

PROGRAMME DE REVISIONS - TERM S /2016

PARTIES DU PROGRAMME - ENSEIGNEMENT OBLIGATOIRE

ENTRAINEMENT

THEME 3 – CORPS HUMAIN ET SANTE

THEME 3B – NEURONE ET FIBRE MUSCULAIRE : LA COMMUNICATION NERVEUSE

Chp I: Le REFLEXE MYOTATIQUE, un exemple de commande réflexe du muscle

→ **L'ARC REFLEXE un signe de « bonne santé » au niveau neuromusculaire**

- Du RECEPTEUR à L'EFFECTEUR

Semaine 30 mai-5 juin

→ **MECANISMES en jeu**

- Potentiels de récepteur
- Transmission du message au niveau des fibres, codage en fréquence de PA
- Transmission du message au niveau des synapses chimiques, codage en concentration de médiateur chimique
- Intégration au niveau du centre médullaire
- Transmission du message au niveau du muscle, synapse neuro-musculaire

EXERCICE **Neuro**

→ **BILAN schématique**

→ **Effets de substances pharmacologiques sur le fonctionnement des synapses chimiques**

Chp II: De la VOLONTE au MOUVEMENT

→ **Origines cérébrales des mouvements volontaires**

- Les AIRES MOTRICES et leur implication dans les mouvements corporels (homonculus)

Semaine 5 - 12 juin

→ **Rôle de la moelle épinière dans les mouvements volontaires**

- Intégration au niveau des motoneurones
- Message moteur unique vers le muscle : un motoneurone - une fibre musculaire

EXERCICE **Neuro**

Chp III: MOTRICITE et PLASTICITE CEREBRALE

→ **Plasticité du cortex moteur**

- Cas de lésions du cortex moteur (AVC)
- Aires motrices et développement cortical
- Rôle de l'apprentissage des gestes et de l'entraînement (musiciens, sportifs...)

→ **Préserver notre « capital cérébral »**

- Vieillesse de la population et augmentation des maladies neurologiques

Qcm : les neurones Durée: 15 min

Chaque affirmation comporte une ou plusieurs propositions exactes. Relevez les propositions exactes et corrigez celles qui sont erronées.

1. Les neurones :

- a. sont des cellules qui véhiculent des messages nerveux.
- b. communiquent entre eux au niveau de synapses.
- c. sont localisés uniquement dans les centres nerveux.
- d. peuvent avoir des axones de plusieurs dizaines de cm de long.

2. Les fibres nerveuses :

- a. sont les axones des neurones.
- b. sont communément appelées « nerfs ».
- c. véhiculent des messages nerveux afférents ou efférents.
- d. constituent en partie la substance blanche de la moelle épinière.

3. On peut trouver des corps cellulaires de neurones dans :

- a. les centres nerveux.
- b. la substance grise de la moelle épinière.
- c. la substance blanche de la moelle épinière.
- d. les ganglions des racines ventrales des nerfs rachidiens.
- e. les nerfs.

Qcm : la communication nerveuse Durée: 15 min

Chaque affirmation comporte une ou plusieurs propositions exactes. Relevez les propositions exactes et corrigez celles qui sont erronées.

1. Le potentiel d'action :

- a. est un phénomène observable dans toutes les cellules.
- b. est semblable sur les neurones afférents et efférents.
- c. a une amplitude d'autant plus grande que le stimulus était intense.
- d. correspond à une brève inversion de polarisation d'une fibre nerveuse.

2. Un message nerveux :

- a. se propage rapidement sur les fibres des neurones.
- b. est uniquement créé par un récepteur sensoriel.
- c. est codé en fréquence de potentiels d'action.
- d. est transmis au neurone présynaptique au niveau d'une synapse.

3. Les neurotransmetteurs :

- a. sont uniquement excitateurs.
- b. sont des molécules chimiques déversées dans le sang.
- c. agissent sur des récepteurs membranaires.
- d. sont rapidement détruits dans la fente synaptique.

CORRIGÉ : Qcm : les neurones

- a** et **b**. Vrai. **c**. Faux. Si les corps cellulaires des neurones sont localisés au niveau de la substance grise des centres nerveux, leurs fibres établissent des jonctions avec de multiples organes du corps. **d**. Vrai.
- a**. Faux. Les fibres sont aussi formées par les dendrites. **b**. Faux. Un nerf est constitué par un ensemble de fibres nerveuses. **c** et **d**. Vrai.
- a** et **b**. Vrai. **c**. Faux. **d**. Faux. Les corps cellulaires des neurones sensitifs sont situés dans les ganglions rachidiens, situés dans la racine dorsale de la moelle. **e**. Faux. Un nerf ne contient que des fibres, axones ou dendrites.

CORRIGÉ : Qcm : la communication nerveuse

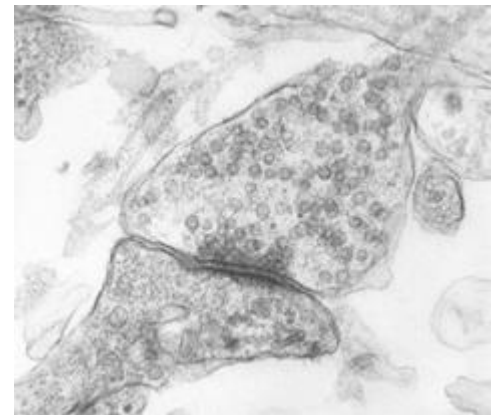
- a**. Faux. Seules les cellules nerveuses peuvent produire et propager un potentiel d'action. Les membranes des cellules musculaires peuvent propager un potentiel d'action musculaire. **b**. Vrai. **c**. Faux. Un potentiel d'action a une amplitude constante, de 100 mV. **d**. Vrai.
- a**. Vrai. **b**. Faux. Un message nerveux est aussi produit par les neurones situés dans les centres nerveux. **c**. Vrai. **d**. Faux. Neurone postsynaptique.
- a**. Faux. Un neurotransmetteur peut aussi être inhibiteur. **b**. Faux. Un neurotransmetteur est libéré dans la fente synaptique. **c**. Vrai. **d**. Vrai.

Organisation d'une synapse

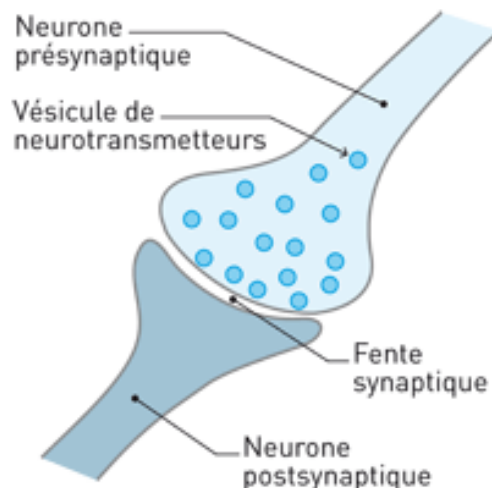
Réalisez un schéma d'interprétation de la photographie.

Annotez ce schéma à l'aide des mots suivants :

Neurone présynaptique – Neurone postsynaptique – Vésicule de neurotransmetteurs – Fente synaptique.



CORRIGÉ : Organisation d'une synapse



ANNABAC NEURO

Le réflexe achilléen, outil diagnostique Durée: 60 min

Lors d'un examen, un médecin étudie les réflexes d'un patient et en particulier un réflexe myotatique : le réflexe achilléen. Pour cela, il frappe avec un marteau réflexe sur le tendon d'Achille et observe une extension du pied provoquée par la contraction du triceps sural, l'un des muscles de la jambe.

1. Expliquez l'organisation nerveuse de ce réflexe à l'échelle cellulaire. Les explications seront complétées par un schéma annoté.

2. Quel diagnostic médical souhaite-t-on établir avec ce réflexe ?

ANNABAC NEURO

Le réflexe myotatique Durée: 60 min

Après avoir représenté le trajet des messages nerveux, vous montrerez comment les mécanismes synaptiques permettent d'expliquer le mouvement réflexe.

Le réflexe polysynaptique faisant intervenir le muscle antagoniste n'est pas attendu ici.

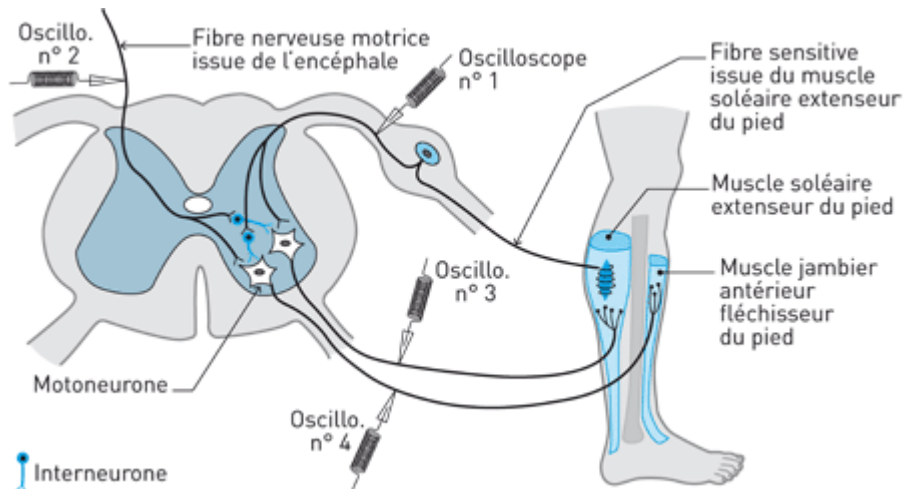
ANNABAC NEURO

Volonté et contrôle des réflexes Durée: 45 min

Un individu peut contrôler, voire inhiber un réflexe myotatique par une activité musculaire volontaire.

À l'aide des informations extraites de l'ensemble des documents, expliquez l'interaction entre les activités volontaire et réflexe au cours du réflexe achilléen.

Doc 1 Structures mises en jeu lors de l'inhibition volontaire du réflexe



Doc 2 Activité du réseau de neurones impliqués dans le réflexe achilléen



Activité des neurones	Électrode 1 Neurone en T de l'extenseur	Électrode 2 Neurone cérébral	Électrode 3 Motoneurone de l'extenseur	Électrode 4 Motoneurone du fléchisseur
A	+++	O	+++	O
B	+	+++	+	+++
C	+++	+++	++	+

Cas A : réflexe achilléen avec muscle fléchisseur relâché
 Cas B : contraction volontaire légère du muscle fléchisseur
 Cas C : réflexe achilléen avec contraction légère du fléchisseur
 O = pas de message

+ = intensités relatives des messages qui parcourent les neurones

CORRIGÉ : Le réflexe achilléen, outil diagnostique

Un réflexe est une activité rapide, involontaire et stéréotypée. Le réflexe achilléen est un réflexe myotatique : l'étirement d'un muscle, dans ce cas le triceps sural, provoque sa contraction réflexe. La mise en évidence de ce réflexe est facile : un choc sur le tendon d'Achille avec un marteau adapté à cet usage provoque un étirement musculaire.

1 Les caractéristiques du réflexe achilléen

a. Organisation des voies nerveuses du réflexe

Ce réflexe fait intervenir :

- deux types de neurones : des neurones sensitifs dont les fibres forment la voie sensorielle et des motoneurones dont les axones forment la voie motrice ;
 - un centre nerveux, la moelle épinière dans sa partie terminale située au niveau des vertèbres lombaires.
- Entre le muscle et les centres nerveux, les fibres des neurones sont regroupées et forment un nerf.

b. Étude fonctionnelle du réflexe : du stimulus à la réponse

• **Stimulus et fuseau neuromusculaire.** L'étirement du muscle stimule le fuseau neuromusculaire, récepteur sensoriel situé dans le triceps sural. Le fuseau neuromusculaire code l'étirement du muscle en message nerveux : plus l'étirement du muscle est important, plus la fréquence des potentiels d'action est élevée.

• **Voie sensitive ou voie afférente.** La fibre nerveuse qui sort du fuseau neuromusculaire est la dendrite d'un neurone sensitif dont le corps cellulaire est situé dans le ganglion rachidien de la racine dorsale de la moelle épinière. Le message nerveux sensitif (= afférent) se propage sur la dendrite, puis sur l'axone jusqu'aux boutons synaptiques situés à son extrémité.

• **La synapse neuro-neuronale.** Le neurone sensitif est en contact avec le motoneurone dont l'axone se prolonge jusqu'au triceps sural. Le message nerveux afférent provoque l'exocytose des neurotransmetteurs stockés dans les vésicules des boutons synaptiques du neurone sensitif. Le neurotransmetteur, l'acétylcholine, est libéré dans la fente synaptique. Plus la fréquence des potentiels d'action du message nerveux sensitif est élevée, plus la concentration en acétylcholine dans la fente synaptique est importante.

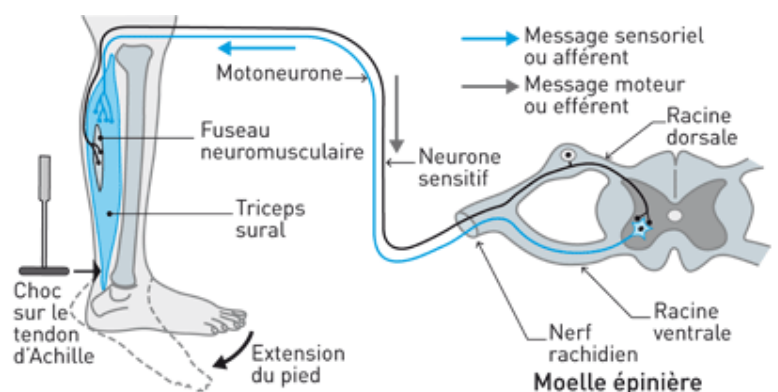
L'acétylcholine se fixe sur les récepteurs de la membrane du motoneurone. Le neurotransmetteur non fixé est rapidement détruit et recapturé par le neurone sensitif.

• **Voie motrice ou voie efférente.** La fixation de l'acétylcholine sur le récepteur membranaire entraîne la dépolarisation de la membrane postsynaptique (celle du motoneurone). Si la dépolarisation est importante, un message nerveux efférent (moteur) est produit, il se propage sur l'axone du motoneurone jusqu'à la synapse neuromusculaire.

• **Synapse neuromusculaire.** Le message nerveux efférent provoque l'exocytose de l'acétylcholine stockée dans les vésicules des boutons synaptiques du motoneurone. Là aussi, la fréquence du message nerveux est codée en concentration de neurotransmetteur libéré.

Dans la fente synaptique, l'acétylcholine se fixe sur les récepteurs de la membrane musculaire, et provoque une dépolarisation. Les neurotransmetteurs non fixés sont rapidement détruits et recapturés comme pour la synapse neuro-neuronale.

• **La réponse : la contraction du muscle.** La dépolarisation de la membrane des fibres musculaires entraîne la naissance d'un message nerveux musculaire codé en fréquence de potentiels d'action, qui se propage et provoque la contraction des fibres musculaires.



2 Un premier diagnostic médical

La réalisation de ce réflexe nécessite un état fonctionnel pour toutes les structures nerveuses impliquées :

- le nerf dans lequel se trouvent les fibres nerveuses sensitives et motrices ;
- le centre nerveux, ici l'extrémité de la moelle épinière.

Chaque réflexe étudié lors d'un examen médical permet de contrôler le fonctionnement d'une partie de la moelle épinière. Ces examens sont simples, rapides et sans danger. Pour un médecin, une anomalie dans la réponse obtenue pour un réflexe permet d'établir un diagnostic en termes de causes possibles et d'investigations cliniques à entreprendre pour préciser ce premier diagnostic.

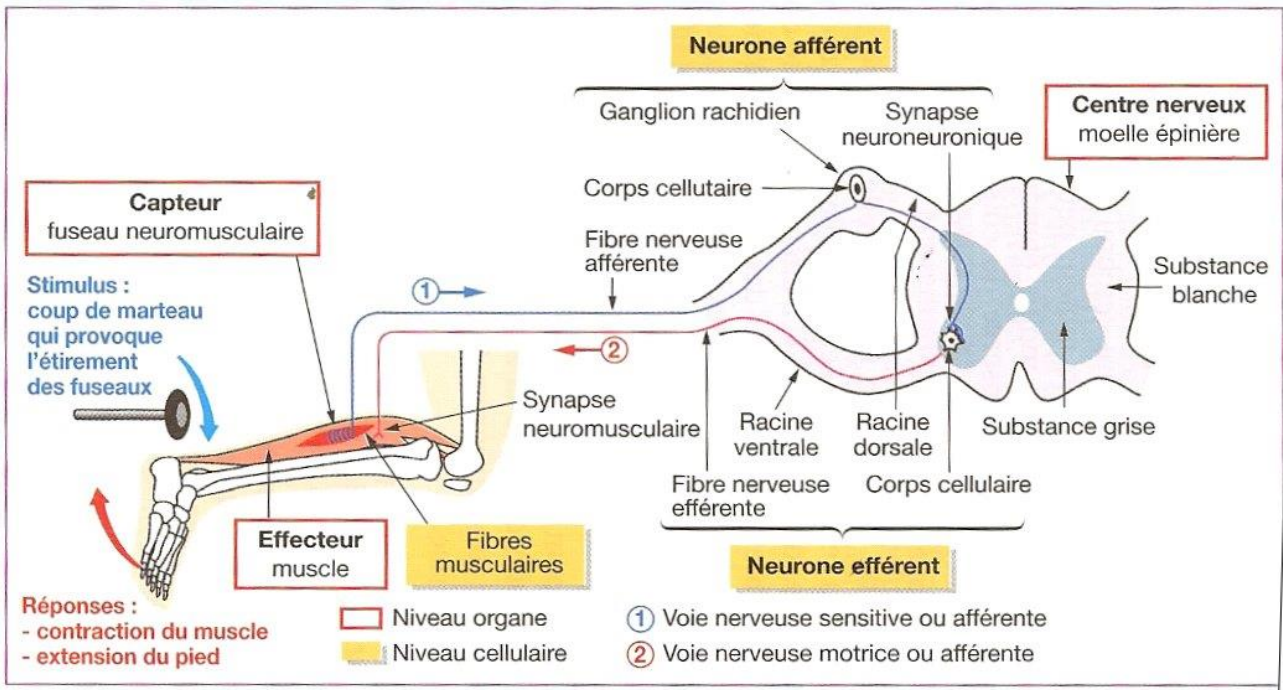
Introduction

Le réflexe myotatique correspond à la contraction d'un muscle en réponse à son propre étirement. Il est responsable du tonus musculaire indispensable au maintien de la posture. Ainsi, la station debout n'est possible que si les muscles extenseurs des jambes, antigravifiques, sont contractés tandis que leurs antagonistes, les muscles fléchisseurs sont relâchés. L'activité des muscles impliqués dans le réflexe myotatique est commandée par des messages nerveux. Après avoir représenté sur un schéma le trajet suivi par ces messages, nous montrerons comment le fonctionnement de synapses permet de rendre compte de ce type de réflexe.

I- Le trajet des messages nerveux

Tout réflexe met en jeu cinq éléments : un récepteur, un conducteur sensitif, un centre intégrateur, un conducteur moteur et des effecteurs.

Le schéma 1 résume le trajet des messages nerveux dans le cas du réflexe myotatique.



1 : naissance du message dans le fuseau neuromusculaire

2 : conduction du message vers la moelle épinière

3 : traitement des informations par la moelle épinière et élaboration d'un message moteur

4 : conduction du message moteur vers l'extenseur (repos du fléchisseur)

5 : contraction de l'extenseur

II- Mécanismes synaptiques

1) Les neurones impliqués

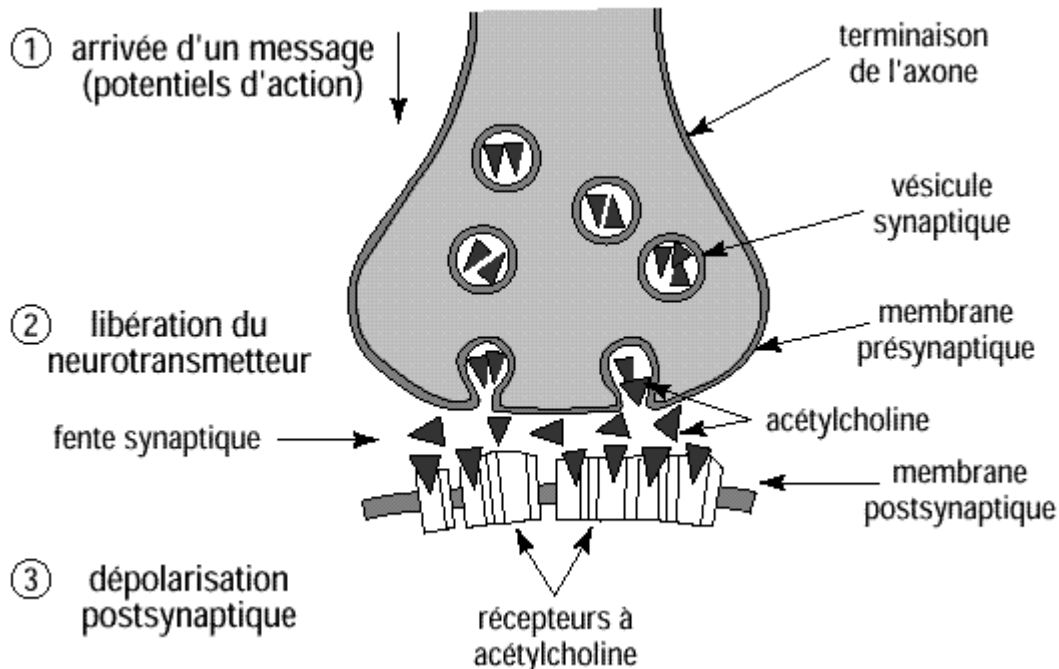
Dans le réflexe myotatique, l'étirement du muscle extenseur est détecté par les fuseaux neuromusculaires (FNM), récepteurs proprioceptifs sensibles à l'étirement inclus dans les muscles striés squelettiques. Ainsi, dès que le muscle commence à se relâcher, des messages nerveux sont émis par les FNM et conduits le long de fibres nerveuses afférentes vers la moelle épinière. Ces fibres nerveuses sont les dendrites de neurones en T dont les corps cellulaires sont localisés dans le ganglion spinal annexé à la racine rachidienne dorsale du nerf. Les axones de ces neurones forment des synapses dans la corne antérieure de la substance grise de la moelle épinière, d'une part, avec les motoneurones commandant le muscle extenseur et, d'autre part, avec des interneurones. Les axones de ces derniers forment des synapses avec les motoneurones commandant le muscle fléchisseur antagoniste.

Enfin, les axones des motoneurones forment des synapses avec les muscles qu'ils commandent. Comment le fonctionnement de ces synapses permet d'expliquer le réflexe ?

2) Les mécanismes synaptiques

Le réflexe est caractérisé par la contraction du muscle extenseur simultanément au relâchement du muscle fléchisseur antagoniste.

Lorsqu'un message nerveux est conduit le long de l'axone du motoneurone, il en résulte la libération de molécules d'un neurotransmetteur, l'acétylcholine, au niveau des boutons synaptiques formant les terminaisons axonales. Après diffusion du neurotransmetteur dans l'espace synaptique séparant la terminaison axonale du muscle au niveau de la jonction neuromusculaire, les molécules de neurotransmetteur se lient à des récepteurs spécifiques présents dans la membrane des fibres musculaires. La formation de complexes neurotransmetteur-récepteur provoque une dépolarisation de la membrane qui, si elle atteint le seuil, déclenche la contraction du muscle (schéma 2).



Ainsi, lors du réflexe, le muscle extenseur se contracte en réponse à l'activité du motoneurone. En revanche, le muscle fléchisseur ne se contracte pas car son motoneurone est inhibé. C'est au niveau des synapses médullaires que l'activité des motoneurones antagonistes est contrôlée.

Les messages issus des FNM de l'extenseur parviennent aux motoneurones de l'extenseur par l'intermédiaire d'une synapse (réflexe monosynaptique) tandis que ceux destinés au fléchisseur parviennent d'abord à un interneurone comme on l'a vu ci-dessus. Dans le premier cas, la synapse est excitatrice et le motoneurone répond à la libération du neurotransmetteur par une augmentation de son activité selon un mécanisme similaire à celui décrit pour la synapse neuromusculaire. Cette augmentation d'activité conduit à une stimulation du muscle extenseur par l'intermédiaire de l'axone du motoneurone commandant l'extenseur. La synapse avec l'interneurone est également excitatrice, mais la mise en activité de l'interneurone a un effet opposé sur le fléchisseur. En effet, la synapse entre la terminaison axonale de l'interneurone et le motoneurone du fléchisseur est inhibitrice. Dans ce cas, la formation des complexes neurotransmetteur-récepteur postsynaptique provoque l'hyperpolarisation du motoneurone postsynaptique dont l'activité diminue. Il en résulte un relâchement du fléchisseur. Ainsi, c'est le fonctionnement des synapses médullaires entre axones des neurones en T et motoneurones de l'extenseur, d'une part, et axones des interneurones et motoneurones du fléchisseur, d'autre part, qui explique le comportement antagoniste des deux muscles au cours du réflexe myotatique. La contraction de l'extenseur permet de corriger son relâchement tandis que le relâchement du fléchisseur l'empêche de s'opposer à cette correction ce qui rend possible le maintien de la posture.

CORRIGÉ : volonté et contrôle des réflexes

La réalisation du mouvement antagoniste au réflexe achilléen (flexion du pied) diminue ou empêche celui-ci de se réaliser. Comment les réseaux neuronaux à l'origine du réflexe achilléen et de la flexion volontaire interagissent-ils ?

Observations

1. Le circuit réflexe part des fuseaux neuromusculaires du muscle soléaire, étiré au départ du réflexe, puis se connectent d'une part aux motoneurons de ce muscle et d'autre part à des interneurons eux-mêmes connectés aux motoneurons du muscle antagoniste, fléchisseur du pied.
2. Le circuit volontaire permettant la contraction du muscle fléchisseur antagoniste du réflexe achilléen débute par des neurones corticaux qui se connectent directement aux motoneurons du muscle fléchisseur et indirectement aux motoneurons du muscle soléaire (extenseur) via des interneurons.

Conclusion

Les voies finales communes aux deux circuits sont les motoneurons de chacun des muscles mis en jeu, qui sont des muscles antagonistes.

Interprétation

L'action volontaire s'opposant au réflexe achilléen, on peut supposer que les interneurons mis en jeu dans chaque circuit exercent une inhibition sur les unités motrices auxquelles ils sont connectés.

On peut donc supposer que l'activité volontaire conduit à une inhibition des unités motrices normalement activées par la voie réflexe (unités motrices du muscle soléaire) et à une activation des unités motrices normalement inhibées par la voie réflexe (unités motrices du muscle extenseur).

1. Lorsque le réflexe achilléen est réalisé seul (conditions A)

Observation 1

Le neurone sensoriel issu du muscle extenseur étiré et le motoneurone correspondant étudiés sont très actifs.

Interprétation

Ces neurones sont directement connectés entre eux au niveau de la moelle épinière (**doc. 10**). On en déduit qu'au cours du réflexe, les neurones sensoriels issus du muscle extenseur ont stimulé les motoneurons du muscle extenseur.

Observation 2

En revanche, le motoneurone antagoniste étudié est totalement inactif. Cela correspond à un relâchement du muscle fléchisseur.

Interprétation

On peut supposer que le motoneurone antagoniste a été inhibé par l'interneurone auquel est connecté le neurone sensoriel en T, activé lui aussi au cours du réflexe achilléen.

2. Lors de la contraction volontaire légère du muscle fléchisseur (conditions B)

Observation 1

Activité importante du neurone cérébral et du motoneurone du muscle fléchisseur.

Interprétation

Ces deux types de neurones sont directement connectés au niveau de la moelle épinière (**doc. 10**) : les neurones cérébraux ont stimulé les motoneurons du fléchisseur.

Observation 2

Le circuit correspondant au neurone sensoriel issu du fuseau neuromusculaire de l'extenseur et au motoneurone de l'extenseur présente une activité faible au cours de l'activité volontaire de flexion du pied.

Interprétation

Cette observation n'est pas importante par rapport au problème posé. On peut en déduire que l'activité observée correspond à l'activité de base du circuit.

3. Lorsque le réflexe achilléen est réalisé en même temps que la contraction légère du muscle fléchisseur du pied (conditions C)

1. On observe à la fois une forte activité du neurone sensoriel en T et du neurone cérébral moteur du fléchisseur. Par ailleurs, la réponse du motoneurone de l'extenseur est plus faible qu'en absence de contraction volontaire (cas A). Cela produit une réponse atténuée du muscle extenseur.

Interprétation

L'activité du motoneurone extenseur a été inhibée par la contraction volontaire faible du muscle fléchisseur. Seuls **les interneurons activés par les neurones cérébraux ont pu inhiber les motoneurons de l'extenseur.**

2. On observe que le motoneurone du fléchisseur est moins actif que dans le cas B.

Interprétation

Au cours du réflexe, les neurones sensoriels en T stimulent les interneurons qui se connectent au muscle fléchisseur antagoniste. Cela explique que la réponse du motoneurone du fléchisseur soit moins importante qu'en absence de réflexe.

Bilan

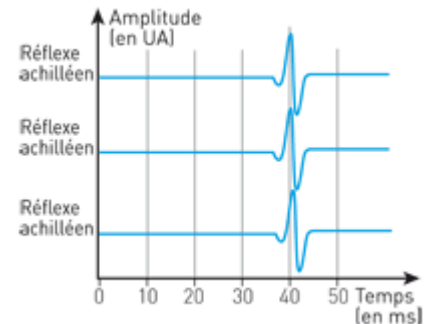
Un même motoneurone reçoit des messages excitateurs (en provenance des neurones afférents ou des neurones cérébraux) et inhibiteurs (en provenance des interneurons). Dans le cas de la réalisation synchrone d'un réflexe et du mouvement volontaire antagoniste, les motoneurons du muscle étiré par voie réflexe (ici le soléaire, extenseur du pied) reçoivent à la fois des messages excitateurs provenant des fuseaux neuromusculaires et des messages inhibiteurs provenant des interneurons stimulés par les neurones corticaux de l'activité antagoniste. La synthèse entre les deux produit une réponse plus ou moins atténuée des unités motrices.

1. Par une étude rigoureuse des expériences 1 et 2, montrez que le réflexe achilléen possède les caractéristiques générales d'un réflexe : involontaire, rapide, stéréotypé.
 2. Étudiez l'expérience 3 pour montrer que le réflexe achilléen fait intervenir un centre nerveux. Localisez ce centre nerveux.
- Toutes les expériences sont réalisées avec la même personne.*

Expérience 1

Le genou du sujet est posé sur une chaise. L'expérimentateur frappe le tendon d'Achille avec un marteau : à chaque fois, on observe une brève contraction du muscle de la jambe et une extension du pied. Des électrodes, reliées à un dispositif d'enregistrement, sont placées sur le muscle de la jambe qui se contracte lors de ce réflexe : le triceps sural. L'enregistrement est déclenché quand le marteau réflexe frappe le tendon. Trois essais sont réalisés. L'activité électrique enregistrée est associée à la contraction du muscle (**doc. 1**).

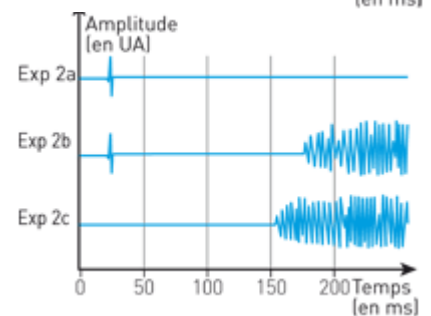
Expérience-1



Expérience 2 Même dispositif que pour 1.

- *Expérience 2a* : L'expérimentateur frappe le tendon d'Achille avec le marteau.
- *Expérience 2b* : L'expérimentateur frappe le tendon d'Achille avec le marteau. Il est demandé au sujet de contracter volontairement son triceps sural quand il sent le choc du marteau sur son tendon.
- *Expérience 2c* : L'expérimentateur ne frappe pas le tendon d'Achille, mais la table. Il est demandé au sujet de contracter volontairement son triceps sural quand il entend le son du choc.

Expérience-2

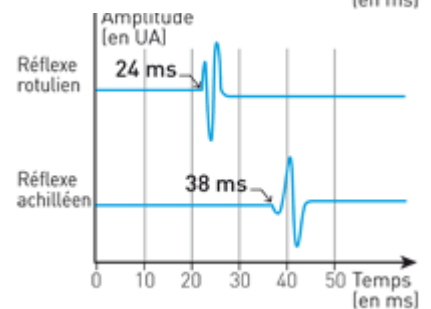


Expérience 3

Parmi les explications formulées pour expliquer la rapidité la réponse lors du réflexe achilléen s'opposent deux hypothèses que l'on se propose d'éprouver.

Hypothèse 1 : « Le message nerveux produit lors du choc sur le tendon va directement au muscle qui se contracte. La réponse est rapide car la distance parcourue par le message est très courte. » L'expérience destinée à éprouver cette hypothèse repose sur la **comparaison de 2 réflexes myotatiques** : Expérience 3A

- le réflexe achilléen (voir expériences précédentes)
- et le réflexe rotulien. Pour ce réflexe, le sujet est assis sur une table, l'expérimentateur frappe avec son marteau le tendon rotulien (au niveau du genou), ce qui déclenche la contraction du muscle quadriceps de la cuisse et l'extension de la jambe. Même dispositif d'enregistrement que pour le réflexe achilléen : électrodes posées sur le quadriceps à la même distance du point de choc sur le tendon que pour le réflexe achilléen (**doc. 3A**).



Hypothèse 2 : « Le message nerveux est transmis à un centre nerveux proche du membre inférieur, la moelle épinière, mais ne monte pas au cerveau. » Pour éprouver cette hypothèse, les résultats de l'expérience précédente sont utilisés et complétés par des calculs et des mesures.

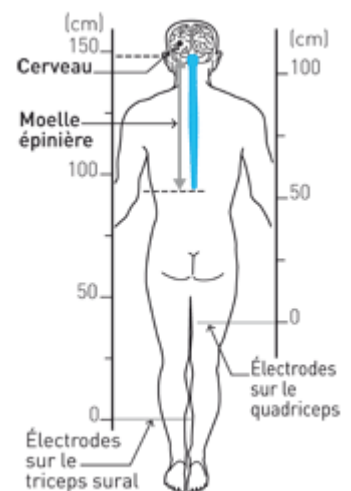
Vitesse des messages nerveux. Ici on suppose que ces deux réflexes sont traités par le même centre nerveux. Dans ce cas, la différence de temps entre les deux réponses n'est due qu'à la distance supplémentaire parcourue par les messages nerveux sensitifs et moteurs du réflexe achilléen. La mesure effectuée sur le sujet entre les électrodes du quadriceps et celle du triceps sural est de 35 cm.

Il a donc fallu $38-24=14ms$ pour effectuer cette distance aller-retour, soit $35+35=70cm$. Le calcul donne une vitesse voisine de **50 m/s**.

Expérience 3B

Distance parcourue par les messages nerveux sensitif et moteur

- Réflexe achilléen : Délai : 38 ms ; à 50 m/s, distance aller-retour : 190 cm.
- Réflexe rotulien : Délai : 24 ms ; à 50 m/s, distance aller-retour : 120 cm.
- *Mesures effectuées sur le sujet.* Une règle est placée sur le sujet, le zéro au niveau des électrodes. Les mesures réalisées sont reportées sur une silhouette qui montre la localisation des centres nerveux (**doc. 3B**).



1. Montrons que le réflexe achilléen possède les caractéristiques générales d'un réflexe

• Expérience 1

Analyse : Lors des trois essais réalisés, le choc du marteau sur le tendon, on obtient :

- une brève contraction du muscle de la jambe ;
- une activité électrique du muscle qui décrit l'activité du muscle quasi identique : même durée, même forme du signal, même délai entre le choc et la réponse.

Conclusion : Le réflexe achilléen produit une réponse stéréotypée, toujours identique.

• Expérience 2

Analyse : Lors des expériences 2a et 2b, le choc sur le tendon déclenche une activité réflexe. Il y a présence d'un bref signal électrique du muscle avant 50 ms. Lors de l'expérience 2c, il n'y a pas de choc sur le tendon et absence de ce signal électrique.

Conclusion : Le signal électrique qui se produit avant 50 ms est lié à l'activité réflexe.

Analyse : Une activité volontaire n'est pas demandée pour l'expérience 2a mais elle est demandée pour les expériences 2b et 2c. Or, seules les expériences 2b et 2c montrent une activité électrique durable et retardée, au-delà de 150 ms.

Conclusion : Ce signal au-delà de 150 ms est celui de l'activité volontaire.

Bilan

Le réflexe est donc une activité très rapide, le délai entre le stimulus et la réponse est trois à quatre fois moins important. Le réflexe est une activité involontaire.

2. Montrons que le réflexe fait intervenir un centre nerveux qu'il faut localiser

• Hypothèse de la transmission directe

Analyse de l'expérience 3A : Pour ces deux réflexes, la distance entre le lieu du choc et les électrodes est identique. Si l'hypothèse d'une transmission directe d'un message nerveux est juste, nous devrions obtenir un délai de réponse très voisin, puisque la distance à parcourir est la même. Or, le réflexe rotulien apparaît beaucoup plus tôt que le réflexe achilléen, 24 ms contre 38 ms.

Conclusion : Cette hypothèse n'est pas validée par l'expérience.

• Hypothèse de l'intervention d'un centre nerveux

– Analyse du document 3A

Le réflexe rotulien apparaît 24 ms après le stimulus, mais le réflexe achilléen apparaît 38 ms après le stimulus, soit 12 ms plus tard.

Conclusion : Si ces deux réflexes font intervenir le même centre nerveux, le délai entre le stimulus et la réponse correspond à la circulation d'un message nerveux afférent, qui se dirige vers un centre nerveux et un message efférent qui va du centre vers le muscle. La circulation des messages nerveux impliqués dans le réflexe achilléen a une distance plus grande à parcourir, le délai de 12 ms correspond à cette distance. L'hypothèse de l'intervention d'un centre nerveux est plausible.

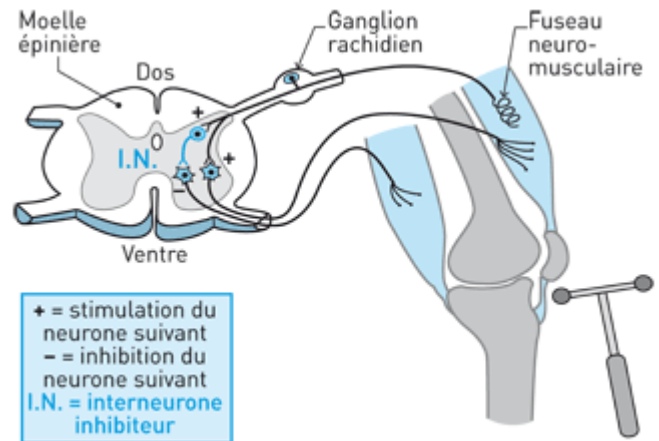
– Analyse du document 3B

Le calcul de la distance totale, aller-retour du message nerveux pour le réflexe rotulien est de 120 cm, soit une distance aller de 60 cm. Le point situé 60 cm au-dessus des électrodes correspond à la base de la moelle épinière. Pour le réflexe achilléen, la distance aller est de 90 cm, ce qui porte le point de retour à peu près au même niveau que pour le réflexe rotulien, à la base de la moelle épinière.

Conclusion : Ces données confirment l'hypothèse de l'intervention d'un centre nerveux. Ce centre est localisé dans la partie basse de la moelle épinière. L'intervention du cerveau, situé beaucoup plus haut, est incompatible avec les données.

Motoneurones et intégration des messages Durée: 20 min

Doc Circuits neuronaux mis en jeu au cours d'un réflexe myotatique



À partir du schéma et de vos connaissances, relevez les réponses exactes.

1. Le réflexe myotatique schématisé :

- a. commence par l'étirement du muscle extenseur de la jambe.
- b. commence par l'étirement du muscle fléchisseur de la jambe.
- c. commence par la contraction du muscle extenseur de la jambe.
- d. a pour effecteurs les muscles extenseur et fléchisseur de la jambe.
- e. a pour effecteur le muscle extenseur de la jambe.
- f. peut être empêché par la volonté.

2. Les circuits neuronaux activés au cours de ce réflexe sont :

- a. les neurones afférents, les motoneurones médullaires et les interneurons inhibiteurs.
- b. un circuit impliquant une excitation des motoneurones du muscle étiré par le marteau et un circuit impliquant leur inhibition.
- c. un circuit constitué par des neurones sensoriels qui détectent l'étirement au niveau de leurs fuseaux neuromusculaires et les motoneurones de ce même muscle.
- d. un circuit constitué par les neurones sensoriels du muscle extenseur de la jambe, des interneurons et des motoneurones du muscle antagoniste.
- e. deux circuits qui ont le même point de départ et divergent sur deux muscles antagonistes l'un de l'autre.
- f. un circuit qui permet la contraction du muscle fléchisseur de la jambe et un circuit qui permet le relâchement du muscle extenseur de la jambe.

3. Les motoneurones du muscle extenseur de la jambe :

- a. sont stimulés directement par les neurones en T au cours du réflexe.
- b. sont inhibés par les interneurons représentés.
- c. peuvent être inhibés par d'autres interneurons.
- d. peuvent intégrer des messages excitateurs et inhibiteurs au cours d'un réflexe myotatique et ne pas activer l'unité motrice qu'ils contrôlent.
- e. activeront obligatoirement leurs unités motrices quelles que soient les conditions de réalisation du réflexe.
- f. peuvent être stimulés directement par des neurones du cortex moteur de la jambe.

4. Les interneurons représentés :

- a. sont inhibés par les neurones en T issus du muscle extenseur.
- b. inhibent les motoneurones du muscle fléchisseur.

5. Les motoneurones du muscle fléchisseur de la jambe :

- a. sont inhibés au cours de ce réflexe.
- b. sont activés au cours de ce réflexe.
- c. peuvent être activés directement par des neurones en T.
- d. peuvent être activés directement par des neurones du cortex moteur de la jambe.

CORRIGÉ : Motoneurones et intégration des messages

1. **a.** Vrai. **b.** Faux. **c.** Faux. **d.** Vrai. Le muscle extenseur se contracte, le muscle fléchisseur se relâche. **e.**Vrai. **f.** Vrai.

Un circuit de neurones implique la transmission d'un message entre au moins deux catégories différentes de neurones.

a. Faux. Une catégorie de neurones ne correspond pas à un circuit neuronal mais à une population de neurones ayant les mêmes caractéristiques et impliquée dans les mêmes circuits. **b.** Faux. L'inhibition de ces motoneurones n'est pas schématisée (c'est l'inhibition des muscles antagonistes qui l'est). **c.** vrai. **d.** Vrai. **e.**Vrai. **f.** Faux. C'est l'inverse.

3. **a.** Vrai. **b.** Faux. **c.** Vrai. Ils peuvent être inhibés par d'autres interneurones non représentés. **d.** Faux. Mais vrai si la volonté intervient (mise en jeu d'interneurones inhibiteurs activés par des neurones corticaux). **e.**Faux. Si les motoneurones sont inhibés par les interneurones, ils n'activeront pas leurs fibres musculaires. **f.**Vrai.

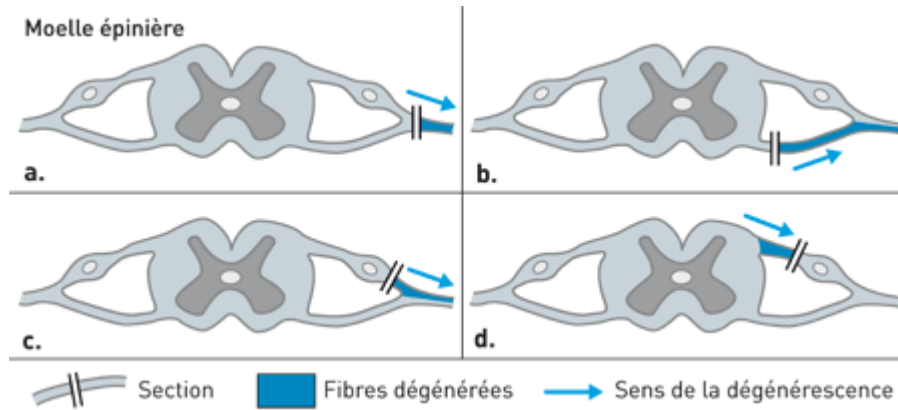
4. **a.** Faux. Ils sont stimulés par les neurones en T du muscle extenseur. **b.** Vrai.

5. **a.** Vrai. **b.** Faux. **c.** Vrai. Ils peuvent être activés directement par des neurones en T issus du muscle fléchisseur, non représentés. **d.** Vrai également (neurones non représentés).

Localisation des corps cellulaires Durée: 20 min

Lorsqu'on sectionne une fibre nerveuse (axone ou dendrite), on observe à **long terme** (plusieurs jours) que le fragment de la fibre non relié au corps cellulaire dégénère alors que l'autre fragment se maintient. On réalise quatre expériences de section (document 1) au niveau des racines des nerfs rachidiens.

Doc 1 Expériences de section



Résultats

a. La région du corps innervée par le nerf rachidien sectionné est définitivement paralysée et totalement insensible.

b. La région du corps innervée par le nerf correspondant à la racine sectionnée est définitivement paralysée mais conserve sa sensibilité.

c et d. La région du corps innervée par le nerf correspondant à la racine sectionnée est totalement insensible mais conserve sa motricité.

Montrez que ces quatre expériences permettent de localiser les corps cellulaires des neurones sensitifs et des motoneurones.

CORRIGÉ : Localisation des corps cellulaires

Analyse : La section **a** entraîne une paralysie et une insensibilité de la région du corps innervée par le nerf sectionné. Les fibres dégénèrent du côté périphérique, non relié à la moelle épinière.

Interprétation : La section **a** atteint à la fois les fibres afférentes, sensibles, issues des corps cellulaires des neurones sensitifs et les fibres efférentes issues des corps cellulaires des motoneurones. Les corps cellulaires de ces neurones sont donc situés en amont (du côté moelle épinière) de la section.

Analyse : La section **b** entraîne une perte de la motricité mais pas de la sensibilité. Les fibres dégénèrent du côté périphérique.

Interprétation : Avec la section **b** ce sont les axones des motoneurones qui ont été sectionnés. Les corps cellulaires des motoneurones sont donc situés dans la moelle épinière.

Analyse : Les sections **c** et **d** entraînent une perte de la sensibilité mais pas de la motricité. Les fibres dégénèrent de part et d'autre du ganglion rachidien.

Interprétation : Ces deux sections touchent les fibres issues des corps cellulaires des neurones sensitifs. Les corps cellulaires des neurones sensitifs sont localisés dans les ganglions rachidiens.

Bilan

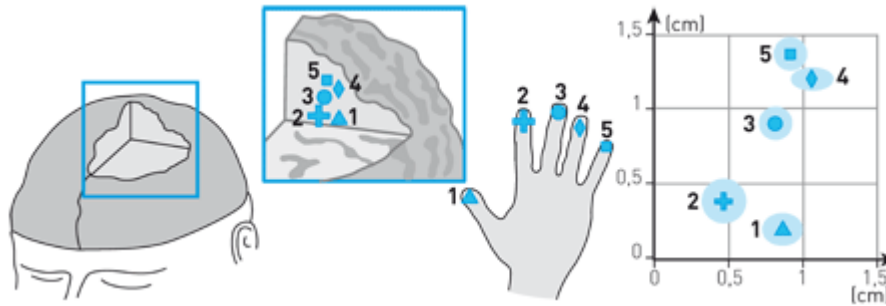
Les corps cellulaires des motoneurones sont donc situés dans la moelle épinière. Les corps cellulaires des neurones sensitifs se localisent dans les ganglions rachidiens.

Représentation corporelle des doigts et syndactylie Durée: 30 min

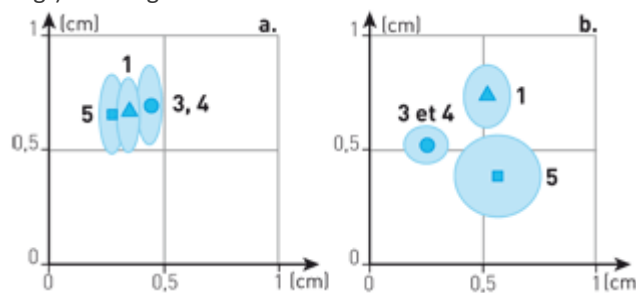
À l'aide des informations extraites des documents suivants et de vos connaissances, montrez que ces expériences prouvent l'existence d'une propriété fondamentale du cortex que vous nommez.

Remarque : La carte du **document 1** est obtenue par une technique d'imagerie cérébrale auprès de neuf hommes. Les cercles en bleu clair représentent les variations individuelles.

Doc 1 Représentation spatiale des doigts au niveau du cortex sensoriel



Doc 2 Représentation spatiale des doigts au niveau du cortex sensoriel chez un patient atteint de syndactylie et opéré. **a.** Avant l'opération. **b.** 6 jours après l'opération. Les doigts 3, 4 et 5 étaient soudés (doigt 2 absent congénitalement). L'intervention a permis de séparer le doigt 5 (petit doigt) des doigts 3 et 4.



CORRIGÉ : Représentation corporelle des doigts et syndactylie

Analyse des informations chez les individus qui ne sont pas syndactyles (doc. 1)

Les doigts ne sont pas soudés, chaque doigt a une représentation individuelle sur le cortex sensoriel.

Analyse des informations chez un individu syndactyle (doc. 2)

Avant l'opération, les informations sensorielles issues des doigts soudés 3, 4 et 5, et du doigt 1 aboutissent sur des zones du cortex sensoriel très proches les unes des autres. Les doigts sont mal discriminés au niveau du cortex sensoriel.

Lors de l'opération, le doigt 5 a été séparé des doigts 3 et 4. Ceux-ci correspondent toujours à une seule et même zone corticale, en revanche leur zone est devenue bien distincte des zones du doigt 5 et du doigt 1.

Interprétation

La perception de stimuli de façon séparée par les trois doigts ou association de doigts après opération a engendré une réorganisation de la carte corticale de la main. Les synapses au niveau du cortex sensoriel de la main se sont donc remodelées en l'espace de six jours, ce qui témoigne dans cette aire d'une grande plasticité cérébrale chez l'adulte.

Bilan

Les neurones du cortex sensoriel réorganisent en permanence leurs connexions en fonction de leur activation. Ils sont donc capables d'une grande plasticité, même à l'âge adulte.

Thérapie par le miroir ou comment tromper son cerveau Durée: 30 min

Chez un patient jeune, un accident de moto a occasionné une perte de la sensibilité et une paralysie complètes, localisées uniquement au niveau du membre supérieur droit. Il ressent des douleurs intenses permanentes et des douleurs paroxystiques (de type décharges électriques). Ces douleurs invalidantes résistent aux différents traitements médicamenteux (morphine, hypnose...). Les chercheurs ont testé l'effet de la « thérapie par le miroir » sur ces douleurs.

Un miroir est placé verticalement sur une table, en face du patient : son membre douloureux d'un côté, le membre sain de l'autre de façon à ce que le reflet de celui-ci se superpose à l'autre. Il commande des mouvements symétriques des deux mains (saine et paralysée) tout en regardant le miroir durant des séances de 15 minutes, 3 à 5 fois par jour. Il a ainsi la sensation que sa main paralysée bouge, bien qu'il soit conscient que ce n'est pas le cas (**doc. 1**).

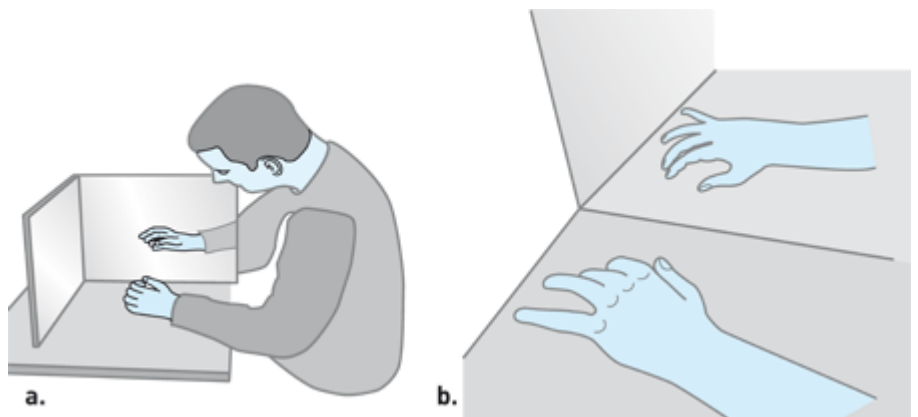
Les séances ont permis une baisse de la douleur, avec une évaluation de la douleur passant de 7/10 avant la séance à 2/10 durant la séance, et avec un effet persistant pendant une heure. L'effet s'est maintenu durablement au bout de huit semaines d'entraînement.

On sait que le cortex moteur a une action inhibitrice sur les circuits centraux de la douleur. Cette étude a été étayée par une exploration en imagerie par résonance magnétique (IRM) du cortex moteur avant et après entraînement.

Doc 1 La thérapie par le miroir

a. Séance de miroir thérapie.

b. L'illusion visuelle modifie l'activation du cortex moteur.

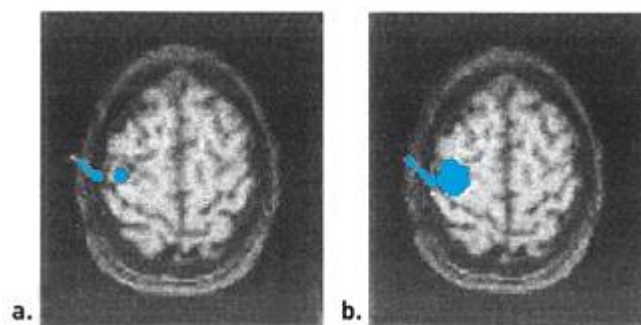


On effectue une IRM du cortex du patient (**document 2**) lorsque celui-ci imagine faire des mouvements volontaires de l'avant-bras et de la main paralysés.

Doc 2 IRM du cortex du patient au cours de commandes motrices de la main

a. Au départ de la thérapie.

b. après 8 semaines d'entraînement.



Relevez les propositions exactes et commentez.

- 1. La paralysie du membre droit et la perte totale de sa sensibilité indiquent qu'à la suite de l'accident :**
 - a. il y a eu section complète de la moelle épinière à hauteur du cou.
 - b. Il y a une section de la partie gauche de la moelle épinière au niveau du cou.
 - c. Il y a eu une section des nerfs qui innervent le membre supérieur droit dès la sortie de la moelle épinière.
- 2. On peut penser que les douleurs ressenties au niveau du bras proviennent :**
 - a. de messages douloureux en provenance du membre paralysé.
 - b. d'une activation anormale du cortex sensoriel régissant la sensation de douleur.
- 3. Au cours d'une phase d'entraînement par la technique de la thérapie par le miroir, le patient :**
 - a. active son cortex moteur gauche uniquement.
 - b. active ses cortex moteurs droit et gauche.
 - c. bouge sa main droite.
 - d. a l'impression que sa main droite bouge.
 - e. récupère le fonctionnement de ses nerfs.
- 4. L'imagerie cérébrale montre qu'à la suite de huit semaines d'entraînement :**
 - a. il y a une plus forte activation du cortex moteur de la main gauche.
 - b. la représentation corticale de la main au niveau du cortex moteur n'a pas changé.
 - c. illustre la notion de plasticité cérébrale.

CORRIGÉ : Thérapie par le miroir ou comment tromper son cerveau

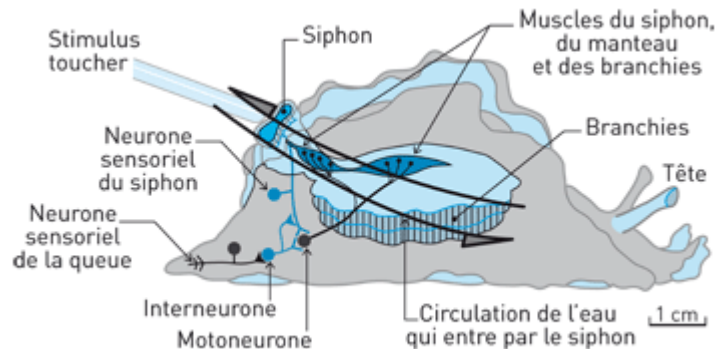
- 1. c.** S'il y avait eu section totale (proposition a) ou partielle (proposition b) de la moelle épinière, les membres inférieurs seraient aussi atteints.
- 2. b.** Les douleurs ne peuvent pas parvenir du membre paralysé (proposition a) puisque celui-ci ne ressent plus rien : ses connexions avec la moelle épinière sont rompues.
- 3. b et d.** Dans sa tête, le patient fait bouger ses deux mains, donc les deux cortex moteurs doivent être activés. Cela agit seulement au niveau du cerveau qui est trompé puisqu'il croit que la main droite bouge, il a un retour sensitif et moteur virtuel. Les nerfs ne peuvent être réparés que par une intervention directe, par exemple chirurgicale (proposition e).
- 4. c.** Ces images sont obtenues avant et après entraînement lorsque le patient ordonne à sa main paralysée de bouger. La représentation de la main sur le cortex moteur gauche s'est étendue après entraînement (on peut supposer qu'elle avait régressé suite à la paralysie), ce qui traduit la plasticité du cortex.

ANNABAC NEURO

Apprentissage chez l'aplysie et réseaux neuronaux Durée: 30 min

L'aplysie, souvent appelée lièvre de mer ou limace de mer, possède un siphon qui fait circuler l'eau dans ses branchies. C'est sa manière de respirer (prélèvement du dioxygène dissous) et son point sensible. Lorsqu'on stimule une partie de son corps, elle rétracte ses branchies par voie réflexe, ce qui les protège. Lorsqu'on réalise différentes expériences de stimulation, on peut enregistrer les messages nerveux au niveau des circuits de neurones schématisés dans le **document 1**. (Un type de neurone dessiné représente une population de neurones, par exemple, la population des motoneurones.)

Doc 1 Circuits neuronaux mis en jeu lors du retrait des branchies de l'aplysie



Expérience. On fait suivre par intervalle de 0,5 seconde une stimulation faible du siphon par une stimulation électrique appliquée sur la queue. On renouvelle cette manipulation une dizaine de fois, puis on stimule le siphon seul, sans choc électrique associé. On observe que les branchies se contractent aussi fortement que si la stimulation avait été suivie d'un choc électrique ; cet effet est conservé pendant plusieurs jours. Les chercheurs ont mis en évidence que le conditionnement est lié aux interneurones : le stimulus électrique excite ces interneurones qui libèrent leur neurotransmetteur (sérotonine) sur les terminaisons présynaptiques des neurones sensoriels innervant le siphon. Après conditionnement, ces neurones sensoriels libèrent davantage de neurotransmetteur à leur synapse avec les motoneurones des branchies.

Proposez une interprétation en termes de plasticité neuronale au conditionnement de l'aplysie.

CORRIGÉ : Apprentissage chez l'aplysie et réseaux neuronaux

Il ne s'agit pas de répéter le texte, votre réponse doit expliquer comment les **stimulations répétées du siphon immédiatement suivies par celles de la queue ont provoqué un apprentissage (non conscient) chez l'aplysie.**

Dans un premier temps il faut donc expliquer ce qu'a appris l'aplysie.

Puis proposer une interprétation au niveau neuronal (circuit mis en jeu lorsque le siphon est faiblement stimulé avant et après conditionnement).

Analyse du conditionnement

L'aplysie a appris à associer une stimulation faible du siphon à la survenue d'un choc électrique : ses muscles ont appris – processus inconscient – à se rétracter fortement, ce qui assure une meilleure protection des branchies.

Mise en relation avec le document

Lorsque le siphon est stimulé faiblement, les neurones sensoriels du siphon émettent un message transmis aux motoneurones qui commandent la contraction des muscles du siphon. Ce message est plus intense après conditionnement : les chercheurs ont montré que les synapses entre les neurones sensoriels du siphon et les motoneurones ont été renforcées : elles produisent plus de neurotransmetteur (sérotonine) qu'avant le conditionnement.

Ici on répond à la question « Pourquoi le muscle du siphon se rétracte-t-il plus fortement lorsqu'on stimule le siphon après conditionnement ? » mais pas à la question « Comment les synapses entre les neurones sensoriels du siphon et les motoneurones sont-elles devenues plus sensibles au cours du conditionnement ? ». Il reste à répondre à cette question, votre réponse n'est donc pas complète si vous vous êtes arrêté ici.

Mécanisme

Le fonctionnement quasi simultané des deux circuits neuronaux (stimulation faible du siphon + stimulation électrique forte de la queue) a modifié le fonctionnement des neurones sensoriels du siphon qui sont devenus plus sensibles : ils ont été **sensibilisés par les interneurones du circuit de la queue** qui établissent des synapses avec leurs terminaisons (**document 2b**).

Lorsque les deux types de neurones sont stimulés simultanément au cours du conditionnement, les interneurones stimulent les neurones sensoriels du siphon qui produisent davantage de neurotransmetteur. Cette expérience répétée une dizaine de fois dans un laps de temps court, suffit pour modifier les synapses des neurones sensoriels du siphon avec les motoneurones : elles sont devenues plus efficaces, même sans l'intervention des interneurones (**document 2c**).

Doc 2 Remodelage synaptique au cours du conditionnement

- Situation avant le conditionnement.
- Situation pendant le conditionnement.
- Situation après le conditionnement.

