
TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES

1

I. INTRODUCTION : ETAT DE LA QUESTION SUR LES AVULSIONS DU PLEXUS BRACHIAL	3
1. RAPPELS ANATOMIQUES	4
2. PATHOGENIE ET PHYSIOPATHOLOGIE	11
3. DIAGNOSTIC	13
3.1. Diagnostic clinique	13
3.1.1. Examen orthopédique	13
3.1.2. Examen neurologique	15
3.2. Diagnostic différentiel	18
3.3. Examens complémentaires	19
4. TRAITEMENT CHIRURGICAL DES AVULSIONS DU PLEXUS BRACHIAL	20
4.1. Les limites actuelles du traitement chirurgical	20
4.2. La réimplantation radiculaire	21
4.3. Neurotisations chirurgicales	22
4.3.1. Définition	22
4.3.2. Neurotisations musculaires	22
4.3.3. Anastomoses nerveuses	22
4.3.4. Neurotisation croisée	24
5. BUTS DE L'ETUDE	24
II. MATERIELS ET METHODES	27
1. ETUDE SUR PIECES ANATOMIQUES	27
1.1. Dissection et mesures	27
1.2. Constitution radiculaire	28
1.2.1. Technique d'inclusion en résine et de préparation des sections	28
1.2.2. Mise en œuvre des mesures	29
2. ETUDE SUR ANIMAL VIVANT	30
2.1. Matériel animal	30
2.2. Procédure chirurgicale	31
2.2.1. Anesthésie	31
2.2.2. Temps opératoires	31
2.3. Moyens d'évaluation	32
2.3.1. Evaluation clinique	32
2.3.2. Evaluation électrophysiologique	33
III. RESULTATS	45
1. ETUDE SUR PIECES ANATOMIQUES	45
1.1. Mesures des racines	45
1.2. Etude morphométrique	46
2. EVALUATION CLINIQUE	60
2.1. Examen clinique	60
2.2. Examen neurologique	61
3. EVALUATION ELECTROPHYSIOLOGIQUE	63
3.1. Electromyographie de détection (EMG)	63

3.2. Potentiels évoqués musculaires	64
3.3. Potentiels évoqués sensitifs	66
4. ANALYSE CRITIQUE DU PROTOCOLE EXPERIMENTAL	69
4.1. Critique du matériel	69
4.2. Critique de la méthode	70
5. ANALYSE DES RESULTATS	71

<u>CONCLUSION</u>	73
--------------------------	-----------

<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	75
-----------------------------	-----------

<u>ANNEXES</u>	81
-----------------------	-----------

I. INTRODUCTION : ETAT DE LA QUESTION SUR LES AVULSIONS DU PLEXUS BRACHIAL

Les traumatismes du plexus brachial sont les affections neurologiques les plus fréquentes touchant le membre thoracique, chez l'Homme (45) comme chez le chien (58). Toutes les lésions traumatiques élémentaires des nerfs périphériques (neurapraxie (contusion sans lésion structurale ou anatomique), axonotmésis (solution de continuité de l'axone sans rupture des structures enveloppantes), neurotmésis (solution de continuité complète de l'axone et des structures enveloppantes)) peuvent coexister dans chacun des éléments rentrant dans la constitution du plexus (racines des nerfs segmentaires, rameaux ventraux de ces mêmes nerfs et nerfs issus du plexus).

La lésion la plus grave est l'avulsion radiculaire, plus couramment appelée avulsion du plexus brachial, qui correspond à l'arrachement d'une racine nerveuse de la moelle épinière. Cette lésion se rencontre chez le chien, le plus souvent suite à un accident sur la voie publique (30), lors d'une extension forcée avec ou sans abduction. Dans la grande majorité des cas, il n'y a pas de fracture accompagnant l'avulsion.

1. Rappels anatomiques

Les radicelles qui émergent, en nombre variable, de la moelle en région dorso-latérale et ventro-latérale forment respectivement les racines dorsales et ventrales (13). La racine dorsale (sensitive) est constituée de prolongements axonaux issus des corps cellulaires situés dans les ganglions spinaux localisés plus distalement, à proximité du foramen intervertébral, sur les racines dorsales. La racine ventrale (motrice) contient les prolongements axonaux des neurones issus de la corne ventrale de la substance grise de la moelle épinière. Les racines dorsales et ventrales, cheminent hors du canal vertébral par le foramen intervertébral puis se rejoignent pour donner naissance au nerf spinal qui se divise alors en plusieurs rameaux (figure 1):

- le rameau méningé, qui innerve les méninges
- le rameau communicant, qui contient des fibres orthosympathique et rejoint le tronc sympathique
- le rameau dorsal, qui contient les éléments moteurs et sensitifs à destination de la partie dorsale de l'encolure et du tronc (partie crâniale)
- le rameau ventral, qui contient les éléments moteurs et sensitifs qui entrent dans la constitution du plexus brachial.

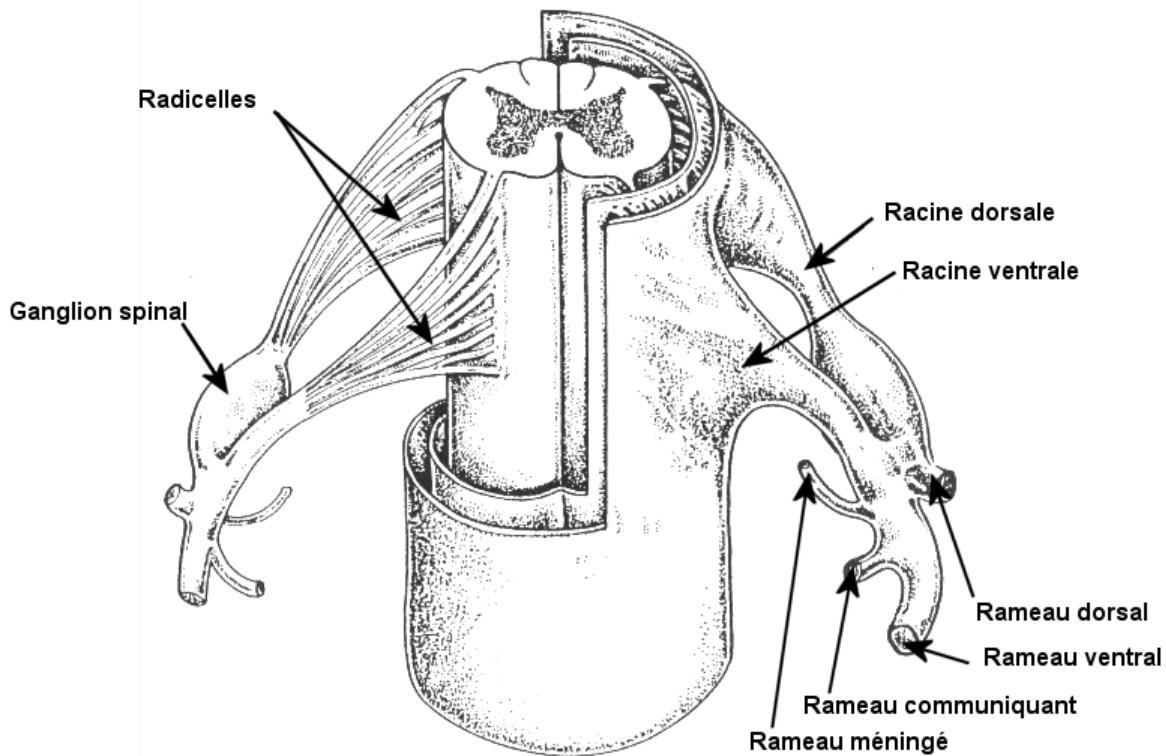


Figure 1 : Constitution d'un nerf spinal (C5 à T2) à partir des radicelles puis des racines ventrale et dorsale (d'après Lavieille (32)).

Les rameaux ventraux des nerfs spinaux C5 à T2 forment ainsi le plexus brachial donnant naissance aux nerfs desservant le membre thoracique.

Il existe en réalité certaines variations anatomiques (1) puisque le plexus peut être constitué à partir des rameaux ventraux issus de C6-C7-C8-T1 dans 58,6% des cas, C5-C6-C7-C8-T1 dans 20,7% des cas, C6-C7-C8-T1-T2 dans 17,2% des cas, et C5-C6-C7-C8-T1-T2 dans 3,4% des cas.

La figure 2 représente les origines du plexus et des nerfs dans le cas où celui-ci est constitué à partir des rameaux ventraux de C6 à T2.

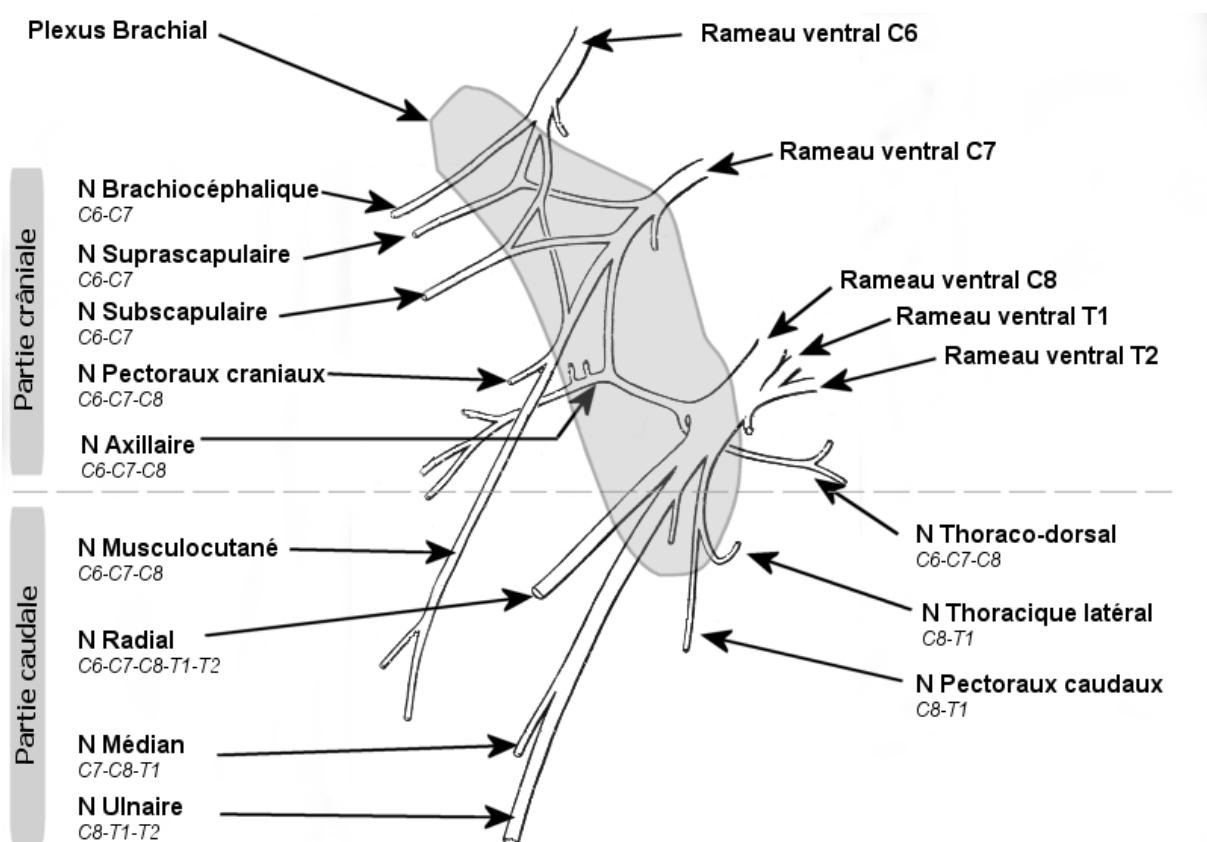


Figure 2 : Origine du plexus brachial et des nerfs du membre thoracique (d'après Evans (13)).

Le plexus brachial est situé sous les muscles superficiels du cou et à la face médiale du membre thoracique, en région profonde par rapport aux muscles pectoraux et au muscle brachiocephalique.

La partie crâniale du plexus brachial est constituée à partir des rameaux ventraux des racines C5, C6, C7 et C8 (50). La racine C5 est intégrée de manière inconstante au sein du plexus. Les nerfs axillaire (C5, C6, C7, C8), subscapulaire (C5, C6, C7), suprascapulaire (C5, C6, C7) et musculocutane (C6, C7, C8) en sont issus (51).

La partie caudale du plexus brachial, constituée à partir des racines C6, C7, C8, T1 et T2, la racine T2 étant intégrée de manière inconstante au plexus, donne naissance aux trois principaux nerfs du membre thoracique, le nerf radial (origine de C6 à T2 dont principalement C7 et C8), le nerf médian (origine de C7 à T2 dont principalement C8 et T1), et le nerf ulnaire (origine de C7 à T2 dont principalement T1) (50,51). L'anatomie topographique de ces trois nerfs est décrite dans la figure 3.

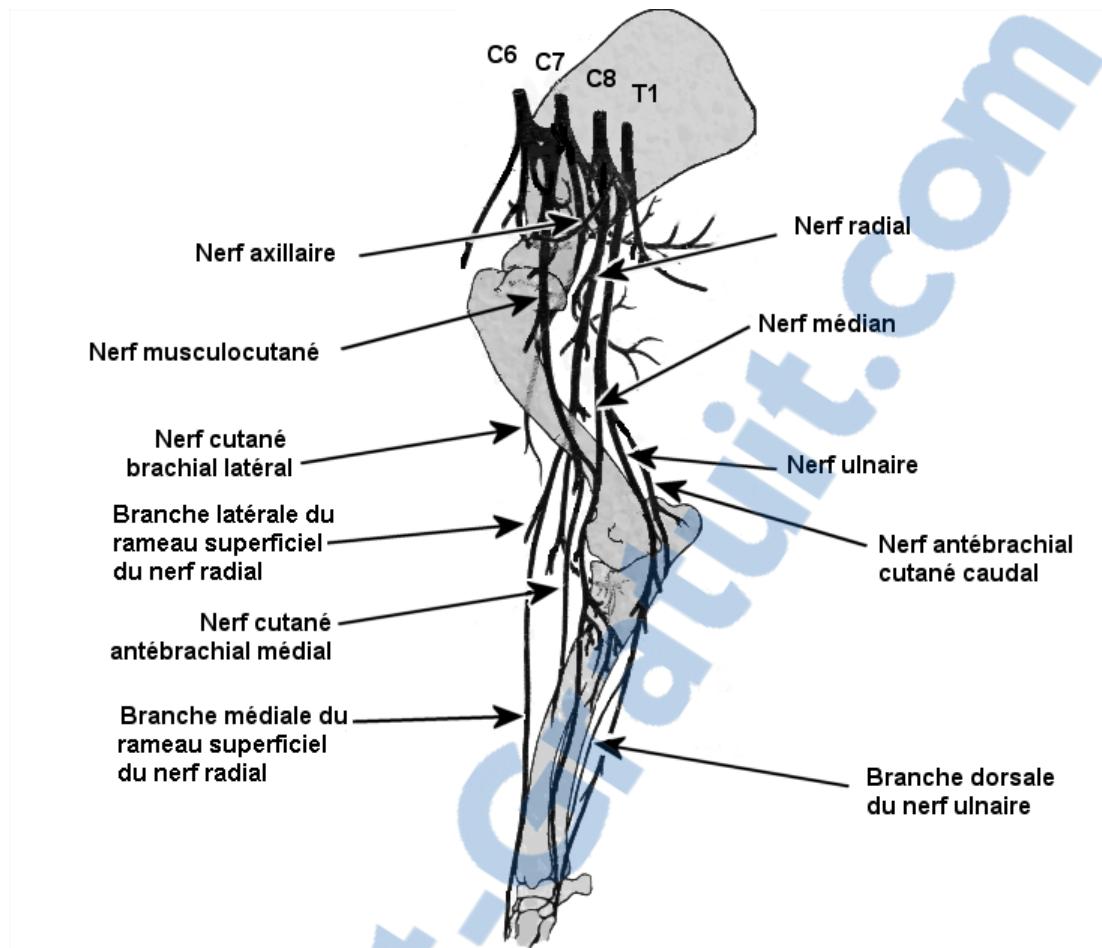


Figure 3 : Anatomie topographique du membre antérieur en vue médiale (d'après Evans (13)).

On peut noter, après ces constations anatomiques, que le rameau ventral C8 participe à tous les nerfs principaux du plexus brachial, sans jamais participer exclusivement à un seul d'entre eux.

Les nerfs radial, médian et ulnaire sont tous les trois des nerfs mixtes, à la fois sensitifs et moteurs.

Le nerf radial, le plus important nerf du membre thoracique, innervé le muscle triceps brachial (extenseur du coude), ainsi que les muscles extenseurs du carpe et des doigts. Il est le nerf sensitif pour toute la partie cranialo-latérale de l'avant bras et de la partie dorsale de la main, à l'exception du doigt V.

La figure 4 indique les zones cutanées pour lesquelles le nerf sensitif est le nerf radial.

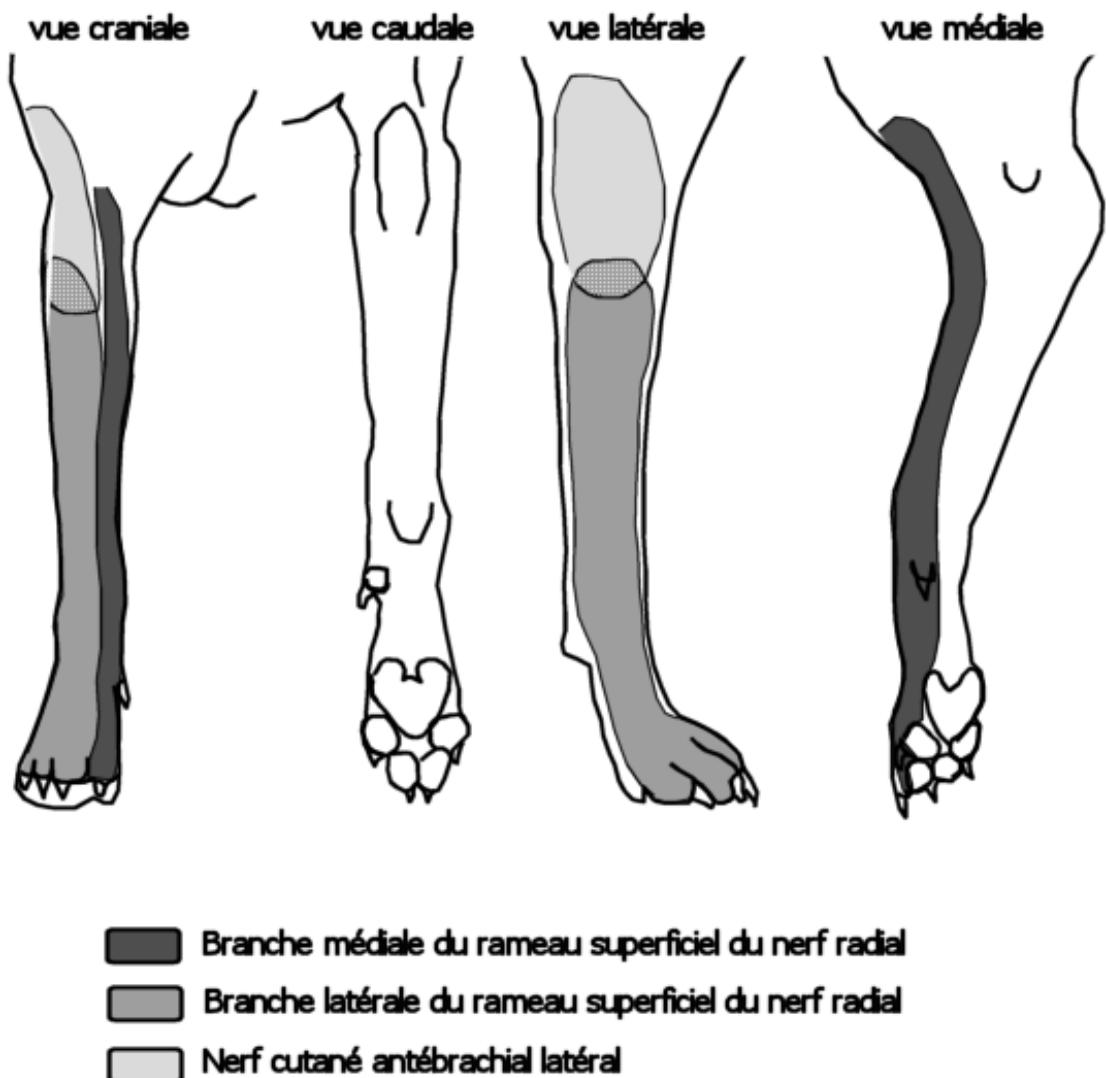
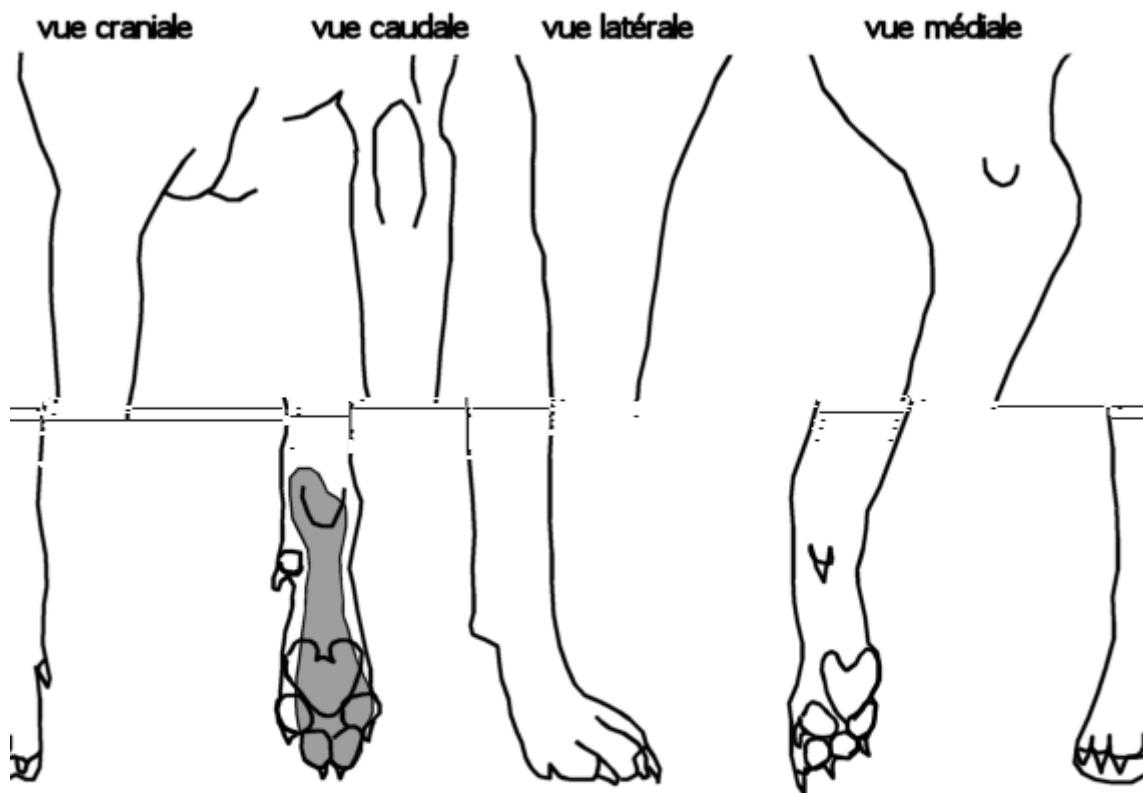


Figure 4 : Représentation schématique des aires cutanées sensitives de l'avant bras et de la main du nerf radial et de ses prolongements (d'après Evans (13)).

Le nerf médian innervé certains muscles fléchisseurs : le fléchisseur radial du carpe, le fléchisseur superficiel des doigts et le fléchisseur profond des doigts (dont l'innervation est aussi assurée par le nerf ulnaire). Il est sensitif pour la partie palmaire de la main.

La figure 5 illustre les zones cutanées pour lesquelles le nerf sensitif est le nerf médian.



■ Rameaux palmaires du nerf médian

Figure 5 : Représentation schématique des aires cutanées sensitives du nerf médian (d'après Evans (13)).

Le nerf ulnaire, qui suit approximativement le trajet du nerf médian, innervé les muscles fléchisseurs de l'avant bras également, le fléchisseur ulnaire du carpe et le fléchisseur profond des doigts (dont l'innervation est aussi assurée par le nerf médian). Il est sensible pour la partie caudale de l'avant bras et la partie palmaire de la main ainsi que pour le doigt V.

La figure 6 montre schématiquement les zones cutanées innervées par le nerf ulnaire.

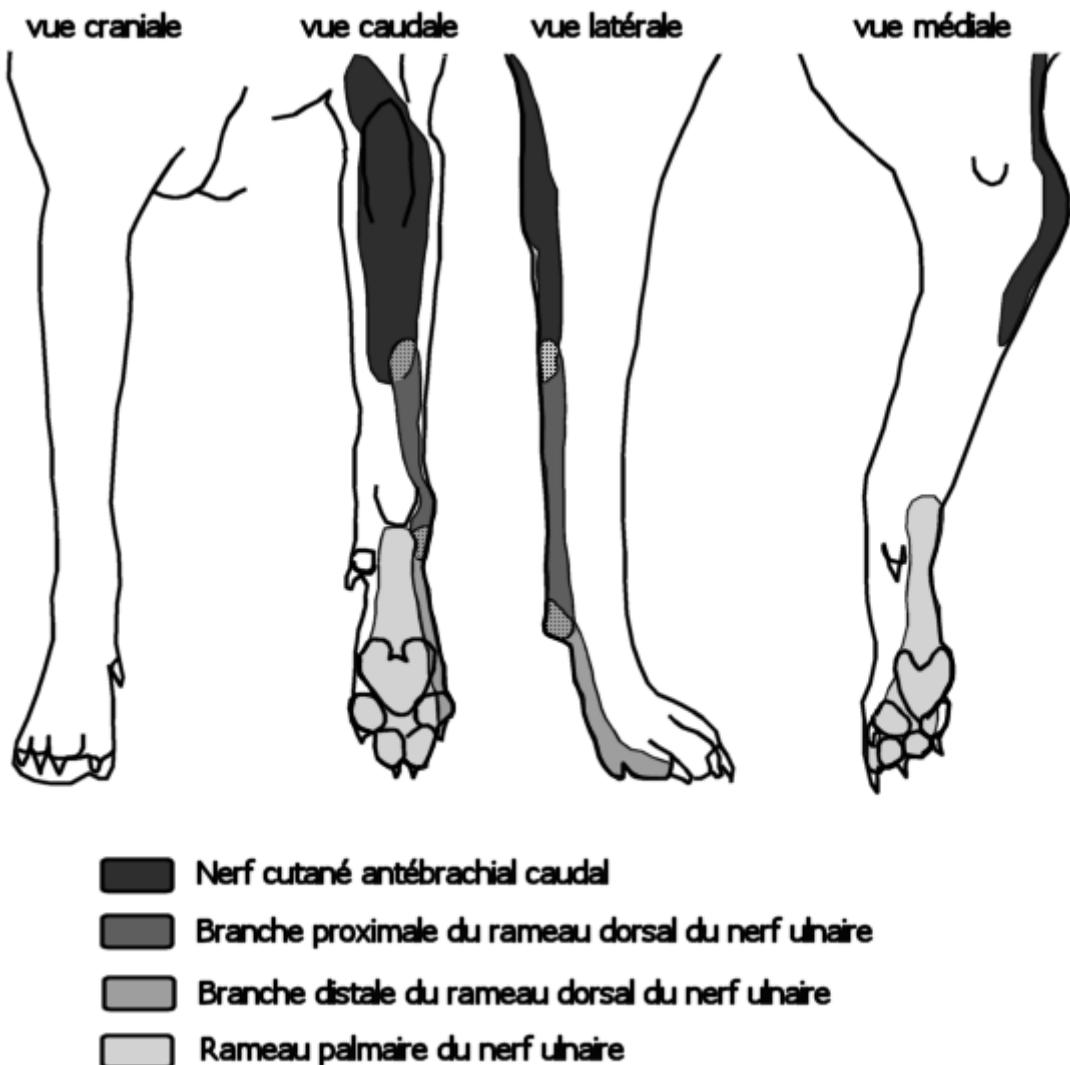


Figure 6 : Représentation schématique des aires cutanées sensitives de l'avant bras et de la main du nerf ulnaire (d'après Evans (13)).

La figure 7 est un schéma récapitulatif de l'innervation sensitive de la face palmaire de la main.

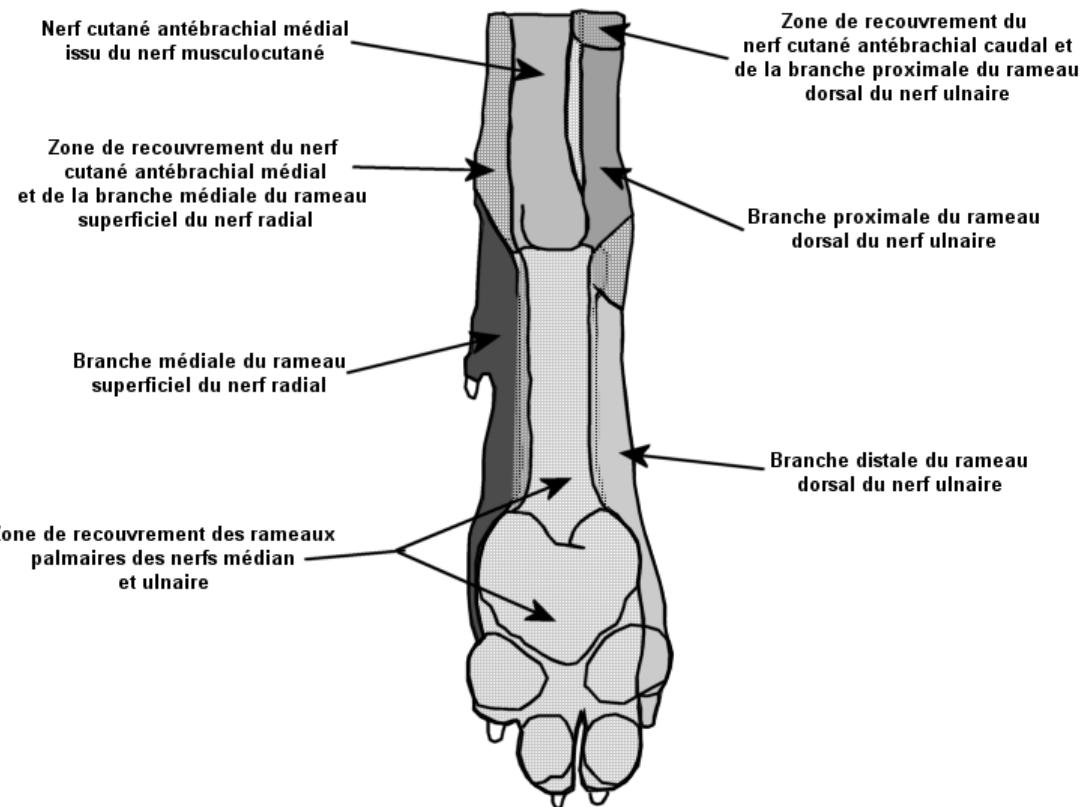


Figure 7 : Représentation schématique des aires cutanées sensitives de la face palmaire de la main (d'après Evans (13)).

2. Pathogénie et physiopathologie

Les avulsions du plexus brachial sont la conséquence de traumatismes externes, généralement en hyper-extension, infligés au membre thoracique.

L'avulsion peut se produire au niveau de la racine elle-même ; elle s'accompagne alors d'une rupture de la dure-mère là où celle-ci s'accoste normalement à l'arachnoïde et un méningococèle s'installe ; mais elle peut également n'intéresser que les radicelles et dans ce cas, ne pas provoquer de rupture de la dure-mère ni de méningococèle. Dans la quasi-totalité des cas les deux phénomènes se produisent conjointement.

Chez l'Homme, les racines antérieures (ventrales chez le chien) sont plus fréquemment atteintes que les racines postérieures (dorsales chez le chien) (45) du fait d'une plus faible résistance à la rupture et de la présence d'un anneau pial proche de l'émergence radiculaire, point de forte résistance, favorisant l'avulsion. On constate la même chose chez le chien, les racines ventrale (motrices) sont plus souvent touchées que les racines dorsales (sensitives).

Chez l'Homme, l'arrimage fibro-ligamentaire solide des racines C4-C5-C6 aux apophyses transverses privilégie le mécanisme de rupture extra-vertébrale des racines ou de leurs prolongements tronculaires. A l'inverse, les racines C7-C8-T1, moins solidement fixées sont plus fréquemment sujettes à l'avulsion. Une observation épidémiologique identique a été réalisée chez le chien (58), les racines C7-C8-T1 étant plus souvent alvulsées.

Par ailleurs, le développement de tumeurs des enveloppes nerveuses, telles que neurofibrosarcomes et shwanomes, peut conduire à la résection chirurgicale des racines concernées par le néoplasme. Le déficit qui s'installe alors dépend du nombre de racines condamnées (36).

L'avulsion du plexus brachial se rapproche d'un traumatisme spinal aigu d'un point de vue physiopathologique pour les deux raisons suivantes : l'avulsion n'étant pas située dans le système nerveux périphérique, mais dans le système nerveux central, la régénération axonale ne peut s'y dérouler aisément ; et l'arrachement radiculaire s'accompagne à la fois d'un traumatisme vasculaire de la moelle épinière (les racines et les artères radiculaires présentant un trajet identique sont rompues simultanément), d'une déplétion neuronale (les corps cellulaires des motoneurones étant parfois extirpés de la moelle en même temps que leurs prolongements axonaux) et de lésions axonales au sein du système nerveux central (58). Une comparaison des effets engendrés par une section radiculaire ou par une avulsion a été réalisée chez le chat. L'avulsion est à l'origine d'une nette diminution de la population motoneuronale de la corne ventrale ipsilatérale (24). Dans le moins grave des cas, le corps cellulaire reste intact, mais il est trop éloigné de la racine correspondante, qui a tendance à sortir du canal vertébral, pour qu'une quelconque neurotisation soit envisageable.

3. Diagnostic

3.1. Diagnostic clinique

Les patients humains présentent deux types de symptômes : la douleur, qui peut être atténuée, dans 75% des cas, par résection chirurgicale de la région de pénétration de la racine dorsale dans la moelle (14) et la paralysie, qu'aucune intervention ne parvient pour l'instant à faire rétrocéder.

L'avulsion du plexus brachial chez le chien engendre toutes sortes de symptômes variant en fonction des racines avulsées (12). L'avulsion peut en effet toucher la portion crâniale ou caudale uniquement, ou bien l'ensemble du plexus brachial.

3.1.1. Examen orthopédique

L'avulsion du plexus brachial engendre une boiterie de membre antérieur dont l'origine neurologique peut être suspectée lors de l'examen orthopédique.

La connaissance de l'origine radiculaire des nerfs du membre thoracique et des muscles que ces nerfs innervent, permet de mieux comprendre les anomalies cliniques observées (40). Le tableau I récapitule, pour chaque nerf, son origine radiculaire et les principales conséquences cliniques en cas de lésions.

Tableau I : Origine radiculaire et conséquences cliniques du dysfonctionnement des nerfs du membre thoracique (d'après Oliver et al (40))

	Muscles atrophiés	Symptômes cliniques
Supra-scapulaire (C6-C7)	Supraépineux Infraépineux	Perte d'extension de l'épaule Epine scapulaire proéminente Subluxation latérale de l'épaule
Musculo-cutané (C6-C7-C8)	Biceps brachial Brachial Coracobrachial	Réduction de la flexion du coude Perte du réflexe de flexion du coude Diminution de la sensibilité superficielle en région médiale de l'avant-bras
Axillaire (C6-C7-C8)	Deltoïde Petit rond Grand rond	Réduction de la flexion de l'épaule
Radial (C6-C7-C8-T1-T2)	Triceps brachial Extenseur radial du carpe Ulnaire latéral Extenseurs commun et latéral des doigts	Réduction de l'extension du coude, du carpe et des doigts Absence de poussée des extenseurs Perte du réflexe tricipital Diminution de la sensibilité superficielle en région crâniale et latérale de l'avant-bras et dorsale de la main
Médian (C7-C8-T1)	Fléchisseur radial du carpe Fléchisseur superficiel des doigts Fléchisseur profond des doigts	Réduction de la flexion du carpe et des doigts Diminution de la sensibilité superficielle en région palmaire de la main
Ulnaire (C8-T1-T2)	Fléchisseur ulnaire du carpe Fléchisseur profond des doigts	Réduction de la flexion du carpe et des doigts Diminution de la sensibilité superficielle en région caudale de l'avant-bras et en région palmaire et latérale de la main

Les symptômes résultant de l'avulsion des racines participant à la formation du nerf radial sont les plus évidents lors de l'examen clinique. L'avulsion de ces racines engendre une diminution, voire une perte complète, d'extension du coude, puisque la partie proximale du nerf radial innervé le muscle triceps brachial dont la fonction est l'extension de cette articulation. Le membre est « tombant », l'extrémité distale est fléchie passivement, et traîne sur le sol, d'où une abrasion, voire des ulcérations cutanées sur la partie dorsale du carpe. L'absence d'extension du carpe et des doigts résulte de l'interruption de l'innervation des muscles extenseurs du carpe et des doigts par les branches distales du nerf radial. Les racines des nerfs médian et ulnaire, ayant pour origine également la partie caudale du plexus, sont souvent avulsées en même temps. Cela entraîne une absence de flexion active du carpe et des doigts.

L'avulsion des racines participant à la formation des autres nerfs du membre thoracique modifie également le port du membre. Une perte d'extension de l'épaule, ainsi qu'une subluxation latérale de cette articulation apparaissent lorsque les racines C6 et C7 sont avulsées (lésions du nerf suprascapulaire). L'avulsion des racines C6, C7 et C8 entraîne une diminution de la flexion du coude et de l'épaule (lésions des nerfs musculocutané et axillaire).

3.1.2. Examen neurologique

La confirmation de l'origine neurologique de la lésion est apportée par l'examen neurologique. L'atteinte nerveuse périphérique est typiquement caractérisée par des troubles moteurs, sensitifs, réflexes et trophiques (53).

- *Motricité*

Le membre antérieur présente une paralysie flasque, bien décrite précédemment. L'avulsion des racines peut engendrer des lésions plus profondes de la moelle épinière, pouvant être alors responsables d'une monoparésie du membre pelvien ipsilatéral.

- *Sensibilité*

La proprioception consciente est absente ou diminuée lors d'une avulsion des racines à l'origine du nerf radial.

La sensibilité peut-être absente sur certains dermatomes ou sur l'ensemble du membre thoracique. La réalisation d'une cartographie des dermatomes anesthésiés permet d'estimer quels nerfs sensitifs sont atteints et l'étendue du traumatisme au sein du plexus. Une avulsion de la partie crâniale du plexus brachial entraîne une anesthésie de la face médiale, innervée par le nerf musculocutané, la face caudale restant sensible. Les aires cutanées latérale et crâniale, innervées par le nerf axillaire peuvent être également anesthésiées (figure 8). Lors de l'avulsion de la partie caudale du plexus les zones situées distalement au coude sont anesthésiées, excepté une petite partie de la face médiale de l'avant-bras, innervée par le nerf musculocutané (figure 9). Une avulsion de l'ensemble du plexus brachial engendre une anesthésie totale du membre distalement au coude, ainsi que de la face latérale proximalement à cette articulation, territoire innervé par le nerf axillaire (figure 10).

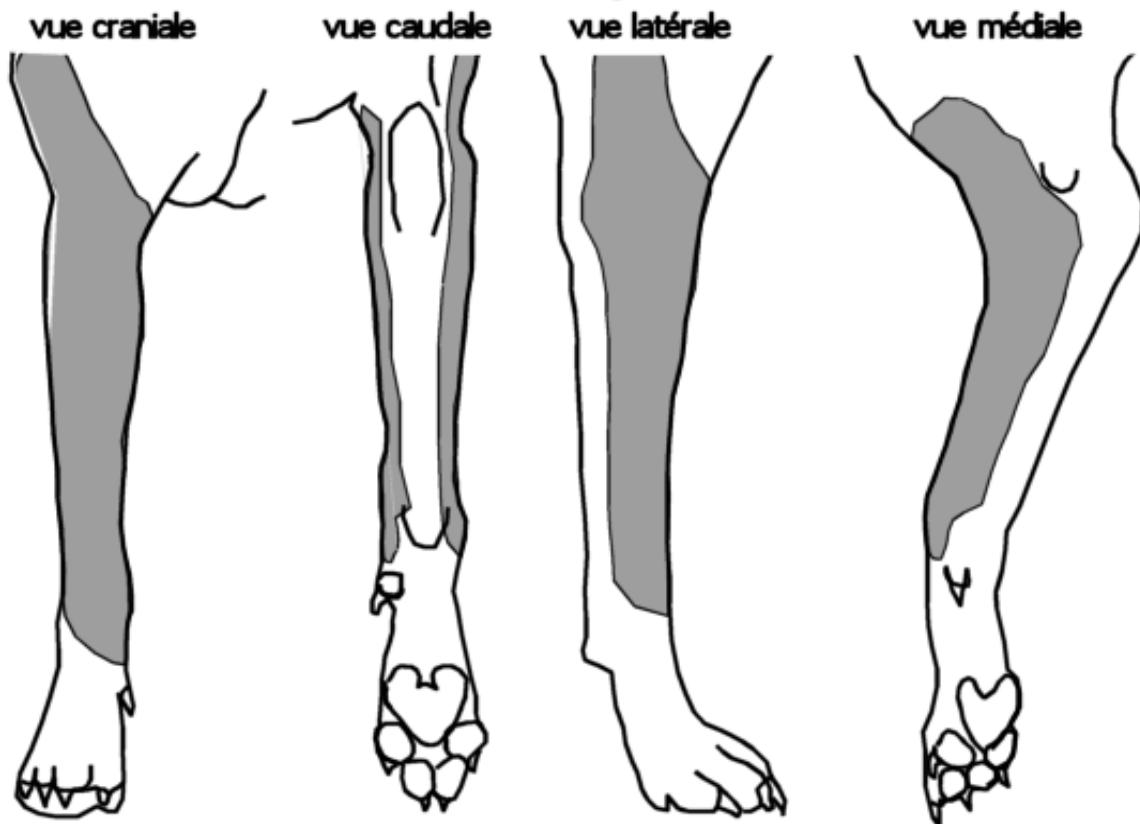


Figure 8 : Aires cutanées anesthésiées lors d'avulsion de la partie crâniale du plexus brachial (d'après Oliver et al (41)).

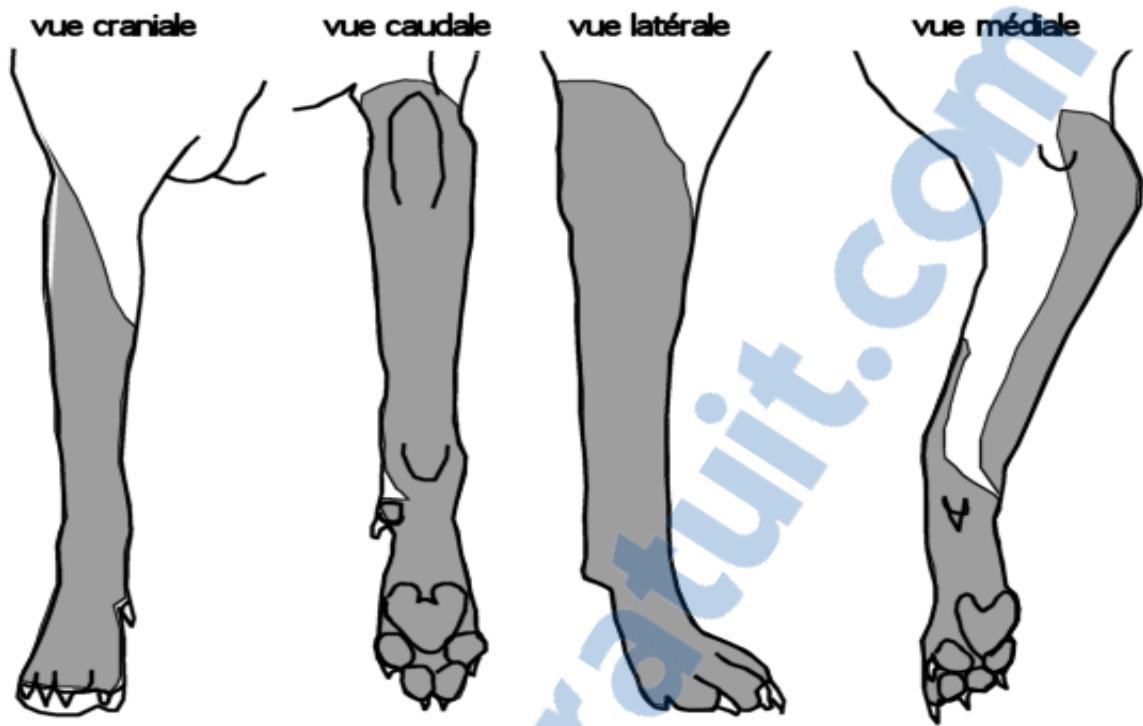


Figure 9 : Aires cutanées anesthésiées lors d'avulsion de la partie caudale du plexus brachial (d'après Oliver et al (41)).

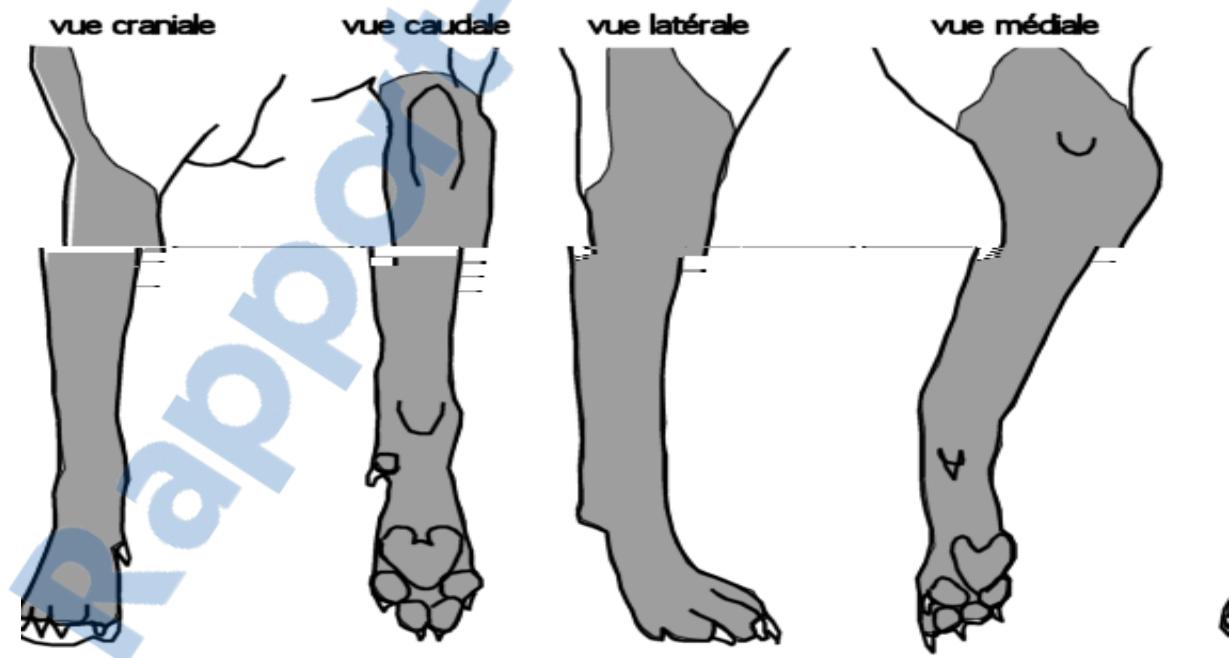


Figure 10 : Aires cutanées anesthésiées lors d'avulsion totale du plexus brachial (d'après Oliver et al (41)).

- *Réflexes*

Les réflexes de flexion, tricipital et de l'extenseur radial du carpe sont absents ou diminués lors d'avulsion des racines de la partie caudale du plexus. La lésion des nerfs musculocutané, ulnaire et médian, entraînera uniquement une perte du réflexe de flexion.

L'absence de réflexe panniculaire ipsilatéral est signe d'une lésion des racines du nerf thoracique latéral et oriente donc vers une avulsion du rameau ventral T1 (18). La présence d'un syndrome de Claude Bernard Horner, caractérisé par un myosis, une ptose de la paupière supérieure, une énophtalmie et une procidence de la troisième paupière, associée à un traumatisme du plexus brachial, permet de conclure à une avulsion radiculaire caudale, affectant le rameau communiquant de T1 (11).

- *Trophicité*

Une amyotrophie s'installe rapidement sur tous les muscles innervés par les nerfs dont les racines ont été lésées au cours du traumatisme, comme cela a été décrit précédemment. Dans certains cas, on peut également noter des ulcères trophiques sur les extrémités, une plus grande sensibilité à l'infection, des perturbations de la cicatrisation et une moindre résistance de la peau dénervée.

3.2. Diagnostic différentiel

Les symptômes observés lors d'avulsion du plexus brachial se rencontrent également dans d'autres affections.

Les traumatismes des nerfs périphériques peuvent engendrer une paralysie temporaire ou permanente des muscles qu'ils innervent. Le nerf radial est le nerf le plus fréquemment endommagé, mais il s'agit en fait d'une entité rare (12). La présence d'un syndrome de Claude Bernard Horner, montrant une lésion très proximale du rameau communiquant de T1, et /ou l'absence de réflexe panniculaire, démontrant une lésion du nerf thoracique latéral, permettent souvent de différencier les lésions intéressant la totalité du plexus brachial, de celles concernant uniquement le nerf radial ; 70% des cas d'avulsion du plexus brachial présente l'une ou les deux anomalies (51).

Les processus tumoraux primaires ou métastatiques envahissant le plexus brachial entraînent généralement une paralysie plus progressive du membre atteint, et des retentissements possibles sur l'état général. La palpation de la région axillaire, de préférence sur un animal anesthésié, peut révéler parfois la présence d'une masse anormale.

Des examens complémentaires sont donc souvent nécessaires pour conclure à l'avulsion du plexus brachial et préciser sa localisation.

3.3. Examens complémentaires

Un examen électrophysiologique, permettant de réaliser la cartographie précise de la lésion et la topographie de l'avulsion, est indispensable lors de traumatismes du plexus brachial car plusieurs hypothèses diagnostiques peuvent être émises. Cet examen comporte une étude électromyographique et une étude électroneurographique.

La première peut se réaliser sur l'animal vigile afin d'étudier l'activité électrique associée à la contraction musculaire (Potentiel d'Unité Motrice). Cependant, l'absence de coopération des patients rend l'examen difficile. Un électromyogramme au repos est donc souvent effectué sous anesthésie générale permettant d'obtenir une parfaite myorelaxation. Une électrode aiguille est enfoncée par voie percutanée dans le corps charnu du muscle à étudier en 5 à 10 endroits différents. Une activité d'insertion, provenant de l'irritation mécanique des fibres musculaires lors de l'enfoncement de l'aiguille, suivie d'un silence électrique, est enregistrée si le muscle est sain. Lors de dénervation, cette activité d'insertion s'amplifie, avec une augmentation de son amplitude et de sa durée. Des potentiels de fibrillation, traduisant l'activité spontanée d'un muscle dénervé, sont également enregistrés. Le délai d'apparition de la fibrillation après une lésion axonale dépend de la distance séparant le muscle du site de la lésion, le délai minimum étant de 6 jours. L'activité d'insertion d'un muscle fibrosé est réduite (4).

Lors de traumatisme du plexus brachial, cet examen est donc réalisé après 6 à 8 jours afin de connaître quels sont les muscles dénervés. La mise en évidence d'une dénervation des muscles paravertébraux ipsilatéraux permet de conclure à une lésion nerveuse située proximalement à la division des rameaux car le rameau dorsal du nerf spinal s'isole quand le nerf sort par le foramen intervertébral (57). L'examen électromyographique, réalisé sur tous les muscles du membre atteint, permet de connaître avec précision les myotomes concernés et par conséquent les nerfs lésés. Cela rend possible la localisation du traumatisme au plexus brachial : partie crâniale, partie caudale ou totalité du plexus. L'électromyographie est de grand intérêt car l'augmentation de l'activité spontanée d'un muscle pourra parfois révéler une dénervation en dehors de toute anomalie de l'examen clinique (19).

L'étude électronuageographique s'effectue sur l'animal anesthésié. L'étude de la vitesse de conduction des nerfs moteurs n'est pas indispensable au diagnostic d'avulsion radiculaire (57). L'étude des potentiels évoqués musculaires après stimulation du nerf moteur peut également permettre de savoir s'il y a avulsion des racines dorsales (sensitives). En effet, le réflexe H, issu d'une réponse réflexe du muscle suite à la stimulation des fibres sensitives provenant des fuseaux neuromusculaires, est absent sur le tracé électronuageographique lors d'avulsion radiculaire. L'enregistrement des potentiels évoqués sensitifs permet de tester la persistance d'une connexion avec le ganglion spinal (corps cellulaire des nerfs sensitifs) et donc de mettre en évidence une avulsion plus proximale.

L'examen électrophysiologique permet donc, lors de traumatisme du plexus brachial, de pouvoir conclure à une lésion d'axonotmésis ou de neurotmésis en amont du foramen intervertébral.

Le pronostic de récupération lors d'avulsion du plexus brachial peut être considéré comme mauvais si l'électromyographie et les potentiels évoqués musculaires concernant le nerf radial sont fortement modifiés, et catastrophique s'il n'y a aucun changement après quatre semaines (52).

4. Traitement chirurgical des avulsions du plexus brachial

4.1. Les limites actuelles du traitement chirurgical

De nombreuses techniques chirurgicales ont été proposées chez l'Homme pour restaurer la fonction du membre atteint, depuis les premiers travaux de TUTTLE en 1913 (55). L'emploi d'orthèses restant un moyen palliatif, la chirurgie réparatrice occupe une place privilégiée dans la stratégie thérapeutique. Lorsque la lésion est située à distance de la moelle, au-delà du foramen intervertébral, des greffes nerveuses libres ont été mises en œuvre pour rétablir la continuité des éléments plexiques (29). Cette technique n'est pas adaptée au traitement des avulsions du plexus brachial. Les transpositions musculaires ou tendineuses demeurent sans grande efficacité, dans la mesure où l'avulsion porte, au moins partiellement, sur les nerfs moteurs des muscles généralement utilisés pour pallier la paralysie (15).

En pratique vétérinaire, les avulsions radiculaires sont considérées comme de pronostic désespéré, et l'amputation est souvent l'unique solution thérapeutique envisageable (58) ; même si elle est bien tolérée, surtout chez les animaux de petit format, elle est parfois mal acceptée par le propriétaire. Il est dans certain cas envisageable de pratiquer une arthrodèse du carpe, lors d'atteinte de la partie caudale du plexus brachial uniquement. Cependant cette solution ne répond pas complètement au problème mécanique ; il conviendrait parfois de lui associer en effet une arthrodèse des doigts (12).

4.2. La réimplantation radiculaire

On a longtemps considéré que la repousse axonale était impossible au sein du système nerveux central. Ce postulat est aujourd'hui réfuté. Les travaux de IWASHITA (28) effectués après section de la moelle épinière du rat nouveau-né, ont permis de mettre en évidence une régénération axonale des motoneurones centraux ainsi qu'une récupération fonctionnelle moyennant des conditions trophiques particulières. L'implantation d'un greffon nerveux périphérique (comme les racines avulsées) à proximité de la corne ventrale de la moelle épinière est suivie d'une neurotisation fonctionnelle, c'est-à-dire d'une recolonisation par les axones des neurones spinaux restés intacts. La présence des cellules de Schwann dans l'environnement du neurone influe sur la rapidité de la neurotisation.

Des réimplantations radiculaires ventrales de C7 ont été réalisées sur 28 chats par HOFFMANN et al. (23). Des motoneurones (marqués à la peroxydase de raifort) ont été mis en évidence dans la corne ventrale de la moelle épinière dès le 14^{ème} jour suivant l'implantation. Au 69^{ème} jour, la stimulation électrique de C7 réimplantée est suivie d'une réponse dans le muscle deltoïde (électromyogramme). Il existe donc une régénération fonctionnelle des motoneurones après avulsion radiculaire et réimplantation chez le chat. Des travaux similaires ont abouti aux mêmes conclusions chez le singe (8). Une repousse axonale à partir des motoneurones médullaires lésés a également été démontrée chez le chien (37).

LAVIEILLE et MOISSONNIER (32) ont effectué leurs travaux sur plusieurs radicelles par une voie d'abord latérale originale (34) chez le chien de grand format. La réimplantation de C6 et C7 est suivie d'une neurotisation dans la corne ventrale poursuivie jusqu'à l'effecteur musculaire primitif (augmentation de la masse musculaire). Par contre, la neurotisation dans la corne dorsale n'est pas suivie d'une récupération sensitive sur le plan clinique.

La réimplantation radiculaire suite à l'avulsion du plexus brachial réalisée chez un chaton par LAVIEILLE et MOISSONNIER (31) montre que, 10 mois après l'intervention, les résultats révèlent encore une absence de récupération fonctionnelle sur la partie distale du membre, mais l'examen électrophysiologique est encourageant et permet d'espérer une récupération.

Le chien de grand format fournit un modèle proche de l'Homme, d'autant plus que le chien à la même sensibilité au traumatisme spinal que l'Homme (5, 22, 54). Malgré ces résultats encourageants, la réimplantation radiculaire demeure une technique délicate, peu précise, dont les résultats cliniques sont longs à se mettre en place, et pouvant même entraîner lors de sa réalisation des traumatismes spinaux associés. Plus la distance est grande, plus le temps de repousse axonale sera long, permettant parfois à une amyotrophie ou une fibrose musculaire de s'installer et éventuellement de compromettre les résultats.

4.3. Neurotisations chirurgicales

4.3.1. Définition

La neurotisation peut se définir comme étant l'apport d'un nouveau contenu axonal à un nerf ou à un effecteur musculaire qui en a été dépourvu suite à des dommages nerveux irréversibles (38).

4.3.2. Neurotisations musculaires

La neurotisation musculaire directe consiste à apporter directement au muscle dénervé une nouvelle innervation. C'est une technique de « sauvetage » qui donne des résultats inconstants (7).

4.3.3. Anastomoses nerveuses

Les anastomoses nerveuses permettent la neurotisation d'un nerf lésé par un nerf sain dont la section n'entraîne pas de déficit fonctionnel majeur.

La section d'un nerf est suivie, après une phase de dégénérescence wallérienne, d'une repousse à partir du fragment proximal. Cette repousse se fait au rythme moyen de 1 millimètre par jour. La distance qui sépare la section nerveuse de l'effecteur musculaire est déterminante. Un muscle trop longtemps dénervé subit une atrophie et une fibrose ; par conséquent, il ne répondra que de façon incomplète à une réinnervation (17).

L'anastomose nerveuse peut être réalisée par des sutures « classiques » qui ont l'inconvénient d'entraîner une fibrose autour des points. Une alternative intéressante à ces sutures est l'emploi de tubes de recolonisation autorisant un pontage nerveux. Ces tubes sont obtenus à partir de biomatériaux tels que des greffons vasculaires, du collagène, du polyéthylène ou des polymères d'acide lactique associés à des facteurs neurotropes, afin d'augmenter la vitesse de recolonisation (35).

Diverses neurotisations chirurgicales sont réalisées chez l'Homme et chez l'animal suite aux avulsions du plexus brachial. Les nerfs périphériques les plus importants issus du plexus brachial sont anastomosés aux nerfs intercostaux, accessoire, phrénique, thoracodorsal et autres nerfs du côté ipsilatéral.

Chez l'Homme souffrant d'une avulsion du plexus brachial supérieur (partie crâniale du plexus), les résultats fonctionnels les plus favorables ont été obtenus par les neurotisations des nerfs musculocutané et/ou axillaire lésé(s) par les nerfs thoracodorsal, long thoracique, subscapulaire ou pectoraux crâniaux. Le taux moyen de récupération fonctionnelle, sur 64 neurotisations effectuées, a été de 84% par cette technique contre respectivement 64% et 55% suite aux neurotisations effectuées par le nerf accessoire ou les nerfs intercostaux (47).

D'après NARAKAS et al. (38), une flexion satisfaisante du coude est obtenue dans plus de 50% des cas suite à diverses neurotisations (nerf thoracique long, nerf accessoire et autres). La flexion de l'épaule est cependant limitée et le fonctionnement des doigts très altéré.

PENKERT et al. (42) ont réalisé une étude rétrospective sur 54 patients, suivis à long terme, ayant subi une neurotisation du nerf musculocutané lésé par les rameaux ventraux C5 et C6 sains ipsilatéraux, suite à une avulsion du plexus brachial caudal. La récupération a été significativement supérieure pour les patients opérés dans les 6 mois suivant le traumatisme.

Dans une étude récente (3), la neurotisation du nerf musculocutané lésé par des radicelles, uniquement motrices, de la racine C7 saine contralatérale est suivie d'une réinnervation musculaire importante. La réinnervation d'une fibre musculaire est meilleure si le nombre de neurones moteurs régénérés est important et si les neurones sensitifs en compétition sont exclus. La récupération fonctionnelle du premier patient, un homme âgé de 26 ans, traité par cette technique est très encourageante.

Les meilleurs résultats sont toujours obtenus après une chirurgie différée de 4 à 5 semaines après le traumatisme, c'est-à-dire après la phase de dégénérescence wallérienne. De plus, la formation d'un névrome permet d'identifier la zone de résection à effectuer. Lorsque les dommages vasculaires sont importants, une chirurgie vasculaire associée à la greffe nerveuse est indispensable pour prévenir les lésions ischémiques. Les greffes nerveuses doivent souvent être suivies à plus ou moins court terme par des arthrodèses, ténodèses, dérotations osseuses, etc pour pallier l'incomplète récupération fonctionnelle (49).

Des études similaires sont réalisées chez le chien et le chat avec des résultats électrophysiologiques et cliniques satisfaisants. Par exemple, la neurotisation du nerf ulnaire, lésé suite à l'avulsion du plexus, par 3 nerfs intercostaux, sains sectionnés distalement, chez 14 chats est suivie d'une récupération fonctionnelle très satisfaisante débutant 5 mois après la chirurgie. L'activité musculaire au début synchronisée avec les mouvements respiratoires devient ensuite spontanée et indépendante de la respiration. Le comptage cellulaire montre que la presque totalité des neurones moteurs intercostaux contribue à la réinnervation du nerf ulnaire lésé (27). D'autres études du même type ont montré que la cartographie des aires corticales change graduellement entre 4 et 33 mois, ce qui suggère une réorganisation du cortex moteur après l'anastomose nerveuse périphérique (33).

Une étude récente (10) réalisée sur 12 chats (9 chats opérés et 3 témoins) a utilisé les nerfs thoracodorsal et thoracique latéral (sectionnés distalement) controlatéraux pour neurotiser le nerf musculocutané sectionné à 0,8 centimètre du muscle biceps brachial. Les résultats électrophysiologiques et l'enregistrement des tensions musculaires ont montré une réinnervation du muscle biceps brachial. Cliniquement, les chats opérés ont retrouvé une flexion active du coude.

4.3.4. Neurotisation croisée

Afin de limiter le temps de repousse, donc de récupération, des neurotisations croisées du rameau ventral avulsé d'un côté par un rameau ventral sain controlatéral ont été proposées. Des études ont déjà été menées chez l'Homme (20, 21) utilisant le rameau ventral C7 sain controlatéral et des greffons d'interposition nerveux pour neurotiser les nerfs périphériques du côté lésé. Les résultats sont encourageants. Notre étude est un préliminaire à la mise en place de ce traitement chez le chien.

5. Buts de l'étude

Les connaissances anatomiques du plexus brachial du chien mettent en évidence le rôle primordial du rameau ventral C8.

En effet, il participe à la constitution de tous les nerfs du plexus brachial caudal. C'est donc le rameau ventral C8 que l'on a choisi de neurotiser en vue du traitement des avulsions du plexus brachial.

D'autre part, le rameau ventral C8 ne participant jamais exclusivement à la formation d'un seul des nerfs du plexus brachial, c'est également ce rameau sain que l'on a choisi comme pourvoyeur d'axones afin de neurotiser le rameau controlatéral avulsé.

Notre étude a pour objectif d'évaluer la faisabilité de la neurotisation croisée du rameau ventral C8 avulsé par le rameau ventral C8 sain controlatéral lors d'avulsion du plexus brachial du chien. Pour apporter des éléments de réponse, nos travaux expérimentaux ont eu pour but :

- de mettre au point une procédure chirurgicale par une exploration anatomique et morphométrique des rameaux ventraux C8
- d'avoir une meilleure connaissance de la constitution radiculaire du rameau ventral C8
- d'évaluer les répercussions cliniques et électrophysiologique de la section du rameau ventral C8 sur un membre sain.

II. MATERIELS ET METHODES

1. Etude sur pieces anatomiques

1.1. Dissection et mesures

L'étude a été réalisée lors de la dissection de dix cadavres de chiens, euthanasiés pour raisons médicales, pesant en moyenne 21,9 Kg +/- 5,8 (compris entre 10 et 30 Kg).

Les rameaux ventraux du plexus brachial sont mis en évidence par la voie d'abord suivante :

Les cadavres sont placés en décubitus dorsal, les membres antérieurs fixés en croix et la colonne cervicale légèrement surélevée, maintenue à l'aide d'un champ roulé sous le cou. Une incision longitudinale médiane est réalisée, du larynx jusqu'en arrière du manubrium sternal. L'incision est poursuivie vers les plans profonds en séparant les muscles sternocéphaliques droit et gauche s'affrontant sur la ligne médiane, puis les muscles sternohyoïdiens. La réclinaison latérale de ces muscles expose la trachée, l'œsophage, le fascia cervical profond, le tronc bicarotidien et les veines jugulaires internes. La trachée et l'œsophage sont alors réclinés latéralement sur la droite, afin de mettre en évidence les émergences des rameaux ventraux droit et gauche, issus du plexus brachial, sous le muscle long du cou. Le rameau ventral C8 est alors facilement identifiable, puisqu'il est le plus caudal et le plus volumineux.

Dans un premier temps, les trois mesures suivantes ont été effectuées :

- longueur de la partie visible du rameau ventral C8 à droite ;
- longueur de la partie visible du rameau ventral C8 à gauche ;
- distance séparant les deux points où émergent les rameaux ventraux sous le muscle long du cou.

Dans un second temps, on a procédé à une section des rameaux ventraux, le plus distalement possible d'un côté indifféremment, mimant la racine saine à transposer et le plus proximalement possible de l'autre, mimant ainsi la racine avulsée. En les réclinant médiatement l'une et l'autre, on a tenté de les faire se chevaucher ventralement au muscle long du cou. On a mesuré alors, lorsqu'un chevauchement est possible, la longueur de recouvrement des deux racines.

Dans un troisième temps, le muscle long du cou a été sectionné transversalement, du côté où l'on a pratiqué la section distale du rameau ventral, afin de créer une gouttière dans laquelle pourra se glisser ce rameau ventral, évitant ainsi le contournement de la masse musculaire et augmentant de fait la longueur de recouvrement. On a mesuré alors cette nouvelle longueur. Toutes les mesures ont été réalisées à l'aide d'un mètre linéaire.

Cette étude sur pièces anatomiques permet donc de définir précisément la voie d'abord et d'évaluer la faisabilité de la technique de recouvrement, par la récolte des mesures, en vue d'une neurotisation croisée.

Dans un quatrième temps, un prélèvement de l'un des rameaux ventraux indifféremment a été effectué afin de réaliser une étude de la constitution radiculaire des racines.

1.2. Constitution radiculaire

Les rameaux ventraux prélevés sur huit des dix chiens disséqués ont été analysés.

1.2.1. Technique d'inclusion en résine et de préparation des sections

Les prélèvements ont été posés à plat sur des abaisse langues afin de conserver l'alignement des axones, avant d'être plongé dans du formol. L'inclusion a été réalisée selon le procédé suivant :

- Trois rinçages dans le tampon phosphate de Sorensen (pH 7.3, 0.15M) + 0.2% NaCl) pendant 30 minutes chacun à température ambiante.
- Nuit dans un bain de ce tampon à 4°C.
- Post-fixation à l'osmium 2% dans le tampon phosphate de Sorensen (pH 7.3, 0.15M) pendant 2 heures à 4°C, à l'abri de la lumière.

-
- Quatre rinçages en eau PPI (Pour Préparation Injectables) de 10 minutes chacun.
 - Bain d'alcool 50° pendant 10 minutes.
 - Bain d'alcool 70° pendant 10 minutes.
 - Bain d'alcool 90° pendant 15 minutes.
 - Deux bains d'alcool 100° pendant 15 minutes chacun.
 - Trois bains d'Oxyde de propylène pendant 15 minutes chacun.
 - Bain d'Oxyde de propylène/épon (v/v) pendant 1 heure.
 - Nuit dans un bain d'épon pure.
 - Bain d'épon + 3% de BDMA (Benzyl DiMethylAmir) pendant 1 heure.
 - Inclusion en capsule avec le mélange épon + BDMA.
 - Laisser polymériser à l'étuve à 58°C pendant 48 heures.

Tous les bains se font sous agitation lente.

Composition de l'épon : épon 812 20ml, MethylNadicAnhydride 12ml, DoDecenylSuccinicAnhydride 9ml

Les coupes transversales semi-fines (0,8µm) ont été réalisées au microtome (ultracut E Leica).

Une coloration au bleu de toluidine à chaud a été réalisée, suivie d'un séchage à l'étuve à 37°C.

Les lamelles ont ensuite été montées en milieu synthétique.

1.2.2. Mise en œuvre des mesures

Les mesures ont été réalisées à l'aide d'un logiciel d'analyse d'image Leica Qwin 500.

Dans un premier temps, on a procédé à l'acquisition de l'image de la coupe du nerf à faible grossissement ($x1,6 +$ zoom variable). On a mesuré alors la surface des fascicules présents sur la coupe. Pour cela, on a dessiné à l'aide de la souris le contour du groupe d'axones constituant le fascicule. Au cours de l'inclusion les axones ont subis une rétraction et on a observé un décollement du périnèvre. Afin de mieux évaluer la surface des fascicules, les mesures n'ont pas tenues compte du périnèvre. La surface du fascicule est exprimée en micromètres carrés.

Dans un second temps, on a acquis une image à plus fort grossissement ($x40$) pour la mesure et le comptage des différents axones composant le fascicule. Le logiciel redessine et numérote les axones visibles sur l'écran. La prise en compte des axones ne se fera que pour ceux répondant aux deux critères suivants : une surface comprise entre $2,976 \mu\text{m}^2$ et $1000 \mu\text{m}^2$ et une circularité comprise entre 1 et 1,399. C'est-à-dire que le logiciel exclut les axones de trop faible taille, ce qui permet de ne pas compter comme des axones des vaisseaux sanguins par exemple, et les objets non circulaires, éliminant ainsi certains artefacts. Il peut par contre éliminer à tort des axones qui se chevauchent, et ne représentent donc plus une forme circulaire. Pour éviter ceci, on peut redessiner manuellement le contour de chacun des axones afin qu'il soient comptabilisés.

Pour chaque champ (1 à 3 par fascicule) on obtient les mesures suivantes : la surface du champ observé, le nombre d'axones mesurés dans le champ et la moyenne des paramètres : surface, périmètre et indice de circularité des axones.

Connaissant donc la surface de chaque fascicule, la surface de chaque champ et le nombre d'axones par champ, on en déduit le nombre d'axones par fascicule puis par racine.

2. Etude sur animal vivant

2.1. Matériel animal

L'étude a porté sur six chiens de race labrador, le groupe se composant de trois femelles et de trois mâles. Leur age était approximativement de deux ans au début de l'étude.

Tous les animaux ont été opérés afin de réaliser une section du rameau ventral C8 à gauche, puis leur récupération fonctionnelle sur le membre opéré a été évaluée cliniquement et à l'aide d'électromyographies réalisées une semaine, un mois et deux mois après l'intervention.

2.2. Procédure chirurgicale

2.2.1. Anesthésie

Les animaux ont été prémédiqués à l'aide de diazépam par voie intraveineuse à la dose de 0,2 mg/Kg (Valium ND, Roche), et l'induction réalisée avec du thiopental par voie intraveineuse à la dose de 10 mg/kg (Nesdonal ND, Mérial). Les chiens ont alors été intubés et l'entretien de l'anesthésie générale obtenue par usage d'un agent halogéné volatil, l'halothane (Fluothane ND), administré en circuit semi-fermé sous 100% d'oxygène.

2.2.2. Temps opératoires

Les animaux ont été placés en décubitus dorsal membres antérieurs fixés en croix, et la colonne cervicale légèrement surélevée et maintenue à l'aide d'un champ roulé sous le cou.

Une zone allant de la mi-longueur du cou à la mi-longueur du thorax en face ventrale a été tondu. Le site chirurgical a été préparé en vue d'une chirurgie aseptique : un savonnage à l'aide de polyvidone iodée (Bétadine savon ND), entrecoupé de rinçages à l'aide d'alcool à 60°, a été réalisé pendant une dizaine de minutes, puis de la polyvidone iodée (Bétadine solution ND) a été appliquée sur le site chirurgical. Une antibioprophylaxie a été réalisée à l'aide d'une injection intraveineuse, avant l'intervention, de céphalosporine à la dose de 30 mg/Kg (Rilexine ND, Reading), suivie d'une injection intramusculaire, au moment du réveil, de céphalosporine à la même dose.

Le matériel chirurgical se compose simplement d'une trousse chirurgicale de base. Cette intervention est rapide et non traumatisante pour les tissus environnants.

La voie d'abord permettant de mettre en évidence l'émergence du rameau ventral C8, est la même que celle décrite dans le paragraphe II.1.1.

On a réalisé alors une section du rameau ventral C8, après son émergence sous le muscle long du cou, en prenant soin de retirer un tronçon de 0,5 cm de longueur, pour éviter toute éventuelle neurotisation, la rétraction due à la dégénérescence wallérienne augmentera cette distance de manière encore plus significative.

La fermeture des plans musculaires a été réalisée à l'aide de surjets de fil Vicryl ND Déc.2, comme le plan sous-cutané, et la peau a été suturée par des points simples de fil Ethicrin ND Déc. 3.

2.3. Moyens d'évaluation

L'étude s'est déroulée sur une période de deux mois

2.3.1. Evaluation clinique

Un examen orthopédique à distance, les animaux étant en semi-liberté dans les cages, a été réalisé toutes les semaines. Il s'agissait de noter la présence ou non d'une boiterie, et si oui, de la qualifier. Un examen orthopédique rapproché a été également réalisé avant chaque examen électrophysiologique, permettant d'apprécier l'amyotrophie et la présence de douleur lors des manipulations.

D'autre part, les chiens ont subi un examen neurologique complet une semaine, puis un et deux mois après l'intervention chirurgicale. Lors de cet examen, les différents réflexes myotatiques ont été testés :

- Le réflexe tricipital, par une percussion de l'insertion du triceps brachial sur l'olécrane, ce qui provoque dans les conditions normales une flexion de l'épaule et une extension du coude ; on explore ainsi le nerf radial.

- Le réflexe de l'extenseur radial du carpe, par une percussion sur ce dernier, ce qui provoque une extension du carpe et permet de juger là encore de l'intégrité du nerf radial.

- Le réflexe de retrait (appelé plus classiquement le réflexe de flexion), en pinçant un doigt, ce qui doit provoquer le retrait du membre et explore les nerfs radial, ulnaire, médian et musculocutané.

Ont été testées enfin les voies de la sensibilité :

- La proprioception, en fléchissant l'extrémité de la patte afin que la face dorsale des doigts repose sur le sol, ce qui doit provoquer le repositionnement correct de la patte, coussinets sur le sol.

- La sensibilité superficielle, en piquant le membre de bas en haut.
- La sensibilité douloureuse profonde, en pinçant fortement un doigt afin de provoquer une réaction de l'animal (tourne la tête, se plaint ou cherche à mordre).

2.3.2. Evaluation électrophysiologique

Dès le 7^{ème} jour après l'opération, l'évaluation électrophysiologique a débuté. Trois examens ont été pratiqués : à 7 jours, un mois et deux mois.

L'évaluation a visé, tout d'abord, à confirmer l'apparition d'une dénervation des muscles contrôlés par le rameau ventral sectionné, puis à mettre en évidence une éventuelle reprise d'une activité motrice et sensitive, par la mesure, respectivement, des potentiels évoqués musculaires et des potentiels évoqués sensitifs.

Tous les examens ont été effectués à l'aide d'un appareil permettant la réalisation d'un examen électromyographique et de potentiels somesthésiques (E.M.G. 2001 ND, Racia sa, France). Les examens ont été réalisés dans les normes de température recommandées (48). Tous les chiens ont été anesthésiés selon le protocole décrit dans le paragraphe II.2.2.1. L'anesthésie, qui reste indispensable pour l'électroneurographie, est fortement recommandée pour l'électromyographie afin de réaliser des examens dans les meilleures conditions possibles (6). Les anesthésiques couramment utilisés n'affectent pas les résultats des examens électromyographiques ni de la conduction nerveuse à l'exception de la kétamine, qui entraîne une augmentation du tonus musculaire (39).

- *Electromyographie de détection (EMG)*

L'électromyographie de détection est une technique d'exploration de l'activité musculaire en dehors de toute stimulation (16, 44).

Elle a été réalisée par implantation d'électrodes concentriques bipolaires (Electrodes concentriques bifilaires ND, Médelec, France) dans les muscles et l'enregistrement de leur activité de repos. Les dimensions des électrodes d'enregistrement étaient de 0,45x25 mm (ou 50) (réf : 53503, Médelec, France). Lors du premier examen, l'ensemble de la musculature du membre thoracique gauche a été évaluée afin de connaître le retentissement de la procédure chirurgicale sur toutes les racines nerveuses. Une étude similaire a été réalisée sur le membre controlatéral afin de vérifier la validité de l'examen sur un membre sain. Par la suite, seuls les muscles suivants ont été enregistrés : extenseurs du carpe et/ou des doigts, triceps brachial, biceps brachial, fléchisseurs du carpe et/ou des doigts et muscles interosseux, selon une durée d'acquisition de 10 ms et un gain de 100 μ V. Cela a permis d'explorer, respectivement, les nerfs radial, musculocutané, médian et ulnaire.

Le tableau II illustre la cotation utilisée pour apprécier l'intensité de l'activité spontanée (potentiels de fibrillation). Sachant qu'un muscle normal est électriquement silencieux au repos (sauf dans la région d'une plaque motrice), une activité électrique spontanée est donc pathologique et signe d'une dénervation.

Tableau II : Echelle d'appréciation de l'intensité de l'activité spontanée

0	aucune anomalie
+	quelques anomalies éparses
++	activités spontanées en toute région
+++	activités spontanées marquées en toute région

Les figures suivantes illustrent les tracés obtenus dans chacun de ces cas.

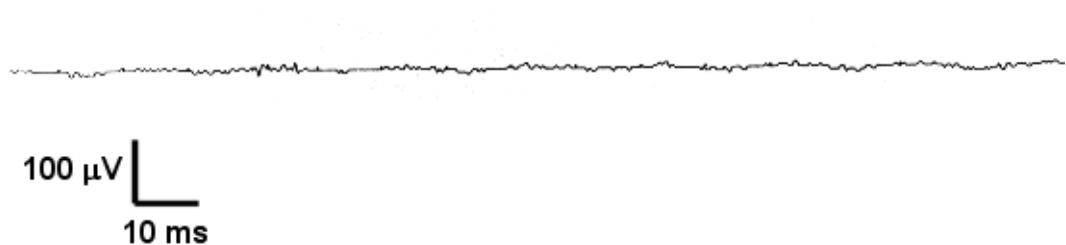


Figure 11 : Tracé d'EMG ne présentant aucune anomalie, noté (0).

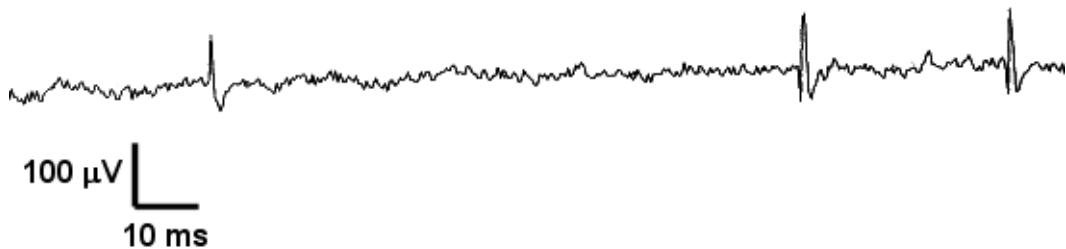


Figure 12 : Tracé d'EMG présentant quelques anomalies éparses, noté (+).

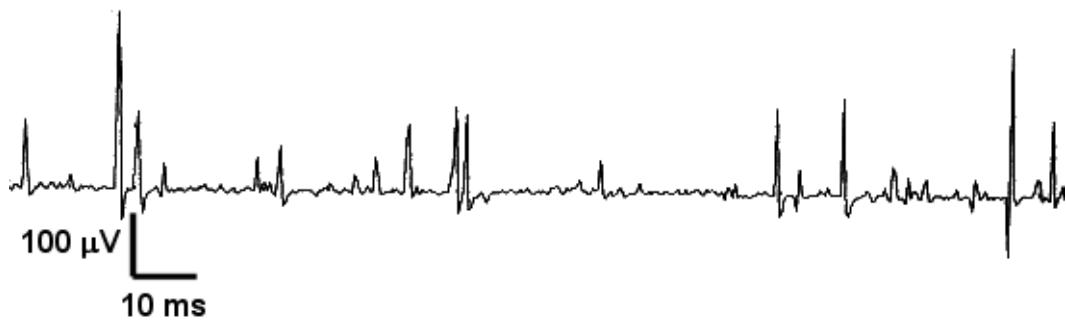


Figure 13 : Tracé d'EMG présentant des activités spontanées en toutes régions, noté (++) .



Figure 14 : Tracé d'EMG présentant des activités spontanées marquées en toutes régions, noté (+++).

Nous avons également noté les activités d'insertion de la manière énoncée dans le tableau III. Ces potentiels accompagnent l'insertion de l'aiguille dans le muscle. Ils sont brefs et de faible amplitude et cessent rapidement dans les conditions normales. Mais ils peuvent s'amplifier (amplitude et durée augmentées) dans les affections où le seuil d'excitation des fibres est augmenté, comme c'est le cas dans les muscles dénervés.

Tableau III : Echelle d'appréciation de l'intensité de l'activité d'insertion.

N	activité d'insertion normale
>	activité d'insertion augmentée
<	activité d'insertion diminuée

La bande de fréquence dans laquelle se situe l'activité électrique du muscle étant en grande partie comprise dans la bande des fréquences audibles, le signal amplifié peut être envoyé sur un haut-parleur. Ainsi on pourra entendre le son caractéristique des potentiels d'insertion et de fibrillation rappelant le bruit de la pluie sur un toit.

- *Potentiels Evoqués Musculaires (PEM)*

L'enregistrement des potentiels évoqués musculaires est une technique d'exploration de l'activité électrique d'un nerf moteur. C'est la stimulation de ce dernier qui provoque l'apparition d'un potentiel au niveau musculaire.

Les nerfs ont été stimulés au moyen d'une électrode (négative) de dimension de 0,45x37mm (réf : 53508, Médelec, France) ou de 0,45x50 mm (réf : 53509, Médelec, France), selon la taille et le lieu de stimulation. Les électrodes, négatives et positives, étaient monopolaires et isolées par du teflon sauf à leur extrémité.

Les électrodes négatives de stimulation doivent être placées le plus près possible des nerfs à stimuler pour permettre une bonne conduction de la stimulation électrique. Les électrodes négatives de réception doivent être insérées dans le corps charnu des muscles innervés par le nerf testé pour permettre une bonne réception de l'activité électrique musculaire. Les électrodes positives, de stimulation et de réception, sont toujours placées dans des zones de faible activité électrique, comme le tissus sous-cutané ou les tendons.

Quatre enregistrements différents ont été réalisés.

Les potentiels évoqués musculaires ont été enregistrés : dans les muscles extenseurs du carpe et/ou des doigts et le triceps brachial, afin de tester la conduction nerveuse au sein du nerf radial ; dans les muscles interosseux pour tester la conduction du nerf ulnaire ; dans les muscles fléchisseurs du carpe et/ou des doigts testant ainsi la conduction du nerf médian.

Dans un premier temps (figure 15), le nerf radial a été stimulé au niveau du sillon huméral en plaçant l'électrode négative le plus près possible de lui, l'électrode positive positionnée en sous-cutané à 1 ou 2 cm. L'enregistrement est effectué par l'électrode négative placée dans le corps charnu d'un des extenseurs du carpe et/ou des doigts, l'électrode positive étant placée dans le tendon du même muscle.

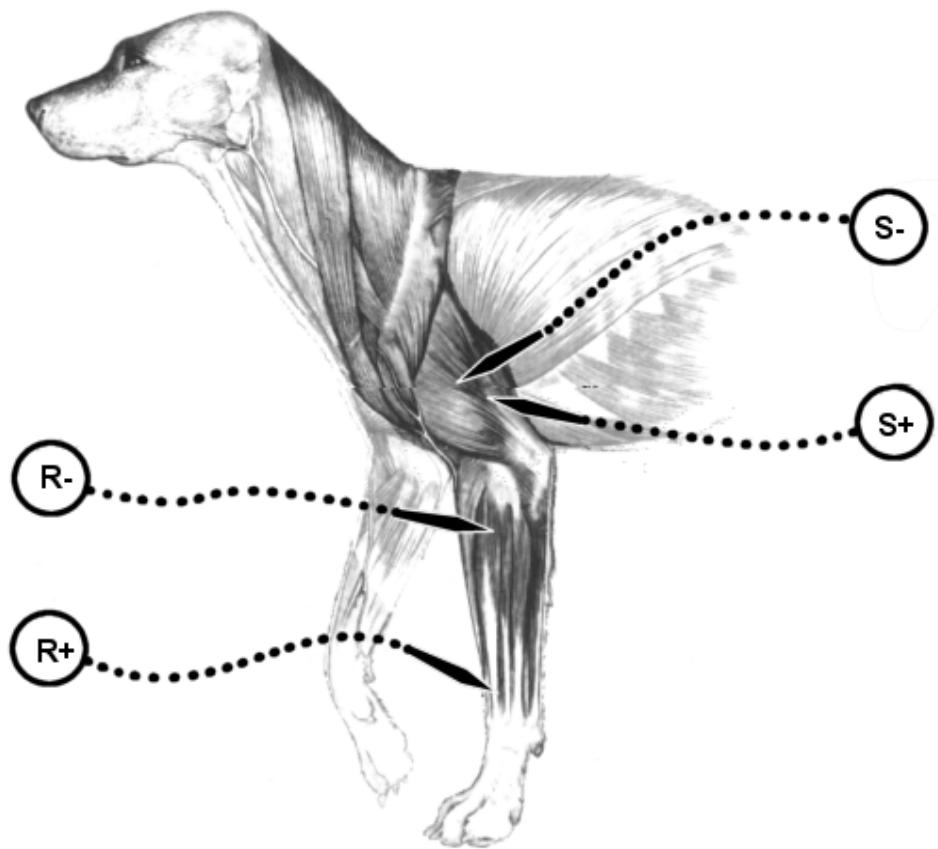


Figure 15 : Implantation des électrodes pour l'enregistrement du PEM des muscles extenseurs et la mise en évidence d'une conduction nerveuse dans le nerf radial (modifié d'après Piermattei (43)).

S- : électrode négative de stimulation proche du nerf radial dans le sillon huméral

S+ : électrode positive de stimulation en sous-cutané à 1 ou 2 cm de distance

R- : électrode négative de réception dans le corps charnu d'un des extenseurs du carpe et/ou des doigts

R+ : électrode positive de réception dans le tendon correspondant

Dans un second temps (figure 16), l'enregistrement de la conduction dans le nerf radial a été réalisé en stimulant le rameau ventral C7, par le positionnement de l'électrode négative de stimulation dans le creux axillaire, en arrière de C6, repéré par la palpation de son processus transverse, l'électrode positive étant placée en sous-cutané à proximité de la scapula. L'enregistrement est effectué par l'électrode négative placée dans le corps charnu du triceps, l'électrode positive étant placée en sous-cutané à 1 ou 2 cm de distance.

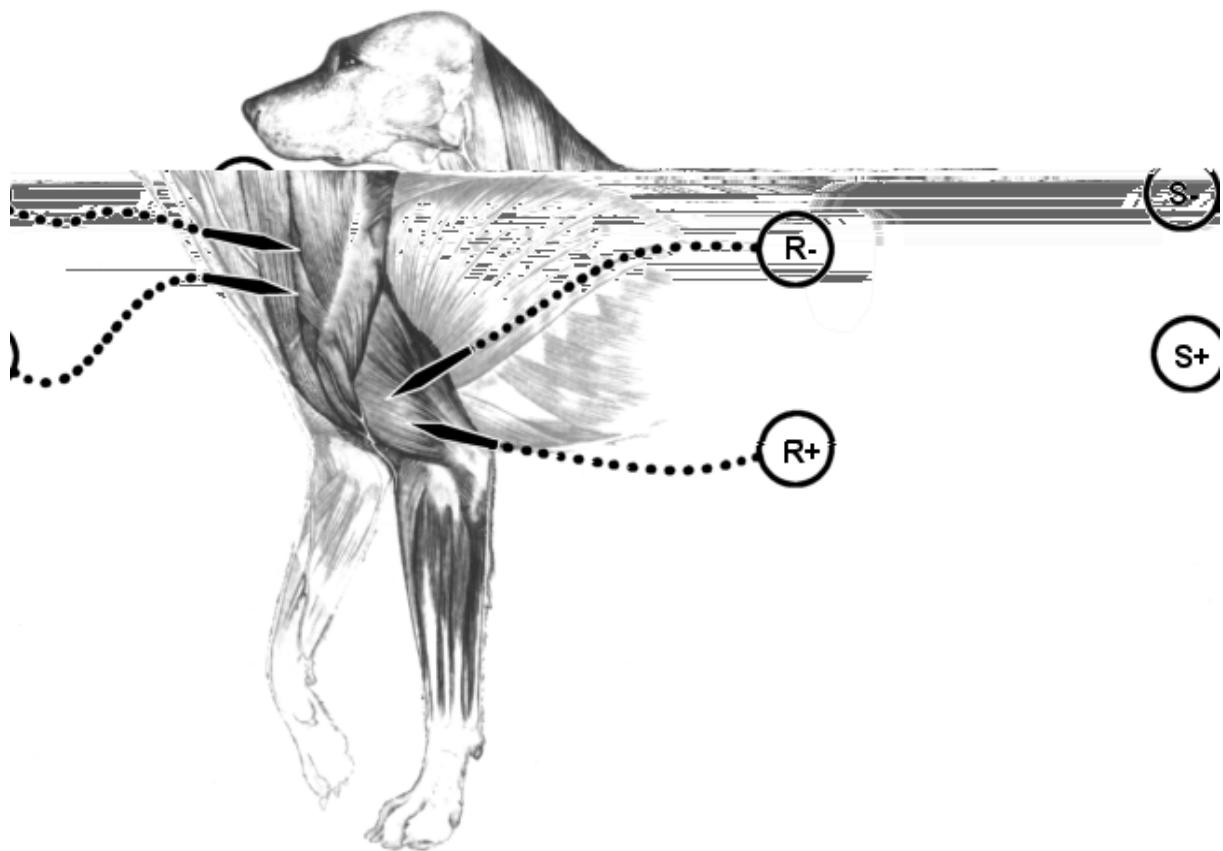


Figure 16 : Implantation des électrodes pour l'enregistrement du PEM du muscle triceps brachial et la mise en évidence d'une conduction nerveuse dans le nerf radial (modifié d'après Piermattei (43)).

S- : électrode négative de stimulation dans le creux axillaire

S+ : électrode positive de stimulation en sous-cutané

R- : électrode négative de réception dans le corps charnu du triceps brachial

R+ : électrode positive de réception en sous-cutané

Pour l'étude de la conduction dans le nerf ulnaire (figure 17), la stimulation a été effectuée en plaçant l'électrode négative de stimulation à proximité du nerf ulnaire, dans la gouttière de l'ulna au niveau du carpe et l'électrode positive de stimulation en sous-cutané à quelques centimètres de distance. L'électrode négative d'enregistrement a été placée dans l'un des muscles interosseux, et l'électrode positive d'enregistrement dans le coussinet du doigt V.

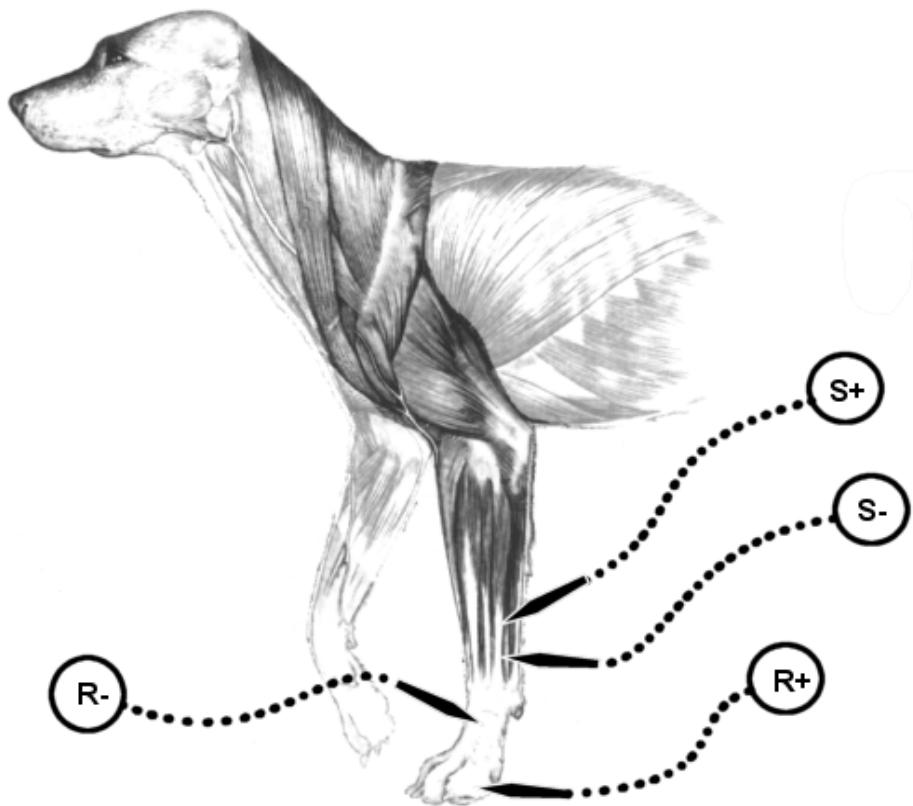


Figure 17 : Implantation des électrodes pour l'enregistrement du PEM d'un muscle interosseux et la mise en évidence d'une conduction nerveuse dans le nerf ulnaire (modifié d'après Piermattei (43)).

S- : électrode négative de stimulation dans la gouttière de l'ulna

S+ : électrode positive de stimulation en sous-cutané

R- : électrode négative de réception dans l'un des muscles interosseux

R+ : électrode positive de réception dans le coussinet du doigt V

Pour l'étude de la conduction dans le nerf médian (figure 18), la stimulation a été effectuée en plaçant l'électrode négative proche du nerf en face interne du coude et l'électrode positive à distance en sous-cutané. L'électrode négative de réception a été placée dans le corps charnus de l'un des muscles fléchisseurs du carpe et/ou des doigts et l'électrode positive dans le tendon correspondant.

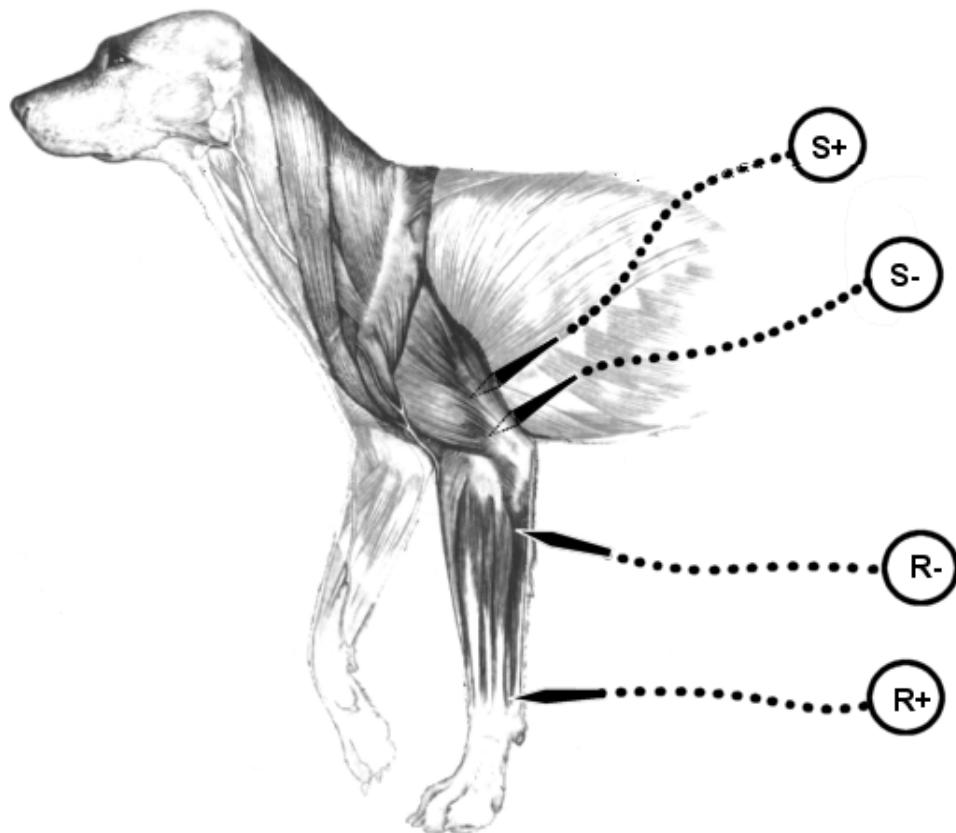


Figure 18 : Implantation des électrodes pour l'enregistrement du PEM d'un des muscles fléchisseurs du carpe ou des doigts et la mise en évidence d'une conduction dans le nerf médian (modifié d'après Piermattei (43)).

S- : électrode négative de stimulation en face interne du coude

S+ : électrode positive de stimulation en sous-cutané

R- : électrode négative de réception dans l'un des muscles fléchisseurs du carpe et/ou des doigts

R+ : électrode positive de réception dans le tendon correspondant

En l'absence de normes, le côté droit sain a été également testé, afin d'obtenir une valeur de base dans des conditions expérimentales identiques, lors du premier examen.

- *Potentiels Evoqués Sensitifs (PES)*

L'enregistrement des potentiels évoqués sensitifs est une technique d'exploration de l'activité d'un nerf sensitif. C'est la stimulation d'une zone innervée par le nerf à explorer qui provoque l'apparition d'un potentiel nerveux.

Du fait de la faible amplitude de ces potentiels nerveux, on utilise un moyenneur, c'est à dire que l'on enregistre les réponses obtenues à la suite d'un grand nombre de stimuli, pour en faire la « moyenne » (39) et séparer le PES des artefacts. Les stimulations doivent être de faible intensité afin de réduire les artefacts pouvant apparaître si les muscles alentours sont stimulés (26). Les électrodes de stimulation et d'enregistrement doivent donc toujours être placées le plus près possible des nerfs.

Le moyenneur a été réglé à 100 acquisitions, avec une fréquence de 10 Hz, et une durée de 0,1 ms. L'intensité des stimulations a été augmentée par palier jusqu'à l'obtention d'un potentiel identifiable.

Les nerfs radial et ulnaire ont été testés de la façon suivante :

Pour le nerf radial (figure 19) les électrodes de stimulation, positive et négative, ont été placées dans le tissu sous-cutané en face dorsale des doigts. L'électrode négative d'enregistrement a été placée à proximité du nerf radial, au niveau du sillon huméral, et l'électrode positive à quelques centimètres de cette dernière, en sous-cutané.

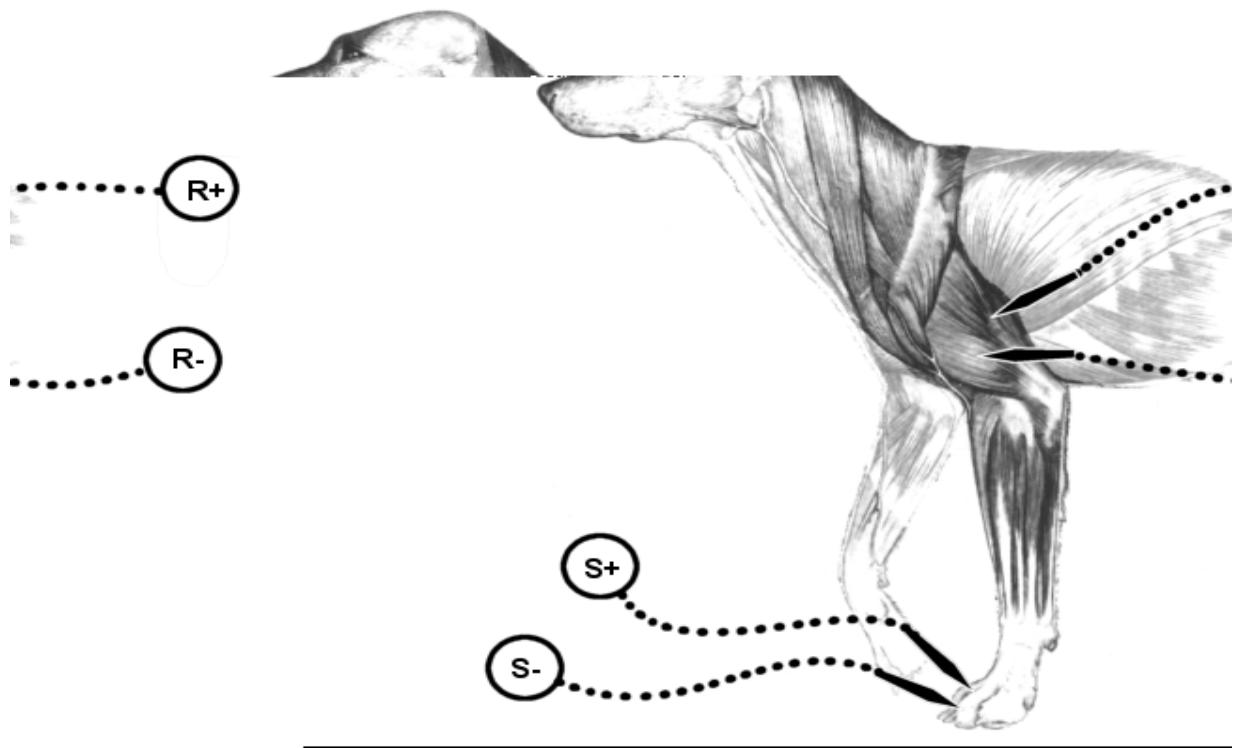


Figure 19 : Implantation des électrodes pour l'enregistrement du PES du nerf radial (modifié d'après Piermattei (43)).

- S- : électrode négative de stimulation face dorsale des doigts
- S+ : électrode positive de stimulation face dorsale des doigts
- R- : électrode négative de réception dans le sillon huméral
- R+ : électrode positive de réception en sous-cutané

Pour le nerf ulnaire (figure 20) les électrodes de stimulation, positive et négative, ont été placées dans le doigt V, l'électrode négative de réception à proximité du nerf ulnaire, en face interne de l'ulna, et l'électrode positive à distance, en sous-cutané.

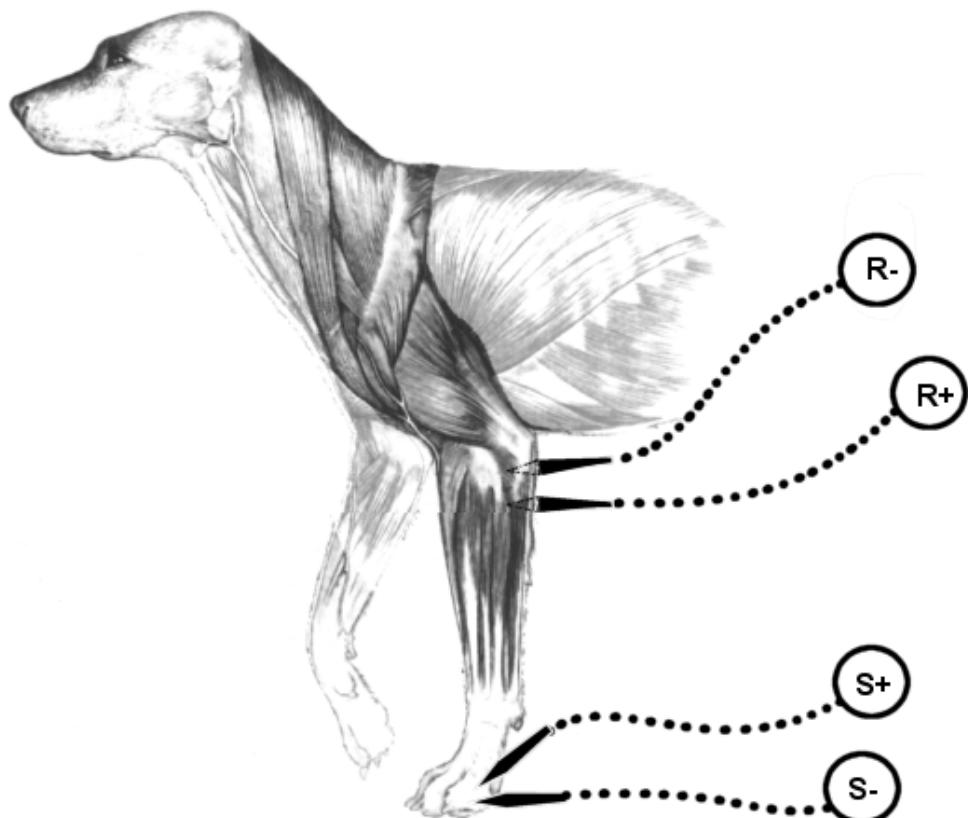


Figure 20 : Implantation des électrodes pour l'enregistrement du PES du nerf ulnaire (modifié d'après Piermattei (43)).

S- : électrode négative de stimulation dans le doigt V

S+ : électrode positive de stimulation dans le doigt V

R- : électrode négative de réception en face interne de l'ulna

R+ : électrode positive de réception en sous-cutané

III. RESULTATS

1. Etude sur pièces anatomiques

1.1. Mesures des racines

Les résultats des mesures réalisées lors des dissections sont consignés dans le tableau IV.

Les mesures réalisées chez ces chiens montrent que la suture entre les deux bouts est possible sans tension dans tous les cas, puisqu'un recouvrement d'au minimum 0,5 cm est toujours possible et que si cela était nécessaire l'amplitude du recouvrement peut se voir, dans tous les cas, améliorée par la section du muscle long du cou.

Dans les conditions réelles, la partie avulsée du rameau ventral se révélera encore plus grande que le rameau ventral dans les conditions expérimentales, car l'avulsion se pratique plus proximalement dans le canal vertébral. Même en prenant en compte une résection éventuelle de la partie lésée (par l'avulsion et/ou par la dégénérescence wallérienne), on obtiendra un rameau ventral, à neurotiser, de taille supérieure.

Tableau IV : Résultats des mesures (exprimés en centimètre) réalisées lors des dissections

race poids	C8 droite	C8 gauche	Inter C8	Recouvrement avant section	Recouvrement après section
Labrador 25 Kg	2,5	2,2	3,6	0,5	1
Labrador 28 Kg	2,6	2,7	4,7	0,7	1,2
Croisé 20 Kg	2,6	2,9	7,5	0,5	1,8
Labrador 27 Kg	2,7	2,5	4,3	0,6	1,2
Fox terrier 10 Kg	2,3	2,7	5,4	1,4	2,2
Croisé 18 Kg	3	2,6	6,5	0,5	1,6
Croisé 21 Kg	3,5	2,6	6,3	0,6	1,3
Labrador 30 Kg	3	3,5	5,5	0,7	1,5
Épagneul 20 Kg	2,3	2,1	4,6	0,9	1,9
Épagneul 20 Kg	3,3	2,8	4,9	0,5	1,2

1.2. Etude morphométrique

La figure 21 montre une des coupes réalisées sur les prélèvements de rameaux ventraux C8, à partir desquelles ont pu être effectuées les mesures de l'étude morphométrique.

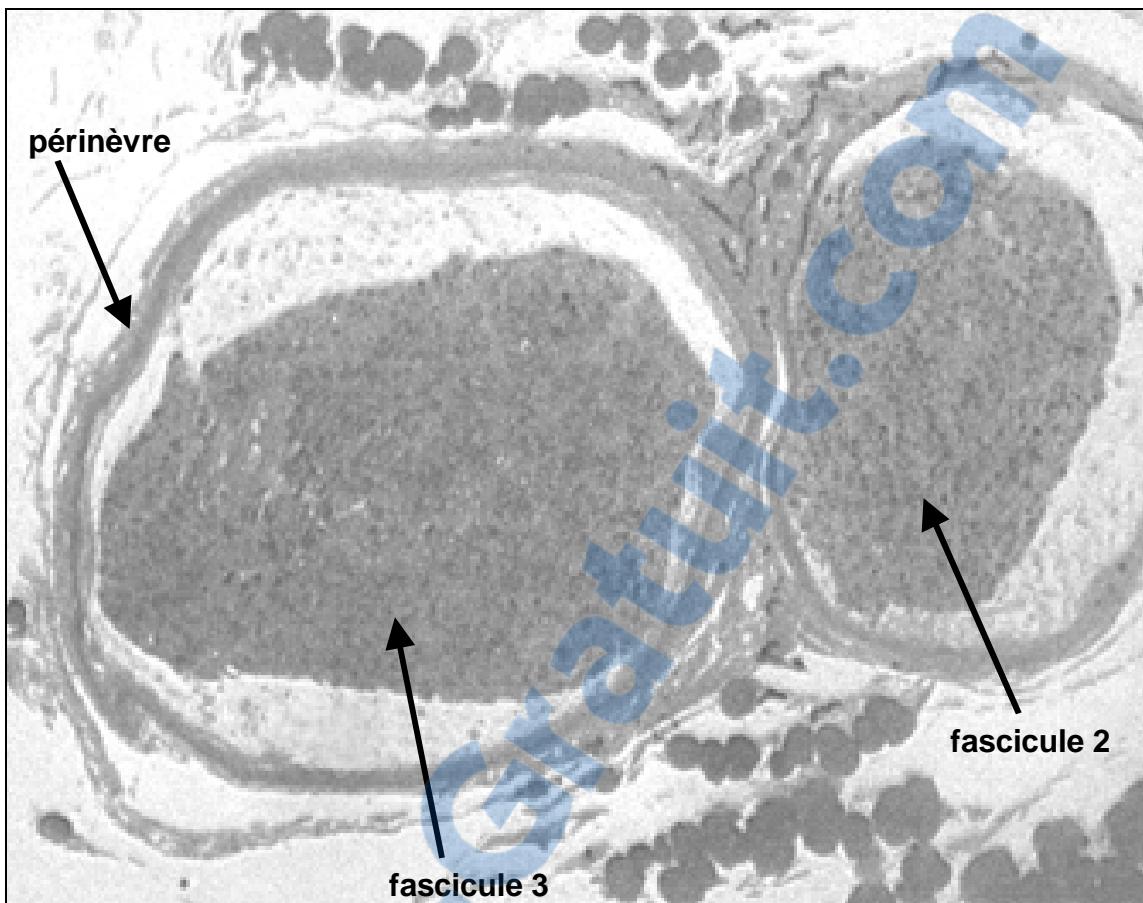


Figure 21 : Coupe transversale du rameau ventral de la racine C8 du plexus brachial du chien labrador de 28 Kg (faible grossissement).

Les résultats de l'étude morphométrique sont consignés dans le tableau V et le tableau VI ci-après.

Les données de ces tableaux nous ont permis de calculer pour chaque chien le nombre d'axones par fascicule et le nombre d'axones par rameau ventral. Ces données sont rassemblées dans le tableau VII.

On peut ainsi calculer les moyennes et les écarts-types pour les données du tableau VII.

- Nombre de fascicules par rameau ventral : 2,2 +/- 1,2
- Nombre d'axones par fascicule : 1494 +/- 1009,3
- Nombre d'axones par rameau ventral : 3361,4 +/- 1328,2

Tableau V : Résultats de l'étude morphométrique effectuée sur le rameau ventral C8

Surface du fascicule (μm^2)	Surface d'un champ (μm^2)	Nombre d'axones par champ	Surface moyenne d'un axone (μm^2)	Périmètre moyen d'un axone (μm)	Circularité moyenne d'un axone	Nombre d'axones par fascicule	Densité d'axones par fascicule (/10000 μm^2)
91802,56	22244,22	136	51,72	25,59	1,18	136	61,1
627727,29	22244,22	195	39,86	21,92	1,16	195	87,7
53131,53	22244,22	179	47,33	24,03	1,17	179	80,5
	21211,04	128	105,59	35,68	1,08		
	22244,22	122	119,18	38,3	1,08	369	57,7
462314,25	20479,55	119	103,8	34,7	1,09		
	22244,22	135	65,37	26,3	1,12		
277248,69	22244,22	146	46,18	22,04	1,12	396	59,3
	22244,22	115	67,77	26,23	1,12		
	22244,22	148	50,49	24,22	1,12		
297869,81	22244,22	143	59,7	26,27	1,11	469	70,3
	22244,22	178	46,79	22,92	1,12		
	22244,22	166	54,53	26,06	1,11		
528528,13	22244,22	167	56	25,65	1,09	487	73
	22244,22	154	54,99	25,63	1,12		
	22244,22	121	111,38	39,78	1,1		
189642,33	22244,22	111	113,16	39,39	1,09	361	54,1
	3	22244,22	129	108,44	38,02	1,07	
144203,88	1	22244,22	96	151,98	44,79	1,08	
	2	22244,22	108	133,93	41,44	1,08	
	3	22244,22	128	116,47	37,79	1,08	
300811,28	1	22244,22	121	102,58	34,63	1,09	
	2	22244,22	107	119,85	38,47	1,06	
	3	22244,22	137	95,68	33,18	1,09	

Tableau VI : Résultats de l'étude morphométrique effectuée sur le rameau ventral C8
(suite)

Race Poids	Fascicule	Surface du fascicule (μm^2)	Champ observé	Surface d'un champ (μm^2)	Nombre d'axones mesuré par champ	Surface moyenne d'un axone (μm^2)	Périmètre moyen d'un axone (μm)	Circularité moyenne d'un axone	Nombre d'axones mesuré par	Densité d'axone par fascicule ($1/000\mu\text{m}^2$)
Croisé 18Kg	1	343503,69	1	22244,22	180	68,88	29,5	1,14	515	77,2
	2		2	22244,22	181	69,56	29,49	1,15		
	3		3	22244,22	154	80,87	32,09	1,14		
Labrador 30Kg	1	331059	1	21211,04	123	76,25	29,97	1,09	444	66,5
	2		2	22244,22	156	77,67	30,19	1,12		
	3		3	20479,55	165	71,21	29,11	1,1		
167283,08	1		1	22244,22	139	82,02	30,9	1,11	394	59
	2		2	22244,22	127	68,12	27,52	1,09		
	3		3	22244,22	128	79,09	29,79	1,08		
156247,42	1		1	22244,22	110	123,17	39,08	1,08	322	48,3
	2		2	22244,22	116	107,4	35,95	1,1		
	3		3	22244,22	96	138,42	41,67	1,08		
188079,03	1		1	22244,22	113	115,38	38,41	1,09	343	51,4
	2		2	22244,22	116	118,57	39,9	1,1		
	3		3	22244,22	114	106,21	37,24	1,11		
Epagneul Breton 20Kg (1)	1		1	22244,22	115	125,39	39,86	1,11	315	47,2
	2		2	22244,22	100	147,54	44,71	1,09		
	3		3	22244,22	100	121,87	39	1,11		
287029,56	1		1	22244,22	104	125,3	40,28	1,1	300	45
	2		2	22244,22	104	119,89	39,09	1,13		
	3		3	22244,22	92	144,32	43,89	1,11		
Epagneul Breton 20Kg (2)	1	157687,31	1	12519,68	50	86,52	34,05	1,18	118	33,9
	2		2	22244,22	68	82,01	33,5	1,18		

Tableau VII : Résultats de l'étude morphométrique effectuées sur le rameau ventral C8 (suite)

Race Poids	Fascicule	Nombre d'axones par fascicule	Nombre d'axones par rameau ventral
Fox Terrier 10 Kg	1	680,96	1772,32
	2	623,21	
	3	468,16	
Labrador 25 Kg	1	2834,56	2834,56
Labrador 28 Kg	1	1736,63	8035,91
	2	2236,28	
	3	4063	
Labrador 27 Kg	1	1034,42	3464,40
	2	726,07	
	3	1703,91	
Croisé 18 Kg	1	2913,46	2913,46
Labrador 30 Kg	1	2316,7	3357,08
	2	1040,31	
Epagneul Breton 20 Kg (1)	1	817,15	3896,63
	2	1014,62	
	3	705,68	
	4	1359,18	
Epagneul Breton 20 Kg (2)	1	616,89	616,89

Nous avons représenté sous forme de graphiques (figure 21 à figure 38), les surfaces mesurées pour les axones de chaque fascicule examiné. Ces graphiques permettent de se rendre compte de la répartition des axones au sein des différents intervalles de surface. On peut noter, au vu de la plupart de ces graphiques, la présence de deux populations d'axones de tailles différentes.

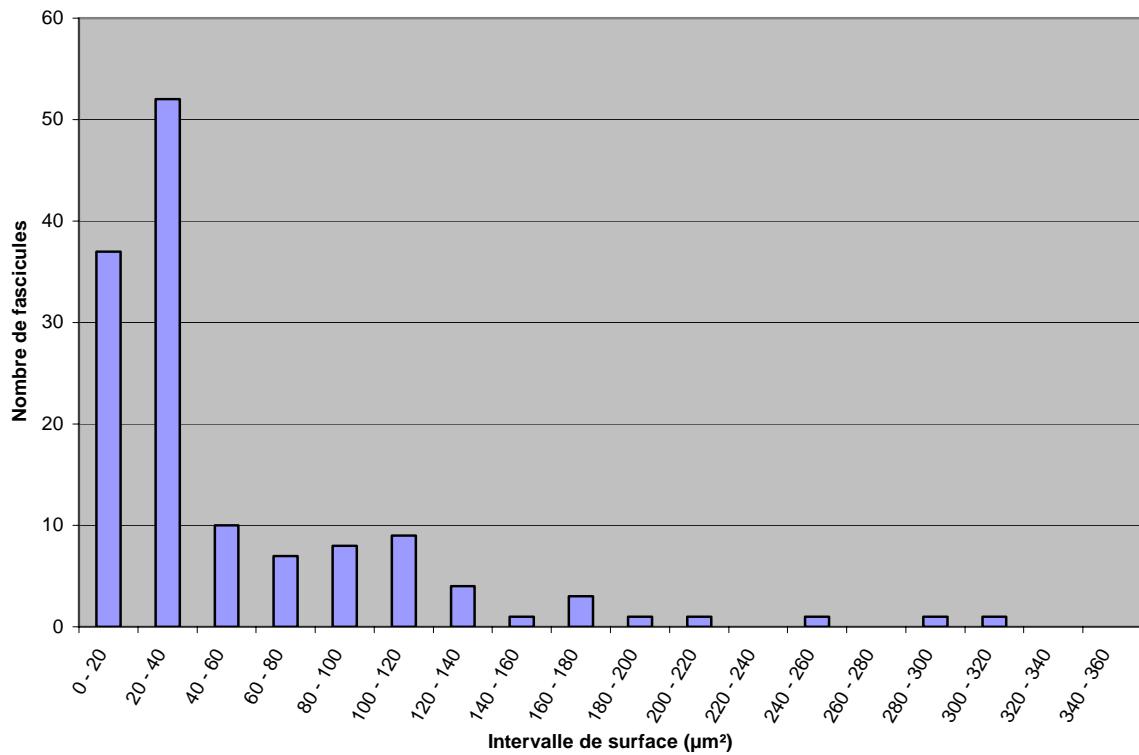


Figure 22 : Répartition des surfaces des axones du rameau ventral C8, fascicule 1, Fox Terrier 10 Kg.

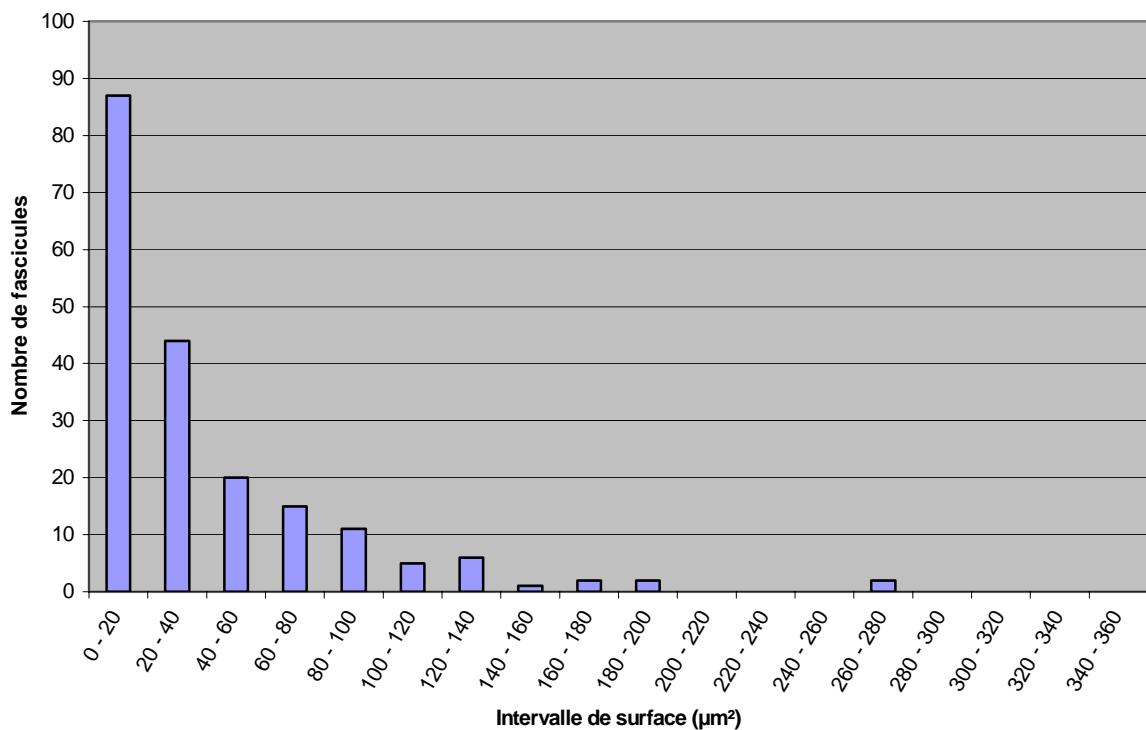


Figure 23 : Répartition des surfaces des axones du rameau ventral C8, fascicule 2, Fox Terrier 10 Kg.

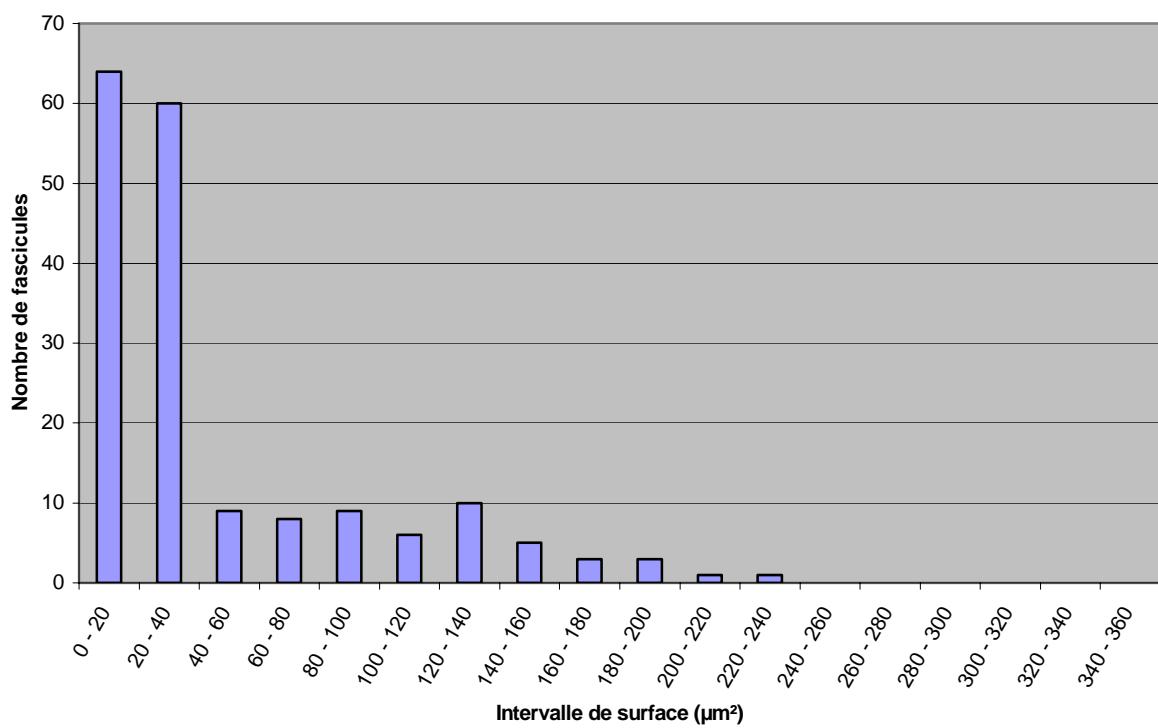
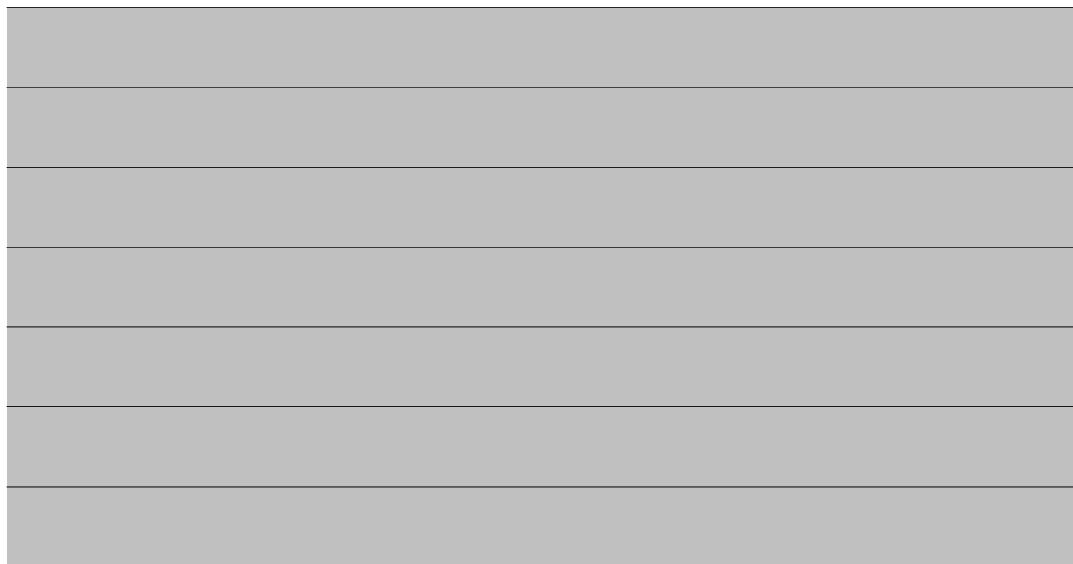


Figure 24 : Répartition des surfaces des axones du rameau ventral C8, fascicule 3, Fox Terrier 10 Kg.



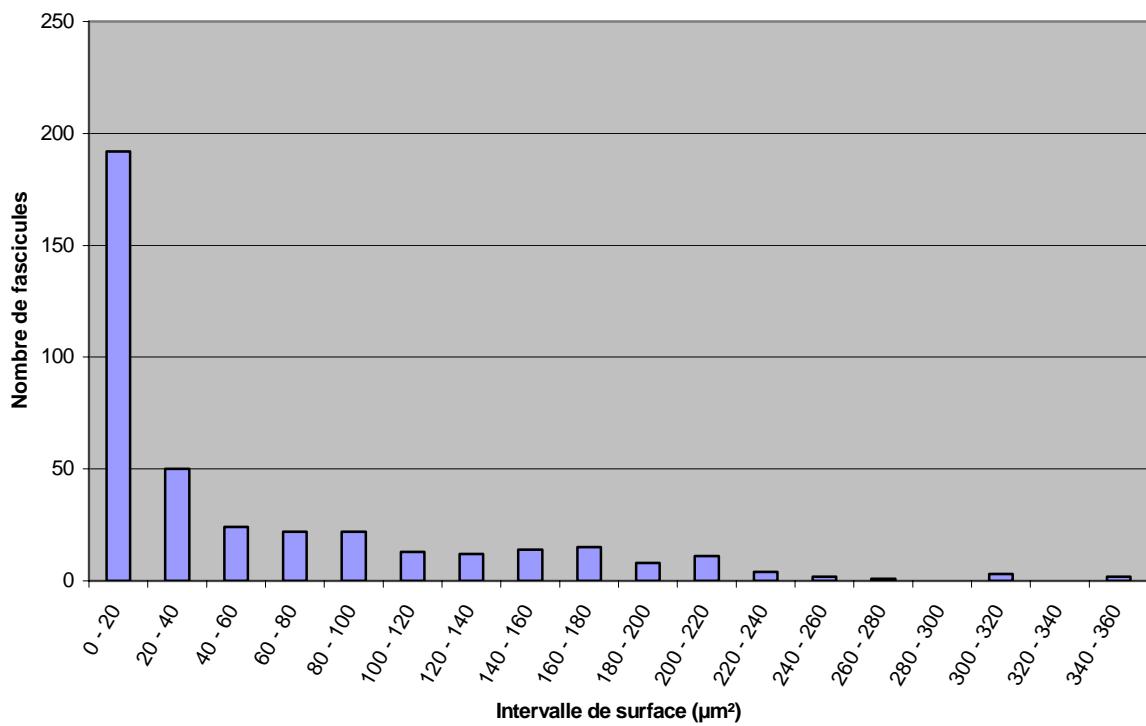


Figure 26 : Répartition des surfaces des axones du rameau ventral C8, fascicule 1, Labrador 28Kg.

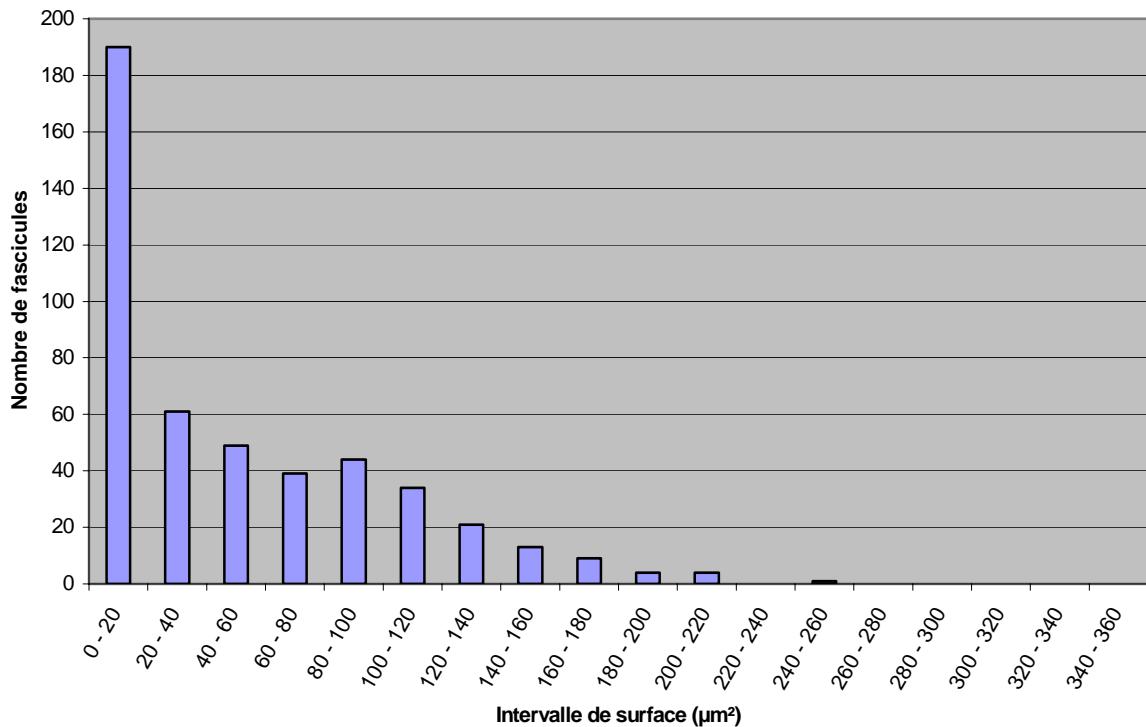


Figure 27 : Répartition des surfaces des axones du rameau ventral C8, fascicule 2, Labrador 28Kg.

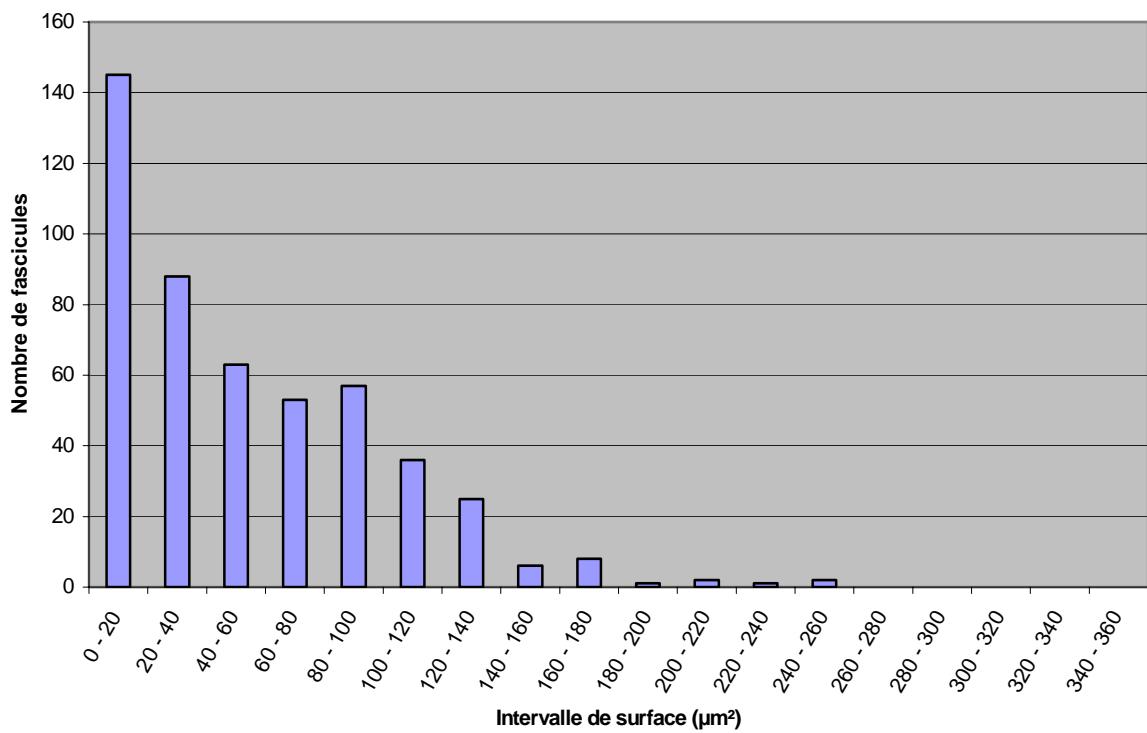
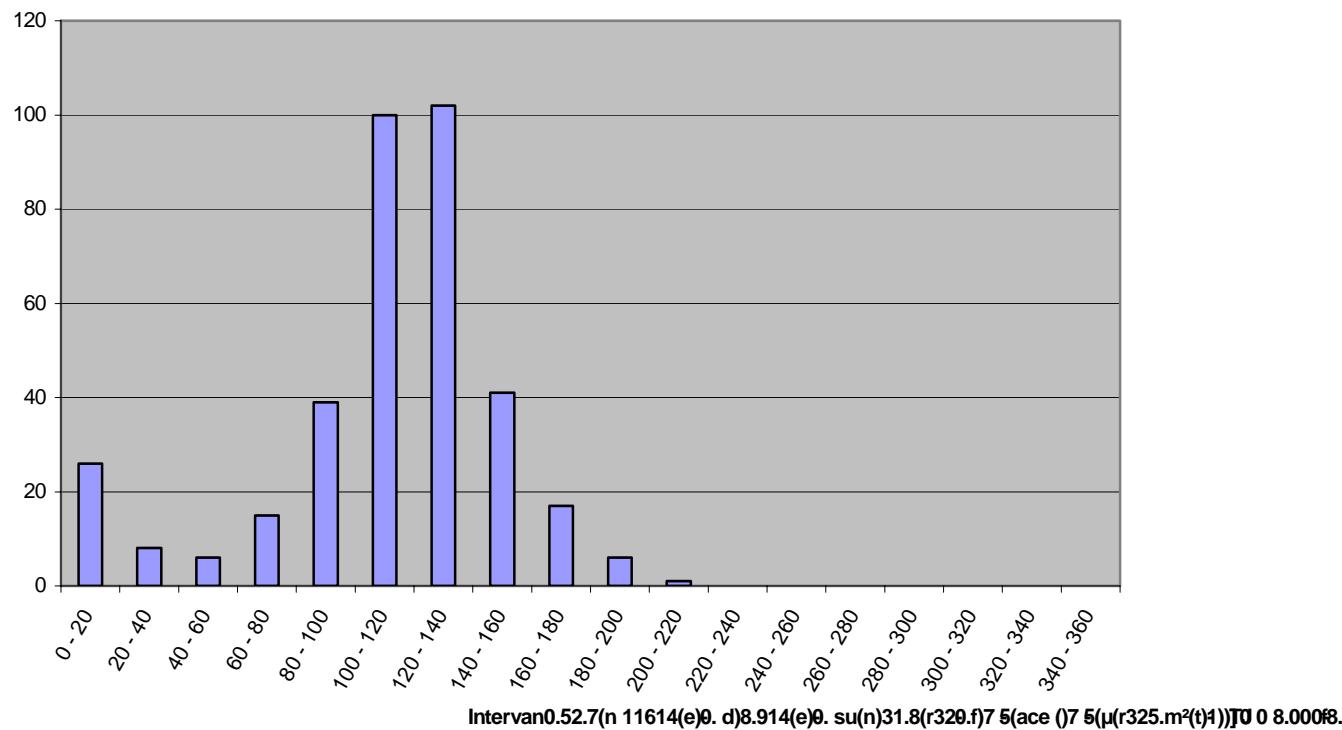


Figure 28 : Répartition des surfaces des axones du rameau ventral C8, fascicule 3, Labrador 28Kg.



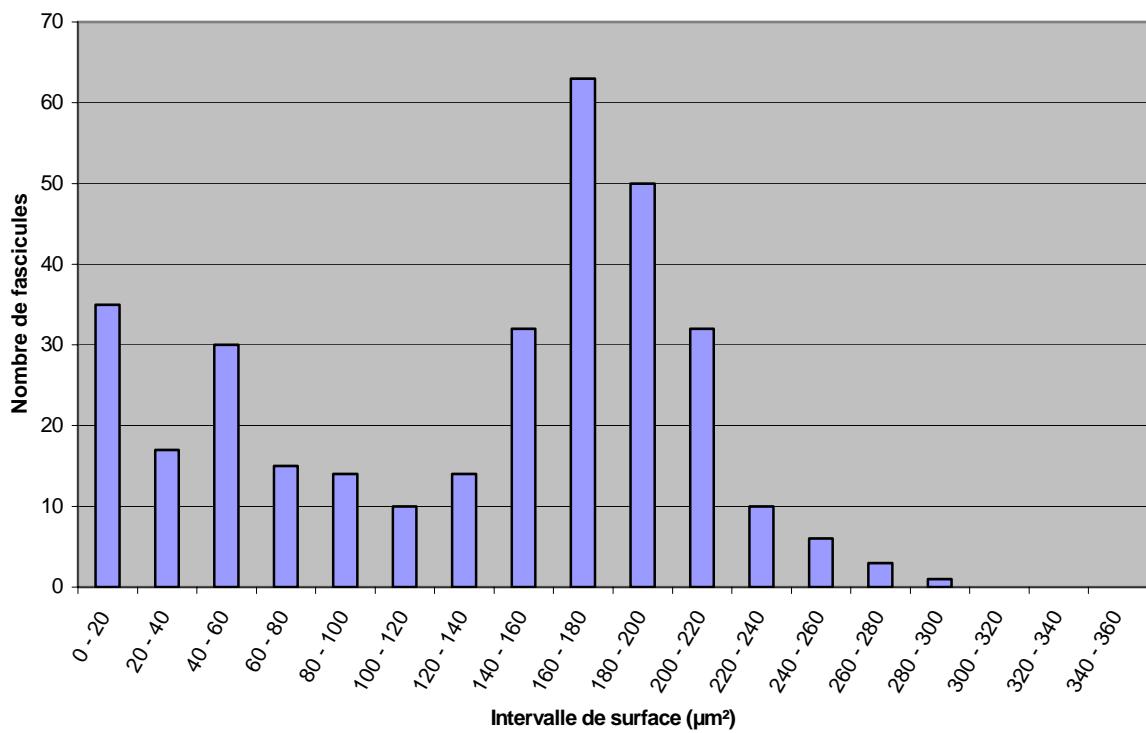


Figure 30 : Répartition des surfaces des axones du rameau ventral C8, fascicule 2, Labrador 27Kg.

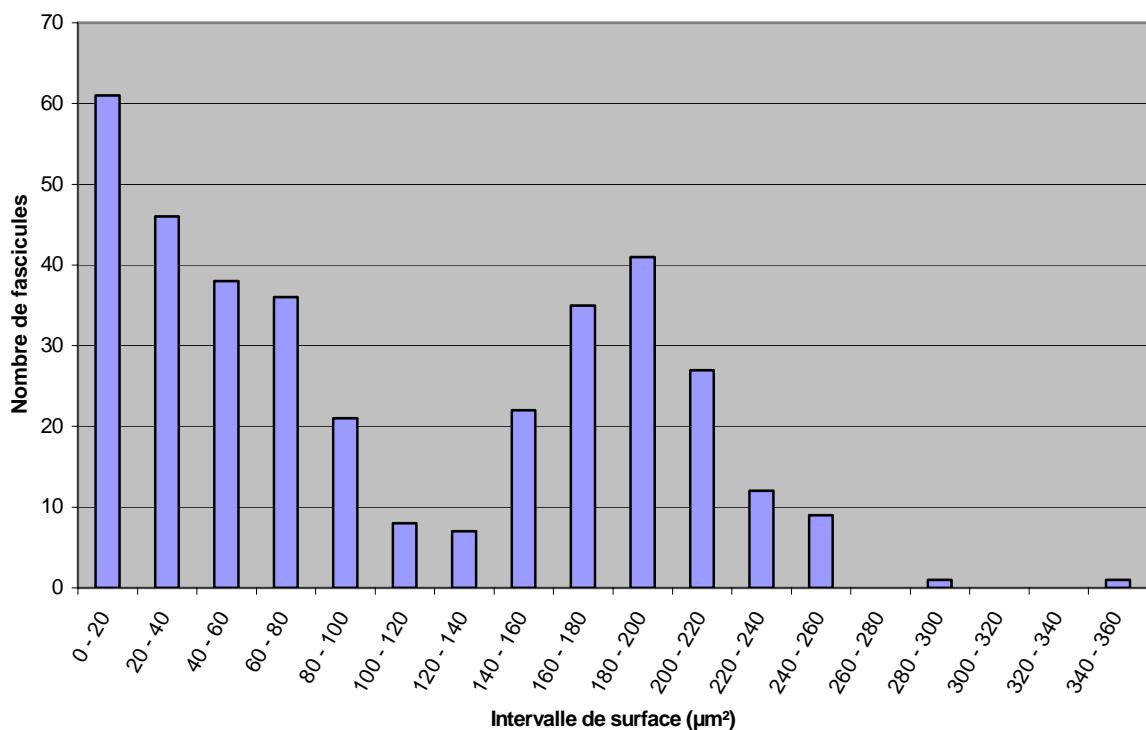


Figure 31 : Répartition des surfaces des axones du rameau ventral C8, fascicule 3, Labrador 27Kg.

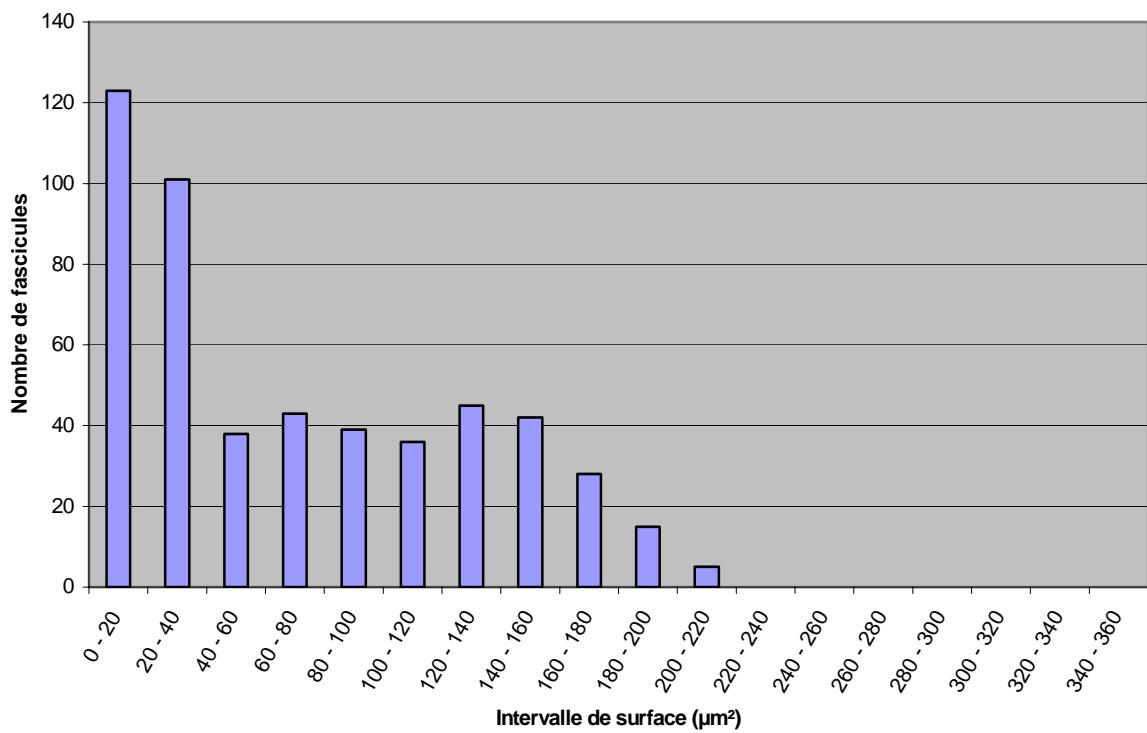


Figure 32 : Répartition des surfaces des axones du rameau ventral C8, fascicule 1, Croisé 18Kg.

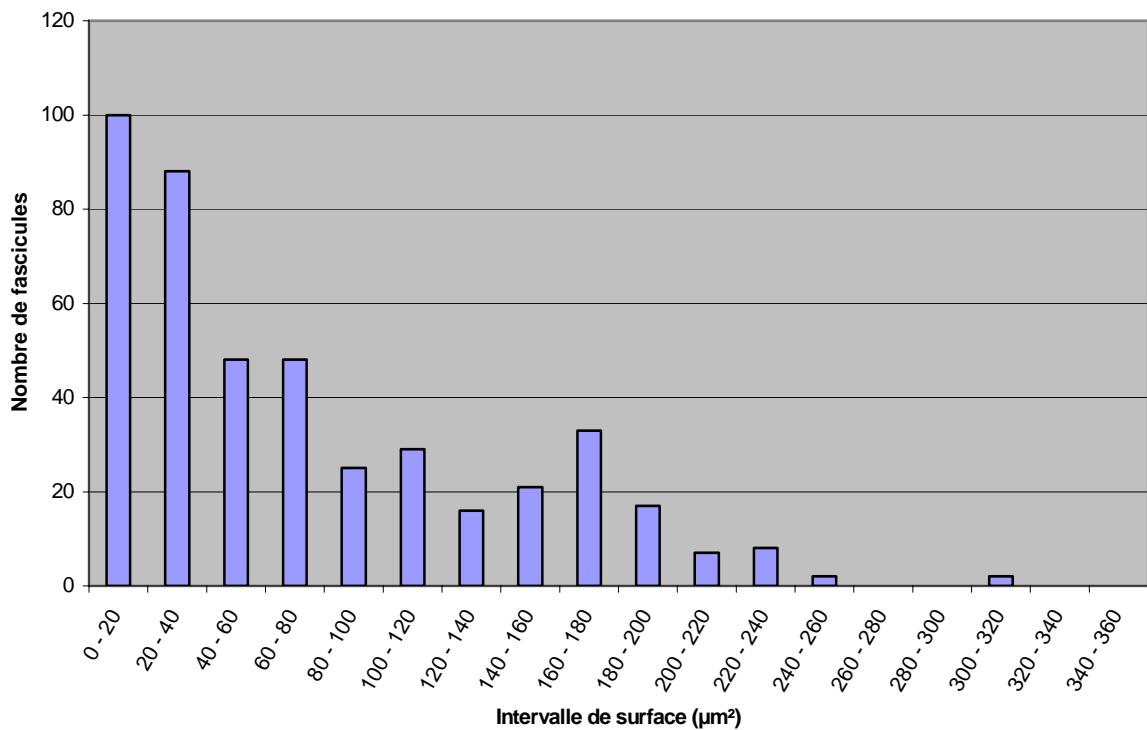


Figure 33 : Répartition des surfaces des axones du rameau ventral C8, fascicule 1, Labrador 30Kg.

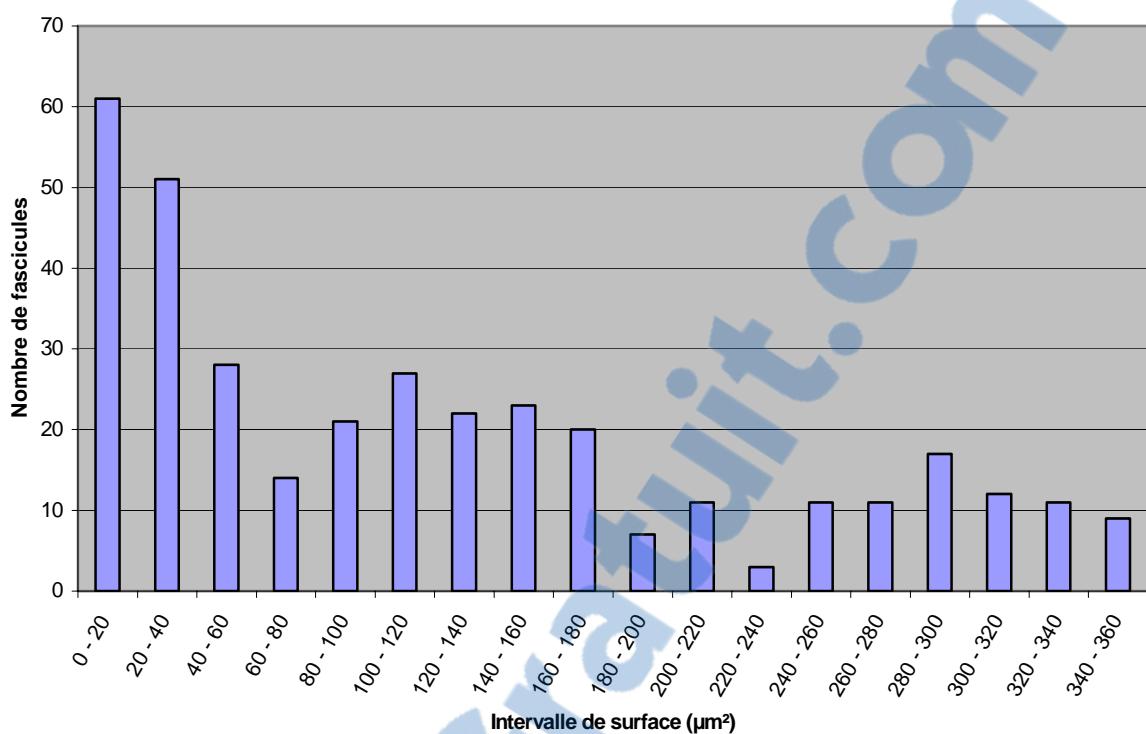


Figure 34 : Répartition des surfaces des axones du rameau ventral C8, fascicule 2, Labrador 30Kg.

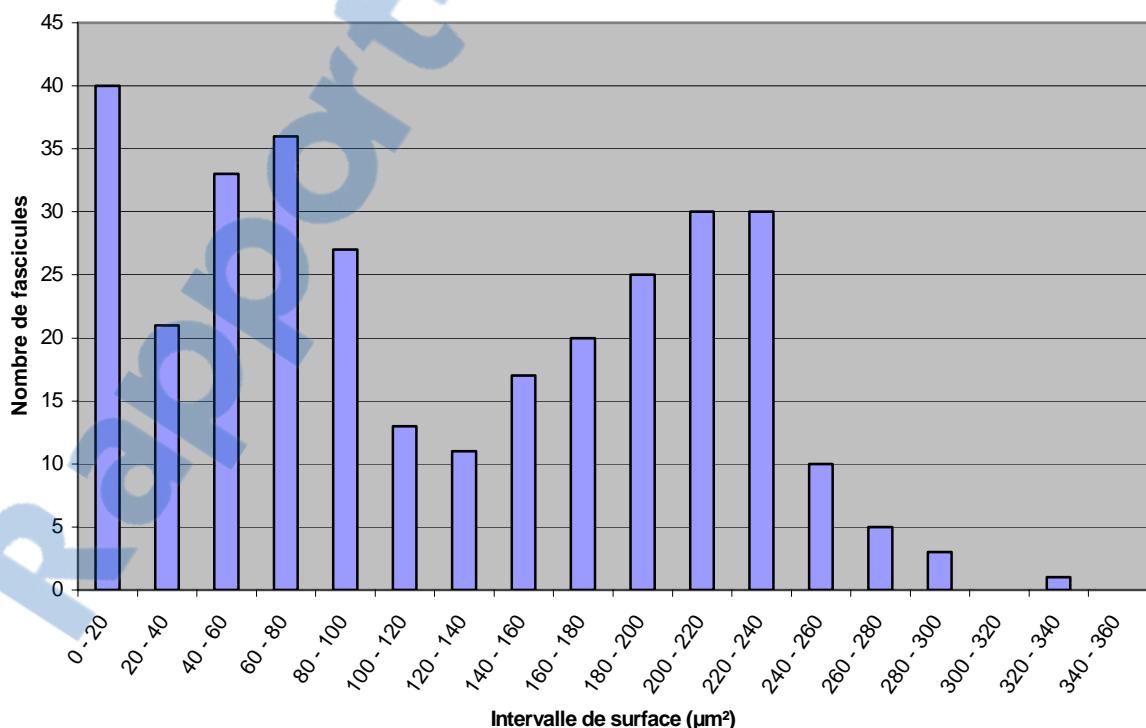


Figure 35 : Répartition des surfaces des axones du rameau ventral C8, fascicule 1, Epagneul Breton 20Kg (1).

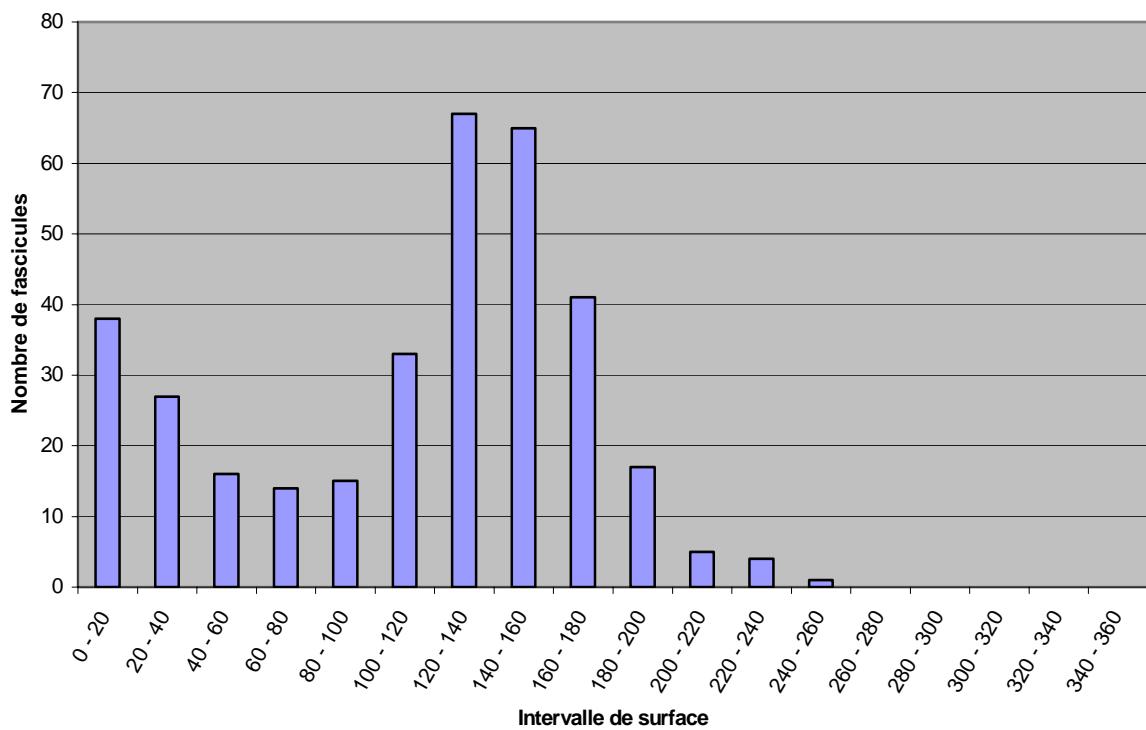


Figure 36 : Répartition des surfaces des axones du rameau ventral C8, fascicule 2, Eagneul Breton 20Kg (1).

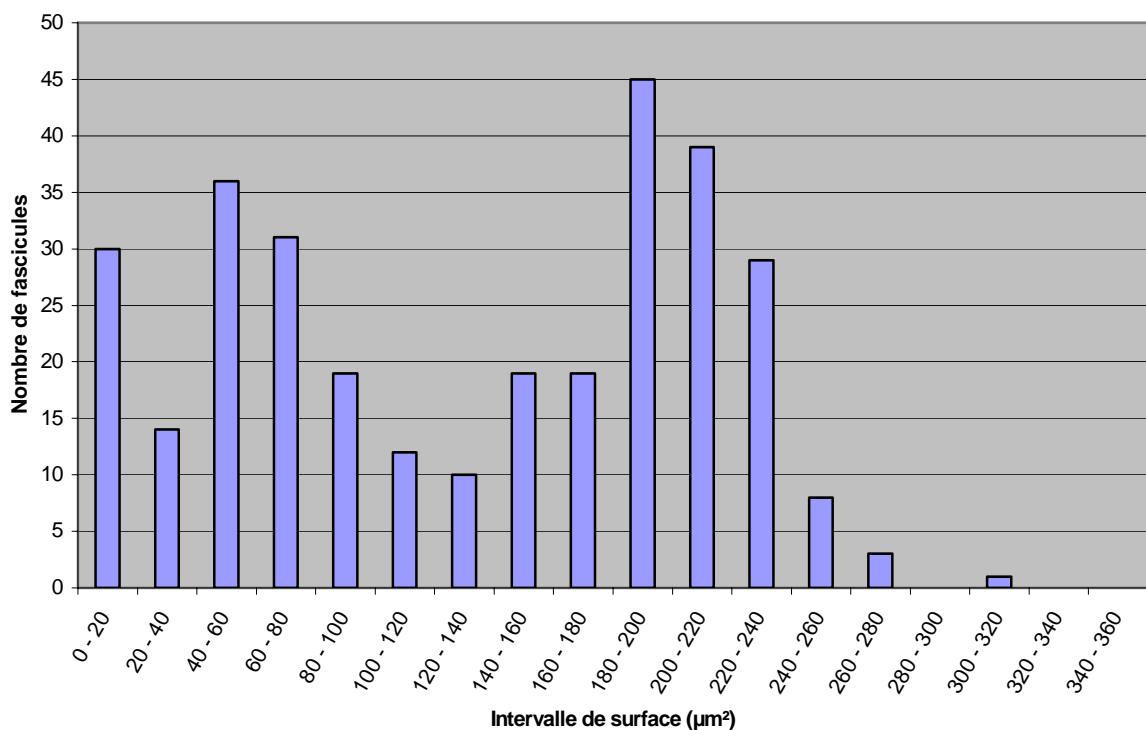


Figure 37 : Répartition des surfaces des axones du rameau ventral C8, fascicule 3, Eagneul Breton 20Kg (1).

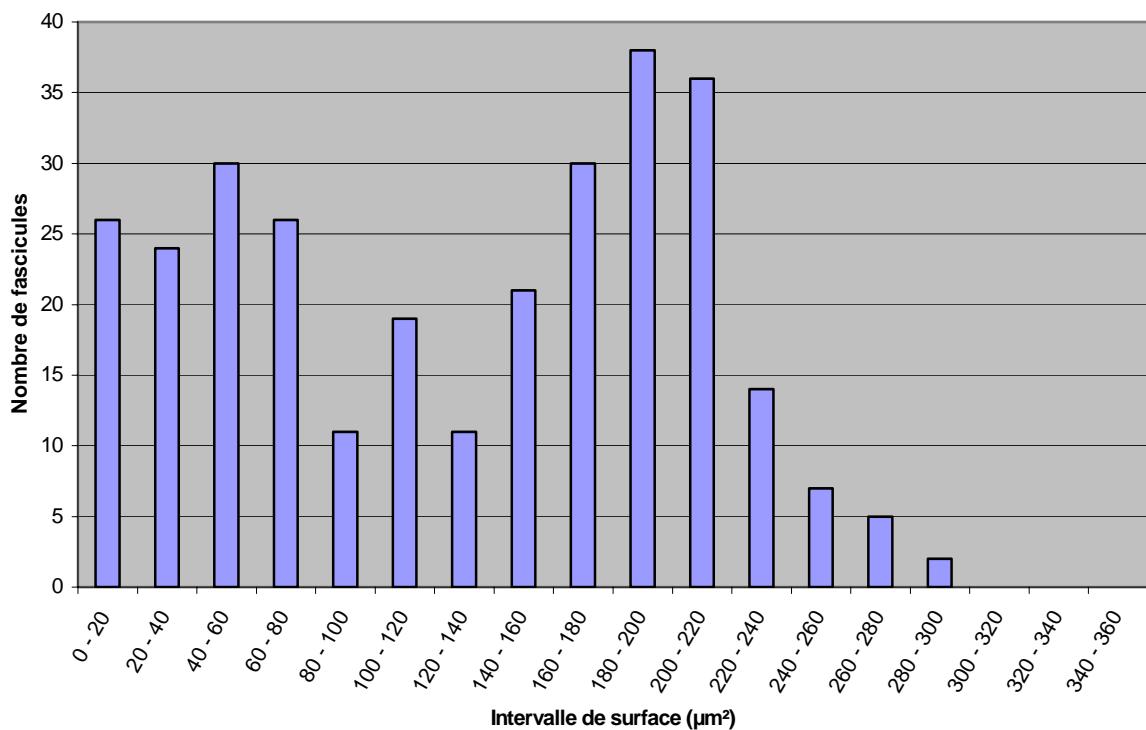


Figure 38 : Répartition des surfaces des axones du rameau ventral C8, fascicule 4, Epagneul Breton 20Kg (1).

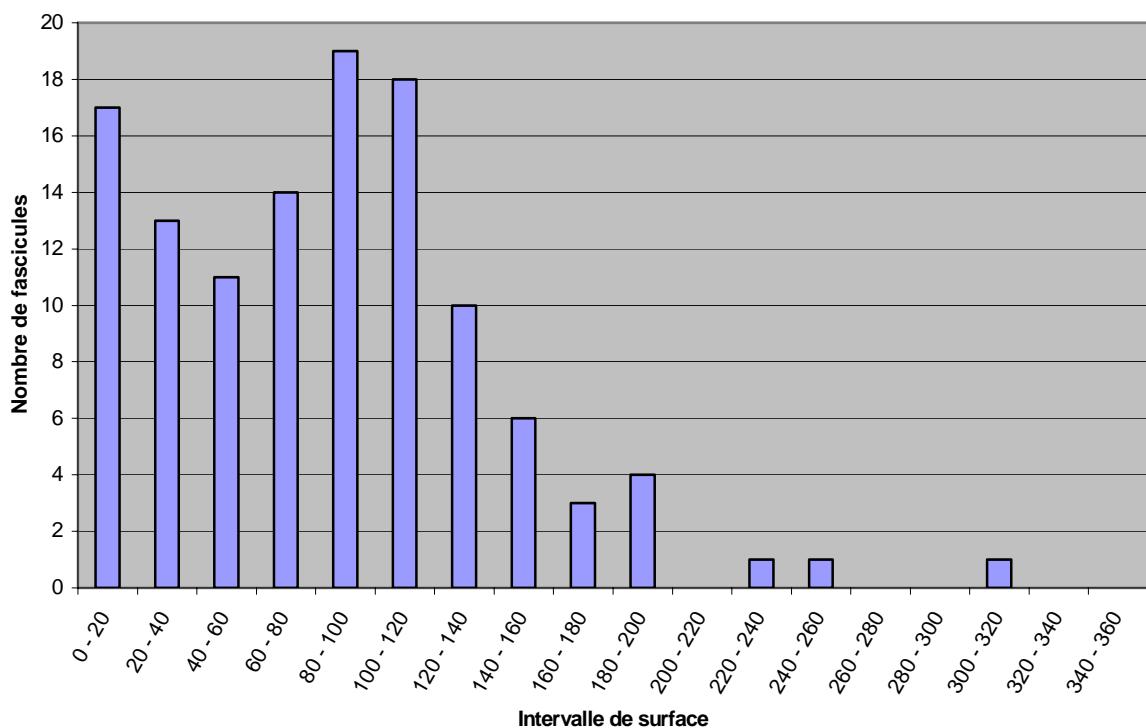


Figure 39 : Répartition des surfaces des axones du rameau ventral C8, fascicule 1, Epagneul Breton 20Kg (2).

2. Evaluation clinique

2.1. Examen clinique

Il a été constaté, sur 3 des chiens, des réactions inflammatoires importantes au niveau de la plaie. Tous les chiens concernés vivaient à plusieurs dans une même cage, le léchage par leurs congénères ou les bagarres sont donc vraisemblablement à l'origine de ces réactions inflammatoires, sans gravité par ailleurs.

Nous avons réuni dans la figure 40 les résultats des examens cliniques à distance pratiqués sur les chiens. Nous avons noté pour chaque chien le jour d'apparition du type de boiterie signalé.

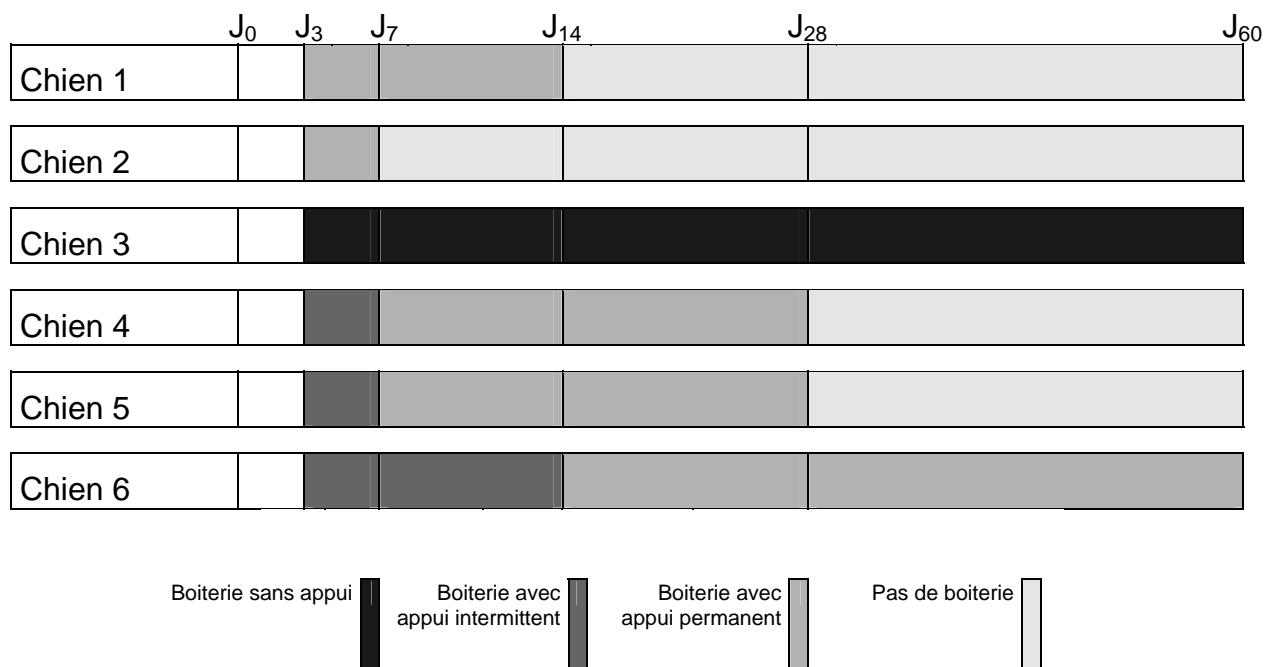


Figure 40 : Examen orthopédique à distance : évaluation de la boiterie.

Dans le cas du chien 3, il faut signaler que lors de l'intervention chirurgicale, les rameaux ventraux C8 et C7 avaient été sectionnées tous les deux du fait de leur fusion. Le chien a conservé durant tous les examens post-opératoires une boiterie sans appui avec un membre en position semi-fléchie.

Dans le cas du chien 6, qui était la chienne en cours d'allaitement, une boiterie a persisté pendant toute la durée de l'étude. Cette chienne ayant été adoptée après l'expérimentation, les propriétaires ont pu nous dire que la boiterie avait disparu à peu près 6 mois après son arrivée chez eux.

Les autres chiens de l'étude ont permis de montrer que le retentissement de la section du rameau ventral C8 sur l'état clinique est peu important et qu'elle n'est de toute façon que temporaire, puisqu'ils ont tous récupéré une démarche normale dans le mois qui a suivi l'opération.

L'examen orthopédique rapproché a montré une amyotrophie très discrète des muscles du bras et de l'avant-bras pour les chiens 1, 2, 4 et 5, et aucune douleur à la manipulation des articulations de l'épaule, du coude et du carpe. L'amyotrophie a été plus sévère pour le chien 6, ceci étant corrélé avec une boiterie plus durable, mais toujours sans douleur notable. Dans le cas particulier du chien 3, l'amyotrophie a été marquée dès la première semaine et, à l'examen du premier mois, on a pu constater, à la palpation des muscles, une forte diminution de leur volume et de leur souplesse. les manipulations des articulations du coude et de l'épaule à ce stade ont également révélé une forte ankylose, qui s'est encore aggravée à l'examen du second mois.

Nous pouvons donc conclure que la section isolée du rameau ventral C8 engendre un déficit clinique peu grave et temporaire.

2.2. Examen neurologique

Les résultats des examens neurologiques sont consignés dans le tableau VIII. On a noté pour chaque type d'examen les réponses normales, les réponses diminuées ou bien absentes.

Tableau VIII : résultats des examens neurologiques

	Réflexe tricipital			Réflexe de l'extenseur radial du carpe			Réflexe de retrait			Proprioception			Sensibilité douloureuse superficielle			Sensibilité douloureuse profonde		
	J7	J30	J60	J7	J30	J60	J7	J30	J60	J7	J30	J60	J7	J30	J60	J7	J30	J60
Chien 1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
Chien 2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Chien 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Chien 4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Chien 5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Chien 6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2

Légende du tableau VIII : 2 : réponse normale,
1 : réponse diminuée,
0 : absence de réponse.

Les chiens 1, 2, 4, 5 et 6 n'ont révélé aucune anomalie à l'examen des réflexes tricipital, de l'extenseur radial du carpe et du réflexe de retrait, ni en ce qui concerne la proprioception et la sensibilité douloureuse profonde. Seule la sensibilité douloureuse superficielle s'est révélée diminuée, pour les chiens 1 et 6, lors du premier examen.

Dans le cas particulier du chien 3, ayant subi une section des rameaux ventraux C8 et C7, l'examen neurologique était fortement modifié, puisqu'il a révélé une absence totale et définitive de réflexes et de la sensibilité.

Nous pouvons donc conclure que, dans le cas d'une section isolée de C8, cela n'engendre pas de déficit neurologique, notable et durable, perceptible à l'examen neurologique.

3. Evaluation Electrophysiologique

3.1. Electromyographie de détection (EMG)

Les résultats des trois séries d'EMG concernant les activités spontanées sont consignés dans le tableau IX.

L'étude électrophysiologique permet de montrer que la dénervation existe bien mais n'est jamais complète sur la totalité des muscles testés. Les potentiels de fibrillation enregistrés sont de faible intensité et tendent dans la plupart des muscles testés à disparaître dans les deux mois suivant la chirurgie. On notera toutefois encore le cas particulier du chien 3, chez qui l'on observe dans tous les muscles des potentiels de fibrillation de forte intensité et dans quasiment tous les territoires testés. Exception faite du muscle biceps brachial, pour lequel les résultats sont plus semblables à ceux des autres chiens, ceci venant du fait que ce muscle est innervé par le nerf musculo-cutané issu principalement des racines C5 et C6, donc pour lequel la section de C8 et de C7 conjointement, a peu de répercussions.

Tableau IX : Résultats de l'évaluation des activités spontanées

	Extenseurs du carpe et/ou des doigts			Triceps brachial			Biceps brachial			Fléchisseurs du carpe et/ou des doigts			Interosseux		
	J7	J30	J60	J7	J30	J60	J7	J30	J60	J7	J30	J60	J7	J30	J60
Chien 1	+	0	0	+	+	+	0	0	0	+	+	0	+	+	+
Chien 2	+	+	+	+	+	0	0	0	0	+	+	0	+	+	0
Chien 3	+++	+++	++	++	+	+	+	0	0	++	++	++	+++	+++	+++
Chien 4	0	+	0	0	+	+	+	0	0	0	0	0	+	+	0
Chien 5	0	+	0	+	+	0	0	0	0	+	0	0	0	+	0
Chien 6	+	+	+	+	+	+	0	0	0	+	+	+	++	++	+

L'échelle d'appréciation de l'activité spontanée est conforme à celle décrite dans le tableau II.

Les électromyographies du membre sain controlatéral n'ont révélé aucune anomalie.

En ce qui concerne les mesures des activités d'insertion, celles-ci se sont toujours révélées augmentées dans tous les muscles testés et pour tous les chiens avec une tendance à l'amélioration au fil de l'expérimentation, mais sans atteindre la normalisation.

3.2. Potentiels évoqués musculaires

Nous avons pu constituer une base de données selon nos conditions expérimentales sur les muscles des membres thoraciques droits des chiens opérés. Les valeurs moyennes fournies dans le tableau X représentent la « norme » pour le muscle étudié.

Tableau X : Amplitudes moyennes et écarts types des PEM, exprimées en mV, obtenues sur les membres sains controlatéraux

Muscles	Extenseurs du carpe et/ou des doigts	Triceps brachial	Interosseux	Fléchisseurs du carpe et/ou des doigts
PEM	34,60 +/- 8,52	21,39 +/- 8,25	22,86 +/- 7,12	18,01 +/- 5,72

Les valeurs des amplitudes des PEM, exprimées en mV, des différents muscles testés sont consignées dans le tableau XI.

Tableau XI : Résultats des potentiels évoqués musculaires (en mV)

	Extenseurs du carpe et/ou des doigts			Triceps			Interosseux			Fléchisseurs du carpe et/ou des doigts		
	J7	J30	J60	J7	J30	J60	J7	J30	J60	J7	J30	J60
Chien 1	16,39	23,75	13,75	10,98	13,36	15,78	18,31	13,59	27,50	28,41	35,76	11,34
Chien 2	19,11	18,13	25,86	19,14	6,41	27,12	25,36	18,02	27,68	10,57	26,85	44,76
Chien 3	3,64	1,99	0	5,39	3,24	1,96	0	0	0	5,52	4,16	5,19
Chien 4	23,41	20,05	23,78	24,17	18,65	51,20	13,36	13,02	11,45	37,24	17,28	18,40
Chien 5	26,04	25,83	36,41	9,63	10,73	28,13	11,49	21,12	26,09	36,54	23,54	16,22
Chien 6	21,74	13,93	33,28	17,76	11,17	40,94	2,15	4,62	12,32	3,73	8,52	19,02

Pour la majorité des chiens, les valeurs des PEM sont inférieures aux normes, sans toutefois en être très éloignées, à l'exception du chien 3 pour qui les valeurs sont toutes très faibles et le restent. Le chien 6 a également tendance à avoir des PEM de faible amplitude, surtout pour les muscles interosseux et les muscles fléchisseurs du carpe et/ou des doigts, ce qui est en concordance avec sa plus longue récupération clinique. Les amplitudes mesurées ont globalement tendance à augmenter au cours de l'étude, ce qui est particulièrement net pour le chien 6.

Des potentiels de faible amplitude indiquent une diminution du nombre de motoneurones présents dans le nerf (52). Lors de mécanismes de réinnervation, les PEM vont alors augmenter en amplitude et éventuellement en durée et en nombre de phases au cours du temps (19).

3.3. Potentiels évoqués sensitifs

Tout comme pour les PEM, nous avons pu établir pour les PES des valeurs moyennes faisant office de normes pour les nerfs étudiés, qui sont regroupées dans le tableau XII.

Tableau XII : Amplitudes moyennes et écarts types des PES, exprimées en mV, obtenues sur les membres sains controlatéraux

Nerfs	Nerf Radial	Nerf Ulnaire
PES	2,47 +/- 1,83	2,43 +/- 1,31

Les valeurs des amplitudes des PES (exprimées en mV) des deux nerfs testés sont consignées dans le tableau XIII.

Tableau XIII : Résultats des potentiels évoqués sensitifs (en mV)

	Nerf Radial			Nerf Ulnaire		
	J7	J30	J60	J7	J30	J60
Chien 1	0,68	0,39	1,12	0,73	3,72	2,49
Chien 2	1,38	0,44	3,87	1,53	1,68	5,89
Chien 3	0	0	0	0	0	0
Chien 4	0	0,38	0,83	1,02	2,50	2,86
Chien 5	0,67	0,51	0,88	2,64	1,20	0,89
Chien 6	1,82	0,57	2,01	1,15	3,05	1,82

L'aspect triphasique des PES est le plus classiquement décrit (25,46) mais il est très difficile d'établir des normes tant sur l'aspect des potentiels que sur leur amplitude ou leur latence, du fait de la faible reproductibilité des mesures et de nombreuses variations liées à la race, au poids, à l'âge et au sexe (55).

Chez l'Homme, il doit y avoir une atteinte fonctionnelle du tiers des fibres nerveuses ou de la moitié des fibres musculaires pour causer un changement significatif des PES comme des PEM (39)

Nos résultats montrent que tous les chiens ont des valeurs qui restent, pour l'immense majorité des mesures, inférieures aux normes. Comme pour les PEM, on constate une certaine tendance à l'augmentation au cours du temps, signe d'une réinnervation lente et progressive. On remarquera toujours le cas particulier du chien 3 pour lequel aucun PES n'a jamais pu être enregistré, la dénervation étant totale.

IV. DISCUSSION

1. Analyse critique du protocole expérimental

L'étude a été consacrée au rameau ventral C8 du plexus brachial, car celui-ci participant à la formation de tous les nerfs, sans jamais participer exclusivement à la formation d'un seul d'entre eux, on peut donc s'attendre à de faibles répercussions à la suite de sa section, et à de bons résultats lors de son utilisation pour une neurotisation croisée.

La validité des résultats que nous avons présenté doit être discutée en fonction des choix effectués lors de la conception de l'expérimentation.

1.1. Critique du matériel

Notre étude porte sur un petit nombre de chiens : dix en ce qui concerne les mesures anatomiques, huit pour l'étude morphométrique et seulement six pour l'étude clinique et électrophysiologique. On peut donc remettre en cause la fiabilité des résultats, si l'on prend en compte la grande variabilité de la constitution radiculaire du plexus brachial du chien (1).

La présence dans le lot des six chiens opérés, d'une chienne en fin de lactation, et d'un chien déjà opéré du plexus brachial sur le membre controlatéral et présentant une très discrète boiterie, réduit d'autant la représentativité de l'échantillon.

En première approche on peut néanmoins penser que le rameau ventral C8 n'est pas essentiel au bon fonctionnement du plexus brachial du chien.

1.2. **Critique de la méthode**

Les mesures effectuées sont difficilement standardisables. Les sites de mesure ne sont pas repérés de façon clairement prédefinie, mais laissés à l'appréciation de l'expérimentateur ; de plus, les mesures sont faites manuellement, à l'aide d'un mètre linéaire, et manquent donc de précision.

Les sites de prélèvements des rameaux ventraux utilisées pour l'étude morphométrique, ne sont pas parfaitement identifiés. Les prélèvements ont été effectués approximativement au même niveau, d'un chien à l'autre, mais sans déterminer au préalable une distance standard de coupe par rapport à leur sortie du plexus. Or, on sait que les fascicules se divisent ou fusionnent tout au long d'un même nerf. Des coupes nerveuses étagées permettraient de déterminer plus précisément cette variation fasciculaire.

Nous avons constaté, lors de l'examen des coupes de rameau ventral, de nombreux artéfacts. Le délai entre la mort de l'animal et le prélèvement (pouvant aller jusqu'à 24 heures) et celui entre la fixation du prélèvement dans le formol et l'inclusion (pouvant être de plusieurs jours ou de plusieurs semaines), sont sans doute à l'origine de certains de ces artéfacts, du fait d'une rétraction des fibres au cours du temps.

La méthode de comptage fasciculaire résulte d'une double approximation, et mène à une minoration du nombre d'axones. En effet, d'une part l'ordinateur ne prend pas en compte la totalité des axones, car il élimine du comptage ceux de trop faible taille, ainsi que ceux qui se chevauchent et qu'il ne peut dénombrer. D'autre part, le calcul du nombre d'axones par fascicule et par rameau ventral, fait à partir du nombre d'axones mesurés par champ, n'est parfaitement valable que si la densité fasciculaire reste toujours la même.

Le protocole opératoire pour la section de la racine C8 n'a sans doute pas été suffisamment précis, puisque nous avons sectionné à tort, pour un des chiens, les racines C7 et C8 qui étaient fusionnées.

Les études clinique et électrophysiologique ont été réalisées sur une période courte de seulement deux mois, période au delà de laquelle on peut pourtant encore noter une évolution pour certains animaux.

2. Analyse des résultats

En plus de sa grande facilité de réalisation, la procédure chirurgicale décrite (abord des rameaux ventraux par voie ventrale médiane, à leur émergence sous le muscle long du cou), ne nécessite pas de matériel spécifique et permet un accès large et non traumatisant aux rameau ventraux. Cette voie d'abord sera donc parfaitement adaptée à la réalisation d'une neurotisation croisée à partir du rameau ventral C8.

Les mesures des rameaux ventraux C8 et de leur recouvrement, montrent que ce dernier est toujours possible, avec des grandeurs allant de 0,5 cm à 1,4 cm, et qu'il peut, si nécessaire, être augmenté par la section du muscle long du cou ; le recouvrement atteint ainsi 1 cm à 2,2 cm. De plus, dans les conditions réelles d'une avulsion du plexus brachial, le rameau ventral lésé s'avulse au niveau spinal, il sera donc plus long que dans les conditions expérimentales, ce qui permet d'envisager aisément une résection jusqu'en zone saine sans compromettre la faisabilité du recouvrement.

Ceci signifie que la suture entre les deux bouts est possible sans tension, c'est-à-dire que la neurotisation croisée du rameau ventral C8 avulsé à partir du rameau ventral C8 sain controlatéral est possible par cette voie d'abord.

Les résultats de l'étude morphométrique sont éloignés de ce que l'on pouvait attendre au vu de ceux obtenus chez le chat par AUBERT (2). La moyenne du nombre de fascicules par rameau ventral est de 2,2 +/- 0,9 pour notre étude contre 6,7 +/- 3,5 chez le chat ; la moyenne du nombre d'axones par rameau ventral est de 3361,4 +/- 1328,2 pour notre étude contre 16673 +/- 3307 chez le chat. Cet écart nous semble beaucoup trop important pour être le reflet de la réalité et il est plus vraisemblablement dû à un défaut de la méthode de prélèvement et de comptage comme nous l'avons expliqué ci-dessus. Par contre nous noterons la grande variabilité des résultats chez le chien, comme chez le chat.

On peut, néanmoins, continuer à penser que le rameau ventral C8 sain sera d'un grand intérêt, comme pourvoyeur d'axones, lors de son utilisation pour la neurotisation du rameau ventral C8 controlatéral avulsé. Les études menées chez l'Homme, par GU et al. (21, 20), ont montré que l'utilisation de la racine C7 saine (équivalente anatomiquement à la racine C8 du Chien et du Chat) pour la neurotisation du nerf ulnaire controlatéral, lésé lors d'avulsion du plexus brachial, permet l'apport d'un plus grand nombre d'axones qu'avec les nerfs phrénique, accessoire et intercostaux, classiquement utilisés pour les anastomoses nerveuses. Cette technique de neurotisation croisée par la racine C7 saine, pour le traitement des avulsions du plexus brachial chez l'Homme, donne des résultats très encourageants en offrant une récupération meilleure et dans des délais plus courts.

L'étude clinique réalisée sur les six chiens montre que, pour les cinq d'entre eux qui ont eu une section isolée du rameau ventral C8, la récupération fonctionnelle est très satisfaisante. Pour quatre d'entre eux, la récupération est totale un mois seulement après la section, c'est-à-dire qu'ils ne présentent plus aucune boiterie et que les examens orthopédique et neurologique sont normaux. Pour l'un des chiens uniquement, malgré un examen neurologique normal, il a fallu attendre environ huit mois pour constater une disparition de la boiterie ; cet animal a néanmoins conservé une discrète amyotrophie.

Les résultats de l'étude électrophysiologique montrent que les anomalies sont peu graves et qu'elles ont toujours tendance à l'amélioration. Les valeurs des amplitudes des PEM tendent à la normalisation. Ceci est le signe d'une réinnervation et d'une prise en charge par les autres racines (C5, C6, C7 et T1) des nerfs issus du plexus. Les valeurs des amplitudes des PES sont davantage modifiées, étant sans doute sensibles à des lésions plus fines, mais elles ont, comme pour les PEM, une tendance à l'amélioration, pour les raisons évoquées ci-dessus.

L'examen électrophysiologique permet un diagnostic plus fin et met en évidence des anomalies qui finalement importent peu, puisque la fonctionnalité du membre est très vite restaurée, et que les animaux ne présentent aucun handicap majeur.

On peut donc dire que la gène qu'engendre la section de la racine C8 est discrète et temporaire. Ces résultats sont en corrélation avec les constatations faites lors de la section de la racine C7 chez l'Homme qui provoque, dans la majorité des cas, des douleurs discrètes et un engourdissement des doigts, ainsi qu'une diminution de la force de préhension et du tonus musculaire, mais toutes ces manifestations disparaissent après 4 à 8 semaines (20,21). Les études menées chez le rat débouchent sur les mêmes conclusions, c'est-à-dire l'apparition de troubles discrets qui rétrocèdent en quelques jours (9).

Ceci permet donc de pouvoir pratiquer, sans risque pour l'animal, soit la section du rameau ventral C8 en vue d'une neurotisation croisée pour le traitement des avulsions du plexus brachial contralatéral, soit sa résection lors de l'exérèse d'une tumeur de la racine, d'un neurofibrosarcome ou d'un schwanome par exemple.

CONCLUSION

Nous avons décrit, à travers ce travail, une voie d'abord ventrale pour l'accès au rameau ventral du nerf C8 du plexus brachial, et confirmé son intérêt pour la réalisation d'une neurotisation croisée.

Les mesures faites sur les rameaux ventraux et leur recouvrement après section, montrent que la neurotisation du rameau ventral C8 avulsé par le rameau ventral C8 sain controlatéral est, dans ces conditions, techniquement réalisable.

L'étude morphométrique, même si elle ne répond pas complètement à nos attentes, ne remet pas en cause l'utilisation du rameau ventral C8, comme pourvoyeur d'axones lors de neurotisation croisée. Le rameau ventral C8 est anatomiquement le rameau le plus volumineux du plexus et le plus intéressant, puisqu'il participe à la formation de tous les principaux nerfs du membre thoracique.

Nos travaux sur les animaux ayant subi une section du rameau ventral C8, nous ont permis de montrer que les conséquences cliniques de cette intervention sont sans gravité. En effet, les animaux ont retrouvé, dans des délais relativement courts, une démarche et des examens neurologiques normaux. D'autre part, d'un point de vue électrophysiologique, tous les résultats sont modifiés dans un premier temps, mais tendent à une amélioration rapide par la suite.

Au terme de notre étude, il apparaît que le rameau ventral du nerf C8 n'est pas indispensable au bon fonctionnement du plexus brachial du Chien. Il pourra donc être réséqué, lors de tumeur par exemple, ou sectionné pour être utilisé, dans sa totalité, lors du traitement des avulsions du plexus brachial, dans le cadre d'une neurotisation croisée du rameau ventral C8 controlatéral avulsé.

Les essais de cette technique menés sur le chat sont encourageants et laissent entrevoir un réel espoir pour le traitement des avulsions du plexus brachial chez les Carnivores domestiques.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 ALLAM MWD, LEE DG NULSEN FE, FORTUNE EA. The anatomy of the brachial plexus in the dog. *Anat. Rec.*, 1952, **114**, 173-180.
- 2 AUBERT L. *Caractérisation macro et micro-anatomique du plexus brachial du chat*. Thèse Méd. Vét., Alfort, 2001, 89p.
- 3 BERTELLI JA, GHIZONI MF. Selective motor hyperreinnervation by using contralateral C7 motor rootlets in the reconstruction of an avulsion injury of the brachial plexus. Case Report. *J. Neurosurg.*, 1999, **90**, 1133-1136.
- 4 BLOT S. Electrodiagnostic des affections neuromusculaires. *Point Vét.*, 1991, **23**, 585-595.
- 5 BRAUND KG, SHORES A, BRAWNER WR. Etiology, pathology and physiopathology of acute spinal cord trauma. *Vet. Med.*, 1990, **12**, 684-691.
- 6 BROWN NO, ZAKI FA. Electrodiagnostic testing for evaluation of neuromuscular disorders in dogs and cats. *JAVMA*, 1979, **174**, 86-90.
- 7 BRUNELLI G. Les neurotisations musculaires directes. *Ann. Chir. Main.*, 1989, **8**, 324-328.
- 8 CARLSTEDT T. Functionnal recovery after ventral root avulsion and reimplantation in the spinal cord. *Clin. Neurol. Neurosurg.*, 1993, **95**, 109-111.
- 9 CHEN L , GU YD. An experimental study of contralateral C7 root transfer with vascularized nerve grafting to treat brachial plexus root avulsion. *J. of Hand Surgery (British and European Volume)*, 1994, **19B**, 60-66.
- 10 CUVILLIEZ V. *Réparation des lésions d'avulsion du plexus brachial au moyen des nerfs thoracodorsal et thoracique latéral controlatéraux*. DEA de neurosciences, Faculté de médecine Paris-Sud, 1999-2000, 128p.

-
- 11 DAVIS DH, ONOFRIO BM, MACCARTY CS. Mayo clinical proceedings, 1978, **53**,799-807.
- 12 DICKELE G. Neuropathies périphériques traumatiques. *Prat. Med. Chir. Anim. Comp.*, 1994, **29**,9-23.
- 13 EVANS EE. *Miller's Anatomy of the dog*, 3rd ed., Philadelphia, WB Saunders, 1993, 1113p.
- 14 FRIEDMAN AH, NASHOLD BS JR., BRONEC PR. Dorsal root entry zone lesions for the treatment of brachial plexus avulsion injuries : a follow up study. *Neurosurg.*, 1988, **22**, 369-375.
- 15 FRIEDMAN AH. Neurotization of elements of the brachial plexus. *Neurosurg. Clin. North Am.*,1991, **2**, 165-174.
- 16 FUHRER L. Examens complémentaires dans les syndromes neuromusculaires : Electrodiagnostic et biopsies nerveuse et musculaire. *Point Vét.*, 1995, **27**, 823-832.
- 17 GIBSON K, DANILOFF J. Peripheral nerve repair. *The Compendium*, 1989, **11**, 938-945.
- 18 GRIFFITHS IR, DUNCAN ID, LAWSON DD. Avulsion of the brachial plexus– 2. Clinical aspects. *J. Small Anim. Pract.*, 1974, **15**, 177-182.
- 19 GRIFFITHS IR, DUNCAN ID. The use of electromyography and nerve conduction studies in the evaluation of lower motoneurone disease or injury. *J. Small Anim. Pract.*, 1978, **19**, 329-340.
- 20 GU YD, ZHANG GM, CHEN DS, CHENG XM, ZHANG LY, YAN JG, CAI PQ, SHEN LY. Cervical nerve root transfer from contralateral normal side for treatment of brachial plexus root avulsions. *Chinese Medical Journal*, 1991, **104**, 208-211.
- 21 GU YD, ZHANG GM, CHEN DS, YAN JG, CHENG XM, CHEN L. Seventh cervical nerve root transfer from the contralateral healthy side for treatment of brachial plexus root avulsion. *J. Of Hand Surgery(British Volume)*, 1992, **17B**, 518-521.
- 22 HALL ED, WOLF DL, BRAUGHLER JM. Pathophysiology, consequences and pharmacological prevention of post-traumatic. *CNS ischemia.*, 1987, **13**, 63-73.
- 23 HOFFMANN C, MARANI E, GERT VAN DIJK J. Reinnervation of avulsed and reimplanted ventral rootlets in the cervical spinal cord of the cat. *J. Neursurg.*, 1996, **84**, 234-243.

-
- 24 HOFFMANN CFE, MARANI E, OESTREICHER AB, THOMEER RTWM. Ventral root avulsion versus transection at the cervical 7 level of the cat spinal cord. *Restorative neurology and Neurosci.*, 1993, **5**, 291-302.
- 25 HOLLIDAY TA, EALAND BG, WELDON NE. Sensory nerve conduction velocity : technical requirements and normal values for branches of the radial and ulnar nerves of the dog. *Am. J. Vet. Res.*, 1977, **38**, 1543-1551.
- 26 HOLLIDAY TA. Electrodiagnostic evaluation : Somatosensory evoked potentials and electromyographie. *Vet. Clin. North Am. Small An. Pract.*, 1992, **22**, 833-857.
- 27 ISLA A, BEJARANO B, MORALES C, PERZ CONDE C, AVENDANO C. Anatomical and functional connectivity of the transect ulnar nerve after intercostal neurotization in cats. *J. Neurosurg.*, 1999, **90**, 1057-1063.
- 28 IWASHITA Y, KAWAGUSHI S, MURATA M. Restauration of function by replacement of spinal cord segments in the rat. *Nature*, 1994, **367**, 167-170.
- 29 KLINE DG. Civigunshot wounds to the brachial plexus. *J. Neurosurg.*, 1989, **70**, 166-172.
- 30 KNECHT CD, GREENE IA. Surgical approach to the brachial plexus in small animals. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.*, 1977, **13**, 592-4.
- 31 LAVIEILLE S, MOISSONNIER P. Traitement d'une avulsion du plexus brachial par réimplantation radiculaire chez un chaton. *Rec. Méd. Vét.*, spécial cas clinique, mai-juin 1996, 273-279.
- 32 LAVIEILLE S. *Reconnections motrice et sensitive après avulsion et réimplantation des racines dorsales et ventrales de la portion crâniale du plexus brachial du chien*. Thèse Méd. Vét., Alfort, 1997, 102p.
- 33 MANO Y, NAKAMURO T, TAMURA R, TAKAYANIGI T, KAWANISHI K, TAMSAI S, MAYER R. Central motor reorganisation after anastomosis of the musculocutaneous and intercostal nerves following cervical root avulsion. *Ann. Neurol.*, 1995, **38**, 15-20.
- 34 MOISSONNIER P, DICKELE G, LAVIEILLE S. Abord du plexus brachial et de ses racines médullaires crâniales chez le chien. *Point Vét.*, 1995, **27**, 637-648.
- 35 MOISSONNIER P. Chirurgie du système nerveux périphérique. *Encyclopédie Vétérinaire*, Paris, Neuro-chirurgie, 1978, n°1100, 5p.

-
- 36 MOISSONNIER P. Les tumeurs des nerfs périphériques chez le chien et le chat. *Encyclopédie vétérinaire*, Paris, Neuro-chirurgie, 1995, n°1050, 12p.
- 37 MOISSONNIER P. Vers un traitement chirurgical des avulsions radiculaires chez le chien et le chat? *Le Point Vét.*, 1996, **27**, 981-984.
- 38 NARAKAS AO, HENTZ VR. Neurotization in brachial plexus injuries. Indication and results. *Clin. Orthop.*, 1988, **237**, 43-56.
- 39 NIEDERHAUSER UB, HOLLIDAY TA. Electrodiagnostic studies in diseases of muscles and neuromuscular junctions. *Semin. Vet. Med. Surg.*, 1989, **4**, 116-125.
- 40 OLIVER JE, HOERLEIN BF, MAYHEW IG. Veterinary neurology. Philadelphia, W.B. Saunders, 1987, 366-369.
- 41 OLIVER JE, LORENZ MD. Handbook of veterinary neurology. Philadelphia, W.B. Saunders, 1993, 120-122.
- 42 PENKERT G, CARVALHO GA, NIKKHAH G, TATAGIBA M, MATTHIES C, SAMII M. Diagnosis and surgery of brachial plexus injuries. *J. Reconstr. Microsurg.*, 1999, **15**, 3-8.
- 43 PIERMATTEI DL. *Voies d'abord en chirurgie ostéo-articulaire du chien et du chat*, Edition du Point Vétérinaire, 1993, 336 p.
- 44 PONCELET L. L'électromyographie chez le chien : une revue. *Anim. Méd. Vét.*, 1988, **132**, 637-649.
- 45 PRIVAT JM, FINIELS PJ. Traumatismes des nerfs périphériques. In: DECQ P, KERADEL Y : *Neurochirurgie*, Ed. Marketing/Ellipse, 1995, 611-613.
- 46 REDDING RW, INGRAM JT, COLTER SB. Sensory nerve conduction velocity of cutaneous afferents of the radial, ulnar, peroneal, and tibial nerves of the dog : reference values. *Am. J. Vet. Res.*, 1982, **43**, 517-521.
- 47 SAMARDZIC M, GRUJICIC D, ANTUNOVIC V. Nerve transfer in brachial plexus injuries. *J. Neurosurg.*, 1992, **76**, 191-418.
- 48 SCHRAMM J, HASHIZUME K, FUKUSHIMA T, TAKAHASHI H. Experimental spinal cord injury produced by slow, graded compression. *J. Neurosurg.*, 1979, **50**, 48-57.
- 49 SEDEL L. Repair of severe traction lesions of the brachial plexus. *Clin. Orthop.*, 1988, **237**, 62-66.

-
- 50 SHARP JS, BAILEY CS, JOHNSON RD, KITCHELL RL. Spinal root origine of the median, ulna and musculocutaneous nerves and their muscle nerve branches to the canine forelimb. *Anat. Histol. Embryol.*, 1990, **19**, 359-368.
- 51 SHARP NJH. Neurological deficits in one limb. In: WHEELER SJ. *Manual of small animal neurology*, BSAVA, Kingsley House, 1995, 159-178.
- 52 STEINBERG SH. The use of electrodiagnostic techniques in evaluating traumatic brachial plexus root injuries. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.*, 1979, **15**, 621-626.
- 53 STEINBERG SH. Traumatisme et disfonctionnement du plexus brachial. *Le Point Vét.*, 1991, **23**, 565-571.
- 54 STEWART RH. Central nervous system trauma. *Vet. Clin. North Am.*, 1987, **3**, 371-377.
- 55 TUTTLE HK. Exposure of the brachial plexus with nerve transplantation; *J. Am. Med. Assoc*

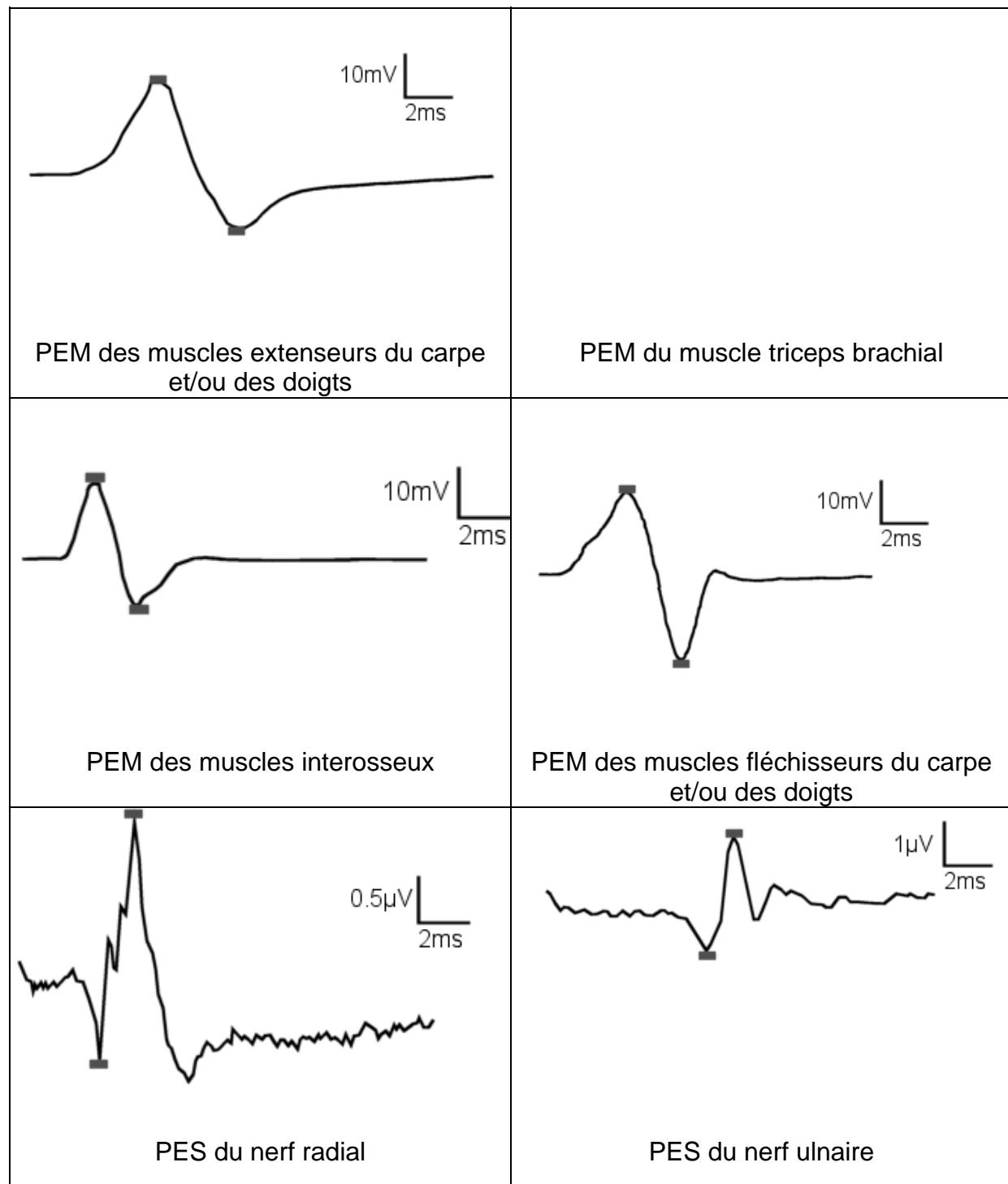
ANNEXES

ENREGISTREMENT DES POTENTIELS EVOQUES
MUSCULAIRES ET SENSITIFS

Chien n°:

Enregistrement de référence

Date d'examen :

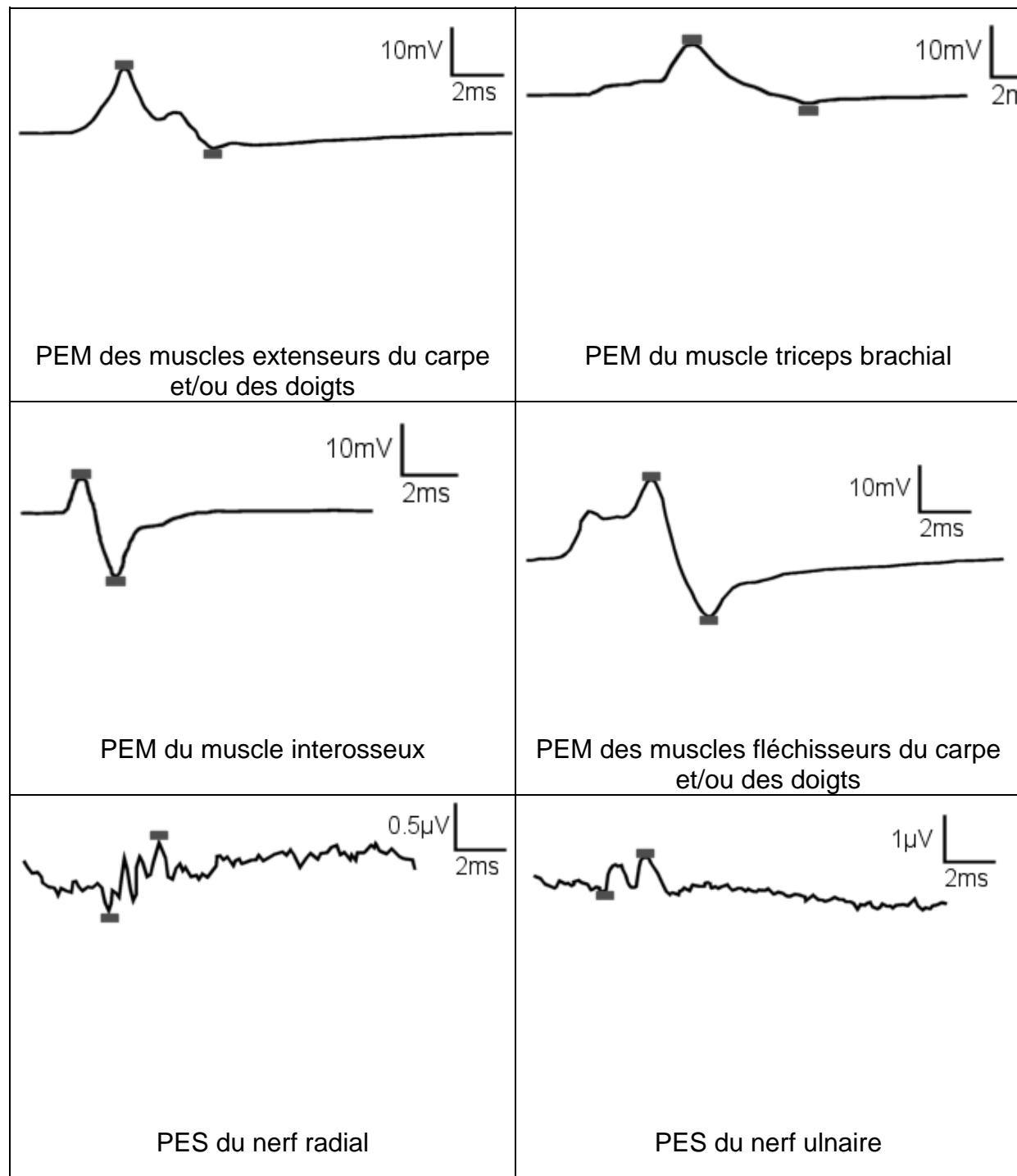


Chien n°:

1

Date d'examen :

J7

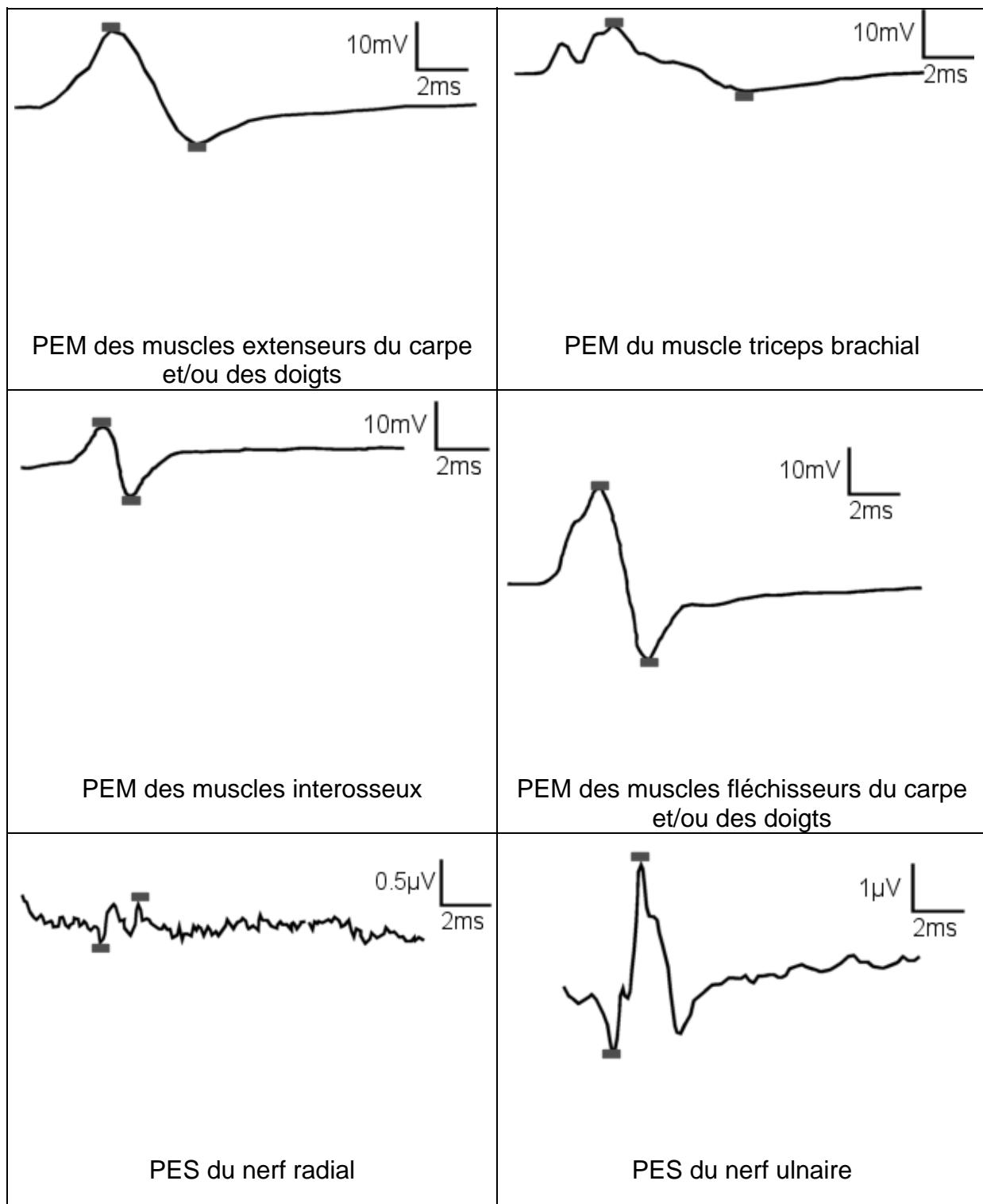


Chien n°:

1

Date d'examen :

J30

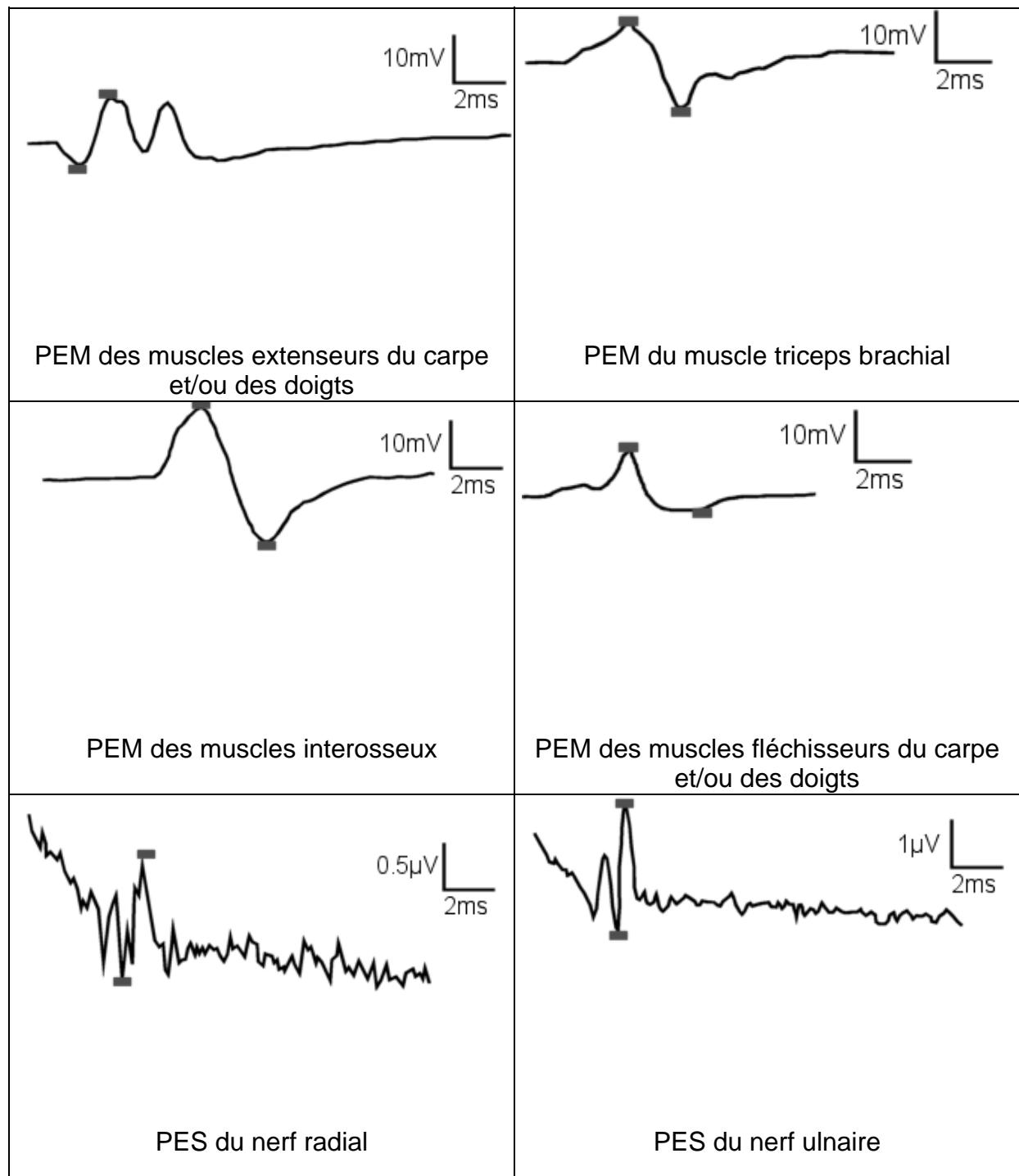


Chien n°:

1

Date d'examen :

J60

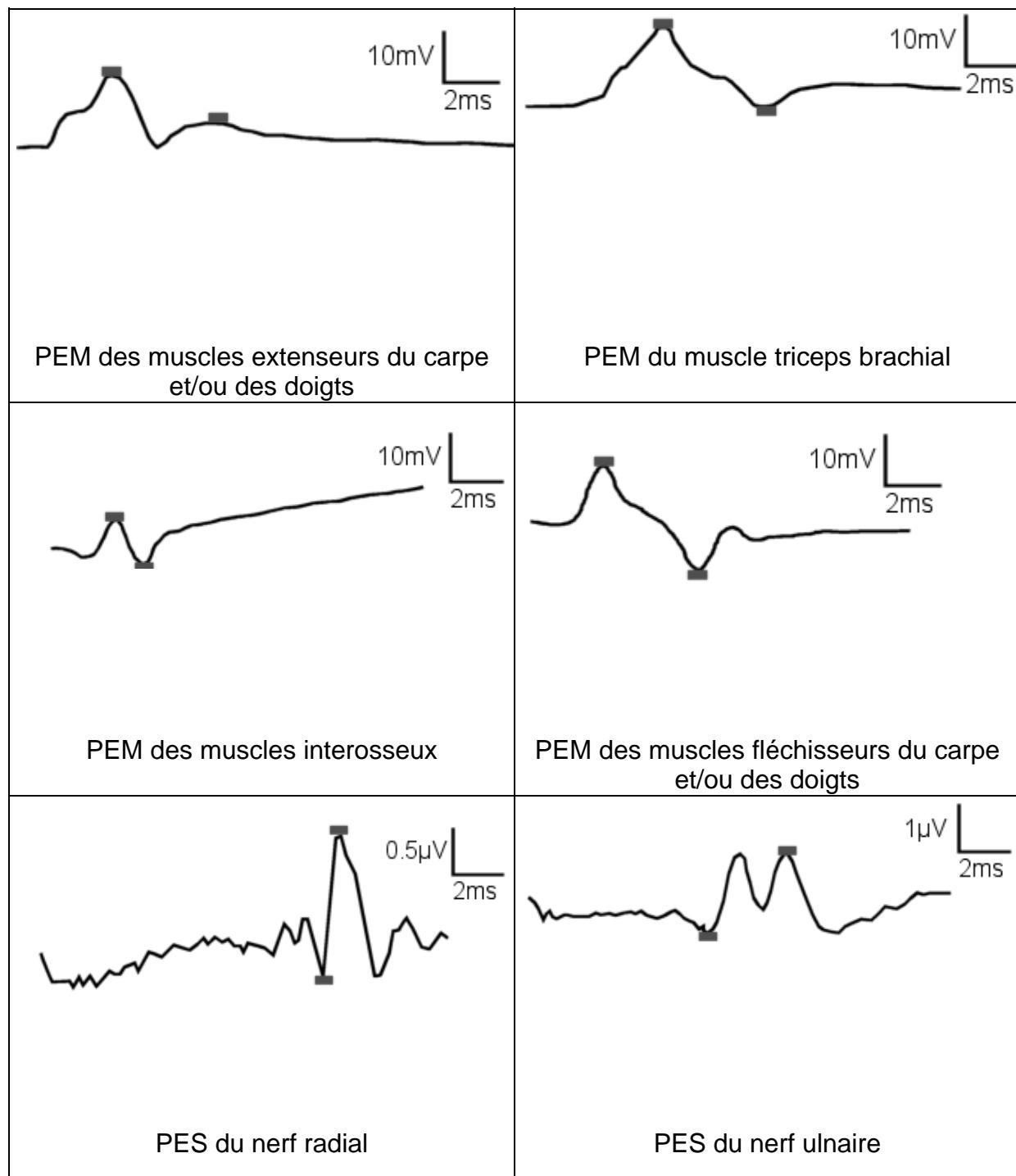


Chien n°:

2

Date d'examen :

J7

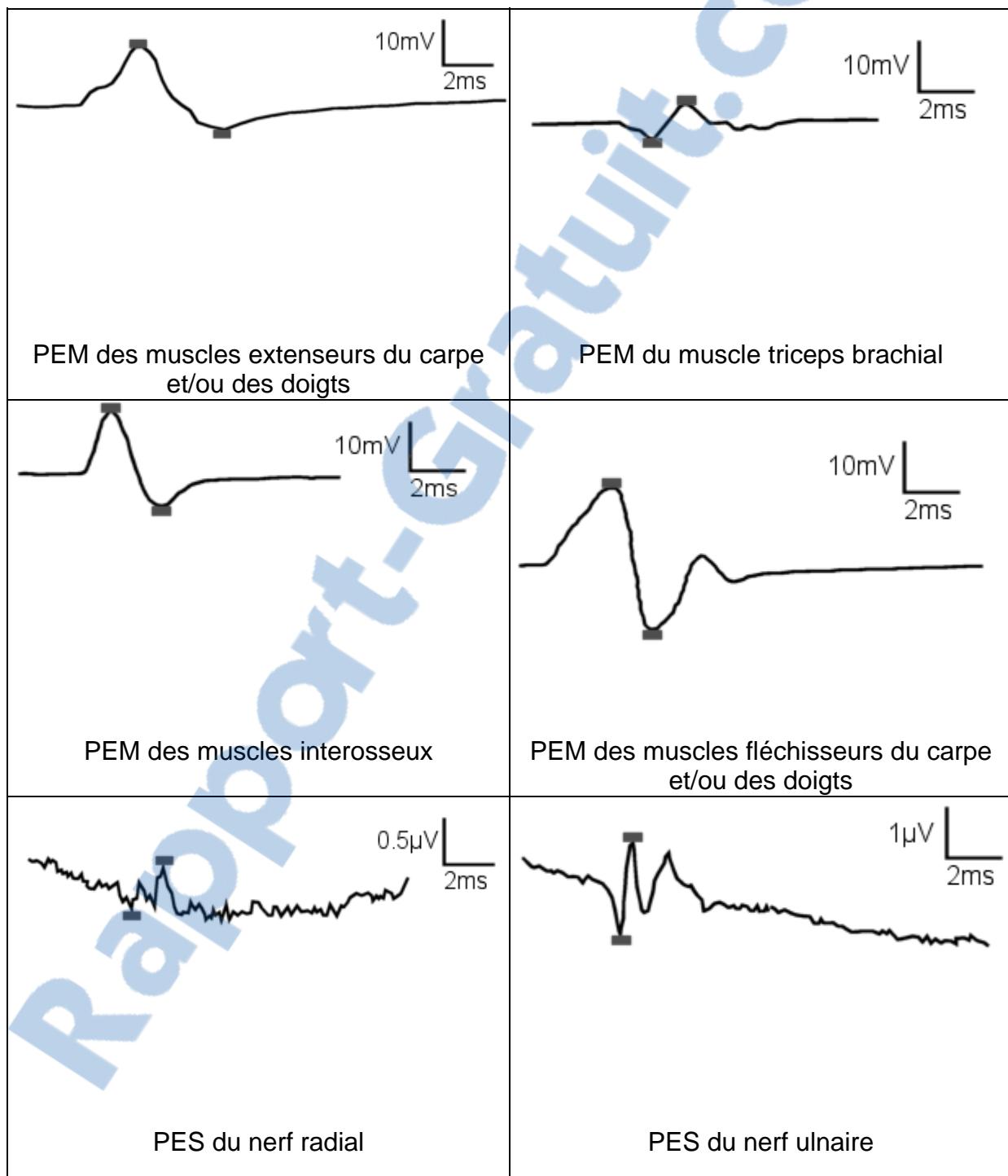


Chien n°:

2

Date d'examen :

J30

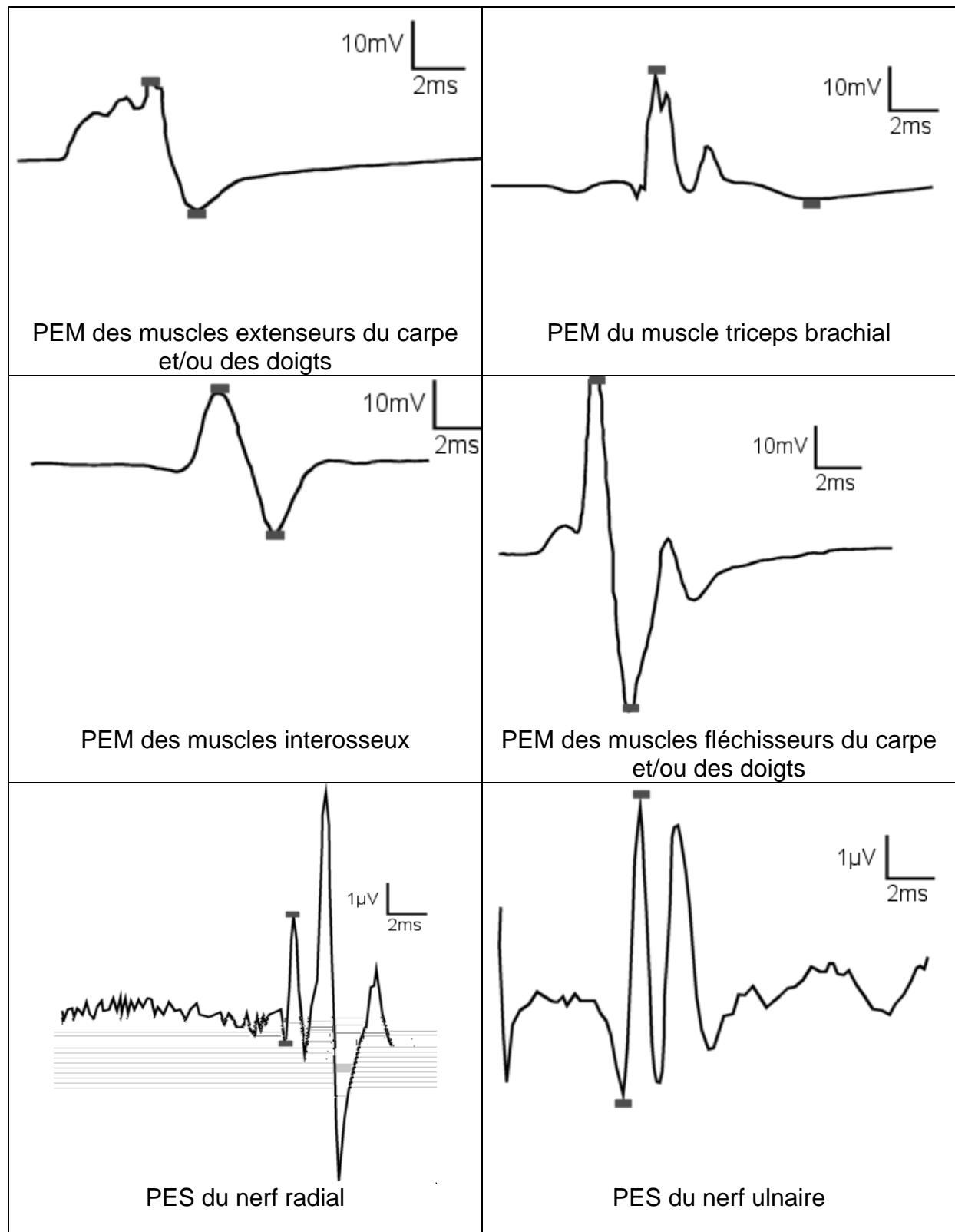


Chien n°:

2

Date d'examen :

J60

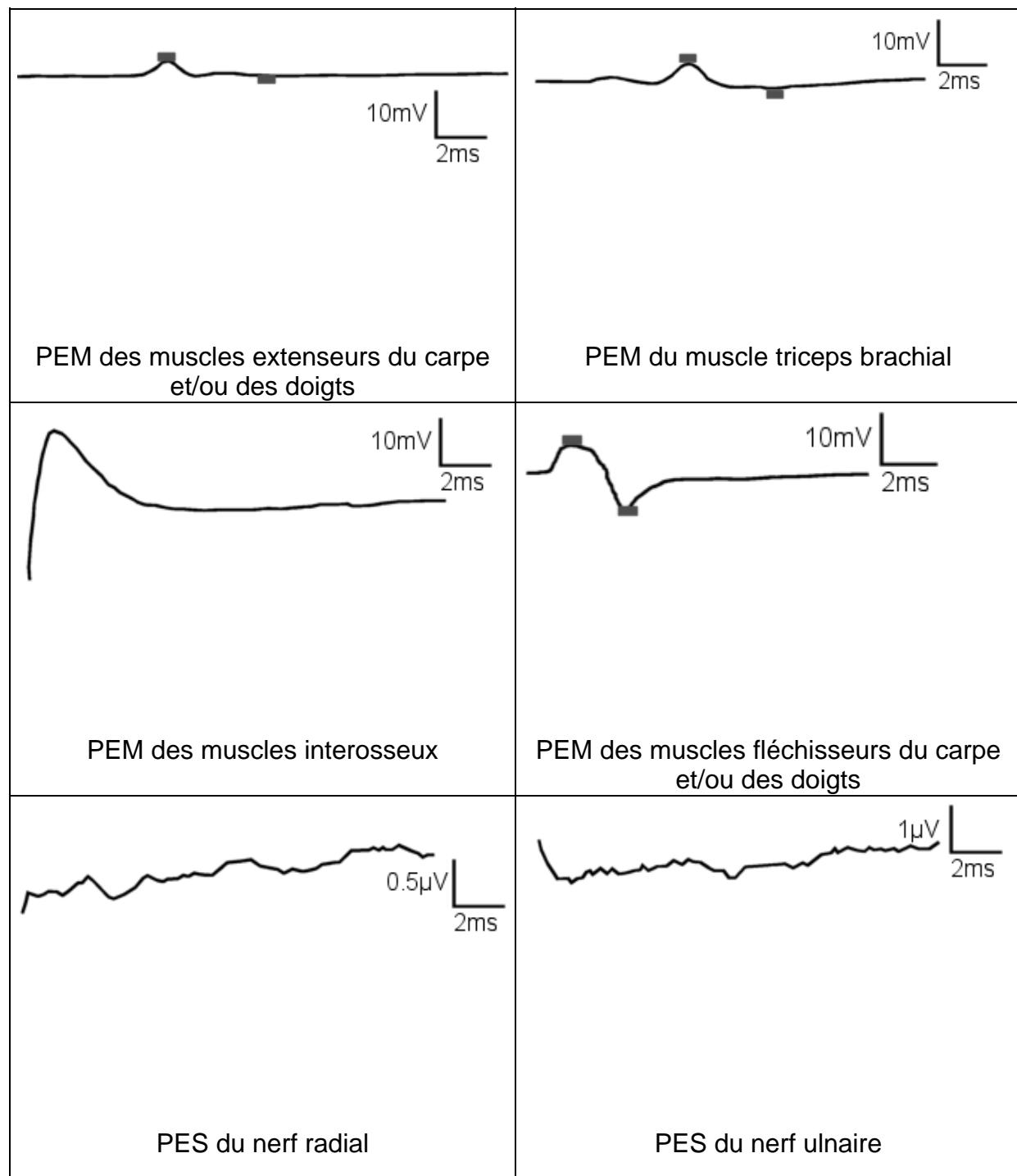


Chien n°:

3

Date d'examen :

J7

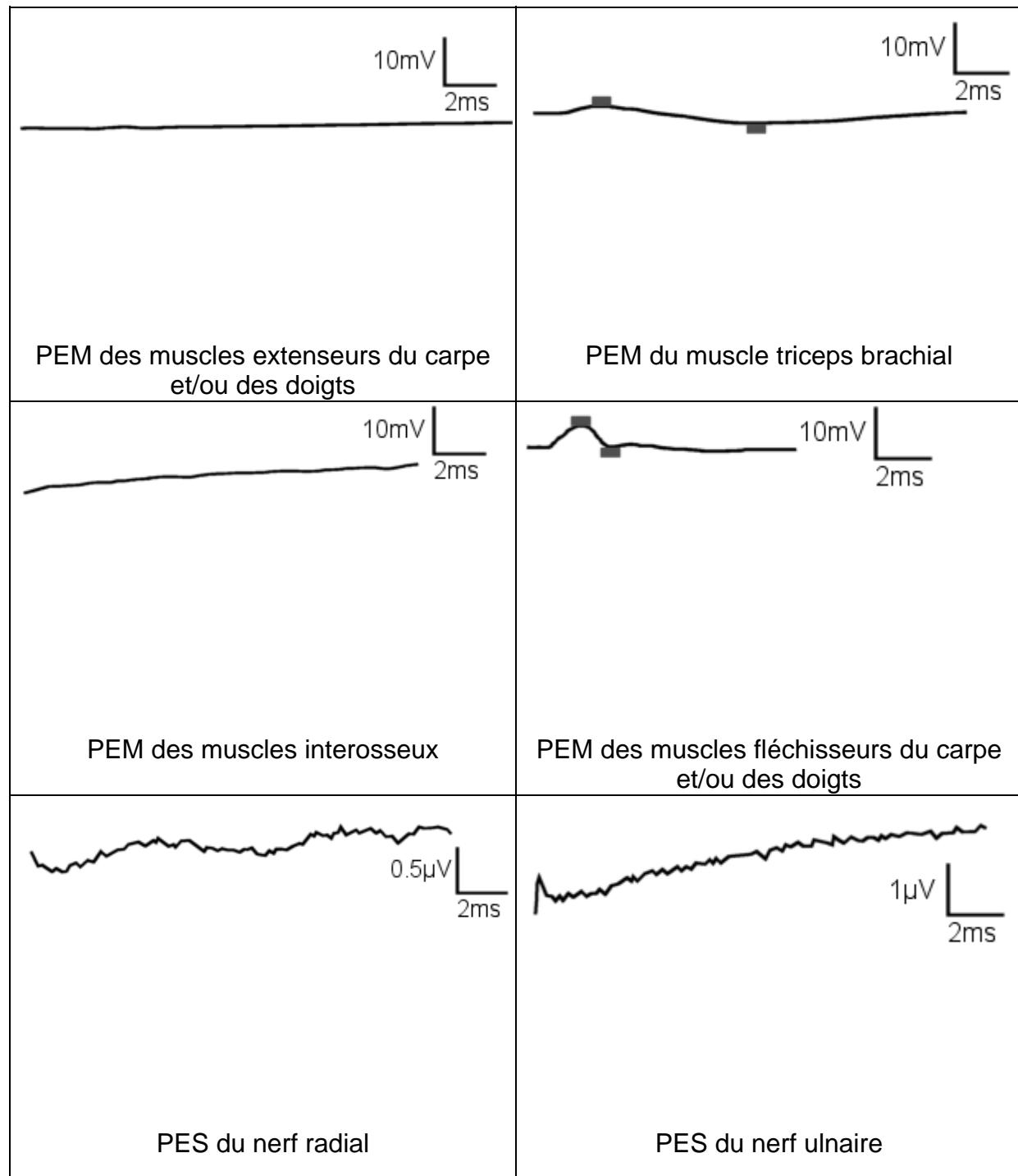


Chien n°:

3

Date d'examen :

J30

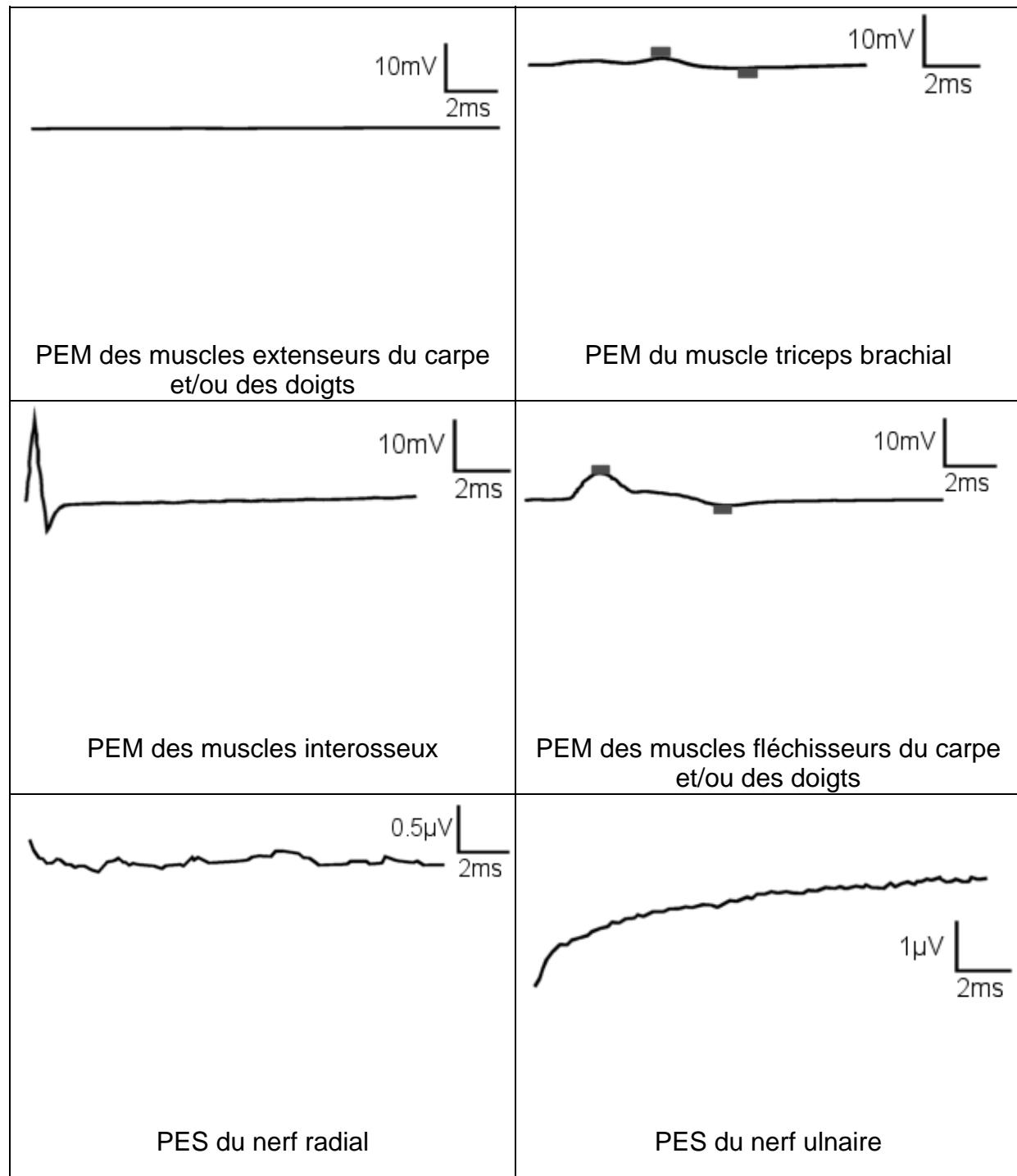


Chien n°:

3

Date d'examen :

J60

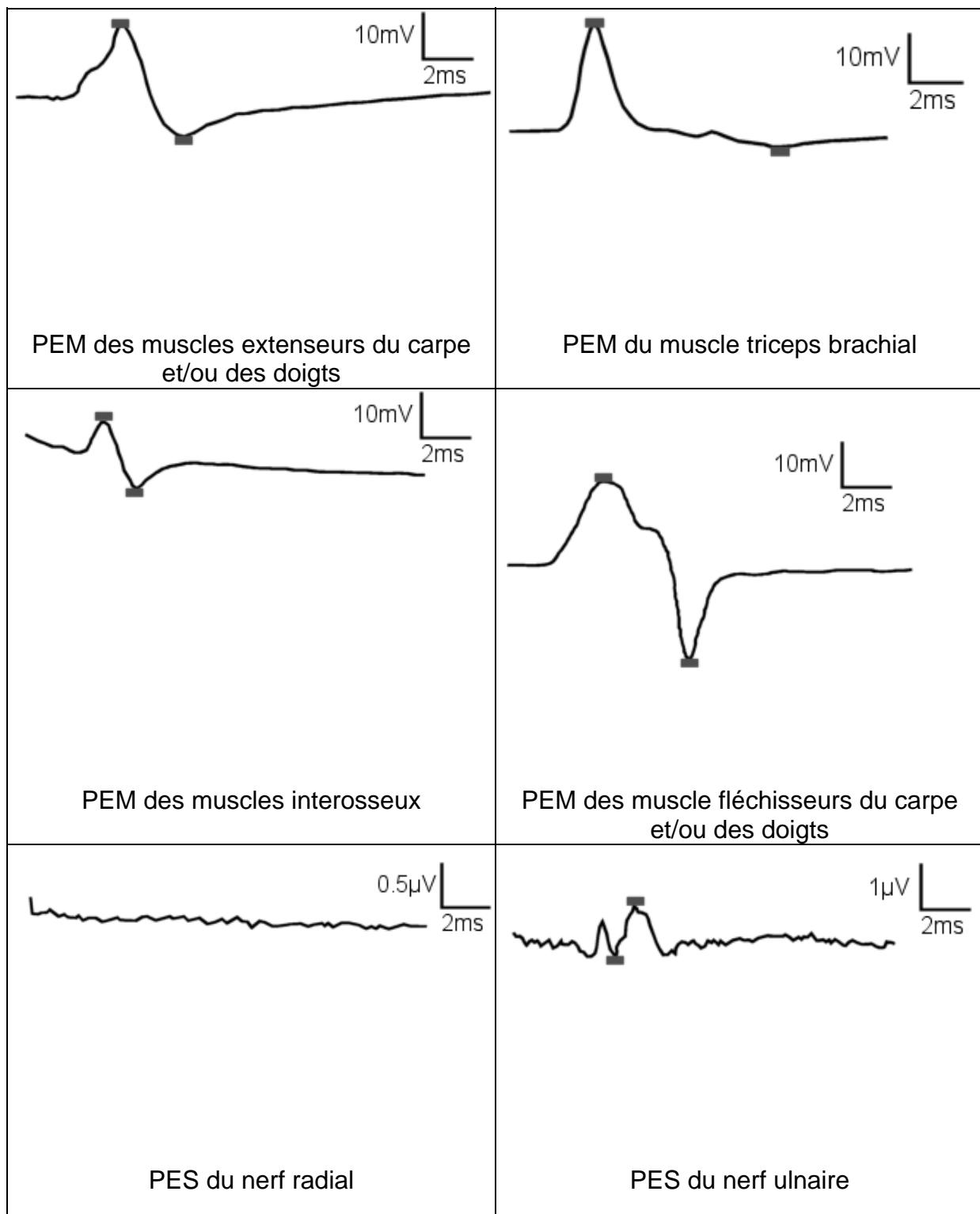


Chien n°:

4

Date d'examen :

J7

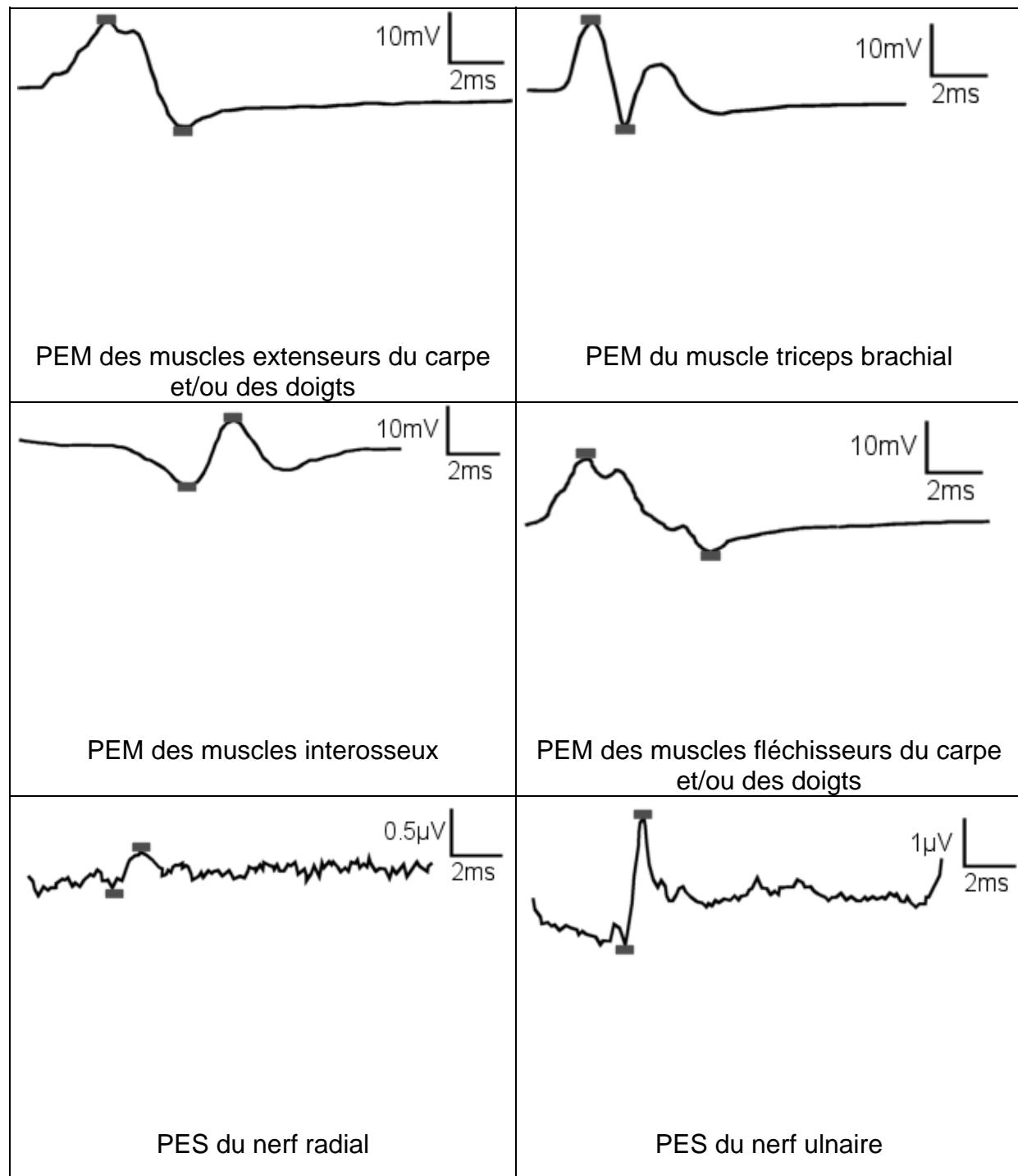


Chien n°:

4

Date d'examen :

J30

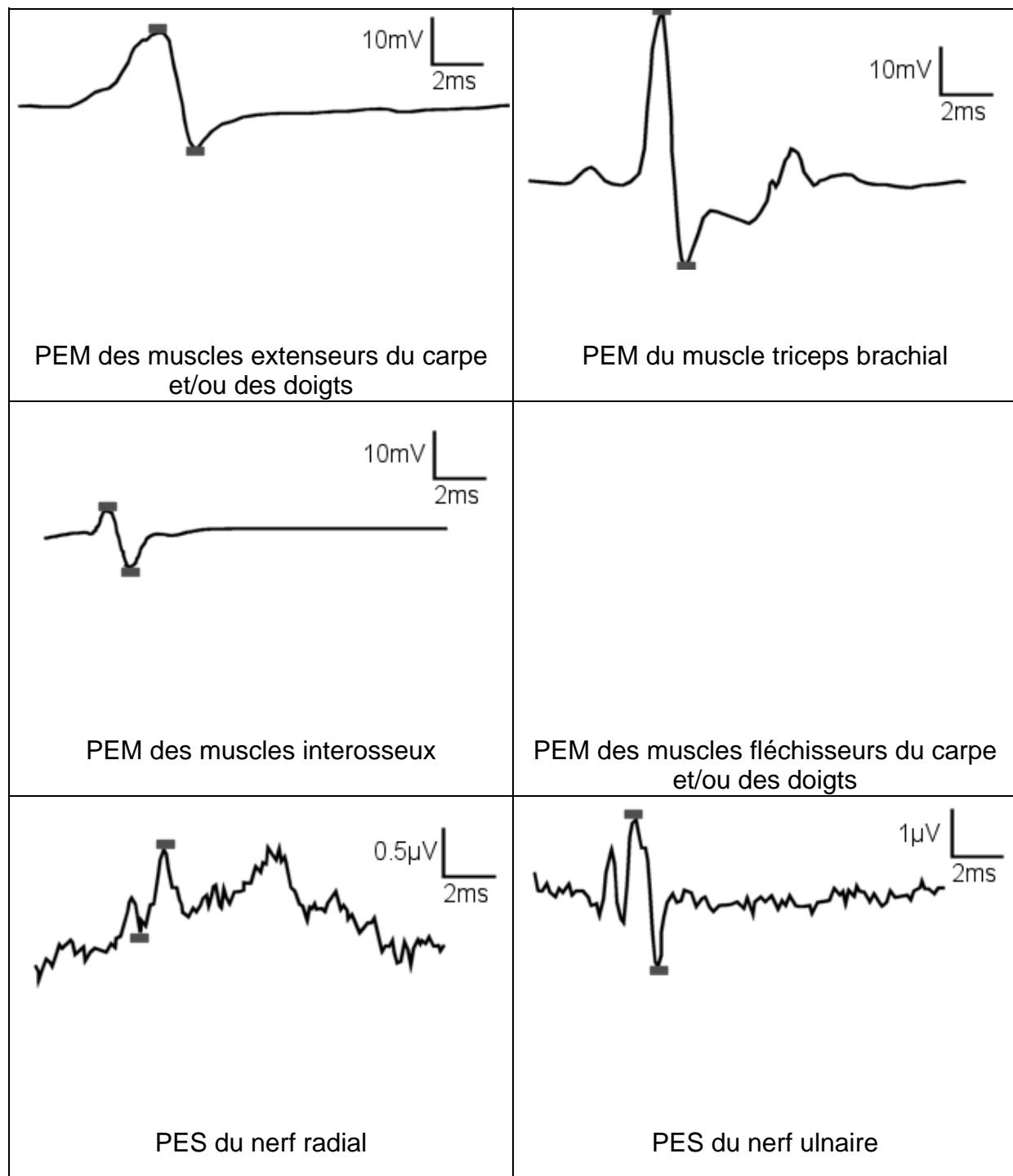


Chien n°:

4

Date d'examen :

J60

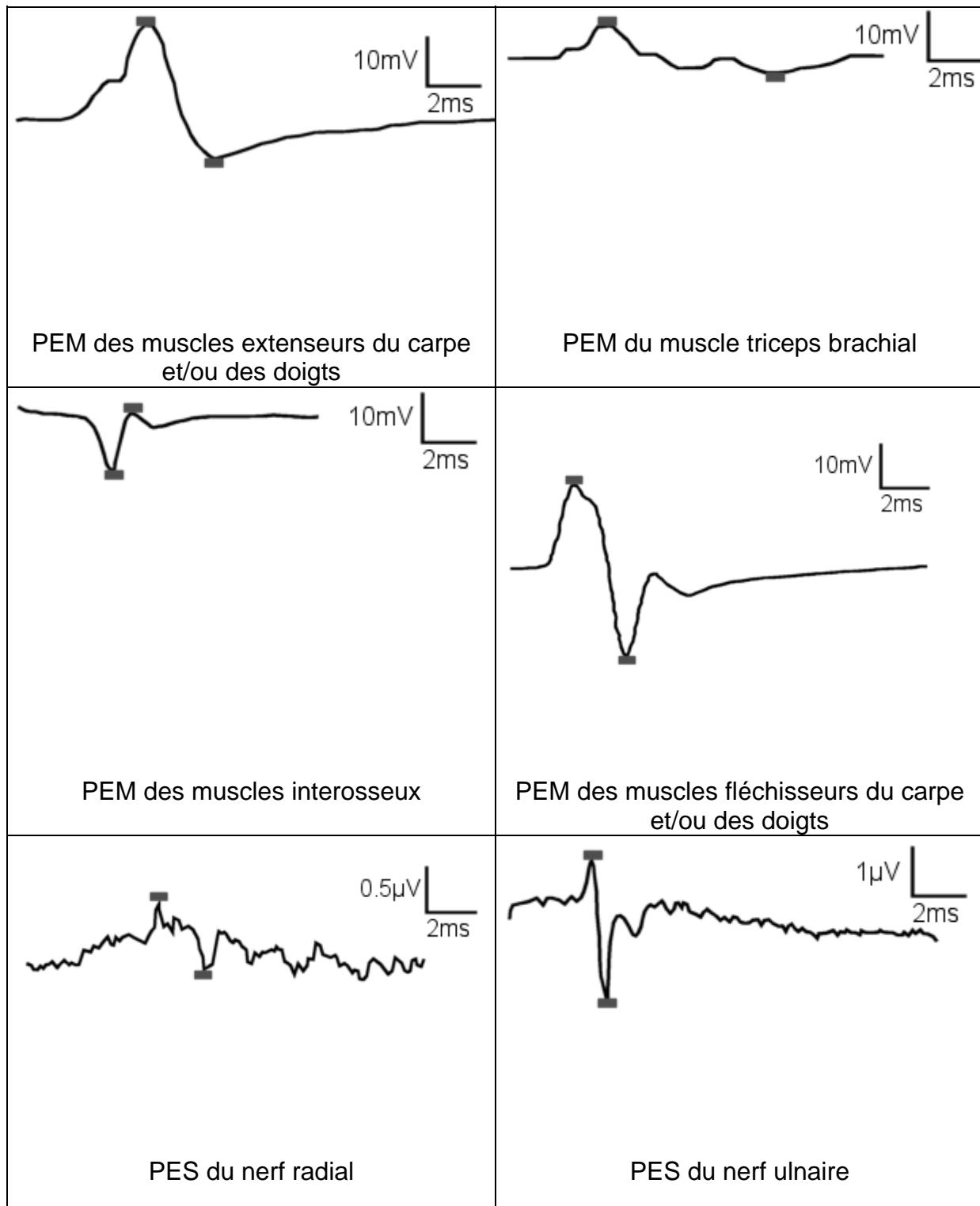


Chien n°:

5

Date d'examen :

J7

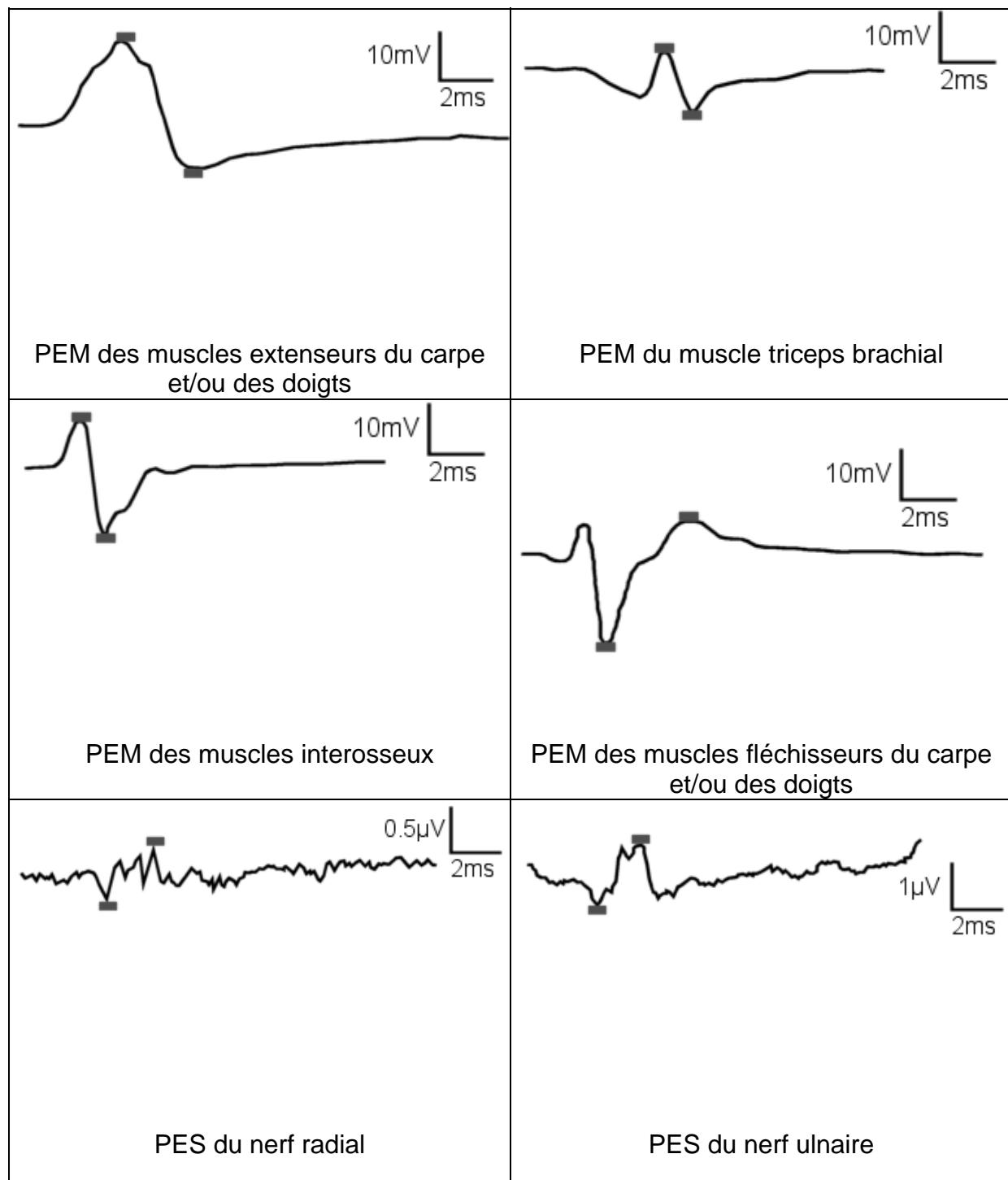


Chien n°:

5

Date d'examen :

J30

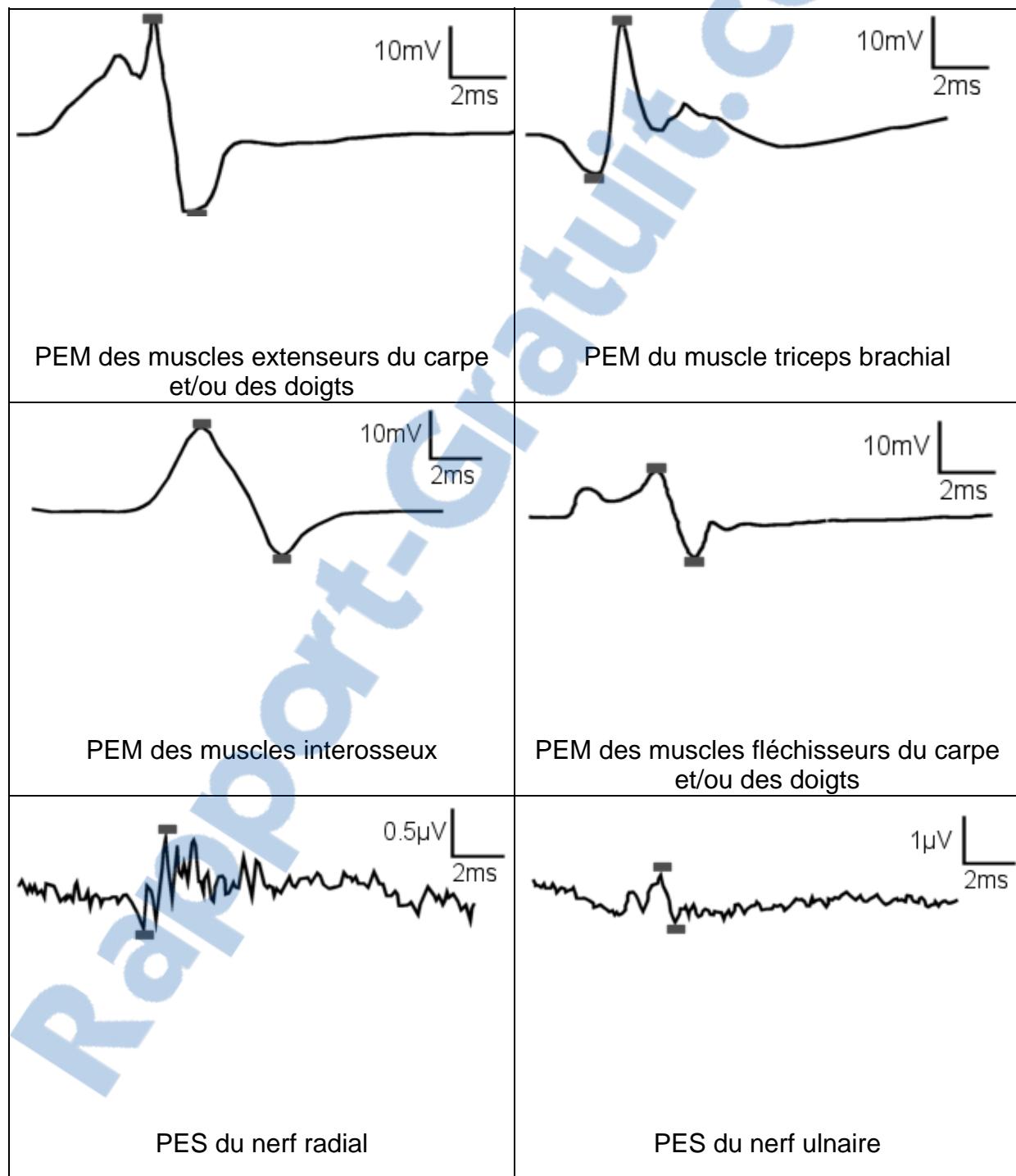


Chien n°:

5

Date d'examen :

J60

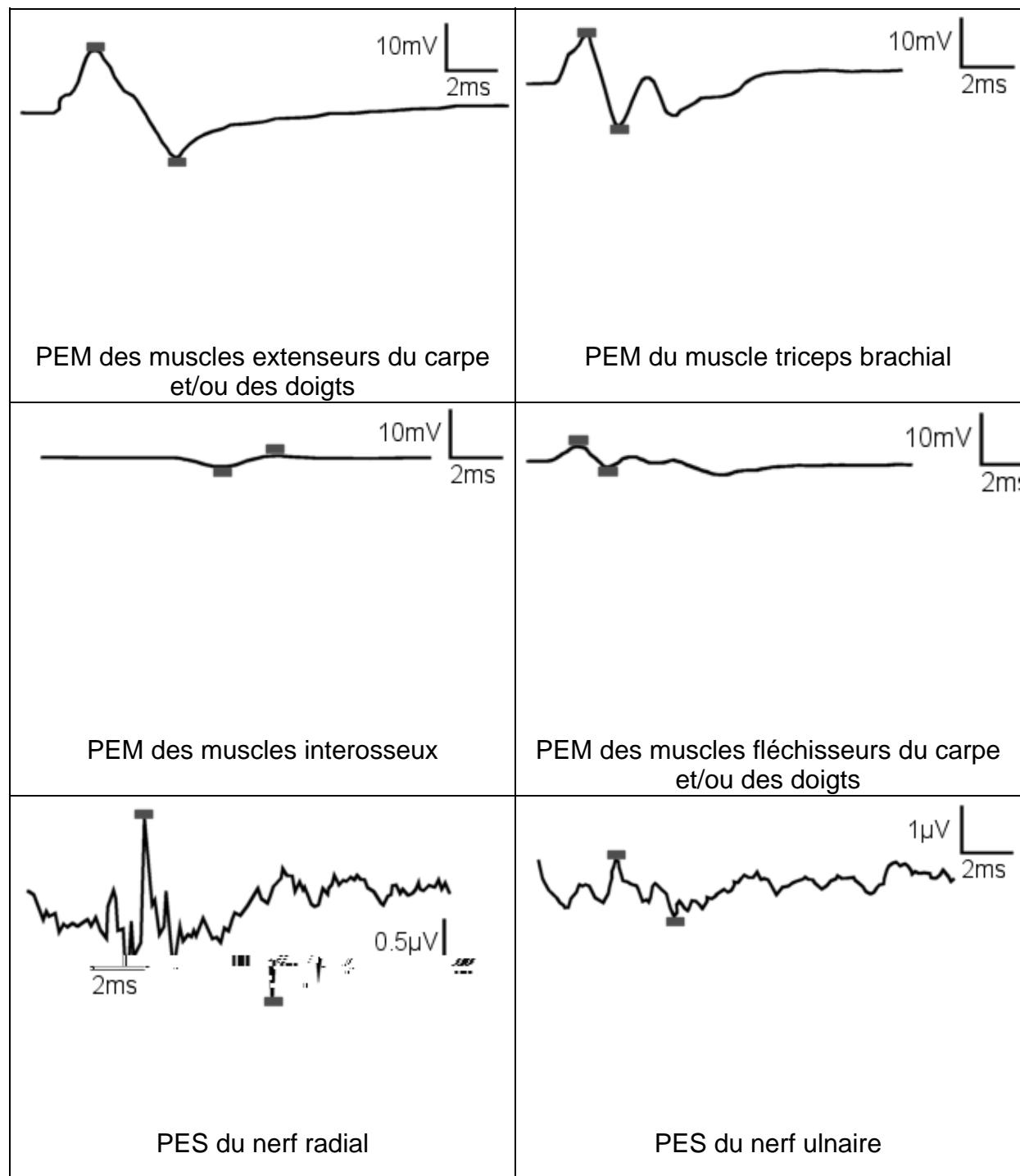


Chien n°:

6

Date d'examen :

J7

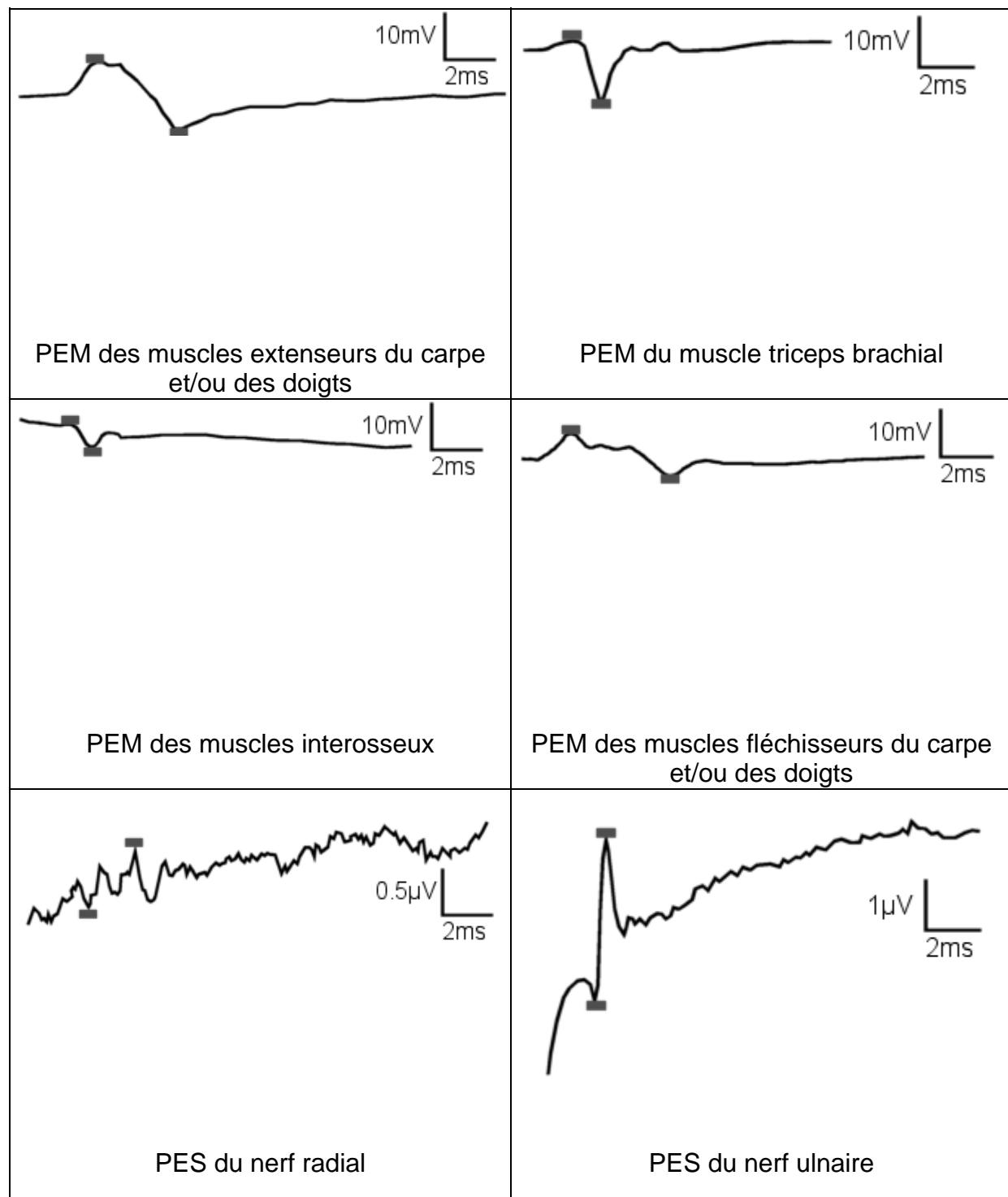


Chien n°:

6

Date d'examen :

J30



Chien n°:

6

Date d'examen :

J60

