

### **3.1.1. Les réflexes :**

(Bordas, Ed.2020, p.364-365)

#### **I/ Des mouvements réflexes :**

Beaucoup de comportements sont des réactions qui répondent à une stimulation : maintien de l'équilibre, fuite, défense, prise d'un objet, etc. Les mouvements ainsi induits peuvent être volontaires ou non. Un réflexe est une réaction involontaire, intervenant très rapidement en réponse à un stimulus.

Le réflexe myotatique concerne les muscles squelettiques (c'est-à-dire les muscles rattachés aux os, responsables de la mobilité du squelette) : en réponse à son propre étirement, un muscle réagit immédiatement en se contractant.

Ce réflexe intervient inconsciemment à tout moment, assurant le maintien de la posture et l'équilibre du corps.

Le réflexe myotatique est un outil de diagnostic souvent utilisé pour apprécier le fonctionnement du système neuromusculaire : par exemple, en percutant légèrement le tendon d'Achille, on déclenche une brusque contraction du muscle du mollet, ce qui provoque l'extension du pied.

À l'aide d'électrodes réceptrices placées à la surface de la peau, il est possible d'enregistrer une contraction musculaire répondant à un stimulus. Cette étude expérimentale permet de dégager les caractéristiques de la réponse réflexe : elle est rapide, involontaire, stéréotypée, mais son intensité est variable. Une telle étude, en particulier la détermination du temps de réponse, montre qu'un réflexe fait intervenir le système nerveux central (moelle épinière et/ou cerveau) : le réflexe achilléen nécessite un trajet « aller-retour » entre le muscle du mollet et la partie basse de la moelle épinière. C'est la raison pour laquelle on parle d'arc-réflexe.

#### **II/ Le circuit nerveux d'un arc-réflexe :**

##### **1°) Les éléments d'un arc-réflexe :**

Un réflexe fait intervenir successivement :

- un récepteur sensoriel, qui capte une sensation (le stimulus) et élabore un message nerveux correspondant à ce stimulus;
- des fibres nerveuses regroupées en nerf, qui transmettent le message nerveux sensoriel jusqu'à un centre nerveux, moelle épinière ou cerveau;
- le centre nerveux, qui élabore un message nerveux moteur dépendant de tous les messages reçus;
- d'autres fibres nerveuses, également regroupées en nerf, qui transmettent le message nerveux moteur jusqu'au muscle;
- un organe effecteur de la réponse, le muscle, dont la contraction est provoquée par la réception du message nerveux moteur.

Le réflexe myotatique est un réflexe très simple. Il ne fait intervenir successivement que deux types de neurones: un neurone sensoriel assurant le trajet du muscle à la moelle, puis un neurone moteur, assurant le trajet de la moelle au muscle.

##### **2°) La moelle épinière, centre nerveux du réflexe myotatique :**

Le corps cellulaire du neurone sensoriel, appelé neurone en T, se trouve dans le ganglion rachidien situé au niveau de la racine dorsale du nerf rachidien, relié à la moelle épinière. La fibre nerveuse conduisant le message nerveux du muscle au corps cellulaire est un long prolongement cytoplasmique de ce neurone, appelé dendrite. Du corps cellulaire, un court axone gagne la substance grise de la moelle épinière. Le message est alors transmis par une zone de connexion appelée synapse au neurone moteur (ou motoneurone), dont le corps cellulaire se situe dans la partie ventrale de la substance grise de la moelle épinière.

Son axone, très long, est une fibre nerveuse empruntant la racine ventrale du nerf rachidien et conduisant le message nerveux moteur jusqu'à une fibre musculaire.

### 3°) Du récepteur sensoriel au message nerveux :

Dans le cas du réflexe myotatique, le récepteur sensoriel est un mécanorécepteur sensible à l'étirement, appelé fuseau neuromusculaire (il existe également des structures mécano - réceptrices situées au niveau des tendons) : il s'agit de fibres particulières du muscle, autour desquelles sont enroulées les dendrites des neurones sensoriels. L'étirement des fibres musculaires du fuseau neuromusculaire génère un message nerveux de nature électrique au niveau de ces dendrites.

Il est possible d'enregistrer le message nerveux à l'aide d'électrodes très fines (microélectrodes) que l'on implante à l'intérieur d'une fibre. En absence de toute stimulation, on constate que la membrane du neurone est polarisée : il existe une tension électrique permanente de  $-70$  Mv entre ses deux faces, l'intérieur étant électronégatif par rapport à l'extérieur. Cette différence de potentiel transmembranaire est appelée potentiel de repos. Après une stimulation, on enregistre une série de modifications très brèves de la tension électrique transmembranaire : l'ensemble constitue le message nerveux, chaque signal élémentaire étant appelé potentiel d'action. Un potentiel d'action est une inversion brusque de la polarisation membranaire (la face interne de la membrane devenant électropositive par rapport à la face externe). L'amplitude est d'environ  $100$  mV. Cet événement est local et très bref (de l'ordre de la milliseconde).

Le message nerveux généré par un récepteur sensoriel est dépendant de l'intensité du stimulus : plus l'intensité du stimulus est importante, plus le nombre de potentiels d'action par unité de temps sera important. En revanche, on remarque que, quelle que soit l'intensité de la stimulation, l'amplitude des potentiels d'action reste constante. C'est donc la fréquence des potentiels d'action du message nerveux qui constitue le codage de l'intensité de la stimulation.

### 4°) La propagation des messages nerveux :

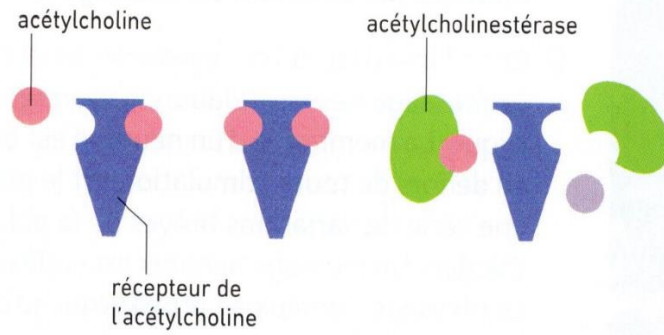
Une caractéristique d'un message nerveux est de pouvoir se propager le long des fibres nerveuses, dendrites ou axones et cela sans s'atténuer. Les nerfs rachidiens, reliant les organes périphériques à la moelle épinière, sont des nerfs mixtes : ils regroupent de très nombreuses fibres nerveuses, dendrites et axones, qui sont les prolongements cytoplasmiques des neurones sensoriels et moteurs. Chaque fibre conduit le message nerveux dans un seul sens : vers le corps cellulaire pour une dendrite et depuis le corps cellulaire pour un axone. La conduction du message nerveux s'effectue de proche en proche, à une vitesse variable, de l'ordre de  $100$  m.S<sup>-1</sup>. La présence d'une gaine de myéline autour d'une fibre augmente la vitesse de propagation du message.

Après la synapse neuro-neuronale entre le neurone sensoriel et le neurone moteur, l'axone du neurone moteur conduit le message nerveux jusqu'à une synapse neuromusculaire, ou plaque motrice, zone de connexion entre les boutons synaptiques, situés à l'extrémité de l'axone, et une fibre musculaire.

## III/ Le fonctionnement synaptique :

La structure et le fonctionnement de la synapse neuro-neuronale et de la synapse neuromusculaire sont comparables. Dans les deux cas, il existe un espace, ou fente synaptique, de  $20$  à  $50$  nanomètres, séparant la fibre nerveuse pré-synaptique de l'élément post-synaptique (neurone ou fibre musculaire). L'observation au microscope électronique montre que le cytoplasme situé à l'extrémité de la fibre pré-synaptique contient de très nombreuses vésicules.

Le message nerveux pré-synaptique ne peut pas franchir directement la fente synaptique. Ce franchissement est assuré grâce à un médiateur chimique. En effet, les nombreuses vésicules de la fibre nerveuse pré-synaptique sont remplies de molécules d'une substance chimique appelée neurotransmetteur. Dans le cas du circuit nerveux de l'arc-réflexe myotatique, le neurotransmetteur est l'acétylcholine. L'arrivée des potentiels d'action au niveau de la terminaison pré-synaptique déclenche l'exocytose d'un nombre plus ou moins important de vésicules, qui libèrent alors l'acétylcholine dans la fente synaptique. La membrane de la cellule post-synaptique comporte de nombreuses molécules sur lesquelles l'acétylcholine peut se fixer : ce sont les récepteurs du neurotransmetteur. La conséquence de cette fixation est, si la quantité d'acétylcholine libérée est suffisante, la naissance de potentiels d'action post-synaptiques.

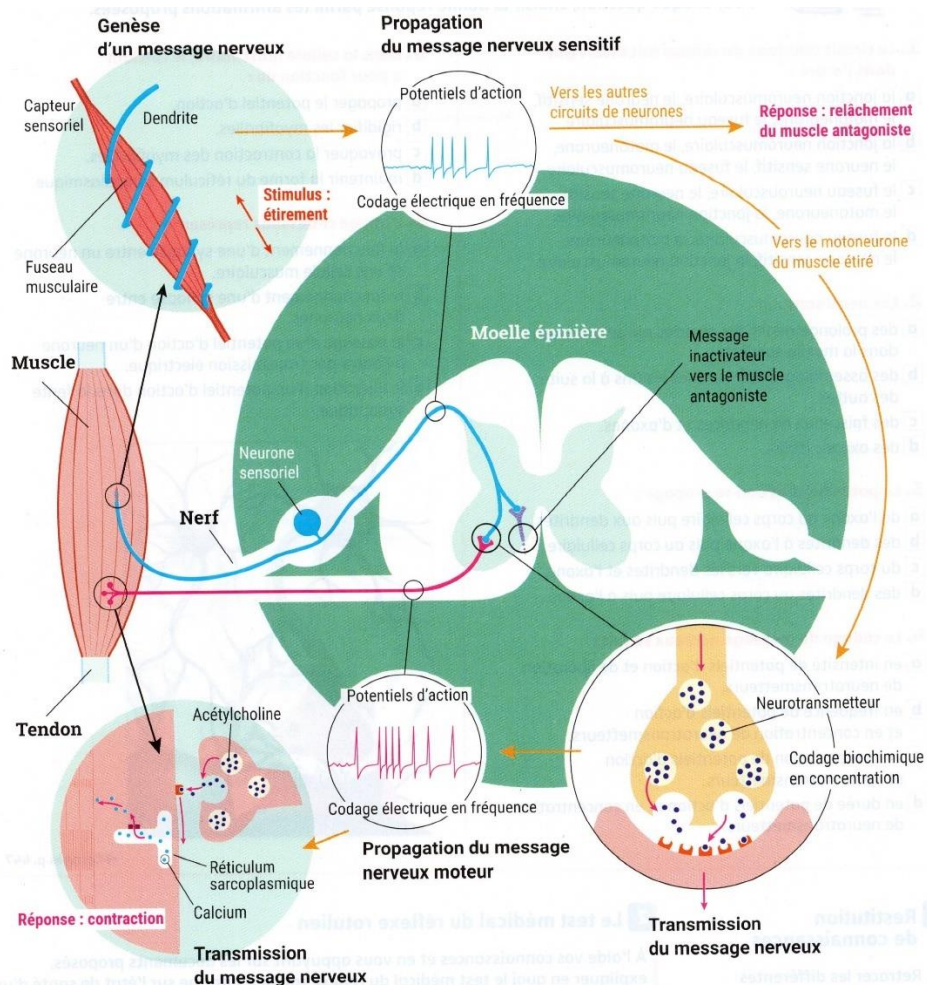


**L'acétylcholinestérase : une enzyme nécessaire, qui met fin à l'action de l'acétylcholine.**

Au niveau des synapses, c'est la concentration en neurotransmetteur libérée dans la fente synaptique qui constitue le codage du message : plus la concentration en acétylcholine est importante dans la fente, plus la fréquence des potentiels d'action du message post-synaptique est élevée.

Certaines substances chimiques sont susceptibles de perturber le fonctionnement synaptique. Le curare, par exemple, a la possibilité de se fixer sur les récepteurs de l'acétylcholine, mais ne génère pas de potentiels d'action : c'est un antagoniste de l'acétylcholine. Il provoque ainsi un relâchement musculaire durable. D'autres substances ont pour effet d'empêcher l'élimination de l'acétylcholine de la fente synaptique. Elles prolongent alors la durée d'action du neurotransmetteur : ce sont des agonistes de l'acétylcholine.

Après la synapse neuromusculaire, les potentiels d'action se propagent le long la membrane de la fibre musculaire : ces potentiels d'action provoquent l'ouverture de protéines jouant le rôle de canaux ioniques, libérant dans le cytosol de la fibre musculaire des ions calcium stockés dans un réseau de cavités cytoplasmiques, le réticulum sarcoplasmique. C'est l'augmentation de la concentration du cytosol en ions calcium qui provoque la contraction musculaire, en réponse au stimulus (voir future contraction des cellules musculaires).



### 3.1.2. Le cerveau et mouvement volontaire :

(Bordas, Ed.2020, p.392-393)

#### I/ Le cerveau :

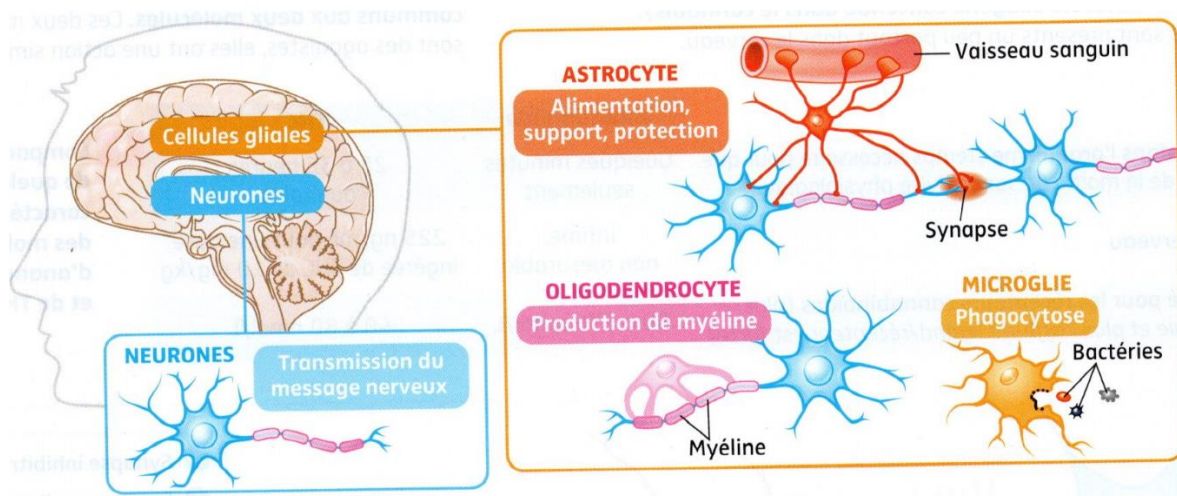
##### 1°) Le cerveau un organe complexe :

Le cerveau est l'organe le plus important du système nerveux central. À l'échelle cellulaire, il est constitué de deux types de cellules: les neurones et les cellules gliales.

Les neurones sont responsables du traitement et de la propagation des messages nerveux. Le cerveau contient environ 100 milliards de neurones dont les corps cellulaires se concentrent dans la substance grise du cortex cérébral (couche superficielle du cerveau) et des centres nerveux profonds.

Les cellules gliales, plus nombreuses encore que les neurones, participent au bon fonctionnement du cerveau. Il en existe plusieurs types:

- les astrocytes, intervenant dans la protection, la nutrition et l'activité des neurones;
- les oligodendrocytes, responsables de la formation de la gaine de myéline autour des axones de certains neurones;
- les cellules de la microglie, responsables de la défense immunitaire du cerveau



Nathan, Ed.2020, p.324

##### 2°) Des aires cérébrales spécialisées :

Autrefois explorée par l'étude de cas cliniques ou l'expérimentation animale, l'organisation du cortex cérébral est aujourd'hui accessible grâce aux techniques de l'imagerie médicale. L'IRM (Imagerie par Résonance Magnétique) est une technique permettant d'obtenir des images anatomiques du cerveau sous forme de coupes virtuelles, sur lesquelles il est possible de visualiser les zones actives lorsque le sujet effectue une tâche déterminée (IRM fonctionnelle ou IRMf).

On a pu ainsi mettre en évidence des territoires du cortex cérébral dont l'activité est liée à l'exécution d'un mouvement volontaire : les aires motrices. Les aires motrices primaires commandent directement les mouvements. La cartographie de ces aires motrices primaires montre que chaque partie du corps humain est associée à un territoire défini du cortex qui assure sa commande. Les parties du corps douées d'une motricité fine (main, bouche ...) sont contrôlées par une surface plus importante de l'aire motrice primaire.

Les aires motrices contrôlant la partie droite du corps sont situées sur l'hémisphère gauche et inversement : la commande est contralatérale.

##### 3°) Les aires du cerveau communiquent entre elles :

La réalisation d'un mouvement complexe comme l'écriture nécessite la coopération de nombreuses aires corticales et de centres nerveux situés à l'intérieur du cerveau. Ces différentes régions du cerveau communiquent entre elles par des réseaux de neurones formant des voies neuronales, le long desquelles l'information circule sous forme de trains de potentiels d'action (PA).

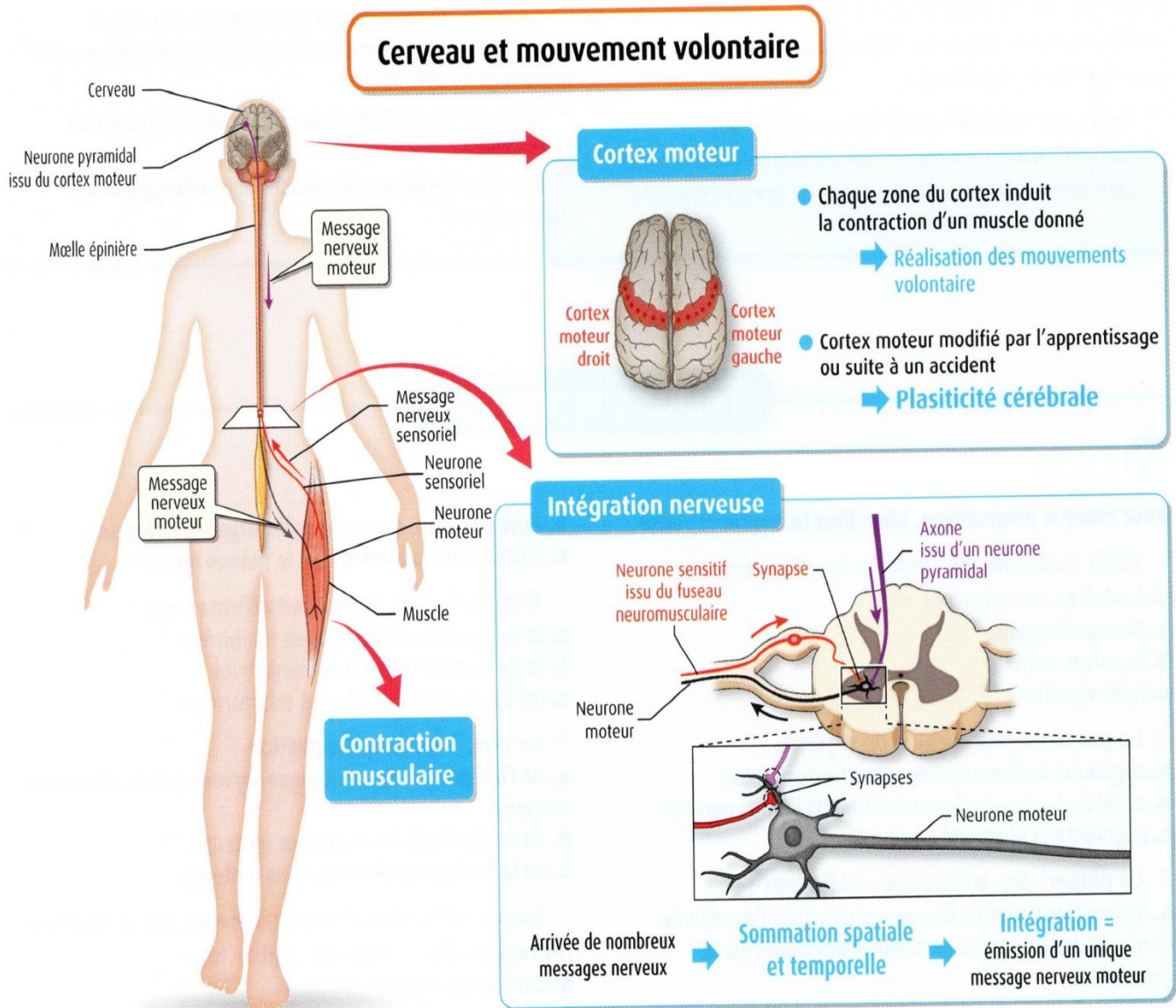
La fréquence de ces potentiels d'action est modulée par des neurotransmetteurs : certains sont excitateurs et augmentent la fréquence des PA (acétylcholine, glutamate); d'autres sont inhibiteurs et agissent en diminuant cette fréquence (GABA).



#### 4°) Les voies motrices :

Les messages nerveux moteurs qui partent des aires motrices primaires cheminent par des faisceaux de neurones et descendent dans la moelle épinière. À différents niveaux, ces neurones sont en connexion synaptique avec les neurones moteurs de la moelle, qui produisent un nouveau message moteur commandant la contraction des muscles responsables du mouvement.

Ces voies motrices sont croisées (au niveau du bulbe rachidien), expliquant la commande contralatérale des mouvements volontaires.



## II/ Le rôle intégrateur des neurones moteurs :

### 1°) Des réponses motrices intégrées :

Par une étude expérimentale du réflexe myotatique, il est facile de montrer que l'amplitude de la contraction musculaire en réponse à l'étirement du muscle varie en fonction des conditions de l'enregistrement. Par exemple, si le sujet contracte volontairement le muscle fléchisseur au moment de l'étirement du muscle extenseur, la réponse de ce dernier est diminuée. De même, la contraction réflexe est proportionnelle à l'étirement du muscle.

### 2°) L'intégration de plusieurs messages nerveux :

Un neurone moteur de la moelle épinière reçoit des informations de nombreux neurones qui établissent avec lui des synapses excitatrices (neurones sensitifs du réflexe myotatique, neurones du cortex moteur) ou inhibitrices (interneurones inhibiteurs).

Au niveau des synapses excitatrices, la fixation du neurotransmetteur sur les récepteurs postsynaptiques favorise la formation d'un nouveau message nerveux par le motoneurone. À l'inverse, le neurotransmetteur des synapses inhibitrices, en se fixant sur ses récepteurs, s'oppose à cette formation.

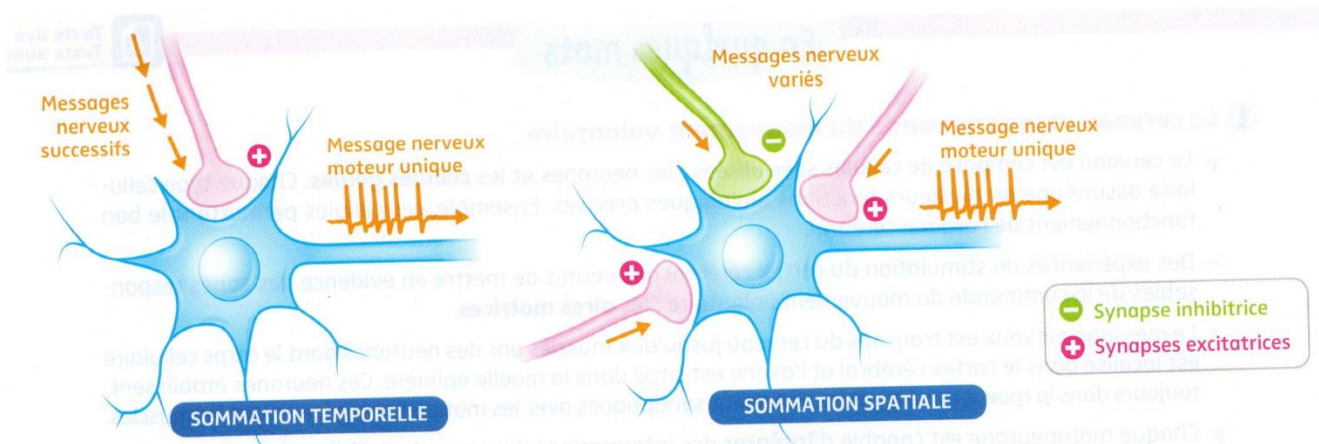
Le neurone moteur, soumis à l'action des différents neurotransmetteurs, est capable d'intégrer l'ensemble des informations lui parvenant et de produire éventuellement un nouveau message nerveux codé en fréquence de potentiels d'action.

Cette intégration s'effectue par deux mécanismes de sommation :

- La **sommation spatiale** est la capacité du motoneurone de prendre en compte les informations excitatrices et inhibitrices lui parvenant de différents neurones présynaptiques.
- La **sommation temporelle** est la capacité du motoneurone d'additionner les informations lui parvenant successivement d'un même neurone présynaptique.

Si le résultat de cette double sommation est une excitation suffisante, des potentiels d'action sont émis le long de l'axone en direction de plusieurs fibres musculaires avec une fréquence proportionnelle à l'excitation. Sinon, le neurone reste au repos.

Contrairement au neurone moteur, la fibre musculaire ne reçoit un message que d'un seul motoneurone, elle n'a donc aucun rôle d'intégration.



L'intégration des informations par les motoneurones.

### 3.1.3. Le cerveau, un organe fragile à préserver :

(Bordas, Ed.2020, p.393)

#### 1°) Dysfonctionnements du système nerveux :

Protégés par le squelette (crâne, colonne vertébrale), les centres nerveux sont formés de tissus fragiles.

Les sections accidentelles de la moelle épinière, en coupant les voies motrices, entraînent la paralysie des muscles commandés par les motoneurones situés sous le niveau de section: paraplégie (membres inférieurs) ou tétraplégie (membres inférieurs et supérieurs).

Le cerveau est particulièrement sensible aux accidents vasculaires cérébraux (AVC). Un AVC correspond soit à l'obstruction soit à la rupture d'un vaisseau sanguin irriguant une région du cerveau. Les neurones alors non approvisionnés en dioxygène meurent rapidement. Première cause d'handicap et seconde cause de décès en France, les AVC sont des situations d'urgence nécessitant une intervention rapide des secours. Comme pour les maladies cardiovasculaires, il existe des facteurs de risque liés au mode de vie et favorisant les AVC : tabagisme, alcool, sédentarité, alimentation non équilibrée, stress, etc.

Les maladies neurodégénératives, comme la maladie de Parkinson ou la maladie d'Alzheimer provoquent une détérioration du fonctionnement des cellules nerveuses, en particulier des neurones, pouvant conduire à la mort cellulaire (ou neurodégénérescence). Ces maladies sont souvent lentes et évolutives avec une aggravation de l'état du patient par atteinte de ses capacités motrices ou cognitives (mémoire, raisonnement). Les mécanismes à l'origine de ces maladies sont encore mal connus et font l'objet de nombreuses recherches afin de pouvoir envisager des traitements. Enfin, le système nerveux central peut être la cible d'infections virales ou bactériennes.

#### 2°) La plasticité cérébrale :

Suite à un AVC, il subsiste généralement dans le cerveau une zone nécrosée, c'est-à-dire irrémédiablement détruite.

Cependant, la rééducation par des exercices permet dans une certaine mesure une récupération du déficit moteur engendré par l'AVC.

Cette récupération ne correspond pas à un rétablissement du fonctionnement de l'aire nécrosée mais à la réaffectation de neurones situés en dehors de cette zone (parfois même dans l'hémisphère opposé) afin de suppléer à la destruction des neurones.

Cette capacité du cerveau à réorganiser ses connexions neuronales en fonction des expériences vécues par l'individu constitue la plasticité cérébrale.

La plasticité cérébrale est également responsable des modifications du cerveau lors de l'apprentissage

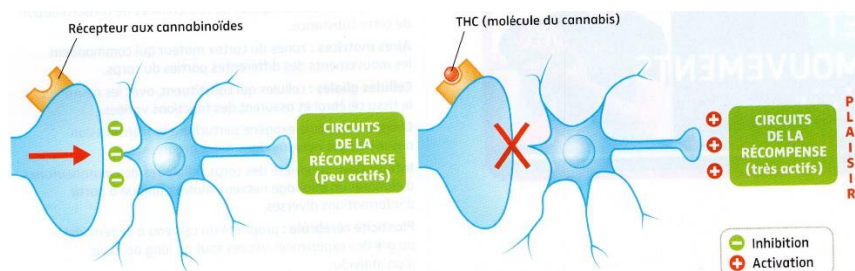
#### 3°) L'action des substances exogènes sur le cerveau :

Le fonctionnement des neurones peut être perturbé par des substances exogènes, c'est-à-dire extérieures à l'organisme (alcool, nicotine, autres drogues, médicaments psychoactifs, etc.).

Ainsi, la nicotine contenue dans le tabac agit sur le système nerveux en se fixant sur le récepteur du neurotransmetteur acétylcholine et en déclenchant son activation : c'est un agoniste de l'acétylcholine. D'autres substances peuvent agir en bloquant le récepteur d'un neurotransmetteur, ce sont des antagonistes.

L'utilisation de substances exogènes psychoactives entraîne un risque plus ou moins important d'addiction au produit. L'addiction correspond au désir puissant de renouveler un comportement (ici la consommation du produit) malgré la connaissance des effets néfastes de ce comportement.

Le comportement addictif repose sur une perturbation du système de récompense. En augmentant la libération de dopamine, neurotransmetteur impliqué dans le système de récompense, les substances addictives comme le tabac ou d'autres drogues déclenchent le désir de renouvellement de leur consommation chez l'individu. Etant donné les conséquences de la consommation de ces substances (maladies cardiovasculaires, cancers, accidents de la route, violence, etc.), la lutte contre les addictions liées à leur consommation est un enjeu important de santé publique.



Action d'une drogue, le cannabis, sur les réseaux de neurones.



# Carte mentale

