

NPC - ENMG

# Neurophysiologie Clinique

## Electroneuromyographie

Pierre  
Guihéneuc

3F3

## Réflexe H et ondes F

<b>A : Introduction</b>	<b>2</b>
A1 - Que signifient 'H' et 'F' ?	
A2 - Le circuit des réflexes T et du réflexe H.	
A3 - Les ondes F : un mécanisme très différent !	
<b>B : Technique</b>	<b>3</b>
B1 - Comment installer le patient ?	
B2 - Préparer l'enregistrement.	
B3 - Stimulation électrique.	
B4 - La manœuvre de Jendrassik.	
<b>C : Comment différencier un réflexe H d'une onde F ?</b>	<b>5</b>
C1 - Le Soléaire, versus tous les autres muscles.	
C2 - Réflexe H : une courbe de recrutement en pain de sucre.	
C3 - Ondes F : un recrutement faible, aléatoire, en plateau.	
<b>D : Le Réflexe H du Soléaire: réalisation pratique.</b>	<b>6</b>
D1 - Enregistrement	
D2 - Mesures d'amplitude et de latence.	
D3 - Calcul de la Vitesse Réflexe H	
<b>E : Ondes F : réalisation pratique.</b>	<b>7</b>
E1 - Enregistrement.	
E2 - Mesure des latences.	
E3 - Calcul des Vitesses Ondes F.	
<b>F : Installation muscle par muscle et voies nerveuses explorées.</b>	<b>9</b>
F1 - Aux membres inférieurs.	
F2 - Aux membres supérieurs.	
<b>G : Valeurs normales et intérêt pratique.</b>	<b>10</b>
G1 - Valeurs normales chez l'adulte.	
G2 - Evolution des vitesses en fonction de l'âge.	
G3 - Réponses T, H, ou F : lesquelles privilégier ?	
G4 - Intérêt de ces réponses en électrophysiologie clinique.	
<b>H : Sources documentaires</b>	<b>11</b>

Neurophysiologie  
Clinique

Nantes

Edition mai 2008

**Avertissement :** Ce document vous est proposé comme une aide à l'utilisation des matériels et à la maîtrise des techniques d'électrophysiologie. Il est perfectible et peut contenir des erreurs. Il ne dispense aucun lecteur d'acquérir la formation professionnelle clinique et technique adaptée; de rechercher des informations plus spécialisées ; de participer aux réunions de Formation Permanente des Sociétés de Neurologie et de Neurophysiologie Clinique; ni de suivre les recommandations de la Haute Autorité en Santé.

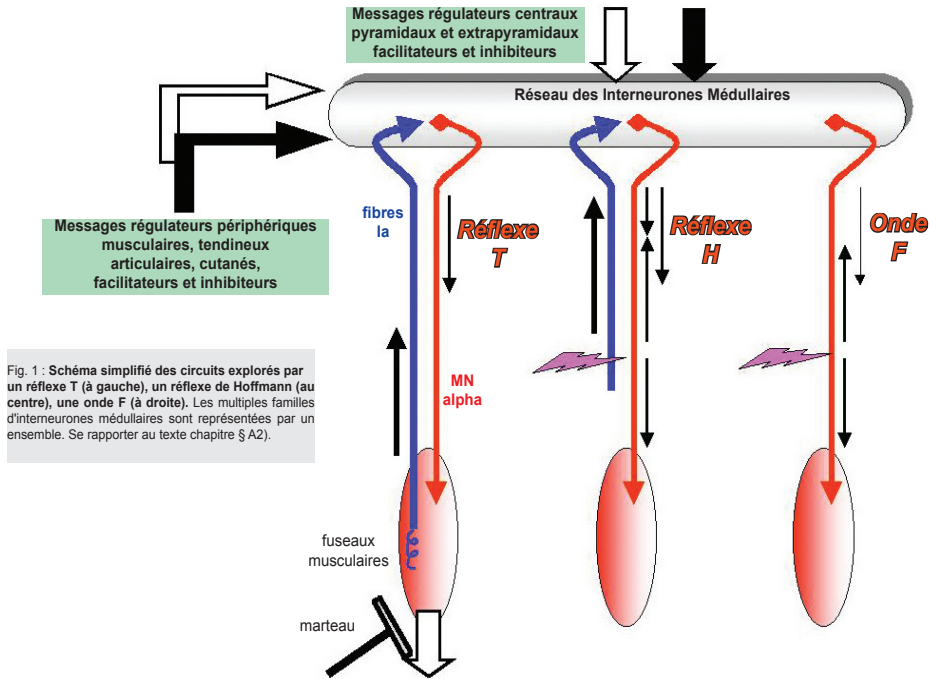


Fig. 1 : Schéma simplifié des circuits explorés par un réflexe T (à gauche), un réflexe de Hoffmann (au centre), une onde F (à droite). Les multiples familles d'interneurones médullaires sont représentées par un ensemble. Se rapporter au texte chapitre §A2).

## ☒ A : INTRODUCTION

### A1 - Que signifient 'H' et 'F' ?

Les contractions musculaires déclenchées par la percussion des tendons étaient connues des Neurologues depuis 1875 (Erb, Westphal). Mais il fallut attendre 1910 pour un premier enregistrement électromyographique de ces réponses "T" (Dodge et Bull). Dans les mêmes temps, Sherrington montrait qu'il s'agissait bien d'un arc réflexe mis en jeu par un allongement bref du muscle : le réflexe tendineux devenait donc "myotatique" (ou stretch reflex). Quelques années plus tard, en 1918, Hoffmann obtenait une réponse semblable, non pas en percutant un tendon, mais en stimulant électriquement le nerf connecté au muscle étudié : on appela cette réponse le réflexe de Hoffmann ou réflexe H. Il faudra attendre encore près de 50 ans avant que cette technique soit utilisée pour l'étude des nerfs périphériques (Liberson, 1963).

Dans les années 50, tandis que Paillard en France réalisait une expérimentation systématique du réflexe H, Magladery et Mc Dougall, à Baltimore, mettaient en évidence dans les muscles des pieds, une réponse de latence comparable, mais de beaucoup plus petite amplitude, la réponse F (pour foot, pied en anglais). Après de nombreuses expériences et autant de débats, on reconnut que la nature de cette réponse F était totalement différente de celle d'un réflexe H (voir ci-après §A3). Ce qui n'empêcha pas de l'utiliser pour l'étude des neuropathies périphériques, surtout après les travaux de Kimura en 1974.

### A2 - Le mécanisme des réflexes T et du réflexe de Hoffmann (fig.1). (←1B4 §G1)

Un choc brusque sur un tendon produit un étirement bref du muscle, et l'excitation de capteurs complexes, disposés parallèlement aux fibres musculaires, les fuseaux neuro-musculaires. À l'intérieur de ceux-ci, la phase dynamique de l'étirement dépolarise les terminaisons spiralées de tres grosses fibres afférentes, les fibres la, qui gagnent la moelle en entrant par les racines postérieures. En 1943, Lloyd a montré que, dans la moelle, les axones des fibres la entrent en contact direct (une seule synapse) avec les fibres motrices qui commandent la contraction du muscle dont sont issues les fibres la. (Par exemple, les fibres la provenant du Soléaire contactent les motoneurones destinés au muscle d'origine, aux muscles agonistes (gastrocnémiens médial et latéral, jambier postérieur, dans l'exemple choisis), et une influence inhibitrice sur les muscles antagonistes (releveurs du pied et des orteils, dans le même exemple). La mise en jeu de ce circuit réflexe mono- et pauci-synaptique, provoqué par le choc du marteau sur le tendon, entraîne une contraction brève du muscle (réflexe tendineux). Le signal électrique correspondant à l'excitation des fibres musculaires peut être enregistré avec des électrodes de surface : ce sont les réflexes T, qu'il est tout à fait possible et intéressant d'explorer en électromyographie (←3F2) \*.

Le réflexe H du Soléaire est obtenu en stimulant électriquement les fibres la parties de ce muscle au niveau du nerf Tibial, dans le creux poplité. L'arc réflexe est ensuite le même que celui emprunté par le réflexe T achilléen, mais :

- on court-circuite les fuseaux neuro-musculaires, ce qui induit 2 conséquences : a - la stimulation part du creux poplité et non du muscle soléaire : la latence du réflexe H est donc plus courte que celle du réflexe T. b - les variations de sensibilité des fuseaux, dues à leur contrôle par les motoneurones gamma, n'entrent plus en ligne de compte :
- la stimulation électrique du nerf tibial atteint les fibres la qui montent vers la moelle, mais aussi les motoneurones alpha qui descendent commander la contraction musculaire : ceci explique que la réponse H décroît quand la réponse M augmente (démonstration et explication, voir : courbe de recrutement du réflexe H ci-dessous fig.3).

Hormis ces différences, les circuits interrogés par les réflexes T et H sont donc semblables, et comportent à la fois une voie ascendante par de grosses fibres la, dont la VCN est de 60 à 80 m/s; une synapse médullaire franchie en 0.5 ms; et la voie descendante des motoneurones alpha conduisant à 40-60 m/s. Les 2 types de réflexes partagent aussi les influences facilitatrices ou inhibitrices exercées sur la terminaison des fibres la et sur les motoneurones par les interneurones médullaires : ceux-ci reçoivent des messages des organes périphériques (muscles, tendons, articulations, peau), et des commandes centrales (réticulée, noyaux vestibulaires, cervelet, cortex). Par exemple, quand les nerfs réticulaires du tronc cérébral sont mis en alerte par un effort d'attention, un calcul mental, ou par des messages facilitateurs venant des membres au cours d'une manœuvre de Jendrassik, le gain des circuits réflexes est augmenté pendant un temps très court, mais la variation d'amplitude du réflexe T est plus forte, en raison de l'augmentation de gain des fuseaux neuromusculaires produite par les motoneurones gamma.

\* Ce type d'indication renvoie vers un autre document du dossier "NPC - ENMG"

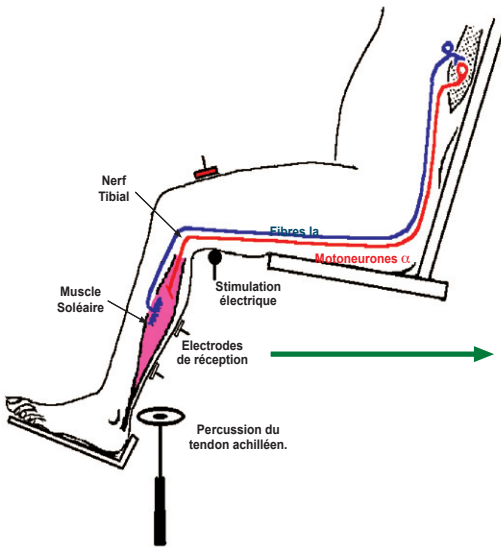
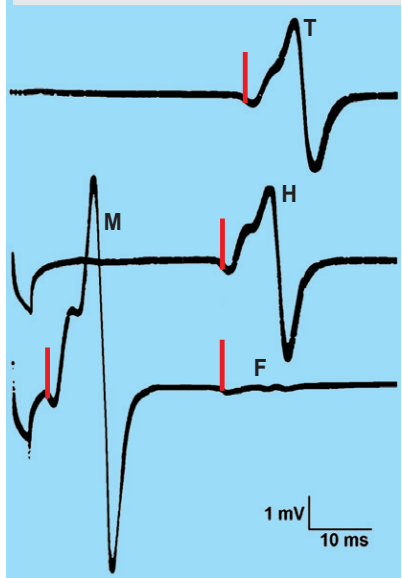


Fig. 2 A, ci-dessus : Montage et positions segmentaires pour l'enregistrement des réponses T, H, et F du muscle Soléaire. Le sujet est assis dans un fauteuil surélevé. La percussion du tendon achilléen est faite avec un marteau muni d'un dispositif de synchronisation. La stimulation électrique du nerf Tibial est effectuée ici en monopolaire (cathode dans le creux poplité, anode à la face antérieure du genou); dans les conditions habituelles des examens emg, elle est généralement portée avec une pièce à main bipolaire.

Fig. 2 B : Enregistrement des réflexes T et H du Soléaire (2 traces supérieures : noter les différences de latence). Lorsque la stimulation est supramaximale (trace inférieure), la réponse directe motrice M n'est suivie que d'une très petite onde F, à peine visible avec cette amplification, survenant à la même latence que celle du réflexe H.



### A3 - Les ondes F : un mécanisme très différent

Les réponses F sont également obtenues par stimulation électrique (par ex, en stimulant le nerf tibial au creux poplité quand on enregistre sur le Soléaire). Mais elles persistent quand on sectionne les racines postérieures et toutes les voies afférentes : donc **ce ne sont pas des réflexes**. La stimulation électrique provoque un message qui, en même temps qu'il descend orthodromiquement vers le muscle et produit une réponse M, remonte antidromiquement sur les motoneurones jusqu'à l'entrée de leur corps cellulaire dans la corne antérieure, est "réfléchi" à ce niveau sur un petit nombre de motoneurones, et redescend vers le muscle générant une onde F.

L'enregistrement des ondes F permet donc comme les réflexes T et H, d'explorer la vitesse de conduction sur les zones proximales et les racines des nerfs, **mais uniquement sur les motoneurones** : elles ne concernent pas les voies sensibles afférentes, et **uniquement sur un petit nombre d'entre eux (environ 5%)**, ce qui rend leurs changements d'amplitude très peu significatifs et difficilement utilisables en pathologie. Plusieurs arguments expérimentaux indiquent que c'est une fraction des plus gros motoneurones, correspondant aux unités motrices rapides et fatigables, qui seraient seuls répondeurs pour les ondes F. En réalité, cette question n'est pas plus définitivement résolue que les mécanismes exacts contrôlant la réflexion (backfiring) du message sur la zone centrale des motoneurones.

## ✂ B : TECHNIQUE

### B1 - Comment installer le patient ?

**Pour l'enregistrement du réflexe H du Soléaire**, le mieux est de prévoir un **fauteuil surélevé**, qui détend le patient en lui donnant le sentiment de "dominer la situation", et permet au médecin d'explorer confortablement aussi bien le réflexe H que les réflexes T (fig.2A). Pour un patient qui ne peut être assis et qu'il faut examiner couché, toujours s'efforcer de respecter les angulations segmentaires optimales (genou à 110-120° et cheville à 90-100° environ) : **Pour un nourrisson ou un bébé, il est plus facile de le coucher sur le dos ou sur le ventre**. Le membre testé est tenu à la main par le médecin, ce qui facilite le contrôle du tonus musculaire.

En effet, l'étirement passif du muscle (extension ou flexion des articulations) modifie la position relative des sources de potentiel (les fibres musculaires) par rapport aux électrodes de surface. Un résultat similaire est obtenu lors d'une augmentation du tonus ou d'une contraction isométrique du muscle (les fibres musculaires se contractent tandis que s'allongent les fibres élastiques du muscle et du tendon). Il est donc **important**, en particulier lorsqu'on explore le réflexe H :

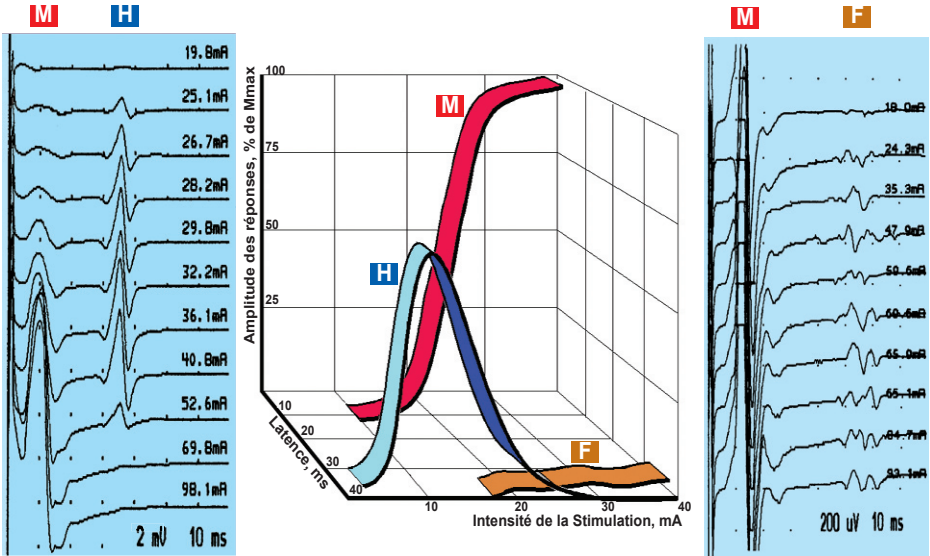
- **de respecter les angulations articulaires indiquées ci-dessus.**
- **de demander au patient de maintenir le muscle relâché, détendu.** On peut contrôler le tonus en activant le haut-parleur : on déclenche la stimulation quand le silence est obtenu.
- **Chez le bébé, le mieux est de tenir le membre à la main tout en se servant du haut-parleur** : on stimule quand le relâchement musculaire est obtenu.

L'étude des ondes F ne requiert pas de positionnement particulier des membres et s'effectue comme une mesure de VCN motrice à laquelle on l'associe souvent.

### B2 - Préparer l'enregistrement

Des **électrodes de surface** d'environ 40 mm<sup>2</sup> sont adéquates pour l'adulte. Il est préférable d'utiliser des électrodes séparées (et non pas groupées sur un bloc rigide) de façon à les positionner au mieux selon la longueur du muscle. Chez le nourrisson, de plus petites surfaces sont à privilégier. Qu'il s'agisse d'électrodes strappées ou autocollantes, **il faut toujours veiller à ce qu'elles soient fermement fixées**. Il est préférable de respecter une disposition telle que l'électrode active soit située en regard de la jonction neuromusculaire, et l'électrode de référence au niveau de la limite muscle-tendon. Contrôler et équilibrer l'impédance des 2 électrodes (moins de 20 kOhm pour un test à moins de 100 Hz).

Fig. 3 : **Courbes de recrutement des réponses M, H, et F.** A gauche, enregistrement sur le Soléaire d'un sujet normal : Lorsque l'intensité de la stimulation augmente (de haut en bas), le réflexe H apparaît en premier, grandit jusqu'à une amplitude maximale (Hmax) puis décroît tandis que la réponse M augmente. Quand cette réponse est maximale (Mmax), le réflexe H est éteint. Ces résultats sont présentés sous forme d'un graphique 3D ci-dessous. A droite, enregistrement de l'onde F sur le court extenseur des orteils d'un sujet normal. Noter que l'amplification est 10 fois plus forte que pour l'enregistrement du réflexe H. L'onde F apparaît pour un seuil de stimulation plus élevé que la réponse M. Sa forme et sa latence varient d'un choc à l'autre. Son amplitude demeure très faible, mais ne diminue pas lorsque la stimulation devient supra maximale. Sur le graphe 3D est représentée la courbe de recrutement de l'onde F du Soléaire.



**Régler les amplificateurs :** fréquence de coupure, pour le filtre basses fréquences, < 5 Hz ; filtre hautes fréquences > 5 KHz . Les machines modernes d'emg disposent de programmes spécifiques adaptés au recueil des réflexes H et des ondes F.

**L'écran est partagé en 2 zones d'amplification différente :** pour le début de la trace, destiné aux réponses M, on peut choisir un gain de 2 mV / div, qui sera ajusté ensuite en fonction de l'amplitude de la réponse; pour la zone droite de l'écran, on reste à 2 ou 1 mV / div si une réponse H est attendue, mais on doit passer à 200 ou 100 microV / div si une réponse F est sollicitée. La ligne de partage en 2 zones de l'écran peut être déplacée par l'opérateur. Base de temps : 10 ms/division aux membres inférieurs, 5ms / division aux membres supérieurs.

➤ Prévoir d'enregistrer **10 à 20 réponses consécutives en cascade** sur l'écran, soit pour étudier la courbe de recrutement d'une réponse H, soit pour évaluer la variabilité et les valeurs moyennes des réponses F. Les appareils d'emg proposent généralement une 2ème fenêtre d'écran sur laquelle les réponses consécutives apparaissent superposées : une présentation très utile pour mesurer amplitudes (rapport Hmax/Mmax) et latences.(fig.3 et 4)

### B3 - Stimulation électrique

Elle est appliquée le plus souvent en courant constant et avec une pièce bipolaire que l'on tient à la main (cathode et anode distantes de 2 cm environ). Cependant, lorsque le nerf à stimuler est profond, recouvert d'une épaisseur de tissu adipeux ou oedémateux (nerf tibial au creux poplité), **il peut être intéressant de stimuler en monopolaire** (cathode dans le creux poplité, anode de large surface sur la face avant du genou, (fig.2A) **et en voltage constant** : la stimulation est plus efficace, mais aussi plus douloureuse , et l'artefact de stimulation est plus ample. (plus de détails) **-3F1, 3F2**)

Pour l'enregistrement du réflexe H comme pour évoquer les ondes F, ne pas oublier que la stimulation doit induire un influx qui remonte vers la moelle, soit par les fibres la, soit de manière antidromique sur les motoneurones. **La cathode doit donc être placée sur le nerf à stimuler, en situation proximale** par rapport à l'anode qui sera elle en position latérale ou distale par rapport à la cathode.

Il est préférable d'utiliser des **chocs stimulants d'une durée de 0.5 ou 1 ms** : ces durées sont plus efficaces pour stimuler les fibres la et les motoneurones de plus gros diamètre (ceux qui correspondent aux unités motrices rapides, plus susceptibles de renvoyer ou "réfléchir" la stimulation récurrente). D'autre part, ils permettent de limiter l'intensité de stimulation et l'inconfort pour le patient.

**Dans le cas d'une étude du réflexe H.** ➤ **ne pas dépasser une fréquence de stimulation de 0.5 c/s**, de façon à ne pas saturer les synapses centrales et leur permettre de récupérer une efficacité normale entre 2 chocs. **Pour les ondes F, même recommandation : ne pas dépasser 0.5 c/s** : la zone initiale du motoneurone, dépolarisée par l'influx antidromique résultant de la stimulation, doit avoir le temps de se repolariser pour générer le message orthodromique qui repart vers le muscle.

### B4 - La manœuvre de Jendrassik

Quand chez un patient l'amplitude de la réponse H enregistrée est faible, on peut la faciliter par une manœuvre de Jendrassik, en demandant au patient de serrer brusquement les mains et/ou les dents. ➤ Il ne faut pas oublier que **le renforcement de la réponse survient de 300 à 600 ms suivant le début de la contraction** des mains ou des mâchoires, et que l'effet s'évanouit ensuite très vite ( **-3F2, 3F4**).

Cette manœuvre facilite aussi les réponses F, mais faiblement, avec un résultat variable, sans intérêt réel pour l'exploration des neuropathies périphériques. On peut aussi obtenir une facilitation des réponses H et F ➤ en demandant au patient une très légère contraction volontaire du muscle étudié.

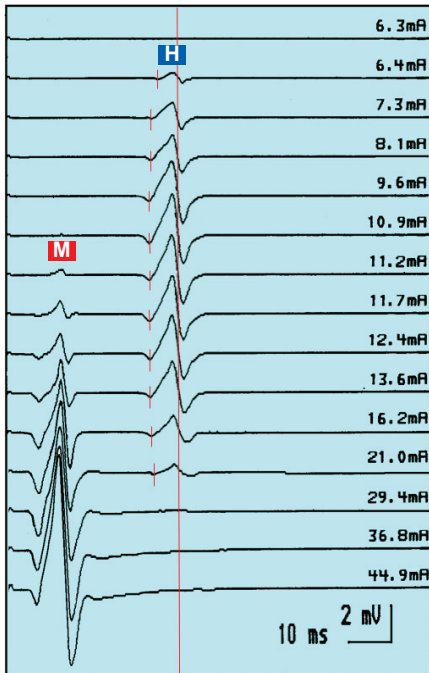


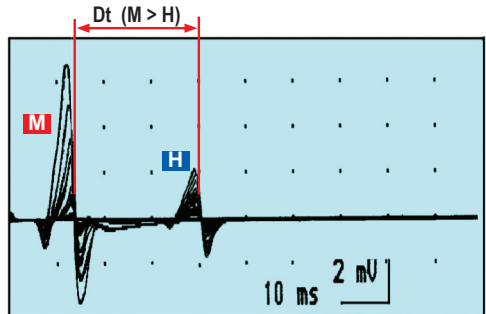
Fig. 4 : Mesures et calculs pour un réflexe H. Enregistrement sur le Soléaire d'un patient présentant un discret début de polyneuropathie démyélinisante. A gauche : traces en cascade, même amplification pour M et H. Noter la remarquable stabilité du point d'inversion de sens de la réponse H (ligne rouge continue), alors que la latence initiale de H est plus variable. Ci-dessous, courbes superposées : mesure du délai de M à H.

Patient ID 000567894 Age : 59 ans Taille : 1690 mm  
Côté : G Stimul. nerf : Tibial, creux poplité.  
Rec. muscle : Soléaire

Hmax : 3.8 mV Mmax : 10.8 mV Hmax/Mmax : 0.35  
Dt M>H : 26.5 ms

VCN Réfl. H :  $0.8 \times \text{Taille, mm} / \text{Dt M>H} - 1 \text{ms} = 53 \text{ m/s}$

Index H :  $(\text{Taille, cm} / \text{Dt M>H, ms})^2 \times 2 = 81$



### ☒ C : COMMENT DIFFERENCIER UN REFLEXE H D'UNE ONDE F ?

#### C1 - Le Soléaire, et tous les autres muscles

Un réflexe H a été décrit sur de nombreux muscles des membres inférieurs (Soléaire, mais aussi muscles plantaires, tibial antérieur, quadriceps) et des membres supérieurs (thénariens et hypothénariens, fléchisseur radial du carpe, rond pronateur, biceps brachial). En réalité, pour la pratique électrophysiologique clinique et l'étude des neuropathies périphériques, **seul le réflexe H du Soléaire est intéressant, parce qu'il présente chez tous les sujets normaux**. Pour les autres muscles cités ci-dessus, ou bien il est à la fois plus facile et plus informatif d'explorer le réflexe T (par exemple sur le quadriceps ou le fléchisseur radial du carpe), ou bien on n'enregistre le plus souvent chez l'adulte normal qu'une onde F, sauf à employer des procédures de facilitation (chocs conditionnants, légère contraction volontaire, épreuve d'attention). Mais de véritables réponses H apparaissent par contre dans ces muscles dès qu'une hyperexcitabilité centrale se développe (avec signe de Babinski, spasticité, etc)

Une onde F peut être obtenue sur presque tous les muscles des membres (fig.2B), spécialement les muscles distaux, mais encore sur les muscles de la face. La pratique clinique se suffit d'évoquer les ondes F sur les muscles des pieds, des jambes, et des mains. L'enregistrement sur les muscles plus proximaux des membres, pourtant mieux pourvus en unités motrices rapides, est souvent rendu plus difficile en raison d'une mauvaise discrimination entre la fin des réponses M et le début des ondes F.

#### C2 - Le réflexe H : une courbe de recrutement en pain de sucre

Quand on stimule le nerf Tibial au creux poplité, et qu'on enregistre les réponses du Soléaire en augmentant progressivement l'intensité de stimulation, on "recrute" d'abord une réponse réflexe H de faible amplitude, avec une latence voisine de 30 ms (fig.3 et 4). Le "seuil de recrutement" des fibres de la dé plus gros diamètre est normalement inférieur à celui des plus gros motoneurones. Lorsque croît l'intensité de stimulation, l'amplitude de la réponse H augmente, au prorata du nombre et de l'efficacité synaptique des fibres recrutées. Si l'intensité du choc augmente encore, la réponse H devient plus ample et atteint un maximum (Hmax), mais on atteint le seuil de stimulation des motoneurones alpha, et une réponse motrice directe M, de latence courte et voisine de 6 ms, apparaît. **A mesure que l'amplitude de la réponse M grandit avec l'intensité de la stimulation, on voit diminuer celle de la réponse H.** En effet, sur les motoneurones stimulés, en même temps que le message descend vers le muscle et produit la réponse M, un message remonte antidromiquement vers la moelle et la zone initiale de l'axone des motoneurones, où il éteint par collision l'influence de la volée afférente arrivée par les fibres la (fig.1). La réponse H semble également inhibée par des effets trans-synaptiques de l'activation antidromique. Dans ces conditions, seuls les motoneurones de plus faible diamètre, ou situés plus profondément dans le nerf, n'ont pas encore été atteints par la stimulation du nerf Tibial, et seuls ils peuvent continuer à conduire le message réflexe.

Quand la stimulation devient suffisamment intense pour exciter tous les motoneurones, la réponse M atteint une amplitude maximale qu'elle ne peut dépasser (Mmax), et la réponse réflexe H disparaît totalement. Il persiste cependant, à ce niveau de stimulation supramaximale, une réponse F de tres faible amplitude et de latence moyenne un petit peu supérieure à celle de la réponse H (+ 0.5 à 1.5 ms) (voir § C3). Ces résultats déterminent les **courbes de recrutement des réponses H et M** : les amplitudes des réponses (en Y) sont tracées en fonction de l'intensité de la stimulation (en X) et du temps (latences en Z, (fig.3).

#### C3 - Les ondes F : un recrutement faible, aléatoire, en plateau

Reprenons la même technique, mais en stimulant cette fois le nerf Péronier profond au cou-de-pied, et en enregistrant les réponses du Court extenseur des orteils. En augmentant l'intensité de stimulation, la réponse M survient la première, avec une latence voisine de 4 ms (fig.3, à droite). Une réponse tardive, en fait une onde F, n'apparaît que lorsque la réponse M a déjà une amplitude élevée. L'amplitude de cette réponse F augmente encore un peu tandis que la réponse M atteint son maximum, mais elle demeure tres faible, (environ 5% de M max), et surtout elle apparaît (ou non) de manière plus ou moins aléatoire, sa forme et son amplitude varient constamment d'une stimulation à l'autre; sa latence (environ 40 ms) fluctue et n'est pas stable comme celle d'une réponse H; elle ne disparaît pas à stimulation supra-maximale.

**Ce sont donc les différences de recrutement et de comportement qui permettent de différencier un réflexe H (dont l'amplitude augmente puis diminue quand la stimulation croît) d'une onde F (dont l'amplitude tres faible varie mais ne décroît pas nettement à stimulation supramaximale)**

## ☒ D : REFLEXE H DU SOLEAIRE : REALISATION PRATIQUE

### D1 - Enregistrement

Après avoir installé confortablement le patient, de préférence assis, genou à 110-120° et chevilles à 90-100° environ, fixer les électrodes de surface en regard du muscle Soléaire dans la ligne du tendon achilléen, l'électrode proximale à mi-distance des 2 extrémités du péroné, l'électrode distale sur le tendon d'Achille. La stimulation est appliquée sur le nerf Tibial (SP1) au creux poplité, avec des chocs de 0.5 ou 1 ms de durée :

- soit en bipolaire, cathode (-) sur le nerf, au milieu du creux poplité, 1 cm au-dessus du pli de flexion du genou ; anode (+) sur la berge externe du creux poplité.
- soit en monopolaire, cathode (-) comme précédemment, l'anode(+) est une large électrode à la face AV du genou (cf § B3). ☑ Ce mode de stimulation monopolaire donne les meilleurs résultats.

On augmente progressivement l'intensité de stimulation de manière à vérifier et enregistrer la totalité de la courbe de recrutement des réponses H et M. En pratique clinique, on peut en fait se contenter d'enregistrer quelques traces pour cerner la réponse Hmax, et une trace de la réponse Mmax.

### D2 - Mesures

Les mesures sont effectuées sur les traces enregistrées en cascade ou plus simplement sur les courbes superposées sur la fenêtre additionnelle (fig.4).

**Amplitudes** (des phases négatives ou de pic à pic) : on mesure l'amplitude H maximale et l'amplitude M maximale : **le rapport H max/M max** normal est proche de 0,50.

**Latences** : on mesure l'intervalle qui sépare la réponse M de la réponse H ( $dt M > H$ ), de préférence **entre les points d'inversion** (passage à zéro entre les phases négatives et positives des ondes). Cet intervalle est voisin de 24 ms chez un sujet de taille = 1.70 m. Chez un adulte, il augmente proportionnellement à la taille.

#### Questions-réponses :

**Pourquoi mesurer le rapport Hmax/Mmax et non l'amplitude de la réponse H ?** Ce rapport fournit une indication du pourcentage de motoneurones alpha destinés au Soléaire qui peuvent être excités par la stimulation des fibres Ia. Il est donc indépendant du nombre total de motoneurones du pool et peut demeurer normal lorsque seuls les motoneurones (et non les voies afférentes) sont lésés. Il a de ce fait été très utilisé pour évaluer le niveau d'excitabilité médullaire des motoneurones, dans toute une panoplie de paradigmes faisant varier les contrôles centraux et périphériques influençant ces motoneurones. Mais sa valeur absolue est biaisée par le fait que ne peuvent transmettre un message réflexe que les fibres Ia d'un diamètre plus grand que celui des plus volumineux motoneurones : le message est bloqué par collision avec l'influx récurrent sur les autres motoneurones (voir § C2).

Ainsi, **dans une polyneuropathie toxique aiguë**, par exemple au début d'un traitement par la Vincristine, l'atteinte préférentielle du segment distal des fibres Ia les plus volumineuses peut faire disparaître la réponse T du Soléaire, alors que la réponse H du même muscle, transmise par des fibres Ia encore préservées sur les segments plus proximaux du nerf Sciatique, conserve une amplitude réduite mais significative : dans ce cas, **la mesure du rapport Tmax/Hmax** du Soléaire, effondré lors des phases précoces de ces neuropathies toxiques, produit un bon argument en faveur du processus de dégénérescence axonale rétrograde (dying-back phenomenon).

**Au contraire, lors d'une récupération d'une axonopathie lente** comme le diabète, certaines fibres Ia qui régénèrent avec un diamètre axonal inférieur à celui des plus gros motoneurones, peuvent donner lieu à une réponse T nette, alors qu'elles sont bloquées par collision lors d'un réflexe H : dans ce cas, le rapport T / H peut être supérieur à 1.

**Pourquoi mesurer le délai entre M et H (dt M>H) et non la latence de la réponse H ?** : 1° - cette façon de procéder permet d'évacuer les retards de transmission à la jonction neuro-musculaire, comme on le fait pour une mesure de VCN Motrice; 2° - le délai mesuré correspond au temps de parcours par le message réflexe du trajet : creux poplité-moelle-creux poplité, soit 2 fois la distance du genou au niveau médullaire du réflexe (métamère S1, situé à peu près au niveau du disque D12-L1). On sélectionne ainsi la zone proximale du nerf, en excluant de la mesure les retards de transmission sur la zone distale (du genou au muscle).

**Pourquoi mesurer ce délai entre les points d'inversion de signe des réponses ?** Il est très facile de vérifier que, lorsqu'on augmente l'intensité de stimulation, ou si on demande une manœuvre de Jendrassik, la latence initiale des réponses diminue en même temps que leur amplitude augmente. Ceci correspond à une dépolarisation plus rapide des motoneurones par les messages synaptiques facilitateurs. Mais simultanément le point d'inversion demeure très stable : il correspond au moment de champ nul qui sépare l'activation en sens contraire des 2 électrodes de réception (fig.4). En pratique quotidienne, on constate qu'il est encore plus fiable de marquer **le point de plus grande vitesse du signal (pic de la dérivée)** dans le passage de la phase négative à la phase positive.

### D3 - Calcul de la vitesse réflexe H

Deux propositions pour ce calcul :

A - la mesure de la **VCN réflexe H, en m/s**, avec la formule :  **$0.80 * Taille, mm / (dt M>H - 1ms)$**  (la taille prise en compte est celle du sujet à l'âge de 20 ans)  
Valeur normale proche de 60 m/s chez l'adulte (fig.6) ; différence droite/gauche < 4 m/s.

B - la mesure de l'**index H**, en unités arbitraires, avec la formule :  **$[(Taille, cm) / (dt M>H)]^2 * x2$**  (la taille prise en compte est celle du sujet à l'âge de 20 ans)  
Valeur normale proche de 100 chez l'adulte; différence droite/gauche < 7

#### Questions-réponses :

**Pourquoi la taille et non la longueur réelle du trajet réflexe ?** Le temps de parcours de la voie réflexe (dt M>H) augmente avec la longueur du trajet. Mais cette longueur (distance du creux poplité à l'épineuse D12) est inaccessible à une mesure directe suffisamment précise. Or il a été démontré qu'elle est une fraction (0.80) presque constante de la taille du sujet, laquelle est une grandeur facile à mesurer. On sait aussi que l'erreur relative sur la distance diminue quand la grandeur mesurée augmente : on fait donc moins d'erreur sur la longueur du parcours réflexe en considérant la taille du sujet plutôt que, par ex., la distance séparant la crête iliaque de l'interligne articulaire du genou.

**Pourquoi la taille du sujet à 20 ans ?** L'extension maximale des voies nerveuses périphériques est atteinte à l'ultime fin de la croissance, entre 17 et 19 ans. Par la suite, cette longueur des fibres nerveuses ne changera pas, même si la taille de l'individu diminue en raison de maladies (ostéoporose et ostéomalacie), de phénomènes dégénératifs (arthrose intervertébrale, scoliose) ou de traumatismes divers. La taille mesurée d'une personne de 80 ans, voûtée et cythotique, n'est donc plus corrélée à la longueur réelle de ses circuits réflexes. Il faut alors "compenser" la mesure de la taille en s'enquérant de celle qu'elle présentait 60 ans auparavant, ou bien "redresser" virtuellement cette personne et estimer au mieux sa taille à 20 ans.

**Pourquoi soustraire 1 ms du délai (dt M>H) ?** L'intervalle séparant la réponse M de la réponse H correspond au temps de parcours du message sur les fibres Ia puis sur les fibres motrices, mais il inclut aussi le temps de passage de la synapse médullaire, que l'on doit donc déduire (- 1 ms) pour calculer la vitesse de conduction des seules voies afférentes et éférentes du circuit réflexe.

**Pourquoi cette formule de l'index H ?** Ce fut historiquement la 1ère formule proposée (1970). Elle n'indique pas une vitesse en m/s (noter d'ailleurs qu'on ne soustrait plus 1 ms du temps de parcours), mais une évaluation de la valeur conductrice du circuit par rapport à une norme (100, en unités arbitraires). Le résultat est donc un % de la normale. Il s'agit en fait d'une transformation parabolique d'une formule de vitesse, ce qui présente un avantage : lors d'une détérioration progressive altérant la conduction sur le circuit réflexe, l'index H diminue fortement quand la lésion est encore discrète ou modérée, augmentant la sensibilité de la détection par rapport à la VCN réflexe. Par exemple, une polyneuropathie qui réduit la VCN réflexe H de 60 à 50 m/s, se traduit simultanément par une chute de 100 à 72 de l'index H. En pratique, il peut cependant paraître plus simple et moins perturbant d'utiliser la formule A et d'exprimer toutes les VCN en m/s.

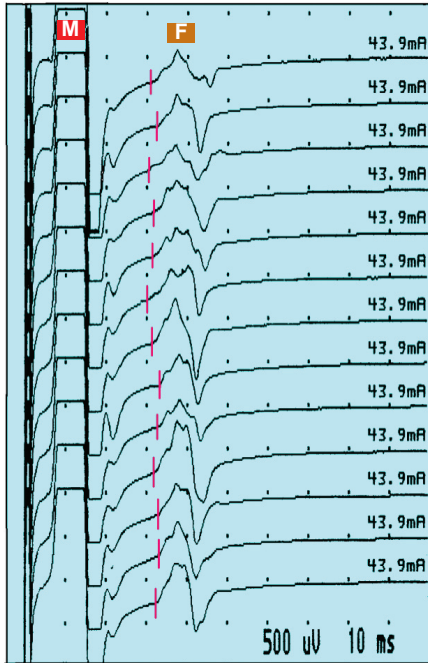
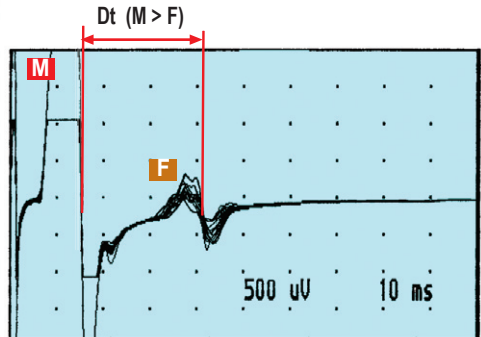


Fig. 5 : Mesures et calculs pour une Onde F. Enregistrement sur le Court abducteur du pouce d'un sujet adulte normal. On a utilisé une stimulation supramaximale constante et une même amplification pour toutes les traces et toutes les réponses. Ici encore, noter la relative stabilité du point d'inversion des ondes F (ci-dessous), alors que la forme et la latence initiale des réponses successives varie plus largement.

Patient ID 001383762 Age : 34 ans Taille : 1730 mm  
Côté : D Stimul. nerf : Médian, poignet.  
Rec. muscle : Court abducteur du pouce

Dt M>F : 25.5 ms

VCN Onde F :  $0.85 \times \text{Taille, mm} / \text{Dt M>F} - 1\text{ms} = 60 \text{ m/s}$



## ✂ E : ONDES F : REALISATION PRATIQUE

### E1 - Enregistrement

L'installation du patient est similaire à celle d'une mesure de VCN Motrice. Il faut cependant éviter les positions inconfortables : les messages articulaires, tendineux ou musculaires occasionnés par des tensions mécaniques "irritantes" peuvent rendre plus labile l'obtention des réponses F. On recommandera au patient de demeurer relaxé, sachant que des stimulations supramaximales répétées sont parfois moyennement tolérées.

Des ondes F peuvent être évoquées dans tous les muscles de l'organisme. Néanmoins, pour l'exploration des neuropathies périphériques, ne sont couramment utilisées que les réponses F des muscles des pieds (muscles Plantaires et Court extenseur des orteils); des jambes (Soléaire, Extenseurs des orteils); et des mains (Court abducteur du pouce, adducteur du 5e doigt)

Pour tous ces muscles, l'électrode proximale est placée en regard des jonctions neuro-musculaires, l'électrode distale sur la zone tendineuse. La stimulation est appliquée sur le nerf moteur du muscle exploré, avec des chocs de 0.5 ou 1 ms de durée. La stimulation est généralement bipolaire, cathode en position proximale.

On augmente assez vite l'intensité de stimulation de manière à vérifier d'abord que le muscle ne répond pas par un réflexe H (l'amplitude de la réponse tardive augmente puis diminue ensuite nettement : cette précaution technique, trop rarement effectuée, est indispensable, et pas seulement sur le Soléaire : une "contamination" de réponse supposée F par un authentique réflexe H, même faible, est la cause de multiples malentendus de la littérature : elle doit conduire à interpréter différemment l'amplitude, la persistance, et la vitesse de conduction sur le circuit exploré.

Une fois établi qu'il n'existe pas de réponse H, on stimule à intensité supramaximale, à 0.5 c/s ou en déclenchement aléatoire à la main, et on enregistre une dizaine de traces en cascade, sur l'écran partagé en 2 zones de gain différent (2 mV / div pour la réponse M; 0.2 mV ou un gain supérieur pour les réponses F). La superposition des traces sur une fenêtre additionnelle est très utile (fig. 5, en bas à droite).

### E2 - Mesures

**Amplitudes** : En électromyographie de routine, pour l'exploration des neuropathies périphériques, la mesure de l'amplitude des ondes F est sans intérêt, quelle que soit la façon dont cette amplitude est évaluée. On peut se contenter de jeter un oeil sur la cascade des ondes F enregistrées, et apprécier la plus ou moins grande stabilité de leur forme et leur "persistance" (% de traces avec une onde F présente). Des ondes F toujours présentes, trop monomorphes, et un peu trop amples, doivent faire suspecter un réflexe H méconnu, et éventuellement une hyperexcitabilité synaptique centrale (réinnervation en cours, syndrome pyramidal). Compte tenu de la grande variabilité de forme et d'amplitude des ondes F consécutives, les mesures d'amplitude et le calcul d'un rapport F/M n'ont pas lieu d'apparaître dans les CR d'emg.

**Latences** : on mesure l'intervalle qui sépare la réponse M de la réponse F (dt M > F). La superposition (et non le moyennage) des traces sur la fenêtre additionnelle de l'écran permet de repérer un point d'inversion que l'on retrouve à la fois sur les réponses M et les ondes F. Le déplacement manuel de curseurs rend alors facile la mesure d'un intervalle moyen entre M et F (fig. 5).

Certains appareils d'Emg fournissent automatiquement le calcul du délai (dt M > F) entre la latence initiale des ondes M et la latence initiale moyenne des ondes F. Cette méthode est acceptable, à condition de vérifier que l'appareil positionne correctement tous les marqueurs de latence sur les ondes F successives.

Fig 6 : Formules de calcul des VCN sur le trajet des réponses H et F, et résultats normaux chez l'adulte.

Stimulation nerf	Stimulation site	Reception muscle	dt M>F, ms ou dt M>H	Formule de calcul de la vitesse sur le trajet F ou H	VCN F ou H m/s
Médian	poignet	Court Abducteur du pouce	24,2 +/- 2,25	<b>0,85</b> * Taille, mm / (dt M > F) - 1 ms	<b>62,3</b> +/- 4,03 m/s
Ulnaire	poignet	Adducteur du Ve doigt	25,0 +/- 2,31	<b>0,85</b> * Taille, mm / (dt M > F) - 1 ms	<b>60,2</b> +/- 3,76 m/s
Médian	coude	Fléchisseur radial du carpe	16,5 +/- 2,40	<b>0,58</b> * Taille, mm / (dt M > F) - 1 ms	<b>63,6</b> +/- 6,56 m/s
Radial	bras	Extenseur commun des doigts	15,1 +/- 2,28	<b>0,51</b> * Taille, mm / (dt M > F) - 1 ms	<b>61,5</b> +/- 6,54 m/s
Péronier	cheville	Court extenseur des orteils	41,5 +/- 3,75	<b>1,20</b> * Taille, mm / (dt M > F) - 1 ms	<b>50,4</b> +/- 3,11 m/s
Tibial	cheville	Court abducteur de l'hallux	42,3 +/- 4,80	<b>1,20</b> * Taille, mm / (dt M > F) - 1 ms	<b>49,4</b> +/- 3,82 m/s
Péronier	col péroné	Extenseur de l'hallux	24,5 +/- 2,55	<b>0,80</b> * Taille, mm / (dt M > F) - 1 ms	<b>57,8</b> +/- 4,18 m/s
Tibial	creux poplité	Soléaire (onde F)	24,8 +/- 2,7	<b>0,80</b> * Taille, mm / (dt M > F) - 1 ms	<b>57,1</b> +/- 4,32 m/s
Tibial	creux poplité	Soléaire (réflexe H)	23,7 +/- 2,10	<b>0,80</b> * Taille, mm / (dt M > H) - 1 ms	<b>59,9</b> +/- 3,69 m/s

## Questions-réponses :

**Pourquoi mesurer l'intervalle de M à F, et non simplement la latence de F ?** pour des raisons similaires à celles exposées pour le réflexe H (voir § D2).

**Pourquoi mesurer ce délai entre les points d'inversion, et non au début des réponses ?** Le point d'inversion, bien que plus difficile à repérer pour les ondes F, manifeste une bien meilleure stabilité que la latence initiale des réponses, pourtant la plus souvent recommandée dans la littérature. Un peu d'expérience suffit à se rendre compte de la dispersion souvent importante des latences au début des ondes F successives, de sorte que la latence minimale et la latence maximale (sur 10 réponses consécutives) ont peu de sens. À la rigueur, le calcul de la moyenne des latences initiales est acceptable et donne des résultats voisins de la mesure directe du point d'inversion.

**Les autres mesures citées dans la littérature (chronodispersion, tachéodispersion, variance pondérée) des latences des ondes F ?** Elles traduisent le plus souvent la perplexité des auteurs devant les sautes d'humeur de latences F consécutives : elles conduisent à cette aberration d'imposer aux patients 50 à 200 stimulations supramaximales, sur plusieurs nerfs.....pour un bénéfice diagnostique quasi nul.

## E3 - Calcul des vitesses ondes F

Le trajet des ondes F est de longueur différente selon le muscle examiné. **Les formules doivent être adaptées pour chaque muscle**, et tenir compte du gabarit de chaque individu. Après avoir déterminé l'intervalle de temps (dt M>F, en ms) séparant les réponses M des ondes F, et la taille du sujet, on calcule, pour le muscle exploré :

A - **VCN onde F, en m/s**, avec la formule :  **$X * Taille, mm / (dt M>F - 1ms)$**

où X est le coefficient, différent pour chaque muscle et chaque point possible de stimulation, qui calcule la longueur du circuit F en fonction de la taille du sujet.

**La taille prise en compte est celle du sujet à l'âge de 20 ans.** Les différents coefficients et les valeurs normales sont indiqués fig. 6

**Alternativement**, beaucoup d'appareils d'emg offrent un module de calcul qui suppose une mesure directe de la longueur L du circuit (de l'épineuse C7 au point de stimulation pour les muscles des mains, de l'épineuse D12 au point de stimulation pour les muscles des pieds) et une mesure de l'intervalle entre M et F :

B - **VCN onde F, en m/s**, avec la formule :  **$2 * L, mm / (dt M>F - 1 ms)$**

La longueur du circuit parcouru par l'influx antidromique puis la réponse orthodromique correspond à 2 fois la distance mesurée (2 \* L) entre l'épineuse de C7 et le site de la stimulation pour les membres supérieurs, entre l'épineuse de D12 et le site de la stimulation, pour les membres inférieurs.

Les valeurs normales sont identiques à celles obtenues avec la formule A, mais la mesure de L est souvent plus difficile à obtenir que la taille du sujet.

## Questions-réponses :

**Pourquoi la taille et non la longueur réelle du trajet réflexe ? Pourquoi la taille du sujet à 20 ans ? Pourquoi soustraire 1 ms du délai (dt M>F) ?**

Se reporter aux réponses données pour le réflexe H : les arguments sont les mêmes, à l'exception de la soustraction de 1 ms qui ne correspond plus au temps de passage d'une synapse centrale, mais au délai de réexcitation du collet des motoneurones dépotarés par l'influx antidromique généré par la stimulation.

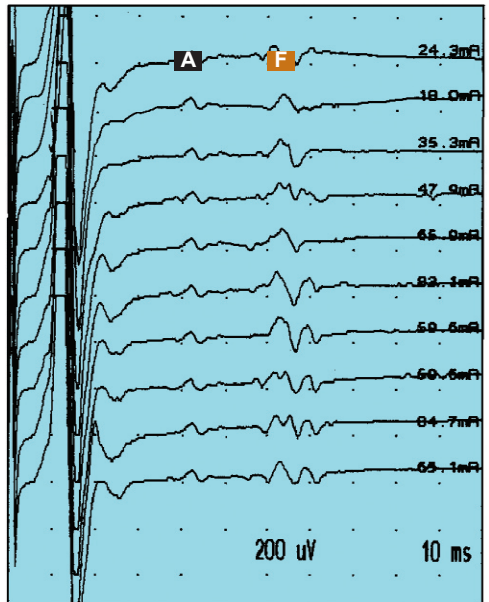
**Pour le Soléaire, la VCN onde F donne-t-elle le même résultat que la VCN réflexe H ?** Pas tout à fait : le délai (dt M>F) est statistiquement un petit peu plus long que le délai (dt M>H). Sur la voie "montante" des 2 circuits, les motoneurones conduisent moins vite que les plus grosses fibres la. Et surtout le temps de réexcitation du collet des motoneurones est plus long que le passage synaptique la>motoneurones. Cependant, la différence entre les 2 délais est faible (< 1 ms en moyenne) et sensiblement variable d'un individu à l'autre (- 0,5 à + 2,5 ms). En terme de vitesse comparée sur les 2 circuits, la différence moyenne est < 2,5 m/s.

**En pratique électrophysiologique clinique, on peut parfaitement négliger cette différence, au moins chez l'adulte, et considérer que VCN onde F du Soléaire et VCN réflexe H sont équivalentes (fig. 7).** Ne pas oublier cependant que les voies impliquées sont différentes (les ondes F n'explorent que les Motoneurones) et que seul le réflexe H peut donner lieu à une mesure d'amplitude qui ait un sens.



Fig. 8 : **Onde A précédant une onde F** : enregistrement effectué sur le court abducteur de l'hallux, après stimulation du nerf tibial à la cheville, chez un sujet ayant présenté un an auparavant une polyneuropathie dysimmunitaire avec une évolution favorable. Dt M>F : 51.2 ms ; VCN onde F : 40 m/s.

Noter la stabilité de forme et de latence de l'onde A, comparée à la variabilité de l'onde F d'une stimulation à l'autre.



**Qu'appelle-t-on une onde A ?** C'est un potentiel inattendu, qu'on voit survenir le plus souvent entre la réponse M et l'onde F, mais parfois superposée ou consécutive à celle-ci, avec laquelle il ne faut surtout pas la confondre (fig. 8). Son amplitude, sa forme et sa latence sont stables à des stimulations maximales successives, mais elle peut ne pas répondre à toutes les stimulations : ces caractères la différencient très nettement de l'onde F. Les ondes A sont rares dans les muscles des membres supérieurs, et observées surtout dans les muscles des pieds, chez le sujet âgé.

Leur mécanisme est variable : il peut s'agir de "queues" de PUM, analogues aux potentiels "satellites" que l'on observe en emg à l'aiguille, survenant parfois plus de 30 ms après le début de l'onde M. Ailleurs, on peut vérifier en déplaçant l'électrode de stimulation ou déclanchant 2 chocs rapprochés, qu'il existe une invasion récurrente d'une branche axonale (réflexe d'axone ou décharge double indirecte). Ces excitations hétérotopiques ne surviennent que sur des motoneurones antérieurement lésés, ayant partiellement récupéré, mais dont les réparations et les repousses axonales conservent une instabilité des potentiels de membrane et une propension de zones particulières aux décharges infraliminaires. (Voir sources documentaires, § H : réf. Soichot et Magristis,2004 )

## ☒ F : INSTALLATION MUSCLE PAR MUSCLE ET VOIES NERVEUSES EXPLORÉES

Les réponses F (et H pour le Soléaire) sont transmises par le nerf moteur du muscle exploré, et par les racines dans lesquelles se distribuent les motoneurones "répondeurs".

➤ **Aucune réponse n'a de voie strictement monoradiculaire** : on indique ci-dessous la ou les racines "dominantes" pour le muscle exploré.

### F1 – Aux membres inférieurs

- Triceps sural / soléaire** : stimulation au creux poplité ; électrode active en arrière du mollet, à mi-distance d'une ligne joignant le pli poplité au sommet du calcaneum ; électrode de référence équidistante de l'électrode active et du calcaneum. Le circuit réflexe emprunte le N tibial, le N sciatique et majoritairement la racine S1.
- Extenseur de l'hallux** : stimulation du nerf péronier (SPE) au col du péroné ; électrode active au 1/3 inférieure de jambe, à 2 cm de l'arête tibiale ; électrode de référence 4 cm plus distalement. L'onde F est véhiculée par le nerf péronier profond, le nerf sciatique, et surtout par L5.
- Court extenseur des orteils** : stimulation du nerf péronier profond au cou de pied ; électrode active sur le corps du muscle ; électrode de référence au bord externe du pied. L'onde F transite par le nerf péronier profond, le nerf sciatique, et par L5 et S1.
- Muscles Plantaires** : stimulation du nerf tibial en arrière de la malléole interne ; électrode active sur le corps du muscle court abducteur des orteils, au milieu du bord interne du pied ; électrode de référence sur la base de l'hallux. L'onde F transite par le nerf tibial, le nerf sciatique, et par S1 et S2.

➤ **Des stimulations plus proximales du nerf Sciatique sont possibles**, soit au pli fessier avec des électrodes de surface ou une aiguille au voisinage du nerf, soit au contact de l'épineuse L5 en monopolaire avec une cathode aiguille. Ces 2 sites de stimulation permettent une étude étagée de la conduction des ondes F, mais les stimulations de forte intensité avec une aiguille sont fréquemment mal supportées par les patients.

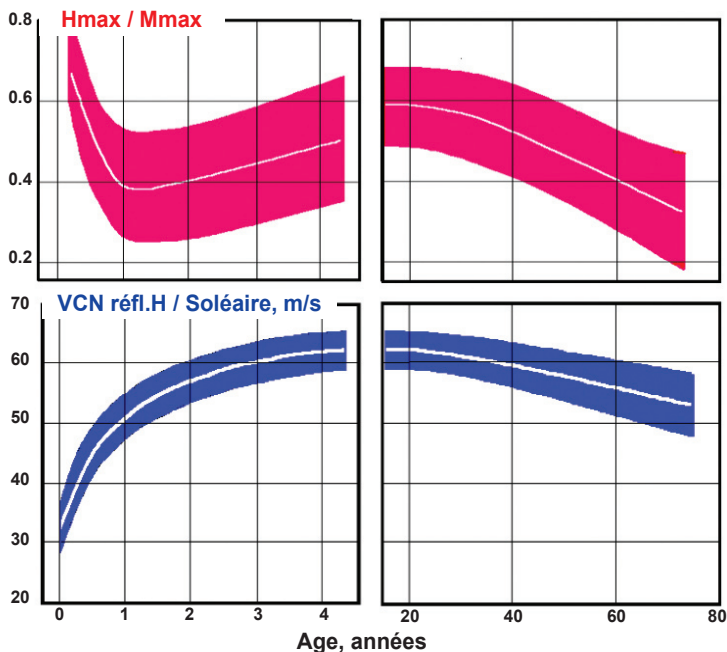
### F2 – Aux membres supérieurs

- Fléchisseur radial du carpe** : stimulation du nerf Médian au coude ; électrode active à mi-distance d'une ligne joignant l'épitrôchlée au milieu de la face avant du poignet ; électrode de référence équidistante de l'électrode active et du poignet. Le circuit réflexe emprunte le N Médian et les racines C6 et C8. Il n'est pas rare d'obtenir une véritable réponse H
- Extenseur commun des doigts** : stimulation du nerf radial à la face postérieure du bras, 6 cm au-dessus de la pointe de l'olécrane, avant-bras fléchi à 90° ; électrode proximale au milieu de la face postérieure de l'avant-bras ; électrode de référence en arrière du poignet. On explore le nerf Radial et C7.
- Court abducteur du pouce** : stimulation du nerf Médian au poignet ; électrode active sur le corps du muscle ; électrode de référence sur le pouce. Les ondes F empruntent le nerf Médian et majoritairement la racine C8.
- Adducteur du 5e doigt** : stimulation du nerf Ulnaire (Cubital) au poignet ; électrode active sur le corps du muscle, au bord interne de la main ; électrode de référence sur le bord interne de la racine du 5e doigt. Les ondes F sont transmises par le nerf Ulnaire et majoritairement la racine T1.

**Des stimulations plus proximales des troncs nerveux sont possibles** au coude et dans le creux axillaire. Au point d'Erb, la fin des réponses M se superpose au début des ondes F et n'autorise pas une mesure fiable des latences. Comme aux membres inférieurs, les stimulations très proximales n'ont pas prouvé leur intérêt.

Fig. 7 : **Réflexe H du Soléaire** : évolution, en fonction de l'âge, de l'amplitude de la réponse H (exprimée par le rapport Hmax/Mmax), et de la VCN sur le trajet du réflexe H. - Noter qu'à la naissance, la VCN réflexe est proche de 50 % de celle chez l'adulte, et que la maturation est pratiquement complète dès l'âge de 4 ans.

Une évolution comparable des vitesses de conduction, avec des valeurs presque identiques, peut être extrapolée pour l'onde F du Soléaire et les ondes F des muscles des mains. Pour les ondes F des muscles des pieds, les valeurs moyennes aux différents âges sont plus basses d'environ 10 m/s.



## ☒ G - VALEURS NORMALES ET INTERET PRATIQUE

### G1 – Valeurs normales des Vitesses Réflexe H et Ondes F

Les intervalles de temps (dt M>H) et (dt M>F) augmentent de manière linéaire avec la taille du sujet adulte, mais les formules de calcul des vitesses sur les trajets empruntés par ces réponses prennent en compte cette variable physiologique.

La Fig 6 présente les valeurs normales de ces vitesses chez l'adulte, obtenues selon les indications de site de stimulation et de réception indiquées au chapitre § F, et conformément aux méthodes exposées dans les chapitres § D et § E. Elles sont plus élevées aux membres supérieurs qu'aux membres inférieurs. Quand des stimulations étagées sont réalisées, la vitesse de conduction est plus élevée sur le segment proximal que sur le segment distal du même nerf. D'autres données normatives peuvent être consultées dans la littérature (voir § H, sources documentaires)

### G2 – Evolution des vitesses en fonction de l'âge

A la naissance, les vitesses, aussi bien pour le réflexe H que pour les ondes F, sont proches de 50% des valeurs atteintes à 20 ans. Elles sont le plus facilement explorées sur le nerf Tibial aux membres inférieurs, et sur le nerf Médian aux membres supérieurs. ⚡ Il est fréquent chez le nourrisson avant 1 an, d'enregistrer des réponses H non seulement sur le Soléaire, mais aussi sur les muscles des pieds, les muscles des mains, et le Fléchisseur radial du carpe. Il peut être plus difficile de mettre une réponse F en évidence, chez le nouveau-né, en stimulant le nerf Péronier ou le nerf Radial.

Les vitesses H et F augmentent rapidement jusqu'à 3 ans, âge auquel elles atteignent des valeurs proches de 80 % de celles de l'adulte (Fig 7). Elles continuent à augmenter lentement jusqu'à 18-20 ans de manière exponentielle, puis décroissent linéairement tout au long de la vie adulte pour retrouver vers 80 ans les valeurs d'un enfant de 10 ans.

### G2 – Réponses T, H, ou F : lesquelles privilégier ?

L'habitude prise dans une majorité de cabinets et de laboratoires de n'envisager que les ondes F peut se comprendre : les montages sont identiques à ceux utilisés pour les VCN Motrices, et un simple changement de base de temps et d'intensité de stimulation permet d'enregistrer sur le même écran l'onde F du muscle exploré. De plus, le caractère ubiquitaire de ces réponses, le fait qu'on passe tout de suite à une stimulation supramaximale, l'absence de contrainte vis à vis des positions segmentaires, expliquent la popularité et l'usage extensif des ondes F.

Le réflexe H est en pratique confiné au Soléaire. **Mais de nombreux réflexes T sont très facilement enregistrables**, tant aux membres supérieurs qu'aux membres inférieurs (voir le document 3F2). Leur recherche est absolument indolore, ⚡ et il s'avère confortable, surtout chez l'enfant mais aussi chez l'adulte, de commencer l'examen emg par l'exploration des réflexes T, ce qui permet d'étudier très rapidement plusieurs trajets nerveux aux 4 membres, tout en mettant en confiance l'enfant ou le patient. Les mesures de "vitesses réflexes T" donnent des indications concordantes avec celles que fournissent les "vitesses réflexes F".

### G2 – Intérêt de ces réponses en électrophysiologie clinique

Seules les réponses T et le réflexe H autorisent une mesure fiable (Hmax/Mmax) ou une évaluation (réponses T) de l'amplitude des réponses. Si les ondes F renseignent sur les vitesses proximales des motoneurones, **seules les réponses T et H permettent une quantification des pertes axonales proximales**, aussi bien au cours d'une lésion mécanique radiculaire lombaire ou cervicale, que lors d'une radiculonévrite ou d'une polyneuropathie par exemple. Leur intérêt dans chaque situation clinique sera exposé dans les documents consacrés à l'exploration des différentes pathologies des nerfs périphériques.

- Alavian-Ghavanini M, Haghpanah S. : Normal values of F wave in lower extremities of 73 healthy individuals in Iran. *Electromyogr Clin Neurophysiol*. 2000; 40: 375-9.
- Alfonsi E, et al. : Proximal nerve conduction by high-voltage electrical stimulation. ... *Clin Neurophysiol*. 2003, 114: 239-47.
- Andersen H, et al. : F wave latency, the most sensitive nerve conduction parameter in patients with diabetes mellitus. *Muscle Nerve* 1997, 20: 1296-302.
- Attarian S, et al. : Terminal index and modified F ratio in distinction of chronic demyelinating neuropathies. *Clin Neurophysiol* 2001; 112: 457-63.
- Bischoff C. : Neurography: late responses. *Muscle Nerve*. 2002, 11: S59-65.
- Bischoff C, et al. : Significance of A-waves recorded in routine motor nerve conduction studies. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1996; 101: 528-33.
- Buchthal F, Schmalbruch H. : Contraction times of twitches evoked by H reflexes. *Acta Physiol Scand*, 1970; 80 : 378-82.
- Buchthal F. : Median nerve F-wave latencies recorded from ... *Am J Phys Med Rehabil* 1999; 78: 32-52.
- Chironi E, et al. : The importance of sample size for the estimation of F wave latency .... *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1996; 101: 375-8.
- DiBenedetto M, et al. : F-wave acquisition using low-current stimulation. *Muscle Nerve*. 2003; 28: 82-9.
- Dueck M, et al. : Different F-wave recovery after neuromuscular blockade with pancuronium and mivacurium. *Anesth Analg*. 2004; 99: 1402-7.
- Eccles J. : The central action of antidromic impulses in motor nerve fibres. *Pflug Arch* 1955; 260: 385-415.
- Elsen A, et al. : The application of F wave measurements in the differentiation of proximal and distal upper limb entrapments. *Neurology* 1997; 27: 662-8.
- Fierro B, et al. : F response assessment in healthy control subjects. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1990; 30: 501-8.
- Fisher M. : F response latency determination. *Muscle Nerve* 1982; 5: 730-4.
- Fisher M. : H reflexes and F waves - physiology and clinical indications. *AAEM minimonograph #13 Muscle Nerve* 1992, 15 : 1223-1233.
- Fisher M. : Comparison of automated and manual F-wave latency measurements. *Clin Neurophysiol*. 2005; 116: 264-9.
- Fischer M, Hoffen B. : F wave analysis in patients with carpal tunnel syndrome. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1997; 37: 27-31.
- Gassel M, Wessendanger M. : Recurrent and reflex discharges in plantar muscles of the cat. *Acta Physiol Scand*. 1965; 65: 138-42.
- Guiheneuc P. : The use of monosynaptic reflex responses... In: Desmedt J. *Motor control mechanisms in health and diseases*. Raven Press, New York, 1983, p. 927-49.
- Guiheneuc P, Balthien N. : Two patterns of results in peripheral neuropathies explored by reflexological methods. *J. Neurol. Sci.* 1978, 30 : 83-94.
- Guiheneuc P, et al. : Intérêt du Réflexe de Hoffmann pour la surveillance des neuropathies au long cours. *Rev. EEG Neurophysiol*, 1972, 2 : 125-30.
- Guiheneuc P, Ginet J. : Le Réflexe de Hoffmann : signification de l'intervalle entre les réponses H et M et intérêt de sa mesure. *C. R. Soc. Biol.*, 1971, 165 : 1763-6.
- Guiheneuc P, et al. : Early phase of Vincristine neuropathy in man. ... *J. Neurol. Sci.* 1980, 45: 355-66.
- Hagbarth K, Vallbo A. : Discharge characteristics of human muscle afferents during muscle stretch and contraction. *Exper Neurol*, 1968, 22 : 674-94.
- Hopkins J, Wagie N. : Intraneuron and interneuron reliability of the quadriceps Hoffmann reflex. *Electromyogr Clin Neurophysiol*. 2003; 43: 85-9.
- Jaberzadeh S, et al. : Between-days reliability of H-reflexes in human flexor carpi radialis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004, 85: 1168-73.
- Kimura J. : F wave velocity in the central segment of the median and ulnar nerves. .... *Neurology*, 1974; 24: 539-46.
- Kimura J, et al. : Is the F wave elicited in a selected group of motoneurons? *Muscle Nerve* 1984; 7: 392-9.
- Kimura J. : F wave determination in nerve conduction studies. In : Desmedt J. : *Motor control in health and diseases*. pp. 961-975. Raven Press, New York, 1983.
- Kimura J. : F wave velocity in the central segment of the median and ulnar nerves... *Neurology (Minneapolis)* 1974, 24 : 539.
- Kimura J, et al. : Human reflexes and late responses. Report of an IFCN committee. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol*. 1994, 90 : 393-403.
- Kwast O, et al. : Analysis of F wave parameter of median and ulnar nerves in healthy infants. .... *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1984; 24: 439-56.
- Liberson W. : Sensory conduction velocities in normal individuals and in patients with peripheral neuropathies. *Archiv. Phys. Med. Rehab.*, 1963, 44 : 313-320.
- Magladery J, McDougal D. : Electrophysiological studies of nerve and reflex activity in normal man. Identification of ... *Bull Johns Hopkins Hosp* 1950; 86: 265-90.
- Matthews P. : Muscle spindles and their motor control. *Physiol Rev*. 1964, 44 : 219-88.
- Mayer R, Feldman R. : Observations of the nature of the F wave in man. *Neurology* 1967; 17: 147-56.
- McLeod J, Wray S. : An experimental study of the F wave in the baboon. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1966; 29: 196-200.
- Mesrafi F, Vecchierini M. : F waves : neurophysiology and clinical value. *Neurophysiol. clin.* 2004; 34 : 217-43.
- Miglietta O. The F response after transverse myelotomy. In: Desmedt J. *New developments in electromyography and clinical ...* Karger Basel:1973. vol. 3, p. 323-7.
- Misra K, et al. : F response studies in neonates, infants and children. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1989; 29: 251-4.
- Nobrega J, et al. : A comparison between different parameters in F waves studies. *Clin Neurophysiol* 2001; 112: 866-8.
- Nobrega J, et al. : Various aspects of F-wave values in a healthy population. *Clin Neurophysiol*. 2004; 115: 2336-42.
- Paillassard J. : Réflexes et régulations d'origine proprioceptive chez l'homme. Arnette, Paris, 1955.
- Panayiotopoulos C, Chroni E. : F waves in clinical neurophysiology a review, methodological issues and .... *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1996; 101: 365-74.
- Papaniortofou C, Scarpalezos S. : F wave studies on the deep peroneal nerve. *J. Neurol. Sci.*, 1977, 31 : 331-341.
- Pathanasiou E, et al. : Radial nerve F wave: normative values with surface recording from the extensor indicis muscle. *Clin Neurophysiol* 2001; 112: 145-50.
- Puksa L, et al. : Reference values of F wave parameters in healthy subjects. *Clin Neurophysiol* 2003; 114: 1079-90.
- Puksa L, et al. : Occurrence of A-waves in F-wave studies of healthy nerves. *Muscle Nerve*, 2003; 28: 626-9.
- Rivner M. : F wave studies limitations. *Muscle Nerve* 1998; 21:1 101-4.
- Roujeau T, et al. : Long term course of the H reflex after selective tibial neurectomy *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2003 ; 74 : 913-7.
- Rowin J, Merigogli M. : Electrodiagnostic significance of supramaximally stimulated A-waves. *Muscle Nerve*. 2000; 23: 1117-20.
- Schiller H, Stalberg E. : F responses studies with single fiber EMG in normal subjects and spastic patients. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1978; 41: 45-63.
- Shahani B, Young R. : Studies on reflex activity from a clinical viewpoint. In : Aminoff M. : *Electrodiagnosis in clinical neurology*. Churchill Livingstone, NY, 1980, pp 290-304.
- Solichot P, Magistris M. : Stratégies d'interprétation des ondes tardives en neurophysiologie de routine. *Rev Med Liege*. 2004; 59: 198-207.
- Strakowski J, et al. : H reflex and F wave latencies to soleus normal values and side-to-side differences. *Am J Phys Med Rehabil*. 2001; 80: 491-3.
- Tacconi P, et al. : Electroneurography index based on nerve conduction study data: method and findings in control subjects. *Muscle Nerve*. 2004; 29: 89-96.
- Thomas C, et al. : Incidence of F waves in single human thenar motor units. *Muscle Nerve*. 2002; 25: 77-82.
- Vecchierini-Bilneau M, Guiheneuc P. : Electrophysiological study of the peripheral nervous system in children. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1979; 42: 753-9.
- Wang F, et al. : Advantages and limitations of the motor unit number estimation techniques : *Rev Med Liege*. 2004; 59, Suppl 1: 38-48.
- Weber F. : The diagnostic sensitivity of different F wave parameters. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1998; 65: 535-40.
- Wedekind C, Klug N. : Facial F wave recording: a novel and effective technique ... *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2003; 129: 114-20.
- Zappia M, et al. : F wave normative studies in different nerves of healthy subjects. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1993; 89: 67-72.

