

Thème 3 Corps humain et Santé

Partie A – Comportements, mouvement et système nerveux

Chapitre 15 – Cerveau, mouvement volontaire et action de substances exogènes

Introduction

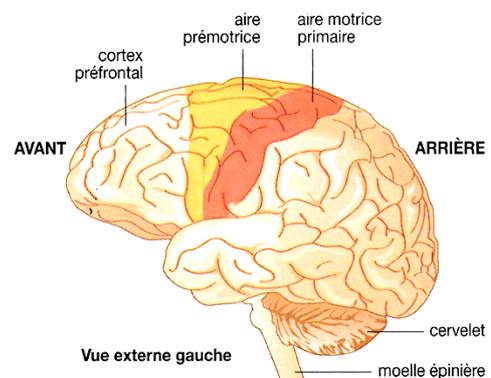
La réalisation des réflexes myotatiques est contrôlée par un seul centre nerveux : la moelle épinière, tandis que le **contrôle volontaire** des muscles dépend des centres nerveux de l'**encéphale** situés dans la boîte crânienne, plus précisément de la couche la plus externe du cerveau : le **cortex**.

- Nous préciserons les **zones du cortex** impliquées dans la motricité volontaire et nous montrerons comment **le système nerveux intègre les messages** provenant du cortex et ceux mis en jeu dans le réflexe achilléen.
- Nous exploiterons ces connaissances pour mieux comprendre comment des **substances exogènes** comme les drogues et les médicaments psychotropes peuvent modifier le fonctionnement du cerveau.
- Puis nous mettrons en évidence quelques-unes des **propriétés du cortex**.

1. Les zones du cortex impliquées dans la motricité volontaire

L'exploration du cortex par **stimulation directe** (travaux de Penfield¹ sur des patients opérés) et plus récemment par **imagerie fonctionnelle**, permet de montrer que les mouvements volontaires s'effectuent suite à l'activation de neurones situés dans deux zones du cortex frontal appelées **aire prémotrice** et **aire motrice**.

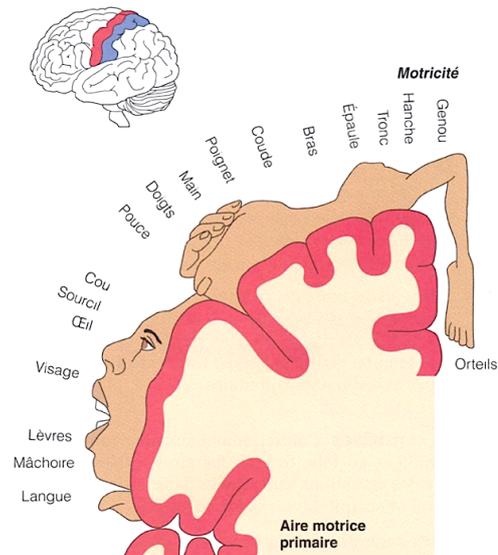
- L'aire prémotrice est impliquée dans la planification du mouvement, la coordination des différentes parties du corps.



¹ Wilder Penfield, neurochirurgien canadien (1891 - 1976). Signe avec Theodore Brown Rasmussen *The Cerebral Cortex of Man* (1950), qui présente l'**homoncule moteur** et l'**homoncule sensitif**.

- Chaque région de l'aire motrice contrôle une partie du corps bien précise situé dans la partie **controlatérale** du corps : l'aire motrice droite contrôle la moitié gauche du corps et inversement.

La disposition des zones de l'aire motrice primaire qui contrôlent les différentes parties du corps est globalement la même chez tous les individus. Elle est représentée sous la forme d'un dessin appelé **homunculus (ou homonculus) moteur**. Dans l'homunculus moteur, la surface de la zone dédiée à chaque partie du corps est proportionnelle à la complexité et à la fréquence des mouvements de cette partie. Ainsi, les surfaces les plus importantes sont généralement celles dédiées aux doigts, aux lèvres et à la langue.



Remarque : l'aire sensorielle du cortex est organisée selon le même principe que l'aire motrice, avec un **homunculus sensoriel**.

2. Les voies nerveuses de la motricité volontaire

La réalisation d'un mouvement volontaire nécessite au moins la contraction d'un muscle agissant sur une articulation et le relâchement du muscle antagoniste qui exerce l'effet opposé sur cette même articulation. Le message nerveux moteur issu d'un même neurone de l'aire motrice peut produire simultanément ces deux effets.

- Ce message est conduit par l'axone dans un des grands faisceaux d'axones du **tronc cérébral** ;
- Puis l'axone passe du côté controlatéral au niveau de la **jonction bulbe rachidien-moelle épinière** ;
- L'axone conduit ensuite le message moteur le long de la **substance blanche** de la moelle épinière jusqu'au niveau de la moelle épinière qui contrôle les muscles impliqués dans le mouvement.
- Il pénètre dans la **substance grise** de la moelle épinière où il se ramifie et forme des synapses avec les motoneurones concernés par le mouvement.
 - Une **synapse excitatrice** avec le motoneurone qui va permettre la contraction du muscle sollicité
 - Une **synapse inhibitrice** via un **interneurone inhibiteur** qui va permettre le relâchement du muscle antagoniste.

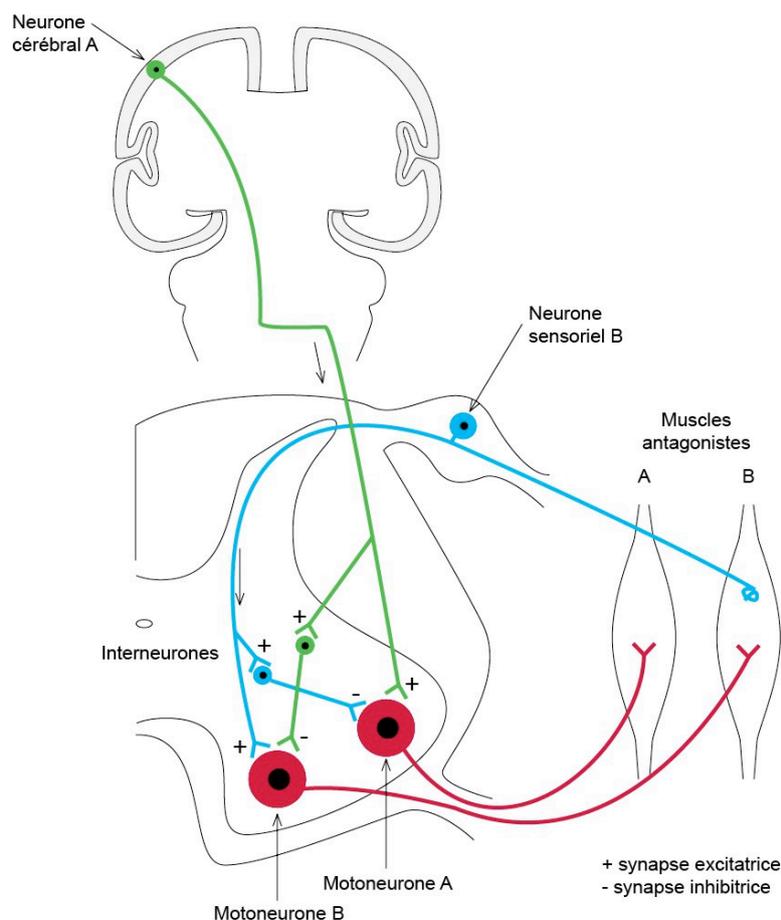
Remarque : Les motoneurones de la moelle épinière ont une **organisation spatiale** bien précise. Les motoneurones impliqués dans le mouvement des membres supérieurs sont situés plus haut que les motoneurones impliqués dans le mouvement des membres

inférieurs. De même, les motoneurones impliqués dans le mouvement de muscles situés près de la moelle épinière sont dans une partie de la substance grise plus centrale que les motoneurones impliqués dans le mouvement de muscles plus éloignés.

Remarque : Comme le mouvement volontaire, la réalisation des réflexes implique à la fois la contraction des muscles du mollet et le **relâchement des muscles antagonistes**. Ainsi, le neurone sensoriel impliqué dans le réflexe achilléen forme à la fois une synapse excitatrice avec le muscle du mollet et une synapse inhibitrice via un interneurone inhibiteur avec le muscle antagoniste (jambier antérieur).

Ainsi, sur la membrane d'un motoneurone de la moelle épinière, on peut trouver à la fois :

- Des synapses excitatrices par lesquelles il reçoit les signaux issus de l'aire motrice du cortex controlatéral
- Des synapses excitatrices par lesquelles il reçoit les messages nerveux des neurones sensoriels impliqués dans certains réflexes
- Des synapses inhibitrices issues de tous les neurones qui stimulent la contraction du muscle antagoniste



Bilan : circuit nerveux d'une commande motrice volontaire et d'un réflexe myotatique ayant l'effet opposé

3. L'intégration des messages nerveux volontaire et réflexe

Dans le motoneurone, le message nerveux moteur efférent prend naissance à la base de l'axone appelée **cône axonal**. La naissance d'un ou plusieurs potentiel(s) d'action obéit à la loi du tout ou rien : elle n'a lieu que si le seuil d'excitation du motoneurone est dépassé.

Le fonctionnement de chaque synapse d'un motoneurone se traduit par une petite modification transitoire de la valeur de sa ddp transmembranaire appelé PPS (**potentiel post-synaptique**) :

- Une dépolarisation pour les synapses excitatrices (à acétylcholine par exemple) ;
- Une hyperpolarisation pour les synapses inhibitrices (à GABA ou acide γ -aminobutyrique par exemple).

Ces petites modifications de ddp se propagent en s'atténuant sur le corps cellulaire du motoneurone et s'additionnent dans le cône axonal de deux manières :

- Addition des PPS issus des différentes synapses ayant fonctionné simultanément : **sommation spatiale** ;
- Addition des PPS issus d'une même synapse ayant fonctionné plusieurs fois de suite à intervalles de temps suffisamment rapprochés : **sommation temporelle**, dans le cas de l'arrivée dans cette synapse d'un train de potentiels d'actions de fréquence suffisamment élevée.

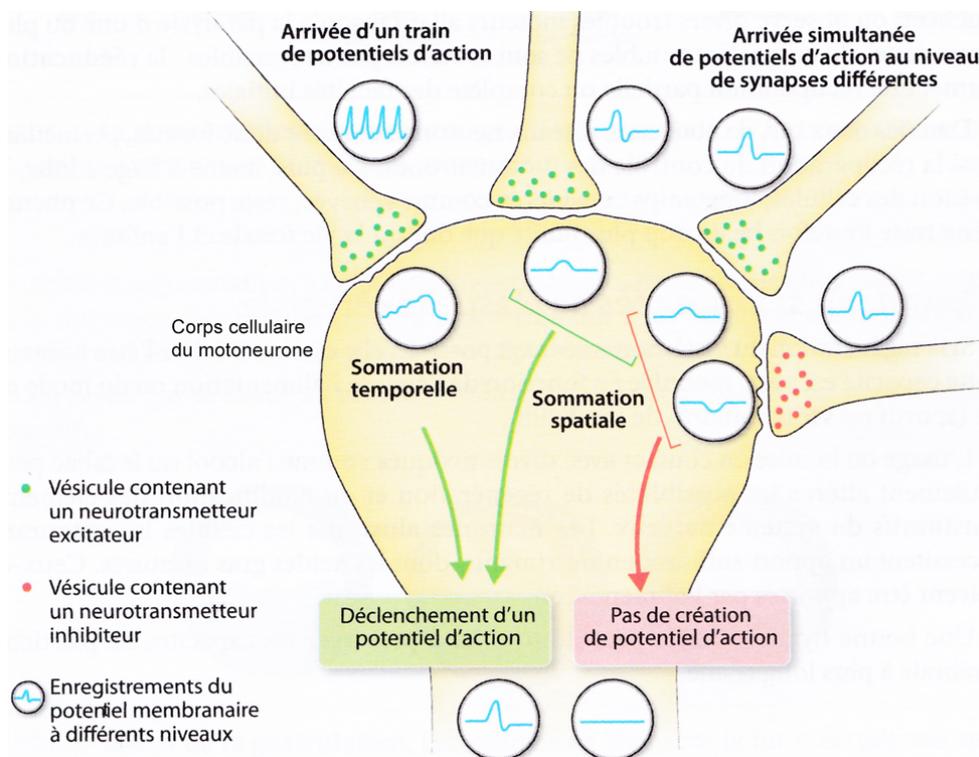


Schéma de principe de l'intégration des messages dans le corps cellulaire d'un neurone

Ainsi, le motoneurone réalise en continu une sorte de moyenne pondérée ou **intégration** des messages nerveux qu'il reçoit et émet ses propres potentiels d'action en fonction du résultat de cette intégration. C'est ainsi que le système nerveux produit des décisions à partir de très nombreuses informations parfois contradictoires.

Cela permet d'arbitrer par exemple les **conflits** entre l'exécution d'un réflexe et un message « volontaire » d'origine corticale venant contrarier ce réflexe.

4. La plasticité cérébrale

L'exploration du cortex moteur de différents individus par **imagerie fonctionnelle** montre que l'homunculus moteur n'est pas tout à fait identique chez tous les individus. Certaines des différences observées peuvent être innées, mais d'autres sont le résultat de l'apprentissage et de l'entraînement.

En effet, au cours de l'apprentissage d'une tâche nouvelle, des neurones supplémentaires sont **recrutés** pour participer à sa réalisation. Il s'agit par exemple des neurones sensoriels et moteurs correspondant aux organes impliqués, mais aussi d'autres zones (aires associatives de la mémoire, aires dédiées à la reconnaissance des sons, des formes...).

La taille des aires recrutées augmente généralement avec le temps dédié à cette tâche.

Cette capacité du cerveau à modifier son propre fonctionnement en réponse à l'environnement, déjà vue en classe de première, est la **plasticité cérébrale**. Elle repose notamment sur la capacité des neurones à modifier au cours du temps leurs connexions synaptiques ou **plasticité synaptique**.

La plasticité cérébrale permet aussi d'expliquer les capacités de récupération après la lésion d'une zone du cerveau suite à un **AVC** (accident vasculaire cérébral), par exemple. Chez certaines personnes, la perte d'une zone motrice impliquée dans une certaine tâche va être progressivement (et partiellement) remplacée par le recrutement de zones voisines pour la même tâche.

Cette capacité de récupération est malheureusement limitée. Elle tend à diminuer avec l'âge et l'usage ou la mise en contact avec des **substances neurotoxiques** comme le tabac et l'alcool. Une bonne hygiène de vie et une activité intellectuelle fréquente et exigeante aident à la préserver.

5. Le cerveau, un organe fragile à préserver

5.1 Les cellules spécialisées du cerveau

Le système nerveux central (SNC) et en particulier le cerveau possèdent des propriétés particulières comme la capacité à propager des messages nerveux et, pour le cerveau ; la plasticité cérébrale. Ces propriétés reposent sur les **cellules spécialisées** présentes dans ces organes.

Les **neurones**, dont nous avons déjà présenté la structure, sont des cellules **excitables** qui propagent des potentiels d'action. Ils produisent et libèrent des neurotransmetteurs assurant la transmission synaptique. Dans une certaine mesure, ils sont capables de modifier **l'architecture de leurs synapses** en supprimant ou en ajoutant de nouvelles connexions, et le **fonctionnement** de ces synapses en modifiant notamment le nombre des récepteurs synaptiques.

Le bon fonctionnement des neurones nécessite la présence d'autres types cellulaires, regroupé sous l'appellation **cellules gliales**, qui sont aussi nombreuses que les neurones et représentent la moitié du volume des centres nerveux.

- Les **oligodendrocytes** ont pour principale fonction de produire les gaines de myéline qui permettent d'accélérer la propagation des potentiels d'action le long de certaines fibres nerveuses².
- Les **astrocytes**, cellules de grande taille, possèdent **des récepteurs synaptiques** et peuvent donc être stimulés par les neurones, mais ils n'émettent pas de potentiels d'action. Ils jouent notamment un rôle dans le **fonctionnement des synapses** et la **nutrition** des neurones. Ils prélevent des nutriments à partir des capillaires sanguins, constituent des stocks sous forme de glycogène, à partir desquels ils restitueraient aux neurones certains nutriments comme le lactate.
- Les **cellules microgliales** forment la microglie du système nerveux central (SNC). Elles sont capables de se déplacer et de **phagocyter** des déchets ou des éléments potentiellement dangereux (particules virales), et sécrétant divers **médiateurs chimiques** impliqués dans la défense et le développement des réseaux de neurones. Ces cellules microgliales sont issues de cellules souches sanguines durant la vie embryonnaire ; ce sont des leucocytes proches des **macrophages**. Elles jouent dans le SNC un rôle similaire à celui des macrophages dans les autres tissus.

² Dans le système nerveux périphérique, d'autres cellules, appelées cellules de Schwann, produisent les gaines de myéline.

Le fonctionnement du SNC est donc le résultat d'une collaboration étroite et permanente entre ces différents types cellulaires. Dans certaines maladies, des dysfonctionnements de ces cellules provoquent des troubles tels que des handicaps moteurs ou des désordres cognitifs (troubles du langage, de la mémoire, du raisonnement...). C'est le cas de la **sclérose en plaque** (environ une personne sur 1000 dans le monde). Dans cette maladie, une réaction immunitaire entraîne la destruction des gaines de myéline qui entourent les axones ou démyélinisation. Un des facteurs essentiels de développement de la maladie est la **capacité des oligodendrocytes à réparer les gaines de myéline** endommagées (remyélinisation).

Le fonctionnement du cerveau implique notamment la communication synaptique entre cellules par le biais de neurotransmetteurs. Or, certaines substances chimiques peuvent perturber cette communication.

5.2 Un fonctionnement sensible aux substances exogènes

De nombreuses drogues et médicaments sont des **psychotropes** : ils influencent le fonctionnement du système nerveux central. Une grande partie des psychotropes produisent leurs effets en modifiant la **transmission synaptique**.

Les drogues comme le tabac, le cannabis ou la cocaïne, augmentent la libération d'un neurotransmetteur appelé **dopamine** dans certains centres nerveux impliqués dans le **circuit de récompense du cerveau**, à l'origine des sensations de satisfaction et de plaisir.

Certaines de ces drogues contiennent des substances dont la structure moléculaire est proche de celle d'un neuromédiateur naturel. Ces substances peuvent alors se fixer sur les récepteurs synaptiques de ces neuromédiateurs. Or ces substances **exogènes** (étrangères à l'organisme) possèdent des propriétés chimiques différentes de celle du neuromédiateur. Elles peuvent alors renforcer l'effet du neuromédiateur (**agonistes**) ou le bloquer (**antagonistes**).

Drogue	Mode d'action
Tabac	La nicotine remplace l'acétylcholine sur certains récepteurs synaptiques des neurones à dopamine, diminuant leur seuil d'excitabilité.
Cannabis	Le THC du cannabis est un agoniste de l'anandamide qui diminue la libération de GABA par des neurones inhibiteurs des neurones à dopamine, dont l'activité augmente
Cocaïne	La cocaïne bloque la recapture de la dopamine dans les synapses à dopamine, prolongeant et amplifiant donc l'effet de la dopamine
Métamphétamine	La métamphétamine (ou Ice) inverse le processus de recapture de la dopamine dans les synapses à dopamine, augmentant fortement la présence de dopamine dans l'espace synaptique

Mode d'action de quelques drogues

La perturbation du système nerveux induite par ces psychotropes conduit souvent à une augmentation de la **tolérance** (perte de sensibilité du système nerveux à la substance). Le **développement** du système nerveux peut être affecté notamment chez les adolescents.

Dans tous les cas, le risque d'**addiction** ou **dépendance** est élevé. La dépendance est le désir puissant et permanent de reproduire un comportement malgré les complications et les dégâts qu'il entraîne.

Il peut s'agir d'une **dépendance physique** (notamment avec l'alcool et l'héroïne) associée à un **syndrome de manque** ; mais dans tous les cas le risque d'une **dépendance psychologique est élevé**, l'arrêt de la consommation étant associé à la perte de la sensation de plaisir.

6. Conclusions

La motricité volontaire est un exemple de fonction contrôlée par le cerveau. L'activité du cerveau repose sur une distribution des tâches entre des groupes de neurones pouvant évoluer et échangeant entre eux des informations grâce à un réseau de synapses dense et évolutif. Ce fonctionnement confère à l'activité cérébrale une grande souplesse et une grande adaptabilité, mais aussi une certaine vulnérabilité aux substances chimiques exogènes.