

TD1 Les caractéristiques du message nerveux électrique le long d'une fibre nerveuse

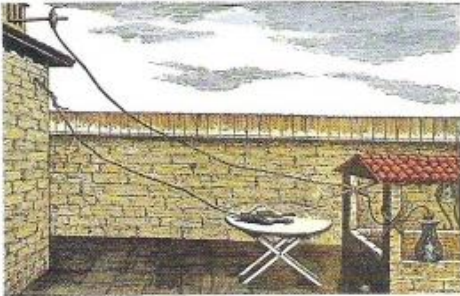
L'objectif de ce TP est de caractériser le message nerveux le long d'une fibre.



Lycée E. Delacroix Tale S

Le message nerveux est de nature électrique

• Dès le XVIII^e siècle, Luigi Galvani montre que la décharge d'électricité provoquée par des éclairs, un soir d'orage, provoque de violentes contractions des muscles d'une grenouille.



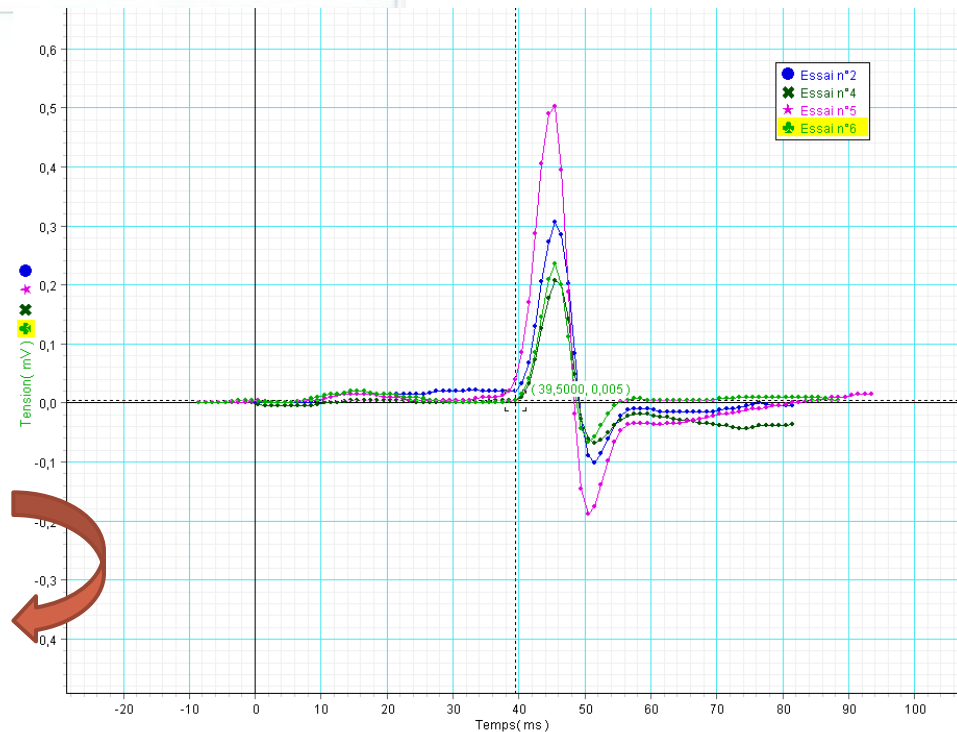
• Aujourd'hui, l'étude du message nerveux s'effectue grâce à des **microélectrodes** que l'on peut implanter dans une fibre nerveuse ou poser à sa surface afin d'y recueillir des potentiels de quelques dizaines de millivolts.



D'après Bordas TS SVT ed 2012 p.358

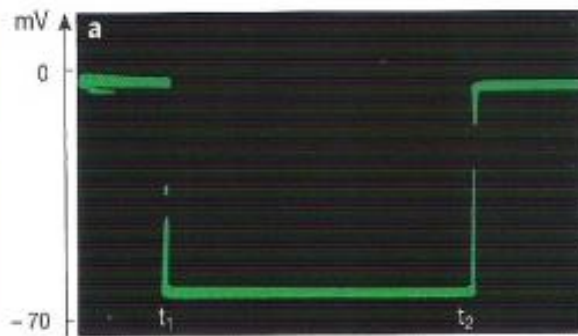
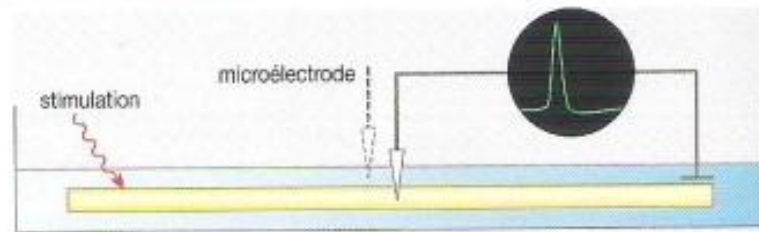
Doc. 1 Des premiers constats aux expérimentations actuelles.

Cf TP1: ExaO => enregistrement d'un signal électrique sur le muscle lors de sa contraction



Enregistrements d'un potentiel de repos et d'un potentiel d'action via des microélectrodes implantées dans la fibre nerveuse

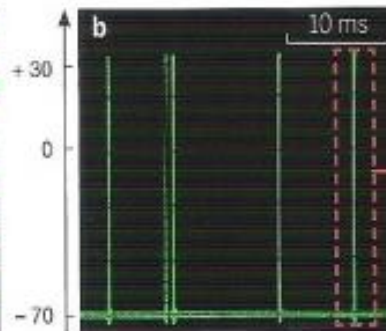
Dans cette étude, une microélectrode reliée à un dispositif d'enregistrement est placée au contact d'une fibre nerveuse ou implantée à l'intérieur de cette dernière. La fibre nerveuse baigne dans un liquide physiologique dans lequel on place la deuxième électrode dite de référence. Il est possible de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

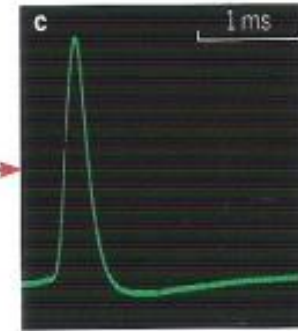
De t_1 à t_2 , la différence de potentiel constatée entre surface et intérieur de la fibre est le **potentiel de repos**.



b) Fibre en activité

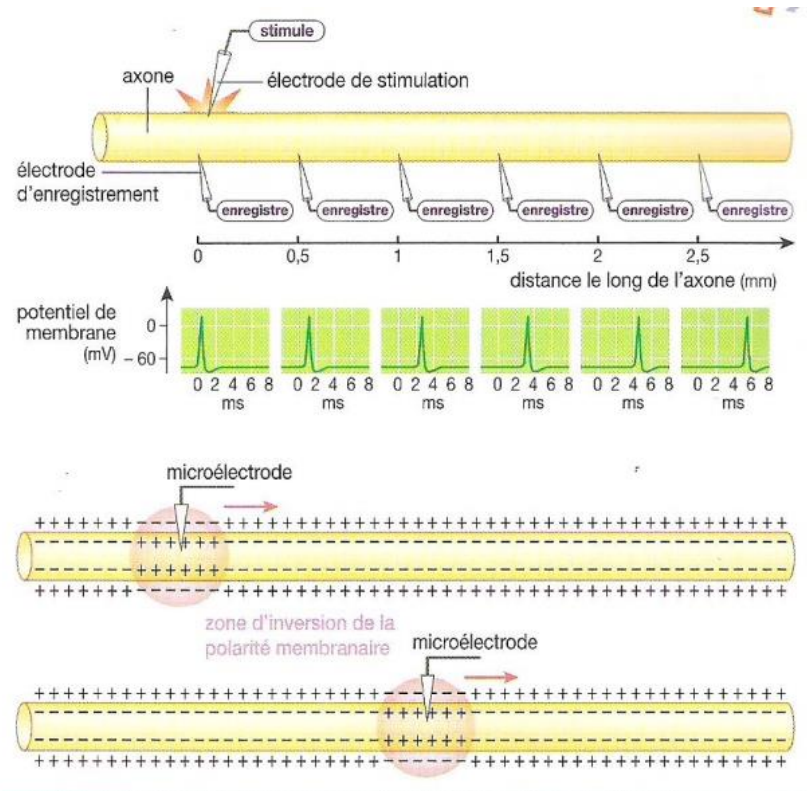
Pendant que la microélectrode est implantée, on effectue à distance une stimulation de la fibre.

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.



La propagation du message nerveux électrique le long de la fibre

- En 1938, deux chercheurs, Hodgkin et Rushton, réalisent l'expérience suivante : ils portent une stimulation sur une fibre nerveuse « géante » de calmar et enregistrent l'état électrique de la membrane à différentes distances du point de stimulation.
- Au repos, il existe une différence de potentiel permanente de part et d'autre de la membrane du neurone, l'intérieur étant électronégatif par rapport à l'extérieur.
- Le potentiel d'action apparaît comme une zone de dépolarisation temporaire de la membrane du neurone, qui se propage de proche en proche. À noter que la valeur du potentiel d'action ne varie pas : il n'y a pas d'atténuation du signal au cours de sa propagation.

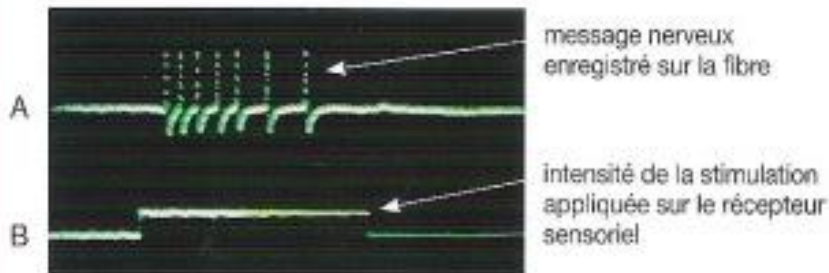


Doc. 3 Une caractéristique essentielle du potentiel d'action.

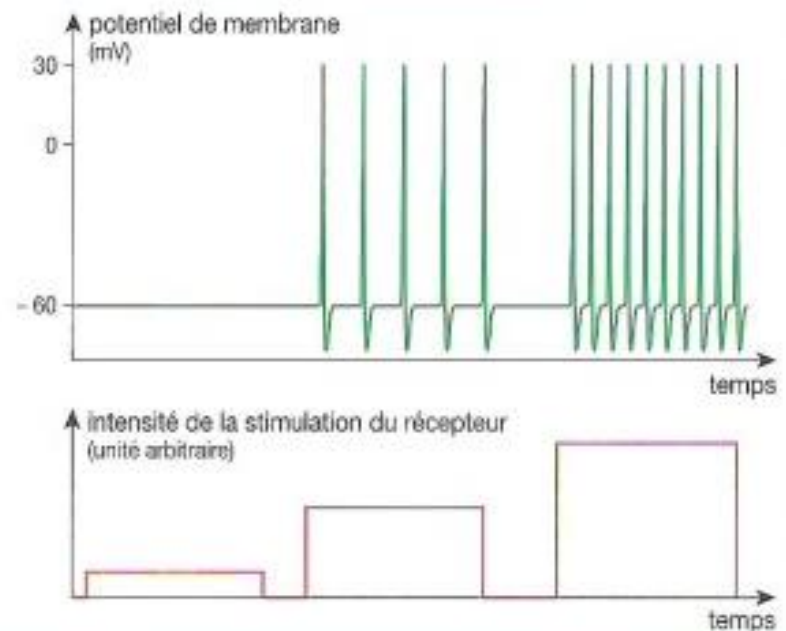
Le potentiel d'action possède toujours la même amplitude (-70mV à +10 mV), la même durée (2 ms) et se propage de manière unidirectionnelle.

Le codage du message nerveux le long de la fibre nerveuse

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.



Doc. 4 Le codage du message nerveux.

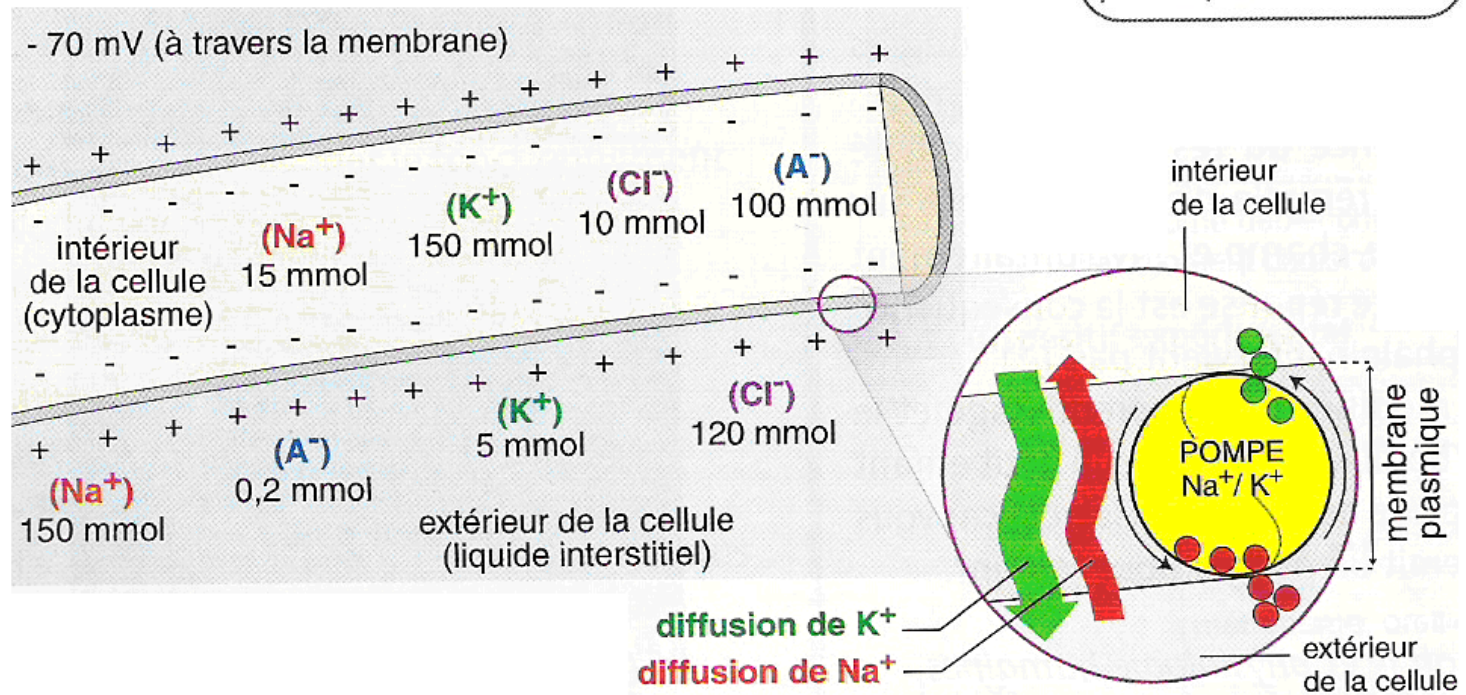
Une faible stimulation n'engendre aucun potentiel d'action. En revanche, dès que la valeur seuil de la stimulation est atteinte, on enregistre un potentiel d'action qui se propage le long de la fibre nerveuse.

La naissance d'un PA répond à la loi du « tout ou rien ».

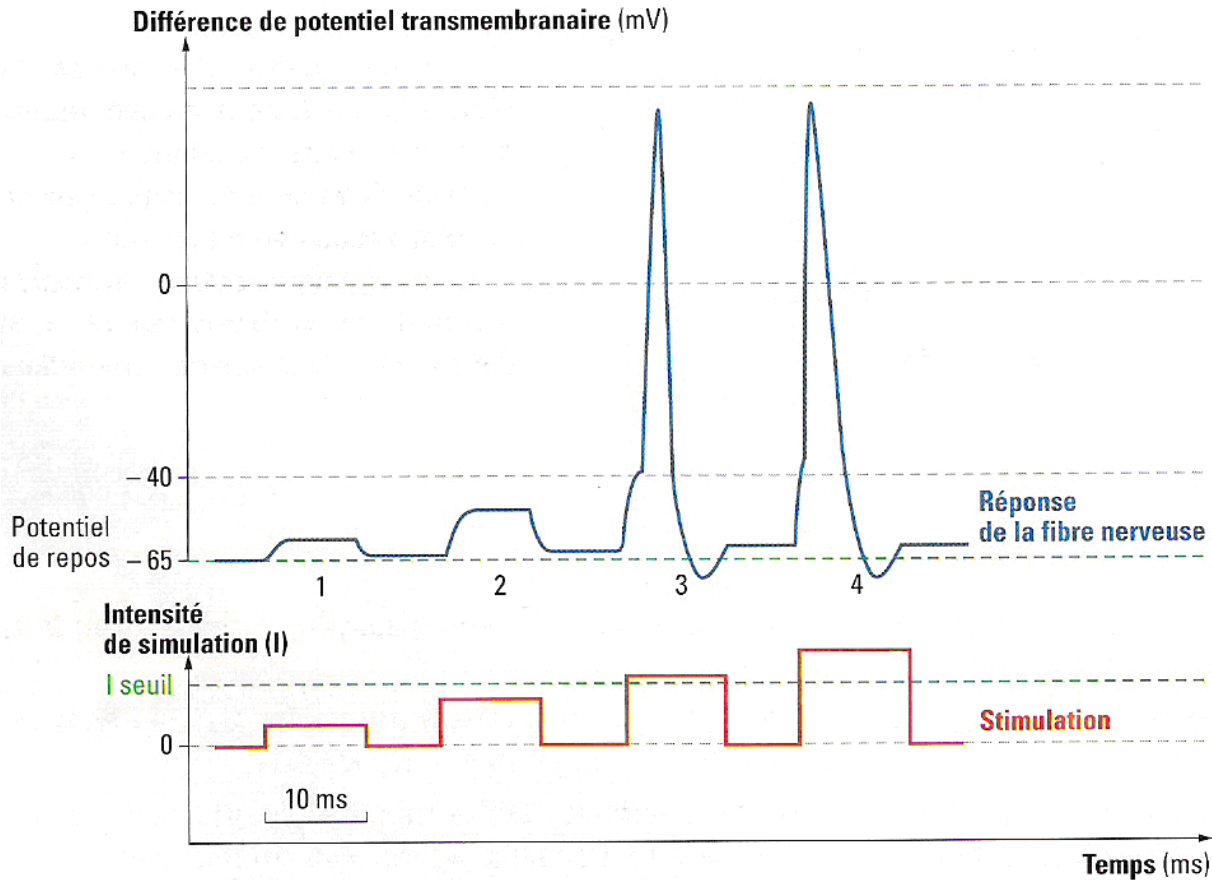
L'intensité de la stimulation est alors codée en fréquence de potentiels d'action, en effet le signal qui se propage le long de la fibre nerveuse est de durée et d'amplitude constante. Seule sa fréquence varie.

Concentrations ioniques de part et d'autre de la membrane cellulaire

*Pompe ionique :
structure protéique
permettant le transport
d'ions de part et d'autre
d'une membrane
plasmique.*



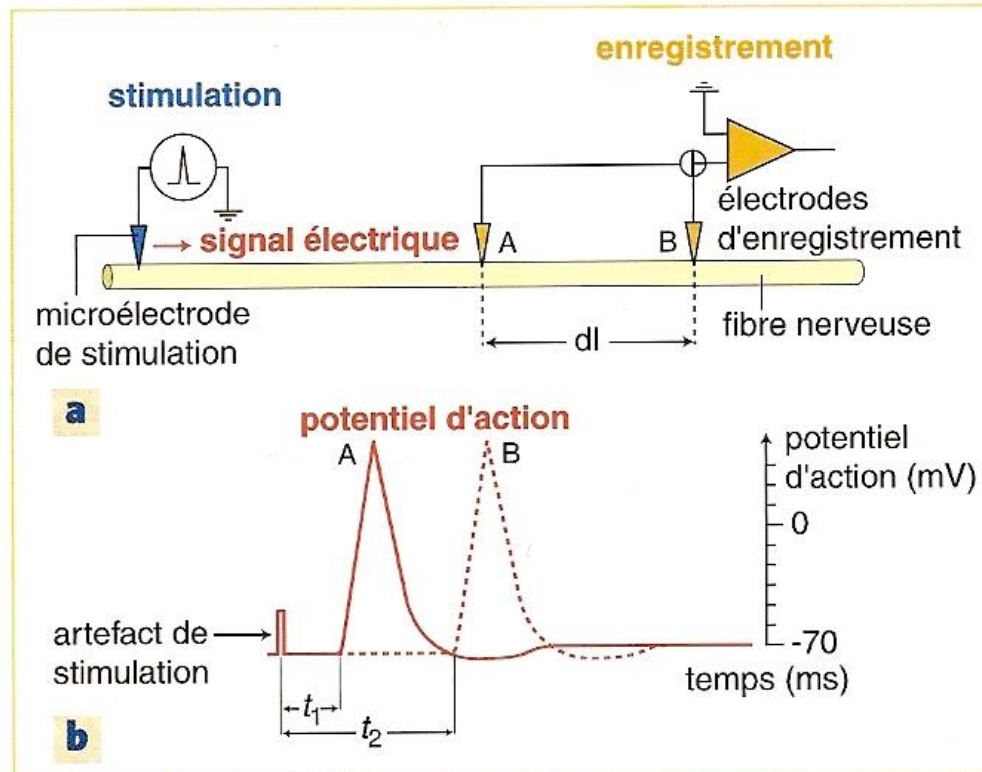
Etude expérimentale des conditions de naissance d'un potentiel d'action



◀ **L'expérience** est conduite avec le montage décrit doc. 5 ci-après, l'électrode d'enregistrement étant très proche de l'électrode de stimulation. Une réponse identique aux réponses 3 et 4 est obtenue dès que l'intensité de stimulation dépasse une valeur appelée **seuil de stimulation**.

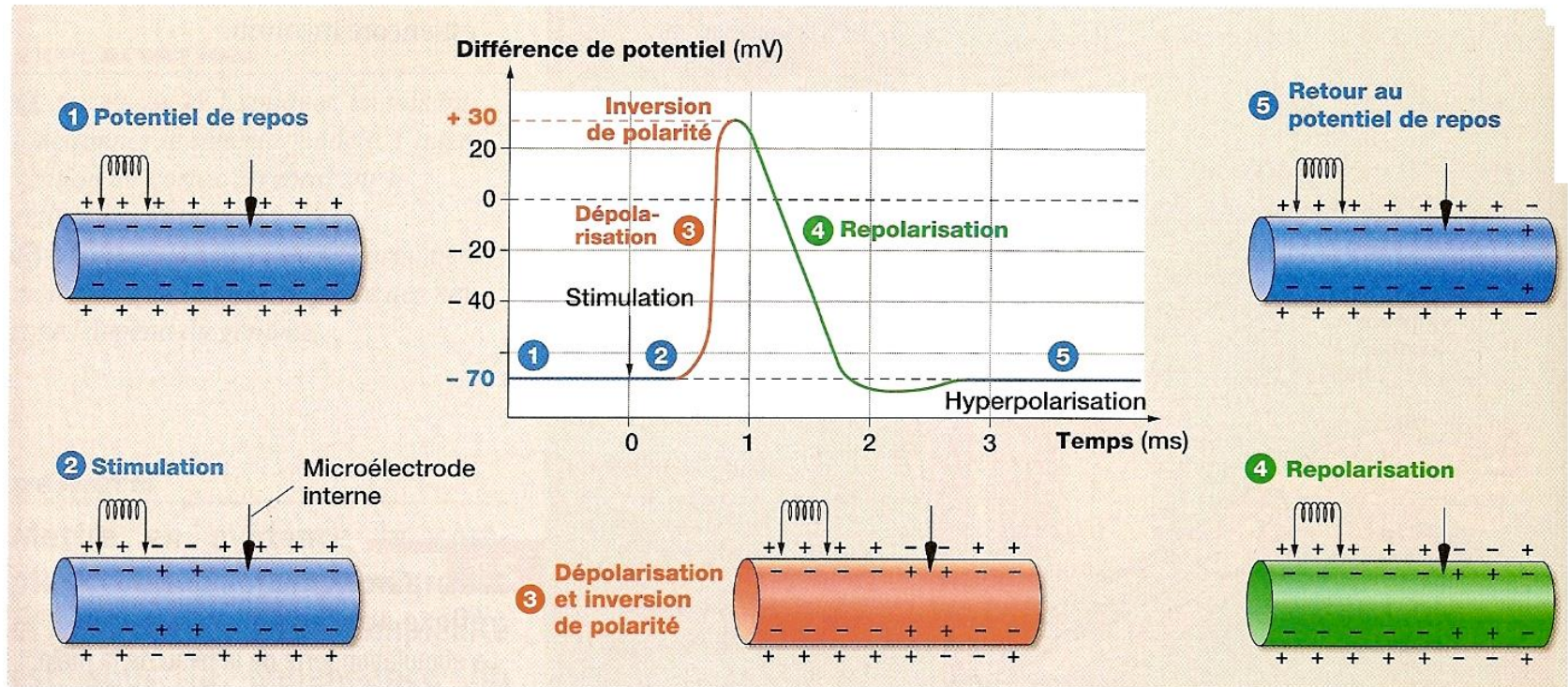
2 Enregistrement de la différence de potentiel transmembranaire d'une fibre nerveuse en réponse à une stimulation d'intensité croissante.

Les caractéristiques d'un potentiel d'action



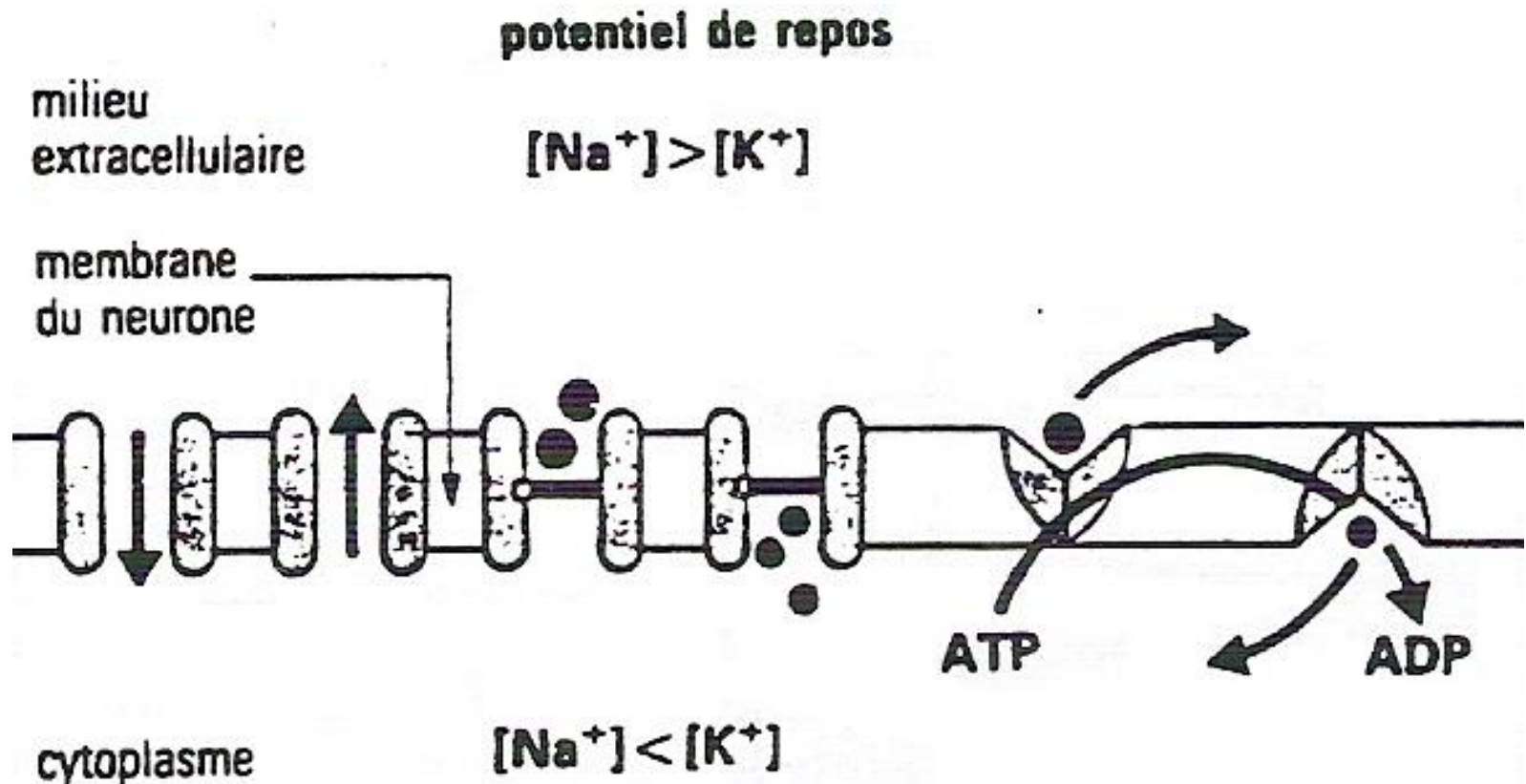
> **Doc. 1** Dispositif expérimental (a) et allure d'un potentiel d'action (b).

Les caractéristiques d'un potentiel d'action



Doc. 1 Le potentiel de repos et les différentes phases du potentiel d'action.

Schéma présentant les flux d'ions à travers la membrane plasmique assurant une différence de potentiel transmembranaire



On définit un potentiel membranaire d'équilibre pour chaque ion par la loi de Nernst.

Pour cette valeur le flux net est nul.

$$E_{\text{ion}} = RT/ZF \ln [ion]_e / [ion]_i$$

Lorsqu'un canal est perméable à 2 ions alors $E = RT/ZF \ln [ion1]_e + [ion2]_e / [ion 1]_i + [ion 2]_i$

R = Constante des gaz parfaits

T = température absolue

Z = valence de l'ion (+1 cation monovalent; -1 anion monovalent)

F = Constante de Faraday

A 20°C: $RT/F = 25 \text{ mV}$

En base 10 avec $Z = +1$ $RT/ZF = 58$

$$\begin{aligned} \text{Pour le K : } E_K &= 58 \log 3/140 \\ &= -96 \text{ mV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pour le Na: } E_{Na} &= 58 \log 140/14 \\ &= +58 \text{ mV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pour le Cl: } E_{Cl} &= -58 \log 144/14 \quad (Z = -1) \\ &= -58 \text{ mV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pour le Ca: } E_{Ca} &= 29 \log 1/10^{-4} \quad (Z = 2) \\ &= 116 \text{ mV} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pour un canal Na/K: } E &= 29 \log 140+3/140+14 \quad (Z = 2 \text{ car } 1+ \text{ du K et } 1 + \text{ de Na}) \\ &= -0.9 \text{ mV} \end{aligned}$$

Les échanges ioniques lors du PA

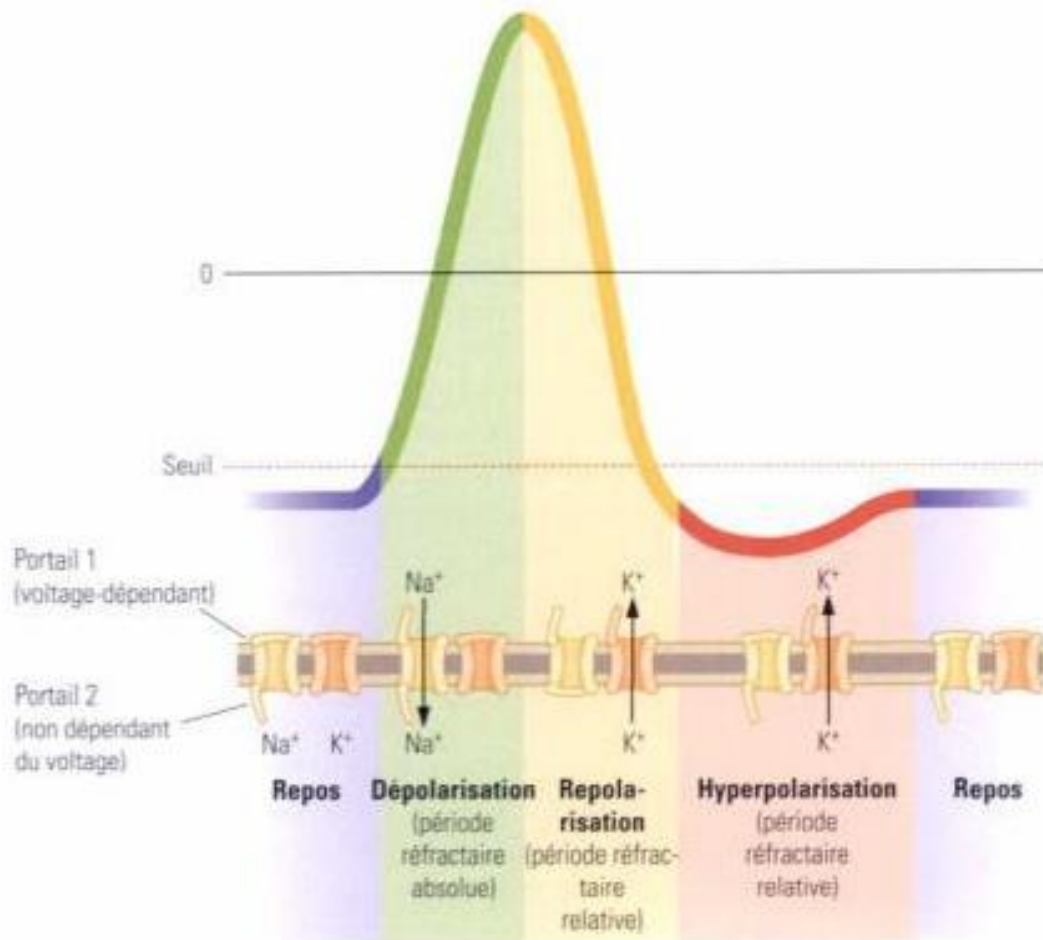
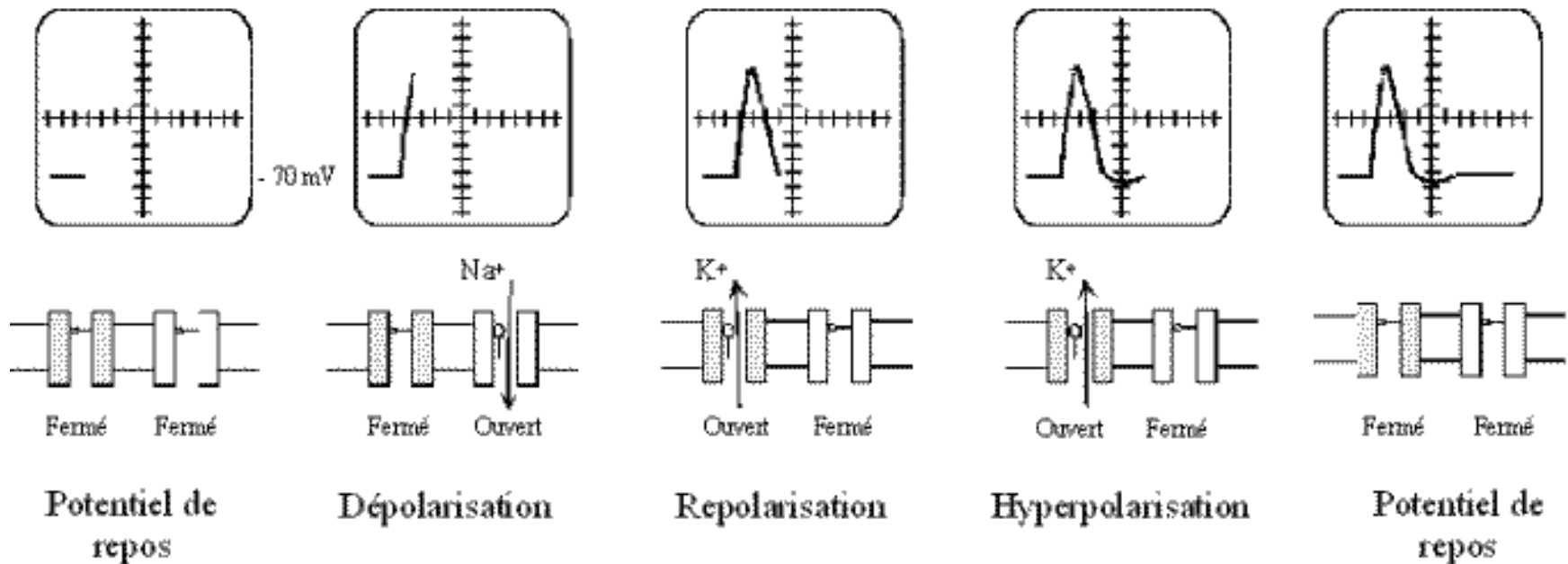


Figure 4-14

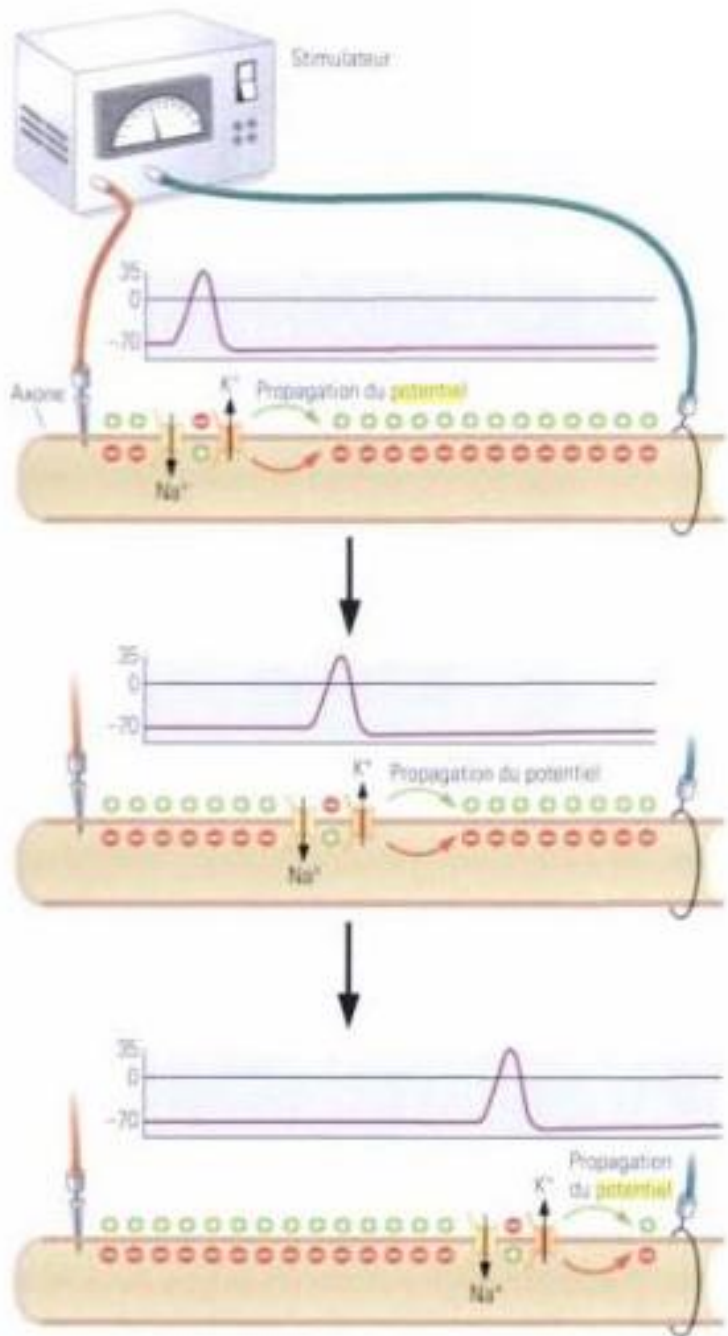
Les changements de perméabilité des canaux sodiques et potassiques voltage-dépendants sont responsables des différentes phases du **potentiel d'action**. L'ouverture du portail 1 des canaux sodiques déclenche la dépolarisation, et la fermeture du portail 2 met un terme à la dépolarisation. Les canaux potassiques s'ouvrent plus lentement et contribuent également à la dépolarisation. Le rétablissement de l'état initial des portails est associé à la restauration du **potentiel** de repos. La membrane est dans une période réfractaire absolue une fois que le portail 2 des canaux sodiques est fermé, et dans une période réfractaire relative aussi longtemps que le **potentiel** de repos n'est pas rétabli.

Les échanges ioniques lors du PA



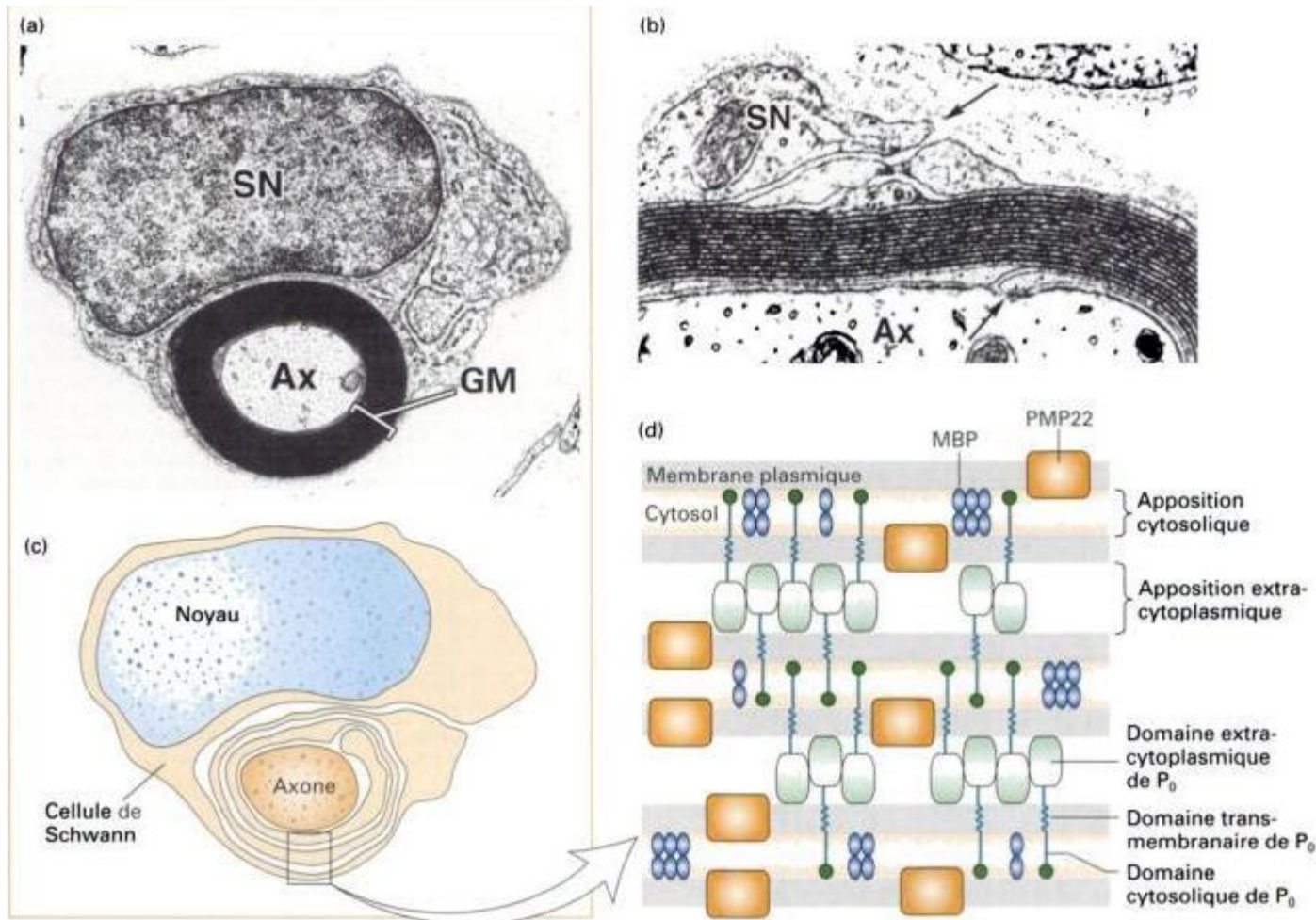
Interprétation ionique du potentiel d'action monophasique

- ⊙ Le potentiel transmembranaire est lié à la conductance de la membrane aux différents ions
- ⊙ une perturbation électrique arrive et modifie pot transmb jusqu'à une valeur seuil ~ -55 mV => ouverture des canaux Na^+ voltdp => augmentation de conductance mb au Na^+ => pot de mb se rapproche de celui du Na^+
- ⊙ Avec un petit retard canaux K^+ voltdp s'ouvrent => pot mb redescend car conductance à K^+ augmente (inversion de polarité)
- ⊙ Ouverture prolongée des canaux K^+ => hyperpolarisation
- ⊙ Canaux de fuite et pompe Na^+/K^+ => PR pas égal à conductance de K^+ mais ~ -70 mV



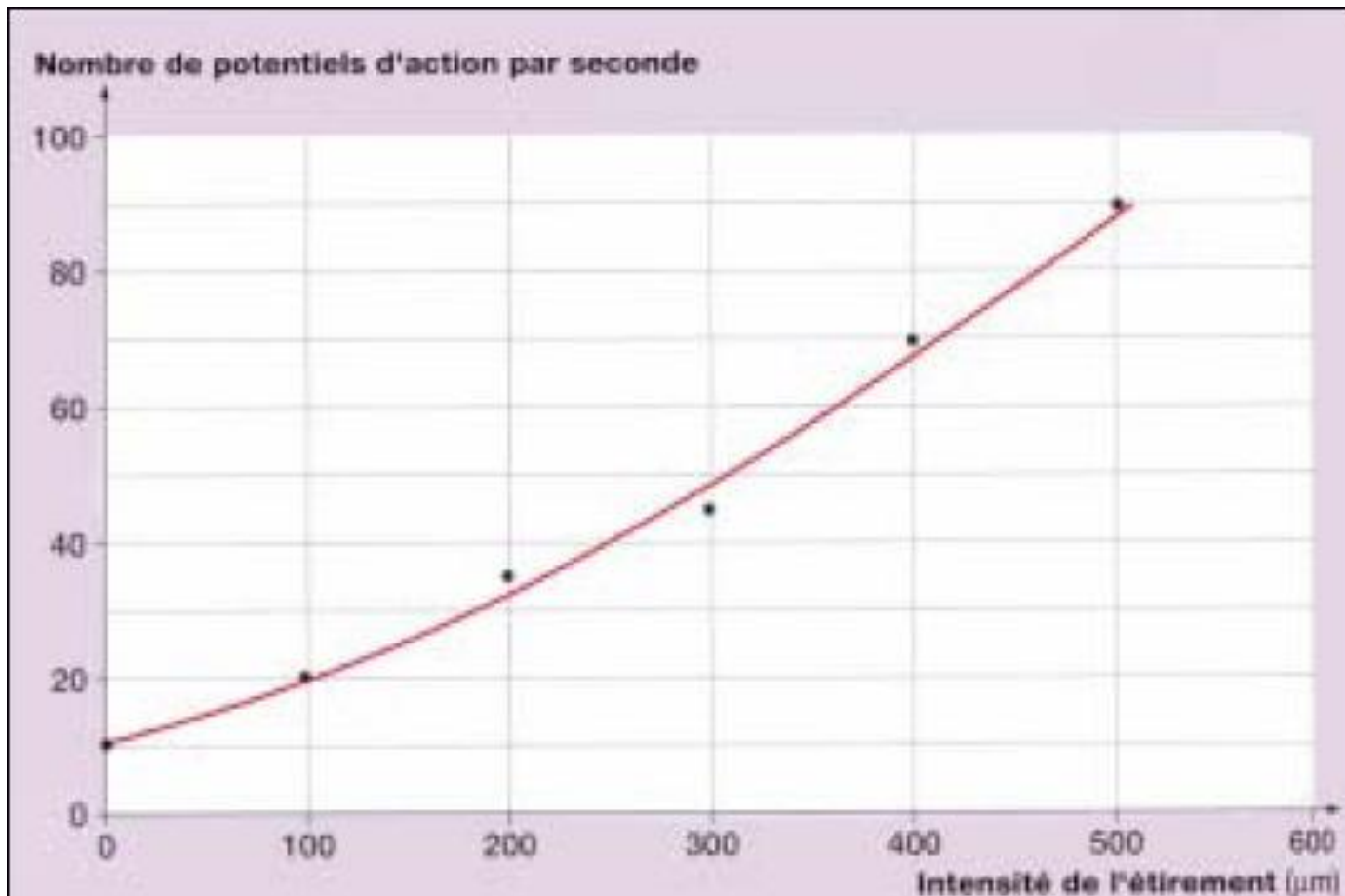
La propagation unidirectionnelle du PA

Cellules de Schwann, à l'origine des gaines de myéline des axones du système nerveux périphérique



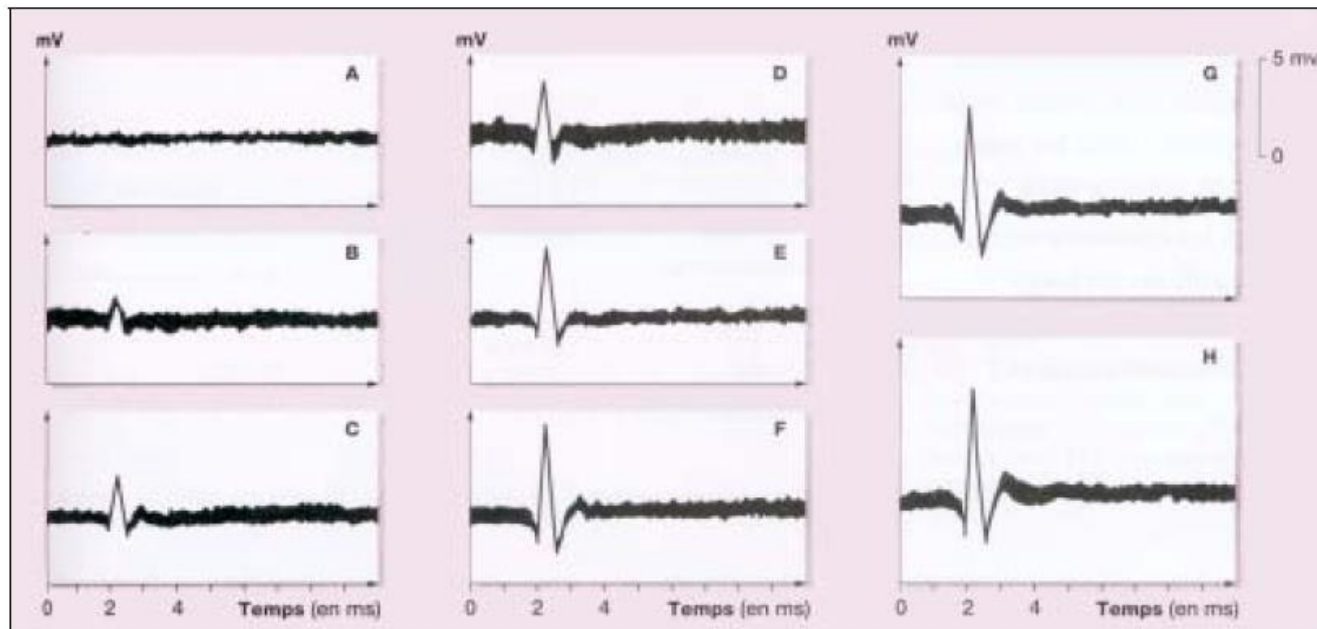
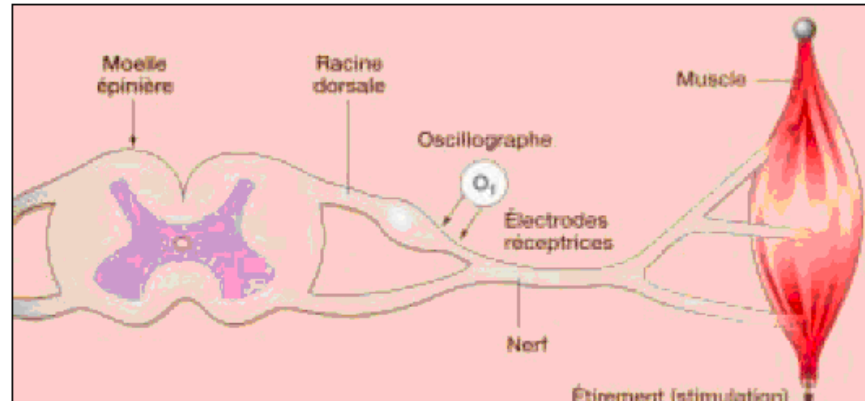
(sources: *Biologie Moléculaire de la Cellule Lodish*)

Relation entre la fréquence des potentiels d'action et l'intensité de l'étirement dans le cas du fuseau neuromusculaire de Grenouille

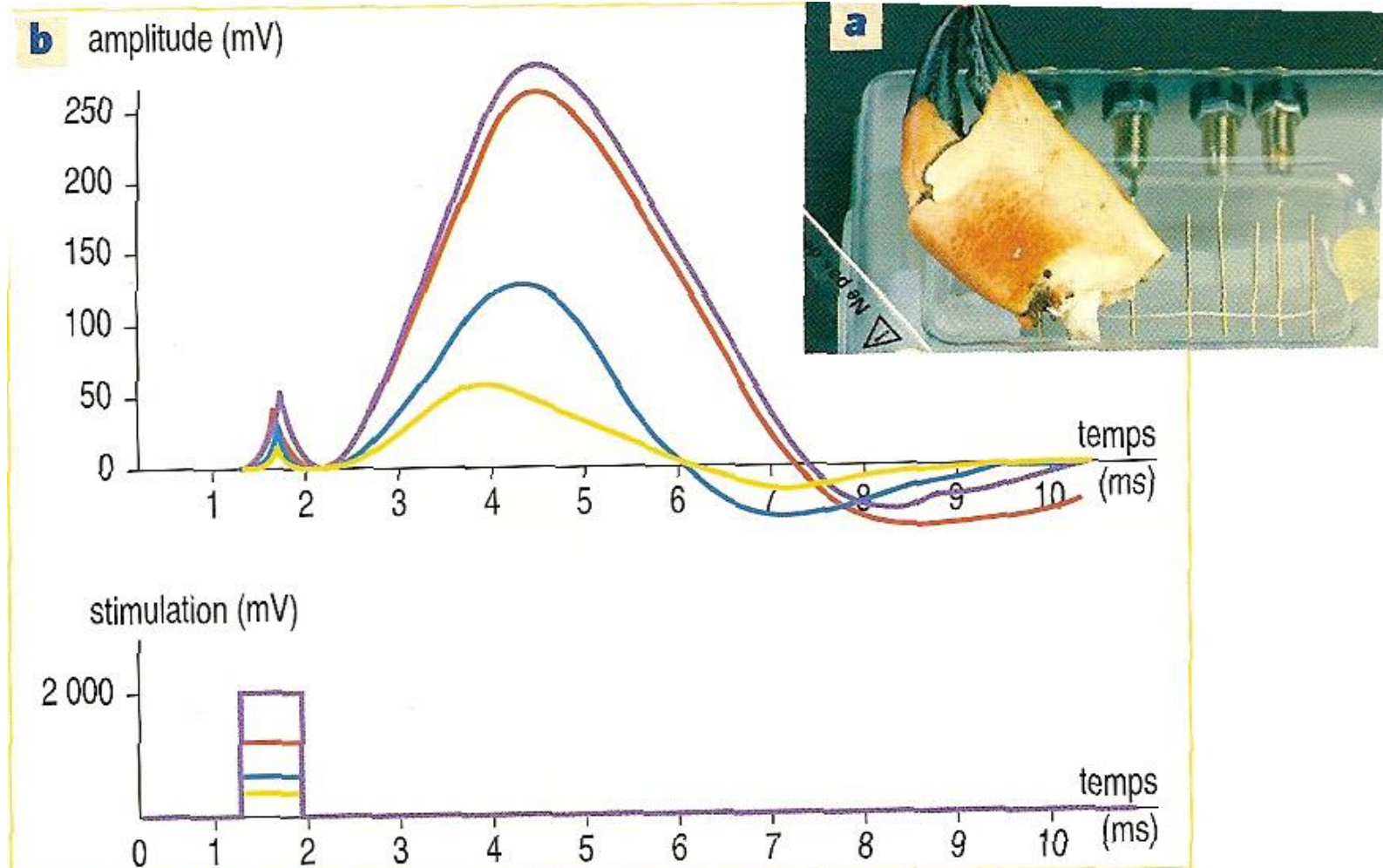


La distinction entre Potentiel d'Action le long d'une fibre nerveuse et Potentiel global enregistré au niveau de la racine dorsale d'un nerf musculaire

Le muscle est soumis à des étirements très brefs, d'intensité croissante de A à H. Ce message global est enregistré au moyen de 2 électrodes posées à la surface de la racine dorsale et reliées à un oscilloscope.

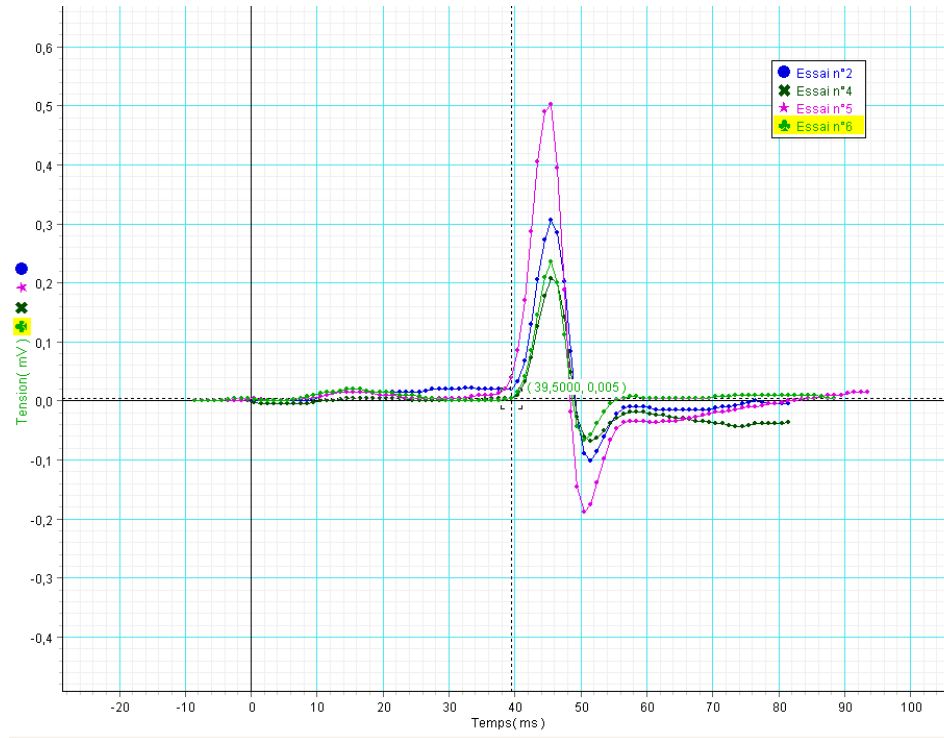


Enregistrement d'un potentiel global de nerf



> Doc. 6 Dispositif expérimental (a) et enregistrements de potentiels de nerf (b).

Retour sur les observations du TP1



👉 Le potentiel enregistré au TP1 avec le montage ExAO était donc un potentiel global et non un potentiel d'action. Ce potentiel global varie en amplitude selon l'intensité de la stimulation contrairement au potentiel d'action qui varie en fréquence!!!!