
Étude des caractéristiques morphométriques du nerf
médian chez le cochon :
Révéler l'anatomie pour améliorer les approches de
restauration fonctionnelle

Axe de recherche : Proposer une solution implantée pour restaurer la motricité des membres supérieurs par stimulation électrique fonctionnelle (SEF)

Contexte :

Tétraplégie : Lésion de la moelle épinière au niveau cervical, portant atteinte à l'innervation motrice volontaire (et sensitive) des quatre membres.

Objectif : Restaurer le mouvement fonctionnel du poignet et des doigts

- Saisir les objets de manière autonome
- Amélioration de la qualité de vie

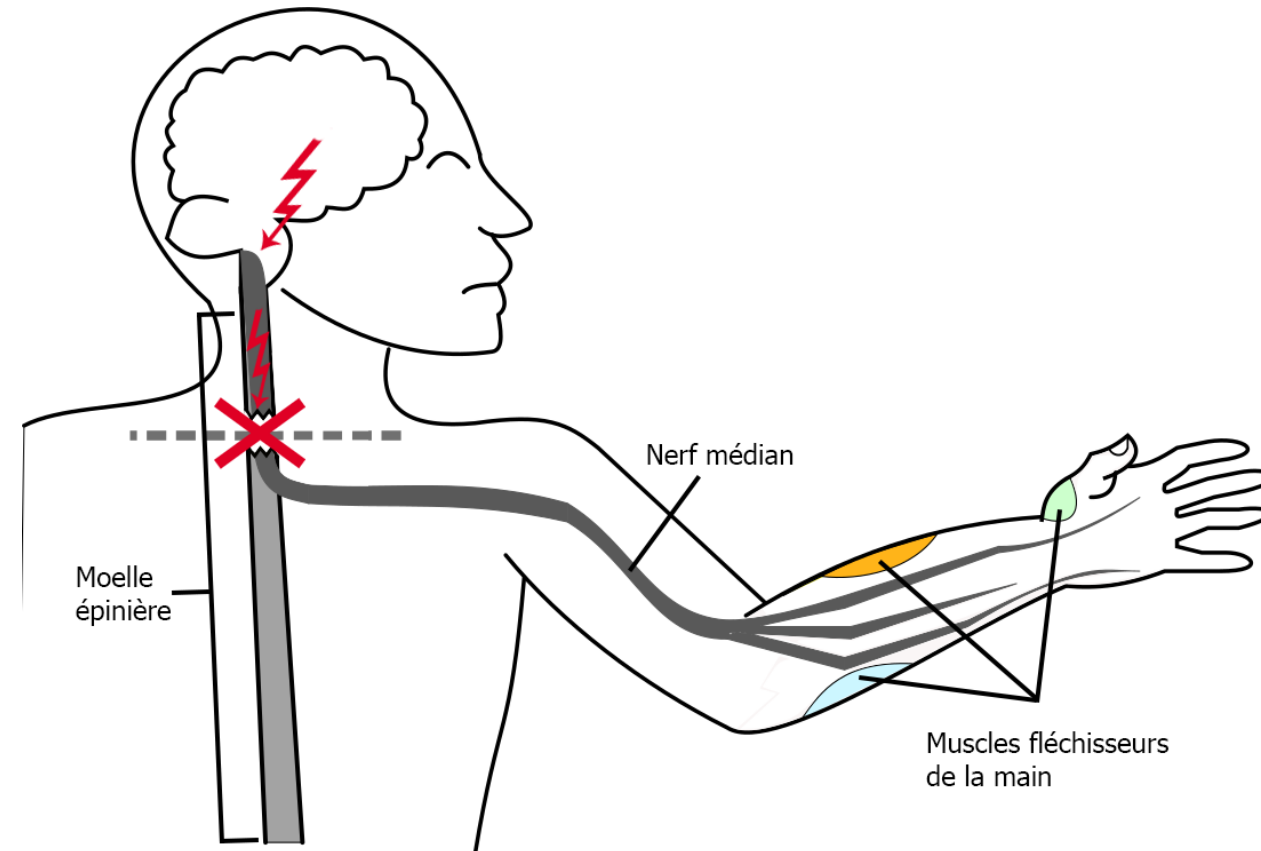
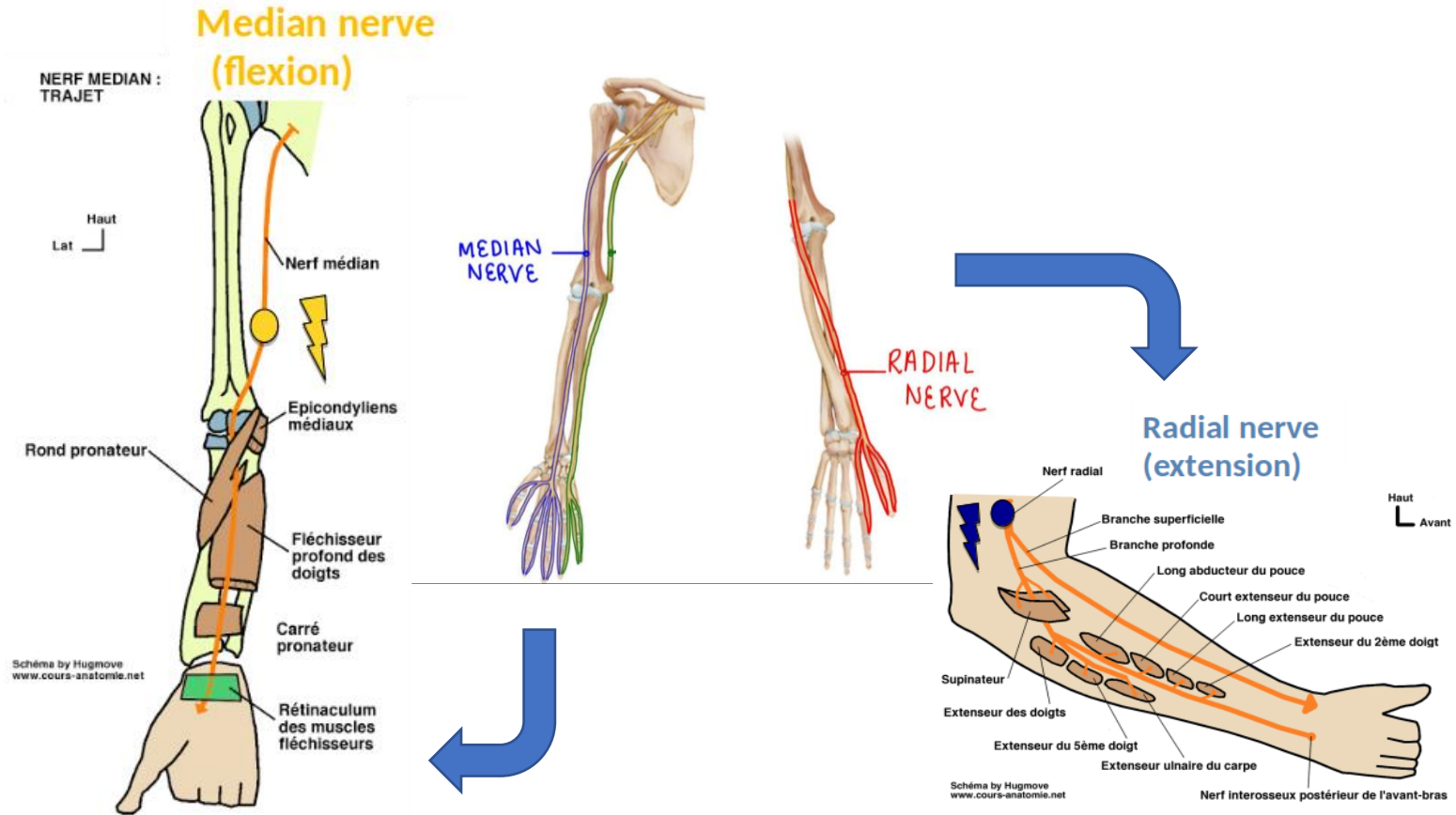


Schéma du l'influx moteur bloqué par une lésion de la moelle.

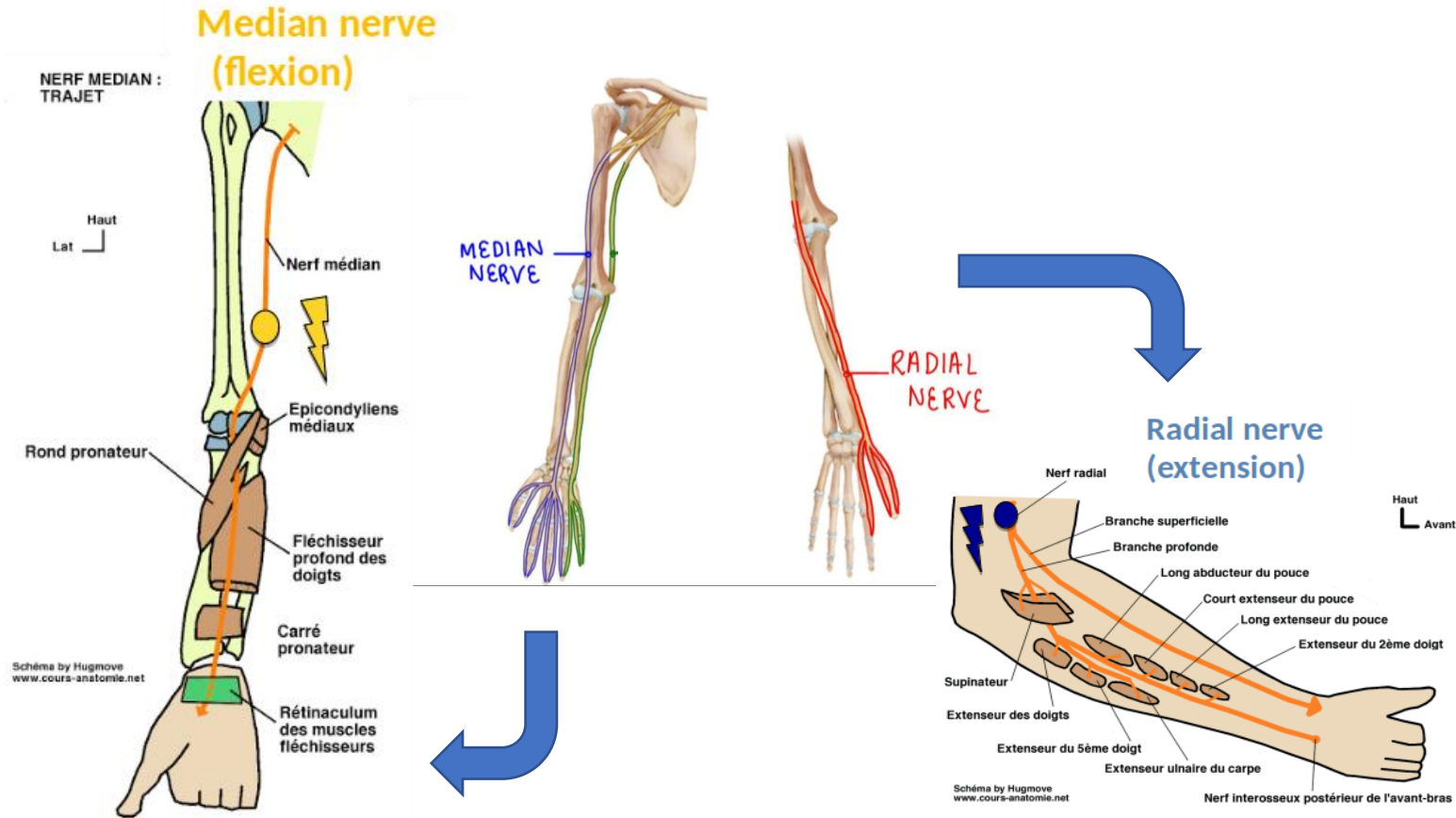
Image originale : Lucie William



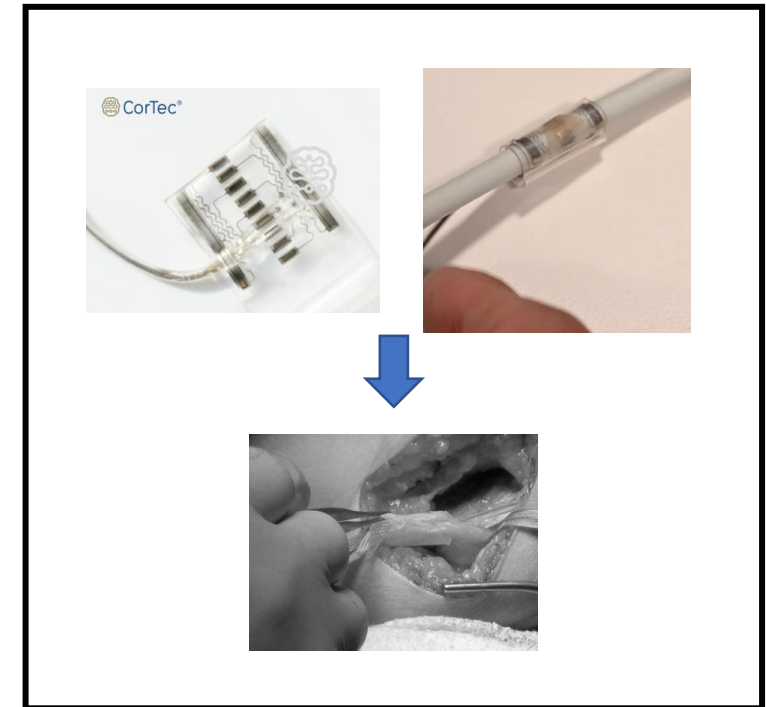
Solution technologique choisie et cible biologique



Solution technologique choisie et cible biologique



Simulation épineurale multicontacts

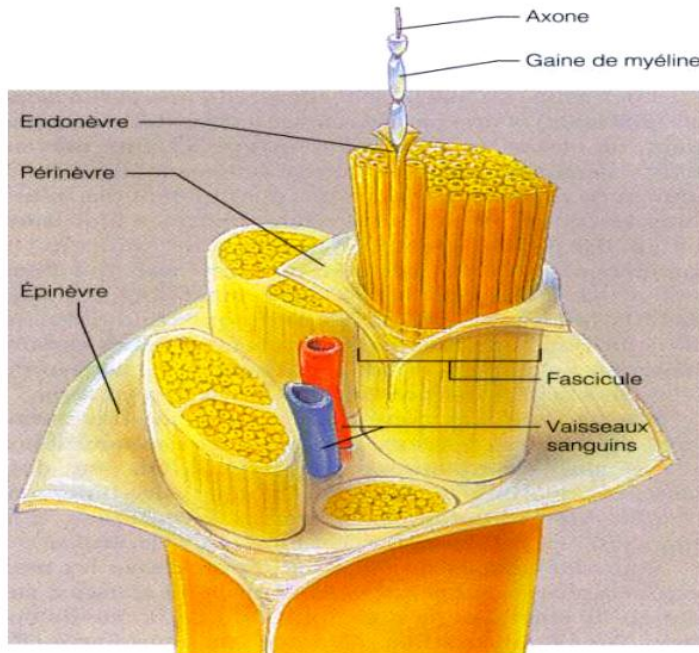


Stimulation épineurale : faire face à la variabilité inter/intra-individuelle

Paramètres conditionnant l'effet de la stimulation :

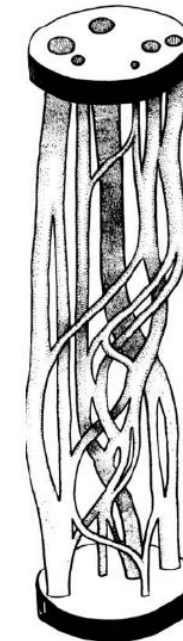
1. Répartition du courant de stimulation autour du nerf → maîtrisé
2. Répartition des fascicules
3. Répartition fibres nerveuses motrices
4. Répartition des différents diamètres de fibres nerveuses motrices

Non-maîtrisé → Longue calibration de la stimulation pour obtenir des mouvements fonctionnels



Anatomie du nerf

A. Mariam (2015) Amélioration de la sélectivité de vitesse pour l'acquisition de signaux ENG par l'analyse spectrale spatio-temporelle Université Montpellier



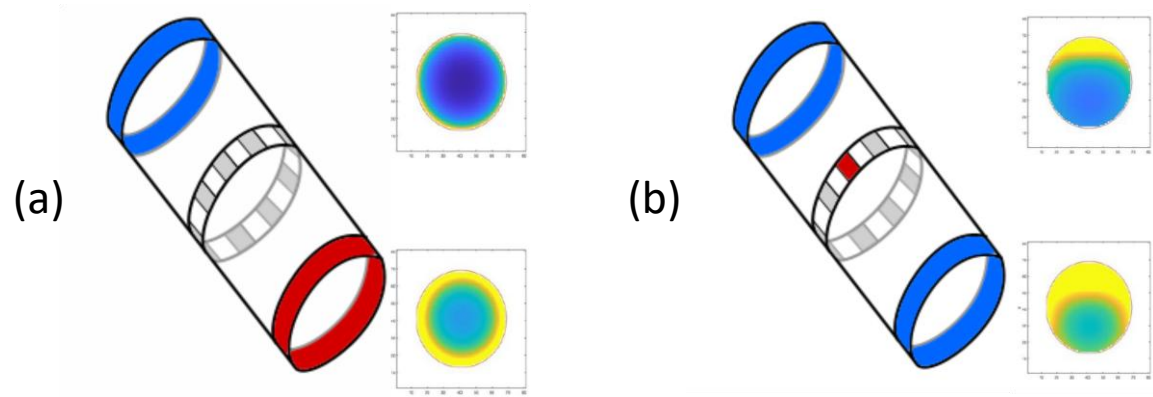
Représentation du caractère plexiforme de la distribution des fascicules

S. Sunderland (1979) Nerves and nerve injuries. Edinburgh, Churchill Livingstone,.

Stimulation épineurale : faire face à la variabilité inter/intra-individuelle

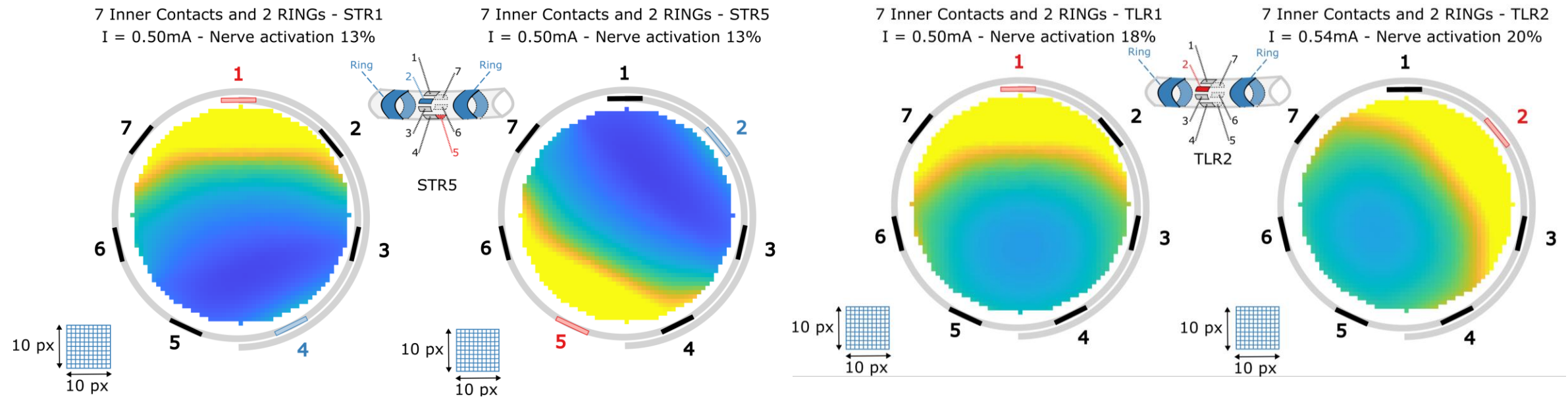
Levier technologique pour améliorer le recrutement musculaire ?

- Configurations de courant sélectives

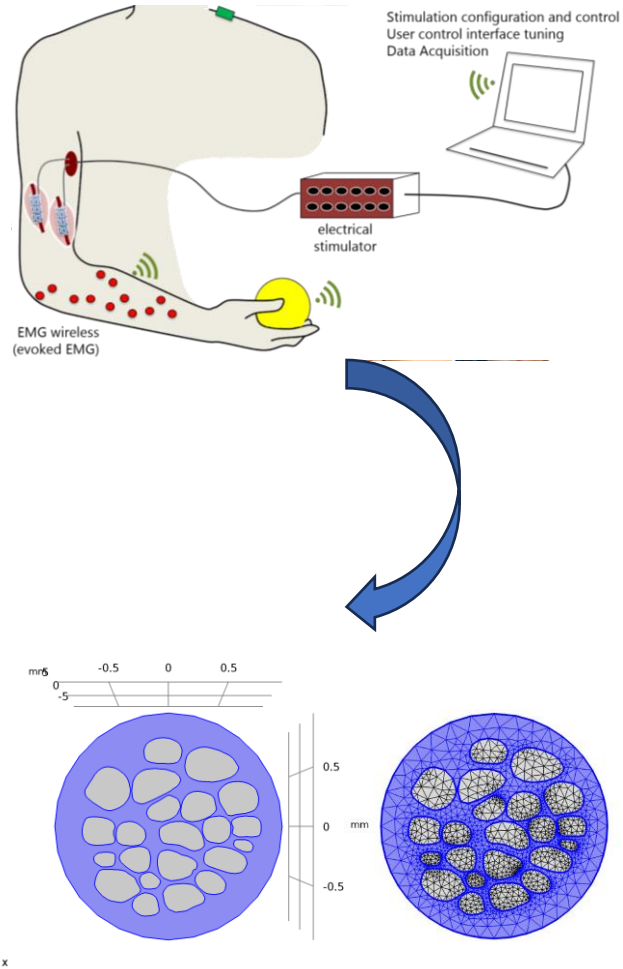


Electrodes épineurales multicontact type cuff. (a) Ring ; (b) TLR

William, L. (2022). Influence of the H-reflex on the selectivity of recruitment using multi-contact epineural stimulation of the median nerve in a participant with complete tetraplegia.

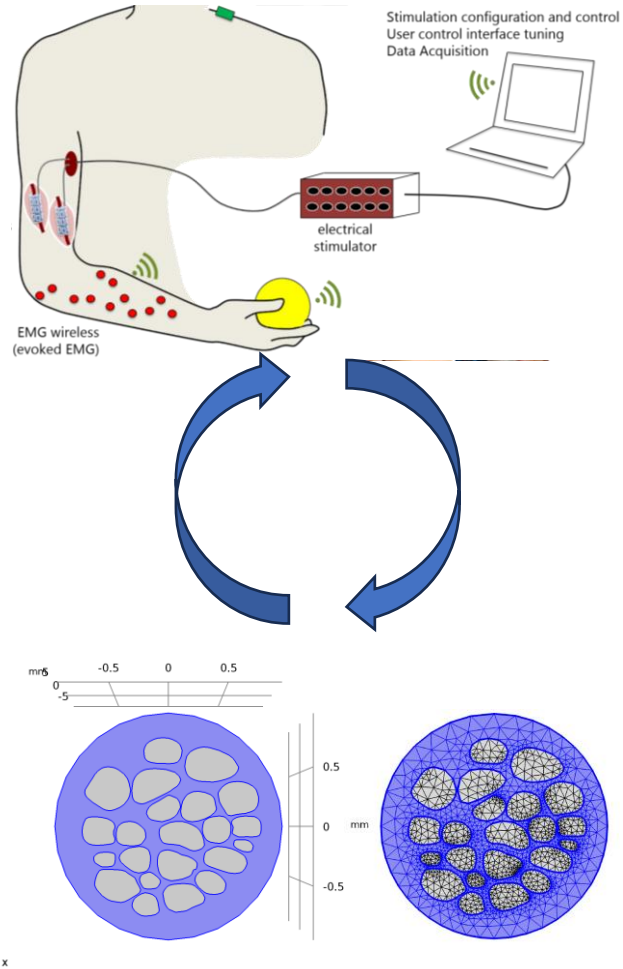


Améliorer la facilité du réglage et sa précision



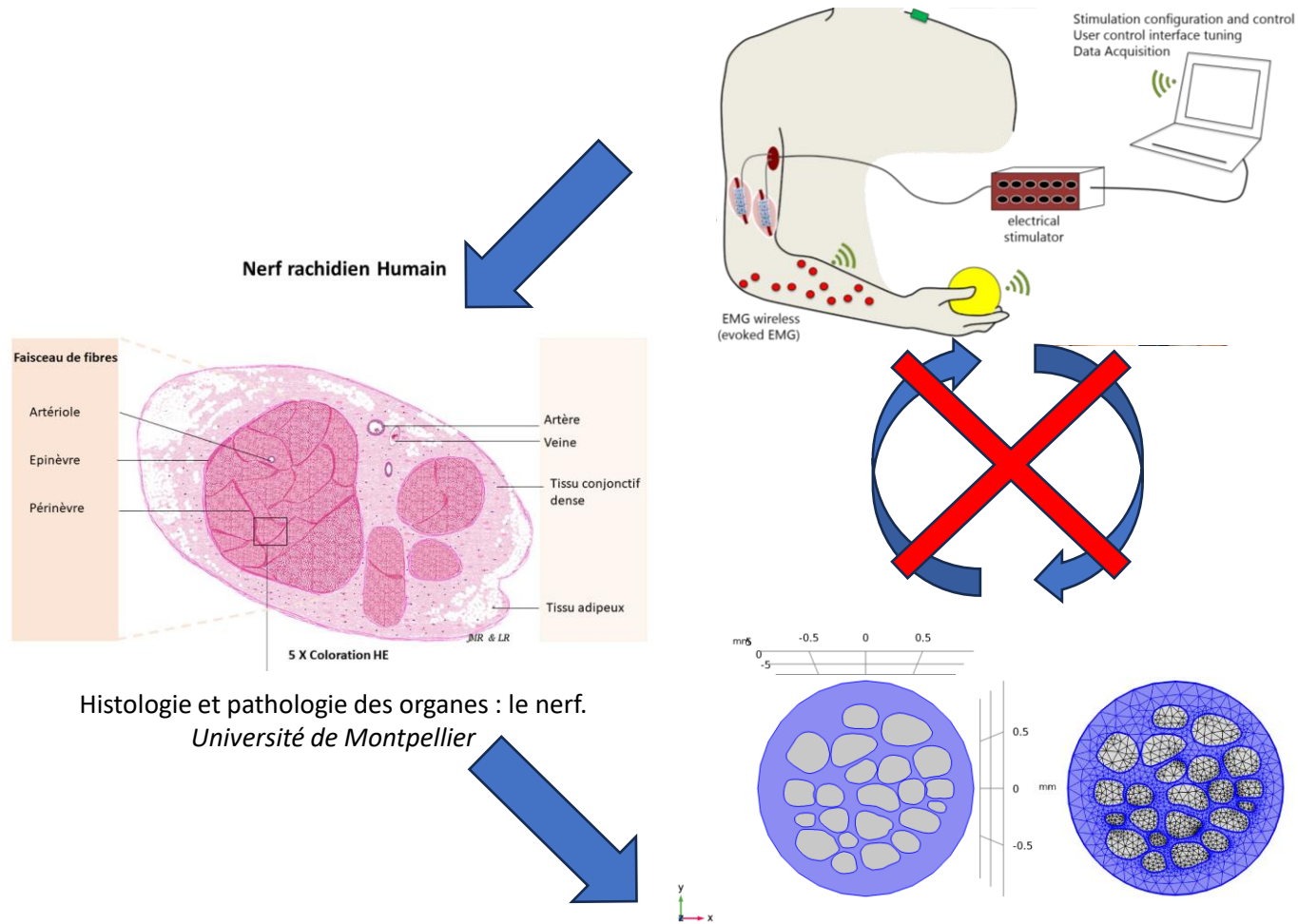
Dali, (2017), Modélisation de l'interface entre une électrode multipolaire et un nerf périphérique : optimisation des courants pour la stimulation neurale sélective. Ingénierie biomédicale. Université Montpellier

Améliorer la facilité du réglage et sa précision



Dali, (2017), Modélisation de l'interface entre une électrode multipolaire et un nerf périphérique : optimisation des courants pour la stimulation neurale sélective. Ingénierie biomédicale. Université Montpellier

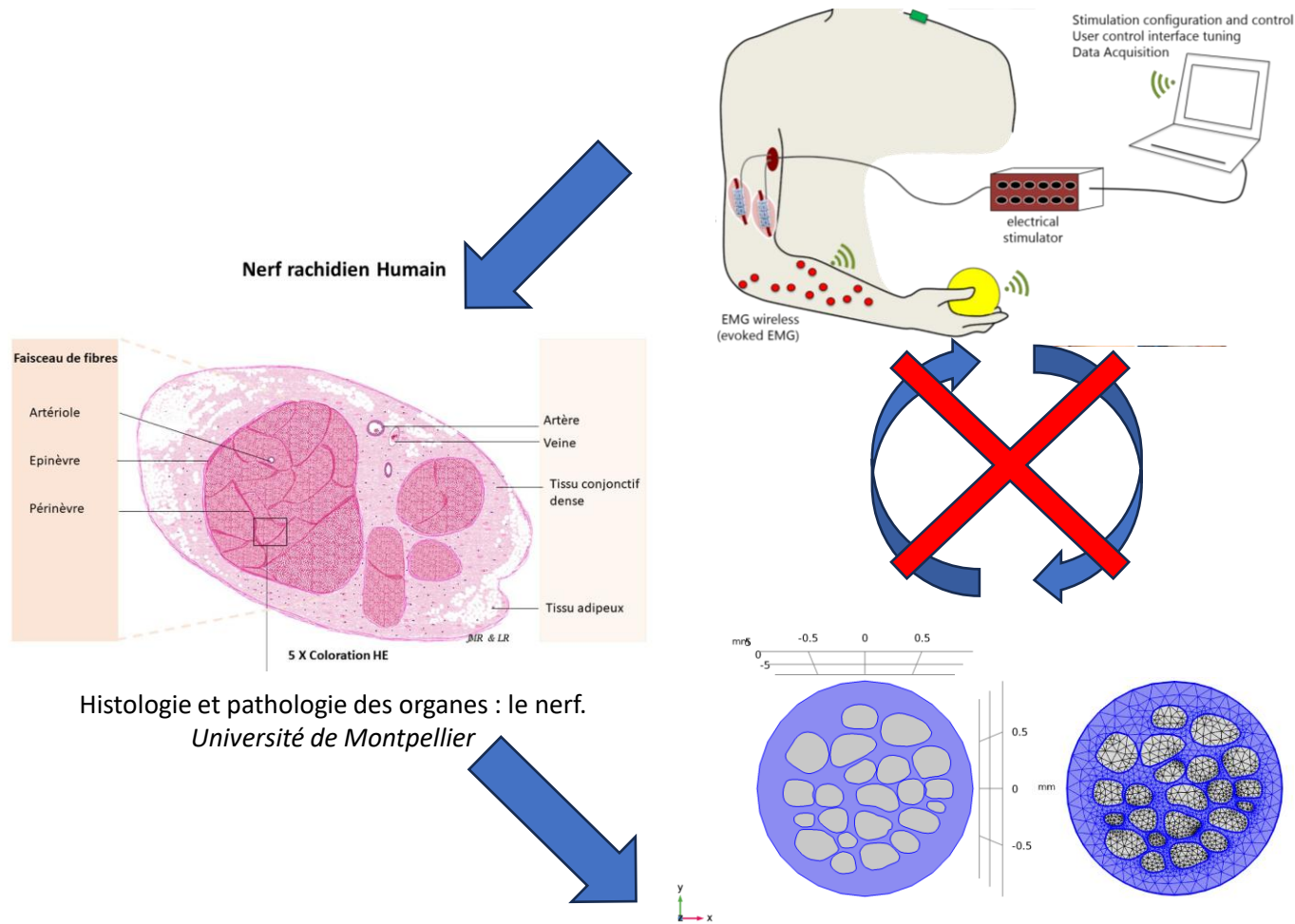
Améliorer la facilité du réglage et sa précision



Histologie et pathologie des organes : le nerf.
Université de Montpellier

Dali, (2017), Modélisation de l'interface entre une électrode multipolaire et un nerf périphérique : optimisation des courants pour la stimulation neurale sélective. Ingénierie biomédicale. Université Montpellier

Améliorer la facilité du réglage et sa précision



Informations histologiques nécessaires

1. Répartition des fascicules
2. Répartition fibres nerveuses motrices
3. Répartition des différents diamètres des fibres nerveuses motrices

Dali, (2017), Modélisation de l'interface entre une électrode multipolaire et un nerf périphérique : optimisation des courants pour la stimulation neurale sélective. Ingénierie biomédicale. Université Montpellier

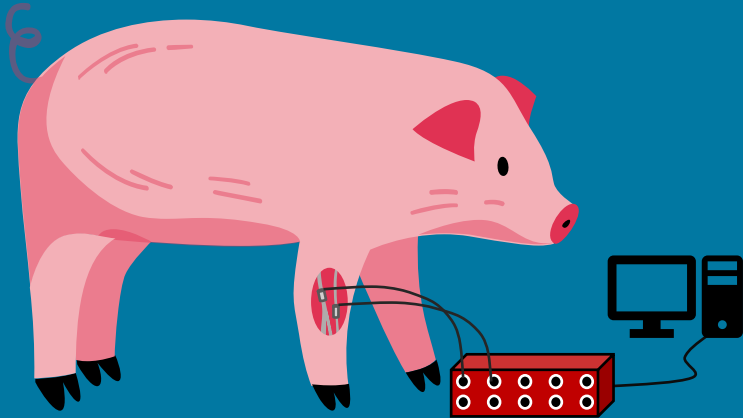
Protocole expérimental

Étude de la stimulation et de l'architecture du nerf périphérique chez le cochon

Modèle animal : Cochon domestique (*sus domesticus*)

Âge : juvénile (<=50 kg)

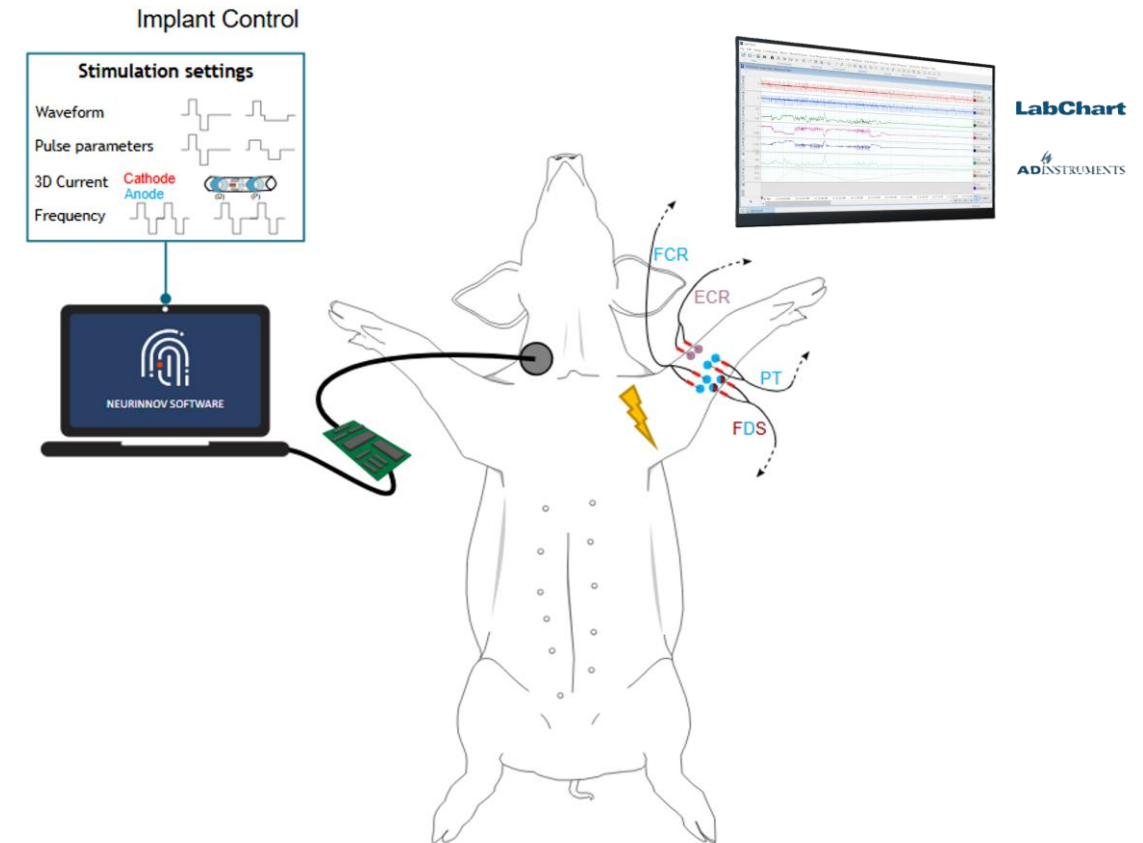
Procédure aigüe



Protocole exploratoire aigu

effectifs :

- phase préliminaire → 2 carcasses
- phase exploratoire → 4 cochons juvéniles (~50 kg)

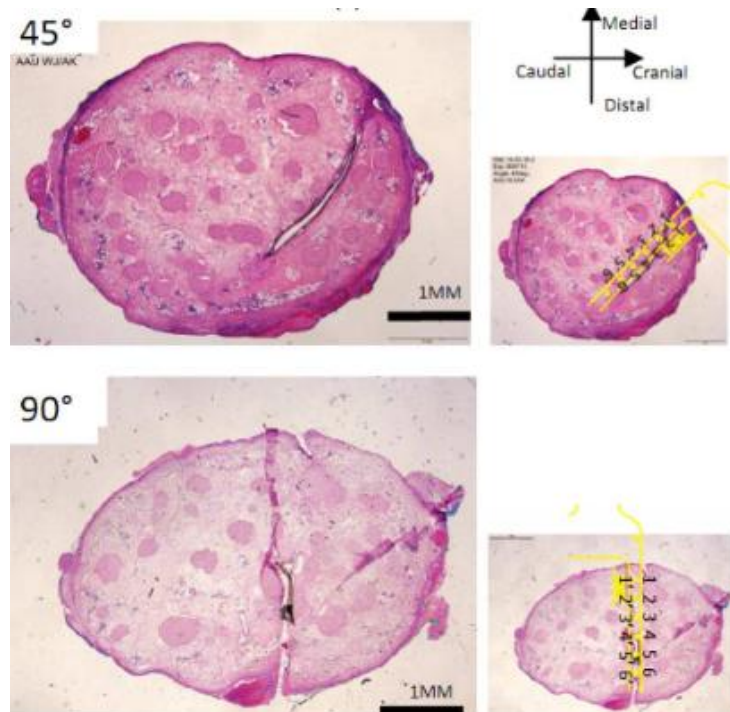


- Radial nerve
Triceps Brachialis (TB) / Extensor Carpi Radialis (ECR) / Extensor Digitorum Communis (EDC)
- Median nerve
Flexor Digitorum Superficialis (FDS) / Flexor Carpi Radialis (FCR) / Pronator Teres (PT)
- Ulnar nerve
Flexor Digitorum Superficialis (FDS) / Deep Digital Flexor (DDF) / High Head of Deep Digital Flexor (HHDDF)

Marqueurs histologiques définis avec le RHEM à partir de la littérature

1. Répartition des fascicules :

- [1] Coloration HES



[1] Coloration à l'hématoxyline éosine (HE)
d'un nerf périphérique. Kundu, et al., (2014).

IEEE

Marqueurs histologiques définis avec le RHEM à partir de la littérature

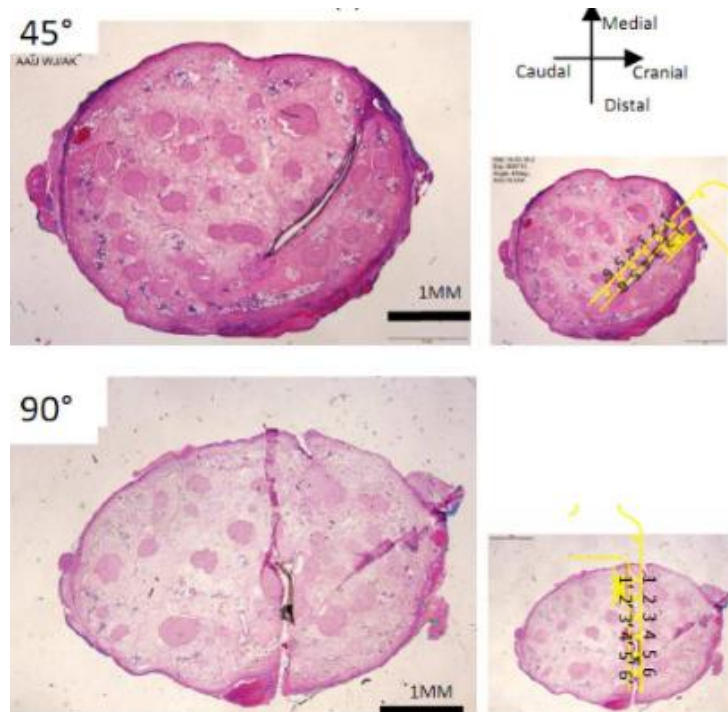
1. Répartition des fascicules :

- [1] Coloration HES

2. Répartition fibres nerveuses motrices

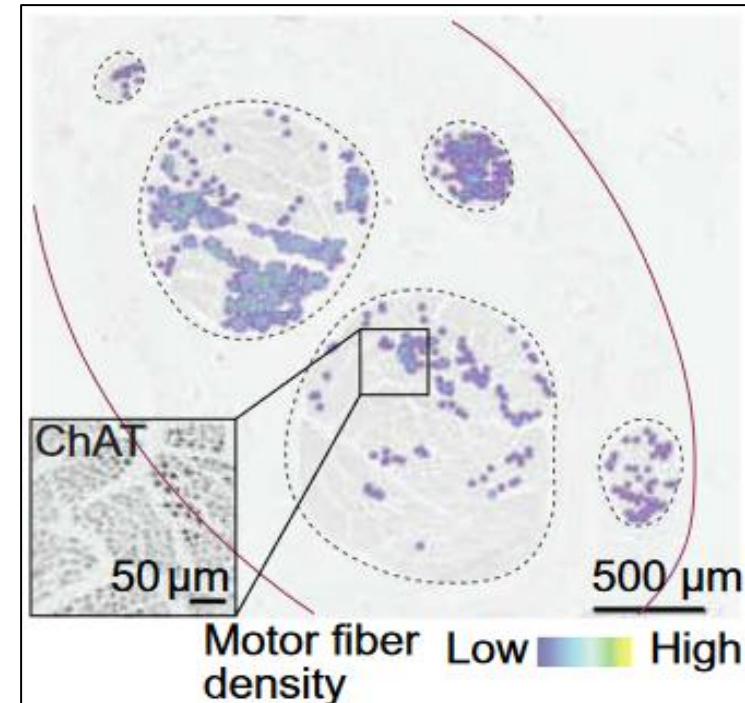
3. Répartition des différents diamètres des fibres motrices A-alpha

- [2] IHC Anti-Choline Acétyltransférase (ChAT) → non référencé chez le cochon



[1] Coloration à l'hématoxyline éosine (HE) d'un nerf périphérique. Kundu, et al., (2014).

IEEE

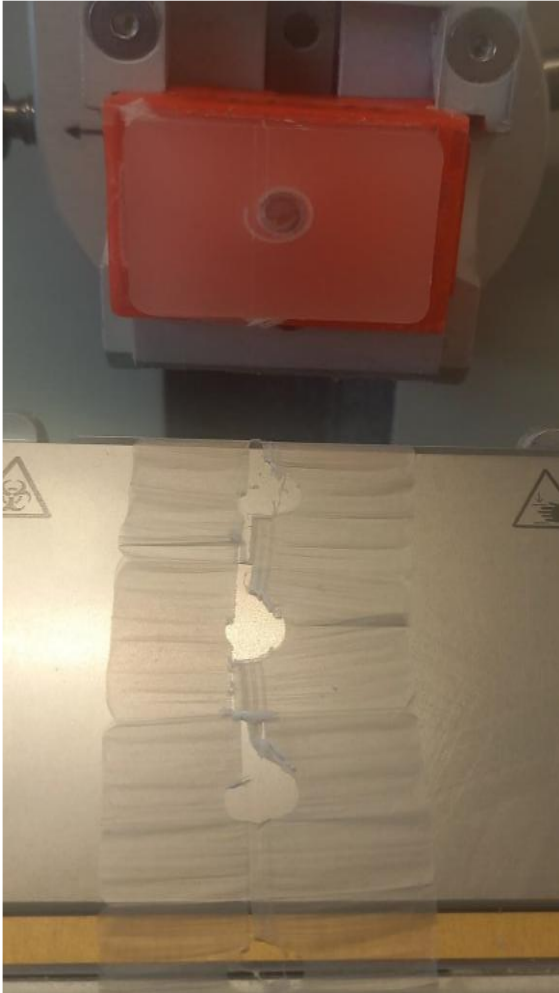


[2] Distribution des axones moteurs dans le nerf médian. Badi, et al., (2021), (Figure 1).

Science Translational Medicine

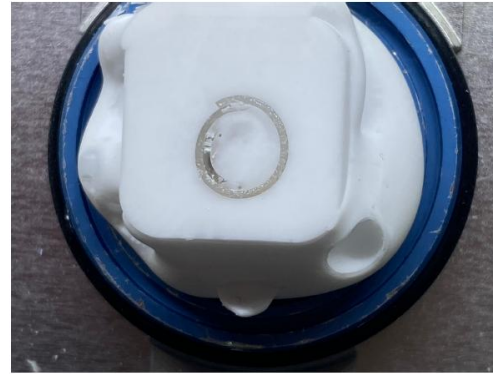
Alignement des contacts centraux avec la coupe transversale de nerf

Essais de coupes transversales de nerf avec électrode (carcasses) RHEM

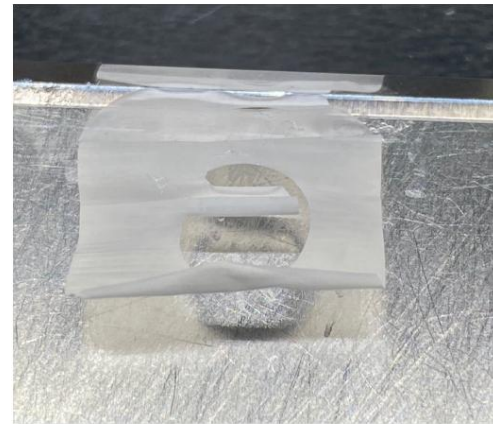


Section du nerf avec électrode
(paraffine) au microtome

Block in OCT



Section 16 um



Section du nerf avec électrode
(paraffine) au cryotome

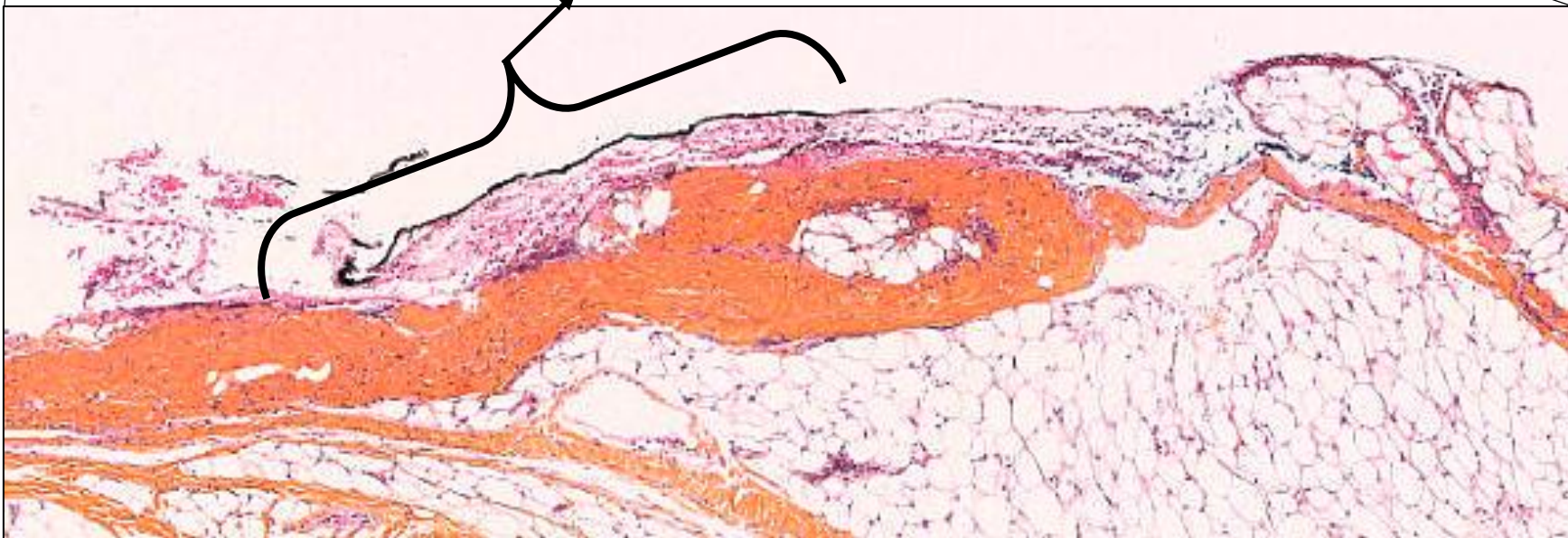
Même résultat en résine

- Aucune technique connue ne permet de garder l'électrode commerciale enroulée lors de la coupe transversale
- Solution envisagée : positionner des points de tatouage sur le nerf au moment du retrait de l'électrode

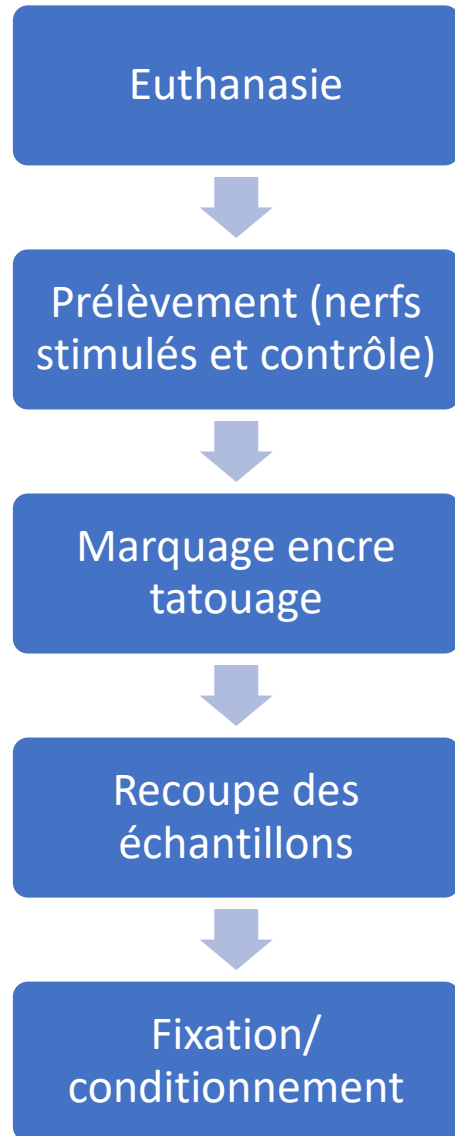
Alignement des contacts centraux avec la coupe transversale de nerf



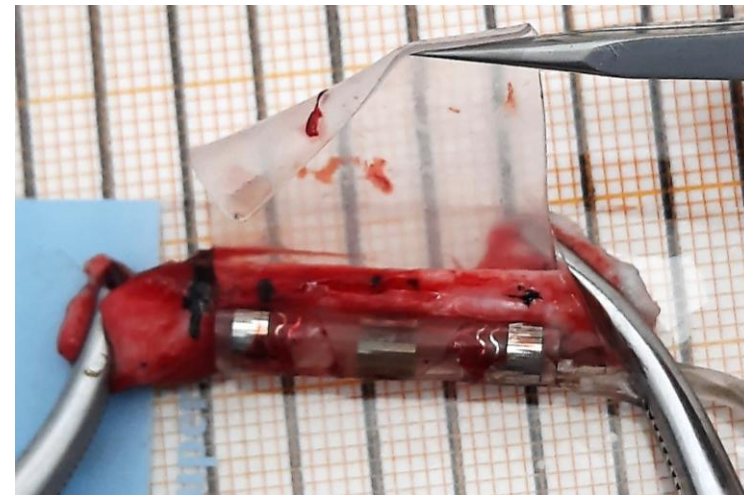
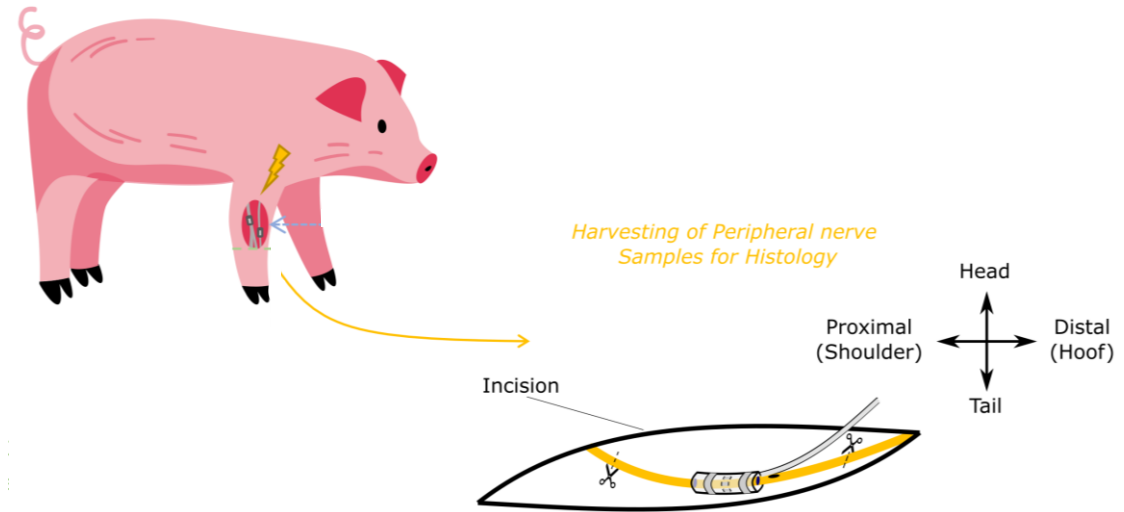
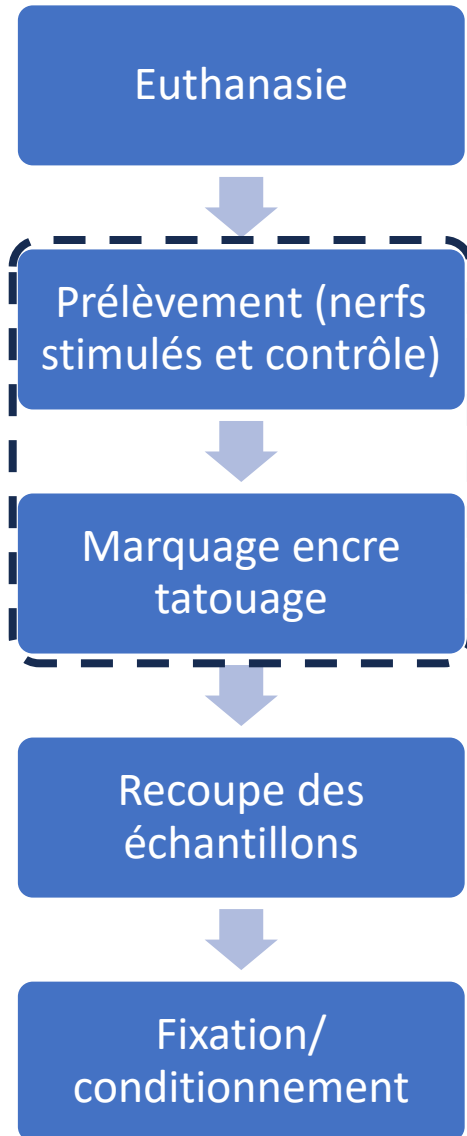
Zone de tatouage → position du câble de l'électrode



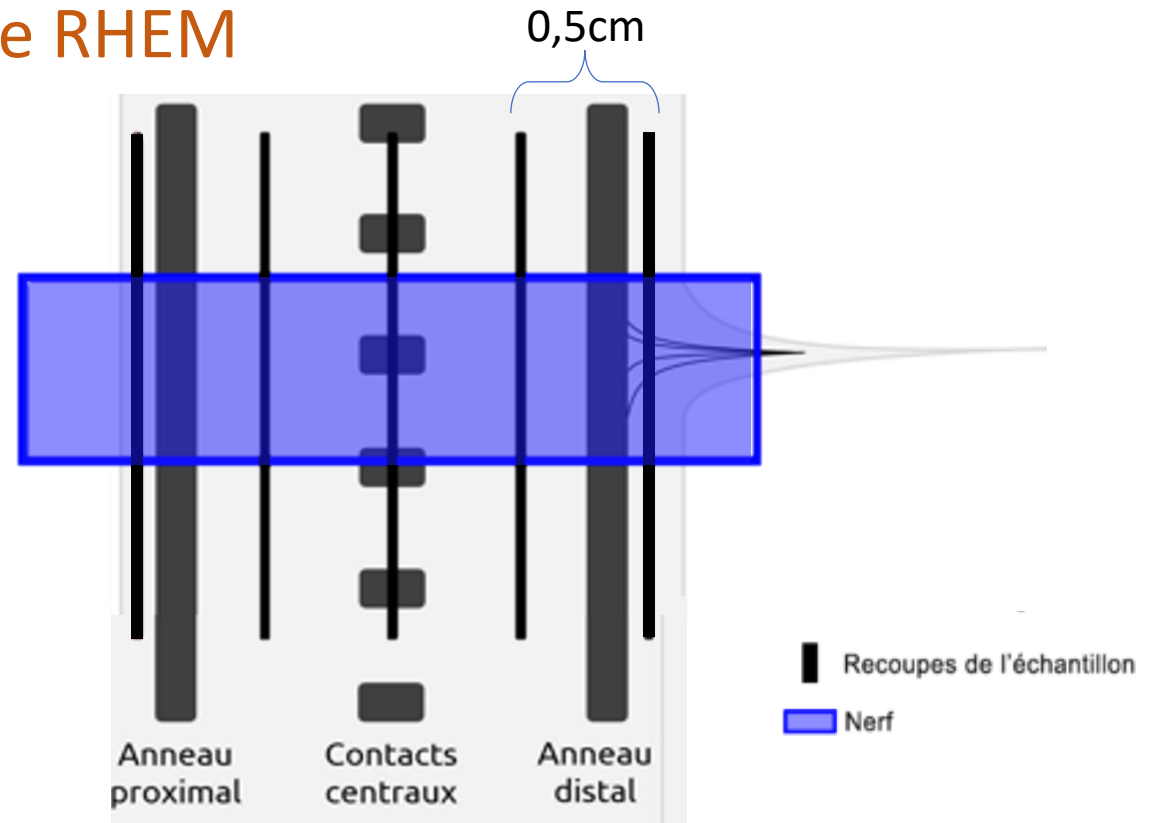
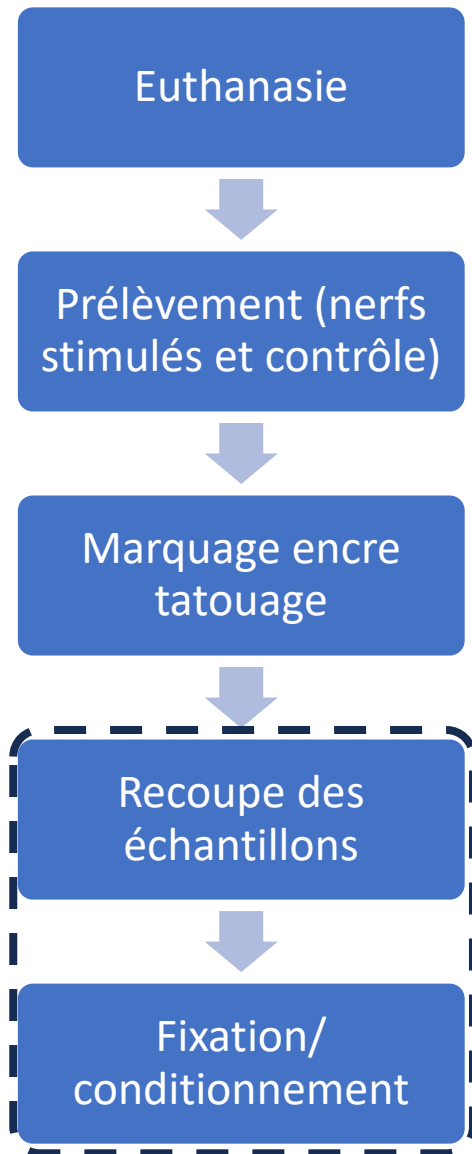
Procédures de récolte établies avec le RHEM



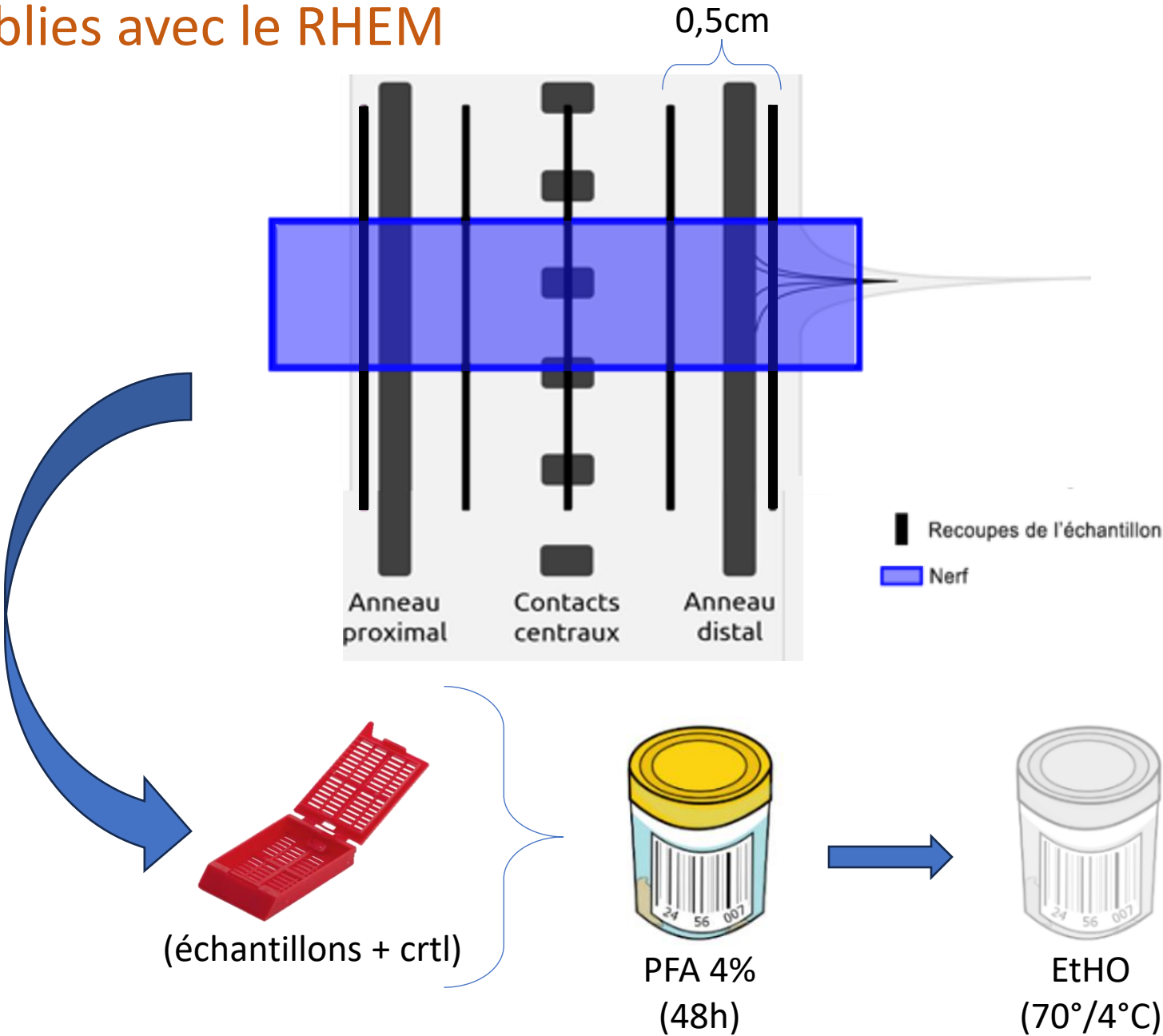
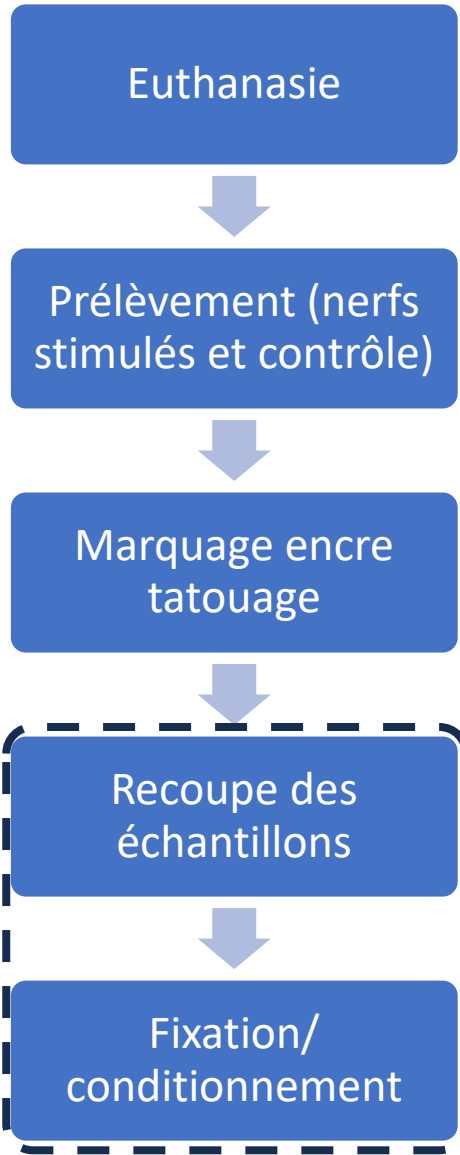
Procédures de récolte établies avec le RHEM



Procédures de récolte établies avec le RHEM



Procédures de récolte établies avec le RHEM

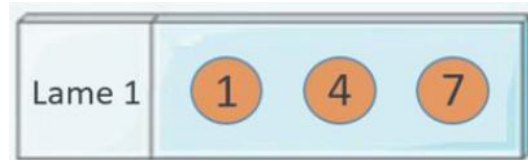
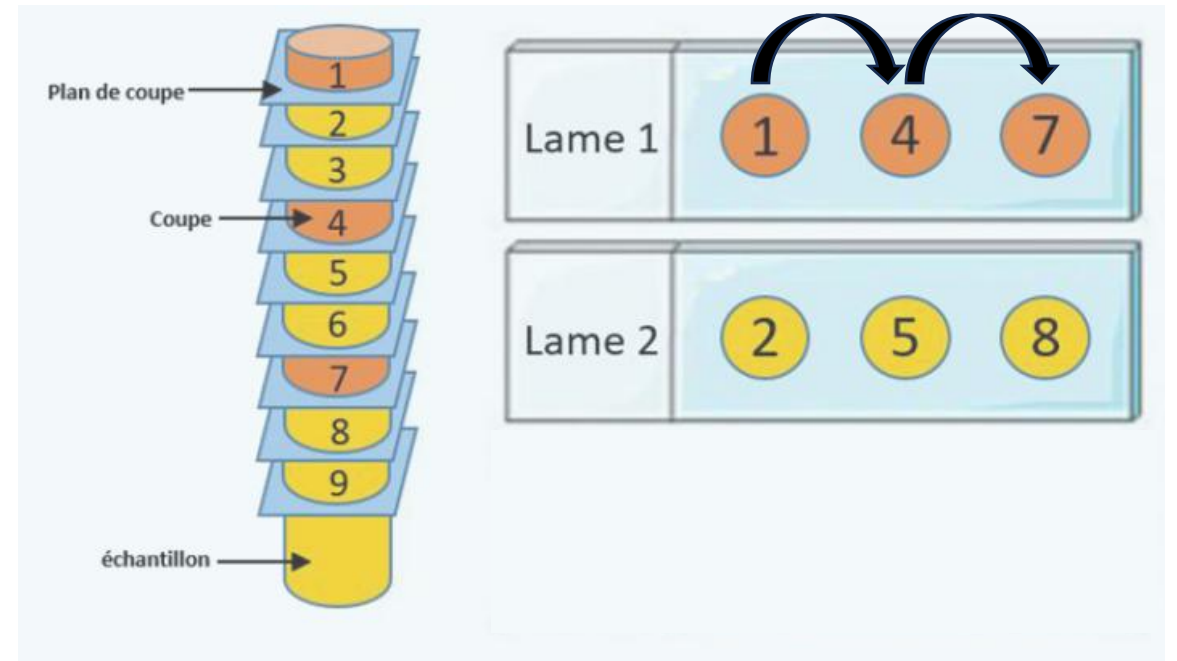


Traitement des échantillons fixés (réalisé par RHEM)

Imprégnation : Programme « murine like »

- 2 bains ETOH 70°
- 2 bains ETOH 96°
- 3 bains ETOH 100°
- 3 bains Xylène
- 3 bains Paraffine 58°C

Coupes séries/pointillées



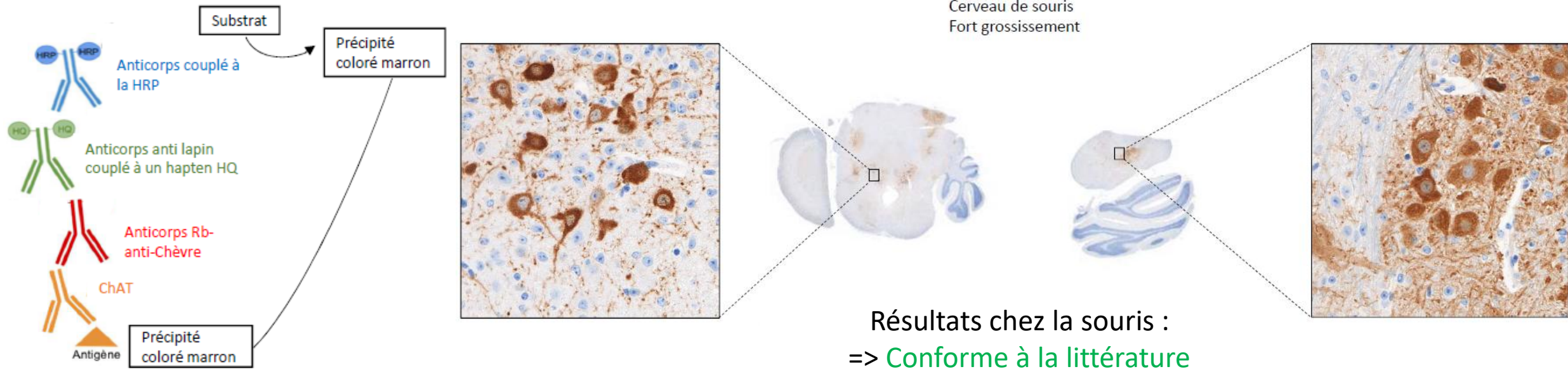
HES



ChAT

Coloration des lames : Mise au point de l'immunomarquage ChAT sur cochon (RHEM)

Immunomarquage anticorps anti-ChAT, avec amplification renforcée HQ



Conditions validées pour le nerf de cochon

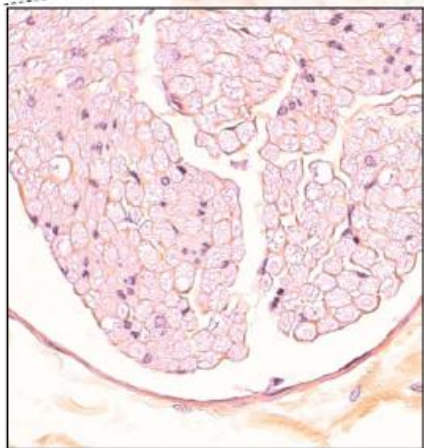
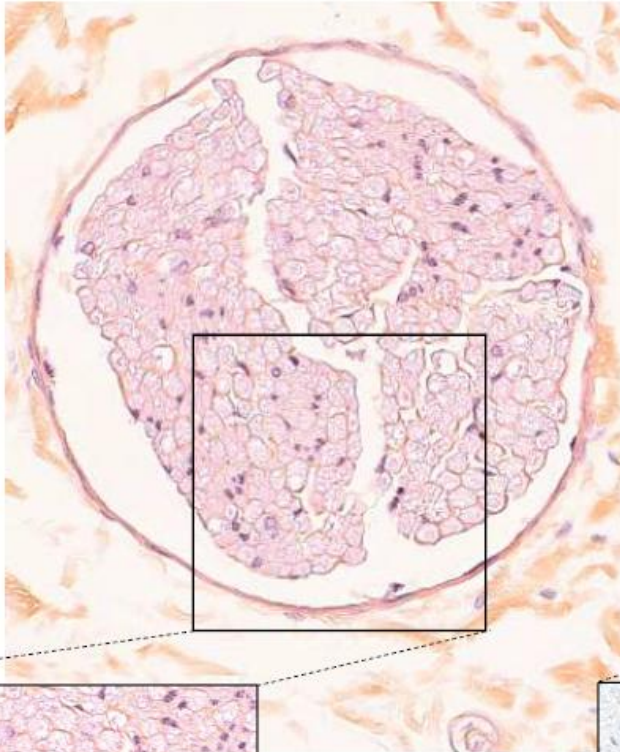
Démasquage : pH8 24min 95°C
Anticorps ChAT 1/100ST 60min 37°C
Anticorps IIndaire : Lapin-anti-chèvre 1/1000ST 16min
Amplification renforcée HQ
DAB
Hématoxyline

Résultats histologiques

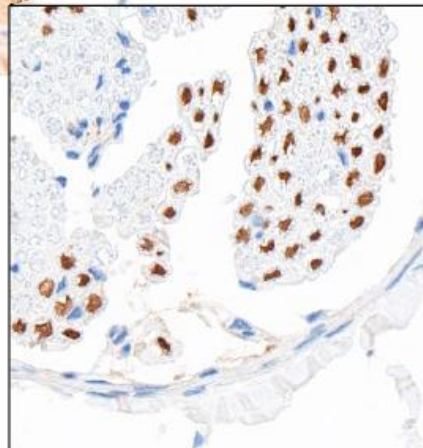
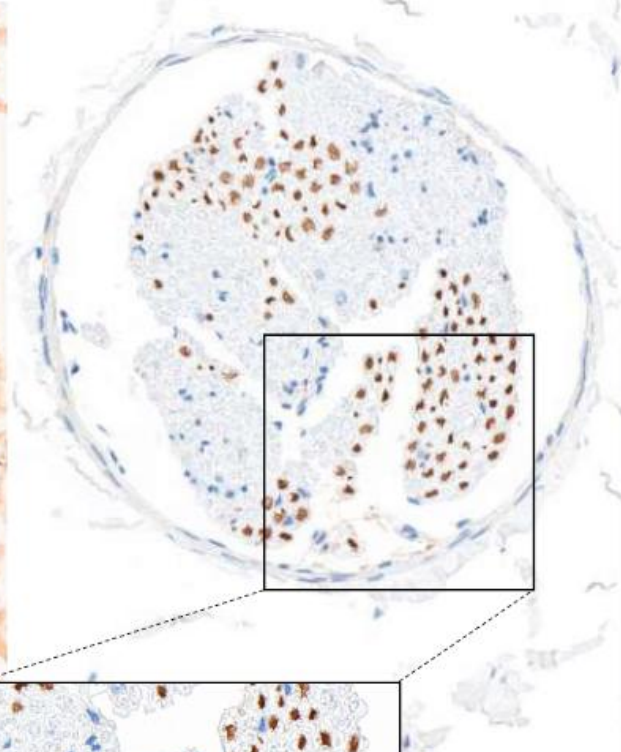
Coloration des lames : Mise au point de l'immunomarquage ChAT sur cochon (RHEM)

Fascicule nerf
de cochon

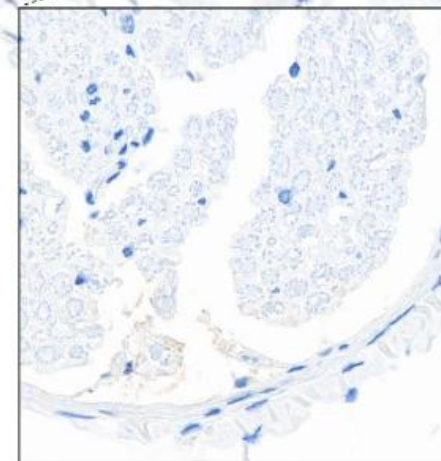
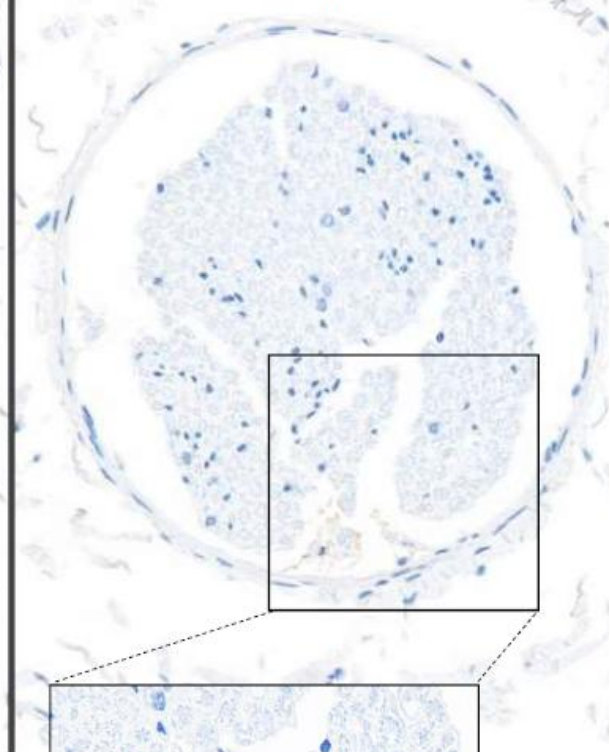
Lame HES



Anticorps ChAT



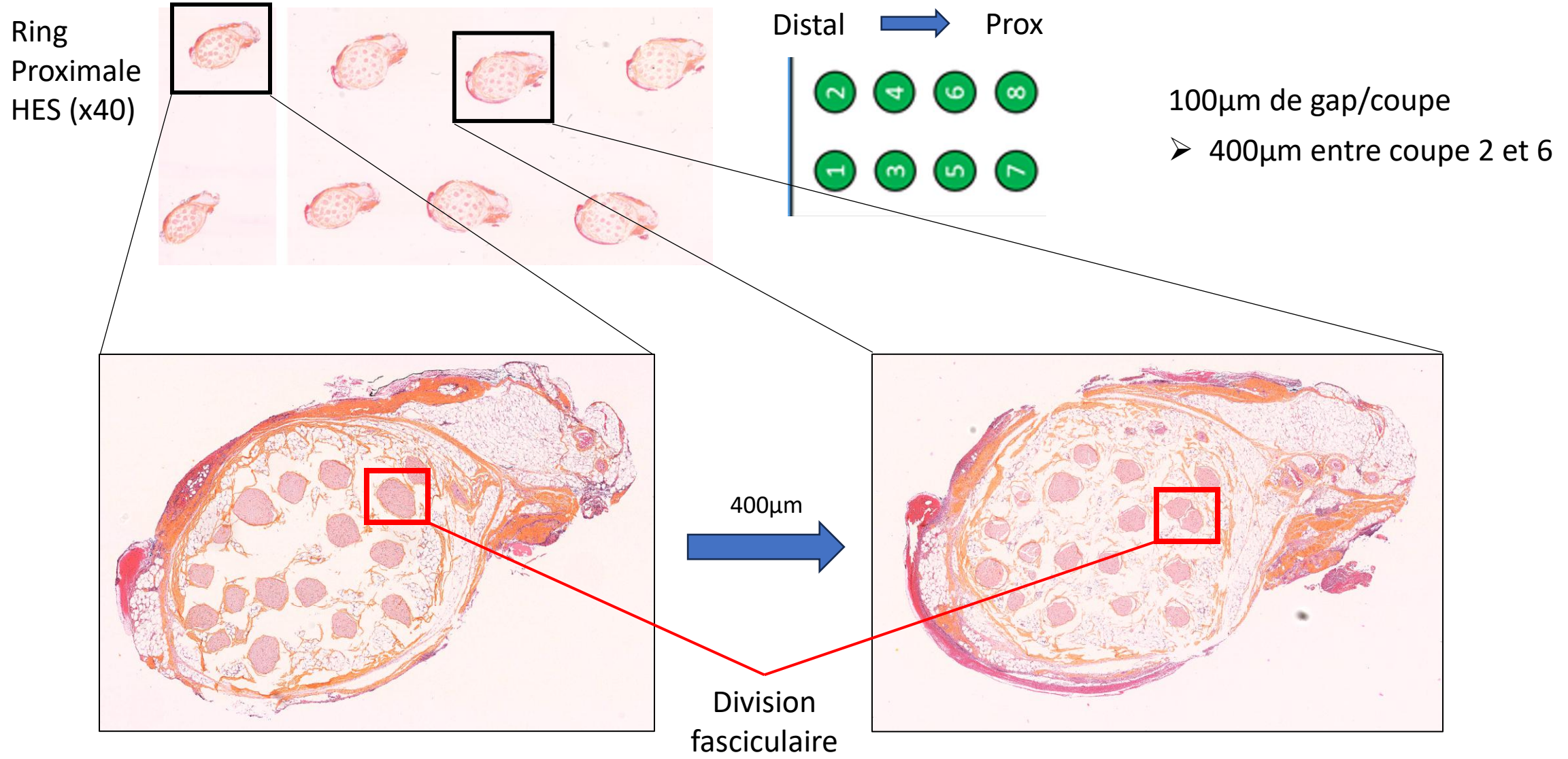
Sans anticorps laire



Résultats histologiques

1. Répartition des fascicules : Coloration HES

Confirmation du caractère plexiforme du nerf médian chez le cochon



Analyses morphométriques du nerf médian chez le cochon

Valeurs littérature :

Nerves	Diameter (95% CI) mm
Radial (n=15)	4.01 (2.94–5.48)
Median (n=13)	3.13 (2.3–4.23)

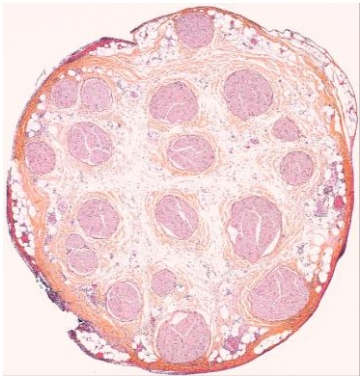
A. Chandra, (2021), Real-time visualisation of peripheral nerve trauma during subepineural injection in pig brachial plexus using micro-ultrasound.

Contacts centraux (proximal) :



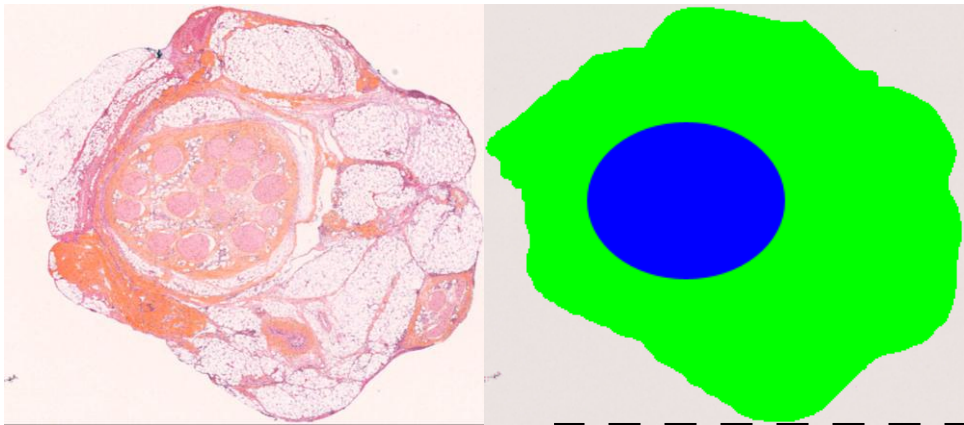
Area (mm²)	Perim. (mm)	Circ.	Feret Major (mm)	Feret Minor (mm)
4,54	8,52	0,78	3,04	1,87

Ring distale :

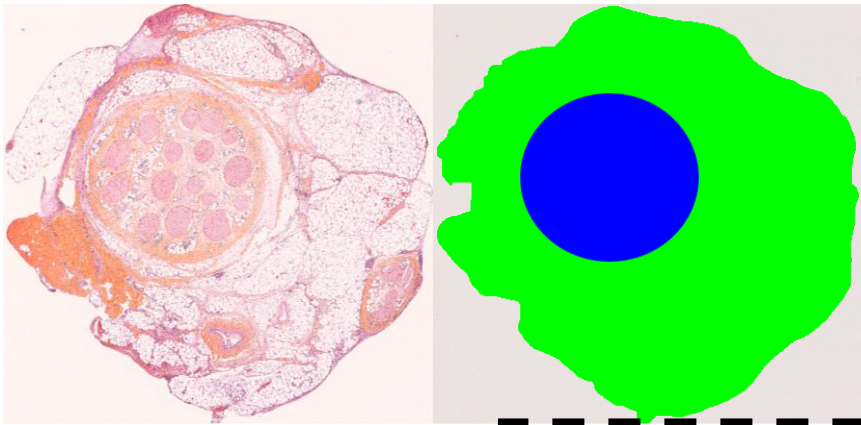


Area (mm²)	Perim. (mm)	Circ.	Feret Major (mm)	Feret Minor (mm)
4,63	8,20	0,86	2,63	2,29

Contacts centraux :



Label	Area (mm²)	Perim. (mm)	Circ.	Feret Major (mm)	Feret Minor (mm)
Nerf global	22,00	19,51	0,73	6,37	4,70
Cœur du nerf	3,74	7,01	0,95	2,59	1,84



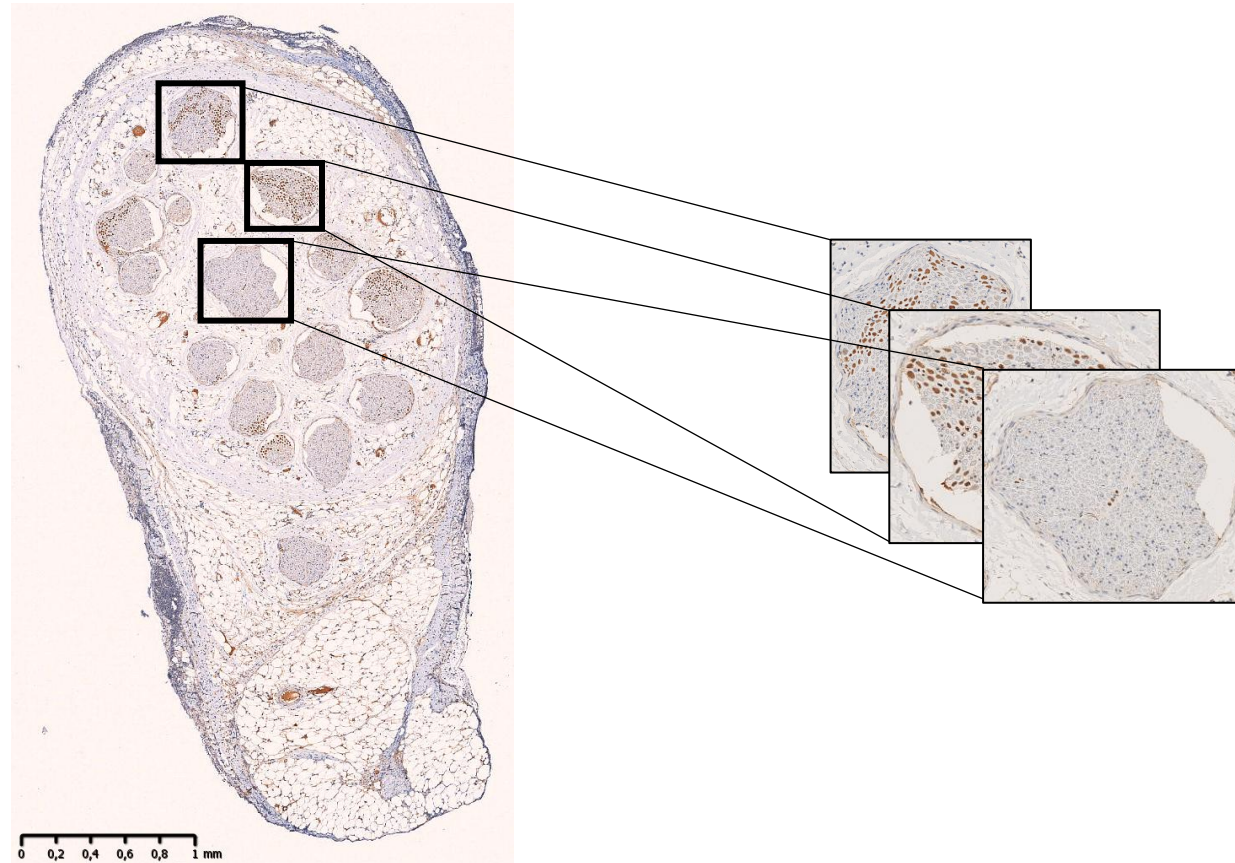
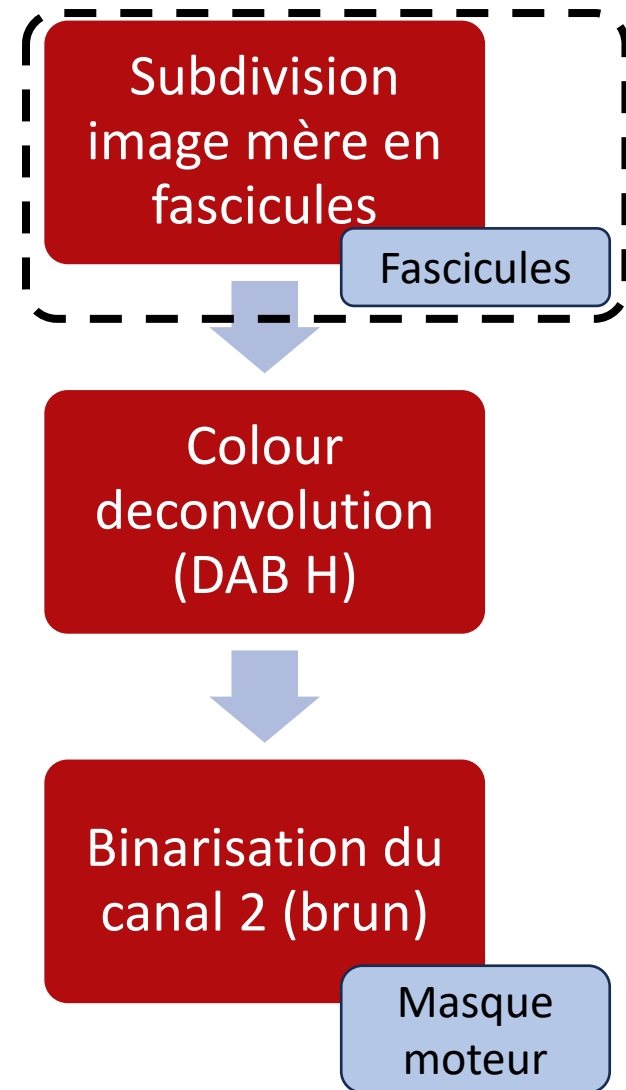
Label	Area (mm²)	Perim. (mm)	Circ.	Feret Major (mm)	Feret Minor (mm)
Nerf global	23,95	20,27	0,73	6,11	5,09
Cœur du nerf	4,72	7,70	1,00	2,52	2,39

Résultats histologiques

1. Répartition fibres nerveuses motrices
2. Répartition des différents diamètres des fibres motrices

Répartition des fibres motrices dans le nerf médian chez le cochon

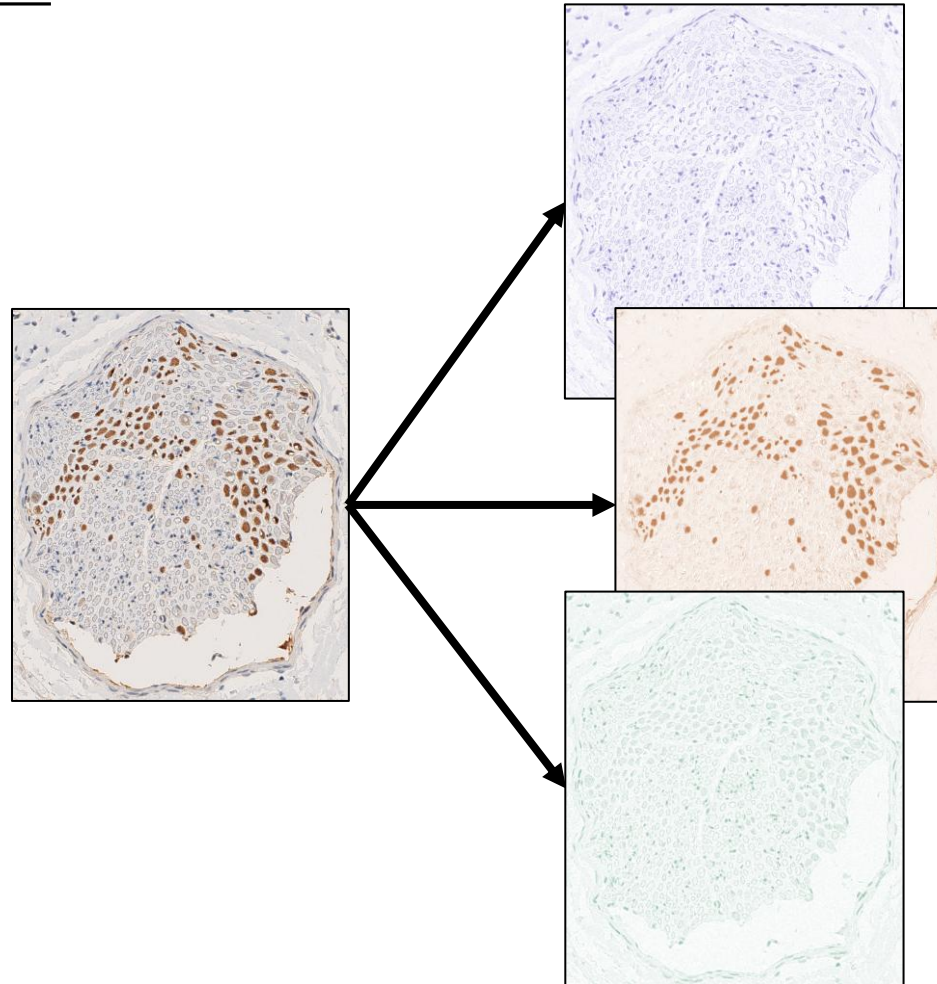
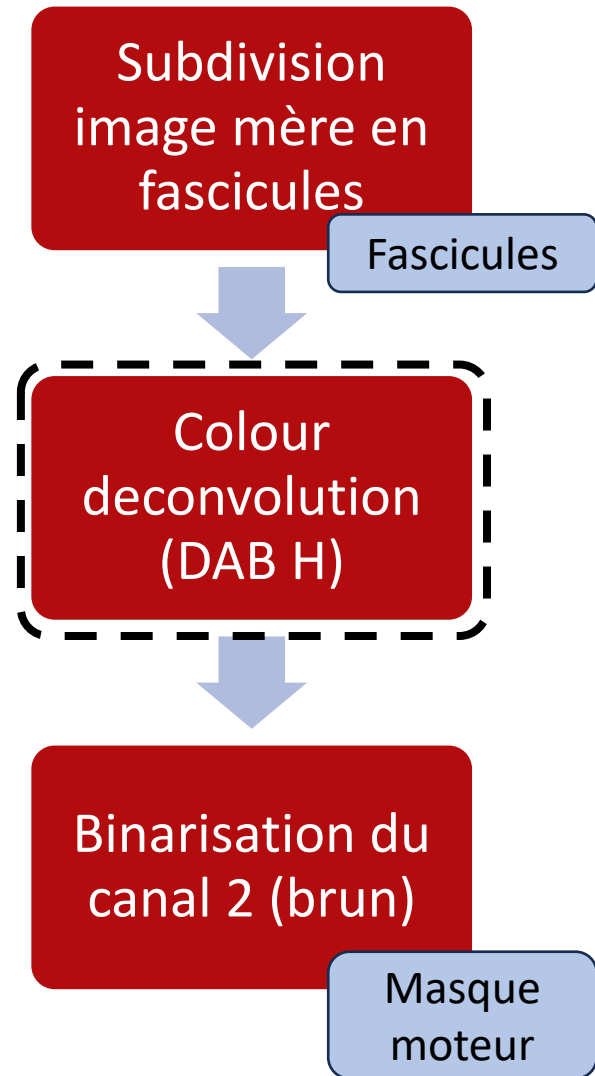
Pipeline de segmentation : masque moteur



Répartition des fibres motrices dans le nerf médian chez le cochon



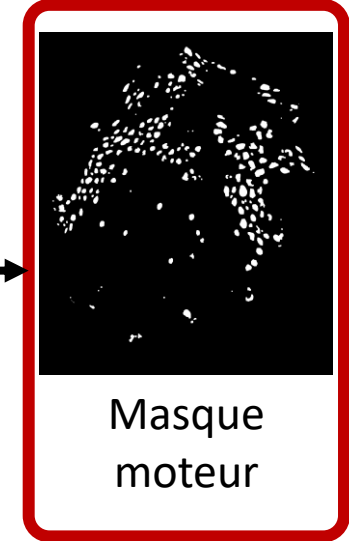
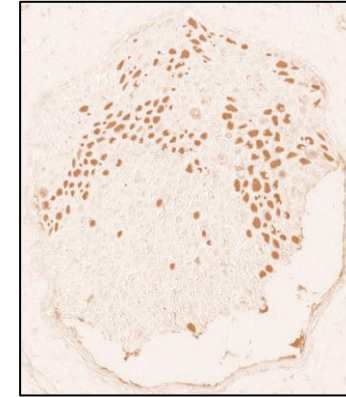
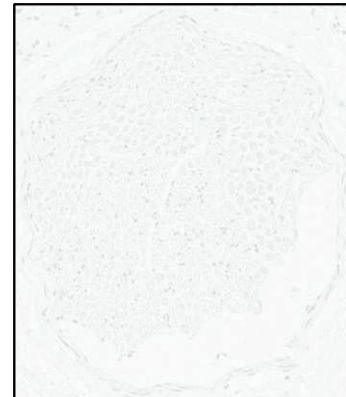
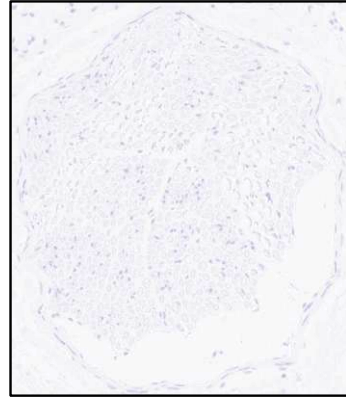
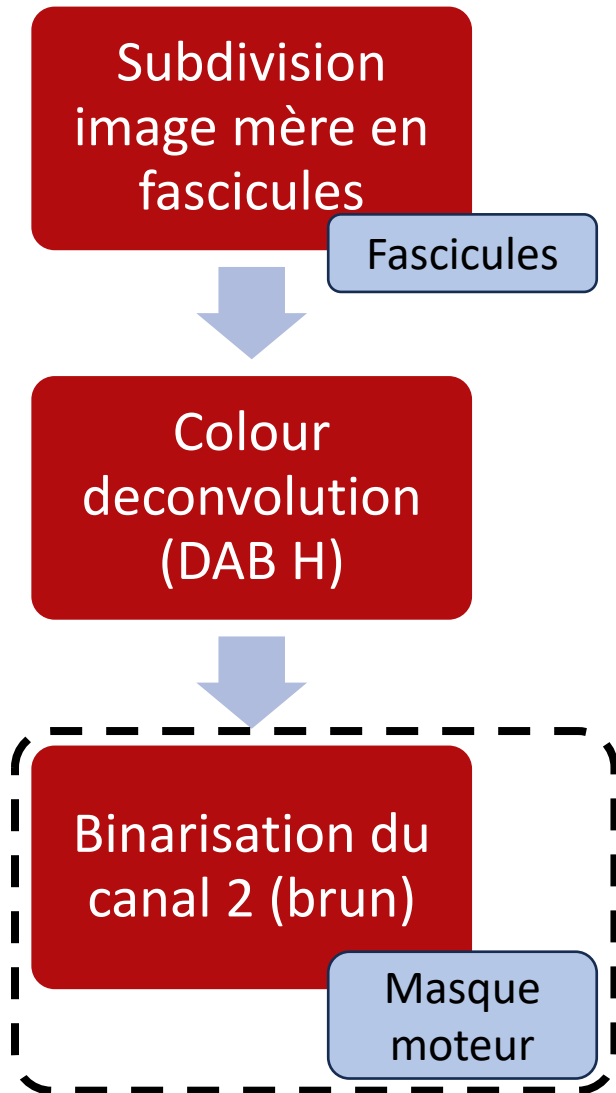
Pipeline de segmentation : masque moteur



Répartition des fibres motrices dans le nerf médian chez le cochon



Pipeline de segmentation : masque moteur



Répartition des fibres motrices dans le nerf médian chez le cochon



Pipeline de segmentation : masques axones et gaines de myéline

Blanking fibres motrices

Préparation pour CNN

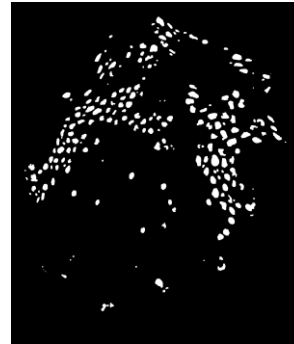
- Conversion niveau de gris
- Inversion
- Amélioration du contraste (CLAHE)

Segmentation

- AxonDeepSeg
- Default SEM model

Masque axone

Masque myéline



Masque
moteur

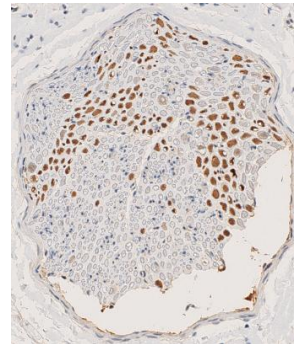


Image
d'origine

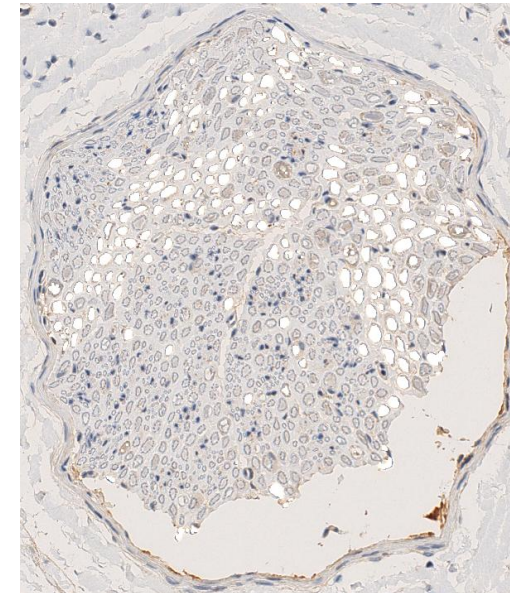
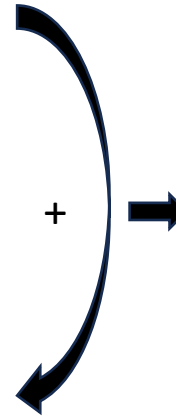


Image soustraite

Répartition des fibres motrices dans le nerf médian chez le cochon



Pipeline de segmentation : masques axones et gaines de myéline

Blanking fibres motrices

Préparation pour CNN

- Conversion niveau de gris
- Inversion
- Amélioration du contraste (CLAHE)

Segmentation

- AxonDeepSeg
- Default SEM model

Masque axone

Masque myéline

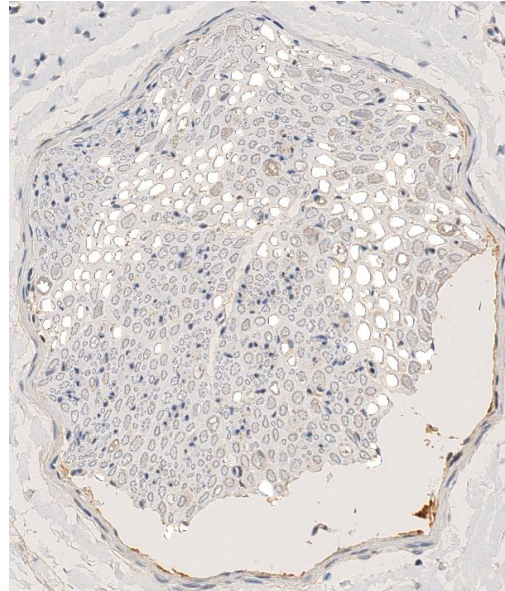


Image soustraite

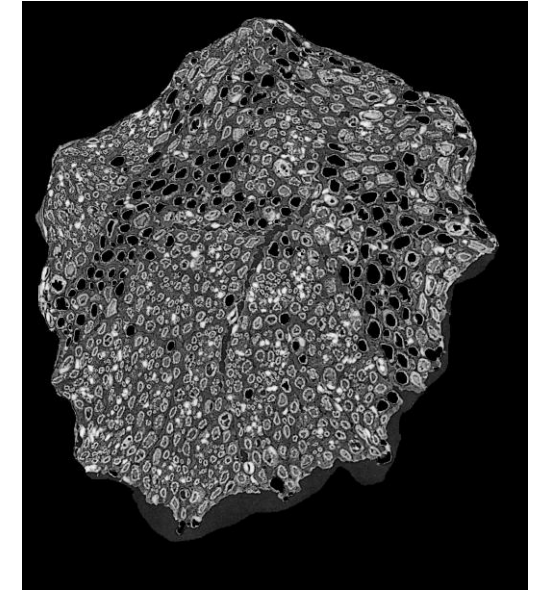


Image inversée & contrastée

Répartition des fibres motrices dans le nerf médian chez le cochon

Pipeline de segmentation : masques axones et gaines de myéline

Blanking fibres motrices



Préparation pour CNN

- Conversion niveau de gris
- Inversion
- Amélioration du contraste (CLAHE)



Segmentation

- AxonDeepSeg
- Default SEM model

Masque axone

Masque myéline

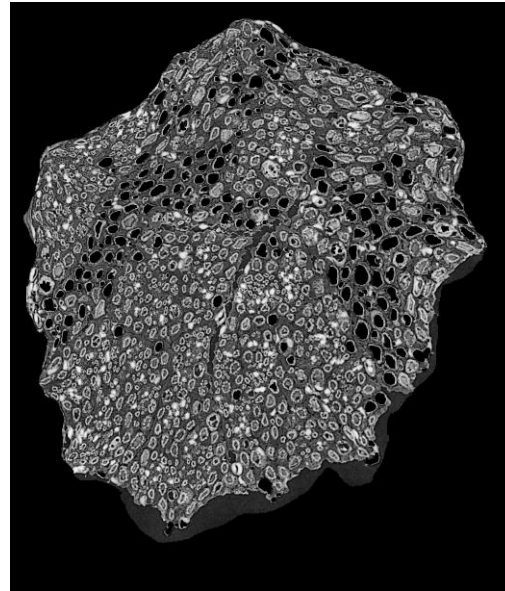
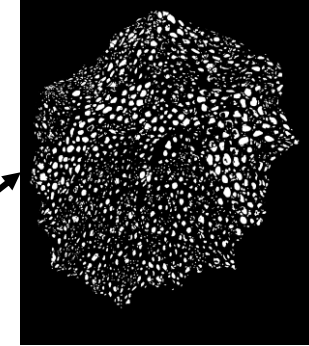
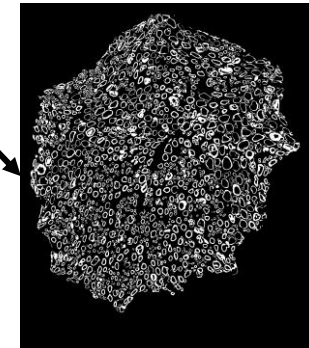


Image inversée & contrastée

Masque axones



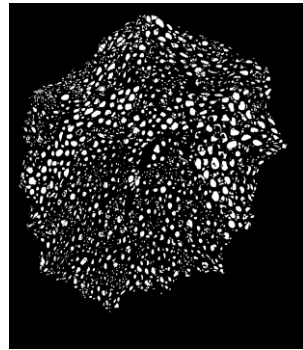
AxonDeepSeg : Default SEM model



Masque myéline

Répartition des fibres motrices dans le nerf médian chez le cochon

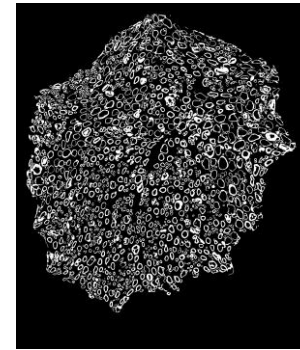
Pipeline de segmentation



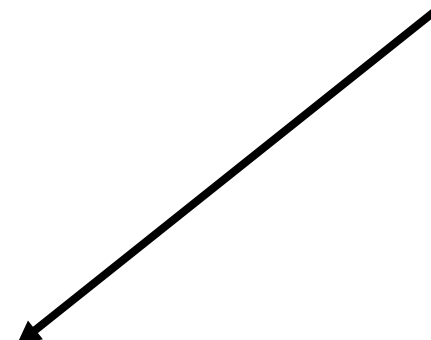
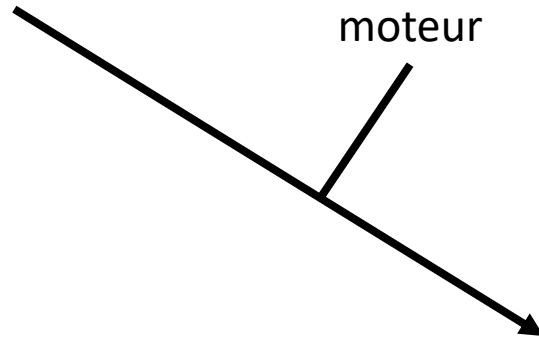
Masque axones



Masque
moteur

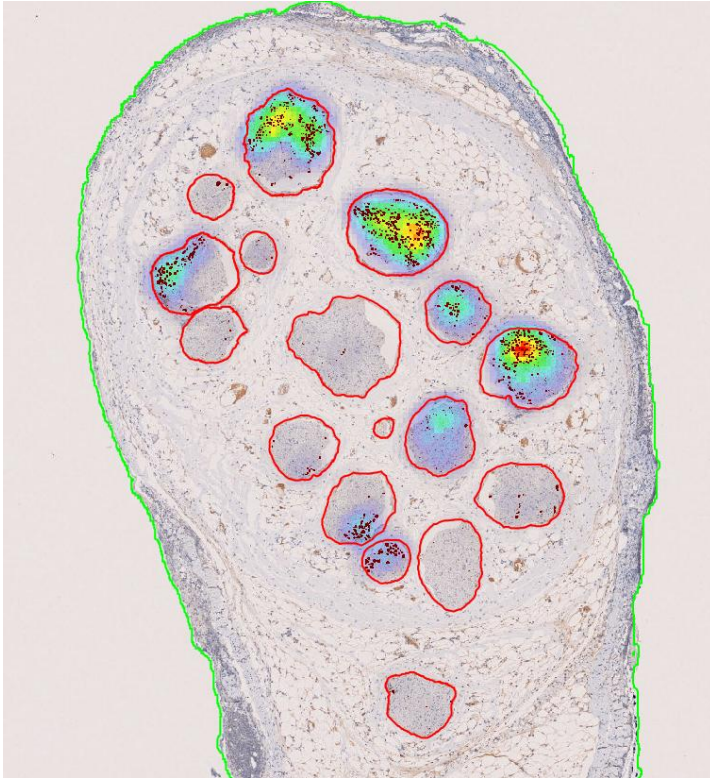


Masque myéline



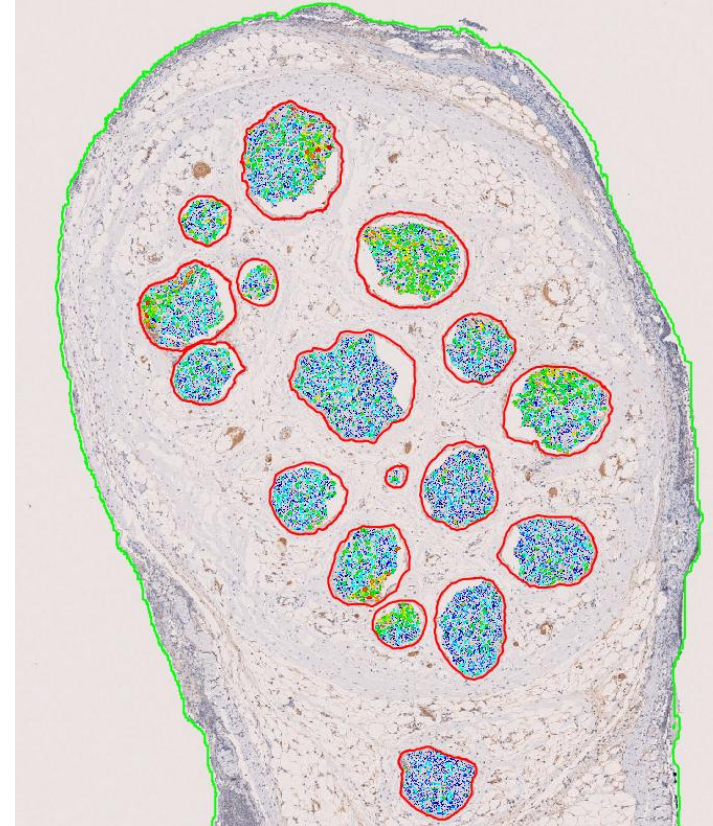
Répartition des fibres motrices dans le nerf médian chez le cochon

Fibres motrices



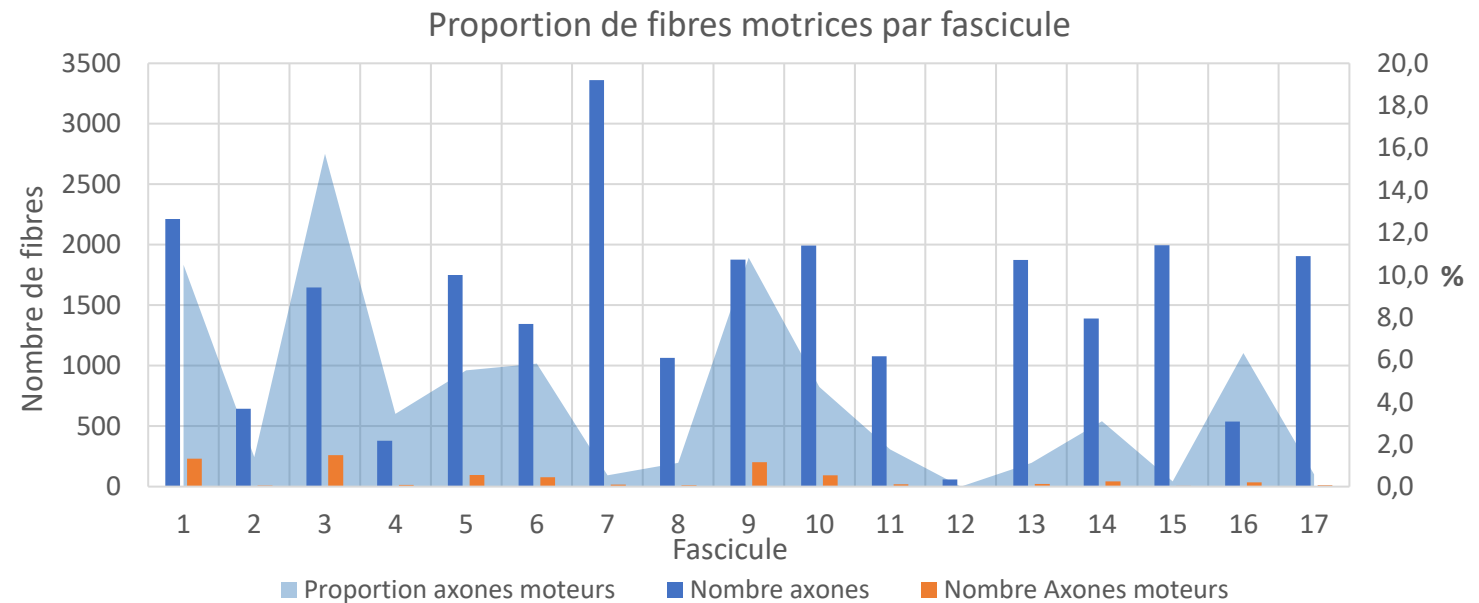
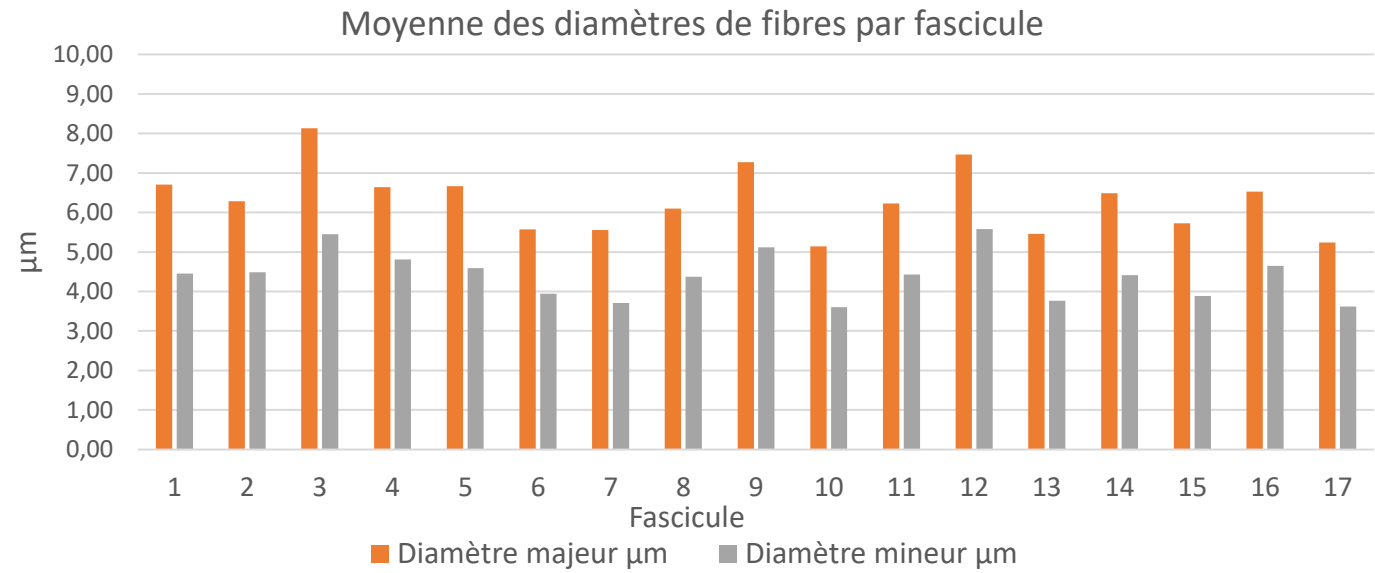
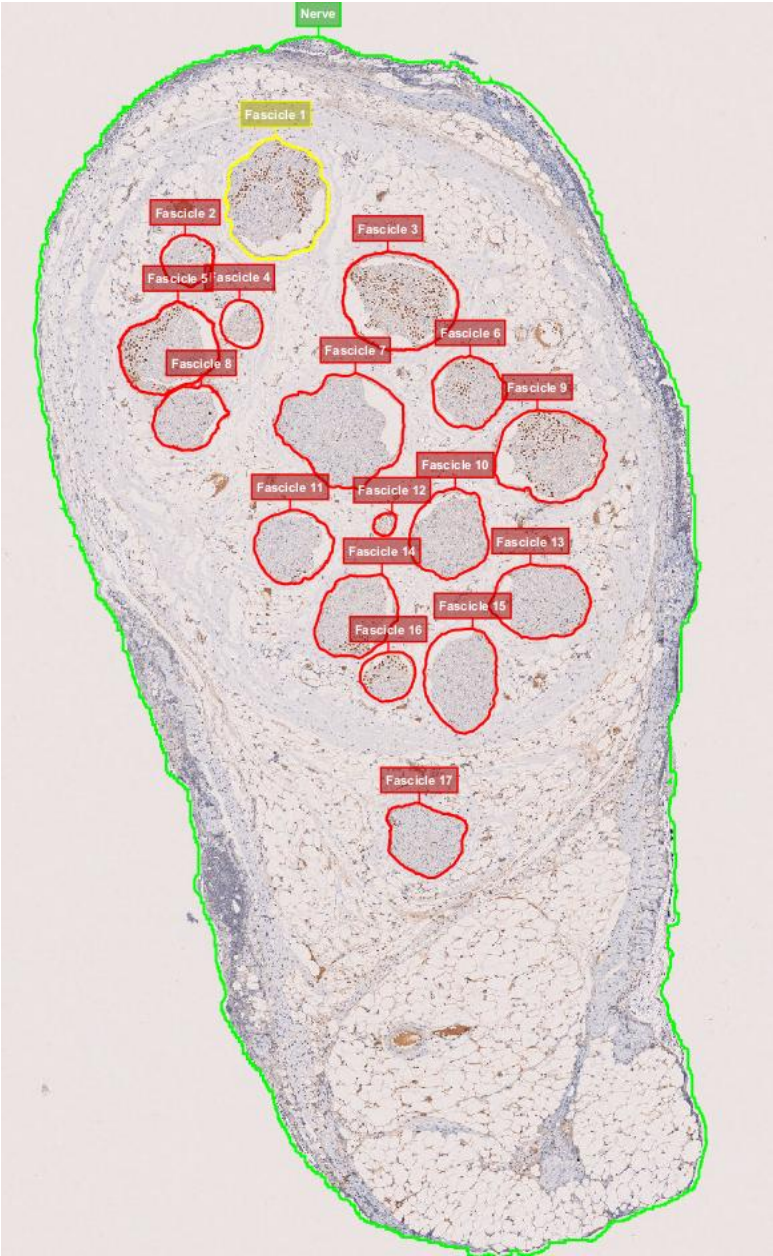
Heat map des fibres motrices (par fascicule) sur coupe de nerf stimulé de cochon (zone de contacts centraux)

Gaines de myéline



Répartition des diamètres de fibres sur nerf stimulé de cochon (zone de contacts centraux)

Analyses morphométriques des fascicules d'un nerf médian de cochon

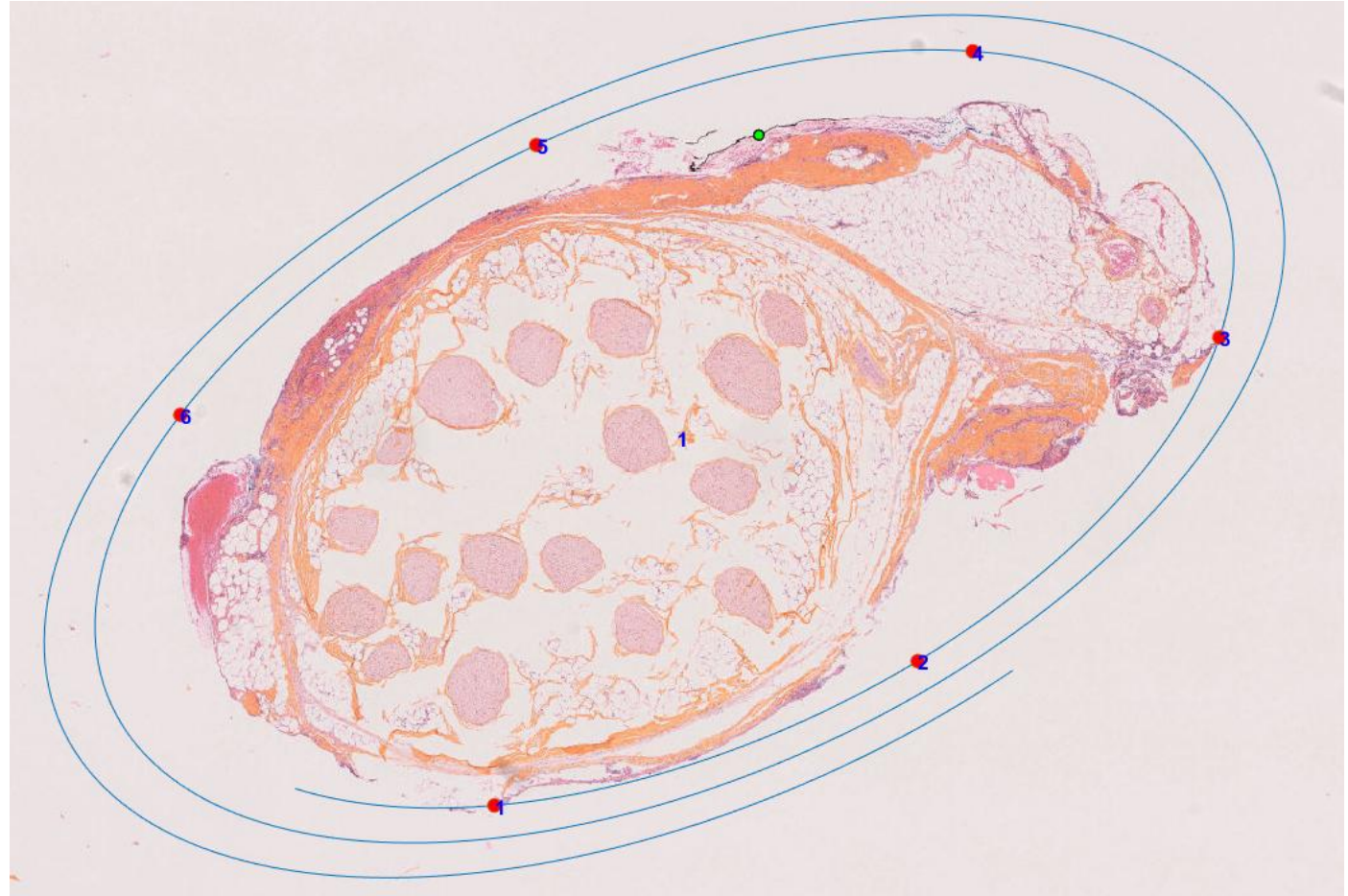


Alignement des contacts centraux avec la coupe transversale de nerf



Inconvénients :

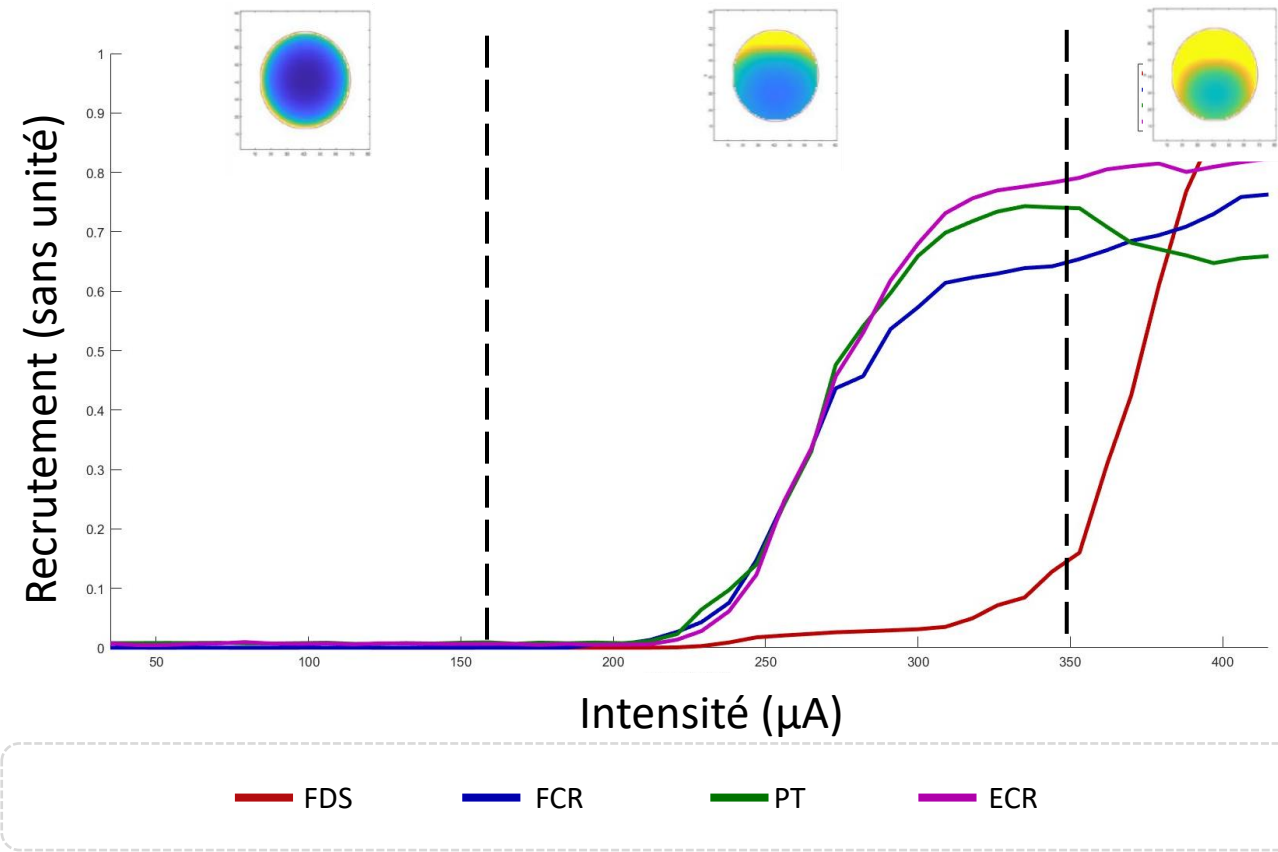
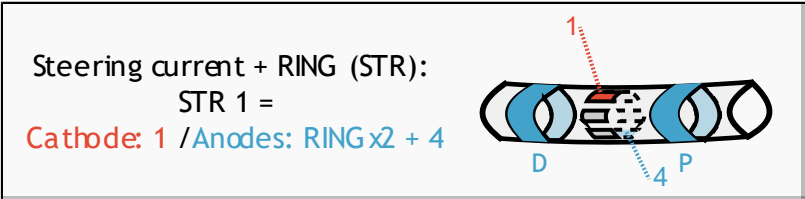
- Difficultés à maintenir le nerf et l'électrode alignés entre dissection et marquage
- Zone d'encrage large



Simulation de l'enroulement de l'électrode autour du nerf et répartition des contacts centraux

Perspectives et conclusion

Étudier la relation réponse musculaire/résultats histologiques



Conclusion

- Le nerf médian du cochon est plexiforme
- Les fibres motrices du cochon répondent à l'IHC anti-ChAT
- On peut repérer la position des fibres motrices au sein des fascicules et estimer leur diamètre
- On peut simuler l'enroulement de l'électrode et des contacts grâce aux marques de tatouage
- Reste à croiser ces données pour vérifier si un lien peut être établis entre les résultats histologiques et électrophysiologiques

Partenaires du projet

- Inria Montpellier – Équipe CAMIN
 - Jonathan Baum ; Thomas Guiho ; Christine Azevedo
- Neurinnov (Montpellier)
 - Manon Chamot-Nonin ; David Guiraud
- RHEM
 - Hanane Mansouri (ICM) ; Aurélie Covinhes (ICM) ; Nelly Pirot (ICM) ; Iria Dopesos-Gonzalez (IGMM)
- Plateau technique de recherche expérimentale de Nîmes (ptnim)
 - Marylène BACLE ; Jack Fountain

Étude de la stimulation du nerf périphérique et de son architecture chez le cochon

Modèle animal : Cochon domestique (*sus domesticus*)

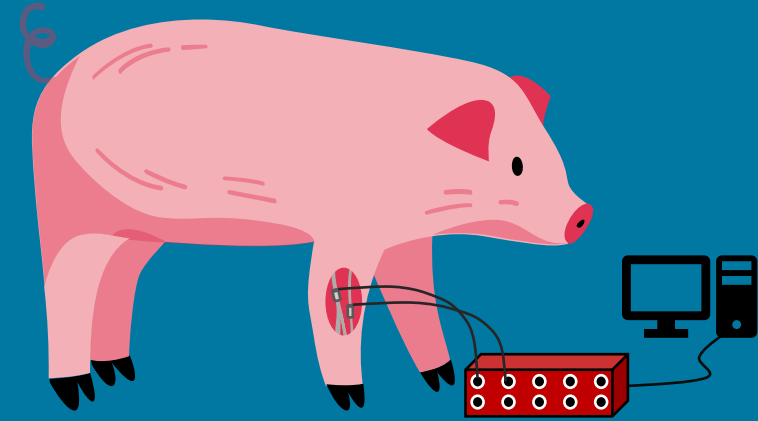
Âge : juvénile (≤ 50 kg)

Race : Large white

Choix du modèle :

- Disponibilité dans le réseau partenaire proche
- Gabarit comparable à l'humain
- Diamètre de nerfs membres supérieurs compatible avec les électrodes¹
- Organisation du plexus brachial comparable à l'humain²
- Caractère plexiforme existant sur le nerf vague³

Procédure aigüe



Protocole exploratoire aigu

effectifs :

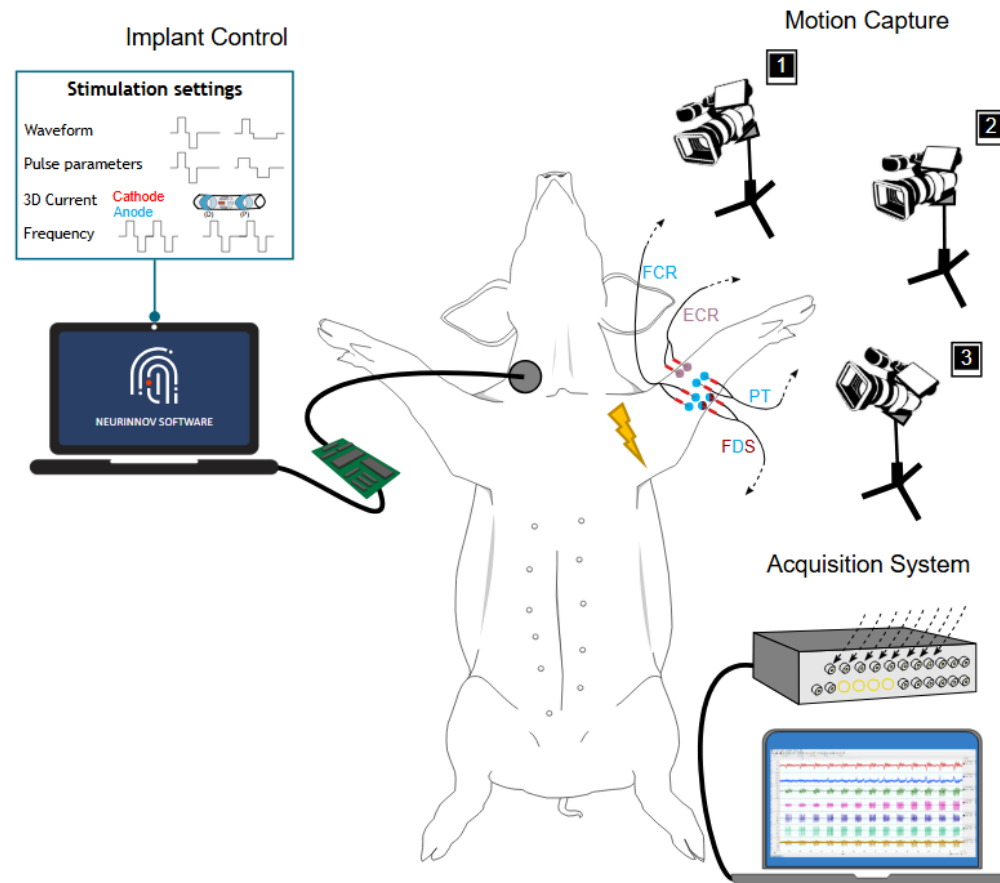
- phase préliminaire → 2 carcasses
- phase exploratoire → 4 cochons juvéniles (~50 kg)

[1] A. Chandra, Y. Soenjaya, J. Yan, P. Felts, G. McLeod, et C. Demore, « Real-time visualisation of peripheral nerve trauma during subepineural injection in pig brachial plexus using micro-ultrasound », British Journal of Anaesthesia, vol. 127, n° 1, p. 153-163, juill. 2021, doi: 10.1016/j.bja.2021.03.036.

[2] L. Santos et al., « Origin and distribution of the brachial plexus in wild boar (*Sus scrofa* Linnaeus, 1758) », Bioscience Journal, vol. 31, p. 1816-1825, nov. 2015, doi: 10.14393/BJ-v31n6a2015-29817.

[3] N. Thompson et al., « Organotopic organization of the porcine mid-cervical vagus nerve », Front Neurosci, vol. 17, p. 963503, mai 2023, doi: 10.3389/fnins.2023.963503.

Étude de la stimulation du nerf périphérique et de son architecture chez le cochon



- Radial nerve

Triceps Brachialis (TB) / Extensor Carpi Radialis (ECR) / Extensor Digitorum Communis (EDC)

- Median nerve

Flexor Digitorum Superficialis (FDS) / Flexor Carpi Radialis (FCR) / Pronator Teres (PT)

- Ulnar nerve

Flexor Digitorum Superficialis (FDS) / Deep Digital Flexor (DDF) / High Head of Deep Digital Flexor (HHDDF)

Stimulation nerf périphérique :

- Nerf médian
- Électrode 8 contacts (2 pleins + 6 centraux)
- Pulses biphasiques asymétriques ; PW : 150µs
- Fstim : 35Hz

Acquisition EMG : Gtec - g.Bsamp GT201

- 4 à 5 canaux EMG aiguilles custom
- Fe : 20 kHz
- Filtres :

- coupe bande : 50 Hz
- passe haut : 2 Hz
- passe bas : 5 kHz

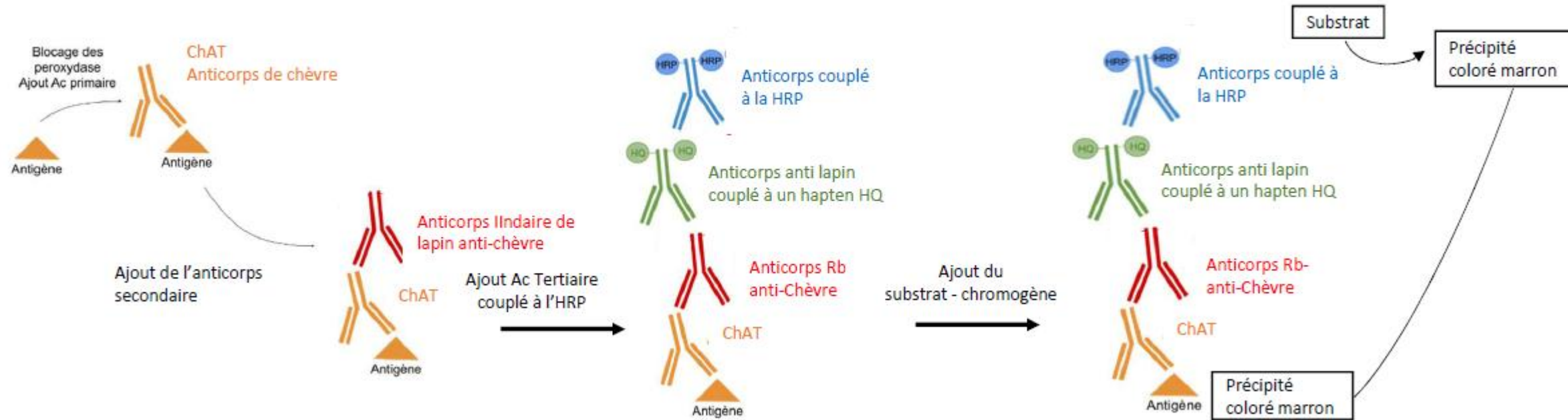
Amplification (x1000) : PowerLab 16/35 – ADInstruments

Enregistrement : Labchart

Coloration des lames : Mise au point de l'immunomarquage ChAT (RHEM)

Immunomarquage, avec amplification renforcée HQ

Démasquage des sites antigéniques en pH8



Conditions validées pour le nerf de cochon

Démasquage : pH8 24min 95°C
Anticorps ChAT 1/100ST 60min 37°C
Anticorps IIndaire : Lapin-anti-chèvre 1/1000ST 16min
Amplification renforcée HQ
DAB
Hématoxyline

Histologie dans la littérature - Modèles porcins -

1. Kundu, A., et al., (2014). Stimulation Selectivity of the “Thin-Film Longitudinal Intrafascicular Electrode” (tfLIFE) and the “Transverse Intrafascicular Multi-Channel Electrode” (TIME) in the Large Nerve Animal Model. *IEEE*

Modèle : cochon Danish Landrace (11 femelles de ~50kg)

Méthode :

- Dissection nerf médian
- Fixation : sans fixation et cryogénisation (azote)
- Coupes : 5µm
- Coloration : Hématoxyline + éosine (HE)

Objectif : surveillance du positionnement de l'électrode TIME dans le nerf

Coloration HE : Coloration de base en histologie

- Hématoxyline → les noyaux en bleu/violet
- Eosine → cytoplasme

Pour le nerf, met en valeur l'épinèvre ; périnèvre (fascicules) ; endonèvre ; gaines de myéline ; ...

→ Morphométrie et détection lésions dues à l'électrode (dur avec la cuff)



Fig. 3. (b) Examen histologique de contrôle de l'emplacement de la TIME dans le nerf. Des traces d'électrodes sont clairement visibles dans les figures de gauche pour chaque angle d'implantation, tandis qu'à droite, l'orientation de l'image et l'emplacement estimé du contact sont indiqués (à l'échelle).

2. Kundu, A., et al., (2014). Biosafety Assessment of an Intra-Neural Electrode (TIME) following Sub-Chronic Implantation in the Median Nerve of Göttingen Minipigs. *The International Journal of Artificial Organs*, 37(6), 466-476.

Modèle : Göttingen minipigs (4 femelles ~25-40 kg)

Méthode :

- Dissection de 5cm de nerf médian
- Fixation : cryogénisation (azote) + coloration immédiate OU formol + paraffine
- Coupes : 5µm
- Coloration : Hématoxyline + éosine (HE)

Objectif : Evaluer la biocompatibilité/sécurité sur un model animal grande taille

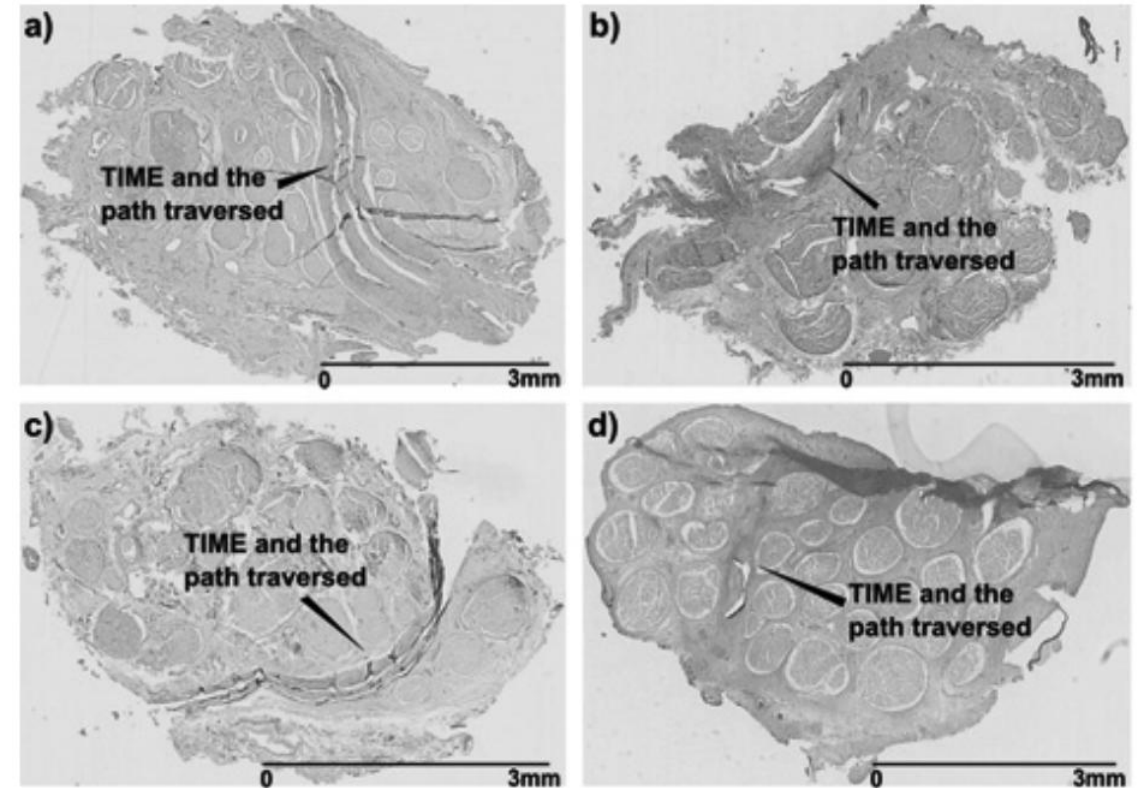


Fig. 2. Micrographies (a, b, c, d) montrant des échantillons typiques du nerf médian colorés au H&E provenant de quatre porcs différents. Le TIME et le chemin qu'il a parcouru dans le nerf médian peuvent être identifiés. La cicatrice fibrotique formée autour de l'implant indique le chemin parcouru.

Histologie dans la littérature
- Modèles primates non humains -

3. Badi, M., et al., Micera, S., (2021). Intrafascicular peripheral nerve stimulation produces fine functional hand movements in primates. *Science Translational Medicine*, 13(617)

Modèle : 10 macaques adultes ; 5-16 ans ; ~3,1-8 kg

Méthode :

- Echantillons de nerfs médian et radial prélevés à 3 cm en proximal de l'épicondyle
- Fixation : pas de fixation & intégration paraffine
- Coupes : 4µm + stockage à +4°C
- Coloration : Hématoxyline + éosine (HE)
- Immunohistochimie :
 - Anticorps (AC) anti-ChAT → distribution des fibres motrices
 - AC anti-tubuline β -III → marquage spécifique des axones
 - AC anti macrophages/monocytes + DAPI (marqueur ADN) → marquage de réponse immunitaire/cicatricielle

Objectif : modélisation 3D de la structure du nerf, reconnaissance de la répartition des fibres efférentes, évaluation de la sélectivité de stimulation, impact de l'électrode (TIME) sur le tissu nerveux.

3. Badi, M., et al., Micera, S., (2021). Intrafascicular peripheral nerve stimulation produces fine functional hand movements in primates. *Science Translational Medicine*, 13(617)

- Hématoxyline + éosine (HE) → morphométrie
- Anticorps (AC) anti-ChAT → distribution des fibres motrices

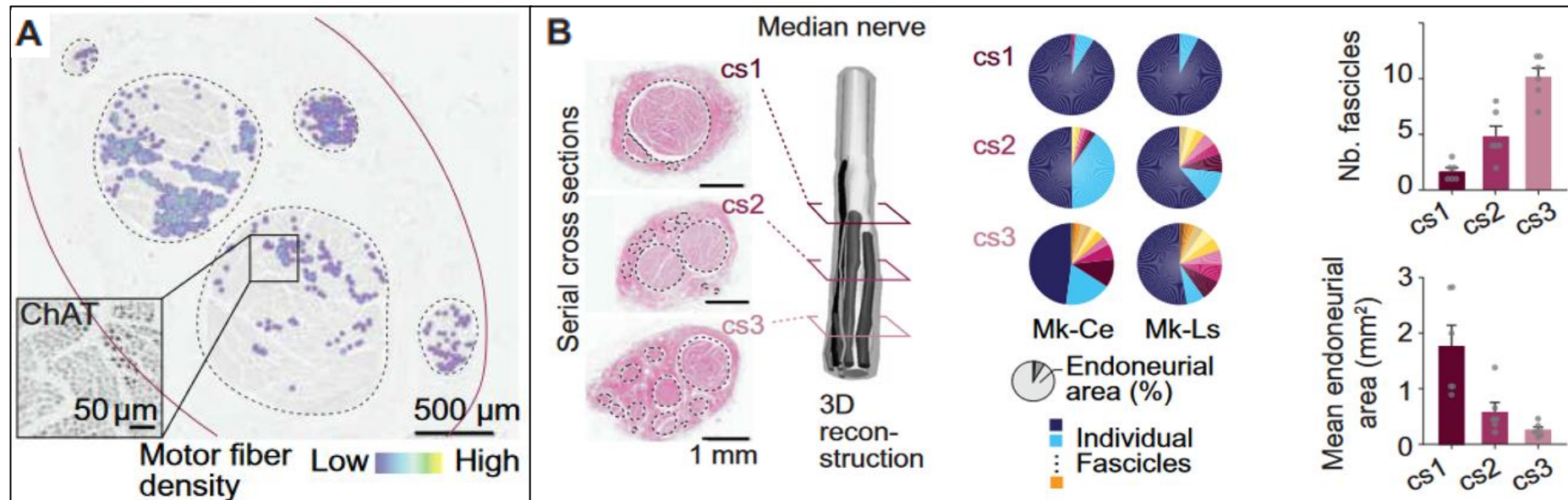


Fig. 1. Organisation neuroanatomique des nerfs médian et radial chez le singe.

(A) Exemple de distribution des axones moteurs dans le nerf médian. La carte de couleur superposée représente la densité des fibres motrices sur la section transversale. Encadré : Partie zoomée du fascicule avec des fibres motrices marquées par le ChAT (noir, pas de superposition). Barres d'erreur, SEM. a.u., unités arbitraires.

(B) À gauche : contenu fasciculaire du nerf dans des coupes transversales sérielles colorées à l'hématoxyline et à l'éosine aux niveaux cs1, cs2 et cs3 (3, 2 et 1 cm à proximité de l'épicondyle) le long du nerf et reconstruction 3D résultante de l'organisation fasciculaire à proximité du coude (un animal représentatif). Au milieu : Nombre de fascicules et leur section transversale respective à chaque niveau (deux animaux représentatifs ; des couleurs différentes représentent des fascicules différents). À droite : Quantification du nombre de fascicules et de la surface endoneurale moyenne par fascicule à chaque niveau (n = 6 animaux).

3. Badi, M., et al., Micera, S., (2021). Intrafascicular peripheral nerve stimulation produces fine functional hand movements in primates. *Science Translational Medicine*, 13(617)

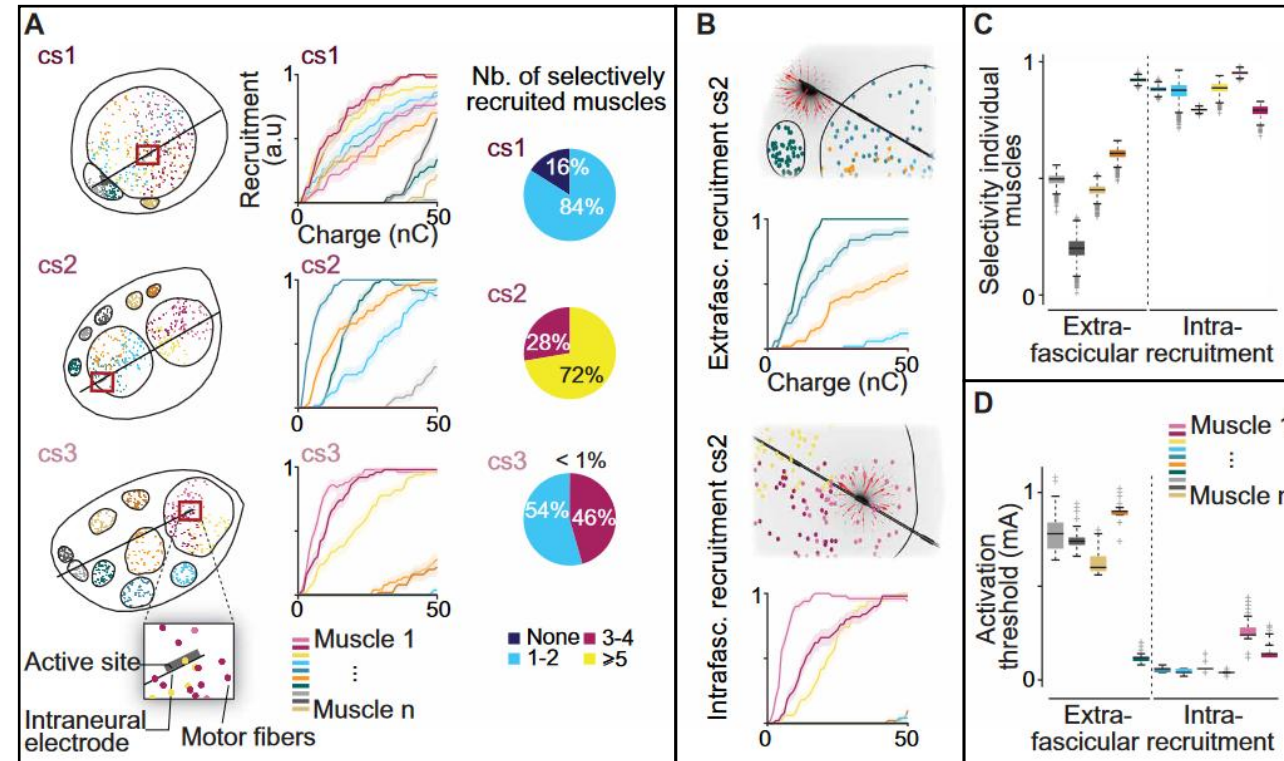


Fig. 2. Modèle informatique de la stimulation intra neurale dans le nerf médian du singe et conception des électrodes.

(A) À gauche : Distributions des fibres motrices modélisées par calcul aux niveaux cs1, cs2 et cs3 du nerf médian. Les différentes populations de fibres supposées innervent différents muscles sont codées en couleur. Au milieu : Recrutement simulé des fibres motrices pour chaque niveau d'implantation. À droite : Quantification du nombre de muscles sélectivement recrutés ($SI \geq 0,85$) sur l'ensemble des données de fibres simulées.

(B) Courants électriques et recrutement des fibres motrices générés par la stimulation extra fasciculaire et intra fasciculaire simulée au niveau cs2.

(C) SI maximal des muscles individuels pour le recrutement extra fasciculaire et intra fasciculaire simulé des fibres motrices au niveau cs2.

(D) Seuil d'activation (10% de recrutement) pour le recrutement extra- et intra fasciculaire simulé.

3. Badi, M., et al., Micera, S., (2021). Intrafascicular peripheral nerve stimulation produces fine functional hand movements in primates. *Science Translational Medicine*, 13(617)

- AC anti-tubuline β -III → marquage spécifique des axones
- AC anti macrophages/monocytes + DAPI (marqueur ADN) → marquage de réponse immunitaire/cicatricielle

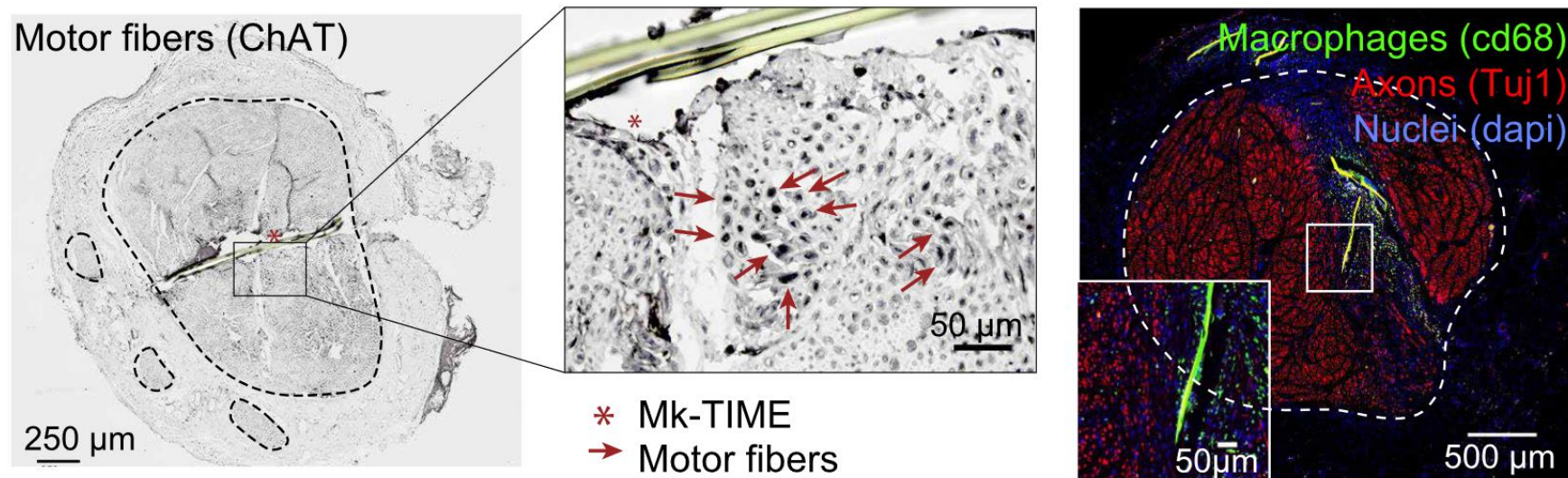


Fig. 4. Propriétés des électrodes intrafasciculaires implantées de manière chronique.

À gauche et au milieu : Coupe transversale d'un nerf médian implanté en phase aiguë et marqué au ChAT montrant la proximité de l'électrode Mk-TIME (astérisque) et des axones moteurs (flèches) au sein d'un fascicule (Mk-Th, en phase aiguë).

À droite : réponse immunologique après 42 jours d'implantation de Mk-TIME dans le nerf médian (Mk-Mec).

Histologie dans la littérature - Modèle rongeur -

4. Ghnenis, A. B., et al., (2018). Toluidine Blue Staining of Resin-Embedded Sections for Evaluation of Peripheral Nerve Morphology. *Journal of Visualized Experiments*, 137, 58031.

Modèle : Rat

Méthode :

- Nerf sciatique
- Fixation : Trump's fixative à 4°C pendant une semaine + post fixation au tétroxyde d'osmium à 2% + intégration en résine époxy
- Coupes : 1-2 µm à l'ultramicrotome
- Coloration : Bleu de toluidine
- Objectif : Homogénéisation d'un protocole pour l'analyse de la morphométrie du nerf périphérique à des fins d'évaluation des fonctions, des lésions et de la régénération du nerf périphérique.

« La fixation in vivo des nerfs est utilisée pour préserver le tissu et réduire la dégradation structurelle qui peut se produire entre le moment de la mort et le prélèvement des nerfs. La fixation in vivo des tissus est une pratique courante pour la préparation des tissus du système nerveux en vue de l'histologie, où la perfusion est souvent un précurseur. L'emplacement et la taille des nerfs périphériques ont permis une fixation in situ. Nous ne recommandons pas le prélèvement et la fixation de tissus après l'euthanasie en raison du risque de dégradation des tissus. » I. p2

4. Ghnenis, A. B., et al., (2018). Toluidine Blue Staining of Resin-Embedded Sections for Evaluation of Peripheral Nerve Morphology. *Journal of Visualized Experiments*, 137, 58031.

Bleu de toluidine :

- Noircit les couches de myéline
- Colore en nuances de bleu les cytoplasme et noyau des cellules de Schwann
- Ne colore pas les axones → donc seules les fibres myélinisées seront mises en exergue
- Étude morphométrique comme la coloration HE, mais favorise l'identification des fibres myélinisées en fixation résine

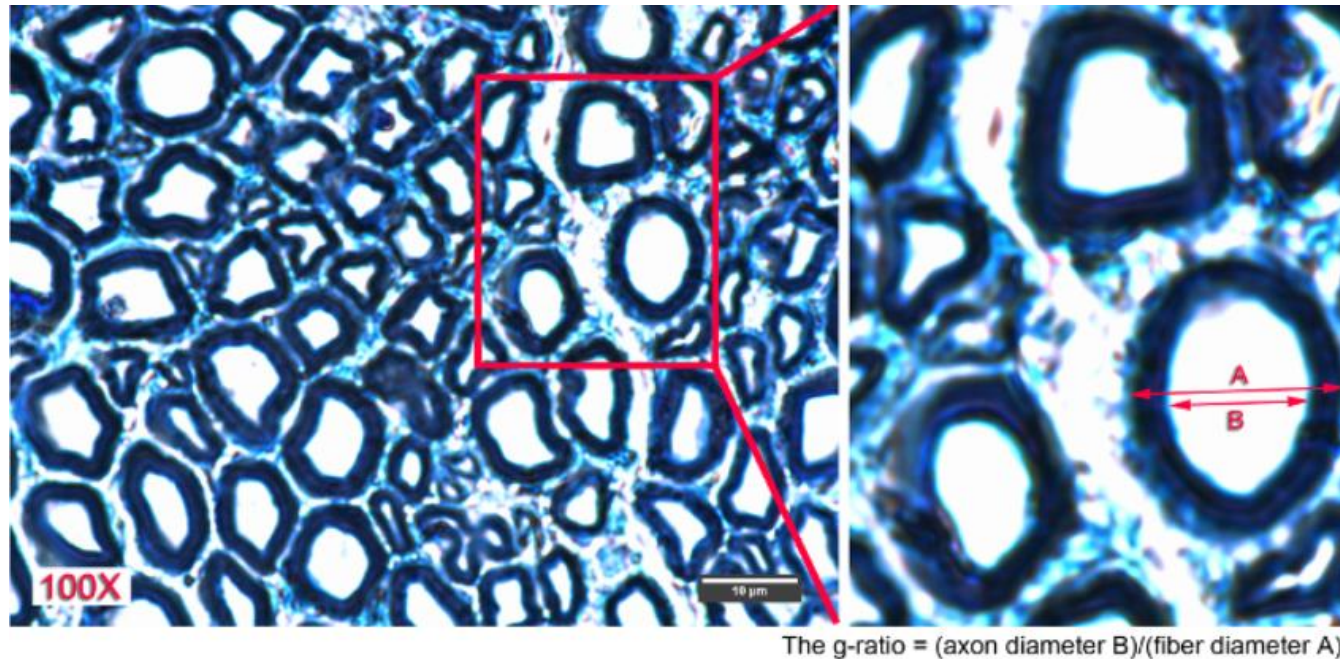
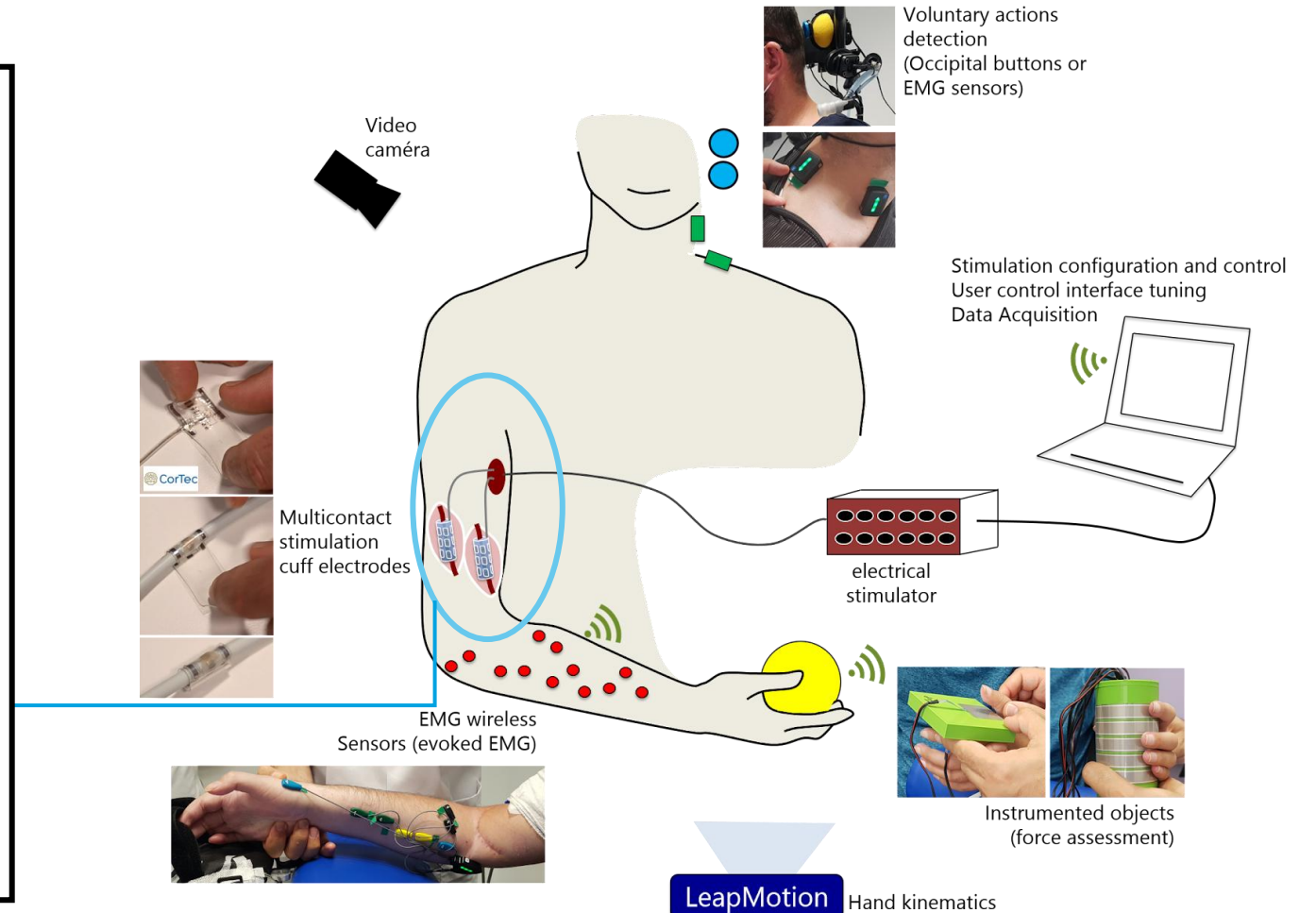
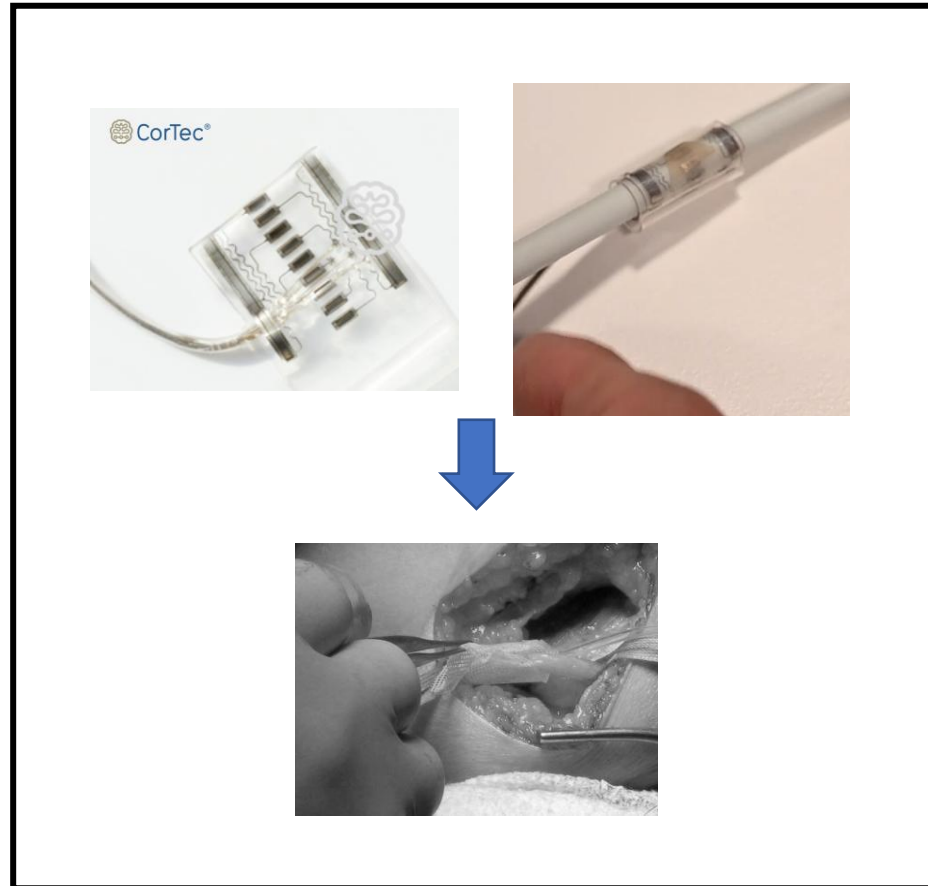


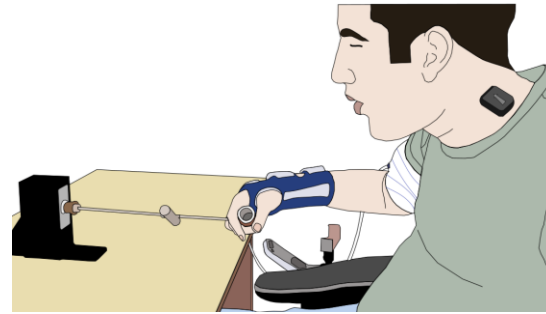
Fig. 4. Coupe transversale d'un nerf sciatique de rat colorée au bleu de toluidine. Cette image à haute résolution (100X) peut être utilisée pour mesurer le rapport entre le diamètre de l'axone et le diamètre total de la fibre (le rapport g).

Réponse technologique



Agilis 2020-2022

Projet Agilis – Phase 2 : Résultats (2023)



Résultats cliniques

- La stimulation épineurale permet bien le contrôle des muscles de la main et du poignet
- Les mouvements sont fonctionnels, même s'ils sont à raffiner

Conclusions et Développements

- A) Poursuivre le développement technologique pour la première implantation thérapeutique
- B) Améliorer la facilité du réglage et sa précision

Projet européen AI-Hand

