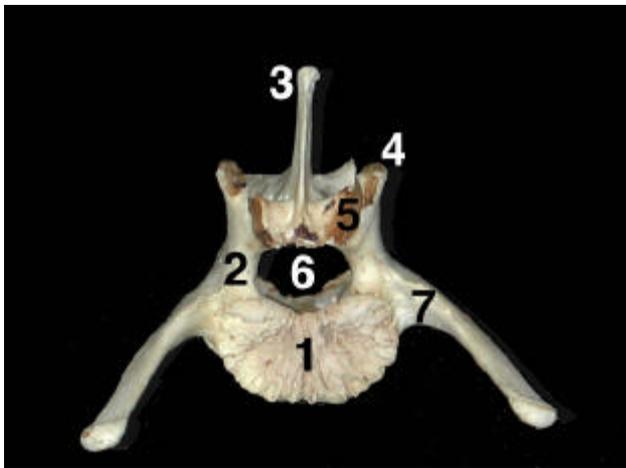
PREMIERE PARTIE

ANATOMIE ET STABILISATION CHIRURGICALE DES FRACTURES- LUXATIONS DU RACHIS LOMBAIRE CHEZ LE CHIEN

I.1 Rappel anatomique du rachis lombaire

La colonne vertébrale est subdivisée en cinq régions : cervicale, thoracique, lombaire, sacrée et coccygienne [2]. Les contraintes mécaniques qui s'exercent sur la colonne vertébrale expliquent les différences morphologiques entre les vertèbres.

Dans cette étude, nous allons nous intéresser au rachis lombaire. Chez le chien, il est composé de sept vertèbres (figure n°1). Chaque vertèbre est constituée d'un corps et d'un arc dorsal (photographies n°1-2). Ces deux parties délimitent un large canal, le foramen vertébral, qui définit avec ceux des autres vertèbres le canal rachidien.



Photographie n°1 : vue crâniale de la sixième vertèbre lombaire du chien.

1. Face crâniale.
2. Pédicule vertébral.
3. Processus épineux.
4. Processus mamillaire.
5. Processus articulaire crânial.
6. Trou vertébral.
7. Processus transverse.



Photographie n°2 : vue latérale de la sixième vertèbre lombaire du chien.

3. Processus épineux.
4. Processus mamillaire.
7. Processus transverse.
8. Processus articulaire caudal.
9. Extrémité caudale.
10. Corps vertébral.

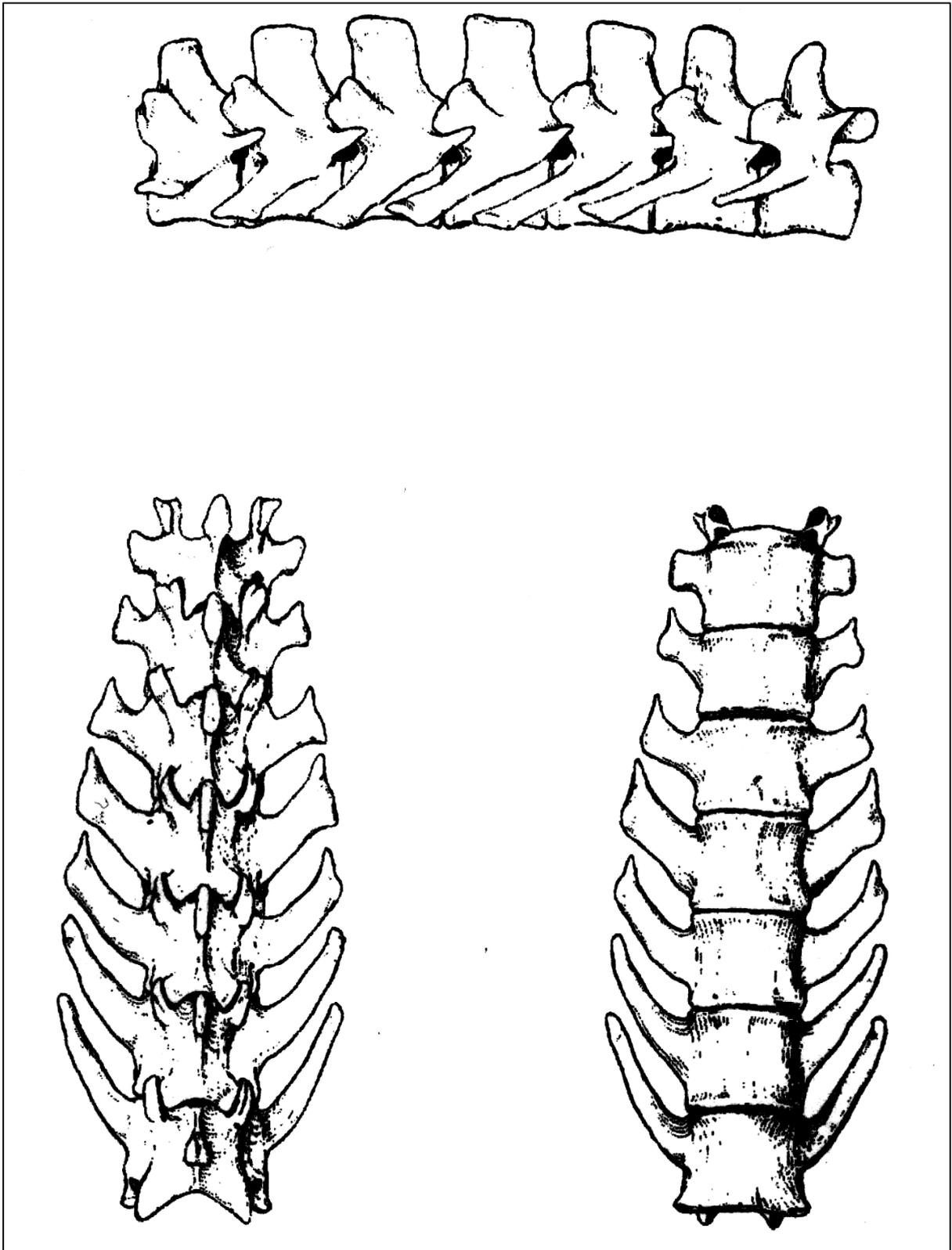


Figure n°1 : Vertèbres lombaires du chien, d'après Barone [2]

I.1.1 Le corps de la vertèbre

Le corps vertébral est aplati dorso-ventralement, sa longueur augmente de la première à la quatrième ou cinquième vertèbre lombaire et sa largeur croît jusqu'à la dernière. Le septième corps vertébral est alors plus large que long. Le corps vertébral présente quatre faces : une dorsale, une ventrale et deux articulaires, crâniale et caudale (photographies n°1-2).

La face dorsale constitue le plancher du foramen vertébral. La face ventrale porte une crête ventrale médiale sur les trois ou quatre premiers corps vertébraux puis disparaît sur les suivants. Les extrémités articulaires sont associées aux disques intervertébraux.

Le corps de la vertèbre est constitué d'os spongieux entouré d'une fine couche d'os cortical.

I.1.2 L'arc de la vertèbre

L'arc vertébral est composé de deux lames vertébrales, soudées dorsalement dans le plan médian, qui se rattachent au corps vertébral par l'intermédiaire d'une structure très allongée dans le sens crânio-caudal : le pédicule vertébral (photographies n°1-2). Les incisures crânielles et caudales du pédicule vertébral, les dernières étant les plus profondes, constituent le foramen intervertébral où passent les nerfs spinaux et les vaisseaux associés.

I.2 Techniques de stabilisation chirurgicale des fractures-luxations du rachis lombaire

Il existe de nombreuses possibilités chirurgicales pour stabiliser les fractures-luxations du rachis lombaire, chacune d'entre elles ayant ses indications et ses inconvénients.

I.2.1 Plaque dorsale ou plaque de Lubra [31]

La mise en place d'une plaque, métallique ou plastique, sur les processus épineux est l'une des techniques de stabilisation de la région thoraco-lombaire (figure n°2). Un abord dorsal est réalisé, la plaque immobilise deux à trois processus de part et d'autre du site de fracture-luxation. Contrairement à la plaque métallique, rigide, la plaque plastique, de Lubra, s'adapte

parfaitement aux formes de la colonne vertébrale. Cette souplesse permet de placer les vis entre les processus épineux, plutôt qu'à travers comme pour la plaque métallique. De plus elle possède une surface rugueuse qui améliore la tenue sur les processus épineux.

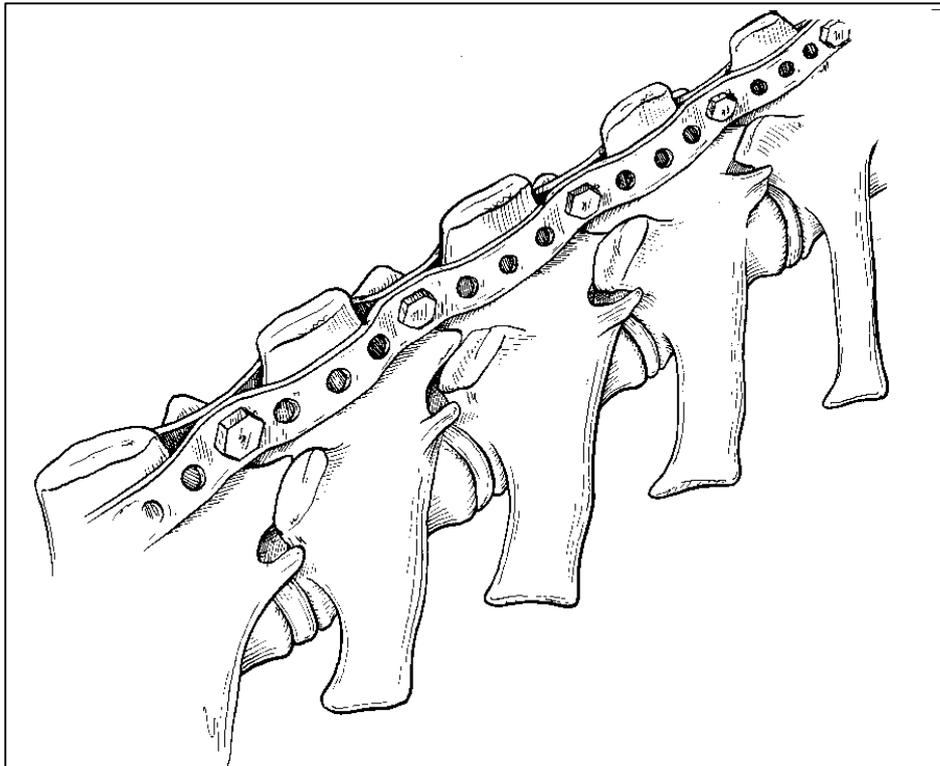


Figure n°2 : Plaque de Lubra appliquée sur les processus épineux, d'après Wheeler [29]

Les avantages de cette technique sont la rapidité, la facilité et la possibilité de la combiner avec une plaque sur le corps vertébral ou avec des broches [12-29]. Par contre, le risque de fracture ou de nécrose ischémique des processus épineux lorsque les vis y sont fixées, l'immobilisation d'un long segment de la colonne vertébrale, la difficulté d'accès de la région thoracique caudale et l'existence d'une fracture des processus ou de la lame vertébrale sont autant d'inconvénients et de contre-indications qui font qu'elle n'est pas toujours applicable [12-29]. Les études biomécaniques réalisées en flexion et en rotation [26-28] démontrent que la plaque dorsale résiste aux forces de flexion mais pas aux forces de rotation.

I.2.2 Plaque vissée sur la face dorso-latérale du corps vertébral [25]

Cette technique nécessite la visualisation de trois espaces intervertébraux et la face latérale des vertèbres est exposée des processus épineux aux processus transverses.

Les vaisseaux et les rameaux nerveux émergeant des foramens intervertébraux posent des problèmes au chirurgien. En général, on évite de les traumatiser et on les préserve. Lorsque l'intervention chirurgicale est crâniale à L4, les conséquences post-opératoires d'un traumatisme de ces structures nobles sont modérées : perte de tonicité de la musculature abdominale et perte de sensibilité cutanée sur les dermatomes dorso-lombaires correspondant. Par contre, caudalement à L4, le traumatisme entraînera un déficit neurologique par atteinte des nerfs émergents du plexus lombo-sacré.

La plaque métallique est fixée par deux vis, implantées avec un angle de 45° par rapport au plan horizontal, dans chaque corps vertébral (figure n°3).

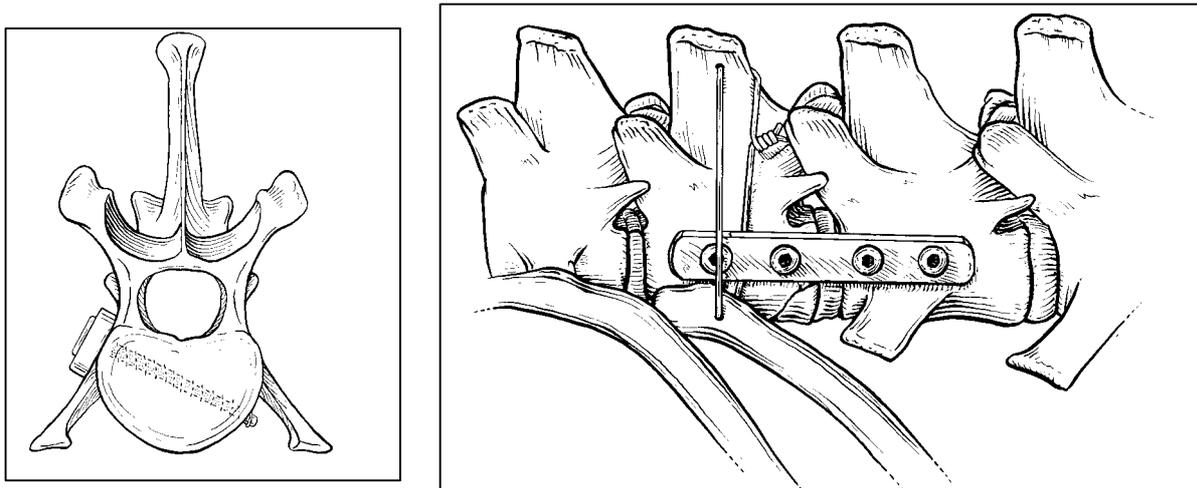


Figure n°3 : Plaque vissée sur la face dorso-latérale du corps vertébral, d'après Wheeler [29] (en région thoracique, un cerclage est posé entre les processus épineux et les côtes).

Cette technique est indiquée lors de luxation/subluxation vertébrales, de fracture transverse ou épiphysaire du corps vertébral. Elle permet une stabilisation rachidienne tout en n'immobilisant qu'un petit segment vertébral (deux à trois vertèbres dans la majorité des cas). Comme la plaque dorsale sur les processus épineux, la plaque vissée sur la face latérale des corps vertébraux offre une bonne résistance mécanique aux forces de flexion [26] mais pas aux forces de rotation [28]. Ses inconvénients sont principalement les possibles lésions neurologiques associées en région lombaire caudale et le risque de pneumothorax lors

d'intervention en région thoracique caudale par perforation iatrogène per-opératoire de la cavité pleurale.

I.2.3 Association plaque de Lubra et plaque vissée sur le corps vertébral

Dans une étude biomécanique, Walter [26] compare la stabilité et la rigidité des techniques de stabilisation du rachis. Il mesure le moment de force pour un angle de flexion de 10° et obtient pour la plaque de Lubra seule 11,76 N.m, pour la plaque vissée 16,63 N.m et pour l'association des deux 34,70 N.m. La différence significative permet d'affirmer que la combinaison de ces deux techniques améliore la résistance aux forces de flexion-extension du rachis. Ces résultats sont confirmés par l'étude de Shores [24].

Pour la résistances aux forces de rotation, Waldron [28] démontre que seules ou associées ces techniques sont insuffisantes. En outre, leur mise en place nécessite une dissection importante des muscles environnants [28].

I.2.4 Broches de Kirchner par abord dorso-latéral

Les deux broches, de petit diamètre, sont implantées dans le corps vertébral de façon à ce qu'elles se croisent (figure n°4). Gage en 1969 [6] fut le premier à décrire la technique.

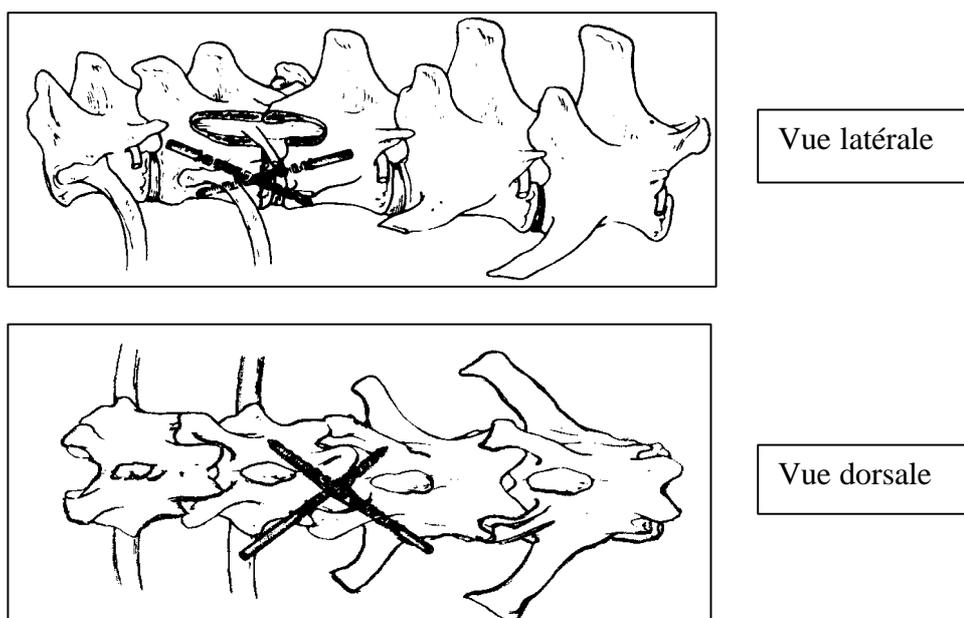


Figure n°4 : Broches croisées dans les corps vertébraux, d'après Matthiesen [12]

Elle est particulièrement indiquée lors des luxations/subluxations et des fractures épiphysaires chez les chiens de petite race ; elle est aussi utilisable lorsque les processus épineux sont fracturés. La difficulté majeure est de pouvoir maintenir la réduction lors de l'implantation des broches et de pouvoir ensuite couper leur extrémité. Des lésions vasculo-nerveuses sont toujours possibles si les broches ne sont pas mises en place correctement, notamment par effraction importante de la corticale opposée.

Les études biomécaniques de résistance aux forces de flexion [26] et de rotation [28] révèlent la faiblesse de cette technique, celle-ci étant même la moins résistante aux forces de flexion de toutes les techniques décrites.

I.2.5 Implants dans le corps vertébral avec fixation par ciment de polyméthylméthacrylate

L'utilisation de broches de Kirchner implantées dans le corps vertébral et de ciment de polyméthylméthacrylate fut décrite, en premier, par Rouse et Miller [21] en 1975, puis par Blass [3] en 1984 dans le but de pallier les inconvénients des techniques précédentes.

Les broches sont implantées sur la face latérale du corps vertébral, au milieu de celui-ci, avec une orientation caudo-ventrale et médiale caudalement à la lésion et une orientation crânio-ventrale et médiale crânialement à la lésion (figure n°5).

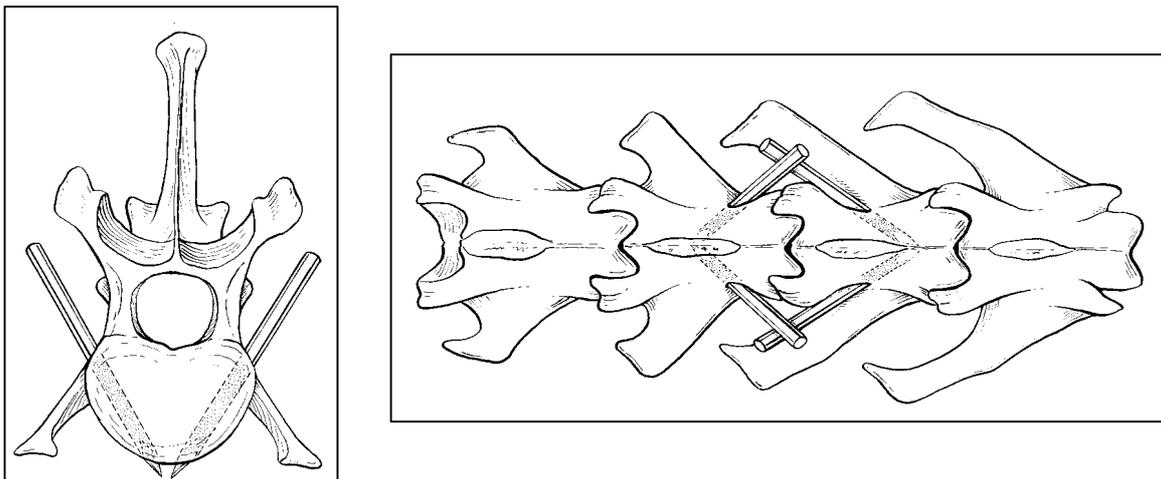


Figure n°5 : Position des broches pour l'application de ciment de méthylméthacrylate, d'après Wheeler [29]

En 1994, Garcia [7] a démontré, pour des raisons biomécaniques, qu'il était préférable d'utiliser des vis à la place des broches (figure n°6). En effet, les risques de migration et d'arrachement sont moindres avec des vis. De plus, leur ancrage dans le ciment ne nécessite pas de les couper et de les recourber, source de stress sur l'implant.

Cette technique nécessite moins de dissection des tissus mous et n'immobilise qu'un faible segment de la colonne vertébrale. De plus, l'émergence des nerfs rachidiens peut être protégée par cette technique, favorisant ainsi son utilisation en région lombaire caudale. Le risque potentiel d'infection par l'utilisation de ciment, les lésions vasculaires par les implants, même si certains auteurs pensent que la musculature lombaire ventrale permet de les éviter [3], et la difficulté de fermeture du fascia sont autant d'inconvénients associés à cette technique.

Les propriétés biomécaniques de ce type de montage sont une très bonne résistance aux forces de rotation [28] mais peu de résistance en flexion avec migration dorsale de l'ensemble broches-ciment [26].

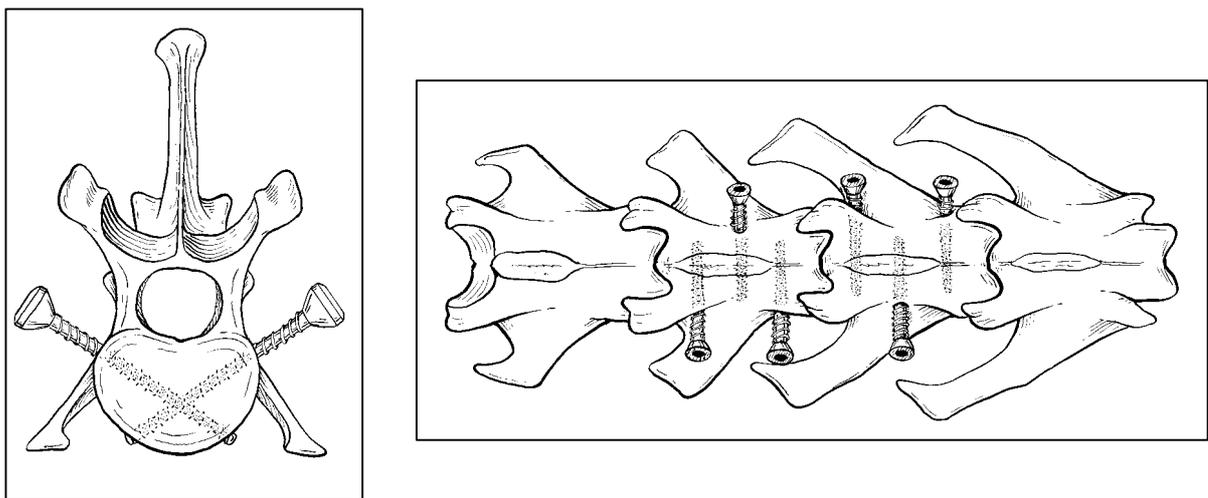


Figure n°6 : Position des vis pour l'application de ciment de méthylméthacrylate, d'après Wheeler [29]

I.2.6 Fixation des processus épineux par des broches et des cerclages

La technique originale utilisait une broche de Steinmann qui entourait quatre à cinq processus épineux. Des modifications furent apportées sur les broches : broche modelée en U ou utilisation de plusieurs broches parallèles. Le montage est terminé par la mise en place de cerclage en acier autour des processus épineux ou à travers les processus articulaires (figure n°7) pour solidariser les broches au rachis [12].

Cette technique peut paraître adaptée à l'immobilisation vertébrale chez les petits chiens (moins de 7 Kg) et chez les chats. Le faible coût et la facilité technique ne la rendent que plus intéressante. La longueur des broches entraîne une immobilisation importante de la colonne vertébrale ; de plus, les contraintes exercées sur le rachis peuvent amener au relâchement des cerclages ou à la fracture des processus.

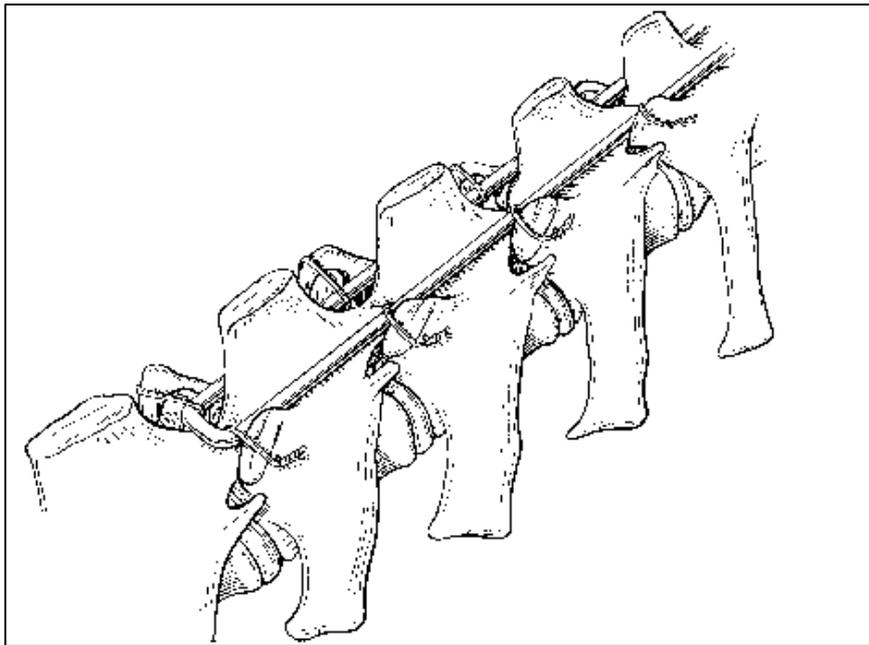


Figure n°7 : Broche en U et cerclages sur les processus épineux, d'après Wheeler [29]

I.2.7 Plaque vissée sur le corps vertébral par abord ventral

Cette nouvelle voie d'abord fut décrite par Cabassu en 1991 [5] : une approche ventrale permet d'utiliser les corps vertébraux comme point d'ancrage. Une plaque est mise en place associée à une broche anti-rotatoire, elle aussi dans le corps vertébral (figure n°8).

Aucune étude biomécanique n'est, à l'heure actuelle, parue sur ce sujet en médecine vétérinaire.



Figure n°8 : Radiographie d'une plaque vissée sur la face ventrale des corps vertébraux.

Lors du traitement chirurgical des fractures-luxations du rachis, quelle que soit la technique utilisée, la complication majeure résulte de la rupture du matériel ou du lâchage des implants [23]. Cette rupture a pour origine, outre les erreurs d'implantation ou une structure osseuse déficiente, les contraintes mécaniques exercées sur le rachis.

Lors des études mécaniques, les tests les plus fréquemment utilisés portent sur l'étude des forces à appliquer et sur les déformations des échantillons qui y sont associés. Ils permettent de définir la force lors de la rupture et la raideur des montages.

Walter [26] et Waldron [28], dans des études biomécaniques comparatives, se sont intéressés à la force et à la rigidité en flexion [26] et en rotation [28]. Walter a testé vingt et un rachis lombaires L1-L7 de chien repartis en cinq groupes correspondant aux cinq premières techniques de stabilisation décrites précédemment. Grâce à quatre broches implantées dans les corps vertébraux de L2 à L5, une force de flexion-extension est appliquée. Dans un premier temps les segments sont testés intact puis une instabilité L3-L4 est créée et stabilisée puis testée selon la même méthode. La raideur du montage en flexion, le moment de force pour une flexion de 10° et le mode de rupture sont analysés pour les cinq groupes testés et les segments intacts (tableau n°1).

Tableau n° 1 : Comparaison de la raideur du montage et du moment de force pour les différentes techniques de fixation du rachis, d'après Walter [26]

Technique de fixation	Raideur (N.m/deg)	Moment de force (N.m à 10°)
Broches en croix dans le corps vertébral	0,34 ± 0,17	2,73 ± 1,09
Broches + ciment de polyméthylméthacrylate	0,71 ± 0,25	7,11 ± 2,24
Plaque dorsale sur les processus épineux	0,95 ± 0,66	11,76 ± 5,84
Plaque dorso-latérale sur le corps vertébral	1,49 ± 0,51	16,63 ± 0,69
Association plaque dorsale et plaque dorso-latérale	3,35 ± 1,60	34,70 ± 13,81 <i>p</i> < 0,02
Segment intact	11,97 ± 3,86	> 44,51 ± 12,41

Walter en a conclu que la technique la plus stable était l'association de la plaque dorso-latérale sur le corps vertébral avec la plaque de Lubra, la plaque dorso-latérale seule venant ensuite. Par contre, il a démontré l'inefficacité des broches implantées dans le corps vertébral à résister aux forces de flexion.

Waldron, quant à lui, a collecté quarante deux segments vertébraux, répartis en six groupes : un groupe témoin où les segments sont intacts, les autres segments ont subi une exérèse du disque inter-vertébral et des deux processus articulaires (droite et gauche). Une partie de ces segments sont testés en rotation sans fixation chirurgicale, les autres sont testés en fonction de cinq techniques : plaque de Lubra, plaque dorso-latérale sur le corps vertébral, broches et ciment de polyméthylméthacrylate dans le corps vertébral, association plaque de Lubra et plaque dorso-latérale et l'association des broches avec du ciment et deux broches en croix. Tous les segments sont testés en rotation selon une vitesse de 3,3 ° par seconde. Les données analysées sont le point de rupture, le degré de rotation à la rupture et le mode de rupture (tableau n°2).

Tableau n°2 : Degré de rotation des différentes techniques testées au point de rupture et test statistique comparatif des segments fixés par rapport au segment intact, d'après Waldron [28].

Techniques de fixation	Segments intacts	Segments instables sans fixation	Plaque de Lubra	Plaque dorso-latérale	Broches + ciment	Plaque de Lubra + plaque dorso-latérale	Broches + ciment et broches en croix
Moyenne degré de rotation	32,8	50	43	43,7	31,7	48	35,3
Test de student	0,000		0,100	0,205	0,004	0,297	0,006

Waldron conclue de son étude que les broches implantées dans le corps vertébral avec du ciment de polyméthylméthacrylate est la technique qui apporte le plus de stabilité et qui se rapproche le plus des propriétés du segment vertébral intact en rotation.

L'implant idéal est celui qui est capable de résister à toute déformation quelle que soit la force appliquée. Dans leurs études, Walter et Waldron ont démontré qu'aucune des techniques testées ne présente l'ensemble des qualités requises, l'association de la plaque dorso-latérale sur le corps vertébral avec la plaque de Lubra montrant une grande rigidité en flexion et les broches avec du ciment montrant une grande stabilité en rotation (tableau n°3).

Tableau n°3 : Récapitulatif des données biomécaniques des différentes techniques d'après les études de Walter [26] et Waldron [28].

Techniques de fixation	Broches en croix	Broches + ciment	Broches /ciment +broches en croix	Plaque de Lubra	Plaque dorso-latérale	Plaque de Lubra + plaque dorso-latérale
Flexion	0	0	Non testé	++	+++	++++
Rotation	Non testé	++++	++++	+	+	0

Il en résulte que la période post-opératoire immédiate est un moment très délicat à gérer en chirurgie de stabilisation du rachis à cause des forces importantes, notamment de flexion, qui s'exercent sur la colonne vertébrale.

En conclusion, aucune technique actuelle n'est réellement efficace et les complications associées ne sont pas négligeables [23]. En chirurgie orthopédique humaine, une nouvelle technique est très utilisée depuis plusieurs années : les vis pédiculaires. Les premiers chirurgiens à s'y intéresser furent, en autres, King [9], Boucher [4], Roy-Camille [20]. Ce dernier a décrit une technique d'implantation à partir de repères simples et sans l'aide de l'imagerie : l'implantation « droit devant ». Au vue des erreurs possibles de placement, Weinstein [27] a par la suite décrit une autre méthode d'implantation avec l'utilisation systématique pré-opératoire d'un scanner permettant de connaître les dimensions des pédicules vertébraux dont la variabilité individuelle est importante. Une étude récente [10] relate le faible taux de complication associé à l'utilisation des vis pédiculaires. Pour diminuer encore ce risque la technologie est venue au secours des chirurgiens humains. Merloz a contribué à élaborer une technique d'implantation assistée par ordinateur [15-16]. L'imagerie pré-opératoire permet au chirurgien de définir la visée idéale et grâce à un système puissant de visée assistée par ordinateur la vis peut être implantée au site choisi avec une plus grande précision. Cette technologie fut testée sur des cadavres pour définir l'efficacité du système puis appliquée in vivo.

I.2.8 Vis pédiculaires

En médecine vétérinaire, l'implantation de vis dans les pédicules vertébraux en est à ses premiers pas. Une première étude morphométrique de Malet [11], réalisée sur l'ensemble du rachis lombaire, a établi une relation linéaire entre la largeur, la longueur et la « hauteur » du pédicule vertébral et le poids du chien. La description du point d'implantation des vis y est aussi faite : ce point idéal correspond à l'intersection de la droite joignant les processus articulaires caudaux des deux vertèbres adjacentes avec le plan transversal passant par le milieu de l'attache des processus transverses aux corps vertébraux (figure n°9), ce point étant le même que celui décrit par Roy-Camille chez l'homme [20]. Mais ses recommandations d'implantation ne sont pas applicables chez le chien, la vis serait inmanquablement insérée dans le canal rachidien. Il faut donc orienter la vis selon un angle spécifique à chaque vertèbre par rapport au plan transversal. A titre d'exemple, Malet propose pour L6 que la vis soit implantée dans une direction oblique avec un angle de 21°. L'étude de Méheust [14], réalisée sur cinq chiens, n'a montré aucune complication liée à l'utilisation des vis pédiculaires, aucun

lâchage d'implant, une parfaite tolérance du matériel et une absence d'évolution arthrosique. De plus, cette technique ne nécessite qu'un abord dorsal, peu délabrant et n'immobilisant qu'un segment vertébral très court. L'inconvénient majeur est que les vis pédiculaires humaines ne sont pas adaptées aux dimensions des pédicules canins, on ne peut les implanter que sur des chiens de moyenne ou grande taille.

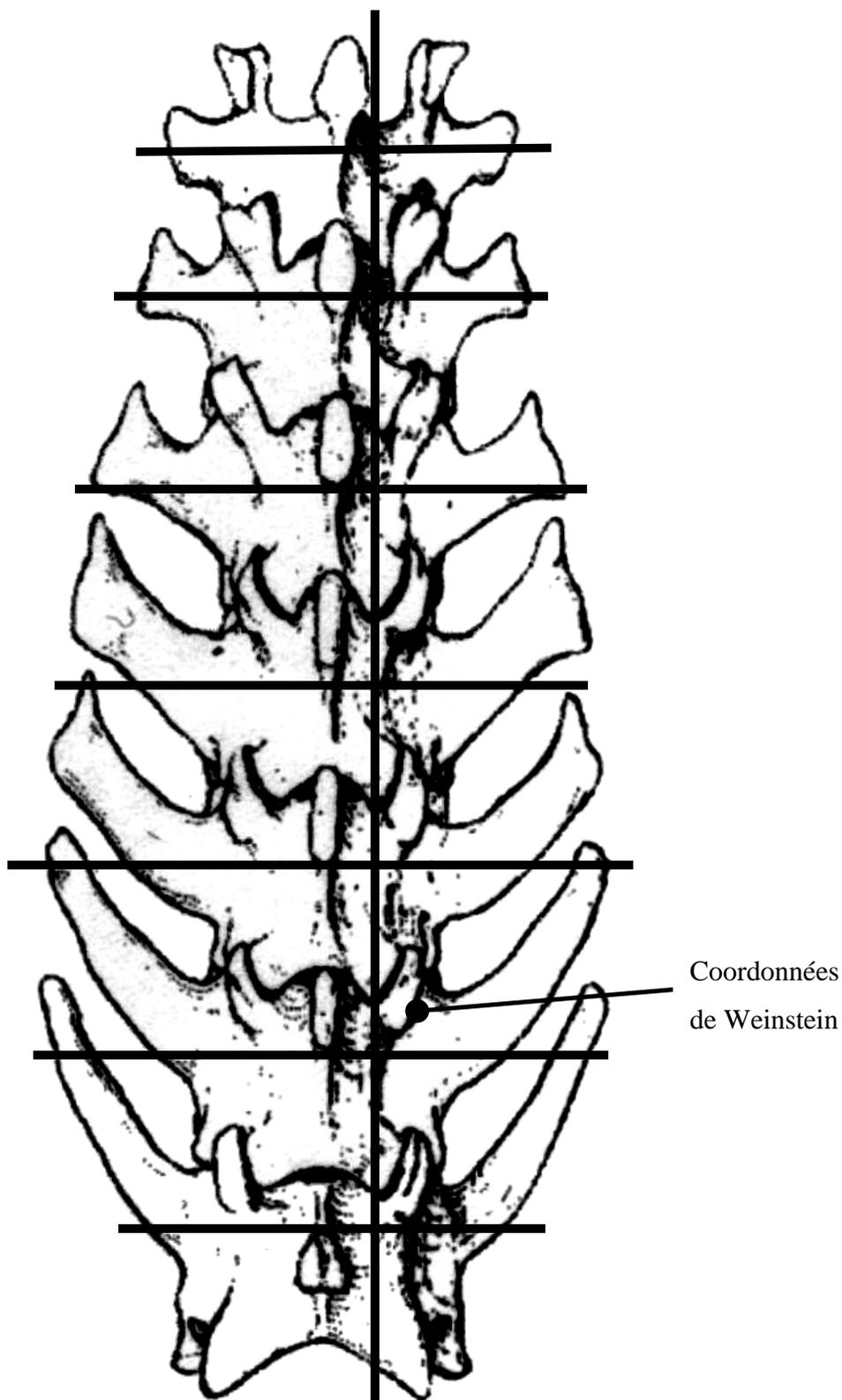


Figure n°9 : Coordonnées du point d'entrée des vis pédiculaires sur une vue dorsale du rachis lombaire du chien, selon Malet [11]

DEUXIEME PARTIE

ETUDE EXPERIMENTALE

De nombreuses techniques d'ostéosynthèse vertébrale existant en médecine vétérinaire aucune ne présente les qualités requises pour une stabilisation rachidienne idéale. Le pédicule vertébral est un site d'implantation très apprécié par les chirurgiens humains et de nombreuses études anatomiques, techniques et biomécaniques ont été publiées.

Récemment, une étude morphométrique a été menée sur les pédicules vertébraux des vertèbres lombaires du chien [11] et cette nouvelle technique a été utilisée pour traiter des instabilités lombo-sacrées [14]. Malgré cette réussite clinique, il faut tout de même tester les propriétés biomécaniques des vis pédiculaires. A l'heure actuelle aucune donnée à ce sujet n'est parue.

C'est pourquoi, l'objet de notre étude expérimentale est de réaliser une comparaison biomécanique de deux sites d'implantation pour les vis : le corps vertébral et le pédicule vertébral.

I.1 Matériels et méthodes

I.1.1 Matériels

I.1.1.1 Les animaux

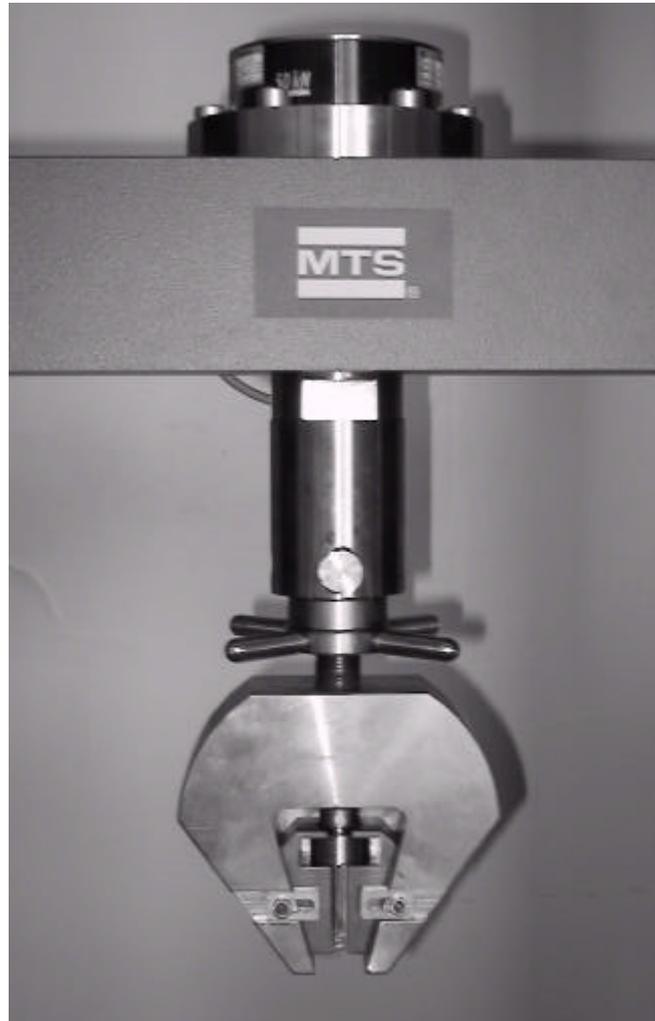
Pour cette étude, nous avons utilisé huit rachis de chiens sains de race Beagle, d'un poids moyen de 13 ± 4 kg. Notre étude a porté sur la sixième vertèbre lombaire (L6).

I.1.1.2 Le matériel d'ostéosynthèse

Les vis choisies étaient de 2mm de diamètre et de 38mm de longueur (SYNTHES, France). Pour l'implantation de ces vis une mèche de 1,5mm (SYNTHES, France), un taraud de 2mm (SYNTHES, France) et un pied à coulisse (FACOM) d'une précision de $\pm 0,2$ mm ont été utilisés.

I.1.1.3 Le système d'extraction

La machine de traction-compression à tester MTS (10/MH) est composée d'une partie fixe sur laquelle nous avons placé l'échantillon, d'une pince auto-serrante 18 kg, le tout relié à un ordinateur avec le logiciel Test Works 4.0 (photographie n°3).



Photographie n°3 : Système d'extraction.

I.1.2 Méthodes

I.1.2.1 Prélèvement des vertèbres L6

Dans un premier temps, le rachis lombaire a été prélevé en intégralité et une dissection de tous les muscles a été réalisée. Les prélèvements ont été congelés et décongelés conformément aux

recommandations [1]. Dans un second temps, la sixième vertèbre (L6) a été isolée. Le protocole suivant a été répété sur les huit vertèbres de l'étude.

I.1.2.2 Implantation des vis

Chaque vertèbre a reçu deux vis. La vis pédiculaire, ou vis N° 1, a été implantée selon les recommandations de l'étude morphométrique de Malet [11], elle était bi-corticale (figure n°10). La vis vertébrale, ou vis N°2, a été implantée selon un angle de 45° par rapport au plan transversal de la vertèbre [17], elle était bi-corticale (figure n°10).

Les vertèbres ont été percées avec la mèche de 1,5mm. Les longueurs percées ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse puis taraudées. Les vis ont été implantées de telle sorte que le premier filet des vis passait la seconde corticale. La longueur des vis a été choisie de manière à ce que leur tête dépasse du site d'implantation. En moyenne la longueur des vis qui dépassait de la vertèbre à l'endroit de leur implantation était de 23mm pour les N°1 et de 22mm pour les vis N°2.

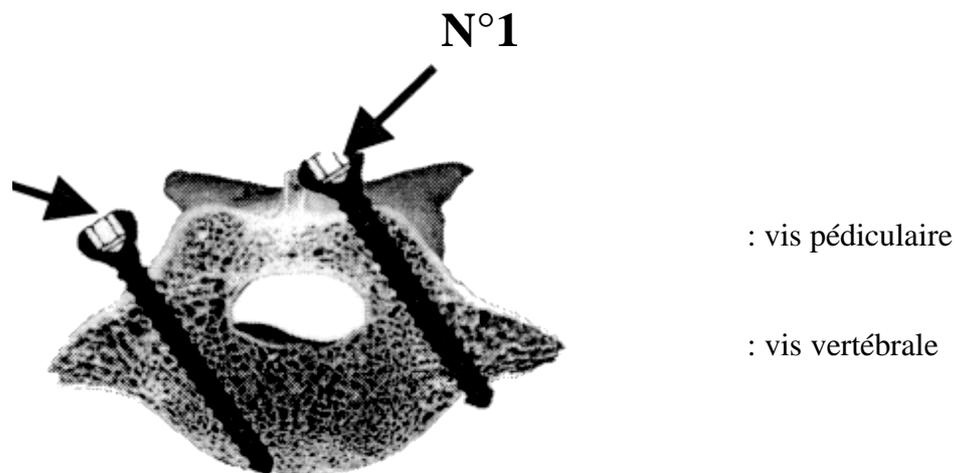


Figure n°10 : Coupe transversale illustrant les deux lieux d'implantation des vis

I.1.2.3 Inclusion dans la résine

Les vertèbres ont été inclus dans une résine de polyuréthane basse viscosité (LP725.CIBA) de telle manière que les vis à tester soient parfaitement verticales lors de la mise en place du bloc de résine dans la machine à tester.

Pour cela, l'extrémité de la vis pédiculaire qui dépasse de l'arc vertébral a été saisie dans une pince et la vertèbre soulevée. La pince a été placée dans une potence et la verticalité de la vis cm a été inséré sous la vertèbre et la résine coulée dans le récipient de telle manière qu'elle ne vienne pas au contact de la vis corticale. Après refroidissement et solidification de la résine, la chaque extrémité de la résine, permettant le passage de deux tiges filetées de 8mm.

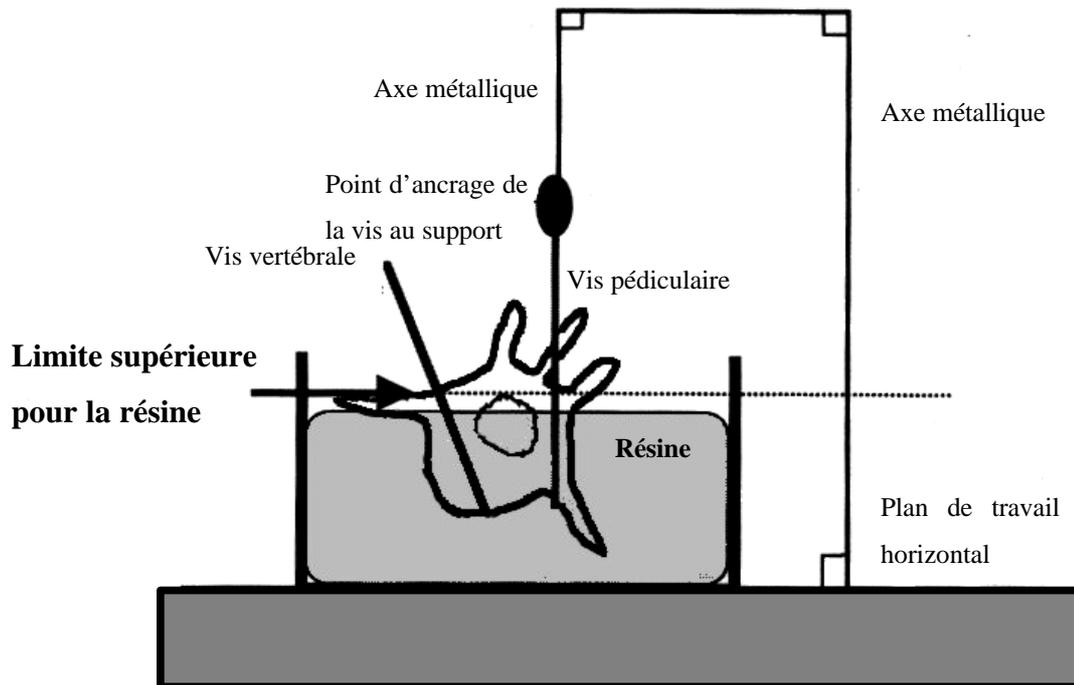


Figure n°11

I.1.2.4

Le bloc de résine a été solidement solidarisé sur la partie fixe de la machine à tester par deux boulons. Les mors de la pince ont été serrés sur la tête de vis. La pince étant parfaitement réalisée à la vitesse de 0,5mm/min jusqu'à rupture du montage. A la rupture, la force maximale d'extraction (FM), mesurée en Newton, a été notée ainsi que le mode de rupture.

Le bloc a été désolidarisé de la machine à tester.

I.1.2.5 Préparation pour l'extraction de la vis vertébrale

Le bloc de résine a été scié le plus près possible de la vertèbre à la scie à ruban. Le même protocole que 1.2.3 a été réalisé avec la vis vertébrale : fixation dans l'axe b, résine (figure n°12), de manière à ce que l'axe de la vis soit parfaitement vertical lorsque le bloc de résine a été placé sur la machine à tester.

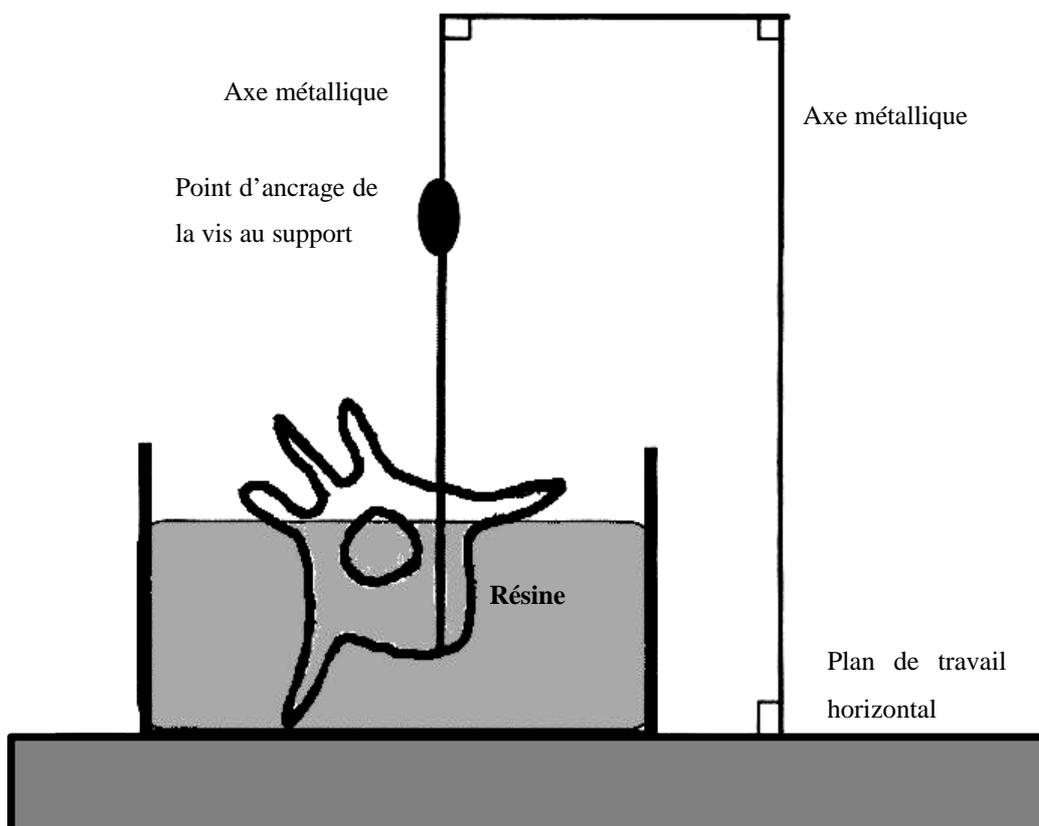


Figure n°12 : Positionnement de la vertèbre avec la vis N°2 et inclusion dans la résine

I.1.2.6 Extraction de la vis vertébrale

L'extraction de la vis vertébrale a été réalisée selon le même protocole que 1.2.4.

I.1.2.7 Analyse des résultats

Les calculs ont été réalisés avec le tableur Excel 98 de Microsoft. Après avoir vérifié l'homoscédasticité par un test de Fisher, l'analyse a été basée sur la comparaison statistique

des paramètres mesurés et calculés, suivant les sites implantés. Un test de Student unilatéral a été utilisé, la différence a été jugée significative lorsque $p < 0,05$.

I.2 Résultats

L'ensemble des valeurs mesurées et calculées sont regroupées dans le tableau n° 4.

Les longueurs d'implantation de la vis pédiculaire et de la vis vertébrale ne sont pas significativement différentes ($p= 0,138$).

Lors de l'extraction des vis, aucune rupture de ces dernières, ni aucune fracture des vertèbres n'a été constatée.

L'analyse statistique de la Force Maximale d'extraction (FM) montre que la FM des vis pédiculaires est significativement supérieure à celle des vis vertébrales ($p= 0,048$). De même, le rapport FM sur longueur d'implantation des vis pédiculaires est significativement supérieur à celui des vis implantées dans le corps vertébral ($p= 0,024$; tableau n°4).

Tableau n° 4 : Tableau regroupant les longueurs d'implantation, les forces d'extraction, le rapport FM/ longueur, les moyennes, écart-type et valeurs de p pour l'ensemble des données concernant l'extraction des vis pédiculaires et vertébrales sur la sixième vertèbre lombaire du chien.

L6	Longueur d'implantation (mm)		FM (N)		FM/Longueur d'implantation (N/mm)	
	Vis pédiculaire	Vis vertébrale	Vis pédiculaire	Vis vertébrale	Vis pédiculaire	Vis vertébrale
1	14,6	12,7	992,0	438,5	67,9	34,5
2	15,0	18,2	961,0	985,5	64,1	54,1
3	17,4	17,8	476,3	702,5	27,4	39,5
4	15,6	16,0	696,0	439,0	44,7	27,4
5	15,3	17,0	434,8	283,0	28,4	16,6
6	13,5	14,6	345,5	289,0	25,6	19,8
7	15,2	15,5	891,5	586,0	58,7	37,8
8	14,2	15,8	1118,0	226,0	78,7	14,3
Moyenne ± écart-type	15,1 ± 1,1	16,0 ± 1,5	739,4 ± 294,4	493,7 ± 255,8	49,4 ± 20,8	30,5 ± 13,6
p	0,138		0,048		0,024	

III TROISIEME PARTIE

DISCUSSION



Les critères de choix d'une technique de stabilisation vertébrale sont variés : le type de traumatisme, la taille et l'activité du patient, les propriétés mécaniques des tissus et de la structure accueillant les implants et enfin le prix. Quelle que soit la technique choisie, la qualité de l'ancrage osseux reste primordiale. L'extraction des implants n'est qu'une partie des tests biomécaniques que doit subir une nouvelle technique. Sa stabilité en flexion, en rotation et sa résistance à la fatigue doivent aussi être testées avant de conclure sur ses qualités biomécaniques [23]. Des études biomécaniques humaines ont prouvé que pour tester une vis seule, la force d'extraction était le meilleur indicateur de la rigidité, alors que les tests en flexion étaient des indicateurs de rigidité du montage en entier [30]. Pour notre étude, nous avons donc choisi de comparer les Forces Maximales d'Extraction (FM) des deux sites d'implantation : le corps vertébral et le pédicule.

D'autre part, il est unanimement reconnu [4-15-20-27] que le pédicule vertébral humain est la partie de la vertèbre la plus apte à accueillir un implant du point de vue biomécanique. C'est dans cette optique que nous avons essayé de démontrer chez le chien la supériorité du pédicule sur le corps vertébral. Nous avons donc choisi d'analyser nos résultats avec un test statistique de Student unilatéral, au seuil de 5 %.

La région lombaire est une zone de la colonne vertébrale fréquemment atteinte lors de traumatisme rachidien. Pour certains auteurs [19] le traitement des fractures vertébrales fait appel à une contention externe. Cependant, dans les cas où la douleur persiste et/ou le statut neurologique s'aggrave, une fixation interne est nécessaire. Dans la majorité des techniques, la visualisation du corps vertébral est nécessaire. En raison de la présence de l'ilium et de la très grande difficulté d'abord dorso-latéral du corps vertébral, la septième vertèbre lombaire n'offre aucun intérêt pour l'étude comparative des deux sites d'implantation qui a été réalisée. En outre, les pédicules vertébraux de L6 et L7 sont les plus larges [11], tous ces éléments nous ont donc conduit à choisir L6 pour notre étude.

La qualité de l'ancrage osseux est fonction de la structure de l'os mais aussi des propriétés physiques de l'implant, la longueur d'implantation étant l'une des plus importantes. Les résultats de notre étude montrent qu'il n'y a pas de différence de longueur d'implantation entre le pédicule vertébral et le corps vertébral. La longueur d'implantation disponible n'est donc pas un facteur limitant pour le vissage pédiculaire de L6 chez le chien.

La Force Maximale d'extraction correspond à la résistance de l'implant aux forces de traction, et donc à la qualité de l'ancrage de la vis dans la structure osseuse. La force moyenne des vis pédiculaires est significativement supérieure à celle des vis vertébrales. Cependant,

ces Forces Maximales sont très variables d'une vertèbre à l'autre, avec des coefficients de variation de 40 à 50 %. En effet au sein des vis pédiculaires il existe un facteur trois entre la sixième (345,5 N) et la huitième (1118,0 N) vertèbre testée pour une différence de longueur d'implantation de 0,7 mm (Tableau n°4). Cette variabilité ne peut pas être expliquée par le paramètre longueur d'implantation mais plus probablement par la structure osseuse. De même, pour la troisième vertèbre, la force d'extraction est supérieure pour la vis vertébrale, contrairement aux autres vertèbres. Cette inversion de tendance peut aussi être reliée à la structure du corps vertébral sans doute plus dense par rapport au pédicule pour cette vertèbre. La qualité d'ancrage de l'implant est liée aux différentes structures traversées. Weinstein [27] a montré, chez l'homme, que la résistance à l'extraction était due à 60 % au pédicule vertébral lui-même, que la traversée du corps vertébral améliorerait de 15 à 20 % cette résistance et que pour finir le passage à travers la corticale opposée ajoutait 20 à 25 % de résistance supplémentaire. Ainsi chez l'homme, la qualité d'implantation est majoritairement assurée par le pédicule vertébral. Il paraît vraisemblable de penser que chez le chien il en est de même. La longueur d'implantation entre les deux sites n'étant pas significativement différente, nous avons calculé le rapport Force Maximale sur longueur d'implantation pour s'affranchir de ce facteur. Cette valeur moyenne pour les vis pédiculaires est toujours supérieure à celle des vis vertébrales. La variabilité des Forces Maximales ne peut donc pas être expliquée par les différences de longueur d'implantation. La variabilité des résultats dépend d'autres paramètres que la longueur d'implantation. Le diamètre de l'implant est un facteur de variation important ainsi que les propriétés mécaniques de la structure traversée. Malgré les nombreuses études sur la morphométrie des pédicules humains il n'existe pas de règle pour choisir le diamètre de l'implant. Wittenberg [30] a démontré que plus le diamètre est proche du diamètre du pédicule plus la force d'extraction est importante. En théorie, la vis idéale serait la vis de plus grand diamètre possible. Cependant il y a quelques limites à cette théorie, il peut se produire lors de l'implantation des fractures des corticales aux conséquences néfastes.

De tous les facteurs de variation de la force d'extraction, la structure osseuse est sans doute la plus importante. Un moyen de la qualifier serait de mesurer la densité osseuse du site à implanter. Cette densité pourrait permettre à elle seule d'expliquer les variations observées dans notre étude. En effet son rôle est déjà prouvé en médecine humaine [8]. Il existe de nombreuses techniques de densitométrie en médecine humaine, mais ces techniques sont difficilement applicables en médecine vétérinaire. Le coût, la durée de l'examen sur un animal, le manque de références pour les espèces animales font que la densitométrie reste une

pratique marginale dans l'exercice courant et est plutôt réservée au domaine expérimental. Cependant une nouvelle technique, la densimétrie osseuse digitalisée, a été récemment validée du point de vue exactitude et reproductibilité des valeurs. Cette technique nécessite peu de matériel onéreux et des études supplémentaires pourraient sans doute apporter une amélioration dans la connaissance des densités osseuses en pré-opératoire et ainsi améliorer l'efficacité des traitement chirurgicaux.

De nombreux autres facteurs ont été étudiés [30] pour s'assurer du meilleur ancrage possible des vis pédiculaires : méthode de forage, le taraudage, l'orientation de la vis, l'utilisation de ciment de polyméthylméthacrylate. En médecine humaine, l'ostéoporose vertébrale est une affection qui nécessite un stabilisation chirurgicale optimale. En médecine vétérinaire, cette entité est peu rencontrée, mais les défauts de tenue d'un implant vertébral sont fréquents et lourds de conséquence chez le chien. Toutes ces études réalisées chez l'homme sont autant de domaines de recherche applicable chez le chien pour chercher à optimiser les techniques d'ostéosynthèse vertébrale.

Dans notre étude, le pédicule vertébral présente une Force Maximale d'extraction supérieure au corps vertébral, la densité osseuse permettant de l'expliquer. Le problème est, qu'à l'heure actuelle, le matériel utilisé dans la seule étude in vivo [14] connue est du matériel destiné à la chirurgie humaine, n'autorisant son utilisation que sur des chiens de moyen à grand gabarit. Des études biomécaniques complémentaires pour renforcer ce résultat pourraient ouvrir un marché aux fabricants de matériel d'ostéosynthèse dans l'élaboration de matériel adapté.

CONCLUSION

Une étude morphométrique préliminaire sur les pédicules vertébraux de chien avait démontré que cette structure pouvait accueillir du matériel d'ostéosynthèse [11]. Notre étude, quant à elle, démontre que le pédicule vertébral de chien offre aux vis une meilleure résistance à l'extraction par rapport au corps vertébral. Le rapport Force Maximale sur longueur implantée montre que cette différence significative est liée à la structure osseuse du site d'implantation.

Il faut garder à l'esprit que le vissage pédiculaire est une technique délicate, demandant une parfaite connaissance anatomique et une expérience chirurgicale. Cependant, cette technique permet la réalisation de montages très stables sans évolution arthrosique secondaire ou lâchage d'implants [14]. Des études, chez l'homme, montrent que le vissage pédiculaire permet une fusion vertébrale plus rapide et de qualité supérieure par rapport aux autres techniques.

Des études biomécaniques de stabilité en flexion et en rotation, ainsi que des études sur les pédicules sont nécessaires pour révéler les avantages et inconvénients de cette nouvelle technique.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] AN, Y.H., DRAUGHN, R.A.
Mechanical properties and testing methods of bone.
In: AN, Y.H., FRIEDMAN, R.J.
Animals Models in Orthopaedic Research.
U.S.A.: AN, Y.H., FRIEDMAN, R.J., 1999, 139-163.
- [2] BARONE, R.
Colonne vertébrale: vertèbres lombaires.
In : BARONE, R.
Anatomie comparée des mammifères domestiques, tome 1 : ostéologie
Paris : Vigot frères, 1986, 377-395.
- [3] BLASS, C.E., SEIM, H.B.
Spinal fixation in dogs using Steinmann pins and methylnmethacrylate.
Veterinary Surgery, 1984, **13**, 203-210.
- [4] BOUCHER, H.H.
Method of spinal fusion
The journal of Bone and Joint Surgery, 1959, **41B**,4-9.
- [5] CABASSU, J.P.
Traitement chirurgical des fractures et luxations cervicales et thoraco-lombaires.
Enseignement post-universitaire de neurologie, Toulouse, 09 juin 2000.
- [6] GAGE, E.D.
A new method of spinal fixation in the dog. (A preliminary report)
Veterinary Medicine and Small Animal Clinician, 1969, **64**, 295-303.
- [7] GARCIA, J.N.P., MILTHORPE, B.K., RUSSEL, D.et al.
Biomechanical study of canine spinal fracture fixation using pins or bone screws with polymethylmethacrylate.
Veterinary Surgery, 1994, **23**, 322-329.

- [8] HALORSON, T.L., KELLEY, L.A, THOMAS, K.A. et al
Effects of bone mineral density on pedicle screw fixation.
Spine, 1994, **19**, 21:2415-2420.
- [9] KING, D.
Internal fixation for lumbosacral fusion.
The Journal of Bone and Joint Surgery, 1948, **30 A**: 560
- [10] LONSTEIN, J.E., DENIS, F. et al.
Complications associated with pedicle screws
The Journal of Bone and Joint Surgery, 1999, **81-A**, 11, 1519-1528.
- [11] MALET, C.
Etude morphométrique des pédicules vertébraux lombaires chez le chien : application chirurgicale.
Thèse de Doctorat vétérinaire: Toulouse: à paraître en 2002
- [12] MATTHIESEN, D.T.
Thoracolumbar spinal fractures/ luxations: surgical management
Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian, 1983, **10**, 867-878.
- [13] McANULTY, J.F., LENEHAN, T.M., MALETZ, L.M.
Modified segmental spinal instrumentation in repair of spinal fractures and luxations in dogs.
Veterinary Surgery, 1986, **15**, 143-149.
- [14] MEHEUST, P.
Une nouvelle technique de stabilisation lombo-sacrée: l'arthrodèse par vissage pédiculaire, étude clinique de 5 cas.
Pratique Médicale et Chirurgicale des Animaux de Compagnie, 2000, **35**, 201-207.
- [15] MERLOZ, P., TONETTI, J., EID, A. et al
Computer assisted spine surgery.
Clinical Orthopaedics and Related Research, 1997, **337**, 86-96

- [16] MERLOZ, P, TONETTI,J., PITTET, L. et al.
Pedicle screw placement using image guided techniques.
Clinical Orthopaedics and Related Research, 1998, **354**, 39-48
- [17] MEYNAUD-COLLARD, P., MATHON,D., ASIMUS, E. et al
La densitométrie : revue bibliographique.
Revue Médecine Vétérinaire, 2001, **152**, 1, 49-60.
- [18] MEYNAUD, P., MATHON, D., DARMANA, R. et al.
Le densitométrie osseuse digitalisées (DOD) : étude expérimentale.
Revue Médecine Vétérinaire, 2001, **152**, 2, 171-182.
- [19] PATTERSON, R.H., SMITH, G.K.
Backsplinting for treatment of thoracic and lumbar fracture/luxation in the dog:
principles of application and case series.
Veterinary Comparative Orthopaedics and Traumatology, 1992, **5**, 179-187.
- [20] ROY-CAMILLE, R., SAILLANT, G, MALLEZ, C.
Internal fixation of the lumbar spine with pedicle screw plating.
Clinical Orthopaedics and Related Research, 1986, **203** : 7
- [21] ROUSE, G.P., MILLER, J.I.
The use of methylmethacrylate for spinal stabilization.
Journal of the American Animal Hospital Association, 1975, **11**, 418-425.
- [22] RUBERTE, J., SAUTET, J.
Atlas d'anatomie du chien et du chat.
Barcelone : Multimédica, 1998. Tome 3, p 16.
- [23] SELCER, R.R., BUBB, W.J., WALKER, T.L.
Management of vertebral column fractures in dogs and cats: 211 cases (1977-1985).
Journal of the American Veterinary Medical Association, 1991, **198**, 1965-1968.

- [24] SHORES, A., NICHOLS, C., KOELLING, H.A., FOX, W.R.
Combined Kirschner-Ehmer apparatus and dorsal spinal plate fixation of caudal lumbar fractures in dogs: biomechanical properties.
American Journal of Veterinary Research, 1988, **49**, 1979-1982.
- [25] SWAIN, S.F.
Vertebral body plating for spinal immobilization.
Journal of the American Veterinary Medical Association, 1971, **158**, 1683-1695.
- [26] WALTER, M.C., SMITH, G.K., NEWTON, C.D.
Canine lumbar spinal internal fixation techniques. A comparative biomechanical study.
Veterinary Surgery, 1986, **15**, 191-198.
- [27] WEINSTEIN, J.N., RYDEVIK, B.L., RAUSCHNING, W.
Anatomic and technical considerations of pedicle screw fixation.
Clinical Orthopaedics and Related Research, 1992, **284**, 34-46.
- [28] WALDRON, D.R., SHIRES, P.K., McCAIN, W. et al.
The rotational stabilizing effect of spinal fixation techniques in an unstable vertebral model.
Progress in Veterinary Neurology, 1991, **2**, 105-110.
- [29] WHEELER, S.J., SHARP, N.J.H.
Trauma.
In: WHEELER, S.J., SHARP, N.J.H.
Small animal spinal disorders: diagnosis and surgery.
Barcelone, Mosby-Wolfe, 1994. 171-191.
- [30] WITTENBERG, R.H., LEE, K., SHEA, M. et al
Effect of screw diameter, insertion technique, and bone cement augmentation of pedicular screw fixation strength.
Clinical Orthopaedics and Related Research, 1993, **296**, 278-287

[31] YTURRASPE, D.J., LUMB, W.V.

The use of plastic spinal plates for internal fixation of the canine spine.

Journal of the American Veterinary Medical Association, 1972, **161**, 1651-1657.

