

Cerveau et mouvement volontaire

Introduction :

Si certains mouvements sont involontaires, comme le réflexe myotatique, les autres émanent d'une décision d'agir sur son environnement. Il s'agit des mouvements volontaires. L'exécution de ces mouvements mobilise le cerveau qui va superviser la prise de décision ainsi que tous les systèmes nécessaires pour contrôler les muscles. Il peut cependant arriver que des lésions ou des pathologies impactent son bon fonctionnement.

En quoi le cerveau est-il le chef d'orchestre de nos mouvements ? Quelle est sa capacité de récupération après un traumatisme ?

Dans un premier temps, nous étudierons la structure anatomique du cerveau et les zones responsables du mouvement volontaire. Nous nous pencherons ensuite sur différentes lésions ou troubles susceptibles de perturber son fonctionnement. Pour finir, nous verrons que le cerveau est un organe doué d'une grande capacité de récupération grâce à ce qu'on nomme la plasticité cérébrale.

1 | Cerveau et organisation anatomique

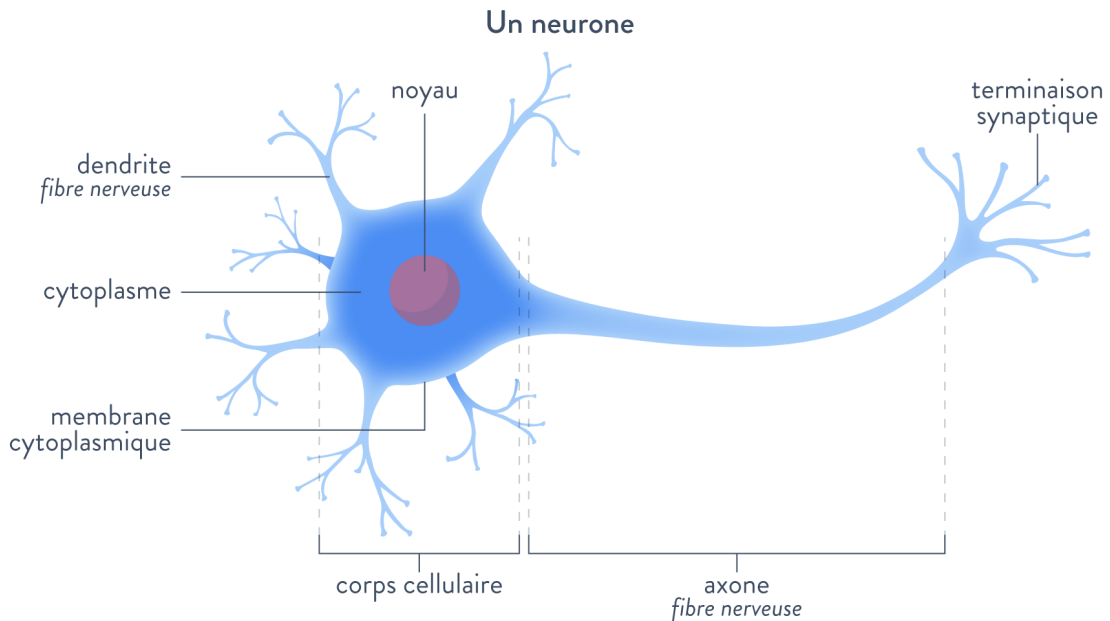
a. Cytologie du système nerveux

Le système nerveux est divisé en deux catégories :

- le **système nerveux central** qui est constitué du cerveau et de la moelle épinière ;
- et le **système nerveux périphérique** qui représente l'ensemble des nerfs.

Tout le système nerveux est constitué des **neurones** et de cellules de soutien, les **cellules gliales**.

Un neurone est une cellule excitable qui permet la conduction de messages électriques le long de ses fibres nerveuses.

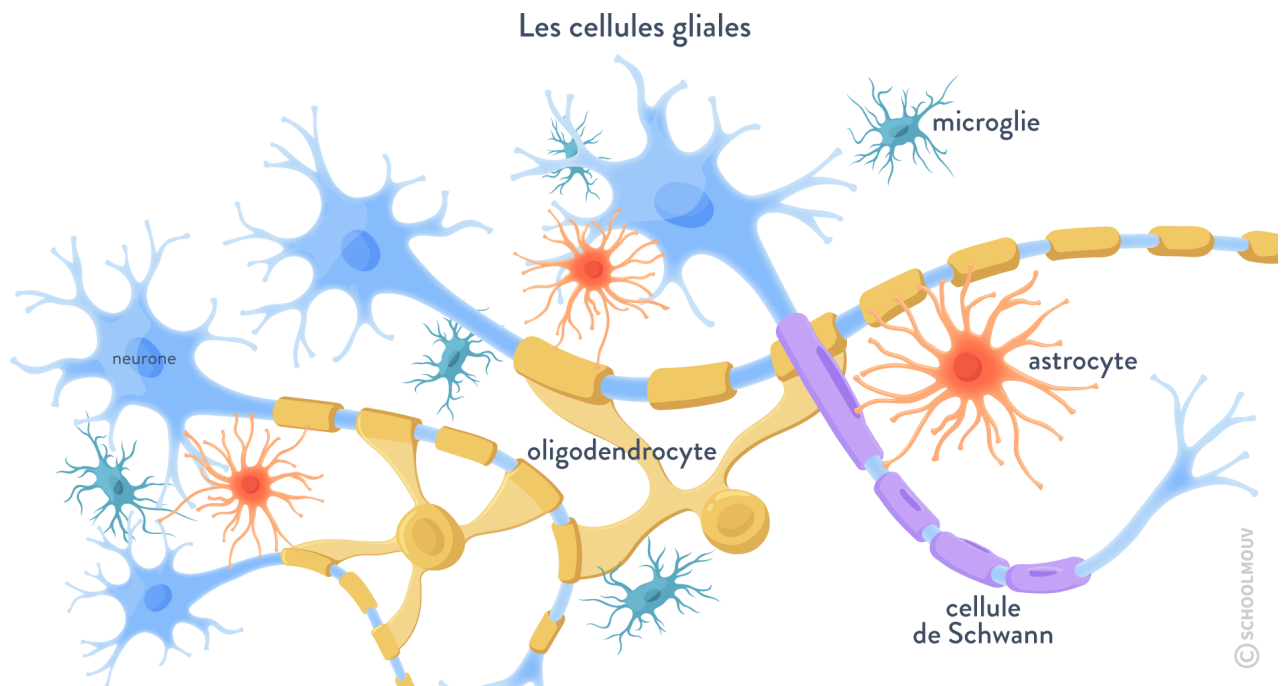


© SCHOOLMOUV

Les cellules gliales se trouvent entre les neurones : elles permettent ainsi d'assurer la cohésion du tissu nerveux, son soutien et sa nutrition. Au niveau du système nerveux central, ces cellules représentent **90 %** du tissu nerveux. Elles jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement des neurones.

Il existe plusieurs types de cellules gliales :

- les astrocytes ;
- les oligodendrocytes ;
- les microglies ;
- et les cellules de Schwann.



Les cellules de Schwann, par exemple, facilitent la conduction des potentiels d'action le long des nerfs en les entourant de leur membrane.

→ On appelle cette gaine la myéline.



- Le système nerveux central est constitué du cerveau et de la moelle épinière.
- Les fibres nerveuses représentent le système nerveux périphérique.
- En plus des neurones, le tissu nerveux est constitué de cellules gliales qui assurent un rôle de soutien et facilitent la conduction du message nerveux.

b. Cortex cérébral et aires motrices

Le cerveau contrôle toutes les fonctions du corps et est donc un organe complexe ; il est capital de l'étudier pour en comprendre le fonctionnement.

Une des techniques utilisées pour le sonder repose sur le phénomène de résonance magnétique nucléaire (RMN).

→ La **RMN** exploite les propriétés du noyau de certains atomes sous l'effet d'un champ magnétique.

En médecine, on parle d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) : on superpose une image du cerveau du patient à des indicateurs de l'activité cérébrale.



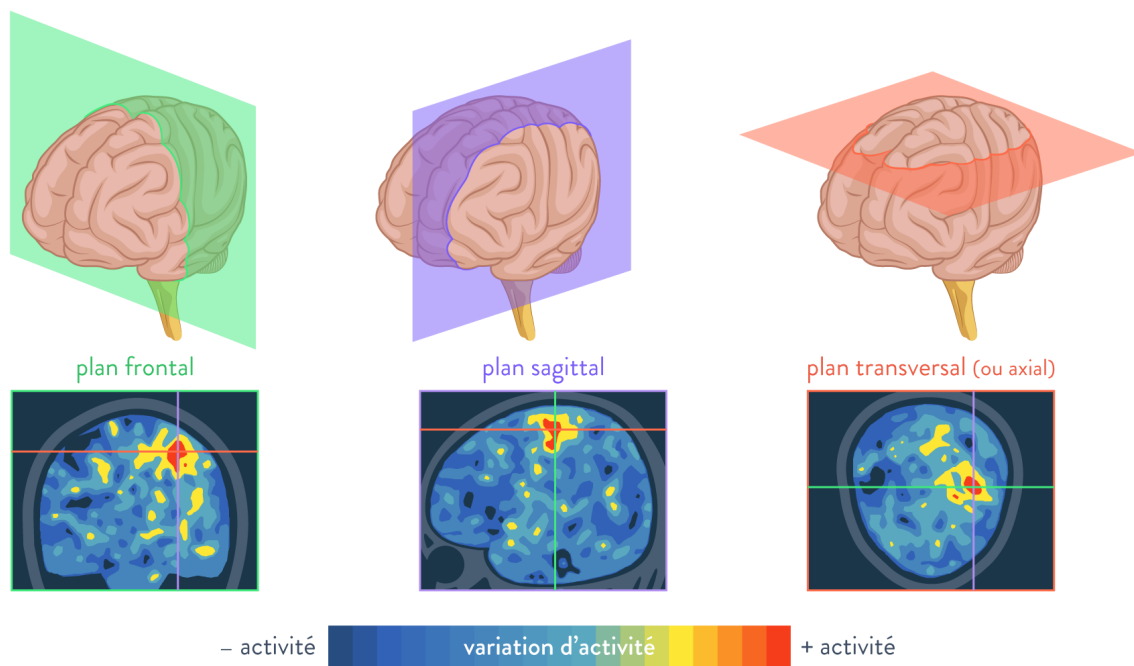
On utilise notamment la variation du taux de dioxygène dans le sang, marqueur de l'augmentation du métabolisme cellulaire.



IRMf :

IRMf signifie « Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle ». Il s'agit d'une méthode permettant de visualiser l'activité cérébrale grâce à la variation du taux de dioxygène sanguin dans les différentes aires du cerveau.

Si l'on demande à un patient de fléchir trois fois l'index de sa main droite, nous pouvons observer les résultats suivants sur l'IRMf :



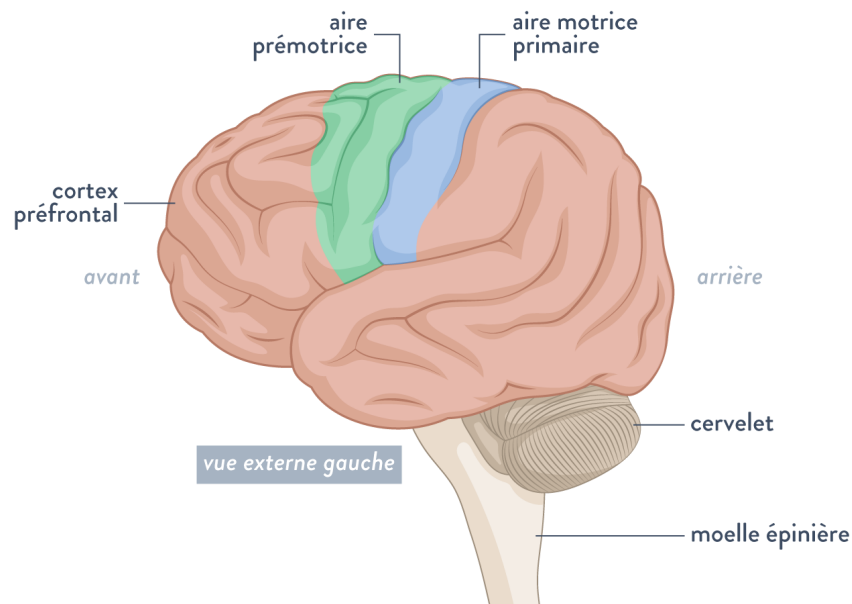
 À retenir

Nous pouvons donc voir que seules certaines aires cérébrales sont activées par la réalisation d'un mouvement volontaire : les **aires corticales motrices**.

 Astuce

Ici, c'est l'aire corticale motrice gauche qui est stimulée : la partie du corps mobilisée (ici droite) et la zone cérébrale activée sont toujours inversées.

Les aires corticales motrices



© SCHOOLMOUV

Les aires motrices reçoivent des informations en continu sur l'état du système musculaire grâce aux **aires de la perception**. Cela permet d'ajuster les contractions. Le **cervelet** est une autre région du cerveau mettant en œuvre ce contrôle. Il compare la commande venant des aires motrices avec le résultat et modifie cette commande si un ajustement est nécessaire.

Le cervelet participe également à la programmation du mouvement volontaire, au contrôle de la posture et de l'équilibre, ainsi qu'aux mouvements combinés de la tête et des yeux.

Les commandes motrices sont ensuite dirigées vers la moelle épinière par les nerfs rachidiens, puis envoyées aux muscles.

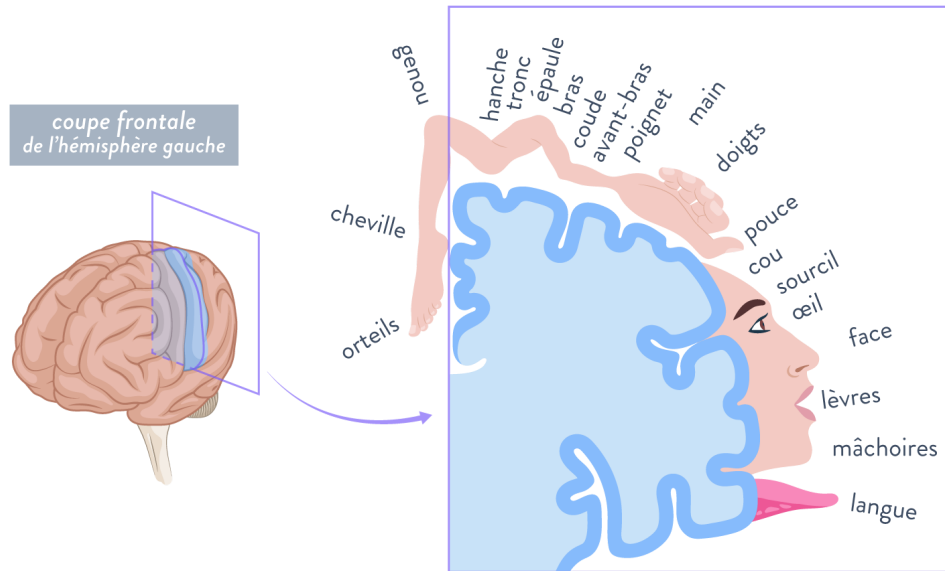
Un muscle est toujours innervé par un unique motoneurone, mais un motoneurone peut innerver plusieurs muscles. Si un neurone contrôle peu de faisceaux musculaires, le mouvement sera précis. À l'inverse, si un neurone contrôle beaucoup de faisceaux musculaires, le mouvement pourra développer plus de puissance.

→ Chaque neurone des aires corticales motrices contrôle donc la contraction d'un ensemble de fibres musculaires précises.

Il est possible d'associer un point du cortex à un muscle. On peut figurer une projection de ces innervations sur le cortex (on parle d'organisation somatotopique appelée aussi « homonculus »).

Dans ce type de représentation, plus un muscle est représenté, plus ses innervations sont importantes, plus ses mouvements peuvent être précis.

Organisation somatotopique de l'aire motrice primaire chez l'humain



© SCHOOLMOUV

À retenir

- Le cerveau est divisé en plusieurs aires ayant chacune un rôle bien précis : les aires corticales motrices et le cervelet gèrent le système moteur.
- Chaque point de la région motrice du cerveau innerve un muscle précis.

Somme Somme spatio-temporelle

Rappel

Le message nerveux est d'abord codé au niveau des récepteurs sensoriels. Lorsqu'un stimulus est détecté, le potentiel de membrane du neurone sensitif varie. L'information codée sous forme de variation dans la polarisation de la membrane est convertie en potentiels d'action. Le

train de potentiels d'action est alors transmis par les fibres nerveuses aux centres nerveux afin qu'il y soit traité.

Si plusieurs stimuli ont lieu en même temps ou au même endroit, l'information peut être sommée, dans le temps ou dans l'espace afin d'apporter une réponse plus adaptée.



Définition

Sommation temporelle :

On parle de **sommation temporelle** lorsque plusieurs stimuli agissent au même endroit dans un laps de temps court.

- La variation du potentiel de membrane est ainsi plus importante, car les réponses aux stimuli s'accumulent.



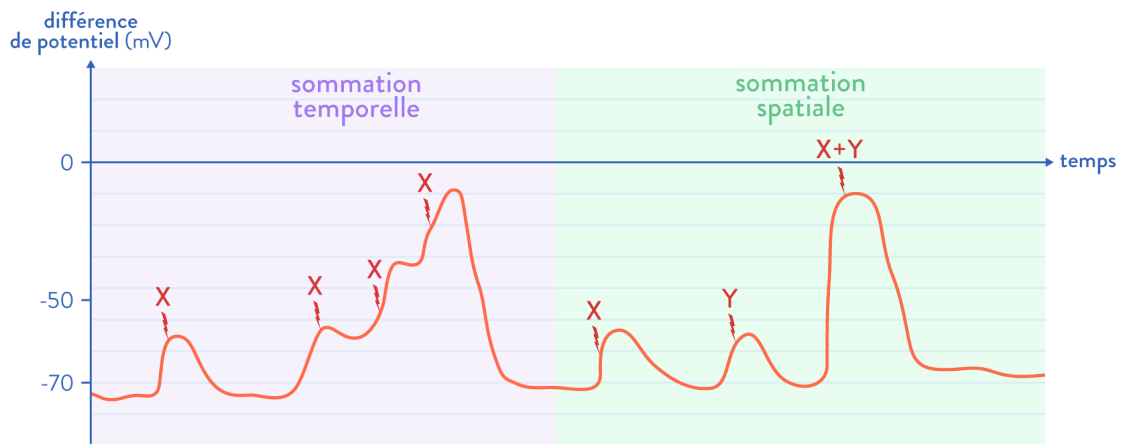
Définition

Sommation spatiale :

On parle de sommation spatiale lorsque deux stimuli agissent sur des points proches en même temps.

- Les variations des potentiels de membrane vont s'ajouter et ne former qu'un unique train de potentiels d'action.

La sommation permet de réduire la quantité de potentiels d'action grâce à une **addition des messages** provenant des récepteurs sensoriels.



© SCHOOLMOUV

Nous pouvons voir sur ce schéma que trois stimuli agissant sur la même zone, tout en étant rapprochés dans le temps, peuvent s'additionner pour ne former qu'un seul potentiel d'action plus important.

→ On parle alors de **sommation temporelle**.

Sur la seconde partie du schéma, nous pouvons voir que deux stimuli agissant sur deux zones proches et en même temps peuvent également s'ajouter l'un à l'autre. Le potentiel d'action correspond à une somme des deux stimuli.

→ On parle de **sommation spatiale**.

 À retenir

- Le système nerveux possède une organisation anatomique complexe, permettant d'orchestrer tous les processus nécessaires au fonctionnement de l'organisme.
- Des cellules hautement spécialisées, les neurones, permettent la transduction du message nerveux. Les cellules gliales, quant à elles, leur apportent nutriments et soutien.

- Chaque zone du cerveau occupe un rôle précis : les aires corticales motrices gèrent, par exemple, le mouvement volontaire. L'étude poussée du cerveau a permis de déterminer avec précision le rôle de chaque point de ces aires.
- Le fonctionnement du système nerveux est optimisé de manière à rendre la communication la plus rapide et la plus précise possible. C'est ce que nous pouvons voir dans l'exemple de la sommation des stimuli, permettant de limiter les potentiels d'action en cas de stimuli répétés.

2 | Atteintes cérébrales

a. Un exemple d'infection nerveuse : la méningite

Le système nerveux peut être perturbé par différents événements, comme une infection par exemple. C'est le cas lors d'une méningite qui correspond à une inflammation de l'enveloppe protégeant le cerveau (enveloppe appelée les « méninges »). Cette inflammation est due à une infection par un pathogène.



Il ne faut pas confondre les méningites d'origine virale, souvent bénignes, avec les méningites d'origine bactérienne qui peuvent être mortelles. Les bactéries impliquées sont appelées les méningocoques ; elles se transmettent par contact étroit et prolongé.

Les symptômes de la méningite à méningocoques sont liés à l'infection (de la fièvre et de violents maux de tête), ainsi qu'à l'atteinte des méninges (une raideur de la nuque, une léthargie et des troubles de la conscience pouvant aller jusqu'au coma).

Le diagnostic est confirmé par l'examen du liquide céphalo-rachidien (prélevé lors d'une ponction lombaire) et du sang, à la recherche de bactéries.



Le liquide céphalo-rachidien est un liquide présent dans tout le système nerveux central. On le retrouve autour du cerveau mais également dans la moelle épinière. La présence des méningocoques dans ce fluide (qui est habituellement stérile) implique donc une infection généralisée du système nerveux, ce qui peut entraîner des conséquences graves, allant jusqu'au décès des patients.

Les conséquences d'une méningite mettent en évidence le fait qu'une inflammation cérébrale entraîne des perturbations au niveau de l'entière du système nerveux. En effet, ce dysfonctionnement conduit à des inflammations chroniques graves dans tout l'organisme ainsi que des lésions au niveau des nerfs et des œdèmes crâniens (troubles de la vue, de l'audition ou des mouvements faciaux) causant des atteintes neurologiques graves.

Les traitements sont souvent à base d'antibiotiques et des vaccins existent.

b. Maladies neurodégénératives

Certaines maladies entraînent une dégénérescence lente et progressive du système nerveux, des neurones notamment. Des fonctions sont alors perturbées ou perdues. Les conséquences peuvent aller de la perte d'autonomie au décès du patient. On parle de **maladies neurodégénératives**. Les plus connues sont la maladie d'Alzheimer et la maladie de Parkinson.

- La **maladie d'Alzheimer** correspond à une dégénérescence des neurones et des fibres nerveuses par l'accumulation de protéines, ainsi qu'à une inflammation chronique. Certaines régions du cerveau s'atrophient jusqu'à disparaître. Ce trouble se caractérise par une amnésie puis par la perte progressive de fonctions vitales conduisant à terme à la mort du patient.
- La **maladie de Parkinson** correspond à une perte progressive des neurones à dopamine, un neurotransmetteur, perturbant la transmission d'informations entre neurones. Une fois une grande partie des neurones à dopamine disparue, trois symptômes principaux touchant le système moteur font leur apparition : une lenteur (akinésie), une rigidité des muscles (hypertonie) et des tremblements.



Lésions et dysfonctionnements

Il peut arriver, lors d'un accident violent par exemple, que le système nerveux soit endommagé. Les messages nerveux ne sont alors plus transmis ou traités correctement.

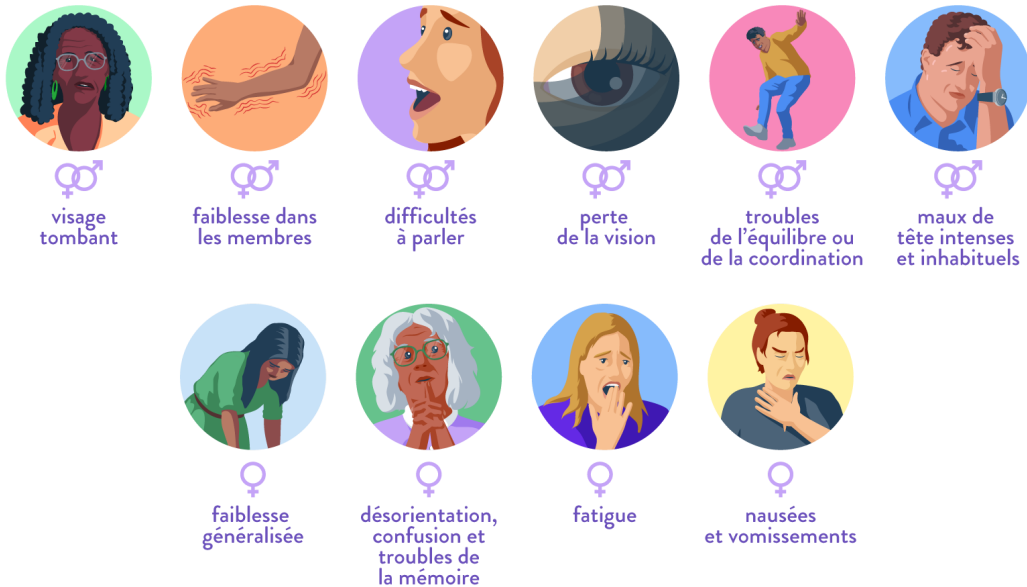
- Si la moelle épinière est touchée, des troubles moteurs risquent d'apparaître puisqu'en l'absence de transduction d'informations le long des nerfs rachidiens, la motricité est perturbée. Ces perturbations peuvent engendrer une paralysie partielle ou totale. Plus la lésion est haute sur la colonne vertébrale, plus la paralysie sera généralisée.



Dans ces cas de paralysie, les réflexes peuvent néanmoins être toujours fonctionnels.

- Si l'irrigation d'une partie du cerveau est subitement interrompue (caillot de sang, rupture d'un vaisseau...) les fonctions de ce dernier ne peuvent se faire correctement. Cette lésion du système nerveux s'appelle un accident vasculaire cérébral (AVC). C'est une atteinte soudaine qui nécessite une prise en charge urgente.

Symptômes de l'AVC chez la femme et l'homme



Les hommes et les femmes partagent des symptômes communs lors d'un AVC, mais les femmes en présentent davantage.



Attention

Les femmes peuvent présenter davantage de signes avant-coureurs d'un AVC : ils sont souvent plus modérés et donc moins facilement identifiés.

Un AVC peut, à sa suite, générer plusieurs séquelles liées à la région du cerveau n'ayant pas pu être irriguée. Il peut s'agir d'une hémiplégie (paralysie d'une moitié droite ou gauche du corps) ou d'autres problèmes moteurs ; mais aussi de troubles du langage, de la compréhension et de la mémoire.



Astuce

L'AVC est très visible en IRM avec une masse sombre témoin de l'hémorragie ; la connaissance des aires cérébrales et de leur fonction permet de comprendre quelles fonctions seront atteintes par l'AVC.

Il est cependant possible de récupérer d'un AVC, à différents degrés, grâce à des soins et de la rééducation. La plasticité cérébrale permet notamment

à des parties saines du cerveau de prendre en charge les fonctions de zones touchées, en réorganisant des connexions neuronales.



- Le bon fonctionnement du système nerveux peut être perturbé par des infections, comme dans le cas des méningites.
- Certaines maladies entraînent une dégénérescence lente et progressive du système nerveux. On parle de maladies neurodégénératives (Alzheimer et Parkinson en sont des exemples).
- Au contraire, des chocs ou des accidents peuvent causer des lésions soudaines au système nerveux. Une atteinte au niveau du cerveau, lors d'un AVC par exemple, engendre des conséquences étendues à tout l'organisme.

Toutes ces lésions peuvent entraîner des conséquences allant de la perte d'autonomie au décès du patient. Le cerveau est cependant doué d'une plasticité qui peut lui permettre de récupérer certaines fonctions.

3 | Plasticité cérébrale et thérapies

a. Capacité de récupération

Dans le cas d'un AVC, la zone atteinte est souvent définitivement endommagée. Il est néanmoins possible de récupérer partiellement ou totalement les fonctions perdues grâce à une prise en charge médicale et de la rééducation.

En effet, les neurones sont capables de créer de nouvelles synapses pour rétablir les fonctions de la zone endommagée. Cette zone reste lésée, mais d'autres régions du cerveau sont réquisitionnées pour prendre en charge les fonctions perdues. On parle de **plasticité cérébrale**.



D'autres mécanismes permettent au cerveau de récupérer après un traumatisme. Les cellules de Schwann sont, par exemple, capables de

stimuler la croissance des fibres nerveuses qu'elles entourent et ainsi leur permettre de rétablir leurs connexions après une lésion.

La découverte des cellules souches offre également des possibilités thérapeutiques, pour le moment toujours en cours de recherche. Les neurones sont en effet des cellules qui se renouvellent très peu une fois la croissance achevée, mais le travail des chercheurs laisse à penser qu'il sera un jour possible de rétablir la division de ces cellules après une lésion importante ou en cas de maladie neurodégénérative.

b. Capacité d'apprentissage

La plasticité cérébrale ne rentre pas uniquement en jeu lors de lésions. Il s'agit d'un mécanisme utilisé dès la mise en place du cerveau, pendant le développement embryonnaire. Au cours du développement de l'embryon, les synapses se forment et se détruisent continuellement pour s'adapter aux changements liés au développement.

Ainsi, c'est la plasticité cérébrale qui permet la **fonction d'apprentissage**. Certaines connexions sont perdues, renforcées ou remaniées pour optimiser la transduction du signal. C'est au niveau de l'hippocampe que cette plasticité liée à l'apprentissage est la plus importante.

En s'entraînant à une nouvelle tâche, les connexions neuronales vont être améliorées pour que la transduction des informations liées à cet exercice se fasse de manière plus rapide et plus fluide. Cette optimisation n'est cependant pas permanente. Si l'entraînement est stoppé sur le long terme et si la tâche n'est plus exécutée, les connexions seront perdues pour favoriser une autre activité.

On sait ainsi que le réseau neuronal se modifie en continu. L'étude du fonctionnement et de l'organisation du système nerveux permet d'utiliser ou d'assister cette plasticité naturelle de l'organisme.

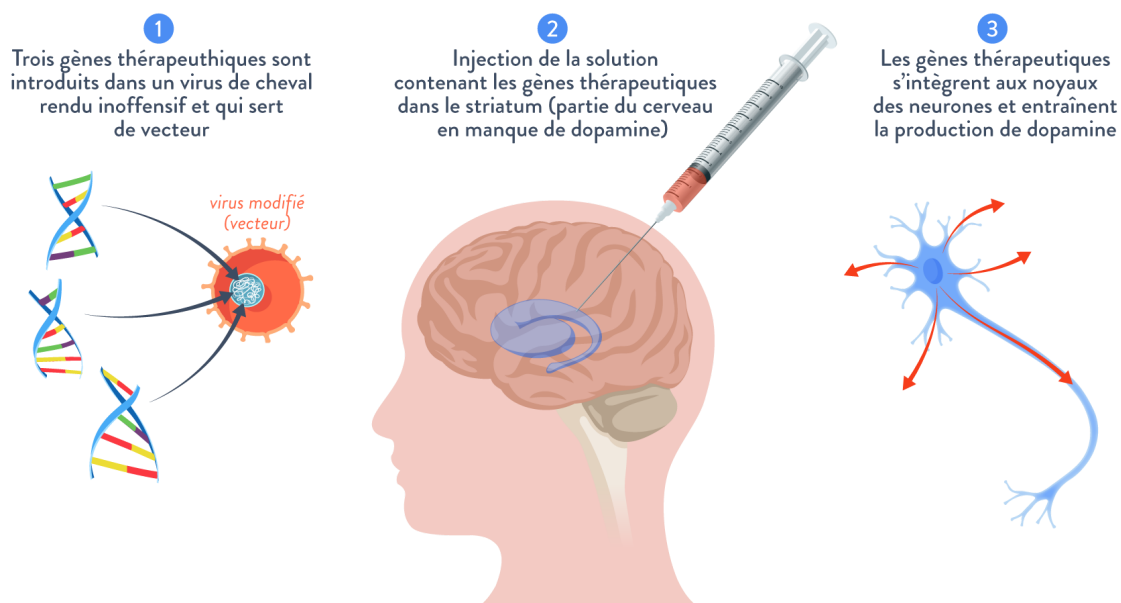
c. Des recherches toujours en cours

Plusieurs approches thérapeutiques sont aujourd'hui à l'étude pour pallier les maladies neurodégénératives.

La **thérapie cellulaire** consiste à greffer des neurones sains pour remplacer les neurones lésés. Pour ce faire, les chercheurs utilisent des cellules souches. Cependant, la technique est encore à améliorer, car son efficacité n'est pas encore optimale.

La **thérapie génique** est une autre piste en cours d'étude. Dans le cas de la maladie de Parkinson, par exemple, il serait possible de réintroduire une version du gène de la dopamine permettant sa production en continu pour pallier sa disparition. Les résultats sont encourageants à l'heure actuelle. Cette approche n'empêche cependant pas la dégénérescence neuronale.

La thérapie génique pour pallier la maladie de Parkinson



 À retenir

- La plasticité cérébrale correspond à la capacité du cerveau à se réorganiser, notamment grâce aux neurones capables de recréer des synapses.
- Ce mécanisme permet, dans une certaine limite, à des zones saines du cerveau de compenser la perte de zones endommagées en prenant en charge leurs fonctions.
- Après une prise en charge médicale et une rééducation, les patients peuvent récupérer de lésions graves, telles qu'un AVC, ou même contrôler une greffe.

- En dehors de possibles lésions, lorsqu'un individu s'entraîne à effectuer une tâche (l'apprentissage d'un instrument de musique, par exemple), les connexions entre neurones se modifient. Un tout nouveau réseau se met alors en place pour faciliter la réalisation de cette nouvelle tâche. Elle est ainsi apprise.
- L'étude de cette plasticité cérébrale et les avancées de la science en matière de thérapie cellulaire et génique, apportent un espoir de lutte contre les maladies neurodégénératives en introduisant des neurones sains ou des gènes fonctionnels chez les patients.

Conclusion :

Le cerveau est le centre de commande de l'organisme. Dans le cadre du système moteur, il traite les informations issues des récepteurs sensoriels et orchestre les réponses de manière précise grâce à son organisation en différentes aires spécialisées. Des lésions et maladies peuvent conduire à une perturbation ou une destruction du tissu neuronal, ayant pour conséquences une perte d'autonomie, une paralysie ou le décès du patient. Il existe néanmoins un mécanisme lié à l'apprentissage, la plasticité cérébrale, qui permet au cerveau de récupérer pleinement ou en partie ses fonctions après un endommagement en réattribuant des fonctions perdues à de nouvelles zones cérébrales.