

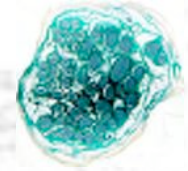


Université de Strasbourg

Anatomie des nerfs périphériques  
Physiologie et régénération nerveuse  
Principes de réparation des nerfs périphériques

# Anatomie des nerfs périphériques

# Anatomie microscopique



Nerf périphérique

=

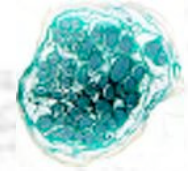
structures neuroépithéliales conductrices  
(fascicule nerveux, l'unité de base)

+

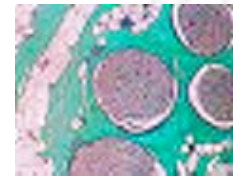
système conjonctif protecteur



# Structures neuroépithéliales



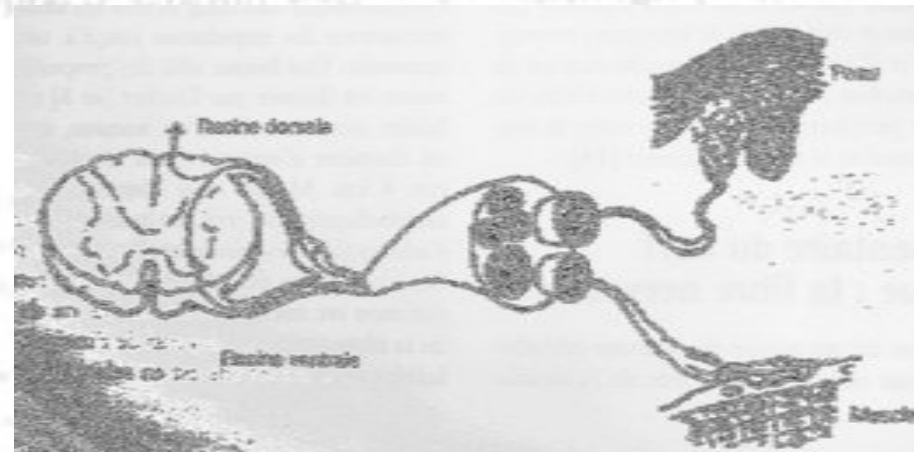
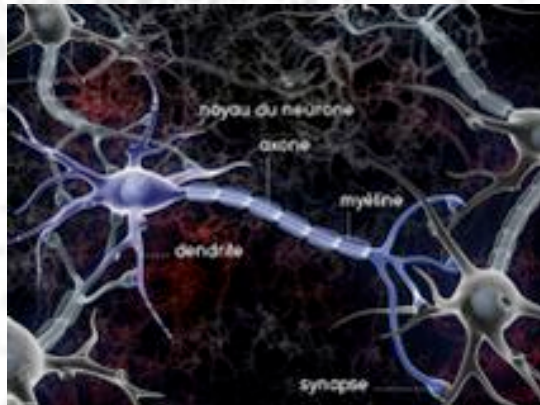
- **Fascicule** : unité chirurgicale identifiable sous microscope  
= ensemble de fibres nerveuses



- **Fibre nerveuse** : unité élémentaire du nerf périphérique  
= axone de neurone périphérique entouré d'une cellule satellite dite de Schwann



**Neurone = axone + corps cellulaire + dendrites récepteurs de stimuli, spécialisé (moteur, sensitif ou végétatif)**

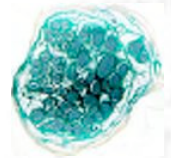


**Neurone moteur : corne antérieure de la ME, conduit l'influx nerveux jusqu'à la jonction neuromusculaire**

**Neurone sensitif : ganglion spinal de la racine dorsale, ramène des informations depuis des récepteurs périphériques cutanés, articulaires et musculaires**

**Neurone végétatif : corne antérieure de la ME, gère la pilomotricité, la vasomotricité et les sécrétion sudorales**

# La fibre nerveuse



constituée par l'axone, la cellule de Schwann avec ou sans gaine de myéline et la membrane basale

☞ fibre amyélinique ou fibre myélinisée (gaine de myéline = enroulement multilamellaire de membranes plasmiques de cellules de Schwann, 30 à 50 couches autour d'un axone)

☞ le nœud de Ranvier sépare 2 segments myélinisés

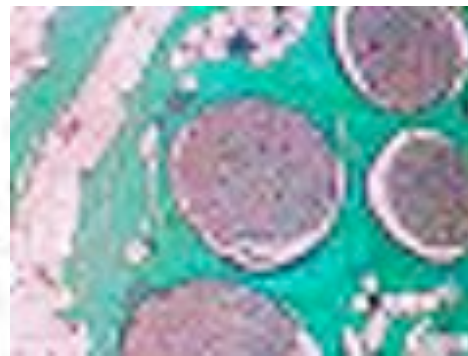
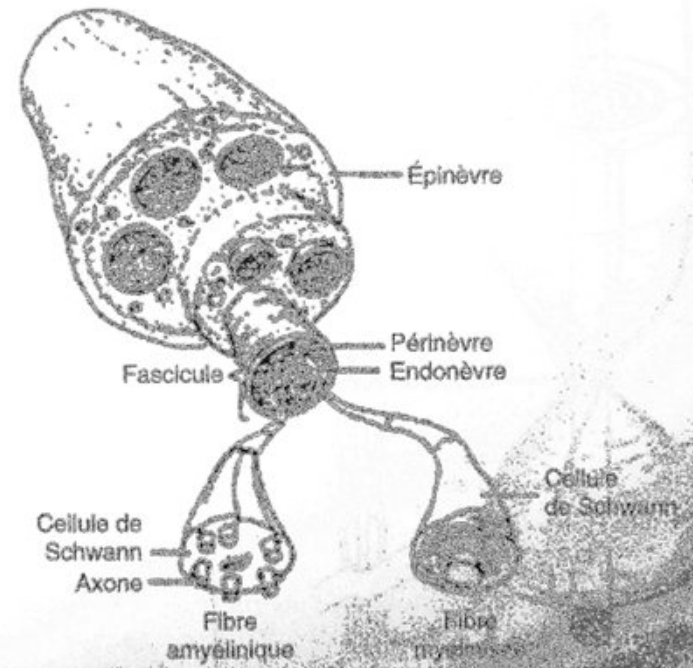
☞ la gaine de myéline protège l'axone responsable de la transmission de l'influx nerveux



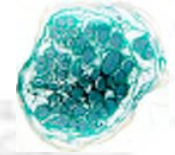
# Le fascicule

Identifiable sous microscope

- ☞ amas de fibres nerveuses amyéliniques et myélinisées entourées d'endonèvre
- ☞ limité par le périnerve
- ☞ regroupés et entourés par l'épinèvre



# Le tissu conjonctif



Pourcentage variable de 22 à 88% (Sunderland)

Répartition proportionnelle aux fascicules

(nerf médian 37% de tissu neural et 63% de tissu conjonctif)

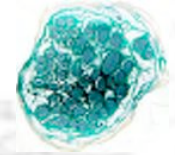
Epinèvre : situé à la périphérie du nerf et entre les groupes de fascicules, soutient les principaux vaisseaux

Périnèvre : entoure et définit le fascicule qu'il protège, double rôle très important : barrière de diffusion entre le milieu endoneural et le tissu conjonctif (prévention infection) et maintient une pression intrafasciculaire (bonne cohésion du fascicule)

Endonèvre : délicat, entoure les axones et les cellules de Schwann (comprend des fibres de collagène, des fibroblastes et des vaisseaux)



# Nombres de fascicules



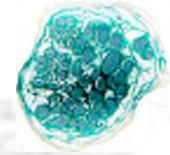
Variable selon le nerf et sa localisation

Nerf radial : au bras 26 à 13, à l'avant-bras 2 à 6 par branche

Nerf médian : bras 7-7-8, avant-bras 10, canal carpien 20

Nerf ulnaire : bras 9-12-4, loge de Guyon 15

# Organisation fasciculaire



Travaux de Sunderland :

constitution plexiforme du nerf

modification axonale entre les différents fascicules ou groupes fasciculaires

(15 mm = disposition fasciculaire identique)

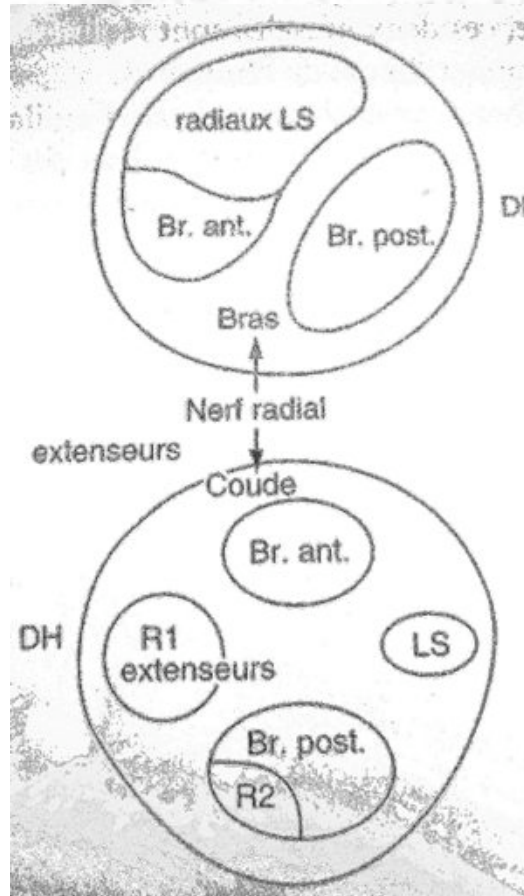
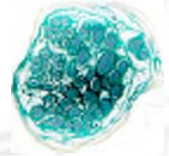
Travaux de Jalabey :

fasciculation sélective distale

☞ concordance fasciculaire indispensable à ce niveau lors de la réparation

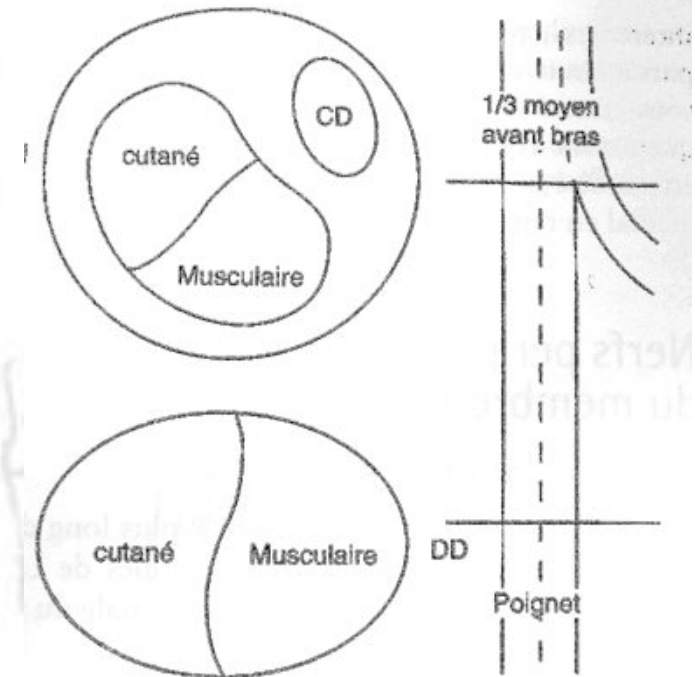
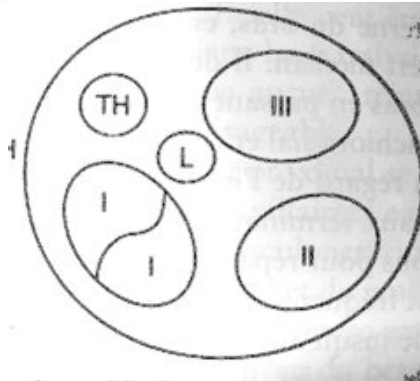


# Cartographie des nerfs périphériques



nerf radial au bras  
fibres sensibles en  
général en avant des  
fibres motrices

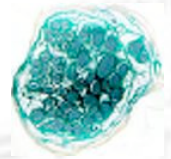
nerf médian au poignet  
rameau thénarien en position  
antéroexterne par rapport  
aux fibres sensibles



Nerf ulnaire au poignet  
en aval de l'émergence de la  
branche cutanée dorsale,  
groupe fasciculaire moteur  
médial et un groupe  
fasciculaire sensitif latéral



# Vascularisation du nerf



Double système longitudinal  
communiquant entre eux

**Système extrinsèque,**

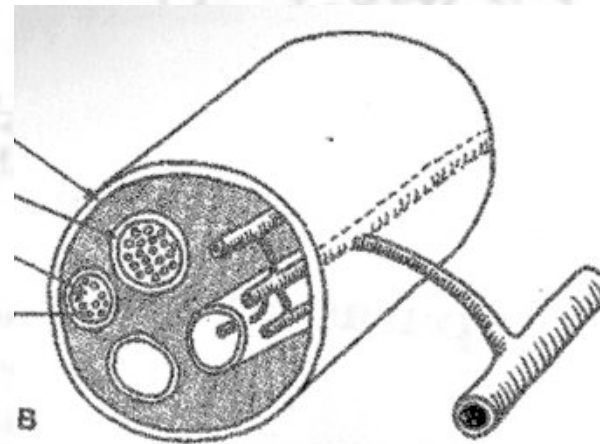
périfasciculaire, artériel,  
relié aux artères extérieures  
par des branches nourricières  
situées dans le mésonevre



**Système intrinsèque**

intrafasciculaire, capillaire,  
anastomoses importantes

Très sensibles à la compression et à  
l'étirement.



# Physiologie et régénération nerveuse

# Régénération nerveuse

## Introduction :

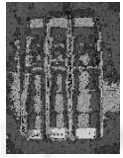
- 1<sup>ère</sup> observation de cicatrisation nerveuse (Guy de Chauliac 1300-1370)
- régénération nerveuse 18<sup>ème</sup>
- développement de la chirurgie nerveuse au cours des deux dernières guerres mondiales

**Tinel** : sémiologie de la repousse nerveuse

**Seddon** : identification des différents types de lésions nerveuses

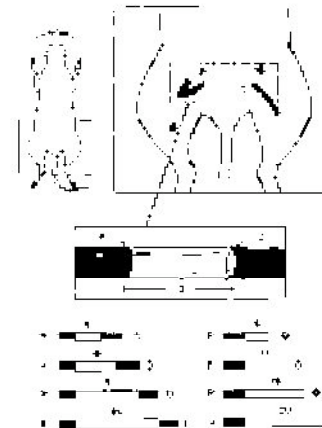
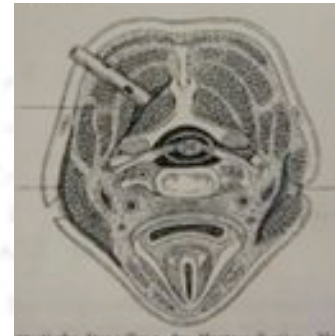
**Sunderland** : architecture fasciculaire





# HISTORIQUE

- 1879 Neuber
- 1881 Gluck
- 1882 Vainlair
- 1980 Lundborg



# Physiologie : transport axonal

Axone = voie de transport

## Transport antérograde

- lent : 1 à 2mm/j, par voie axoplasmique = vitesse de repousse de l'axone, transport des substances nécessaires à l'entretien de l'axone
- rapide : 200 à 400mm/j, par le retinaculum endoplasmique, véhicule les enzymes nécessaires à la neurotransmission et certaines protéines de paroi

## Transport rétrograde :

150 à 300 mm/j, véhicule les produits du métabolisme de la neurotransmission et les facteurs neurotrophiques

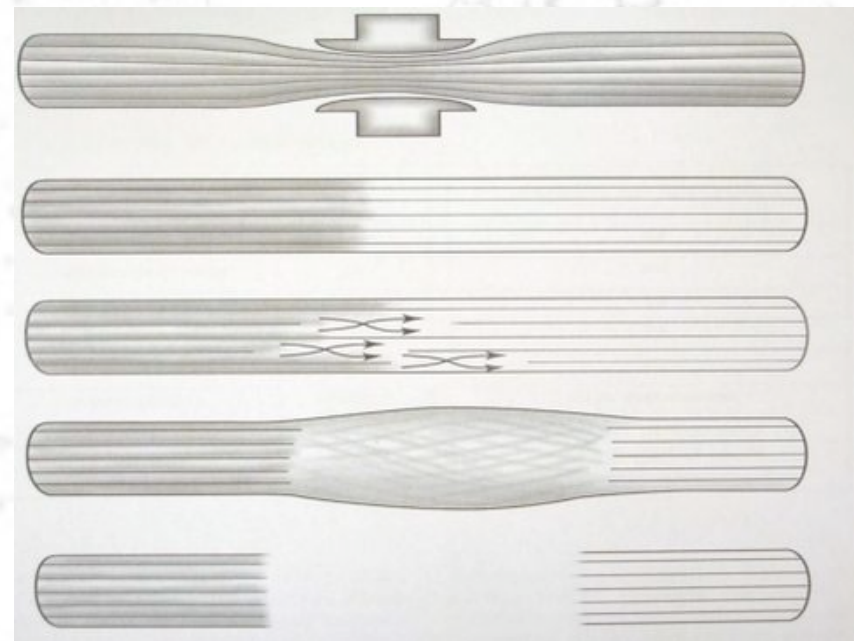
# Lésions nerveuses : classifications

Seddon (3 types) Sunderland (5 degrés)

**Neurapraxie** : bloc de conduction sans lésion anatomique lésion de démyélinisation segmentaire (1<sup>er</sup> type = 1<sup>er</sup> degré)

**Axonotmésis** : interruption de la continuité des axones mais à l'intérieur de structures histologiques qui restent intactes (2<sup>ème</sup> type)  
soit les tubes endoneuraux (2<sup>ème</sup> degré)  
soit le périnerve (3<sup>ème</sup> degré)  
soit l'épinièvre (4<sup>ème</sup> degré)

**Neurotmésis** : interruption de tous les éléments constitutifs du nerf (3<sup>ème</sup> type = 5<sup>ème</sup> degré)





Sunderland	Axone	Endonèvre	Périnerve	Epinèvre	Seddon	Correspondance clinique
Degré 1					Neurapraxie	Récupération spontanée rapide à la levée de la compression
Degré 2					Axonotmésis	Récupération spontanée par repousse axonale
Degré 3						Récupération spontanée possible mais partielle
Degré 4						Aucune récupération spontanée Réparation nerveuse
Degré 5					Neurotmésis	Aucune récupération spontanée Réparation nerveuse

# Lésions nerveuses : étiologies

Schématiquement 3 mécanismes lésionnels :

- Section
- Traction
- Compression :

anomalies de la microcirculation intraneurale  
anomalies des fibres nerveuses  
troubles des transports axonaux  
altérations de la gaine de myéline  
lésions axonales (axonotmésis ou type 2)

# Lésion nerveuse : conséquences



L'axone ne peut survivre et jouer son rôle de transmission de l'influx nerveux s'il est séparé de son centre trophique

- ☞ dégénérescence du segment distal
- ☞ survie segment proximal

# Extrémité distale



## Dégénérescence walérienne

- ➡ visible au microscope dès la 24<sup>ème</sup> heure
- ➡ **désintégration axonale** en moyenne après la 48<sup>ème</sup> heure  
⇒ disparition de la conduction de l'influx nerveux
- ➡ disparition plus lente de la gaine de myéline (15 jours)
- ➡ **prolifération des cellules de Schwann** qui participent à la digestion des débris d'axone et de myéline. Ces cellules forment un cordon dite bande de Büngner (4<sup>ème</sup> jour)
- ➡ pas de dégénérescence des différentes gaines nerveuses et des vaisseaux (tissu cicatriciel par prolifération cellulaire)



# Extrémité proximale



☞ portion terminale : dégénérescence axonale ascendante jusqu'au 1<sup>er</sup> nœud de Ranvier voire plus suivant intensité de la lésion

☞ corps cellulaire : **chromatolyse** (2 à 3 semaines)

☞ augmentation du volume cellulaire

☞ migration du noyau vers la périphérie

☞ fragmentation et dispersion des corps de Nissl

(réticulum endoplasmique granulaire)

due au flux rétrograde qui informe le corps cellulaire de la lésion axonique

# Régénération nerveuse



**Restauration neuronale** : arrêt de la chromatolyse et reprise des activités anaboliques du neurone

**Régénération axonale** : apparition des lères pousses axonales (H2 à H6)  $\Rightarrow$  extrémité de l'axone prend un aspect renflé « cône de croissance »  
phase de ramification (J2, 2 semaines)  $\Rightarrow$  faisceau de régénération

# Régénération nerveuse



**Reconnexion avec une cible** : axone progresse dans le guide et rencontre une bande de Büngner

**Myélinisation des segments régénérés** : les cellules de Schwann remyélinisent le bourgeon axonal (7<sup>ème</sup> jour)

Dégénérescence des cônes orphelins

# Régénération nerveuse

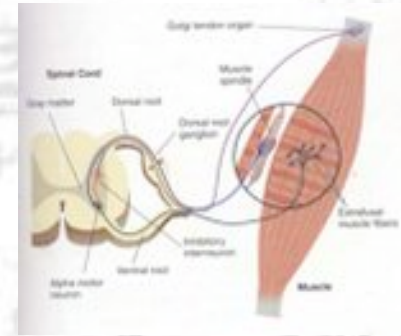
En l'absence de reconnexion à une cible

- ➔ progression au hasard du bourgeon axonal
- ➔ rétraction des tubes schwanniens et formation d'un tissu cicatriciel avec possibilité d'évolution vers un névrome



# Régénération nerveuse

## Effet de la dénervation sur la muscle



- ☞ atrophie musculaire rapide lors des 4 premiers mois post-dénervation sans dégénérescence musculaire
- ☞ apparition des signes de dégénérescence musculaire après la 9<sup>ème</sup> mois post-dénervation
- ☞ existence de phénomènes de régénération musculaire qui permettent d'accroître la plasticité du muscle réinnervé vis-à-vis d'une innervation différente et d'entraîner une hypertrophie compensatrice des fibres musculaires qui ont conservé ou récupéré une innervation

# Régénération nerveuse : pronostic

## Facteurs locaux influençant la récupération fonctionnelle

- nature histologique de la lésion (classification lésionnelle)
- degré de contusion (et la fibrose consécutive)
- niveau lésionnel ( plus la lésion est proximale, plus le trajet à parcourir est long, et plus le risque de mort cellulaire par action rétrograde sur le noyau est grand = dégénérescence axonale)
- type de nerf (sur un nerf mixte l'erreur directionnelle a plus de conséquences que sur un nerf à prédominance motrice)
- lésions associées
- facteurs opératoires

# Régénération nerveuse : pronostic

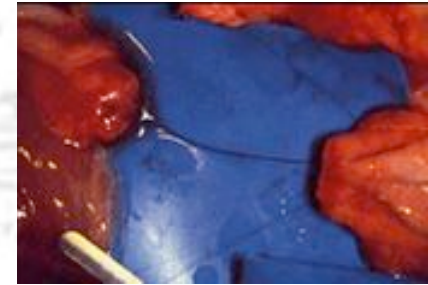
## Facteurs généraux influençant la récupération fonctionnelle

- 👉 âge (« après 20 ans pour les nerfs on est vieux »)
- 👉 délai opératoire et donc délai de réinnervation
- 👉 rééducation postopératoire

# Principes de réparation des nerfs périphériques

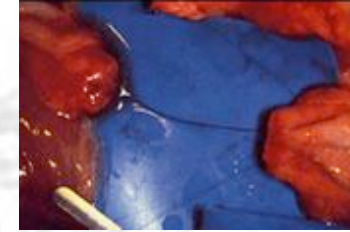


# Objectif



Affronter sans tension ni télécopage les tranches de section nerveuse pour permettre aux faisceaux de régénération nerveuse de franchir sans encombre la zone de réparation et de recoloniser les tubes endoneuraux laissés vides par la dégénérescence walérienne

## *Sur le plan pratique,*



- ☞ la réparation nerveuse doit être faite dès que les conditions locales le permettent
- ☞ la réparation des lésions associées vasculaires joue un rôle certain dans la qualité des résultats
- ☞ plus la réparation est proximale, plus on a intérêt à pratiquer une réparation précoce

# Matériel

## Microscope opératoire

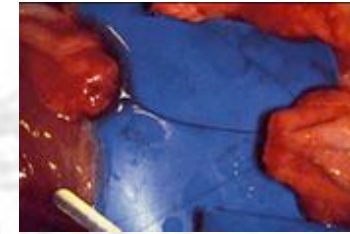
Loupes binoculaires grossissantes



## Instruments de microchirurgie



# Matériel



**Fils de suture** : doivent être fins, résistants à la rupture, de surface lisse (pas d'adhérence des débris tissulaires et des bactéries), sertis d'une aiguille ronde

☞ fil non résorbable monobrin 9/0 ou 10/0 sertis d'une aiguille courbe 3/8





# Matériel

## Colle biologique :

fibrine adhérente mélange de fibrinogène et de thrombine

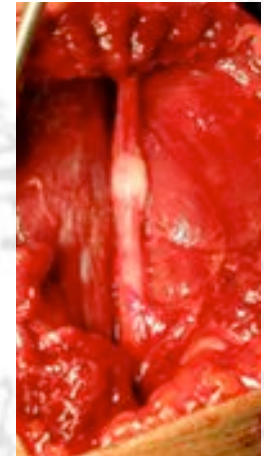
⇒ cylindre étanche, évite les fuites axonales, substrat favorable au transport axonal

2 paramètres importants:

- force tensile : faible, inférieure à la tension physiologique

⇒ suture primitive non réalisable avec de la colle seule

- temps de survie de la colle (dépend du taux d'aprotinine, facteur antifibrinolytique), résorption 2 à 3 semaines



# Méthode : réparation des lésions associées

Réparation artérielle fondamentale

Ordre : os, tendons, nerfs, artères



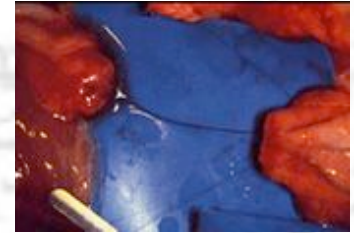
# Méthode : préparation nerveuse

**Parage** : net et harmonieux, économique, extraneural (résection zone de contusion, tissu intraneural qui fait hernie, régulariser l'épinèvre), à l'aide de microciseaux ou coupe-nerf de Victor Meyer

**Lavage** : avec du liquide de Ringer et non du sérum physiologique dont la salinité peut provoquer par des échanges ioniques agressifs une décalcification locale néfaste à la repousse nerveuse



# Méthode : réparation nerveuse



But : affronter les extrémités nerveuses

Objectif : retrouver l'orientation fasciculaire

près des effecteurs bonne connaissance des cartographies  
s'aider des vaisseaux (artère centrale du nerf médian au poignet)

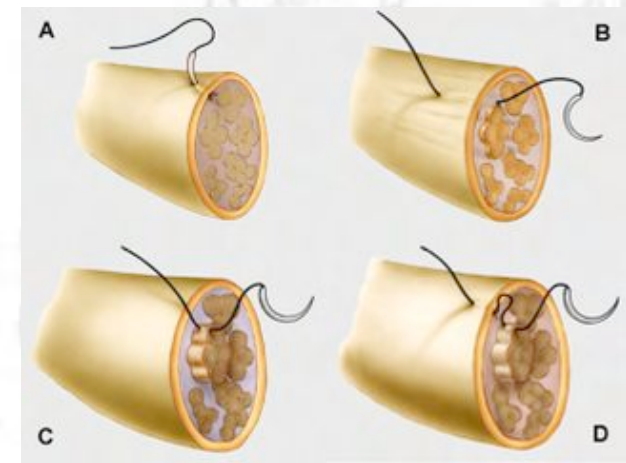
Moyen : réparation directe primaire ou secondaire ou  
réparation indirecte primaire ou secondaire



# Réparation directe primaire

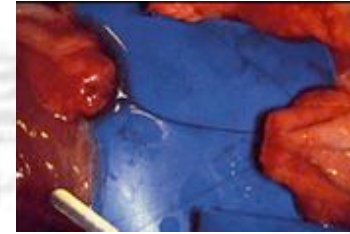
Indication : section nerveuse totale ou partielle, nette et sans perte de substance

Technique : suture épipérineurale  
suture périneurale  
suture fasciculaire  
+/- adjonction de colle



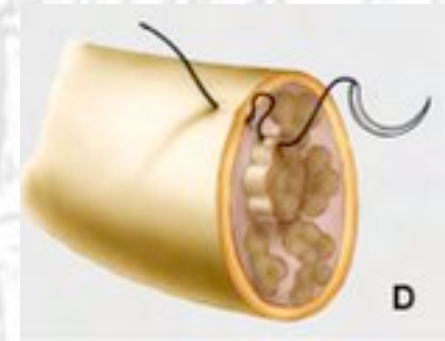
Impératif : suture en tension physiologique (écart entre les 2 extrémités après section)

# Suture épipérineurale



Suture qui prend appui sur les enveloppes conjonctives des groupes fasciculaires les plus périphériques

ex nerf médian au poignet 6 à 10 points  
nerf collatéral 2 à 3 points 10/0



Immobilisation 3 semaines en légère détente articulaire

# Réparation directe secondaire

Indication : lésions contuses

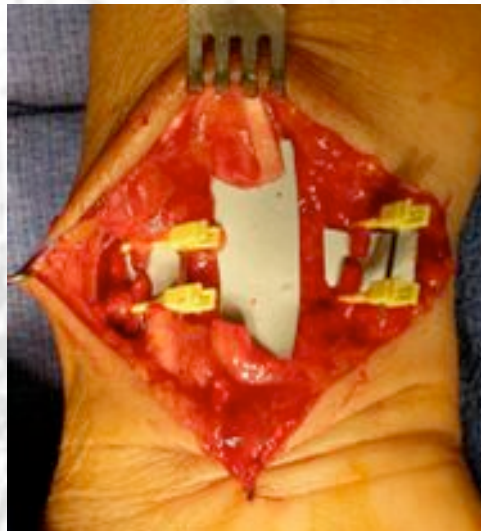
- ☞ dans l'urgence, repérer et rapprocher les 2 extrémités (4 à 5 points de fil 8/0)
- ☞ après un délai de 6 à 8 semaines, suture secondaire sans tension, possible si après résection du névrome et excision des zones de fibrose la perte de substance nerveuse est courte (0,5 à 1cm)

# Réparations indirectes

## Greffes nerveuses

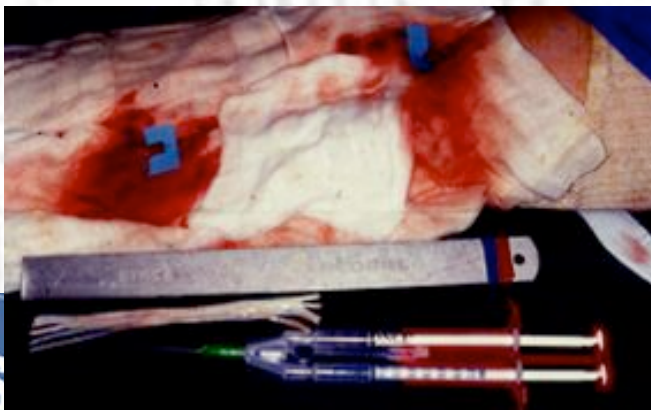
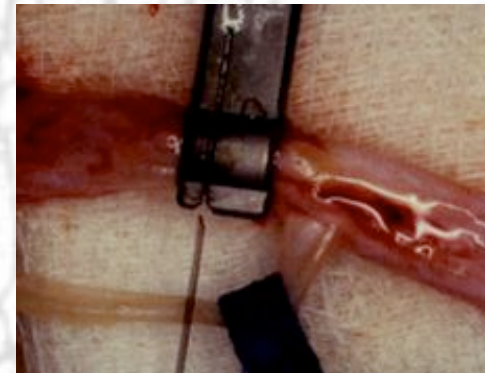
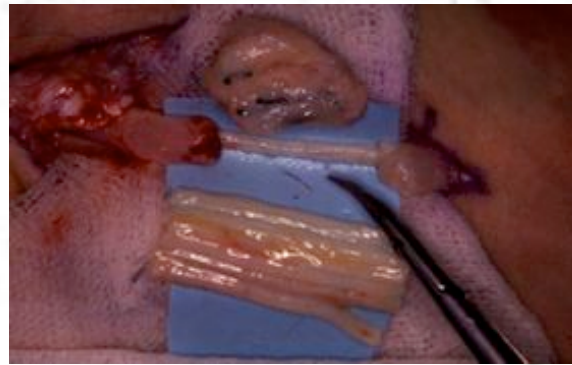
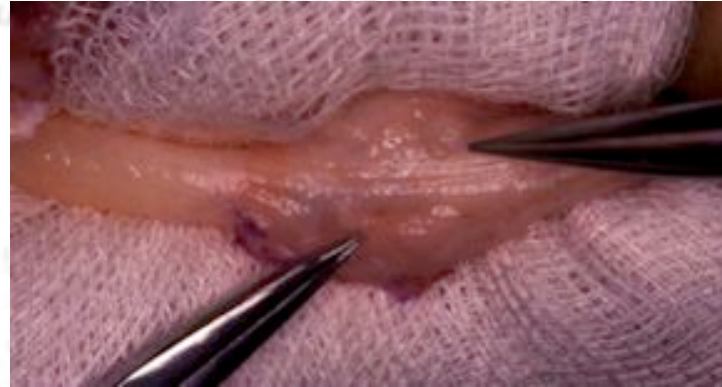
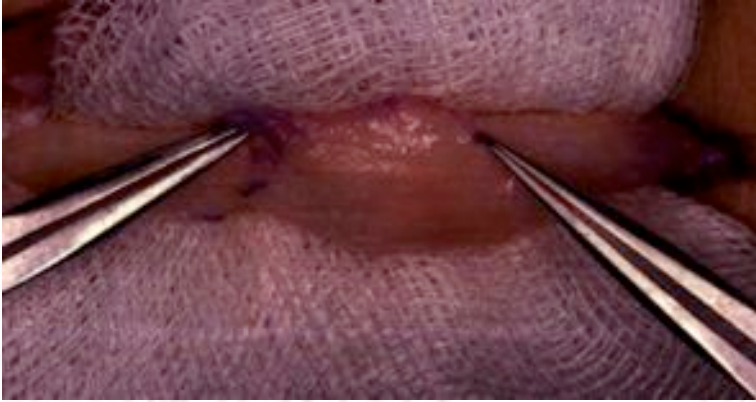
Neurotisation (ex neurotisation par la branche cutanée dorsale du nerf collatéral à son extrémité)

Grefe veineuse ou **neurotube** (ex Neurolac)



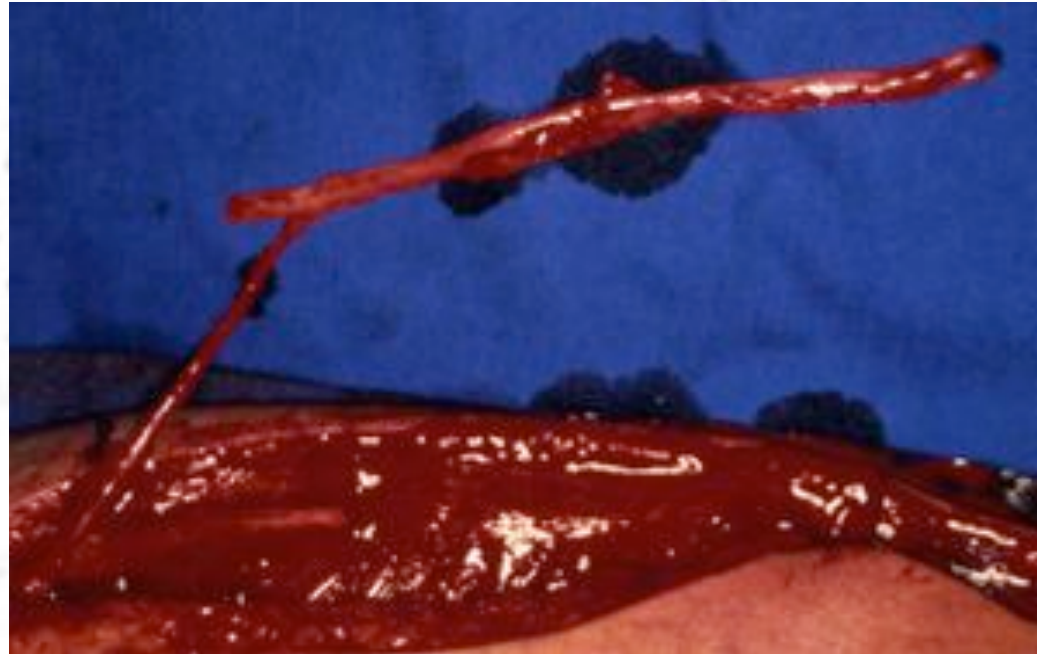
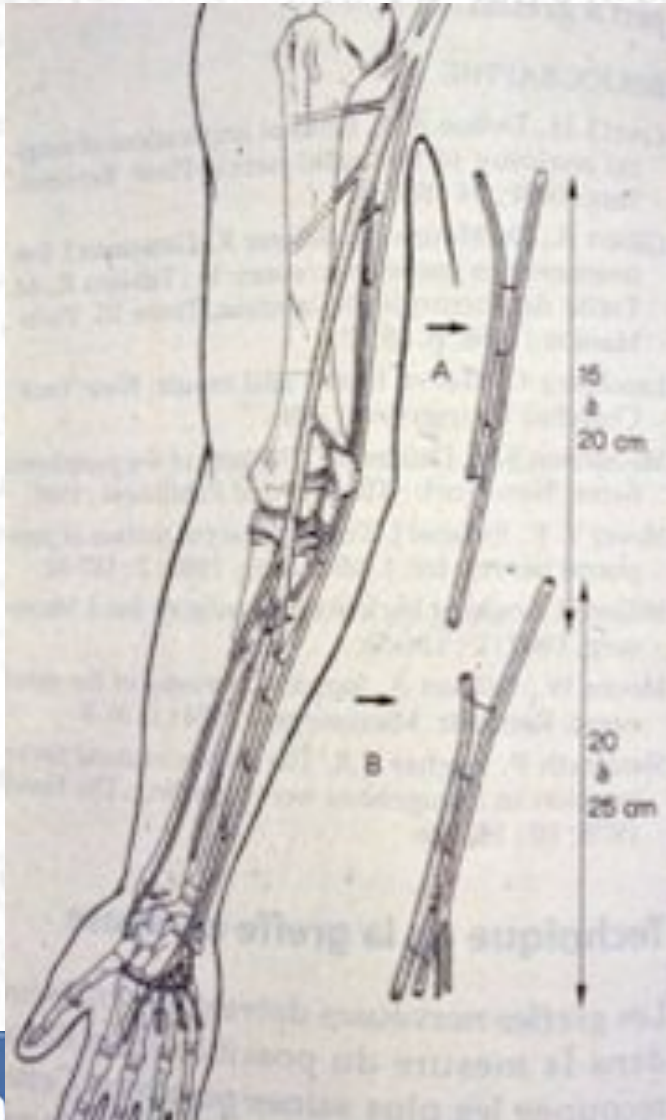


# Technique de greffe



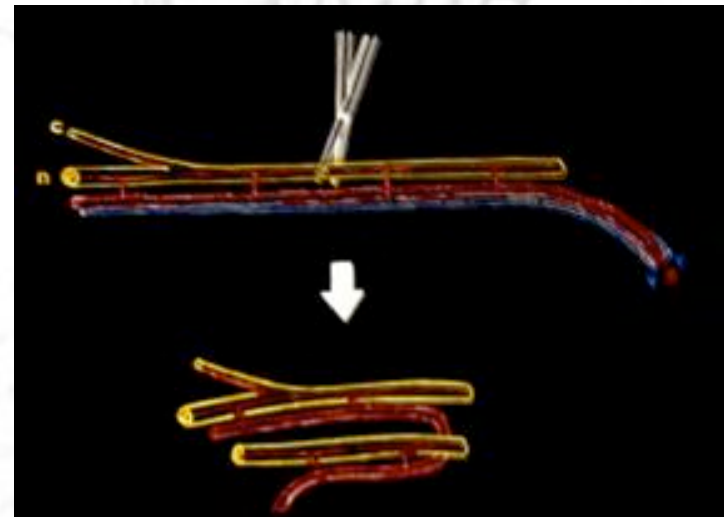
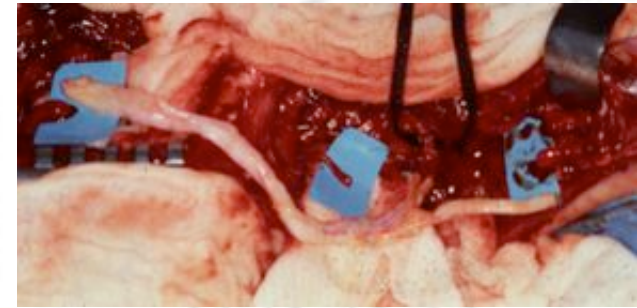
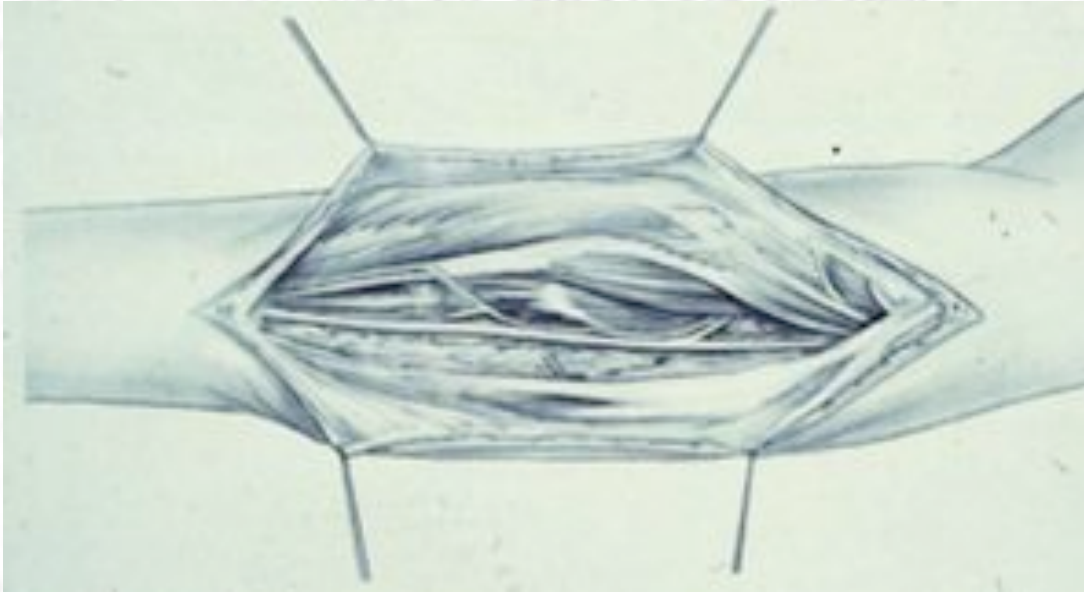
Assemblage par colle des torons

# Nerf ulnaire pédiculé





# Nerf ulnaire libre



# Cours de pathologie chirurgicale du membre supérieur et de la main

Sous l'égide du Collège Français des Chirurgiens Orthopédistes et Traumatologues  
et du Collège Français des Enseignants en Chirurgie de la Main

Présidents d'Honneur : J.Y. ALNOT

Organisation : C. FONTAINE, P. LIVERNEAUX et E. MASMEJEAN

avec la participation de B. AUGEREAU



Hôpital Européen Georges Pompidou - Paris

Jeudi 8 et Vendredi 9 janvier 2009

- Prothèses articulaires du membre supérieur
- Lésion traumatique des tendons fléchisseurs des doigts
- Brûlures du membre supérieur

Principaux invités :

E. Augereau (Paris), P. Belleras (Paris), P. Bellieu (Paris), C. Chamblat-Lafit, M. Charnay (Montpellier), P. Clavel (Strasbourg),  
D. Clavert (Genève), M. Collet (Saint-Brieuc), G. Dache (Paris), T. Dubert (Paris), D. Ferras (Paris), J.C. Garabatos (Strasbourg),  
G. Harberg (Lyon), B. Haber (Paris), P. Kaptein (Lille), B. Lallemand (Luxembourg), R. Lapid-Morabbi, A. Lohat-Jacob (Strasbourg),  
C. Malroux (Paris), H. Le Nézet (Paris), P. Merlet (Toulouse), L. Oudet (Strasbourg), B. Simon (Lyon), C. Solvère (Paris),  
H. Thomazeau (Paris), D. Torres (Paris), G. Walsh (Lyon), G. Wavalle (Lille).