

THEME 3A - Réflexe et motricité

Classe : Terminale SPECIALITE SVT
Durée conseillée : 3 semaines
Nombre de TP : 3

En rouge : Bilans à faire noter aux élèves
En bleu : Activités pratiques
En vert : Problématique et hypothèses



Chapitre 3 : LE MESSAGE NERVEUX ET SA TRANSMISSION

INTRODUCTION :

Au XVIIIème siècle, un médecin italien appelé Galvani réalise des expériences d'électrisation de grenouille qui montre qu'une stimulation électrique déclenche la contraction musculaire (« électricité animale »). Le message nerveux correspond à l'ensemble des phénomènes de type électrique et de type chimique qui permettent l'élaboration et la transmission d'une information sensorielle ou motrice dans les neurones et leur transmission à d'autres cellules (ex : musculaire). **Comment le message nerveux est-il produit et se transmet-il dans les axones des neurones et au niveau des synapses ?** Dans un premier temps, nous verrons que le message nerveux électrique correspond au potentiel d'action qui est transmis dans l'axone du neurone puis nous étudierons comment les neurotransmetteurs permettent de transmettre l'information dans la synapse. Enfin, nous évoquerons l'action de diverses molécules exogènes sur le message nerveux (ex : gaz sarin).

TP3 - Stranger Neurons (Escape Game)

TP3 (facultatif) : La transmission de l'information nerveuse entre les neurones

Objectif :

- Comprendre le fonctionnement du neurone et de la synapse
- Comprendre le mode d'action de certains médicaments (myorelaxant comme le tétrazépam).

Matériel :

- Documents
- Animation synapse
- RASTOP : Observation du récepteur nicotinique à l'Ach + tétrazépam vs nicotine

Capacités et attitudes :

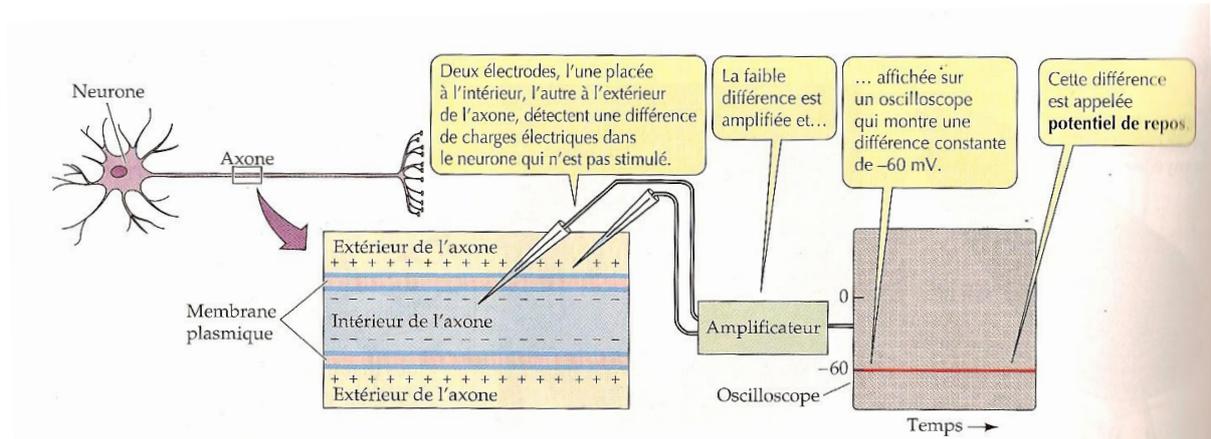
- Recenser, extraire et organiser des informations
- Utiliser un logiciel de données
- Maîtriser son corps / Responsabilité en termes de santé

I. La naissance et la propagation du message nerveux au sein du neurone

1. Nature et origine du potentiel de membrane (p378)

Au milieu du XX^{ème} siècle, les progrès technologiques permettent d'enregistrer la tension (en mV) ou de différence de potentiel (ddp) de part et d'autre d'une membrane de cellule au moyen de microélectrodes. Au repos, la ddp est de -70 mV ce qui correspond au potentiel de repos (PR).

Remarque : La ddp négative n'est pas liée aux ions négatifs mais à une concentration en ions positifs (Na^+ et K^+) plus grande à l'extérieur de la cellule que dans le cytoplasme.



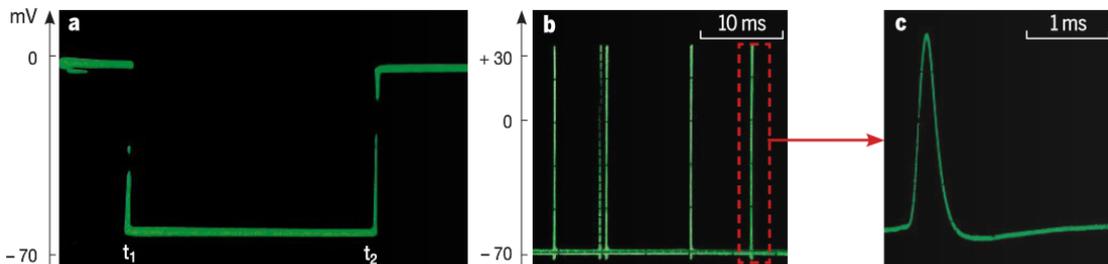
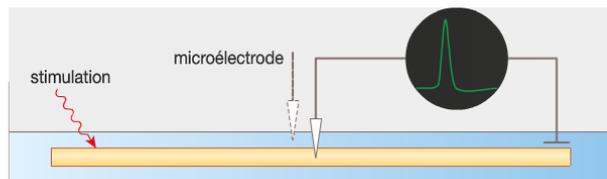
41-5 Mesure du potentiel de repos. La différence en charges éle...

Document 1 : Schéma expliquant la nature du potentiel de repos (PR)

2. Le potentiel d'action (p379)

Lors d'une stimulation artificielle d'un neurone (choc électrique), on peut faire naître un message nerveux. Ce message apparaît comme une inversion de la polarisation de la membrane correspondant à une variation de ddp de -70mV à +30 mV. Ces signaux forment des pics qui sont appelés potentiels d'action (PA).

Dans cette étude, une microélectrode reliée à un dispositif d'enregistrement est placée au contact d'une fibre nerveuse ou implantée à l'intérieur de cette dernière. La fibre nerveuse baigne dans un liquide physiologique dans lequel on place la deuxième électrode dite de référence. Il est possible de stimuler la fibre.



a) Fibre au repos

- Avant t_1 , la microélectrode est à la surface de la fibre.
 - De t_1 à t_2 , la microélectrode est enfoncée dans la fibre.
 - Au temps t_2 , la microélectrode est ressortie de la fibre.
- De t_1 à t_2 , la différence de potentiel constatée entre surface et intérieur de la fibre est le **potentiel de repos**.

b) Fibre en activité

Pendant que la microélectrode est implantée, on effectue à distance une stimulation de la fibre. Les brèves variations du potentiel constatées sont appelées **potentiels d'action**. L'enregistrement c a été obtenu en modifiant la base de temps de façon à observer plus en détail ce signal élémentaire : on constate une phase de dépolarisation, très rapide, suivie d'une repolarisation de la fibre qui retrouve la valeur de repos.

Document 2A : L'enregistrement du PR et des PA

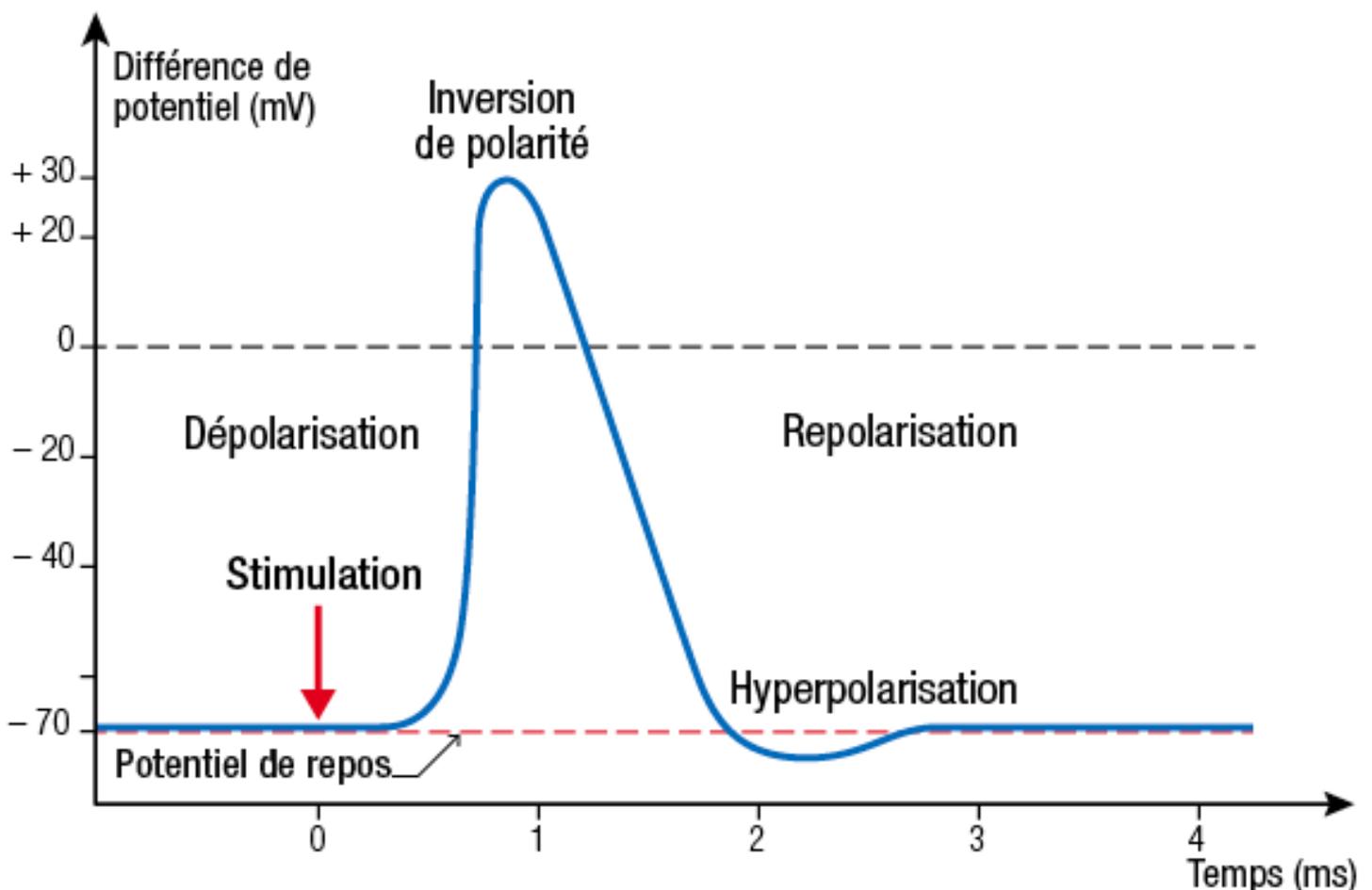
Le potentiel d'action (PA) correspond à une modification brève (3ms) et locale de la polarisation membranaire qui est permise par des courants d'ions au travers de la membrane cellulaire. Le PA constitue l'unité de base du message nerveux et il est caractérisé par 4 phases successives :

- Phase 1 : Une phase de dépolarisation, la face interne de la membrane cellulaire du neurone devient de plus en plus chargée positivement, la tension passe de - 70 à 0 mV. Phase d'inversion de la tension, de la polarisation qui devient positive avec une polarisation positive maximale de +30 à +40 mV. (Entrée d'ions Na^+)

- Phase 2 : Phase de repolarisation. La tension ou polarisation de la membrane revient vers le potentiel de repos (sortie d'ions K^+).

- Phase 3 : Phase d'hyperpolarisation, la polarisation de la membrane face interne devient plus négative que le potentiel de repos (sortie excessive des ions K^+).

- Phase 4 : Phase de repolarisation qui permet un retour au potentiel de repos, associée à une expulsion des ions Na^+ vers l'extérieur et une entrée rapide des ions K^+ grâce à une pompe appelée Na-K-ATPase.



Document 2b : Graphique montrant les phases du potentiel d'action (PA)

Remarque : La phase 3 et 4 sont souvent associées et appelées hyperpolarisation.

Remarque : le message nerveux ne correspond donc pas à de l'électricité (courant électronique) mais on peut parler de courant ionique.

3. Les caractéristiques du PA (p378-379)

a- Le PA obéit à la loi du tout ou rien (seuil de dépolarisation)

Pour qu'un PA prenne naissance au niveau d'un neurone, le potentiel de membrane doit dépasser un seuil de dépolarisation situé aux alentours de -50 mV. Si la dépolarisation est inférieure à ce seuil aucun PA ne prend naissance (rien). Si la stimulation dépasse le seuil, un PA se forme (tout).

Le seuil de dépolarisation dépend du type cellulaire et de l'organisme étudié mais dans la majorité des cas, il est de l'ordre de -50 mV (et - 55 mV pour les plus sensibles).

Remarque : Certaines molécules (naturelles ou médicamenteuses) peuvent modifier ce seuil pour rendre les cellules plus ou moins sensibles (Voir chapitre gestion du stress).

b- Le PA est constant en durée et en amplitude

Lorsque l'intensité de la stimulation permet de dépasser le seuil de potentiel (-55mV) ; le PA a d'emblée son amplitude maximale (110 mV : de -70 à +30 mV) et sa durée constante (3 ms). Même si l'intensité de la stimulation augmente, le PA garde les mêmes caractéristiques (amplitude et durée). Le PA est constant ou invariant.

c- La propagation d'un PA

Le PA se propage au travers d'un neurone sans perdre d'amplitude et de façon unidirectionnelle. En effet, le passage d'un PA sur l'axone induit une période réfractaire. La vitesse de propagation est de l'ordre de 10 à 100m/s pour les axones les plus rapides. Cette vitesse est relativement lente par rapport à un courant électrique.

Remarque : En cas de choc électrique, les PA sont transmis dans les 2 sens mais ils ne peuvent pas revenir en arrière.

4. Codage des messages nerveux (p379)

Les messages nerveux (afférents et efférents) se traduisent au niveau d'une fibre nerveuse par un train de potentiels d'action (plusieurs PA groupés), d'amplitude constante. Les PA étant constants, le message nerveux est codé par la fréquence des potentiels d'actions circulant dans l'axone d'un neurone.

D'autre part, au sein d'un nerf, l'intensité du message peut également être codée par le nombre de neurones qui seront recrutés.

Le message nerveux doit circuler de neurones en neurones mais aussi entre neurone et organe effecteurs. Quelles sont les structures mises en jeu et comment fonctionnent-elles ?

II. La transmission du message nerveux d'un neurone à un autre par les synapses

1. La structure de la synapse (p380-381) :

La synapse est une jonction spécialisée entre deux neurones ou entre un neurone et un muscle (synapse neuromusculaire). La synapse permet de faire passer le message nerveux, de façon unidirectionnelle de l'élément présynaptique vers l'élément postsynaptique avec un délai (retard) de l'ordre de 0.5ms soit 0.1mm/s. Toute synapse est constituée de trois éléments :

- L'élément présynaptique : c'est le seul à posséder des vésicules synaptiques contenant un neurotransmetteur. C'est à son niveau qu'arrive le PA. Il s'agit toujours de la terminaison d'un axone.
- La fente synaptique ou espace intersynaptique : de 20 à 50 nm, elle empêche la propagation du PA. En effet le PA qui est une dépolarisation membranaire a besoin de la membrane pour se propager et ne peut donc pas traverser la fente.
- L'élément postsynaptique : il est dépourvu de vésicules synaptiques. Il s'agit des dendrites ou du corps cellulaire d'un neurone ou d'une cellule musculaire. Il possède des récepteurs capables de fixer les neurotransmetteurs.

2. Les étapes de la transmission synaptique (p383)

La transmission du message nerveux d'une cellule nerveuse à une autre cellule (nerveuse ou musculaire) se déroule en plusieurs étapes :

- Après synthèse des neurotransmetteurs (1), l'arrivée des potentiels d'action (2) au niveau de la terminaison axonique (bouton synaptique) provoque l'exocytose, l'ouverture des vésicules synaptiques (3) et la libération dans la fente synaptique des molécules chimiques ou neurotransmetteurs localisés dans les vésicules.
- Les neurotransmetteurs libérés dans la fente synaptique, diffusent et vont se fixer sur des récepteurs spécifiques (4) présents sur la membrane de l'élément postsynaptique.
- Cette association neurotransmetteur/récepteur postsynaptique provoque la naissance parfois d'un PA au niveau de l'élément postsynaptique (5). Le récepteur postsynaptique est une molécule canal qui s'ouvre suite à la fixation des neurotransmetteurs, cette ouverture permet un flux d'ions dans l'élément postsynaptique, d'où une variation du potentiel.
- Les neurotransmetteurs pourront être dégradés (retirés du récepteur) et capturés par l'élément présynaptique (6) pour être de nouveau stockés et réutilisés. L'élément postsynaptique peut de nouveau répondre à un PA.

3. Le codage de l'information au niveau de la synapse (p379)

La fréquence des PA qui arrivent au niveau de l'élément présynaptique est codée, traduite en concentration de neurotransmetteurs libérés dans la fente synaptique (nombre de vésicules en exocytose). Une fréquence élevée de PA dans l'élément présynaptique est traduite en concentration élevée de neurotransmetteurs au niveau de la fente, ce qui sera traduit, codée de nouveau en fréquence de PA au niveau de l'élément postsynaptique.

Toutes les synapses fonctionnent de la même façon. La seule différence réside dans les effets que peuvent avoir les neurotransmetteurs sur l'élément postsynaptique. On distingue 2 cas, la synapse excitatrice et la synapse inhibitrice.

4. La diversité des messages et des neurotransmetteurs

La transmission du message nerveux (ionique) d'un neurone à une autre cellule s'effectue donc par voie chimique en utilisant des molécules chimiques très variées appelées des neurotransmetteurs. En fait à aucun moment le PA n'a traversé la fente synaptique, il est plus juste de dire qu'un nouveau PA a pris naissance au niveau de l'élément postsynaptique. Comme le PA est invariant, la nature et les caractéristiques du message sont conservées au niveau de la synapse.

Exemples de neurotransmetteurs : L'acétylcholine, la noradrénaline, le GABA, la sérotonine, les endomorphines, la substance P (douleur)...

NB : Au niveau d'une synapse, seul l'élément présynaptique contient les neurotransmetteurs, la synapse ne peut donc fonctionner qu'en sens unique, de l'élément pré- vers le postsynaptique.

5- L'intégration des messages (doc4p 405)

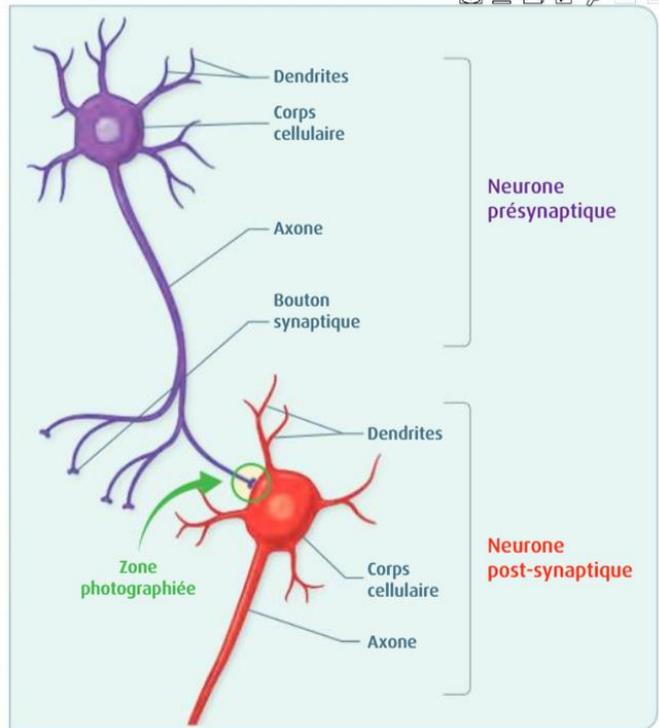
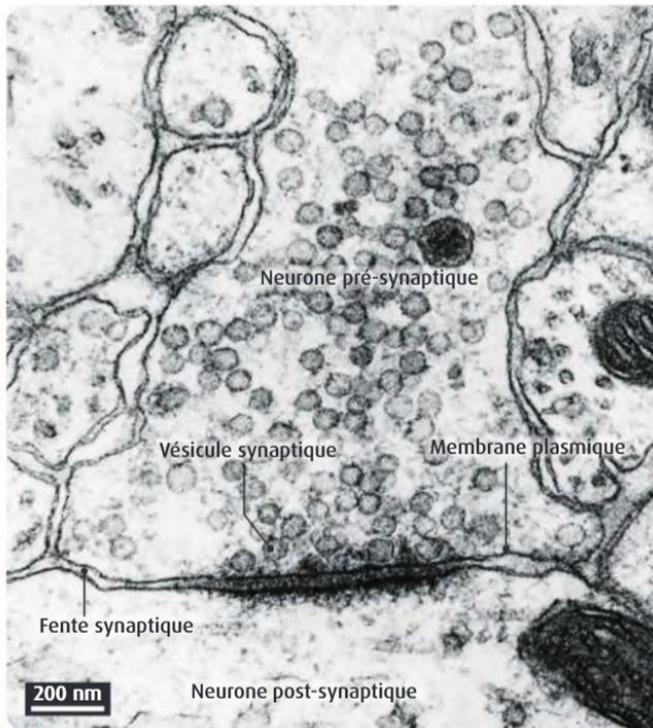
Les motoneurones de la moelle épinière sont connectés à de nombreux autres neurones par l'intermédiaire des synapses. Chaque neurone intègre toutes ces informations et élaborent une réponse adaptée : c'est la sommation.

On peut étudier le message produit par un neurone stimulé par 2 neurones présynaptiques :

La sommation est de 2 types :

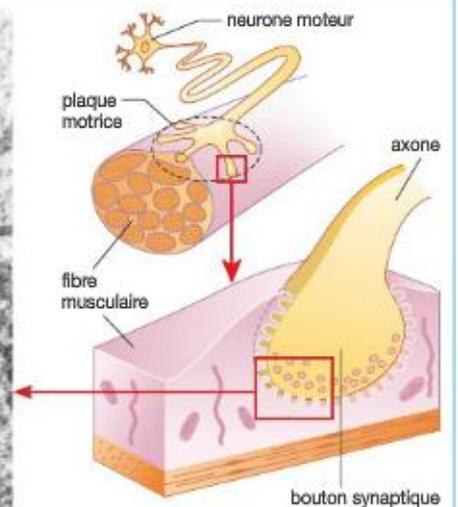
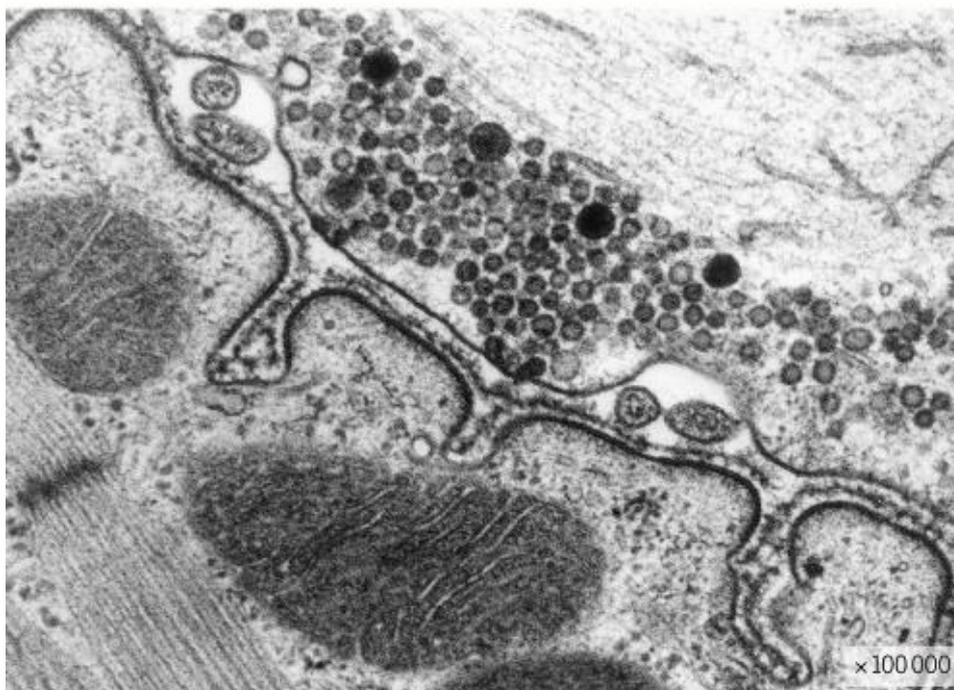
- Sommation spatiale : elle permet au neurone d'intégrer les messages en provenance de neurones différents qui n'apportent pas les mêmes messages.
- Sommation temporelle : elle permet au neurone de tenir compte de la répétition de certains messages.

Après sommation spatiale et temporelle, le neurone post-synaptique va « prendre une décision ». La sommation et la prise de décision correspondent à l'intégration des messages, elle permet d'avoir une réponse coordonnée (par d'effet de « bruits » ou de « parasites » dans la communication nerveuse).



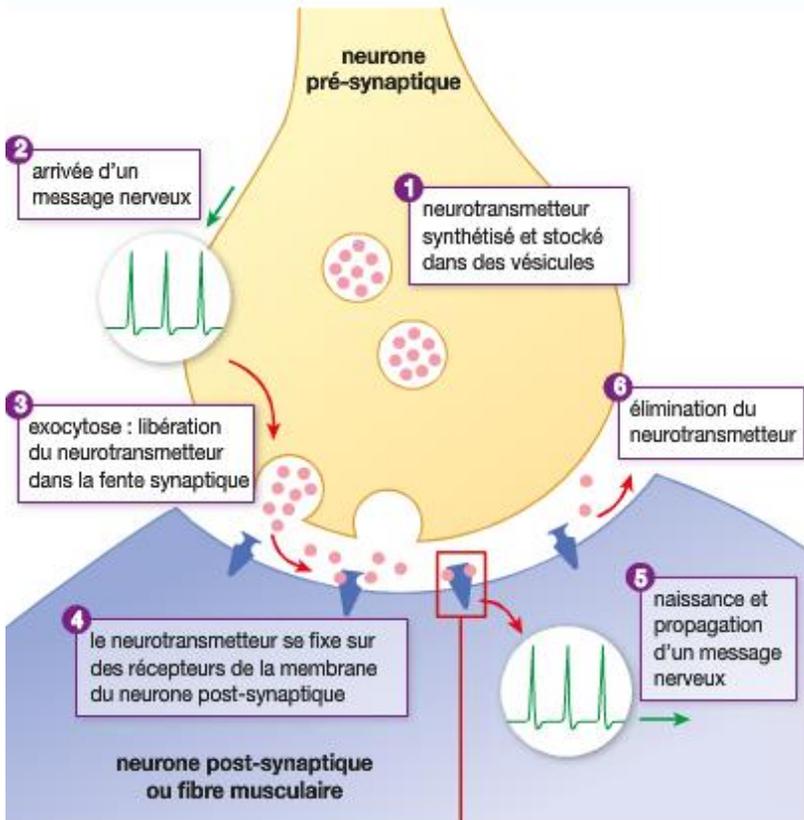
2 Observation au MET d'une synapse entre deux neurones et schéma d'interprétation. La zone de contact entre deux neurones se nomme **synapse**. L'espace entre les deux cellules (fente synaptique) ne permet pas la transmission d'un message de nature électrique. Les vésicules contiennent des molécules de **neurotransmetteur** (ici, il s'agit du glutamate). L'arrivée d'un train de potentiels d'action au niveau du bouton terminal du neurone pré-synaptique provoque la libération du contenu des vésicules dans la fente synaptique (voir unité 5 doc. 5).

Document 3 : Photographies et schémas montrant la nature des synapses neuro-neuroniques



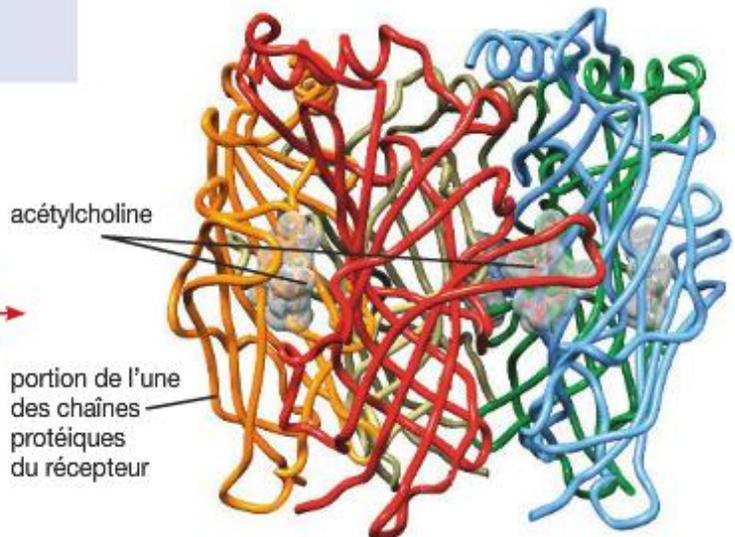
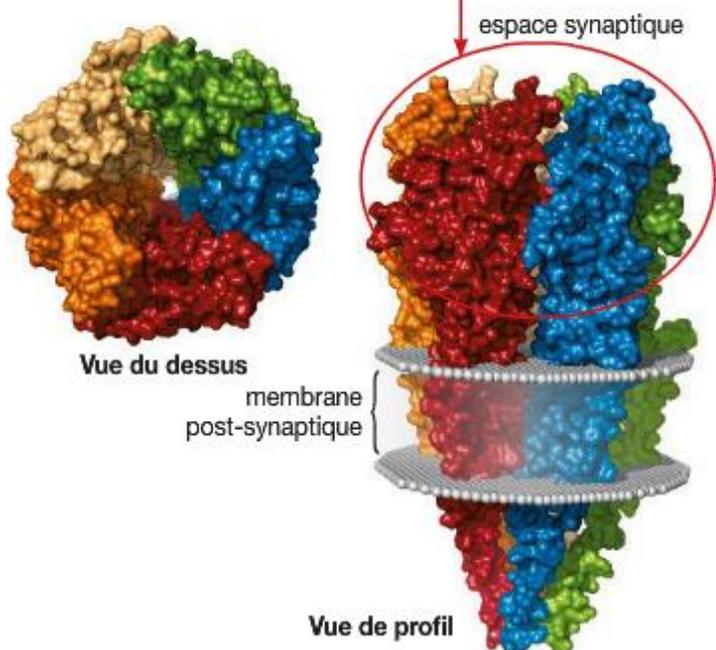
La connexion entre l'extrémité axonique d'un neurone moteur et une fibre musculaire est très comparable à la zone de synapse entre deux neurones.

Document 4 : Photographies et schémas montrant la nature de la synapse neuro-musculaire



Un neurotransmetteur : l'acétylcholine

L'acétylcholine est une petite molécule qui constitue le neurotransmetteur de nombreuses synapses, aussi bien dans le système nerveux central que dans le système nerveux périphérique. C'est le neurotransmetteur de toutes les synapses neuromusculaires.



Au niveau d'une synapse, la membrane du neurone post-synaptique ou de la fibre musculaire est garnie d'une multitude de grosses molécules : ce sont les **récepteurs** du neurotransmetteur. La fixation (temporaire) de molécules d'acétylcholine sur ces récepteurs peut engendrer (par un mécanisme complexe d'échanges ioniques à travers la protéine-canal, voir ci-contre) la naissance d'un potentiel d'action au niveau de l'élément post-synaptique.

Le récepteur de l'acétylcholine : une molécule en forme de canal

Doc. 1 Le neurotransmetteur agit par l'intermédiaire d'un récepteur.

Document 5 : Schéma du fonctionnement d'une synapse et de l'action d'un neurotransmetteur (Ach) sur son récepteur.

III. L'action de certaines substances sur les synapses

Certaines substances sont capables de modifier le fonctionnement de la synapse en se fixant sur les récepteurs de la membrane du neurone post-synaptique.

Ex :

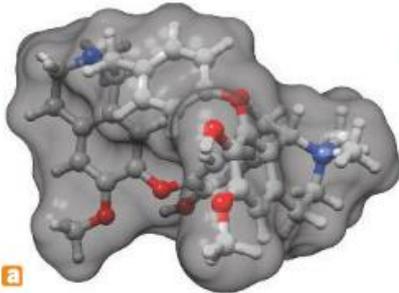
- Le curare (utilisé dans les myorelaxants) se fixe à la place de l'acétylcholine et bloque les synapses neuro-musculaires entraînant le relâchement des muscles. C'est un antagoniste car son action est inverse à celle de l'acétylcholine.
- La nicotine est quant à elle un agoniste de l'acétylcholine et a donc la même action qu'elle mais pas au niveau des muscles.
+ Voir page 373 (activité)
- Le botox est un inhibiteur de l'exocytose des vésicules. Il empêche donc la libération des neurotransmetteurs, ce qui implique une paralysie flasque (muscle relâché en permanence).
- Le sarin est un inhibiteur de la dégradation de l'acétylcholine (enzyme appelée acétylcholine estérase bloquée par le sarin). C'est une substance inodore, incolore et volatile, de la famille des organophosphorés, un neurotoxique pour l'homme et l'animal. *Même à très faible dose (10 parties par milliard) il peut être fatal. On estime qu'il est environ 500 fois plus toxique que le cyanure. Il passe facilement la barrière des poumons et est absorbé par la peau d'où il passe directement dans le sang. Quand il ne tue pas, il laisse de graves séquelles neurologiques. Pour ces raisons, il a été utilisé comme arme chimique, avant d'être considéré comme une arme de destruction massive par les Nations unies (résolution 687). À ce titre, sa production et sa conservation sont interdites depuis 1993. Les États devaient avoir détruit leurs stocks d'armes chimiques avant 2007. En 1952, les Britanniques l'ont modifié pour en créer une version dix fois plus mortelle nommée gaz VX. (Source Wikipédia).*
- Les anticorps peuvent également cibler les récepteurs à l'Ach et empêcher la transmission du message nerveux. Il se produit alors un relâchement des muscles et une fatigabilité excessive : c'est une maladie auto-immune appelée myasthénie.

B Le mode d'action de substances « myorelaxantes »



Les curares sont des substances d'origine végétale aux effets myorelaxants, c'est-à-dire provoquant un relâchement musculaire. Les Indiens en enduisaient les pointes de leurs flèches au cours de la chasse, ce qui entraînait la paralysie puis la mort du gibier par asphyxie.

Aujourd'hui, les curares de synthèse sont couramment utilisés en chirurgie pour produire un relâchement musculaire pendant l'anesthésie, ce qui facilite le travail du chirurgien.

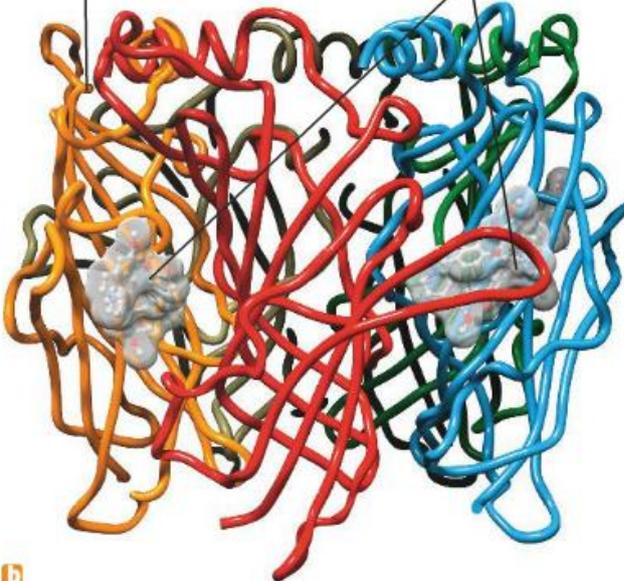


• L'image a est un modèle moléculaire d'un curare, la tubocurarine.

• L'image b montre que cette molécule a la capacité de se fixer, sur le récepteur de l'acétylcholine.

portion de l'une des chaînes du récepteur de l'acétylcholine

curare



D'autres myorelaxants

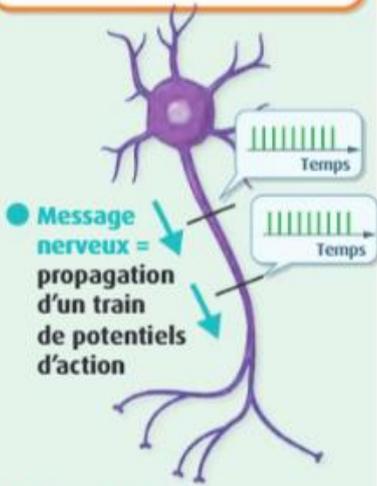


L'utilisation du curare nécessite une assistance respiratoire, du fait de son effet potentiel sur les muscles assurant les mouvements de la respiration. Les myorelaxants commercialisés en pharmacie n'agissent pas sur les synapses du système nerveux périphérique. Ces substances interagissent, en effet, avec certaines synapses du système nerveux central : en renforçant le rôle **inhibiteur** de ces synapses, ces médicaments ont une action « apaisante » provoquant à la fois un relâchement musculaire et une diminution de l'anxiété. Ils sont fréquemment utilisés pour traiter les contractures musculaires, mais peuvent avoir des effets secondaires (sommolence, amnésie...).

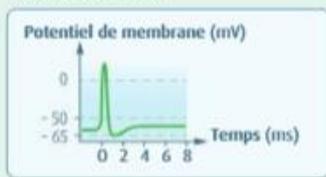
Doc. 2 Des interactions entre des substances pharmacologiques et les récepteurs synaptiques.

Document 6 : L'action du curare sur le système nerveux

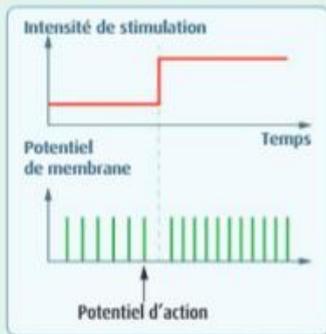
Le message nerveux



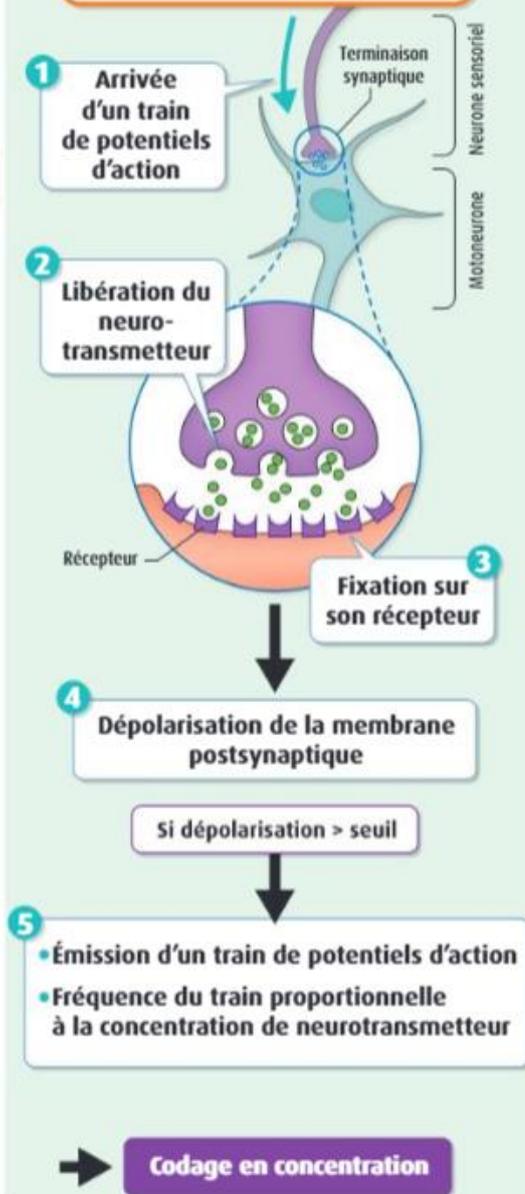
Potentiel d'action = dépolarisation transitoire de la membrane



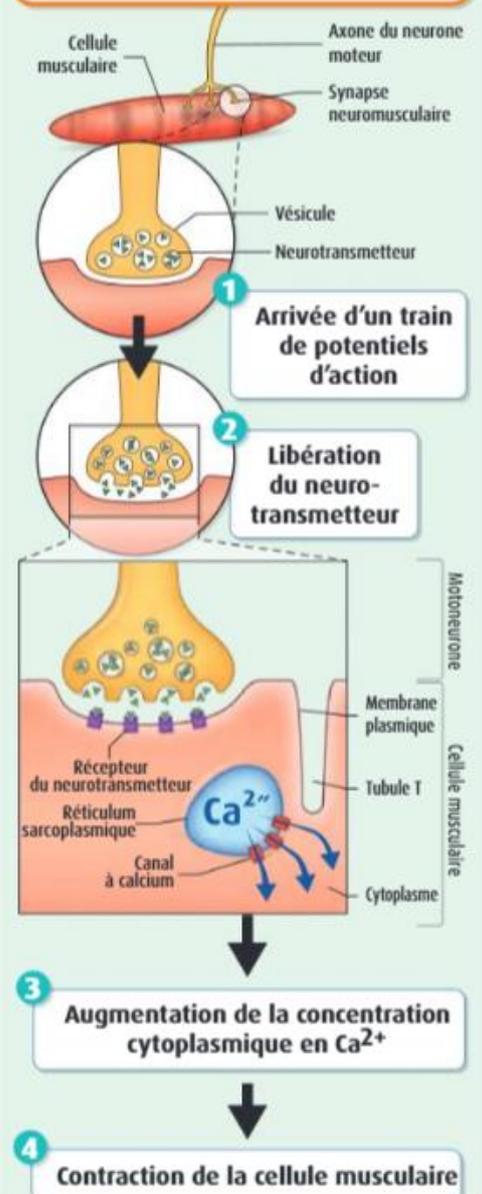
Codage en fréquence

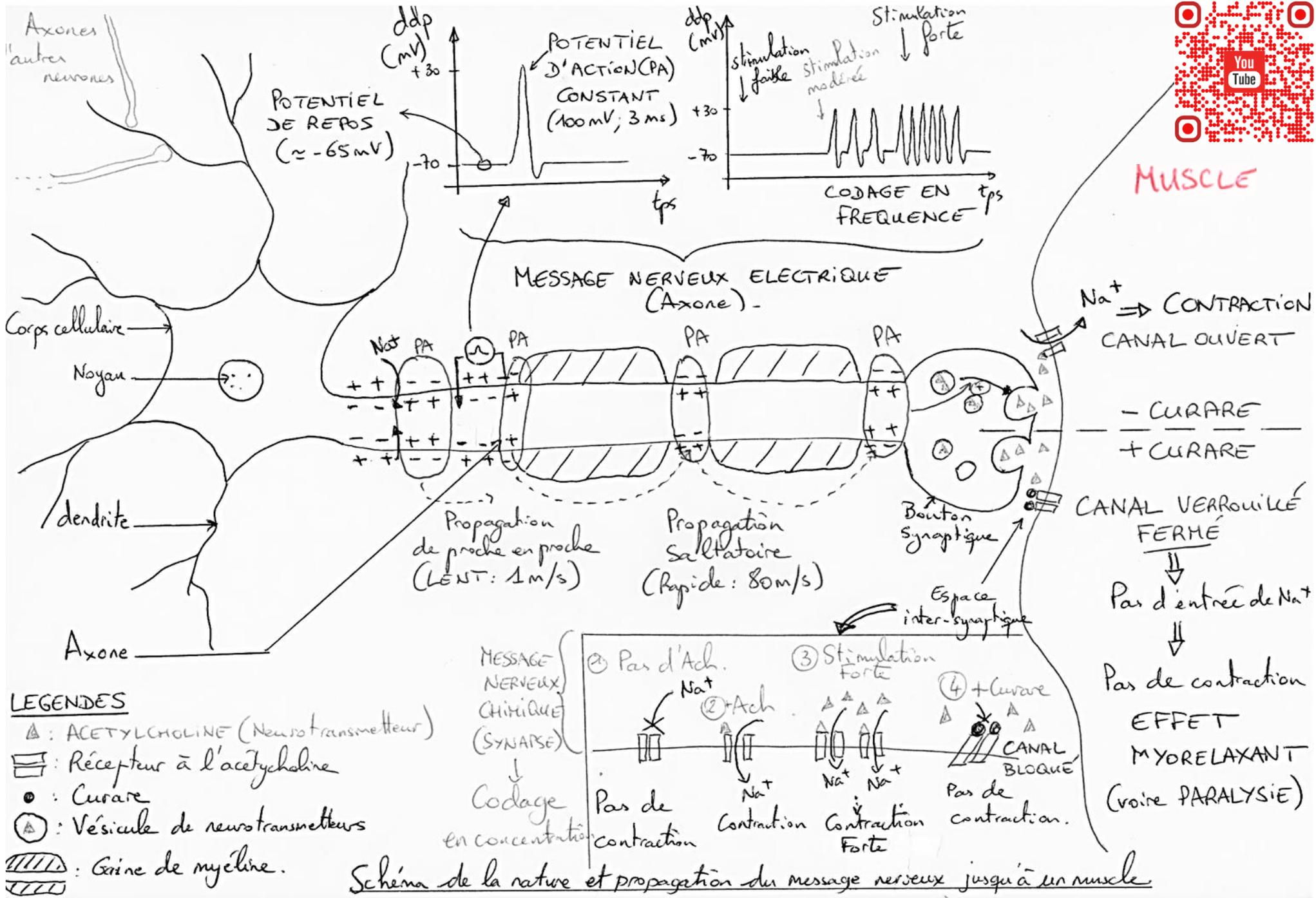


Transmission synaptique du message nerveux



Message nerveux et contraction musculaire





LEGENDES

- ▲ : ACETYLCHOLINE (Neurotransmetteur)
- ≡ : Récepteur à l'acétylcholine
- : Curare
- ⊙ : Vésicule de neurotransmetteurs
- ▨ : Gaine de myéline.

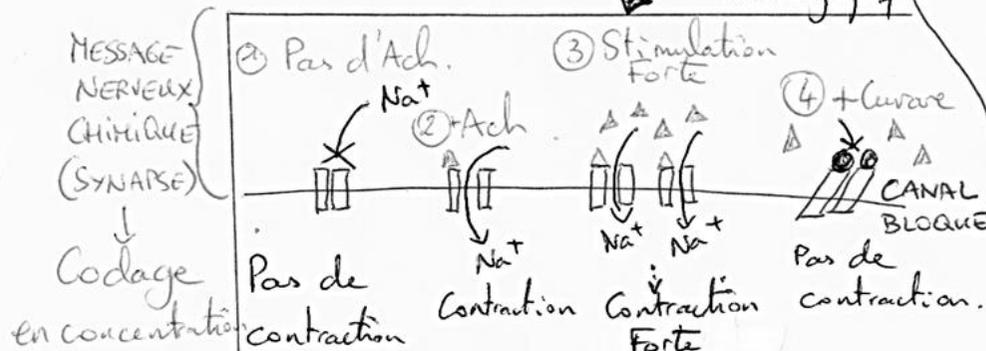


Schéma de la nature et propagation du message nerveux jusqu'à un muscle



MUSCLE

Na^+ ⇒ CONTRACTION
CANAL OUVERT

- CURARE
+ CURARE

CANAL VERROUILLE FERME

⇓

Pas d'entrée de Na^+

⇓

Pas de contraction

EFFET MYORELAXANT (voire PARALYSIE)