

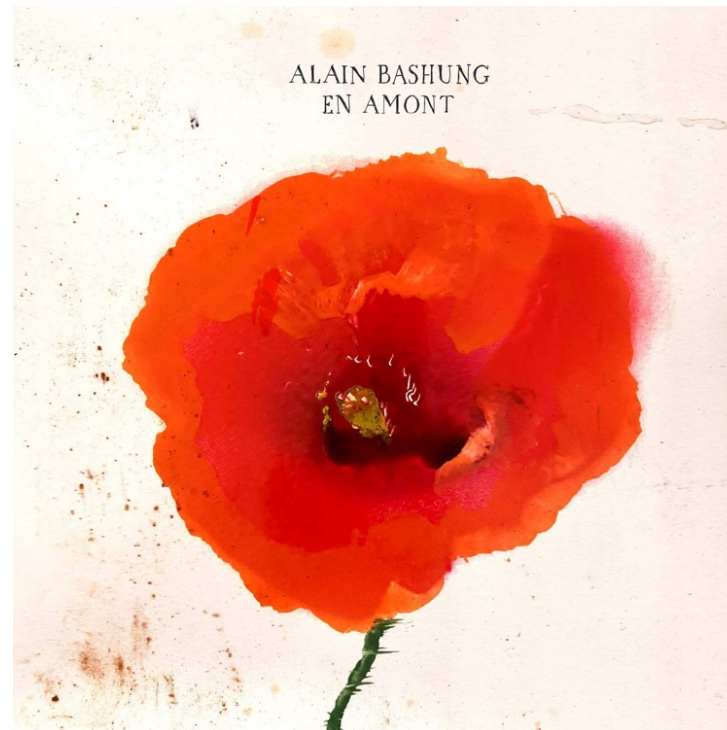
DIU NEUROPHYSIOLOGIE CLINIQUE TRONC COMMUN

Étude de la conduction proximale
Ondes F, Réflexes H et T

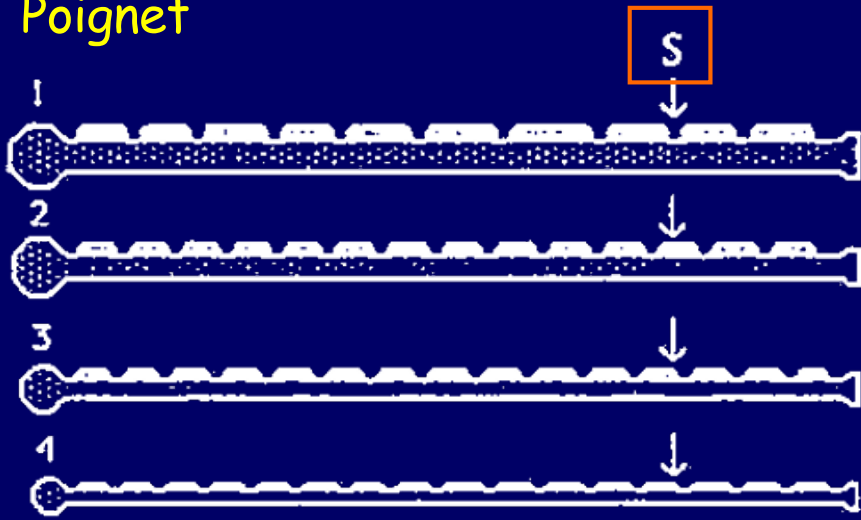
François Wang
(Emmanuel Fournier)

Département de Neurophysiologie clinique
CHU, Liège

RAPPEL : importance et limitations,
DE LA STIMULATION EN AMONT,
lors de l'étude de la conduction nerveuse
motrice



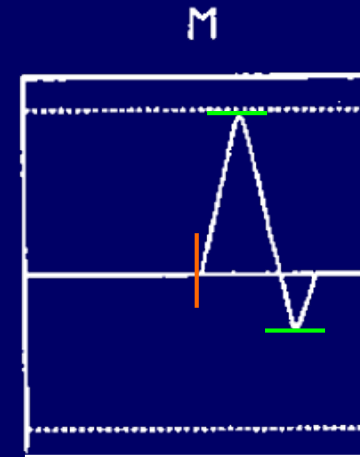
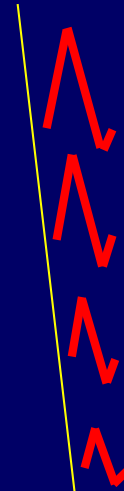
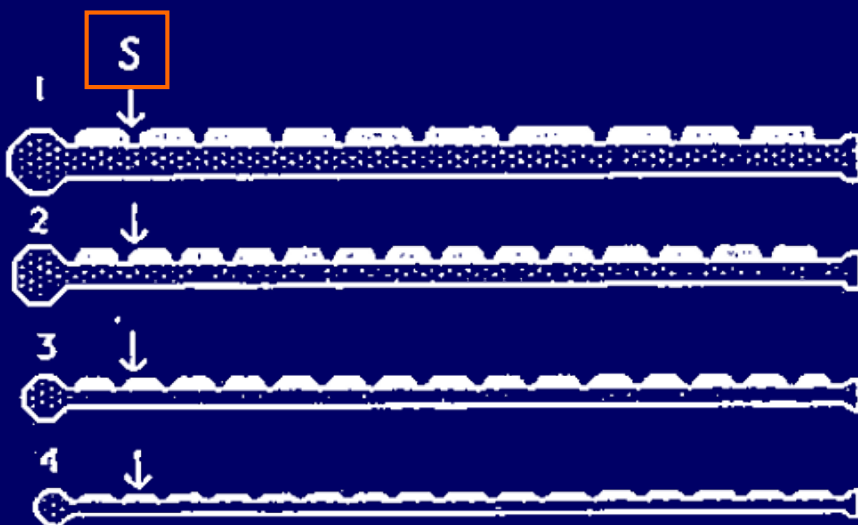
Poignet



LDM

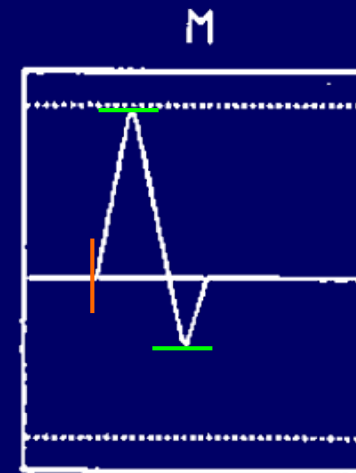
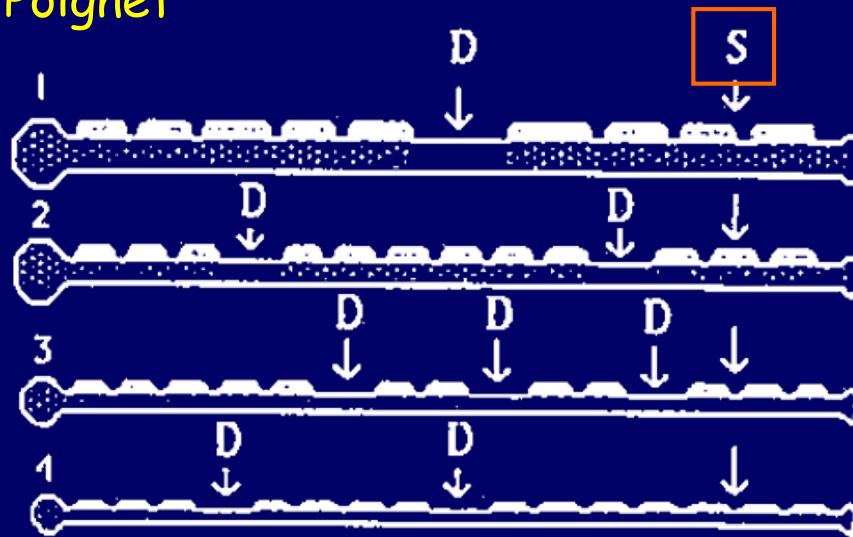
$$VCM = \frac{\text{distance coude-poignet}}{(LPM-LDM)}$$

Coude



LPM

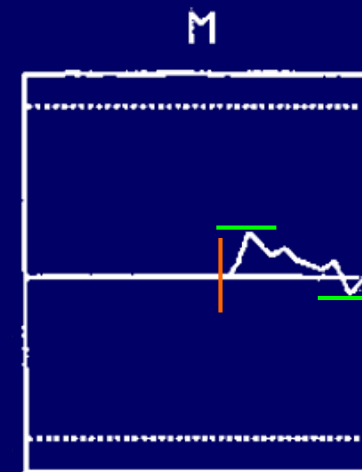
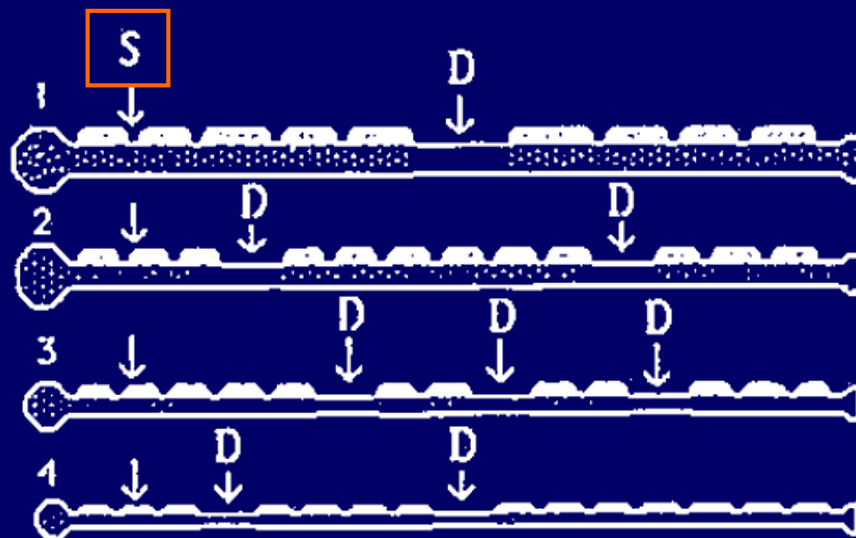
Poignet



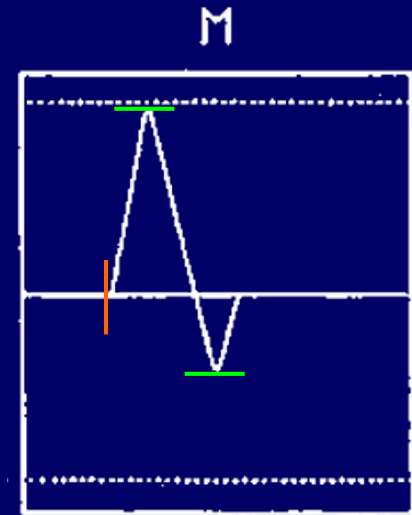
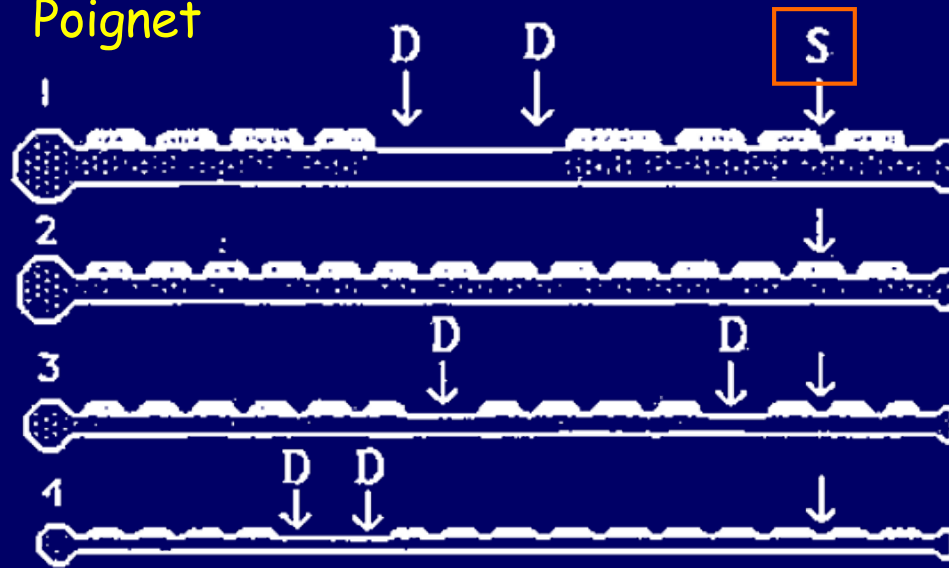
Démyélinisation segmentaire:

ralentissement des VC
dispersion temporelle

Coude



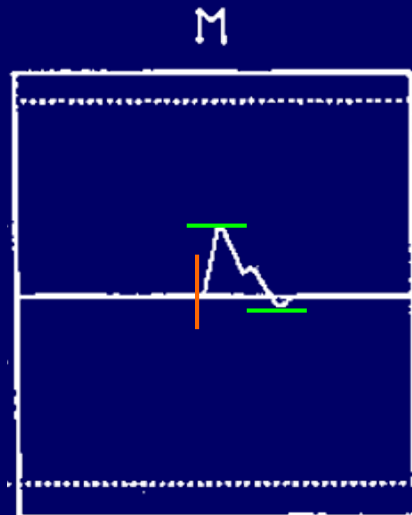
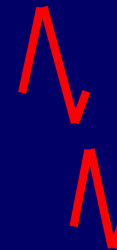
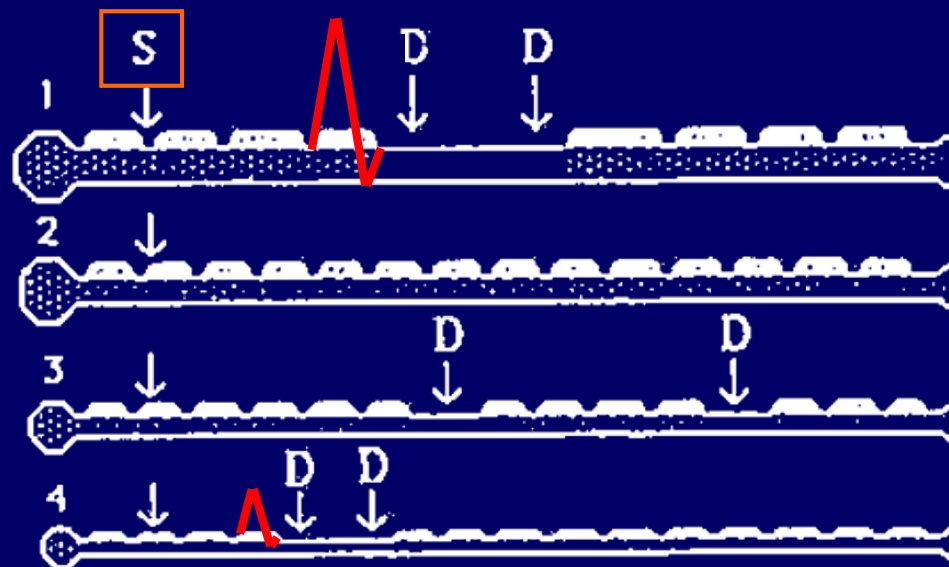
Poignet



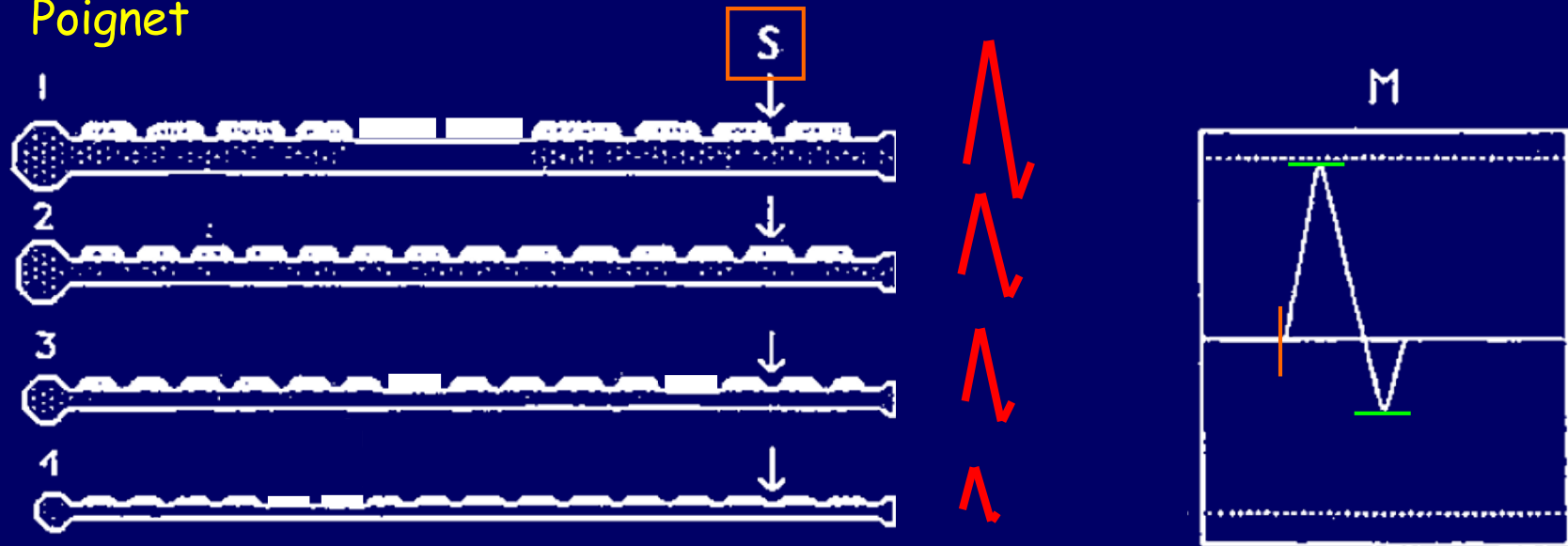
Démýélinisation segmentaire:

B.C.

Coude

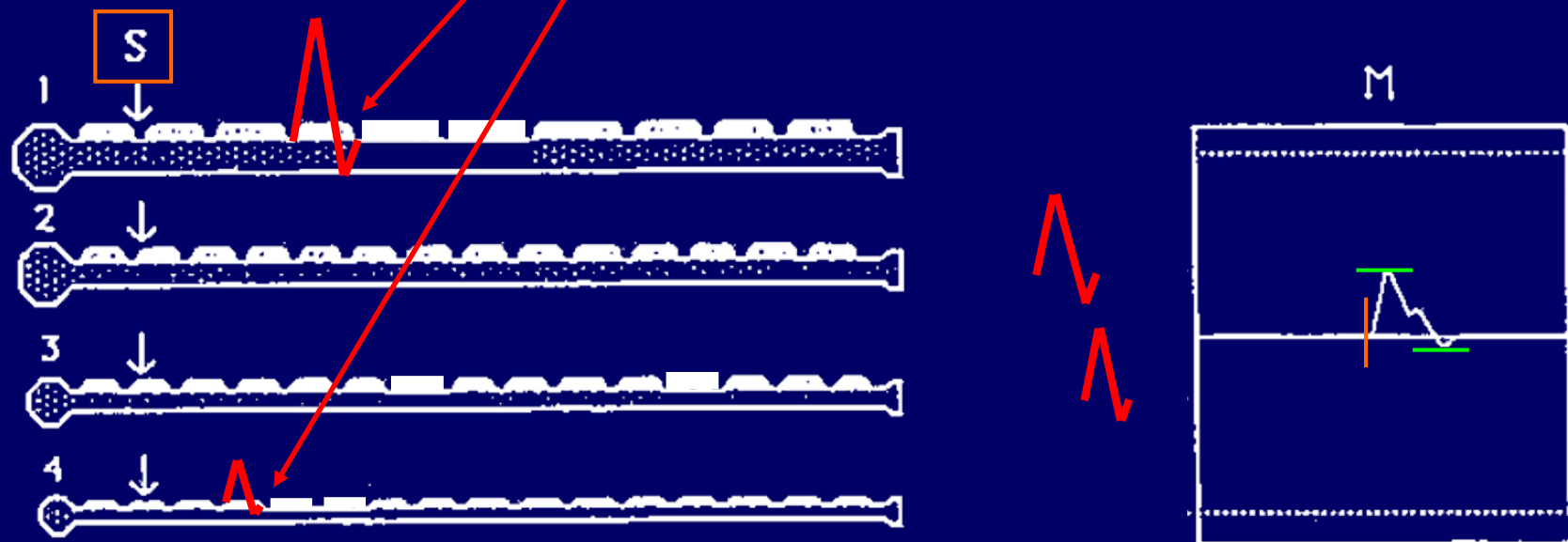


Poignet

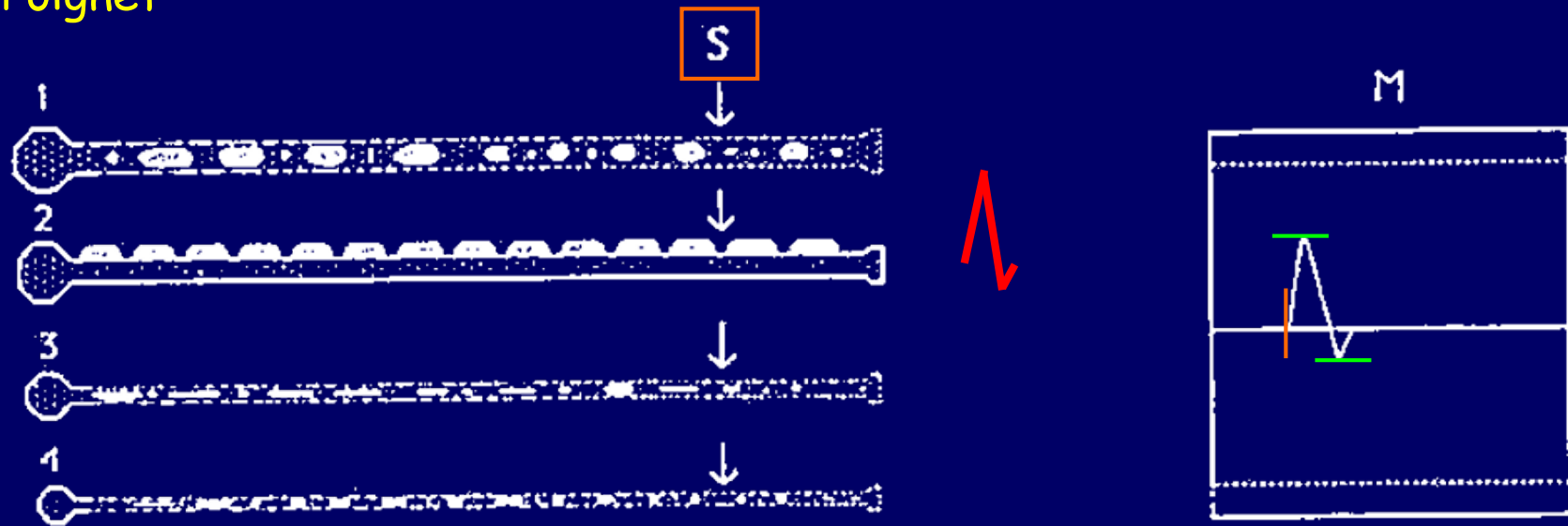


Ac anti-canaux ioniques : ralentissement de la VC et BC

Coude

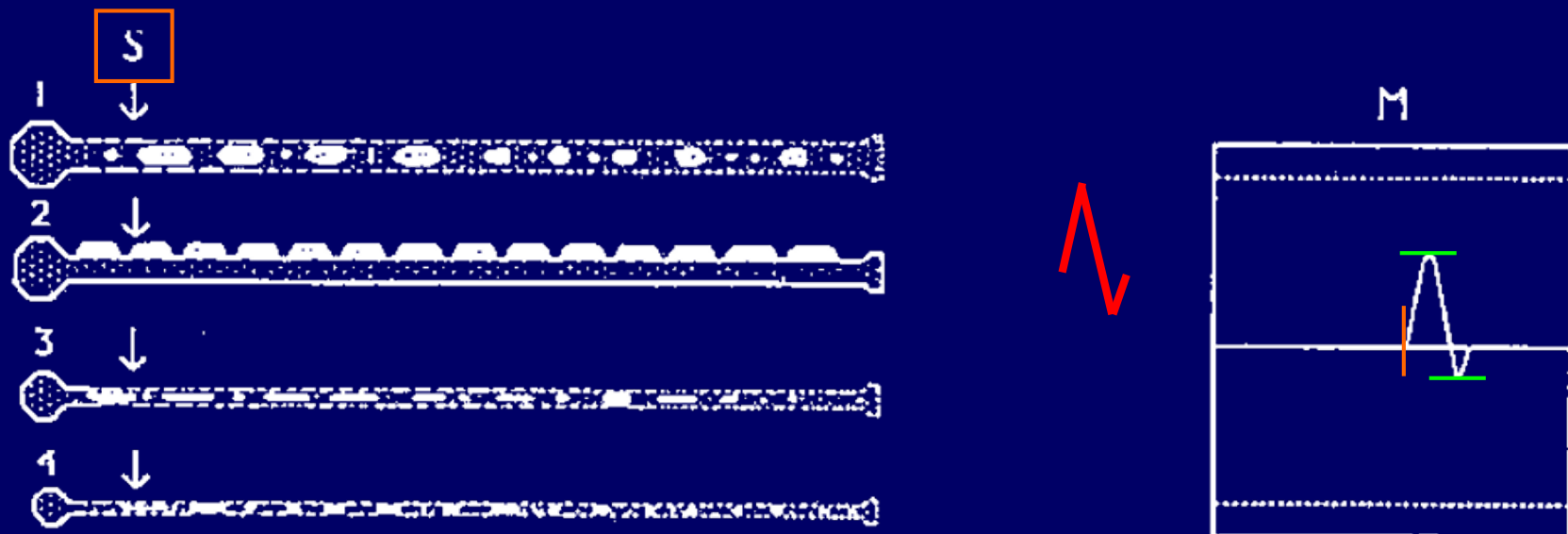


Poignet

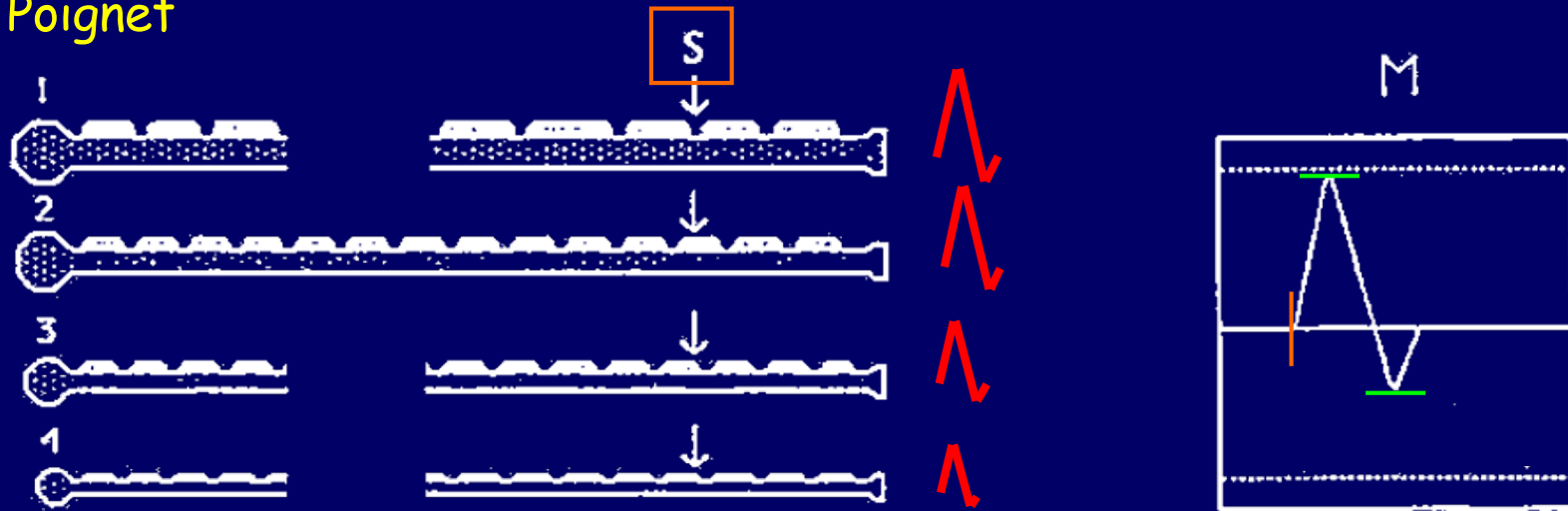


Dégénérescence axonale (Wallerienne): > 8^{ème} jour

Coude

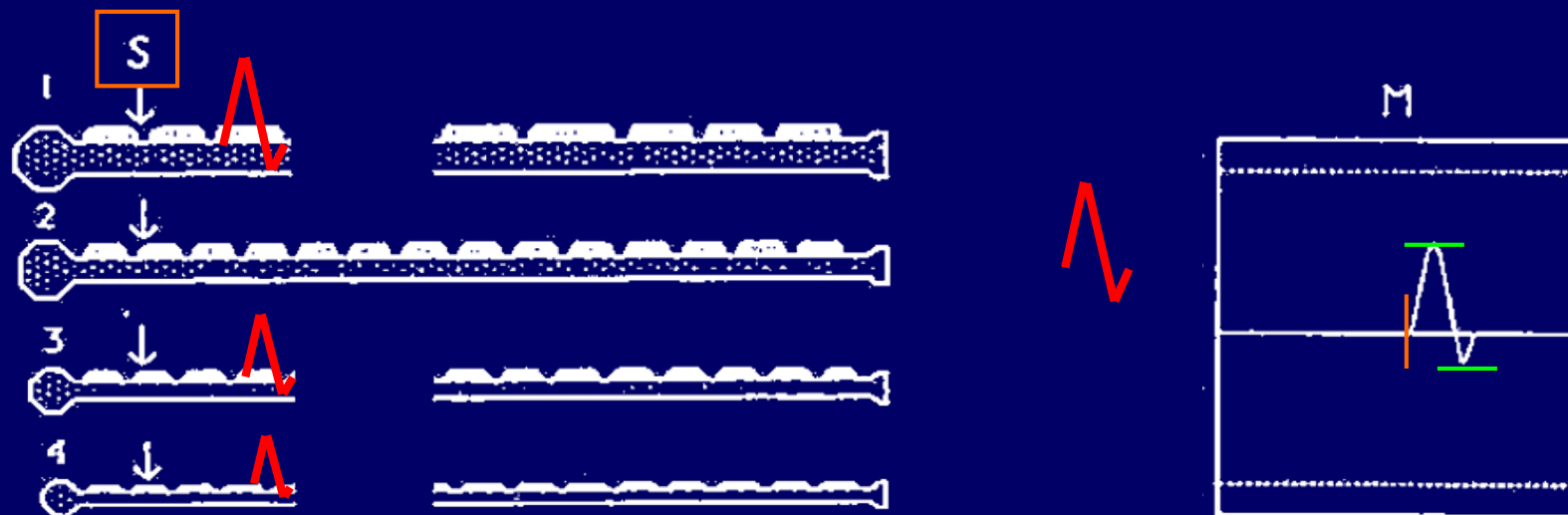


Poignet

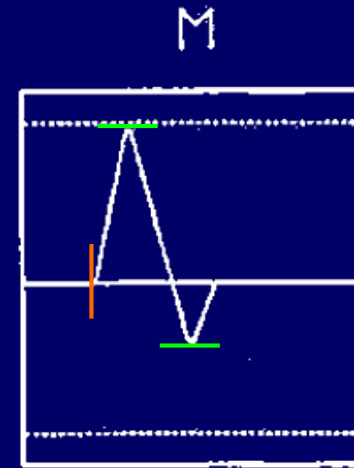
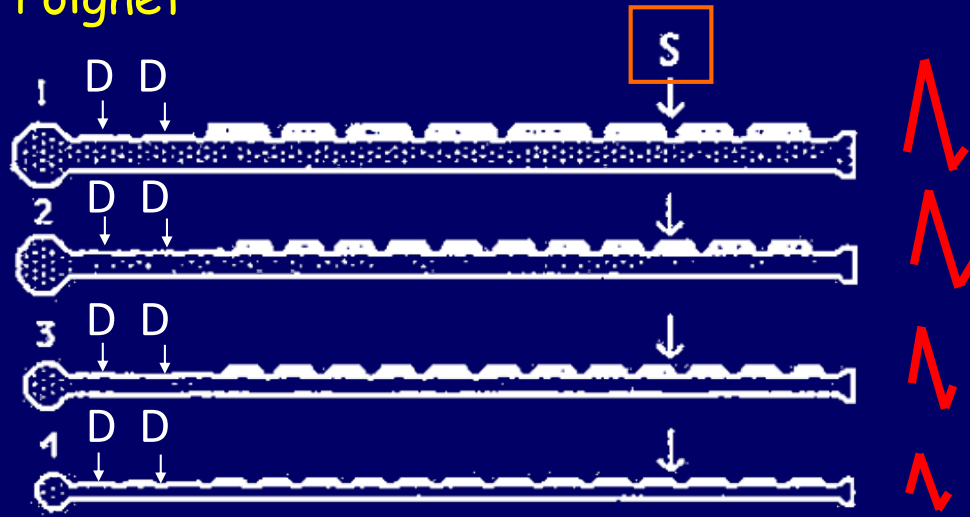


Dégénérescence axonale (Wallerienne): < 8^{ème} jour
pseudo B.C.

Coude

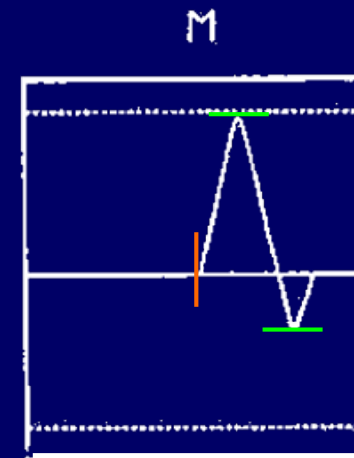
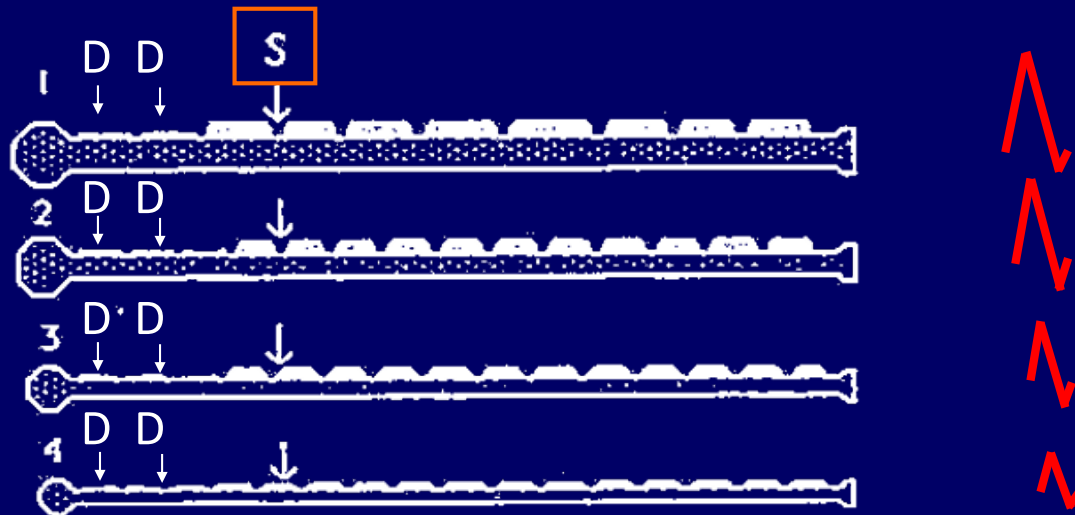


Poignet



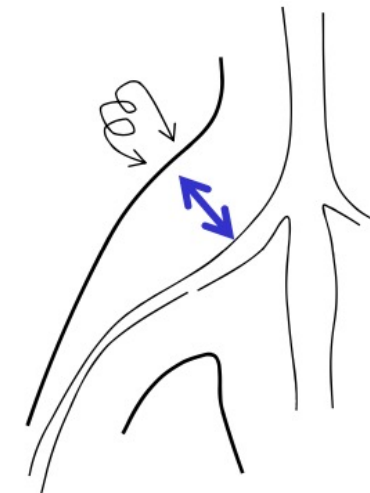
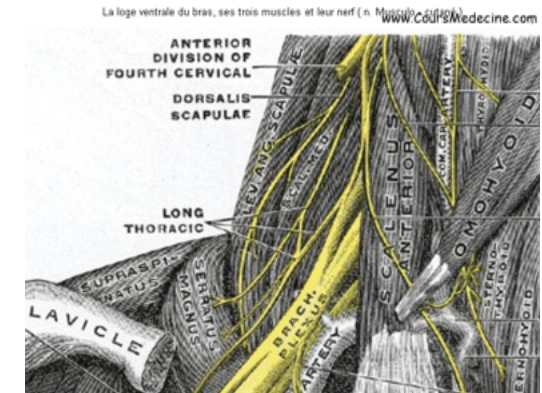
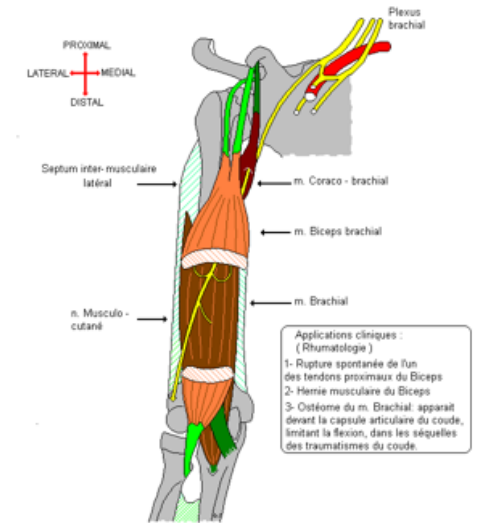
B.C. proximal

Coude



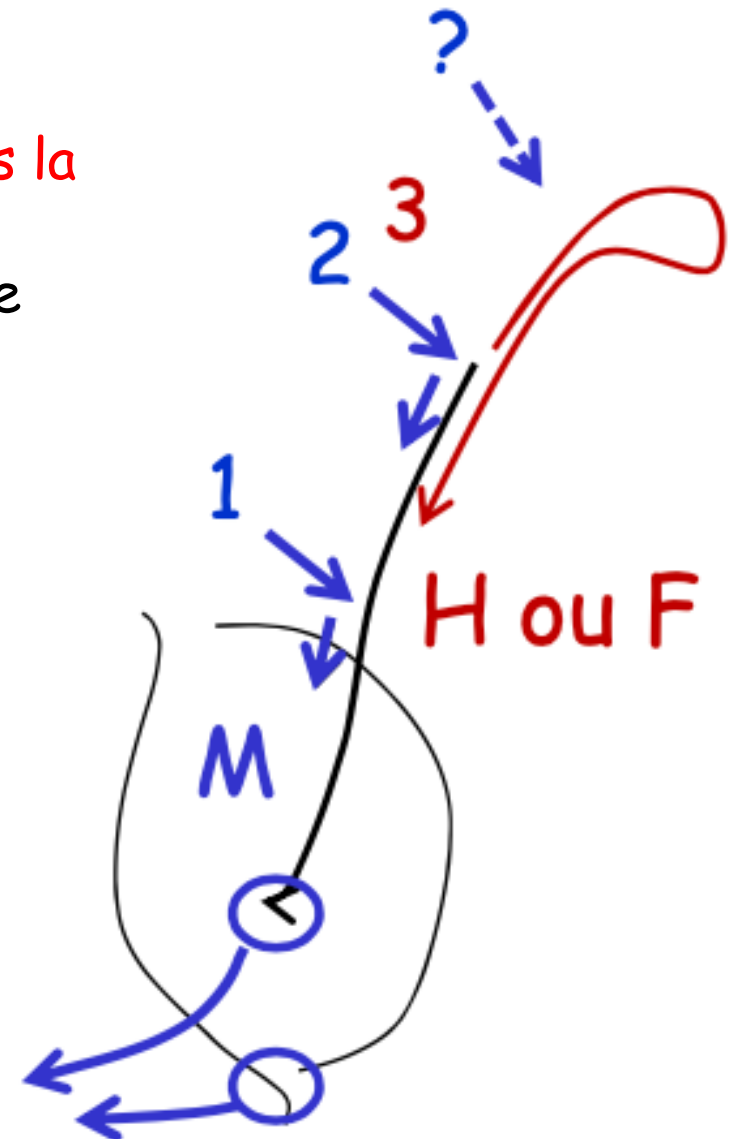
Atteintes des racines et des plexus

- Structures vulnérables
 - racines : HD, arthrose...
+ fragilité de la barrière hémato-nerveuse
 - plexus : pathologie traumatique
(segments très mobiles + points fixes)
- Exploration difficile
 - détection : amplitude des signaux diminue avec le carré de la distance
 - stimulation : structures nerveuses profondes
+ pas toujours possible de stimuler en amont
le point d'Erb est juste en amont des troncs secondaires du PB



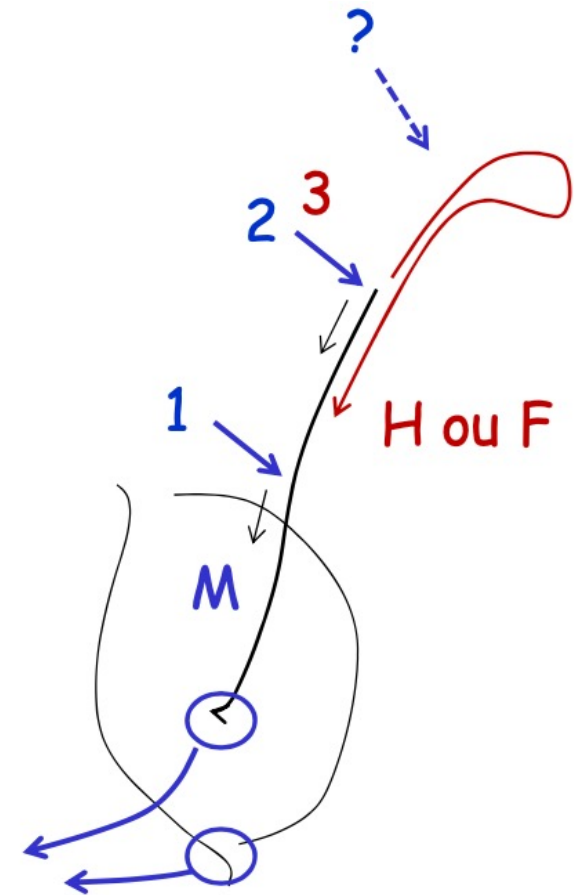
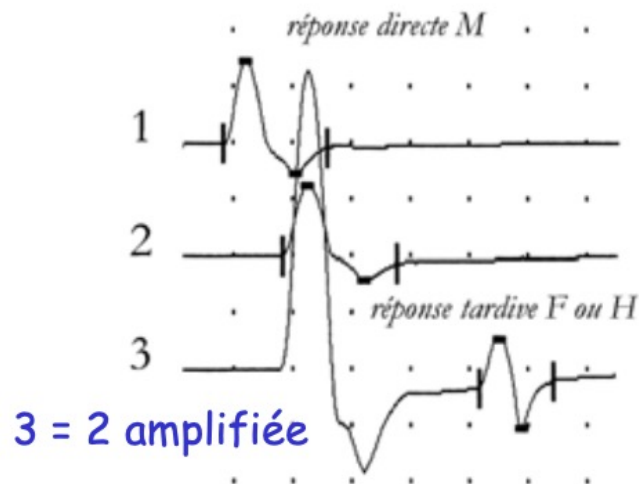
Atteintes des racines et des plexus

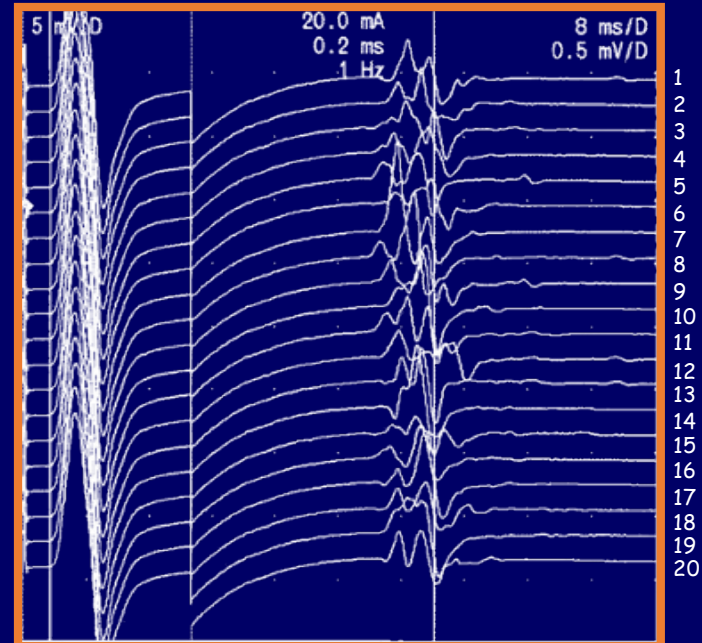
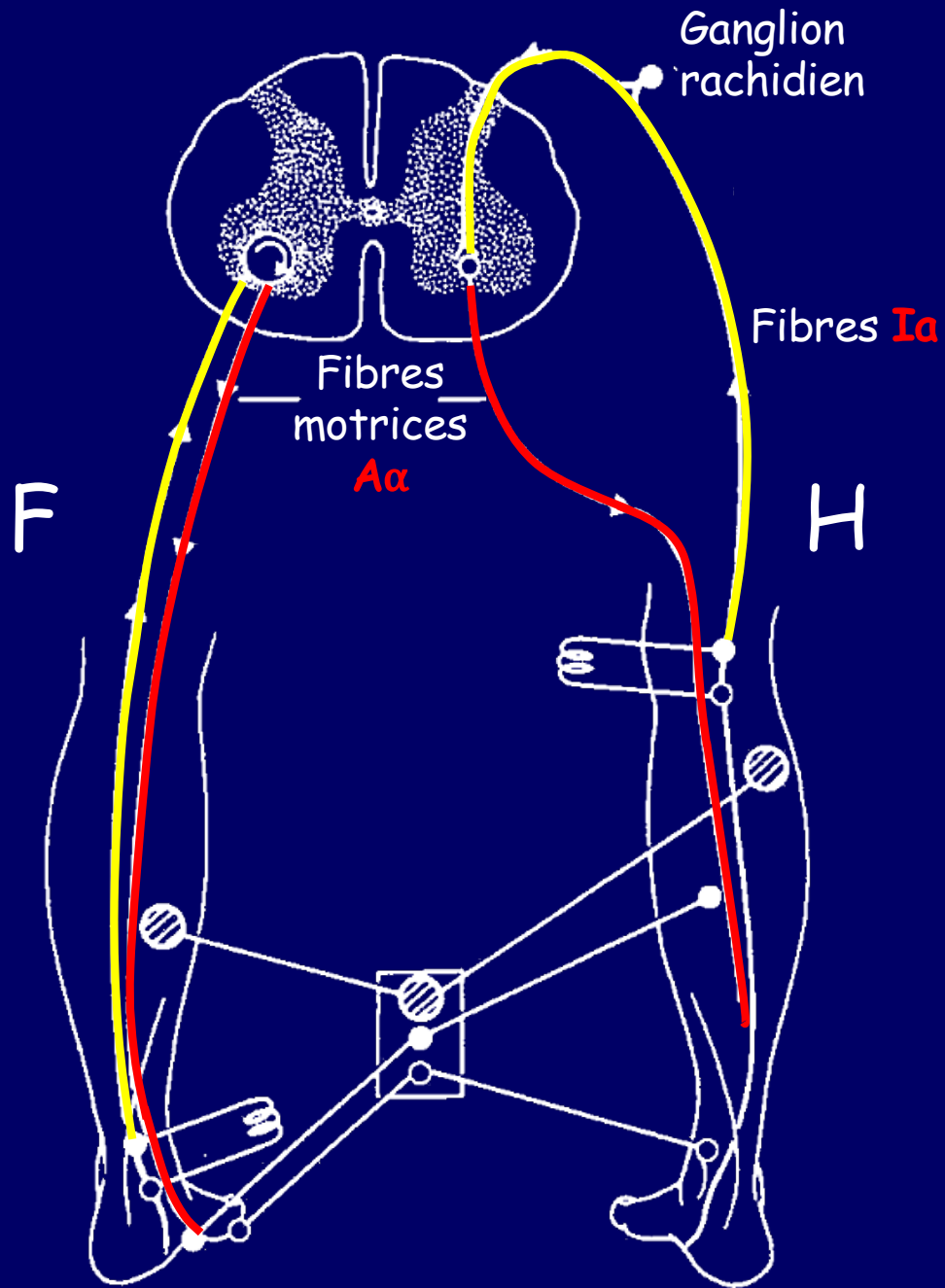
- « Astuce », principe :
 - faire passer une onde aller-retour « sous la montagne » en stimulant en **AVAL**
 - analyser le signal (H, F, T) qu'on récupère



Réponses tardives : réflexe H, ondes F

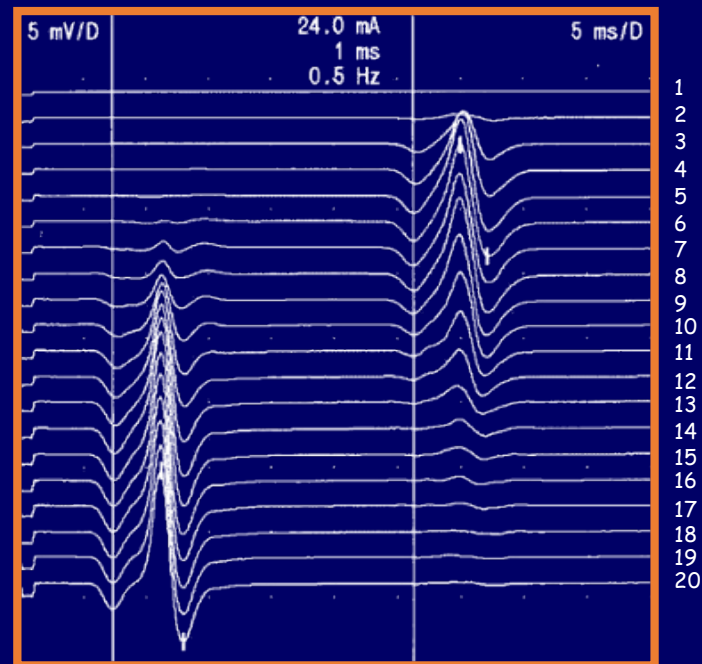
- Même technique que celle de l'étude de la conduction motrice
 - détection des réponses musculaires
 - stimulation nerveuse
- Mise en évidence de réponses tardives
 - H ou F survenant après les réponses motrices M « directes »





Intensité constante : 20 mA

F

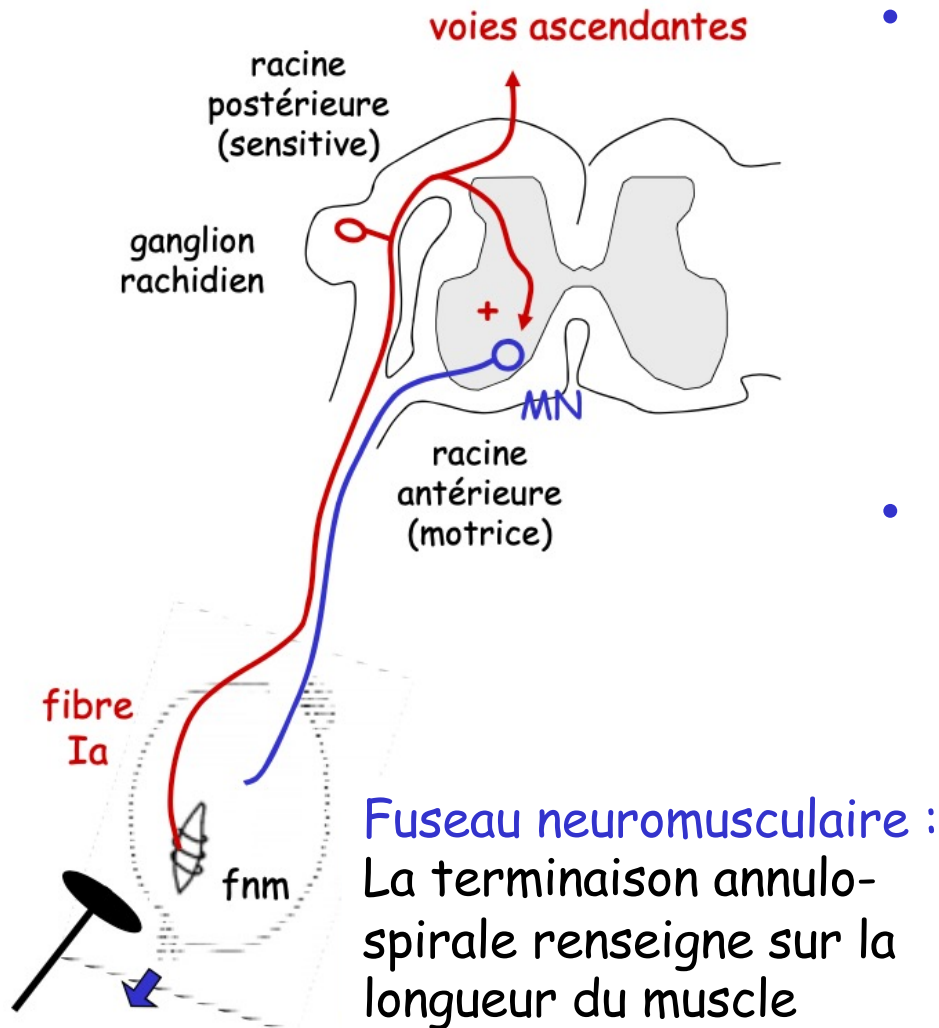


Intensité croissante

H

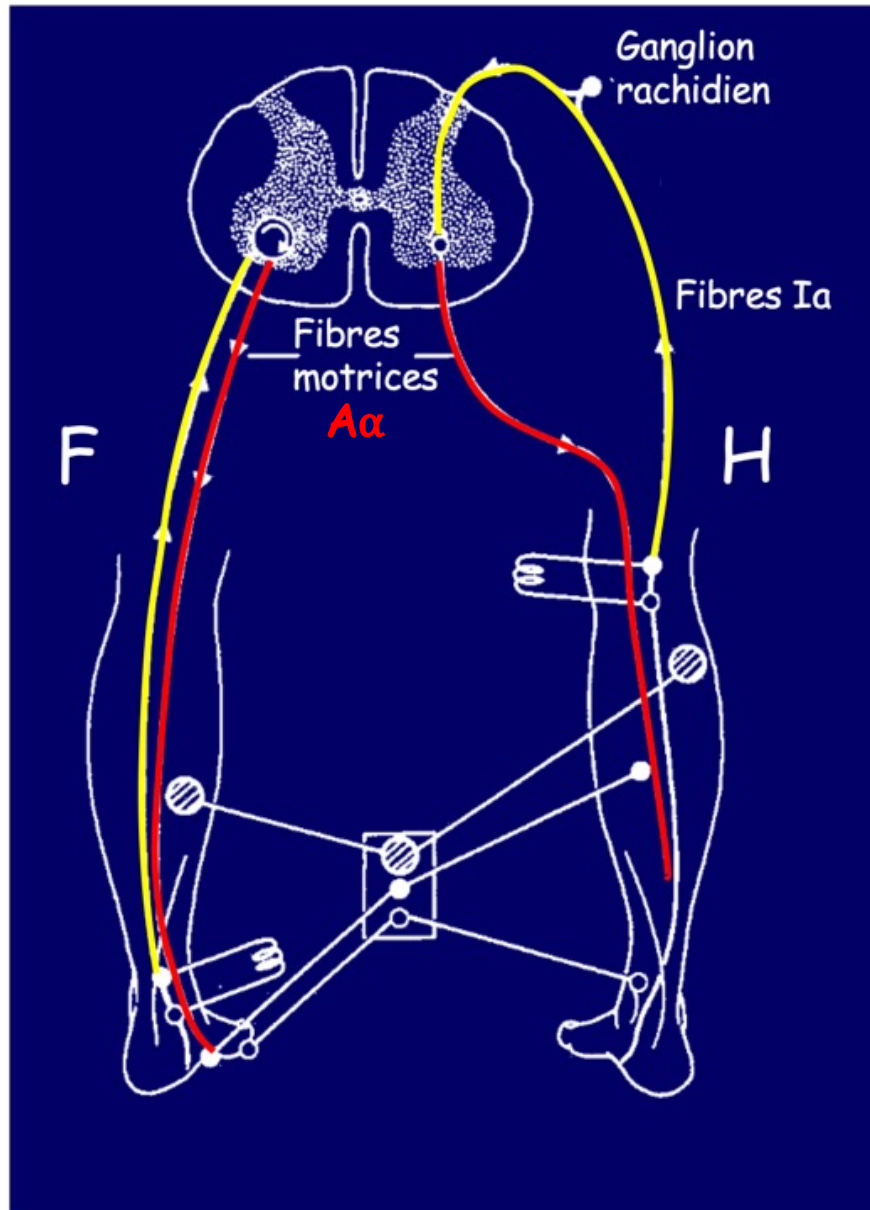
Réflexe H (Hoffmann, 1922)
et réflexes T

Basé sur le circuit du réflexe tendineux

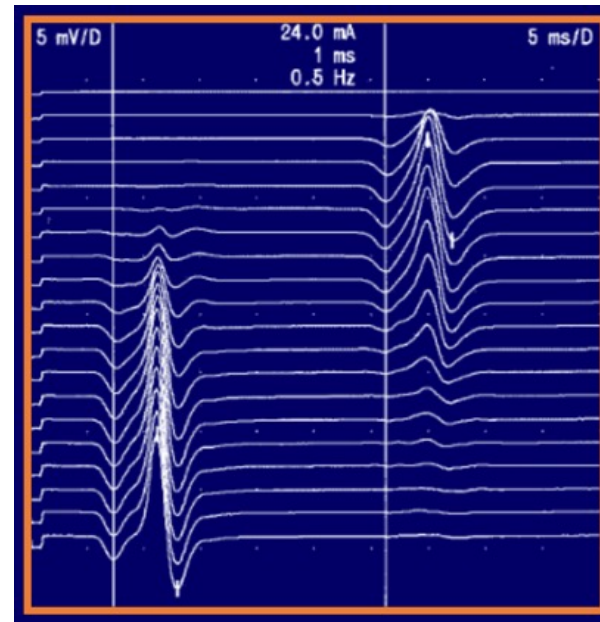


- Réflexe à l'étirement (« myotatique »)
 - contraction du muscle consécutive à son propre allongement
 - clinique : réflexes tendineux : percussion du tendon => contraction réflexe du muscle
 - enregistrable = réflexe T
- Mécanisme
 - étirement des fuseaux neuromusculaires (fnm) => décharge des fibres proprioceptives Ia
 - connexion monosynaptique excitatrice des fibres Ia sur les motoneurones (MN) du muscle
 - activation réflexe des MN => contraction réflexe du muscle
 - étirement plus important : plus de fnm et Ia activé => plus d'excitation => plus de MN activés

Réflexe H : même circuit que le réflexe tendineux

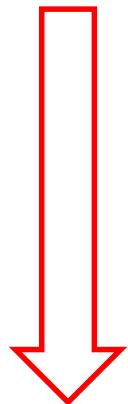


- Mais stimulation électrique du nerf
 - synchronisation des fibres Ia par stimulation électrique directe
 - **fibres Ia** : gros calibre, très excitable, très peu de courant nécessaire : **réflexe H à faible intensité**
 - **fibres motrices Aα** : un peu moins grosses, un peu moins excitable, un peu plus d'intensité pour la **réponse M**



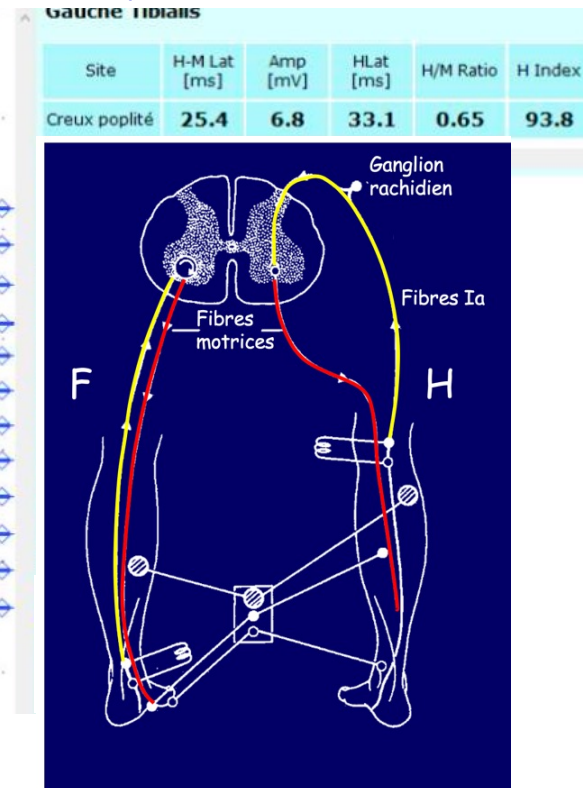
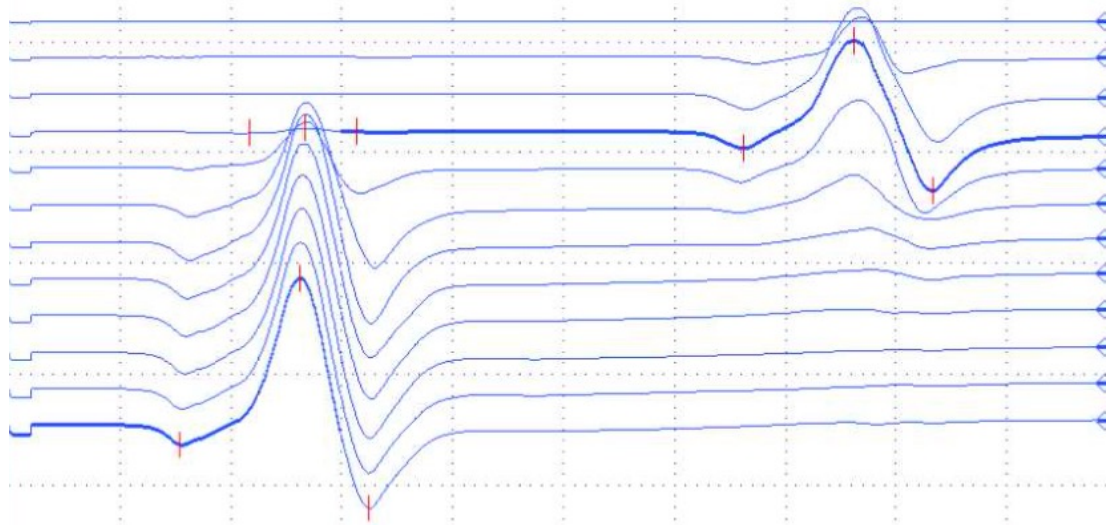
Intensité croissante

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20



Réflexe H : caractéristiques

H soléaire



- Apparition à faible intensité
- Diminution puis disparition à forte intensité
 - « Collision » : période réfractaire des fibres motrices activées directement
- Forme et latence constantes
- Latence H soléaire : 30-35 ms
- Différence G/Dr < 1,4 ms
- Index H : > 80%
- Latence M soléaire : 5-7 ms

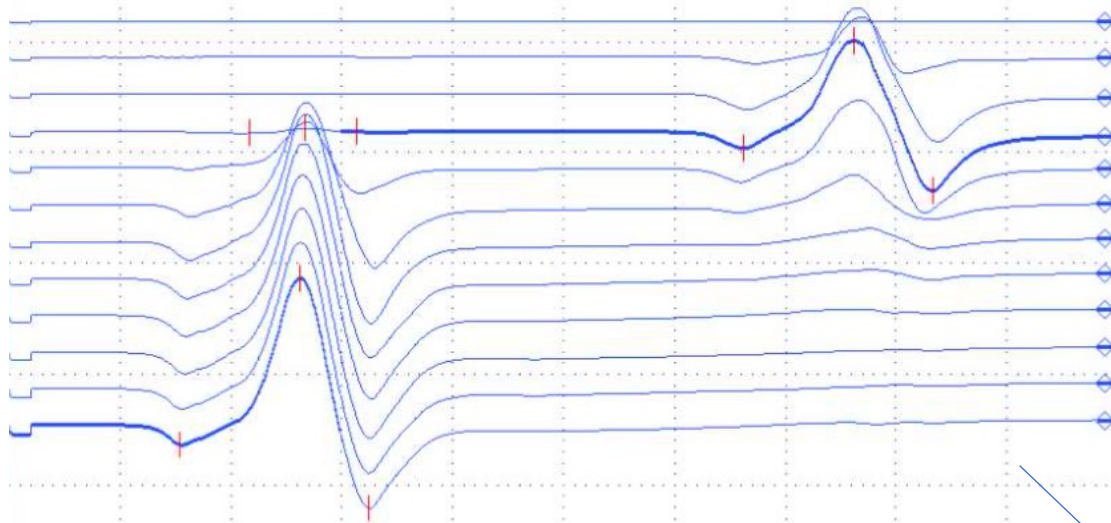
$$\text{Index H} = \left\{ \frac{\text{Taille (cm)}}{\text{H-M (ms)}} \right\}^2 \times 2$$

LIN = 80%

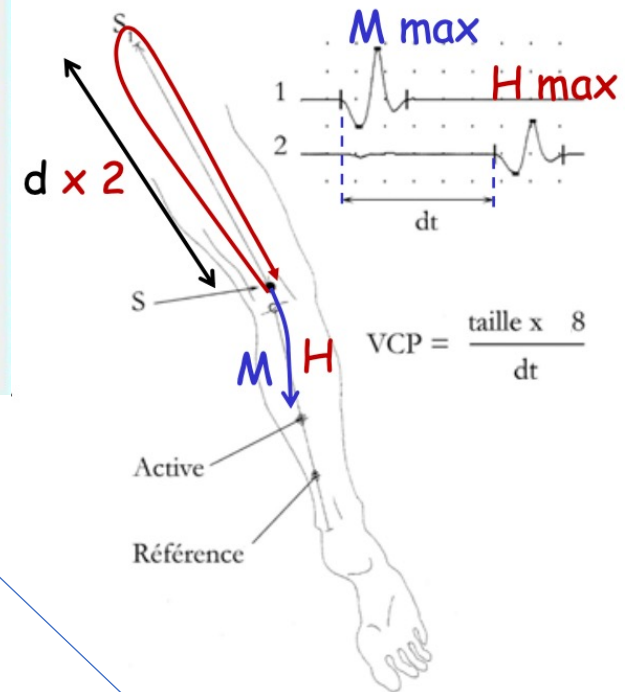
Réflexe H : caractéristiques

H soléaire : calcul de la VCP

Taille = 174 cm



| Site | H-M Lat [ms] | Amp [mV] | HLat [ms] | H/M Ratio | H Index |
|---------------|--------------|----------|-----------|-----------|---------|
| Creux poplité | 25.4 | 6.8 | 33.1 | 0.65 | 93.8 |

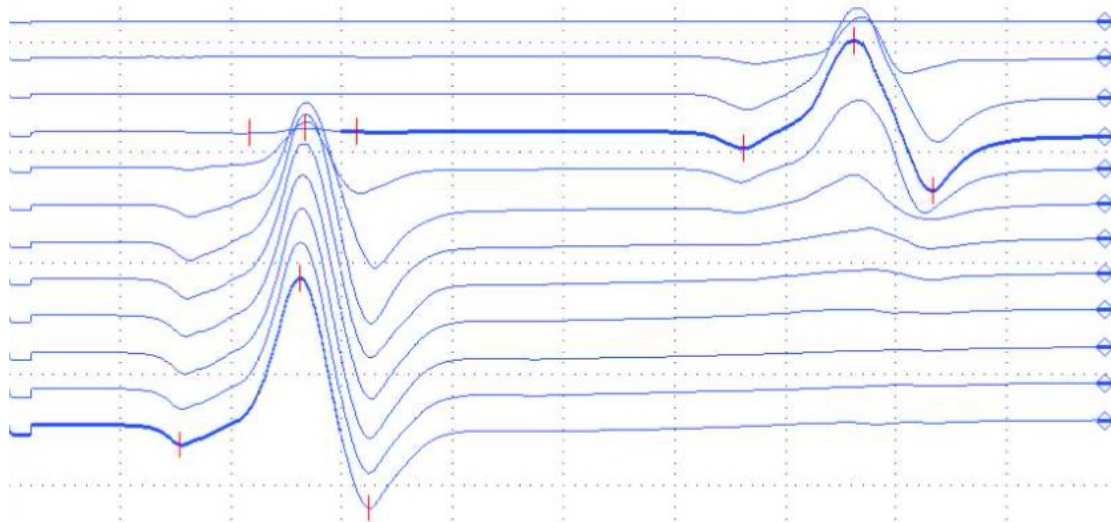


- $VC = d/\text{temps (m/s)}$
- Temps = latence H - latence M
(H-M) ou (H-M-1)
- d = distance creux poplité - point de réflexion médullaire X 2 (d X 2)
- Approximation : d X 2 = taille en cm X 8
- Moyenne : 57 m/s, LIN : 50 m/s
- VCP explore racines postérieures (sensitives) et antérieures (motrices)

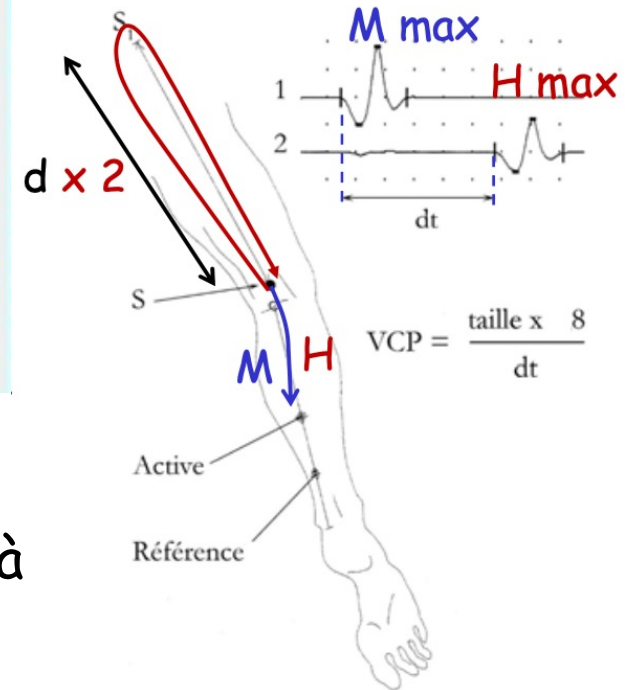
$$(174 \times 8) / 25,4 = 55 \text{ m/s}$$

Réflexe H : caractéristiques

H soléaire : mesure d'amplitude



| Site | H-M Lat [ms] | Amp [mV] | HLat [ms] | H/M Ratio | H Index |
|---------------|--------------|----------|-----------|-----------|---------|
| Creux poplité | 25.4 | 6.8 | 33.1 | 0.65 | 93.8 |

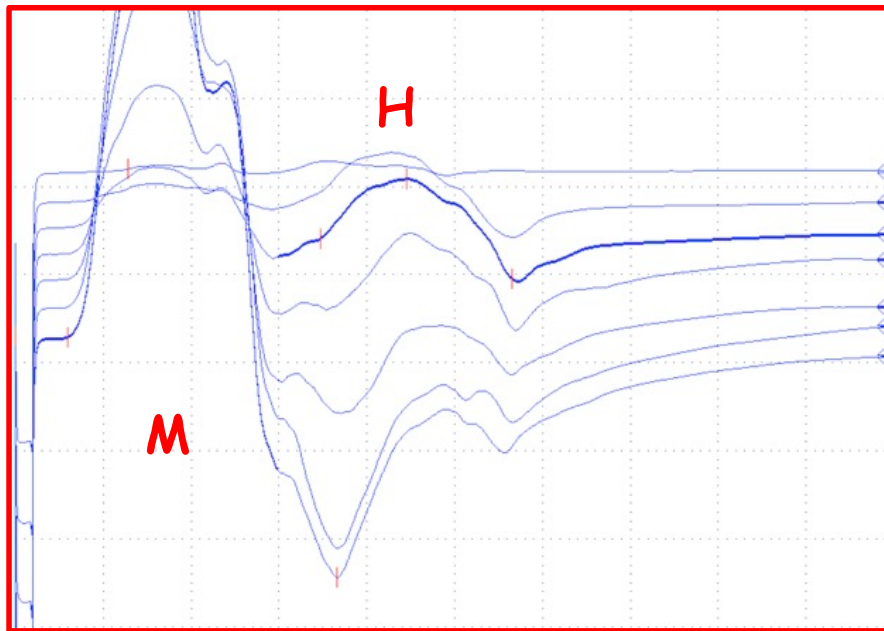


- Amplitude H max exprimées relativement à M max (% d'UM activées)
- Entre 30 et 70%
- **< 30%**
 - si bilatéral : valeur basse chez un sujet normal
radiculopathie S1 X 2
neuropathie périphérique (PNP etc...)
 - si unilatéral : anomalie significative si différence G/Dr > 50%
- **> 70%** : valeur haute chez un sujet normal ou atteinte cortico-spinale

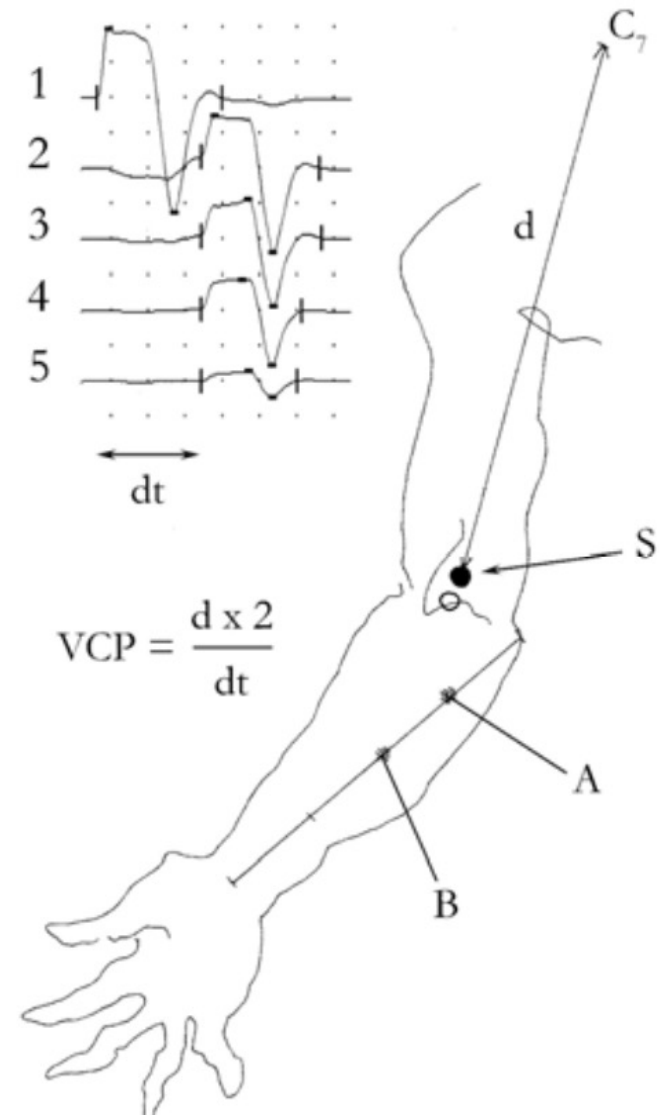
Réflexe H : caractéristiques

Réflexe H C7 médian-fléchisseur radial du carpe

- d : distance : cathode/C7
- Temps : H-M (ou H-M-1)
- $VCP = d \times 2 / (H - M)$
- Moyenne : 66 m/s, LIN : 56 m/s



$d = 45 \text{ cm} ; H-M = 14,4 \text{ ms} \Rightarrow VCP = 62,5 \text{ m/s}$

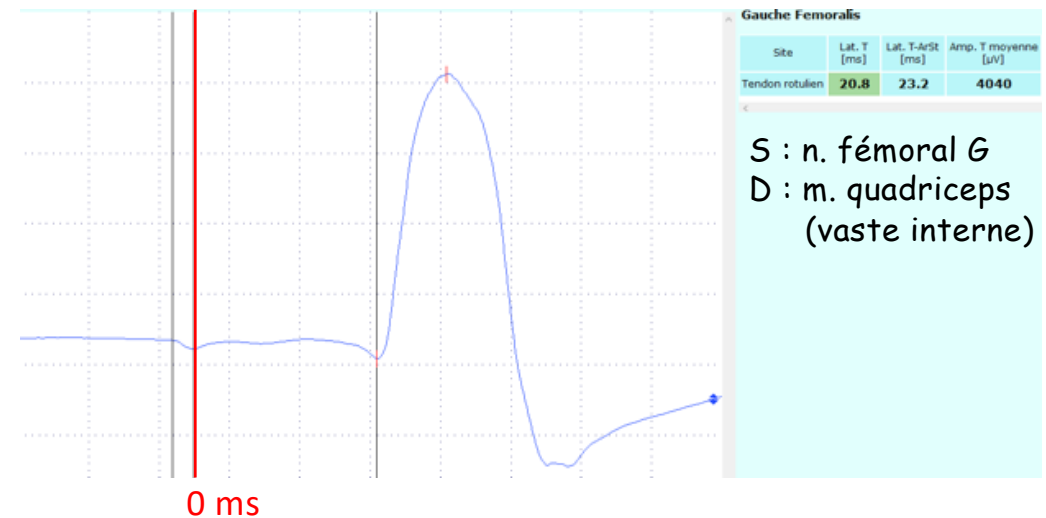
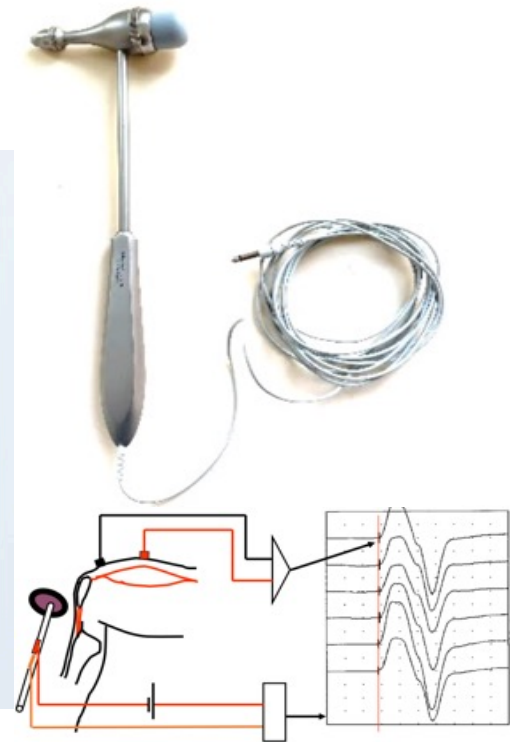
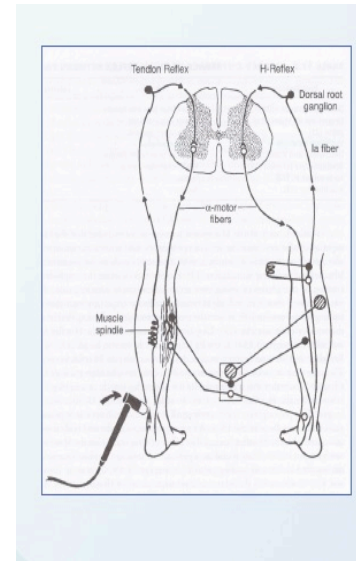


Réflexe T

- Enregistrement électrique de la réponse réflexe provoquée par percussion tendineuse
- Nécessite un système de déclenchement de l'enregistrement par contact mécanique (délai de « *triggering* » : autour de 4 ms)

- **Latence du réflexe T**

- T quadriceps (L4) : 20 ms
- T soléaire (S1) : 33 ms
- à corriger en fonction de la taille du sujet ...
- **variable selon le délai de transmission de l'ébranlement mécanique aux différents fuseaux (désynchronisation)**



Réponses T

Gauche Femoralis

Femorialis
Enreg.: Rectus femoris
8ms/D | 8ms/D
1mV/D | 1mV/D
AMP1

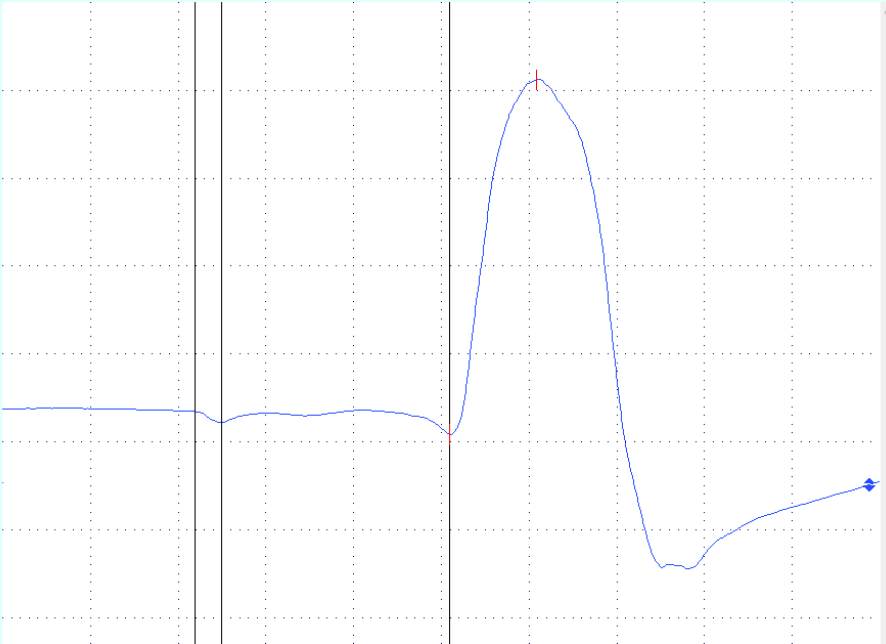
Entrée ext.

Gauche Femoralis

Rectus femoris

| Site | Lat. T [ms] | Lat. T-ArSt [ms] | Amp. T moyenne [µV] | Dist. [mm] | VC [m/s] |
|-----------------|-------------|------------------|---------------------|------------|----------|
| Tendon rotulien | 20.8 | 23.2 | 4040 | | -- |

Tendon rotulien



$$(180 \times 8) / 23,2 = 62,1 \text{ m/s}$$

LIN : 59,9 m/s

Réflexes H

Gauche Femoralis

Femorialis
Enreg.: Vastus med
5ms/D | 2mV/D
AMP1

35.8mA 1.0ms 0.4-0.5Hz

Gauche Femoralis

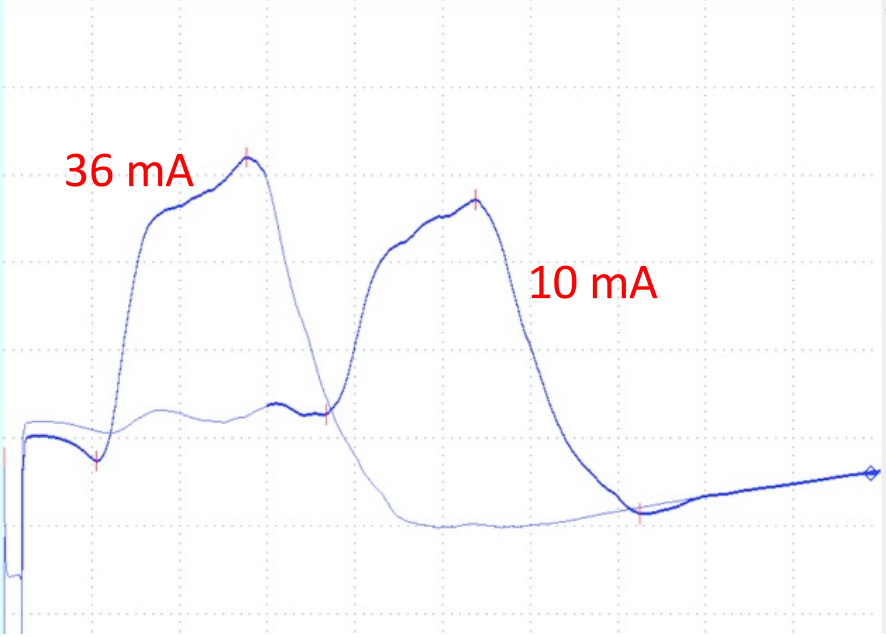
Vastus med

| Site | H-M Lat [ms] | Amp [mV] | HLat [ms] | H/M Ratio | H Index |
|----------------|--------------|----------|-----------|-----------|---------|
| Creux inguinal | 13.1 | 7.2 | 18.3 | 1.06 | 294 |

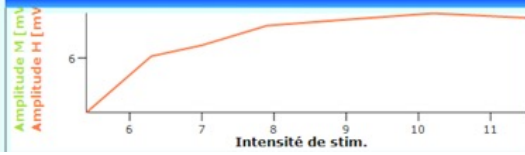
36 mA

10 mA

Creux inguinal



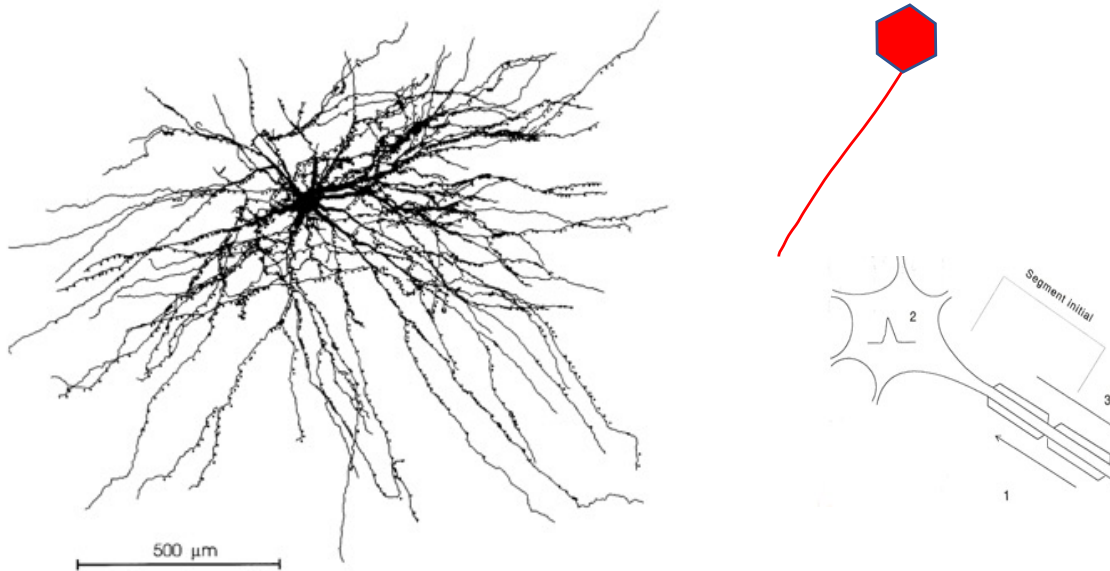
| M Amp [mV] | H Amp [mV] | H-M Lat [ms] | Stim Int [mA] |
|------------|------------|--------------|---------------|
| -- | 4.6 | -- | 5.4 |
| -- | 6.0 | 14.7 | 6.3 |
| -- | 6.3 | 13.9 | 7.0 |
| -- | 6.8 | 13.4 | 7.9 |
| -- | 7.0 | 14.5 | 8.9 |
| -- | 7.2 | 18.3 | 10.2 |
| -- | 7.0 | 15.2 | 11.5 |
| -- | -- | -- | 35.8 |



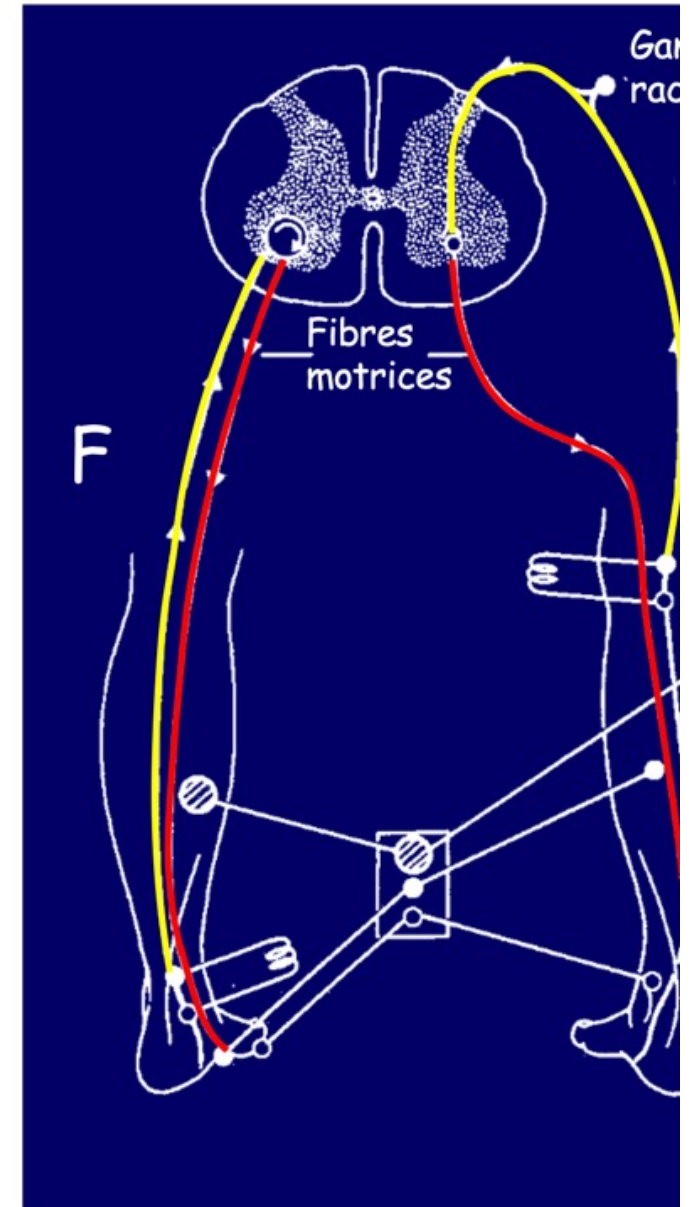
Ondes F (*Foot, Magladery
& McDougal, 1950*)

Onde F

- F : activation antidromique de 1 (ou 2) UM
- Dépolarisation de l'arbre dendritique suffisamment durable pour dépasser la période réfractaire du corps cellulaire et réactiver le motoneurone
- N'intéresse que les racines motrices et qu'un très faible pourcentage des fibres motrices

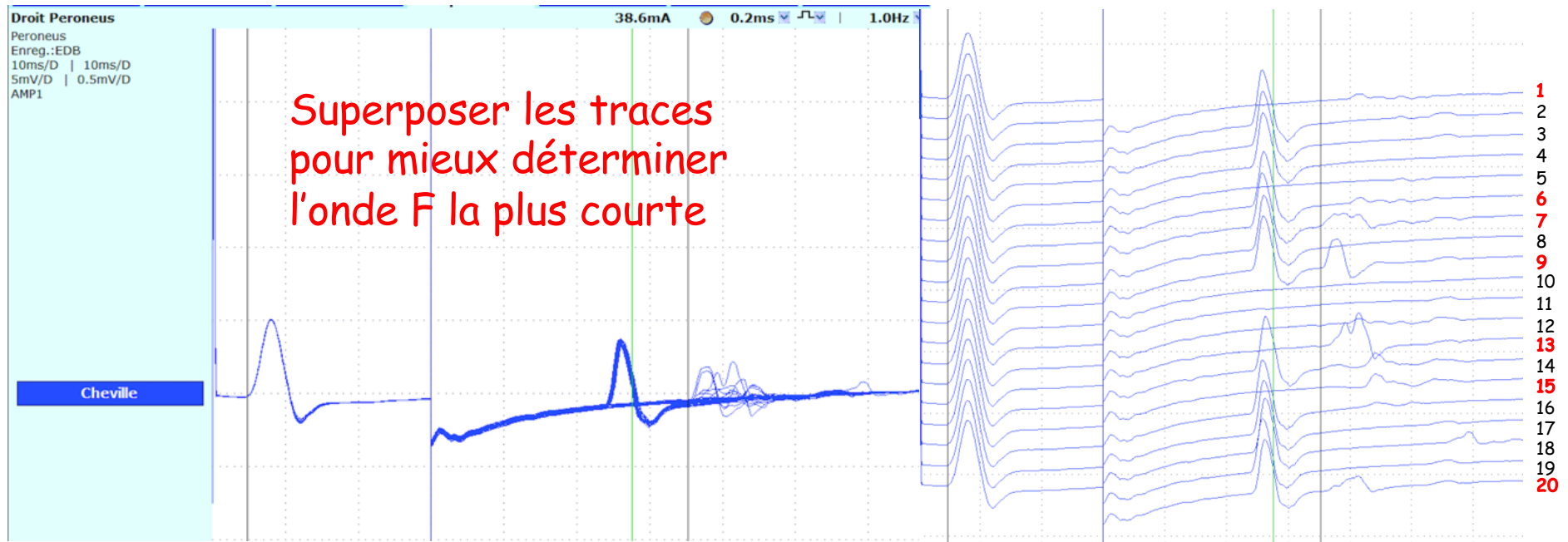


Arbre dendritique d'un motoneurone spinal



Onde F : caractéristiques

Évoquer au moins **7** ondes F et prendre la plus courte pour évaluer la conduction proximale



- Apparition plus fréquente à forte intensité
 - faible probabilité d'apparition
 - décharge de 1 (ou 2) UM
 - intensité supramaximale : pas de réponse H
 - Forme et latence variables (d'une stimulation à l'une autre => activation d'UM différentes)
 - Répéter la stimulation
 - Choisir la plus précoce pour les mesures de latence et vitesse
- Plus d'axones sont activés => plus de F sont évoquées

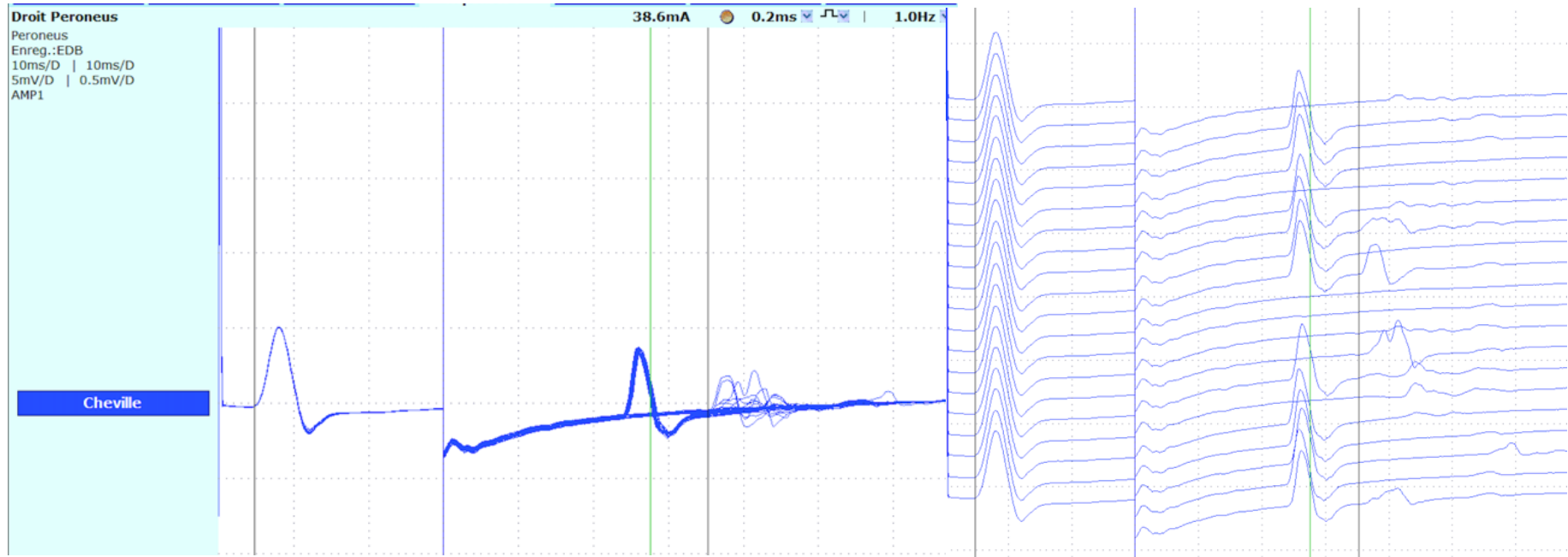
Deux options méthodologiques

1. Stimulation proximale (coude ou genou)

Deux options méthodologiques

2. Stimulation distale (poignet ou cheville)

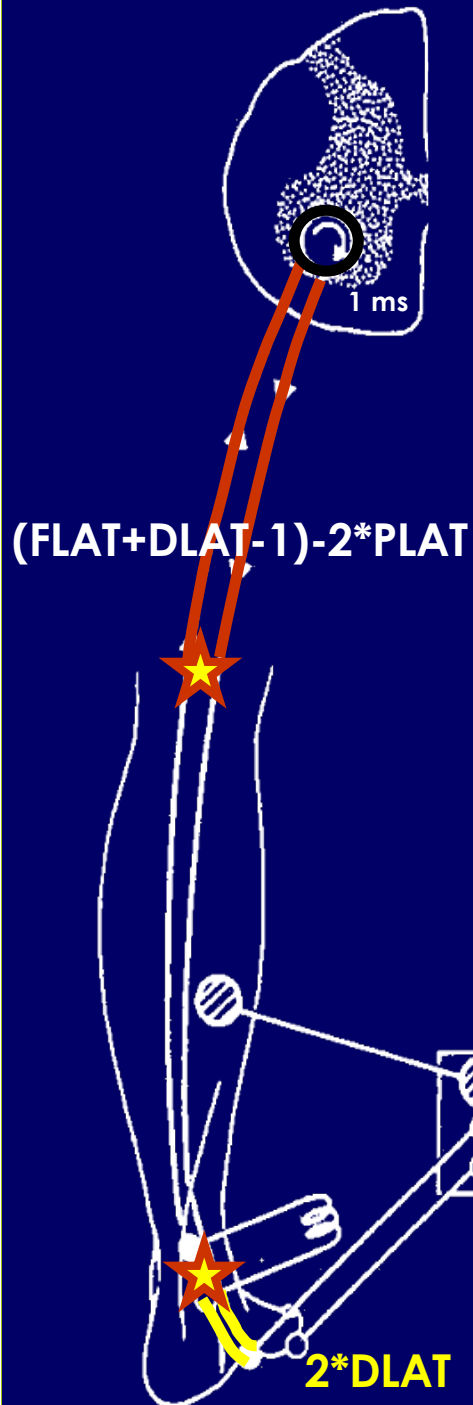
Latence F-M : stimulation distale cheville/poignet



- Régressions linéaires multiples tenant compte de :
 - **taille**
 - **âge**
- Normalisation par le **Z-score**
- **F ratio modifié**
- Patient comme **son propre témoin**

| | MS | MI |
|-------------------------|--------|------|
| G/Dr | 2 ms | 4 ms |
| Nerfs d'un même segment | 2 ms | 4 ms |
| T1/T2 | 1,5 ms | 3 ms |

F-ratio modifié



$$\text{FRM} = \frac{(\text{FLAT} + \text{DLAT} - 1) - 2 * \text{PLAT}}{2 * \text{DLAT}}$$

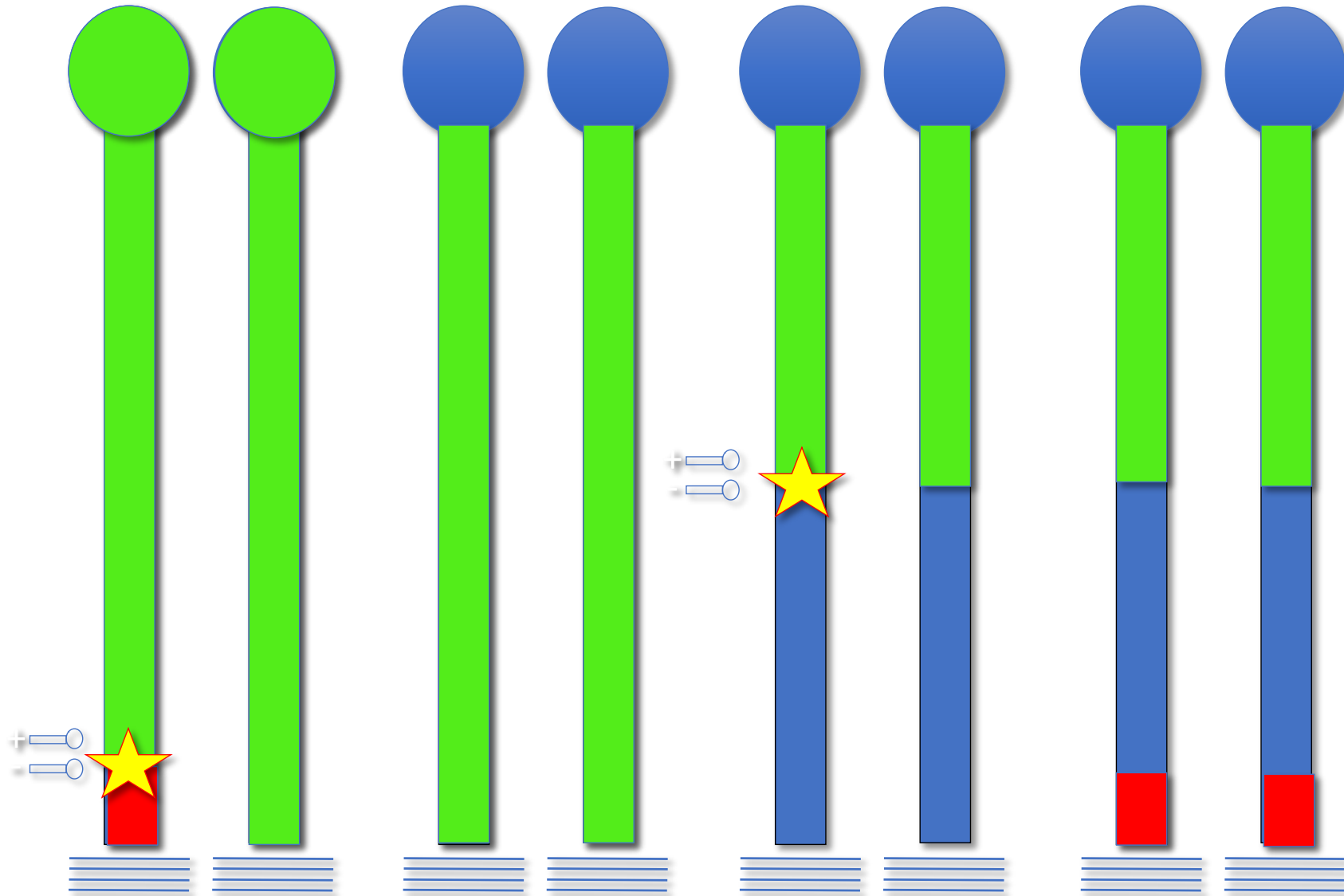
| | Moyenne ± DS |
|-----------|--------------|
| Médian | 1,92 ± 0,20 |
| Ulnaire | 2,86 ± 0,27 |
| Fibulaire | 3,50 ± 0,40 |
| Tibial | 3,30 ± 0,37 |

FLAT

+ DLAT - 1

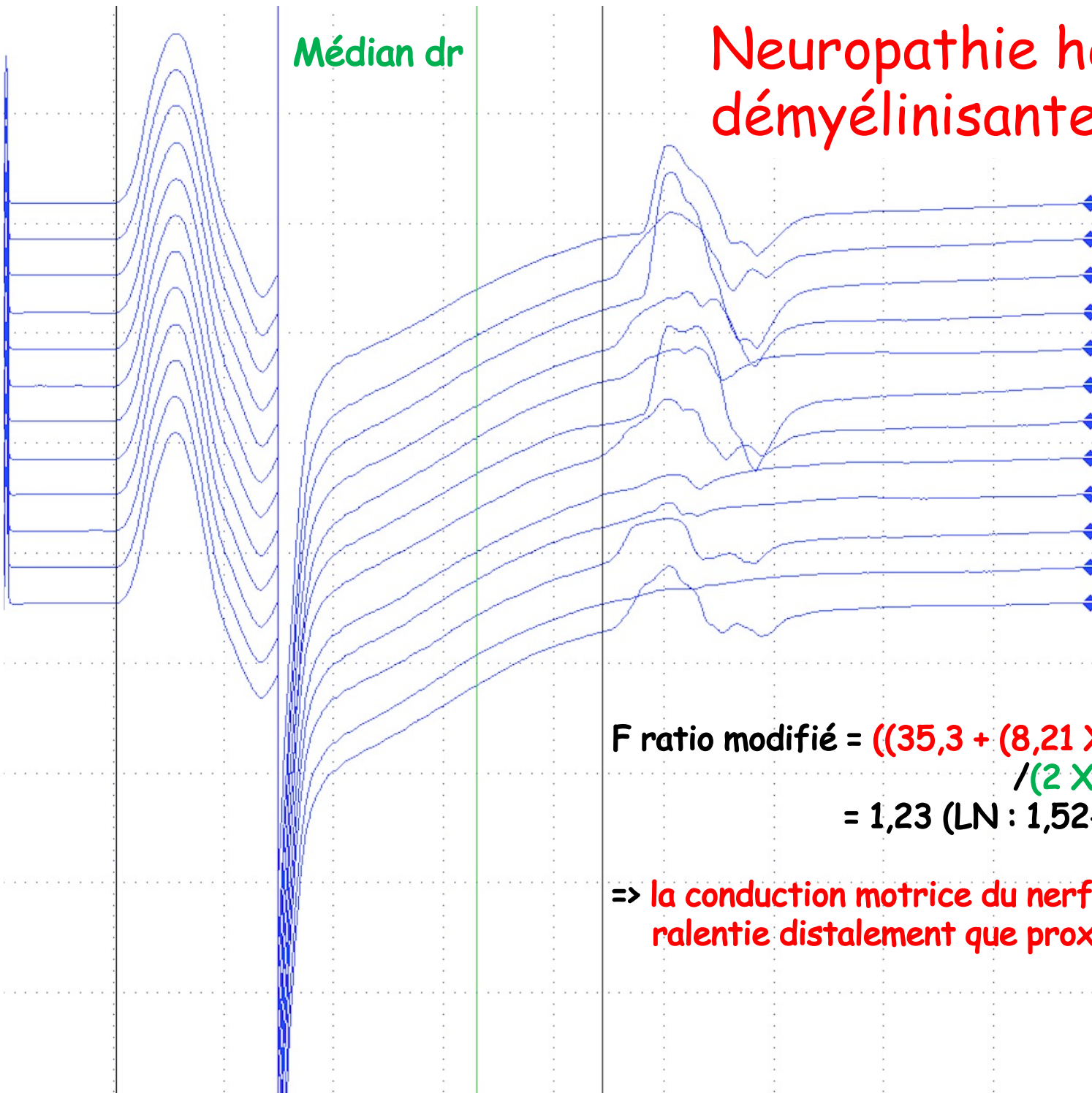
- 2 PLAT

÷ 2 DLAT



Neuropathie héréditaire démyélinisante : CMT1a

Médian dr

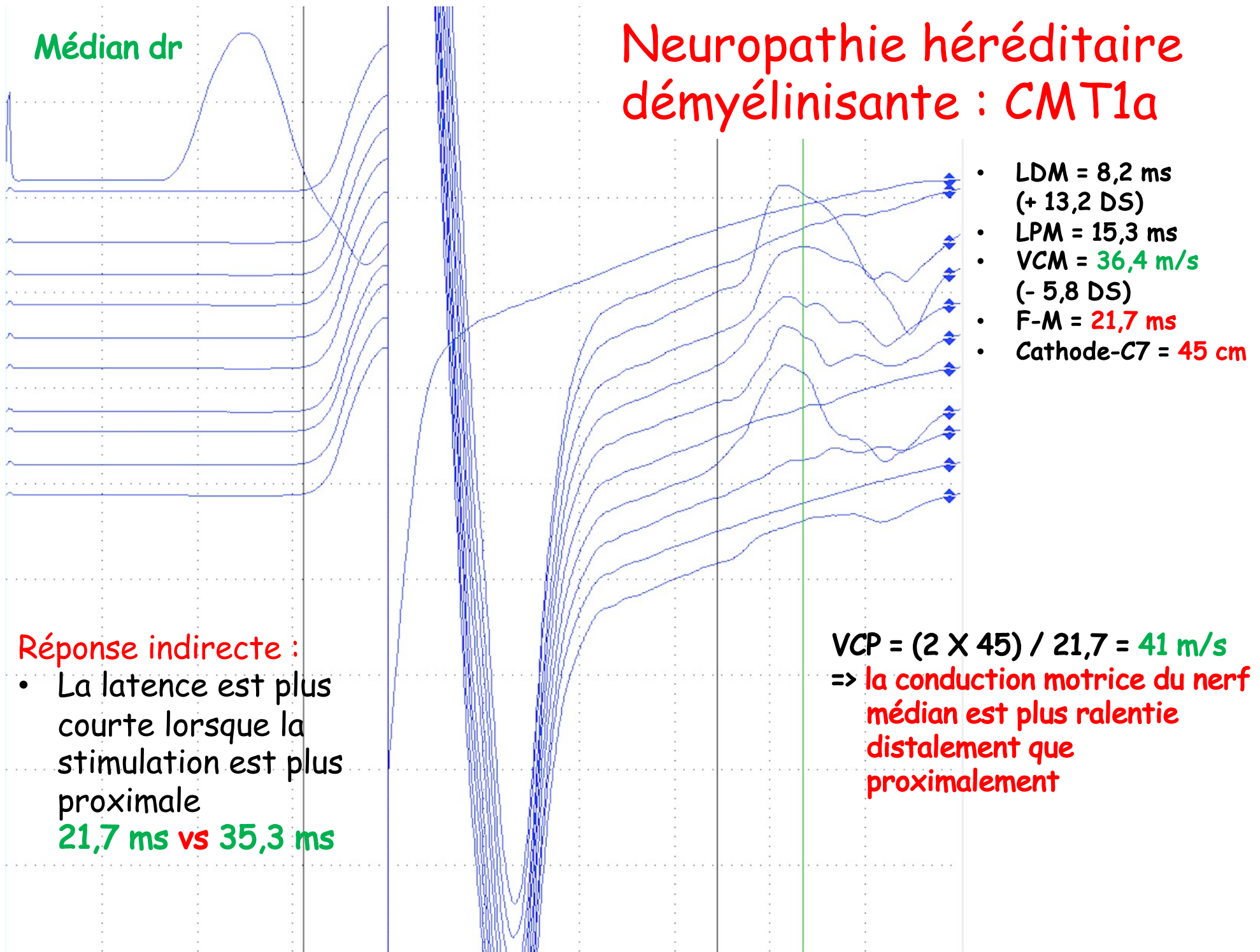


- LDM = 8,2 ms
(+ 13,2 DS)
- LPM = 15,3 ms
- VCM = 36,4 m/s
(- 5,8 DS)
- F-M = **35,3 ms**
(10,8 DS)

$$\begin{aligned} \text{F ratio modifié} &= \frac{((35,3 + (8,21 \times 2) - 1) - (2 \times 13,3))}{(2 \times 8,21)} \\ &= 1,23 \text{ (LN : 1,52-2,32)} \end{aligned}$$

=> la conduction motrice du nerf médian est plus
ralentie distalement que proximale

Neuropathie héréditaire démyélinisante : CMT1a

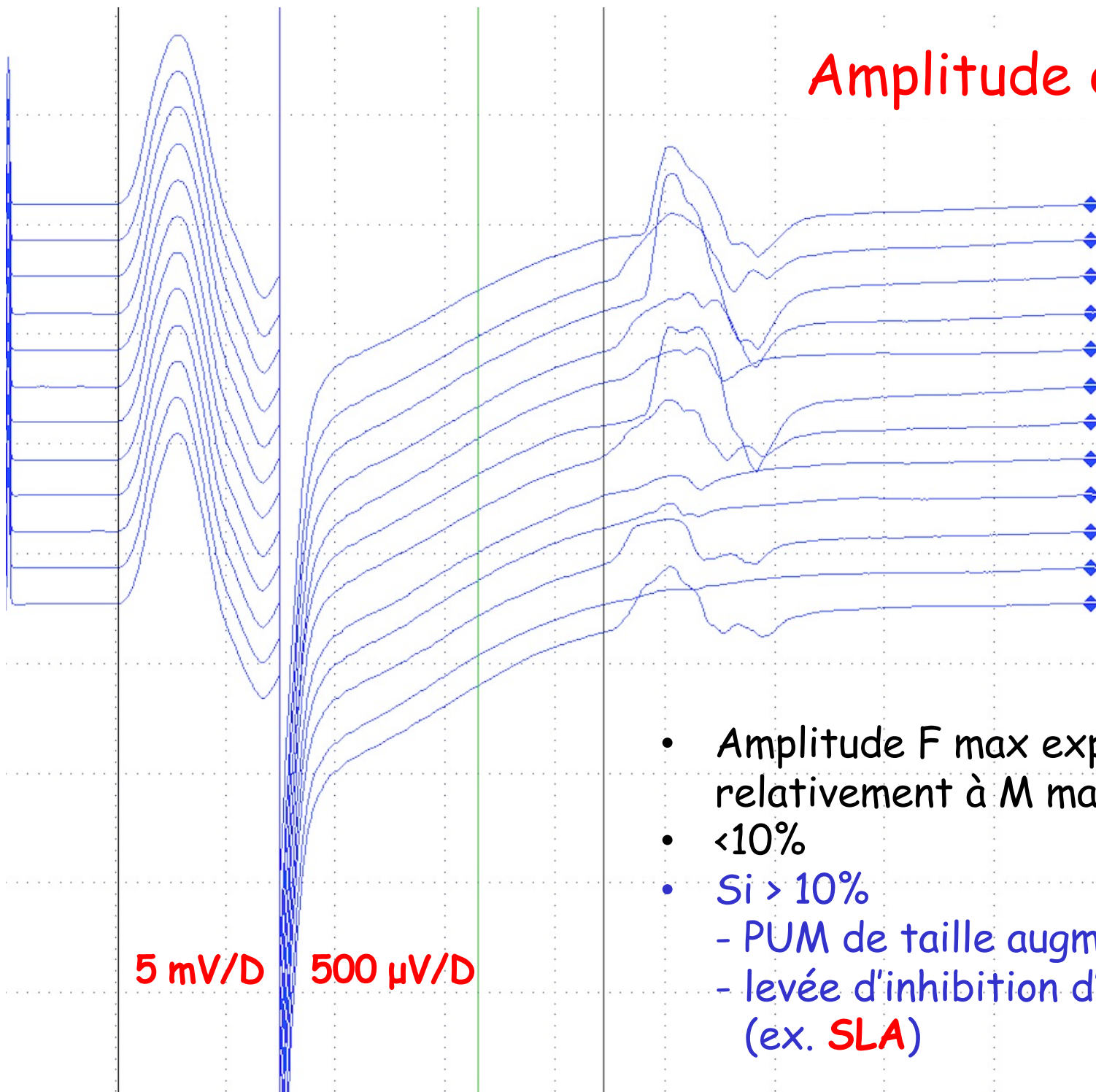


Réponse indirecte :

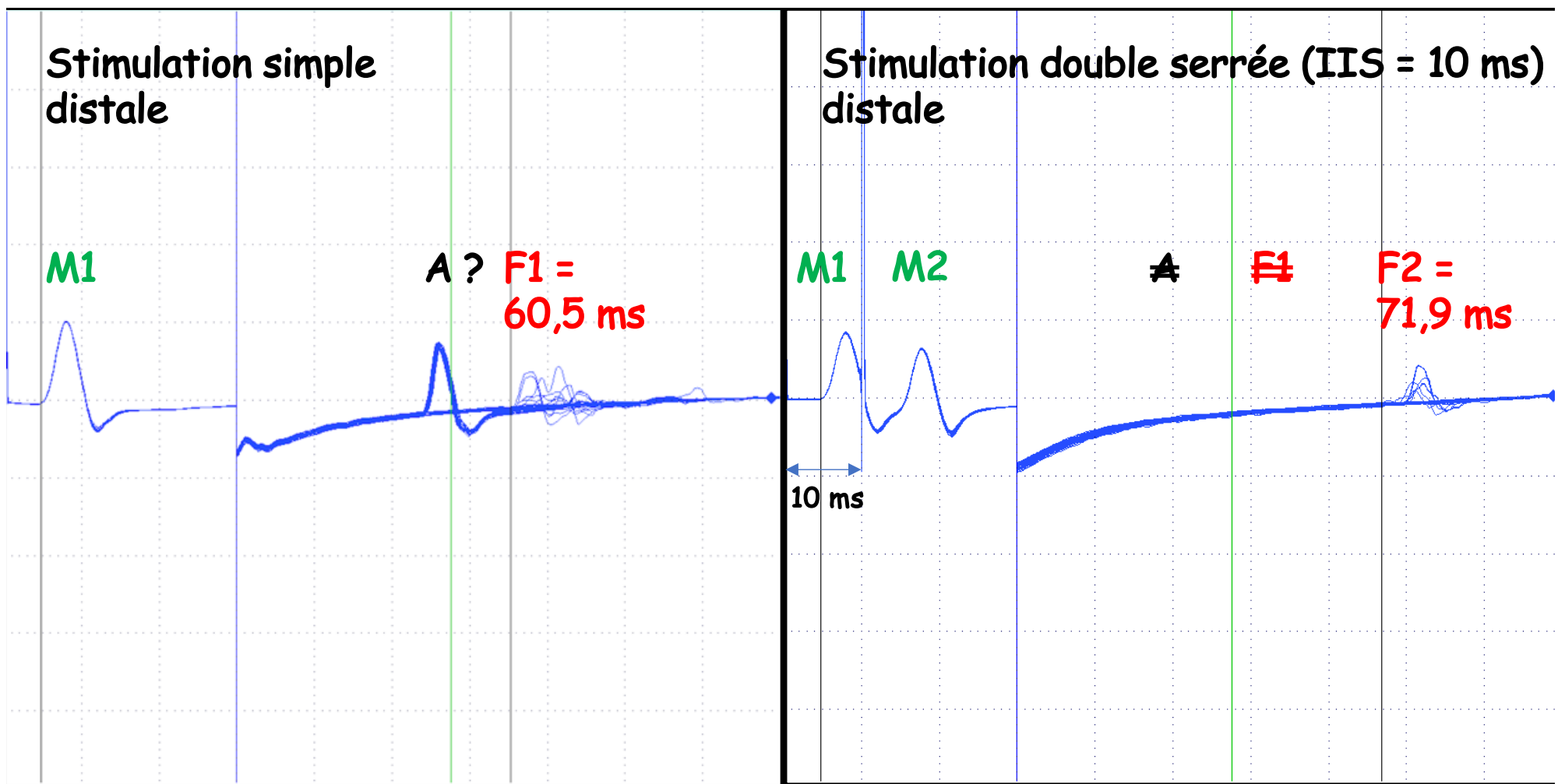
- La latence est plus courte lorsque la stimulation est plus proximale
21,7 ms vs 35,3 ms

$VCP = (2 \times 45) / 21,7 = 41 \text{ m/s}$
=> la conduction motrice du nerf médian est plus ralentie distalement que proximement

Amplitude de l'onde F



- Amplitude F max exprimées relativement à M max
- <10%
- Si > 10%
 - PUM de taille augmentée
 - levée d'inhibition d'origine centrale (ex. **SLA**)

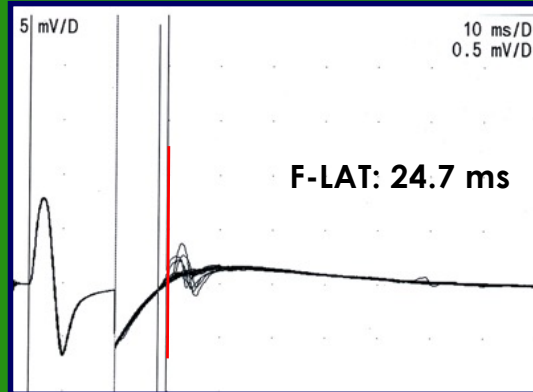


Lorsque 2 trains se suivent sur une voie unique, le premier ne peut pas faire demi-tour sans entrer en collision avec le second (Pierre Soichot)

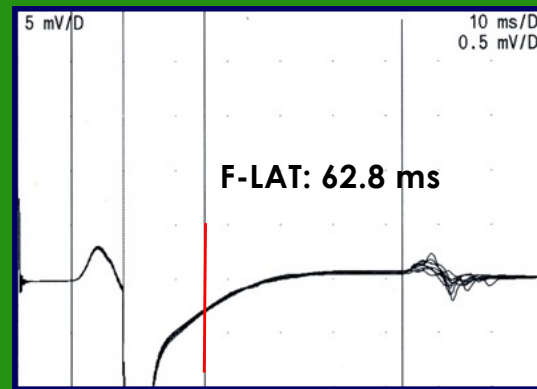
Lors d'un double-choc serré (IIS = 10 ms) :

- les ondes F induites par le premier choc rentrent en collision avec les influx antidromiques générés par le second choc
- les ondes A, qui sont souvent des décharges doubles indirectes, disparaissent
- par contre, les RAM résistent

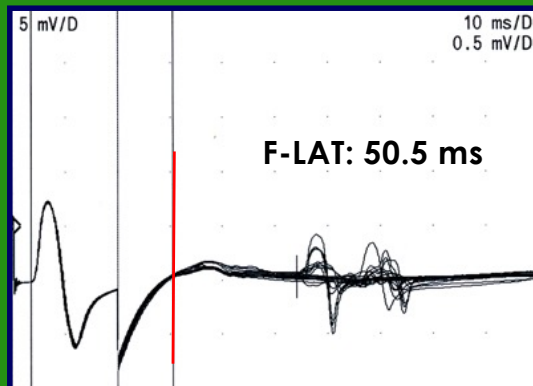
Normal



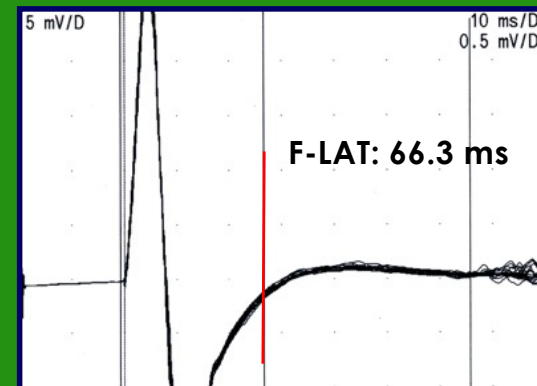
CMT1a



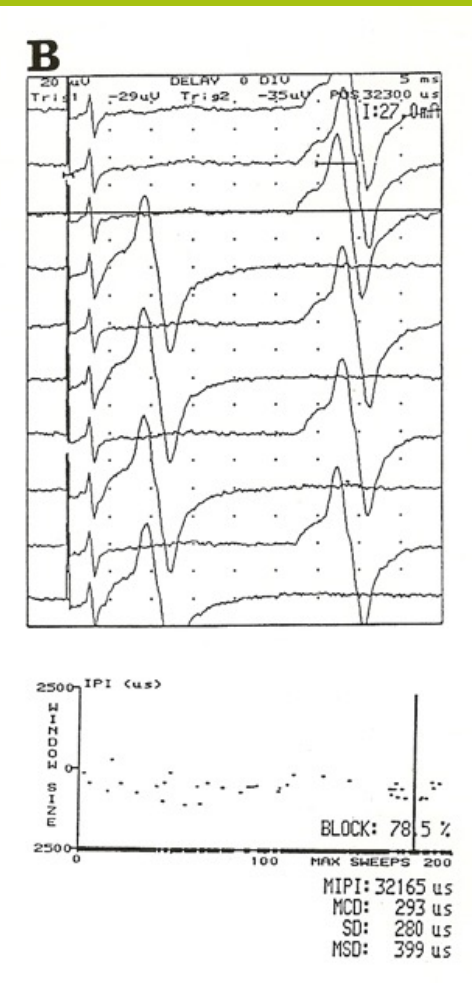
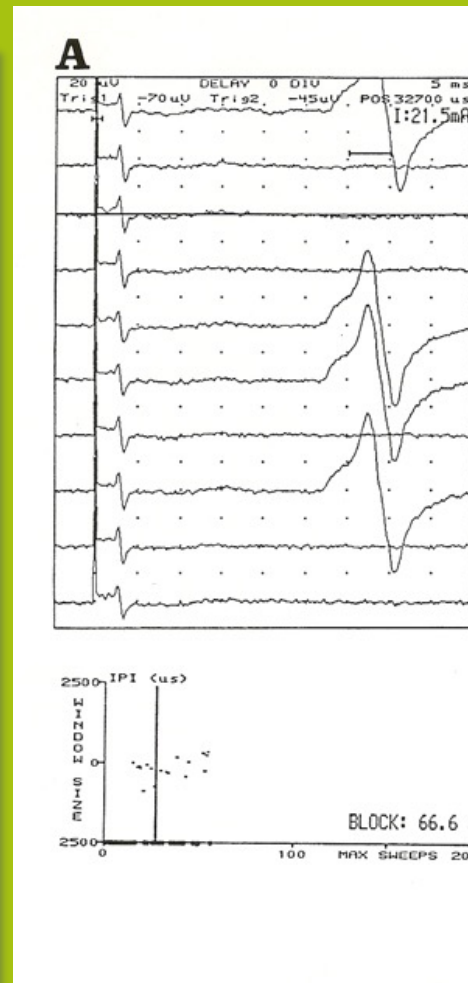
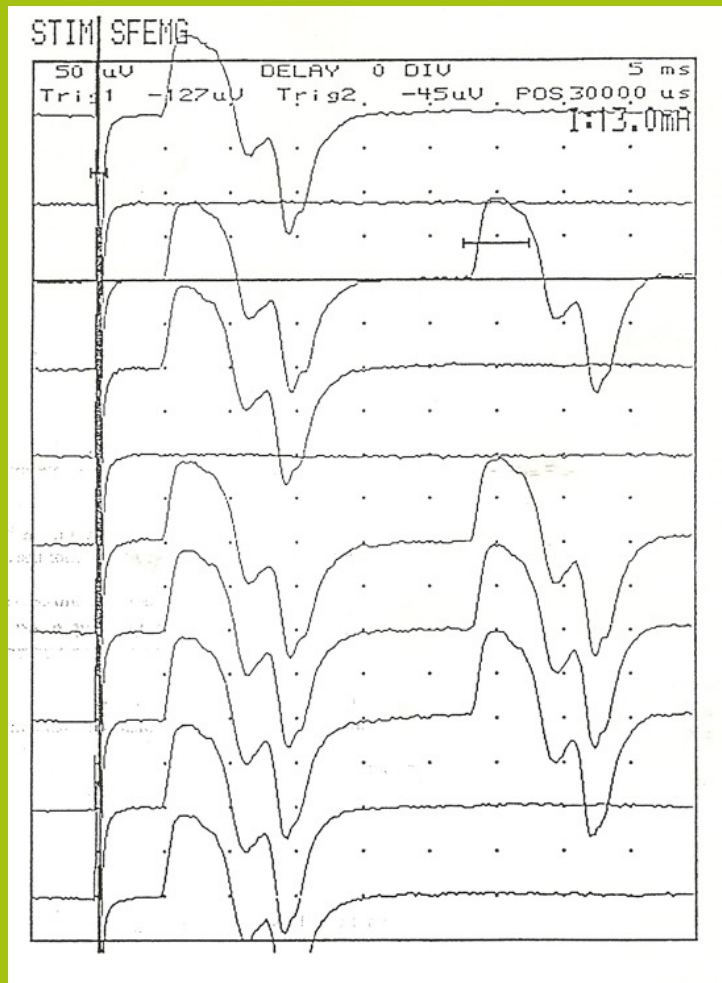
PRNC



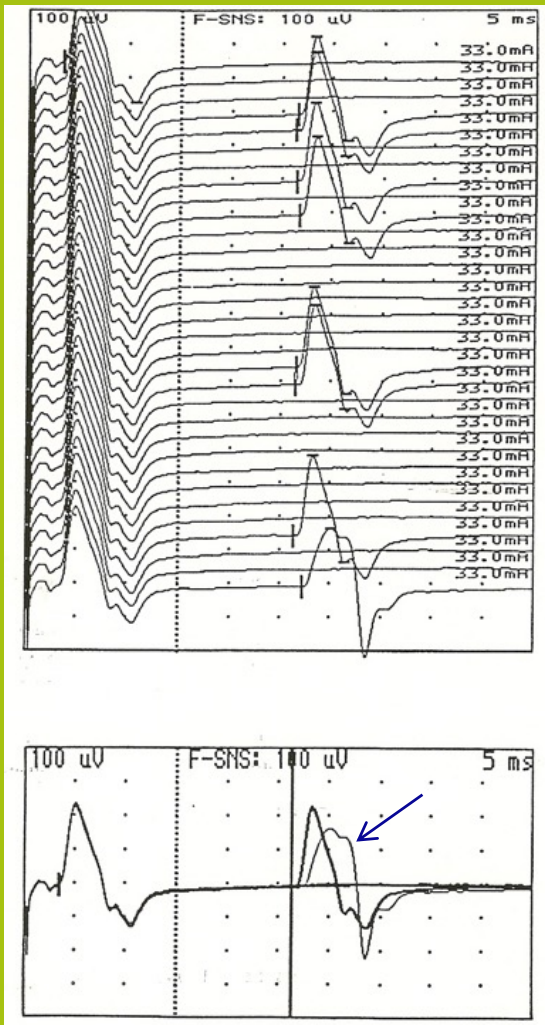
DADS



L'onde F unitaire vs la réponse H unitaire

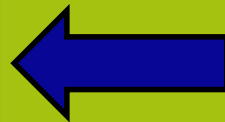


F et H : chocs sous-maximaux



Enregistrement de surface

- ① réponse F unitaire
- ② réponses précoces et tardives de morphologie identique => un seul axone moteur alpha impliqué
- ③ une réponse tardive de morphologie distincte de la réponse précoce => activation d'un autre motoneurone par voie réflexe = réflexe H



Réflexe H S1

- Stimulation n. tibial au creux poplité
- Détection : m. soléaire
- VCP ou Index H
- Hmax/Mmax entre 30 et 70%

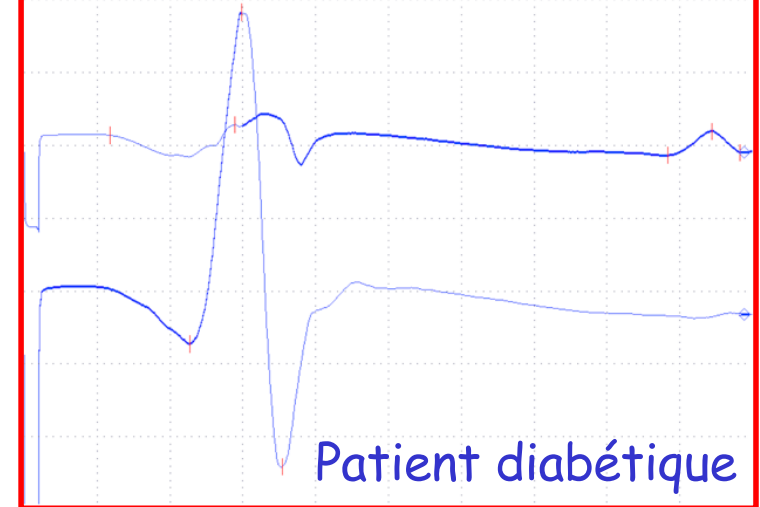
Réflexe H L3L4

- Stimulation n. fémoral au creux inguinal
- Détection : m. quadriceps
- Latence < 20 ms
- Hmax : ratio G/Dr > 1/5

Réflexe H (C6)C7

- Stimulation n. médian au coude
- Détection : m. fléchisseur radial du carpe
- Latence < 20 ms
- Hmax : ratio G/Dr > 1/5

| Site | H-M Lat [ms] | Amp [mV] | HLat [ms] | H/M Ratio | H Index |
|---------------|--------------|----------|-----------|-----------|---------|
| Creux poplité | 35.8 | 0 | 47.2 | 0 | 54.6 |



Ondes T

| | VCP : taille X k / latence moyenne (DS) ; LIN | | |
|-------------------------------------|--|--------------------------|--------------------------|
| Muscle cible (racines) | k | 19-49 ans | 50-80 ans |
| Rectus femoris (L3L4) | 8 | 67,8 (3,6) ; 60,6 | 66,7 (3,4) ; 59,9 |
| Soleus (S1) | 12 | 61,2 (2,6) ; 56,0 | 58,1 (2,8) ; 52,5 |
| Triceps (C7) | 5,4 | 65,1 (3,1) ; 58,9 | 64,3 (3,1) ; 58,1 |
| Biceps (C6) | 5,2 | 65,4 (3,0) ; 59,4 | 64,8 (3,1) ; 58,6 |
| Flexor carpi radialis (C7) | 7 | 58,6 (2,6) ; 53,4 | 57,4 (2,9) ; 51,6 |

Onde F D1

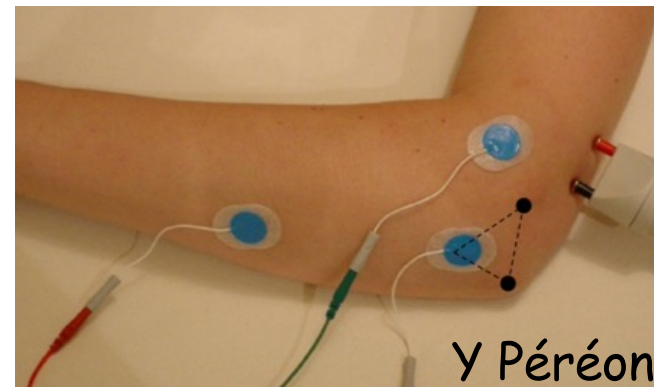
- Stimulation n. médian au poignet à 8 cm de G1
- Détection : m. abd pollicis brevis
- LSN (F-M) = $-7,189 + (0,033 \times \text{âge}) + (0,169 \times \text{taille}) + (2 \times 1,04)$
(H & F > 14 ans)
- LSN (F-M) = $3,78 + (0,108 \times \text{taille}) + (2 \times 0,95)$
(3-14 ans)

Onde F C8

- Stimulation n. ulnaire au poignet à 8 cm de G1
- Détection : m. abd digiti minimi
- LSN (F-M) = $-5,966 + (0,033 \times \text{âge}) + (0,168 \times \text{taille}) + (2 \times 1,07)$
(H > 20 ans)
- LSN (F-M) = $-6,635 + (0,033 \times \text{âge}) + (0,168 \times \text{taille}) + (2 \times 1,07)$
(F > 20 ans)
- LSN (F-M) = $2,525 + (0,12 \times \text{taille}) + (2 \times 1,27)$
(3-20 ans)

Onde F C7

- Stimulation n. radial au coude
- Détection : m. anconé
- Latence < 21,3 ms



Onde F S1

- Stimulation n. tibial à la cheville à 8 cm de G1
- Détection : m. abd hallucis
- LSN (F-M) = $-28,988 + (0,126 \times \text{âge}) + (0,408 \times \text{taille}) + (2 \times 2,47)$
(H > 20 ans)
- LSN (F-M) = $-38,966 + (0,131 \times \text{âge}) + (0,469 \times \text{taille}) + (2 \times 2,4)$
(F > 20 ans)
- LSN (F-M) = $-4,145 + (0,275 \times \text{taille}) + (2 \times 2,11)$
(3-20 ans)

Onde F L5

- Stimulation n. péronier à la cheville à 8 cm de G1
- Détection : m. court extenseur des orteils
- LSN (F-M) = $-24,467 + (0,126 \times \text{âge}) + (0,378 \times \text{taille}) + (2 \times 2,427)$
(H & F > 14 ans)
- LSN (F-M) = $-3,809 + (0,273 \times \text{taille}) + (2 \times 2,26)$
(3-14 ans)

Syndrome de Guillain-Barré

(Bouche & Cathala, 1986 ; Ropper *et al.*, 1990)

- Anomalies précoces
- Absence des ondes F
(ou moindre persistance) : **n. tibial !**
- Latence augmentée
- Dispersion augmentée

Critères électrophysiologiques de SGB
(Hadden *et al.*, 1998)

Y Péréon

1. Normal
(All the following in all nerves tested)
 - ▶ DML $\leq 100\%$ ULN
 - ▶ F-wave present with latency $\leq 100\%$ ULN
 - ▶ MCV $\geq 100\%$ LLN
 - ▶ Distal CMAP $\geq 100\%$ LLN
 - ▶ Proximal CMAP $\geq 100\%$ LLN
 - ▶ Proximal CMAP/distal CMAP ratio > 0.5
2. Primary demyelinating
(At least one of the following in each of at least two nerves, or at least two of the following in one nerve if all others inexcitable and distal CMAP $\geq 10\%$ LLN)
 - ▶ MCV $< 90\%$ LLN (85% if Distal CMAP $< 50\%$ LLN)
 - ▶ DML $> 110\%$ ULN (120% if Distal CMAP $< 100\%$ LLN)
 - ▶ Proximal CMAP/distal CMAP ratio < 0.5 and distal CMAP $\geq 20\%$ LLN
 - ▶ F-response latency $> 120\%$ ULN
3. Primary axonal
 - ▶ None of the above features of demyelination in any nerve (except one demyelinating feature allowed in one nerve if distal CMAP $< 10\%$ LLN) and
 - ▶ Distal CMAP $< 80\%$ LLN in at least two nerves
4. Inexcitable
 - ▶ Distal CMAP absent in all nerves (or present in only one nerve with distal CMAP $< 10\%$ LLN)
5. Equivocal
 - ▶ Does not exactly fit criteria for any other group

CMAP, compound muscle action potentials; DML, distal motor latency; LLN, lower limit of normal; MCV, motor conduction velocity; ULN, upper limit of normal.

PRNC

(Critère EFNS, 2021)

- Latence augmentée $\geq 20\%$ par rapport à la LSN au niveau de 2 nerfs ($\geq 50\%$ si l'amplitude du PAGM distal $< 80\%$ de la LIN)
- Absence des ondes F au niveau de 2 nerfs (si l'amplitude du PAGM distal $> 20\%$ de la LIN)

TABLE 2 Motor nerve conduction criteria

(1) Strongly supportive of demyelination:

At least one of the following:

- (a) Motor distal latency prolongation $\geq 50\%$ above ULN in two nerves (excluding median neuropathy at the wrist from carpal tunnel syndrome), or
- (b) Reduction of motor conduction velocity $\geq 30\%$ below LLN in two nerves, or
- (c) Prolongation of F-wave latency $\geq 20\%$ above ULN in two nerves ($\geq 50\%$ if amplitude of distal negative peak CMAP $< 80\%$ of LLN), or
- (d) Absence of F-waves in two nerves (if these nerves have distal negative peak CMAP amplitudes $\geq 20\%$ of LLN) + ≥ 1 other demyelinating parameter^a in ≥ 1 other nerve, or
- (e) Motor conduction block: $\geq 30\%$ reduction of the proximal relative to distal negative peak CMAP amplitude, excluding the tibial nerve, and distal negative peak CMAP amplitude $\geq 20\%$ of LLN in two nerves; or in one nerve + ≥ 1 other demyelinating parameter^a except absence of F-waves in ≥ 1 other nerve, or
- (f) Abnormal temporal dispersion: $> 30\%$ duration increase between the proximal and distal negative peak CMAP (at least 100% in the tibial nerve) in ≥ 2 nerves, or
- (g) Distal CMAP duration (interval between onset of the first negative peak and return to baseline of the last negative peak) prolongation in ≥ 1 nerve^b + ≥ 1 other demyelinating parameter^a in ≥ 1 other nerve
 - (LFF 2 Hz) median > 8.4 ms, ulnar > 9.6 ms, peroneal > 8.8 ms, tibial > 9.2 ms