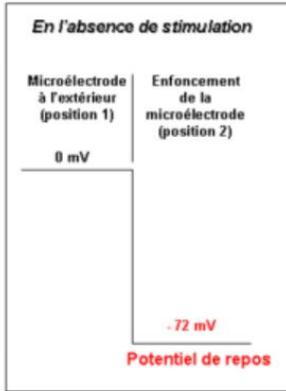
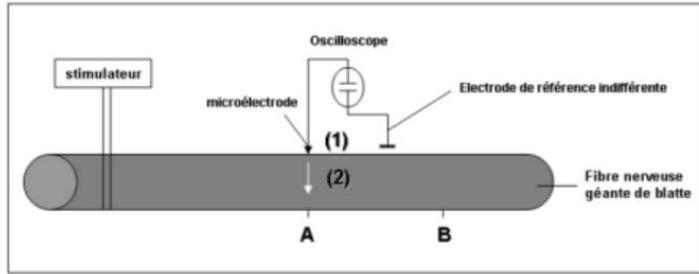


Potentiel de repos

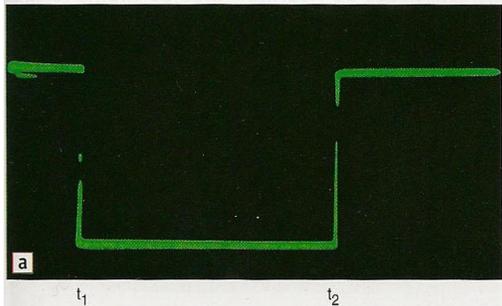


Enregistrement de la différence de potentiel transmembranaire d'une fibre nerveuse au repos

Lorsque les 2 électrodes réceptrices sont positionnées à l'extérieur, la différence de potentiel est nulle. L'introduction d'une électrode dans l'axone permet de mesurer une différence de potentiel, ou potentiel transmembranaire d'environ -70 mV. Ce **potentiel de repos** est une caractéristique de la cellule nerveuse en absence de toute stimulation. L'intérieur de la cellule est électronégatif, l'extérieur électropositif. Suite à une stimulation supérieure ou égal au seuil on observe de fortes variations de potentiels. Par dépolarisation le potentiel atteint $+30$ mV (l'intérieur devient électropositif, il y a donc inversion des charges) puis revient à -70 mV par repolarisation suivie d'une phase d'hyperpolarisation avant de retrouver sa valeur de repos. Ce phénomène est très bref, de l'ordre de la milliseconde. Ce **potentiel d'action** est une modification provoquée et passagère (transitoire) de la valeur du potentiel de repos en un point de la fibre nerveuse. C'est le signal élémentaire du message nerveux.

Une microélectrode (μE) est placée au contact d'une fibre nerveuse (ou implantée à l'intérieur de cette dernière) ; une seconde électrode dite de référence est plongée dans le

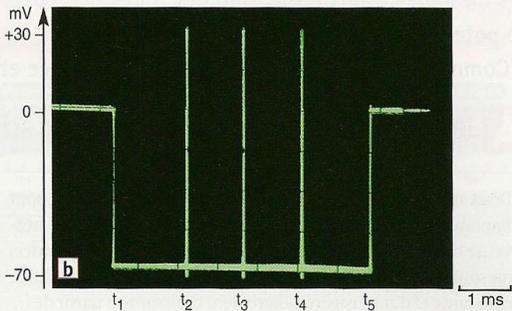
liquide physiologique contenant la fibre. On enregistre la **différence de potentiel** entre les deux électrodes.



a. Fibre au repos.

- Avant t_1 , μE est à la surface de la fibre nerveuse ;
- de t_1 à t_2 , μE est enfoncée dans la fibre nerveuse ;
- en t_2 , μE est ressortie de la fibre.

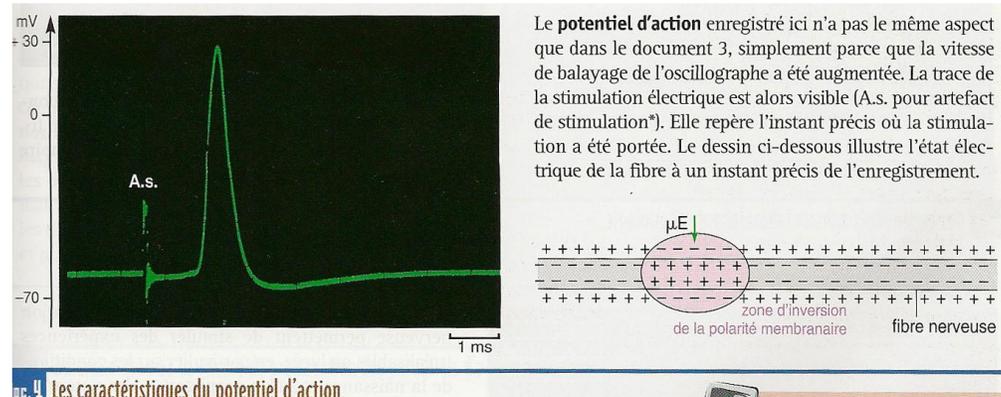
De t_1 à t_2 , on enregistre le **potentiel de repos*** de la fibre.



b. Fibre en activité.

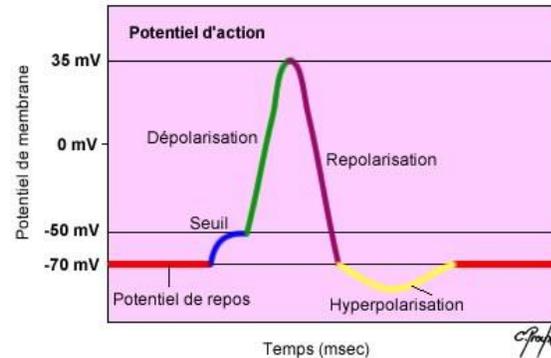
Pendant que μE est implantée dans la fibre, on effectue, à une distance d'un cm, trois stimulations, aux instants t_2 , t_3 et t_4 . Chacune fait naître un potentiel d'action qui se propage et est enregistré à son passage au niveau de μE .

Fig. 3 Enregistrement de la tension transmembranaire d'une fibre nerveuse au repos et en activité.

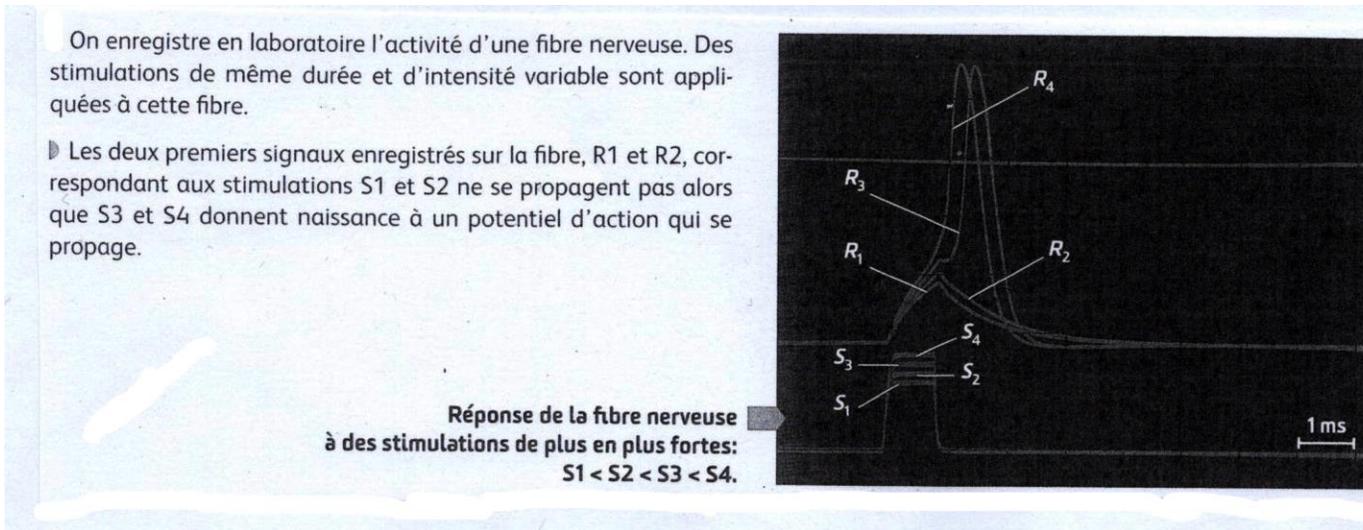


Le **potentiel d'action** enregistré ici n'a pas le même aspect que dans le document 3, simplement parce que la vitesse de balayage de l'oscillographe a été augmentée. La trace de la stimulation électrique est alors visible (A.s. pour artefact de stimulation*). Elle repère l'instant précis où la stimulation a été portée. Le dessin ci-dessous illustre l'état électrique de la fibre à un instant précis de l'enregistrement.

Fig. 4 Les caractéristiques du potentiel d'action.



Caractéristiques du potentiel d'action



Les stimulations S1 et S2 produisent une légère dépolarisation.

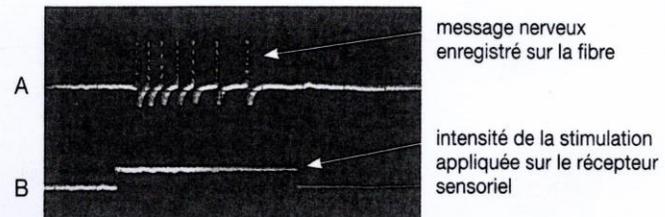
La stimulation S3 produit un potentiel d'action, comme d'ailleurs S4 mais plus rapidement dans le dernier cas.

En définitive l'obtention d'un potentiel d'action nécessite une stimulation égale ou supérieure à seuil, le seuil de stimulation. Par ailleurs dans leur amplitude et la forme du signal tous les potentiels d'action se ressemblent.

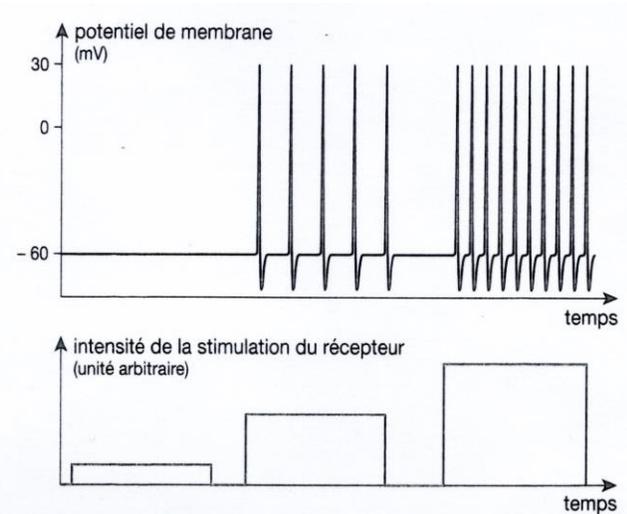
Donc lorsque le seuil est atteint le PA a d'emblée une amplitude maximale (loi du tout ou rien).

Caractéristiques du message nerveux

Un potentiel d'action est rarement isolé : à la suite de la stimulation efficace d'un récepteur, on constate que c'est une salve de potentiels d'action qui naît et se propage. Ainsi, un message nerveux est constitué par une succession rapprochée de plusieurs potentiels d'action.



Le schéma ci-contre montre les réponses obtenues pour trois stimulations d'intensité croissante d'un récepteur sensoriel.



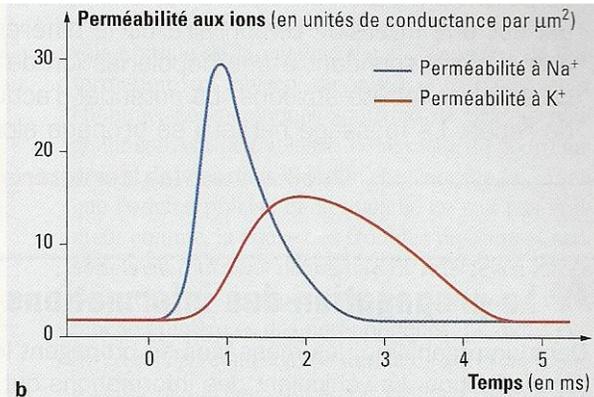
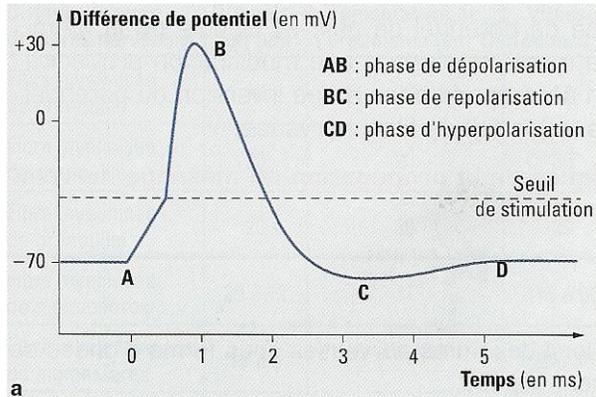
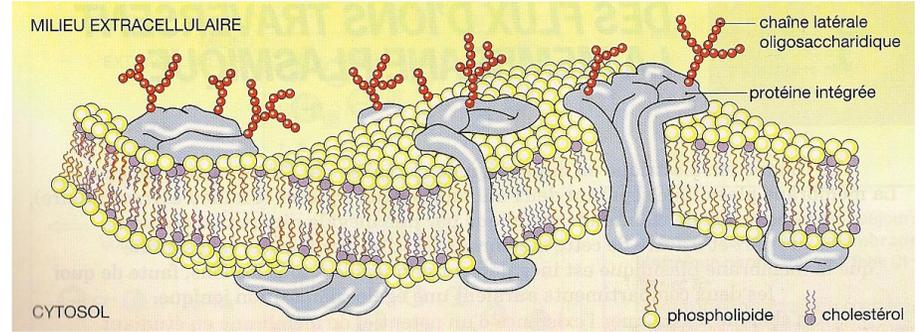
Q1: qu'est ce qu'un message nerveux ?

Q2: comment est codée l'intensité de la stimulation ?

L'origine des potentiels (HP)

Concentration ionique (en mmol. L ⁻¹)	Neurone de vertébrés		Neurone d'invertébré marin (calmar)	
	Milieu intracellulaire	Milieu extra-cellulaire	Milieu intracellulaire	Milieu extra-cellulaire
Na ⁺	5 à 15	145	50	440
K ⁺	140	5	400	20
Ca ⁺⁺	10 ⁻⁴	1 à 2	10 ⁻⁴	10
Cl ⁻	4 à 30	110	40 à 150	560

3 Concentrations ioniques intra- et extra-cellulaires au niveau de cellules au repos.

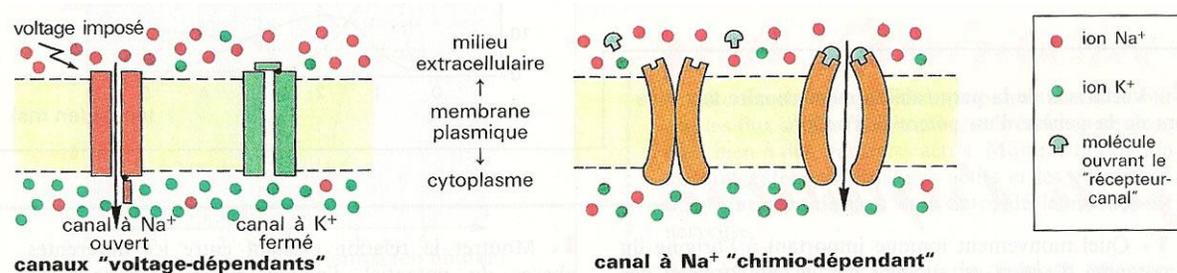


3 Les phases d'un potentiel d'action (a) et évolution de la perméabilité ionique (b) suite à une stimulation.

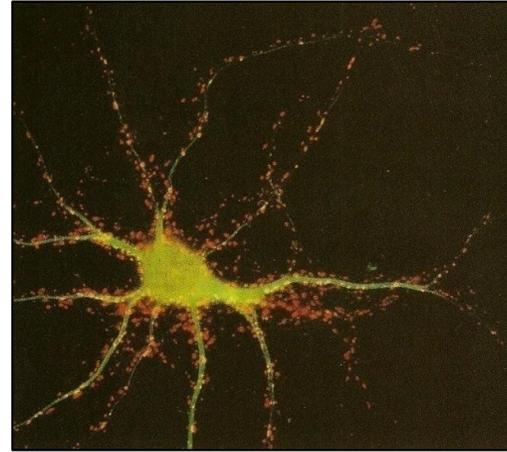
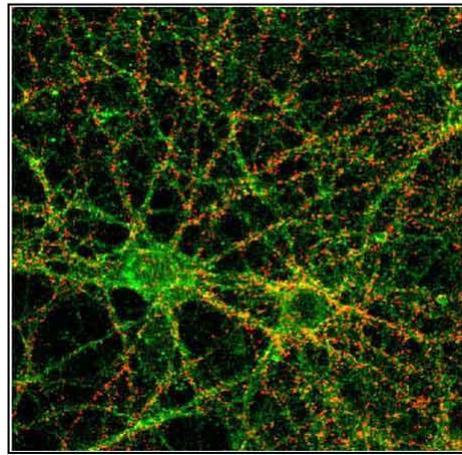
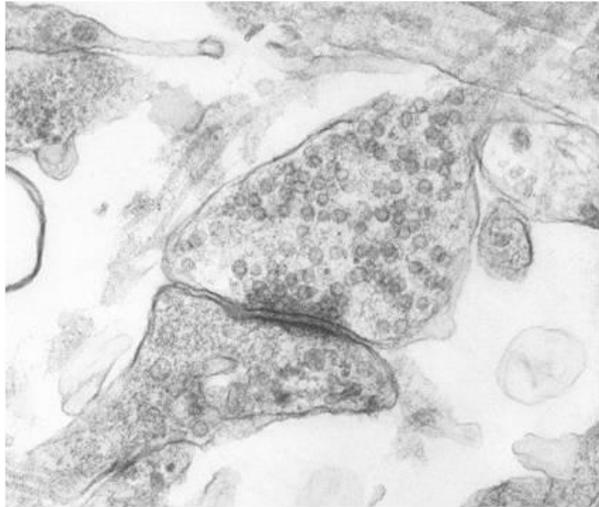
L'origine du potentiel de repos est dû à une inégale répartition d'ions, principalement sodium et potassium de part et d'autre de la membrane plasmique. C'est le cas de toutes les cellules vivantes.

Le potentiel d'action est le résultat de l'ouverture de canaux sodium puis potassium sensibles aux voltages (voltage-dépendant) d'où une entrée massive d'ions et la sortie de potassium. On peut considérer le PA comme un phénomène électrochimique localisé.

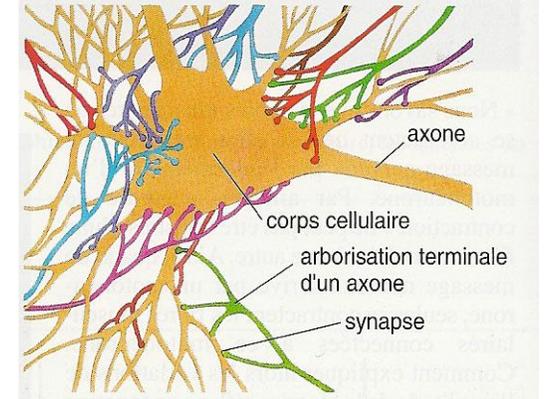
Au niveau des synapses ce sont des canaux chimio-dépendants fonctionnant aussi comme des récepteurs à un neurotransmetteur qui recrée le potentiel d'action sur l'élément postsynaptique.



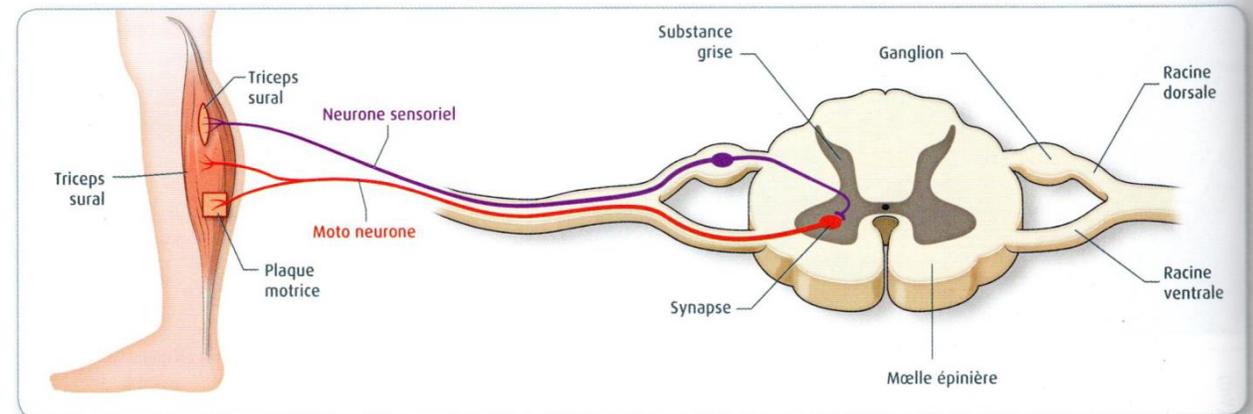
Synapses neuro-neuronique



Pour réaliser le document ci-contre, on a utilisé un pigment fluorescent, émettant une lumière rouge et se fixant de façon spécifique sur une molécule présente exclusivement dans les régions synaptiques. Les points rouges représentent donc les contacts entre différentes terminaisons axoniques (non visibles) et le neurone coloré en jaune-vert.

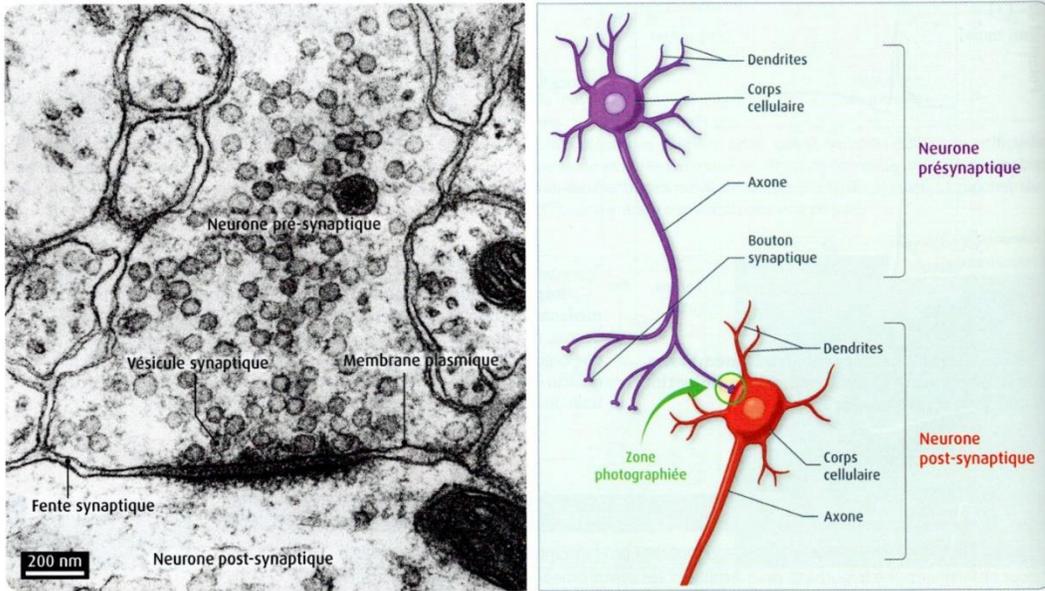


Les synapses sont des zones de connections fonctionnelles entre un neurone et une autre cellule. Toutes les synapses présentent un compartiment présynaptique contenant de nombreuses vésicules synaptiques et une membrane postsynaptique séparés par une fente synaptique. Celle-ci empêche la continuité des potentiels d'action.



Le circuit neuronal impliqué dans la contraction du triceps sural lors du réflexe achilléen. Au niveau de la moelle épinière (centre nerveux), le message nerveux est transmis du neurone sensitif au neurone moteur ou motoneurone.

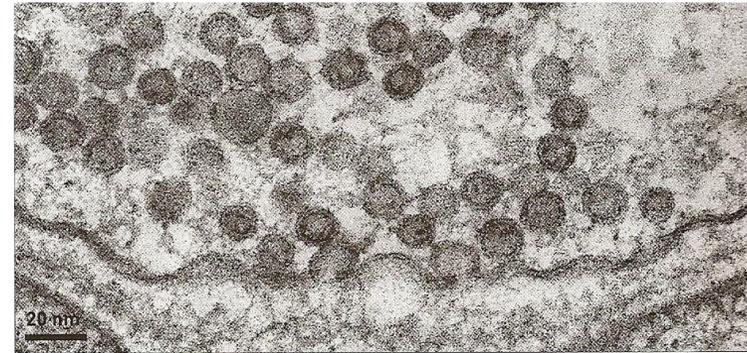
Fonctionnement d'une synapse neuro-neuronique



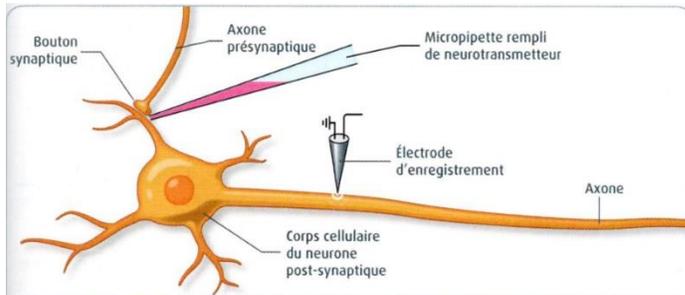
Observation au MET d'une synapse entre deux neurones et schéma d'interprétation. La zone de contact entre deux neurones se nomme **synapse**. L'espace entre les deux cellules (fente synaptique) ne permet pas la transmission d'un message de nature électrique. Les vésicules contiennent des molécules de **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



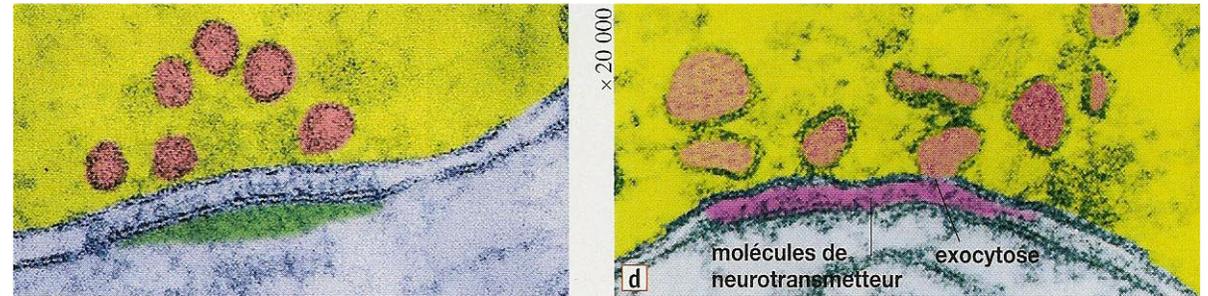
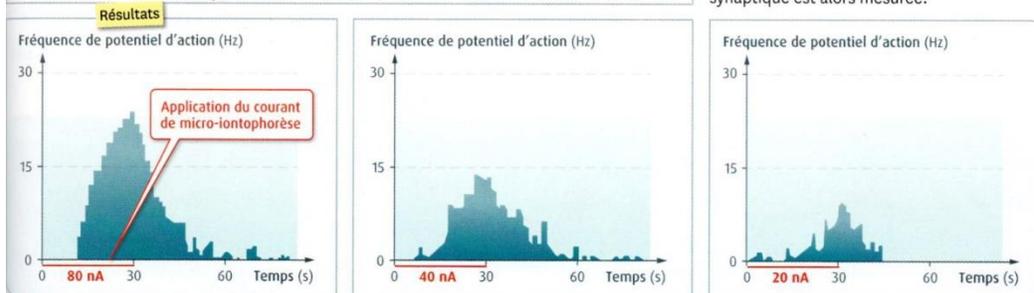
b Neurone présynaptique au repos (MET). L'espace ou fente synaptique mesure entre 10 et 40 nm.



c Neurone présynaptique stimulé par des potentiels d'action (MET).

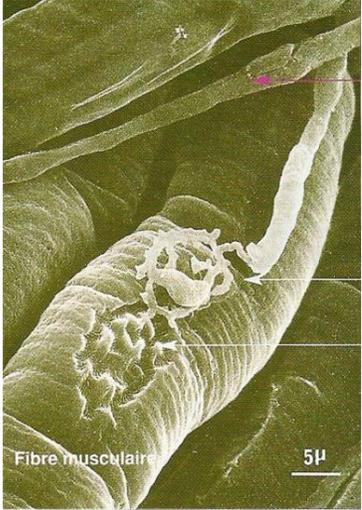
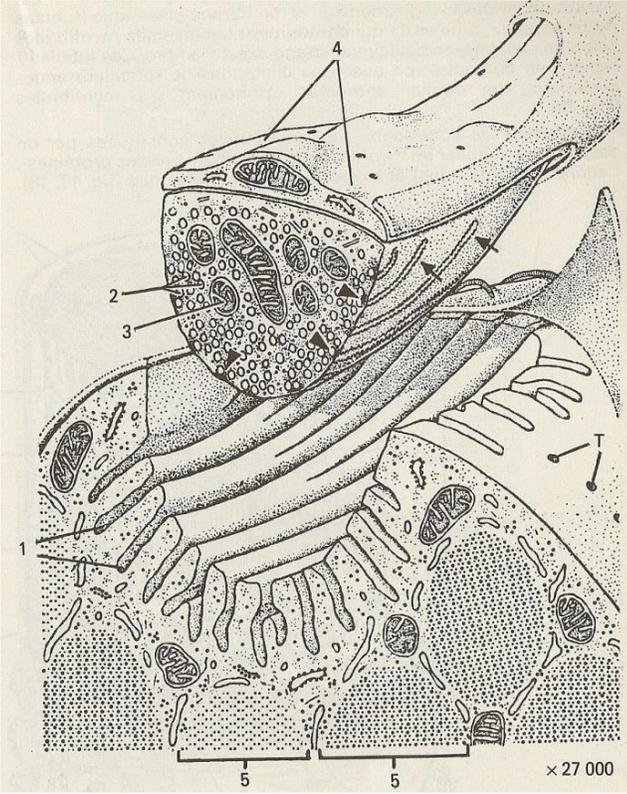
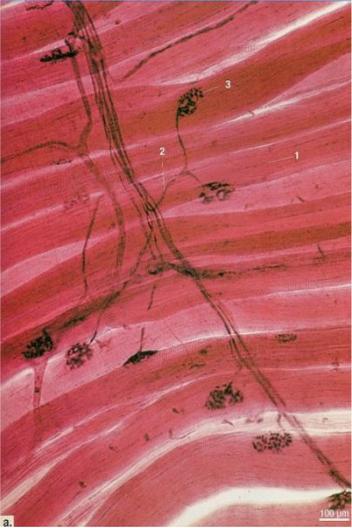


5 Des résultats d'une expérience de micro-iontophorèse. L'acétylcholine est un neurotransmetteur. De l'acétylcholine est placée dans une micropipette. Cette dernière est traversée par un courant électrique (courant de micro-iontophorèse) qui permet d'introduire une très faible quantité d'acétylcholine dans la fente synaptique. L'intensité du courant détermine la quantité d'acétylcholine injectée. La fréquence des potentiels d'action du neurone post-synaptique est alors mesurée.

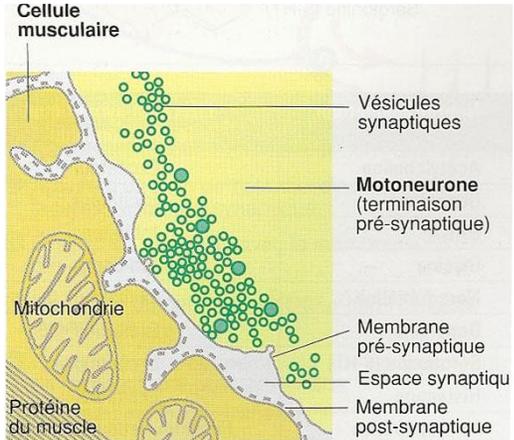


Q1: A l'aide de ces documents expliquez comment fonctionne une synapse

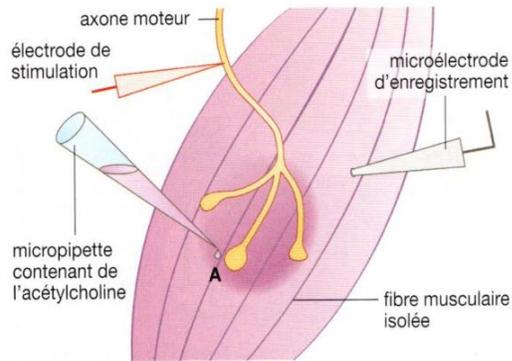
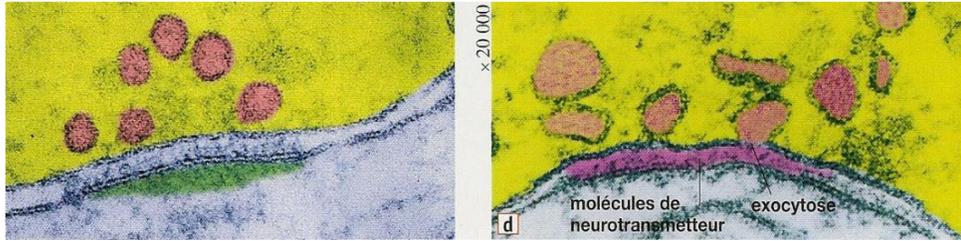
La synapse neuro-musculaire



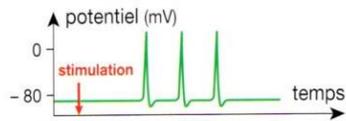
Q1: comparer le synapse neuro –neuronique et la synapse neur-musculaire



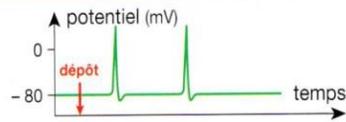
Fonctionnement de la synapse neuro-musculaire



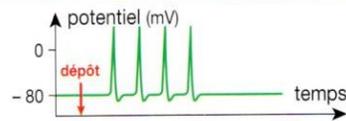
Expérience 1 :
stimulation de l'axone
du motoneurone.



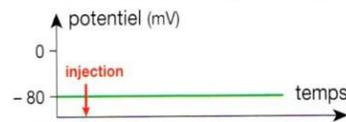
Expérience 2 :
en A, dépôt sur la membrane
d'une microgoutte d'acétylcholine.



Expérience 3 :
en A, dépôt sur la membrane
de plusieurs microgouttes
d'acétylcholine.



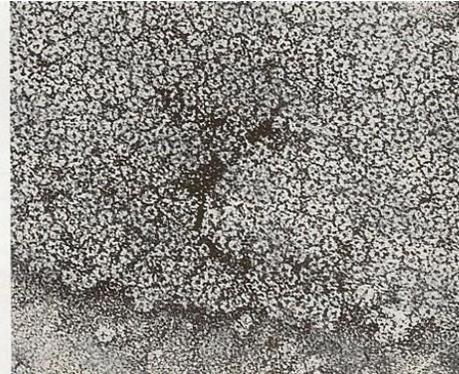
Expérience 4 :
en A, injection à l'intérieur de la fibre
musculaires d'une microgoutte
d'acétylcholine.



Le récepteur de l'acétylcholine

► Le récepteur de l'acétylcholine a été isolé à partir de l'organe électrique du poisson-torpille, qui présente une très forte densité de récepteurs. Ces poissons peuvent émettre des décharges électriques de près de 500 volts.

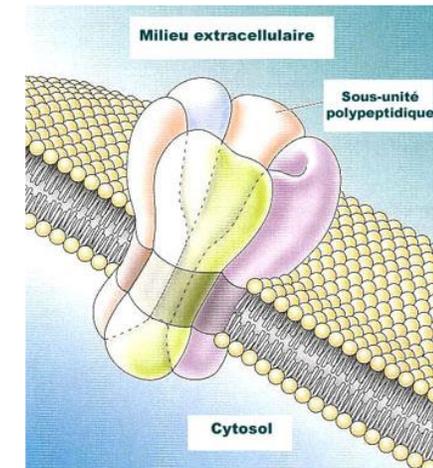
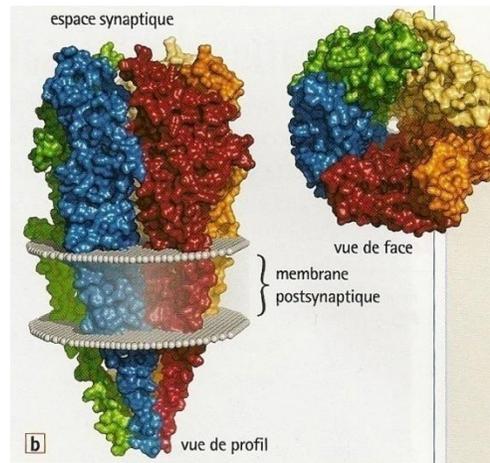
► La structure de ce récepteur a été déterminée et modélisée : il présente 2 sites de fixation de l'acétylcholine.



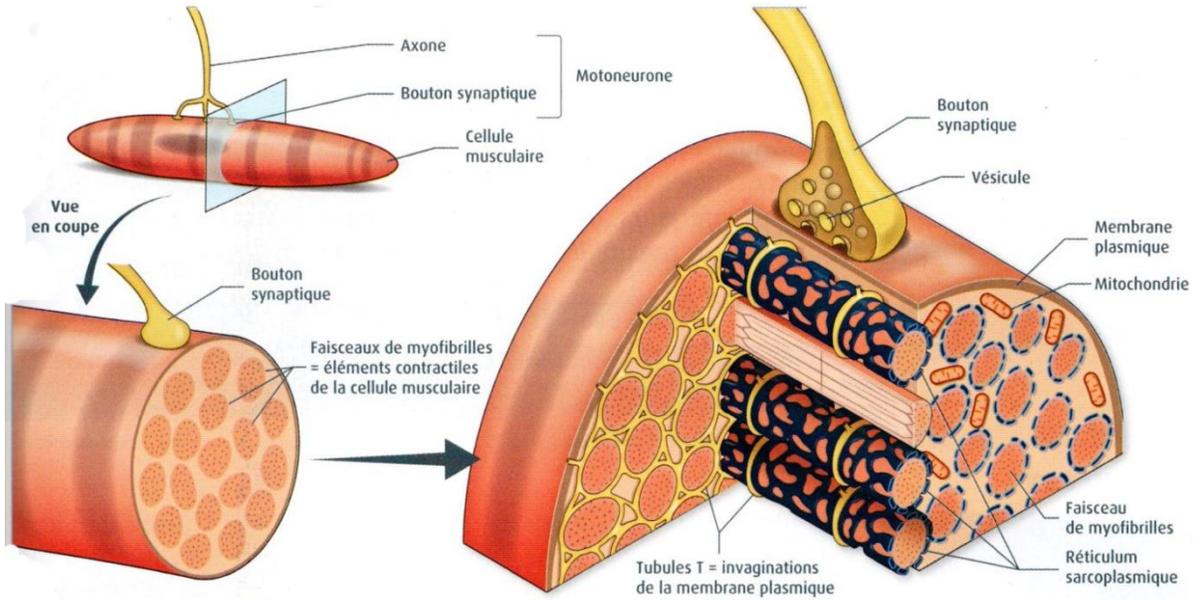
a. Récepteurs de l'acétylcholine.



b. Modélisation du récepteur de l'acétylcholine.

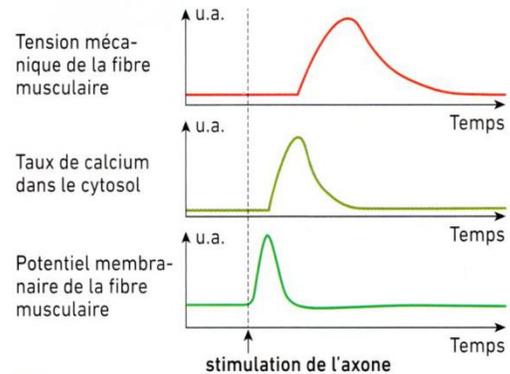


Q1: précisez la structure et le rôle du récepteur à l'acétylcholine
Q2: comment est codé le message nerveux au niveau de la synapse ?

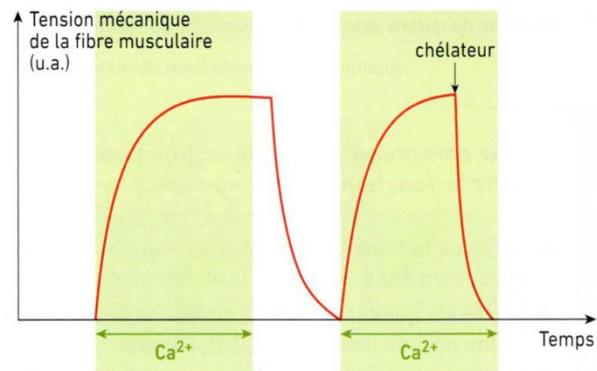


Ultrastructure de la cellule musculaire. Le réticulum sarcoplasmique contient une concentration élevée d'ions calcium (Ca^{2+}) tout comme l'extérieur de la cellule. Le milieu intracellulaire contient une concentration en Ca^{2+} beaucoup plus faible. Les tubules transverses ou tubules T sont des invaginations tubulaires de la membrane de la cellule musculaire. Ils ont pour rôle de conduire efficacement l'influx nerveux au plus près des myofibrilles, les éléments contractiles (voir chapitre 17).

Des études expérimentales ont permis d'établir les étapes consécutives à la réception d'un message nerveux par une fibre musculaire.

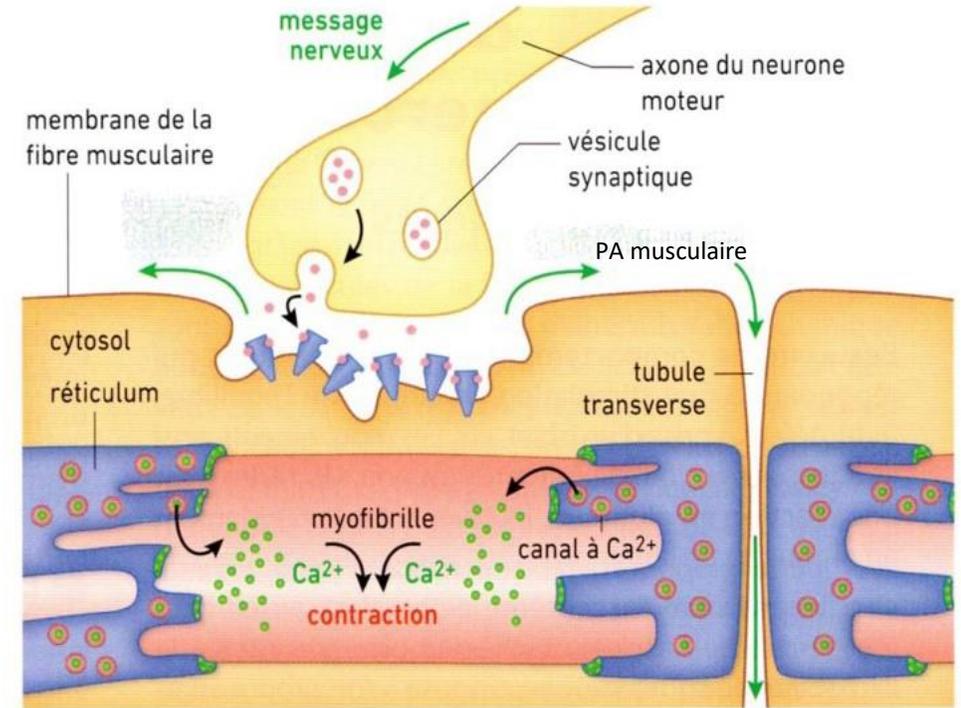


A Mesures effectuées au niveau d'une fibre musculaire à la suite de la stimulation de l'axone d'un neurone moteur.



B Mesure de la tension musculaire en présence de calcium, sans et avec injection d'un chélateur (substance qui fixe durablement les ions calcium).

Le déclenchement de la contraction musculaire



Le déclenchement de la contraction musculaire.

Q1: expliquez comment fonctionne la synapse neuro - musculaire
Q2: quelles étapes aboutissent à la contraction musculaire ?

Bilan: message nerveux et synapse

Le message nerveux est un train de potentiels d'action qui se propagent unidirectionnellement le long de l'axone. Il est codé en modulation de fréquence.

Au niveau de la synapse l'arrivée d'un message nerveux provoque la libération de neurotransmetteurs dans la fente synaptique. Le message est codé en concentration de neurotransmetteur.

Leur fixation sur les récepteurs spécifiques post-synaptique du neurone recrée un train de potentiels d'action .

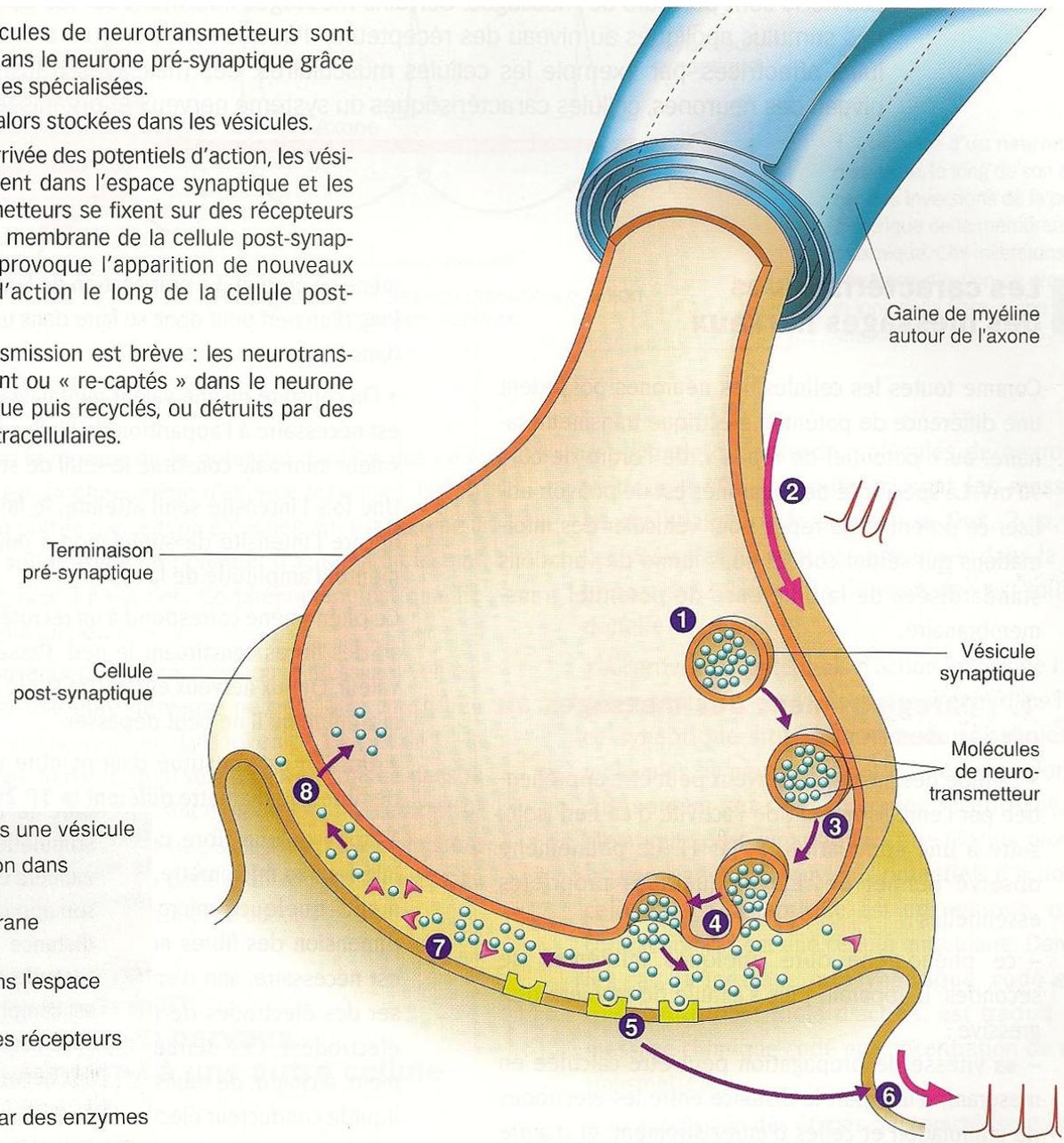
Au niveau musculaire le neurotransmetteur est l'acétylcholine. Sa fixation sur les récepteurs produit une perturbation du potentiel membranaire musculaire d'où une libération de calcium provoquant la contraction de la fibre musculaire.

- Les molécules de neurotransmetteurs sont fabriquées dans le neurone pré-synaptique grâce à des enzymes spécialisées.

- Elles sont alors stockées dans les vésicules.

- Lors de l'arrivée des potentiels d'action, les vésicules se vident dans l'espace synaptique et les neurotransmetteurs se fixent sur des récepteurs situés sur la membrane de la cellule post-synaptique. Ceci provoque l'apparition de nouveaux potentiels d'action le long de la cellule post-synaptique.

- Cette transmission est brève : les neurotransmetteurs sont ou « re-captés » dans le neurone pré-synaptique puis recyclés, ou détruits par des enzymes extracellulaires.



- 1 Stockage du neurotransmetteur dans une vésicule
- 2 Arrivée d'un train de potentiel d'action dans la terminaison pré-synaptique
- 3 Fusion des vésicules avec la membrane pré-synaptique
- 4 Libération du neurotransmetteur dans l'espace synaptique
- 5 Fixation du neurotransmetteur sur les récepteurs de la membrane post-synaptique
- 6 Nouveau message (transmis)
- 7 Inactivation du neurotransmetteur par des enzymes
- 8 Recapture du neurotransmetteur