



Eléments de neurophysiologie cellulaire

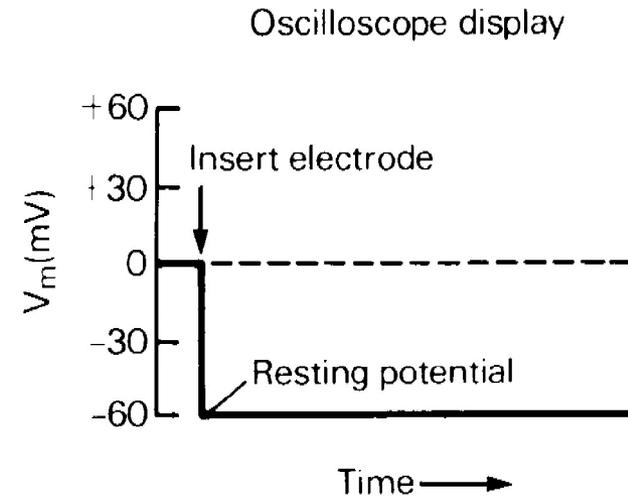
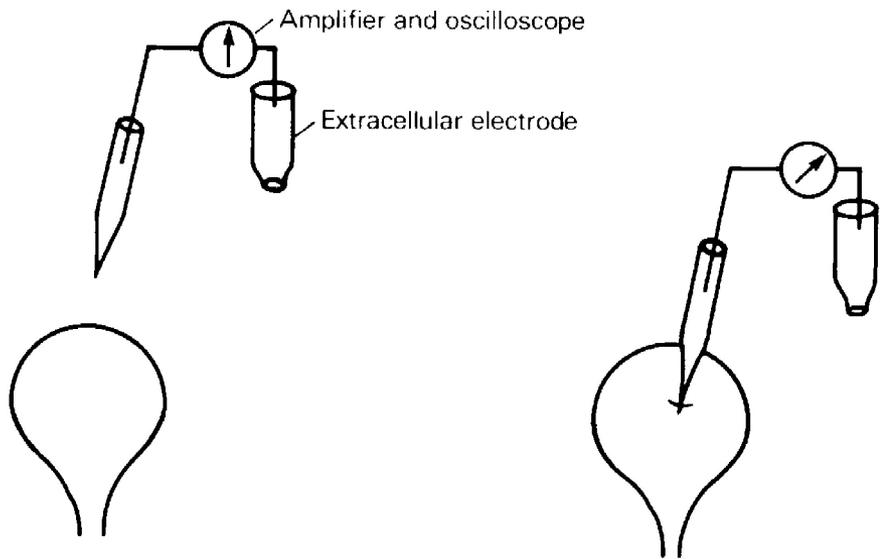
Dr Bernard Pidoux

Laboratoire de Physiologie

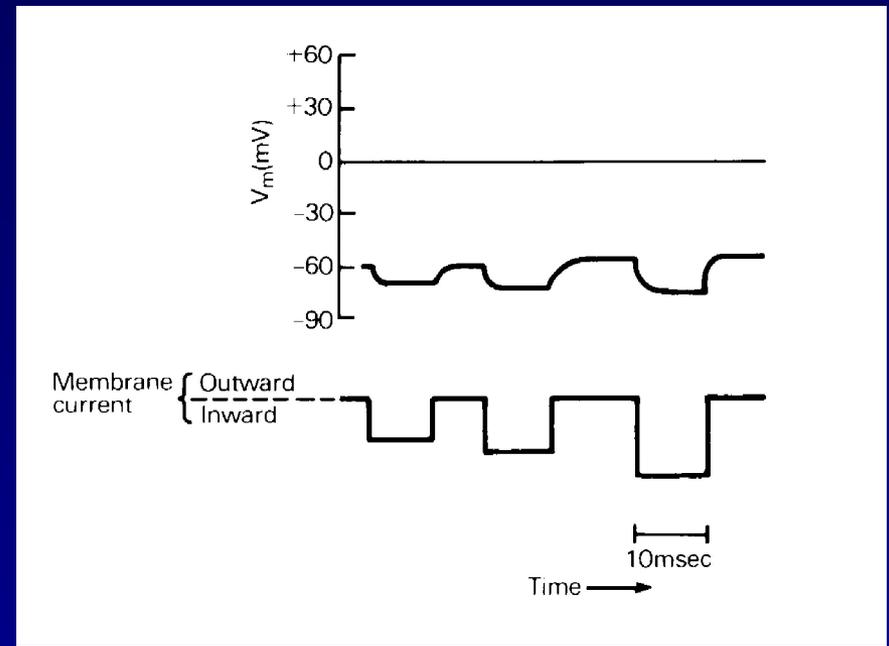
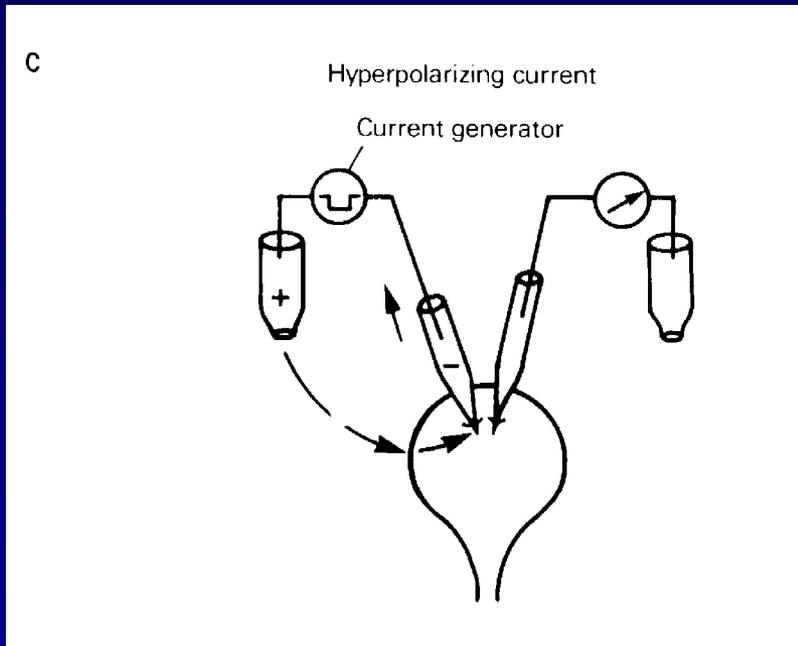
Faculté de Médecine Pierre et Marie Curie

novembre 2005

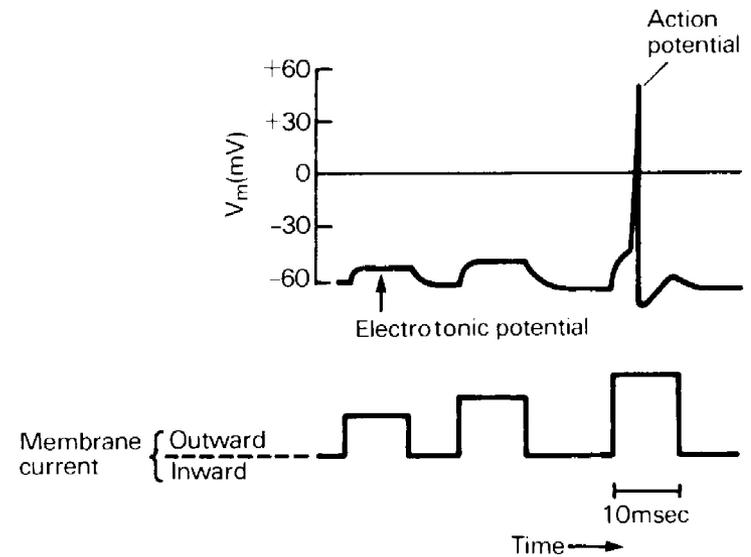
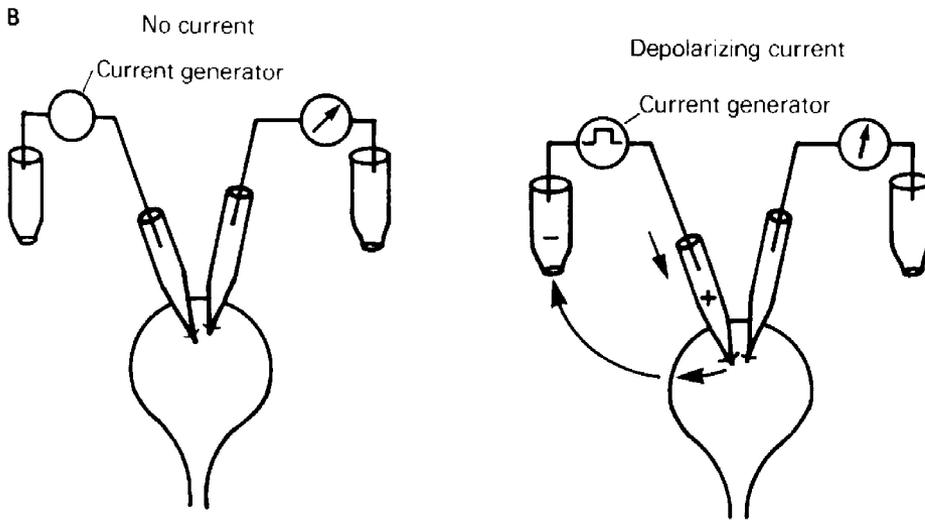
Le potentiel de membrane ou potentiel de repos du neurone



Potentiel de membrane et courant hyperpolarisant



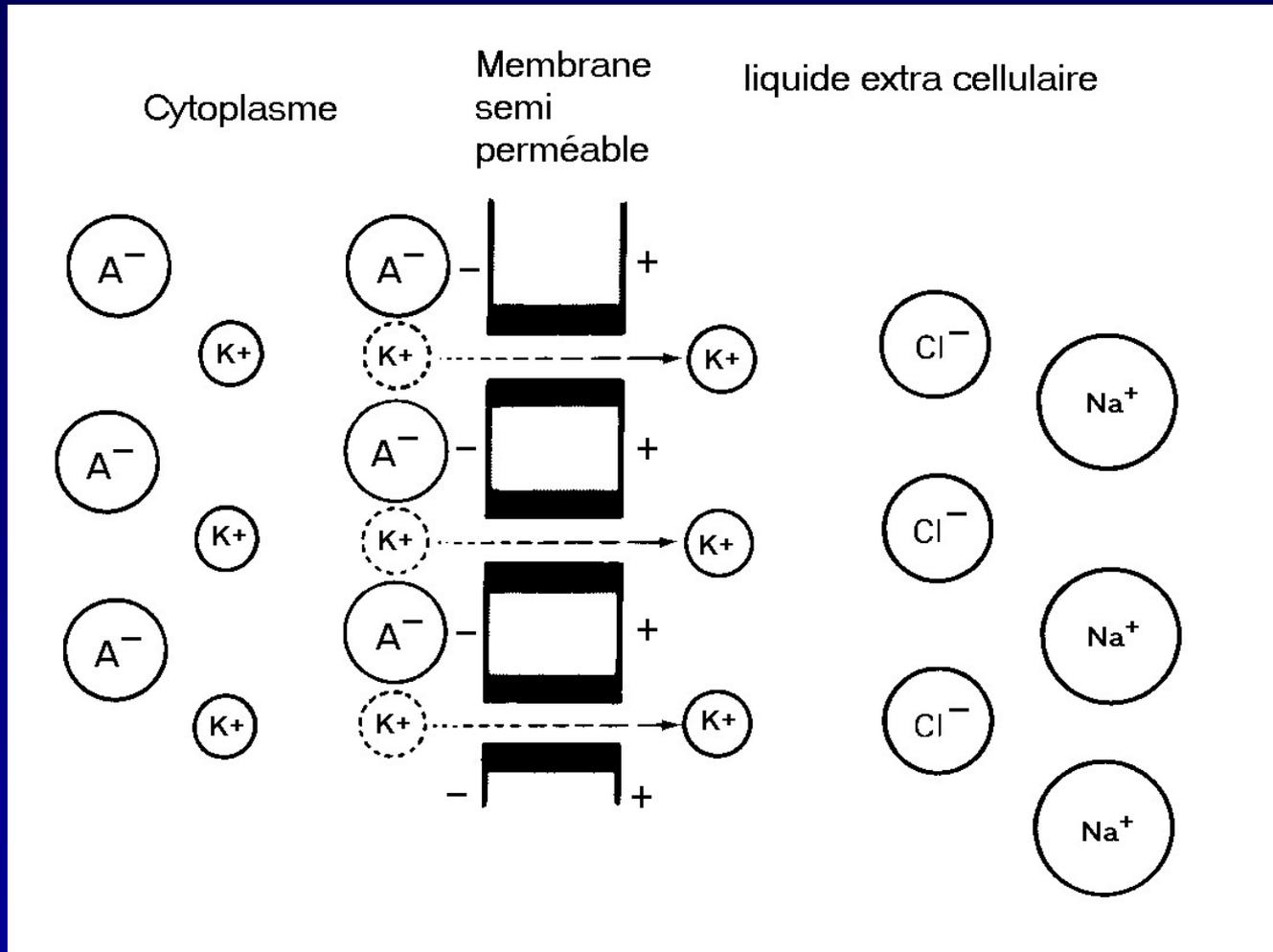
Potentiel de membrane et courant dépolarisant



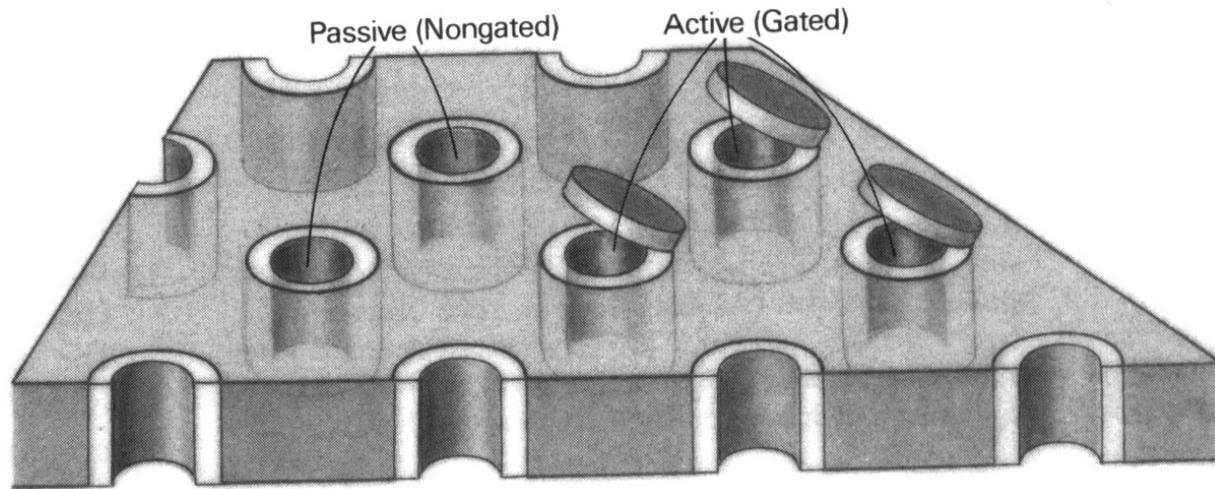
Origine du potentiel de membrane

- proportionnel à la séparation des charges de part et d'autre de la membrane cellulaire neuronale
 - le potentiel de repos est engendré par la différence de distribution des ions
- et la perméabilité sélectivité de la membrane

Inégalité des distributions ioniques



Canaux ioniques passifs et actifs



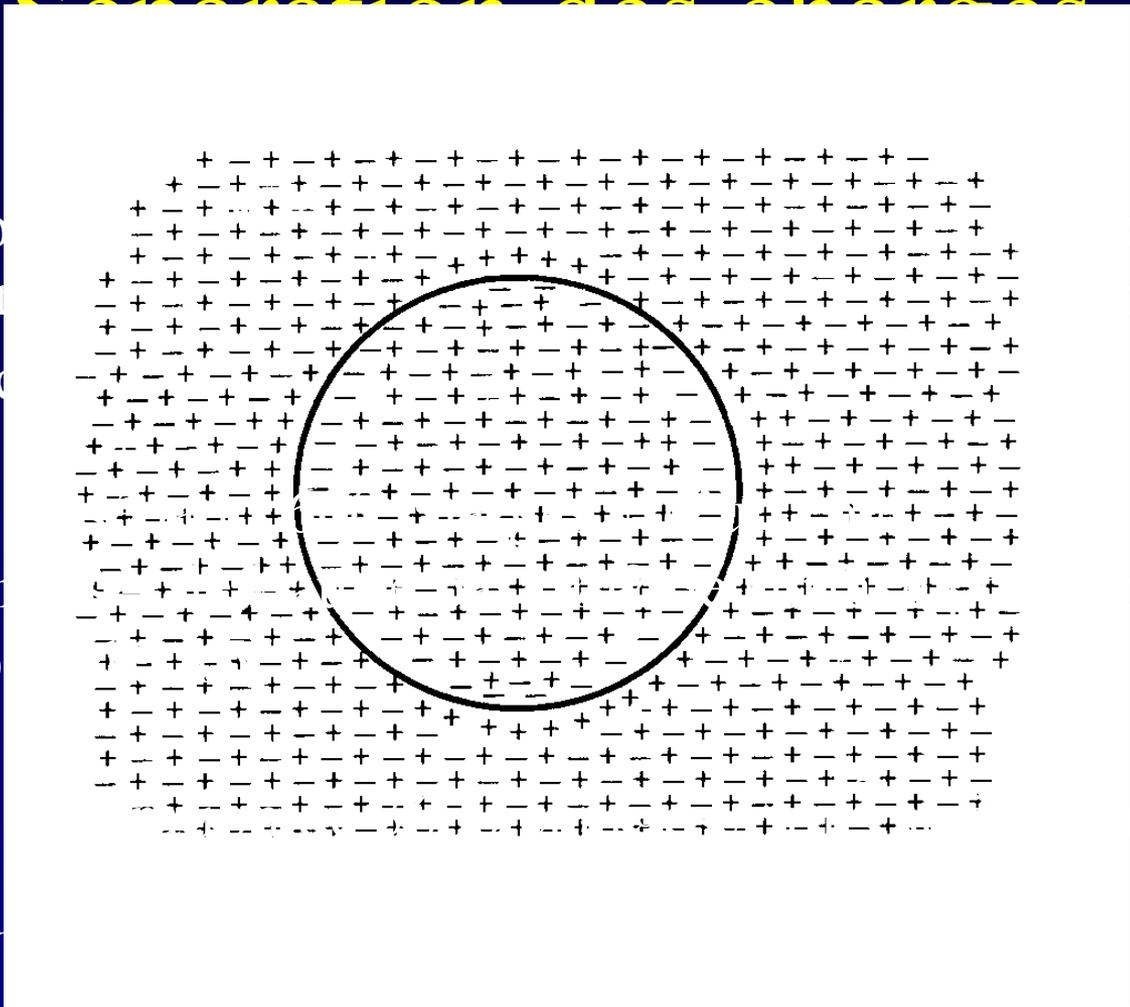
Séparation des charges

- au repos
responsable
de la c

Il suffit
600 charges
une ddp

Donc la
un E_m d

Cela ne représente qu'une infime fraction de la masse des ions cytoplasmiques



charges
intérieur

tenir

maintenir

Gradients de concentration trans membranaire

- Na^+ et Cl^- sont plus concentrés en extra cellulaire
- K^+ et les anions organiques A^- sont plus concentrés dans la cellule

Comment ces gradients ioniques donnent-ils naissance au potentiel de repos ?

Comment sont-ils maintenus ?

Gradients électro chimique

- A la différence des neurones, les cellules gliales n'ont que des canaux perméables sélectivement au K^+
- En dehors de ces canaux la membrane est pratiquement imperméable aux ions

Le gradient de concentration chimique pousse les cations K^+ à sortir de la cellule;

Les forces d'attraction électrostatiques exercées par les Anions A^- limitent de plus en plus cette sortie;

La force due à cette séparation de charge résulte dans une ddp qui augmente jusqu'à équilibrer la force due au gradient de concentration. Pour $E_m = -75 \text{ mV}$ les K^+ sont en équilibre

Equation de Nernst pour le potassium

E_k est le potentiel de membrane auquel K^+ est en équilibre

Equation de Nernst

$$E_k = RT/ZF \ln [K]_e / [K]_i$$

$$RT/ZF = 26 \text{ mV}$$

$$E_k = 26 \text{ mV} \cdot 2,3 \log_{10} 20/400 = - 75 \text{ mV}$$

Le potentiel d'équilibre du Na^+

Dans les cellules nerveuses la membrane est perméable à plusieurs espèces ioniques

Equation de Nernst pour le Na^+

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

$$E_{\text{Na}} = 26 \text{ mV} \cdot 2,3 \log_{10} 440/50 = + 55 \text{ mV}$$

Donc à $E_m = -75 \text{ mV}$ le Na^+ est à 130 mV de E_{Na}

Cette ddp et le gradient de concentration chimique exercent une force qui pousse Na^+ à entrer dans la cellule; mais la perméabilité membranaire au Na^+ est faible donc E_m reste plus proche de E_k

Les flux ioniques transmembranaires

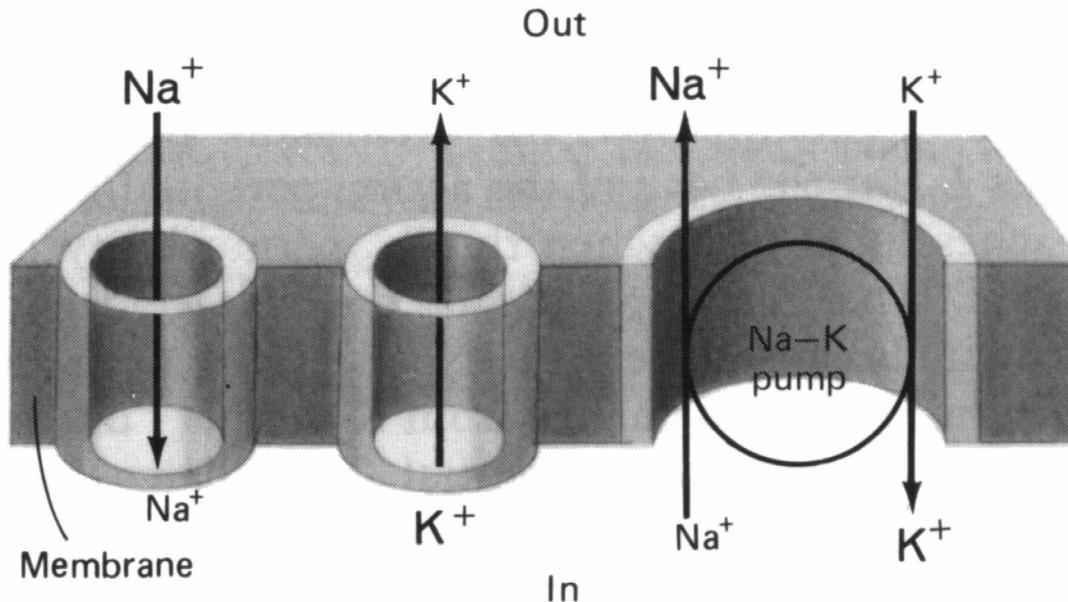
Il en résulte un efflux de K^+ et un flux entrant de Na^+ passifs qui sont équilibrés lorsque $E_m = -60 \text{ mV}$

Ces flux passifs sont contre balancés par l'action de la pompe à Na^+ / K^+

Le Cl^- est distribué par diffusion passive

La pompe à sodium - potassium

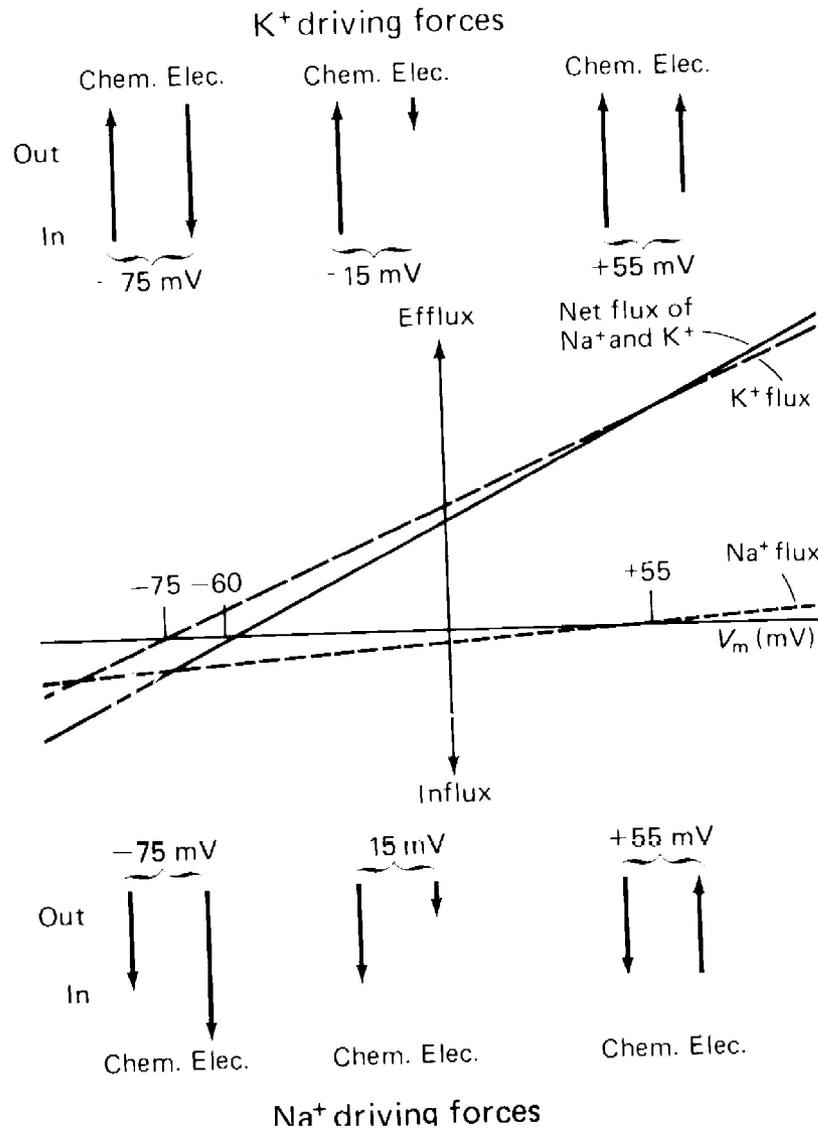
channels are balanced by active transport driven in the opposite direction by the ATP-dependent Na-K pump.



La direction chimique

E_m

Le flux net



de

membranaire

Driving force (DF)		Permeability (P_i)	
Chem.	Elec.	Net DF	Net flux
Out Na^+ <hr/> In Na^+	+++ ↓ ---	↓	$\times P_{\text{Na}} = \downarrow$
Out K^+ <hr/> In K^+	+++ ↑ ---	↑	$\times P_{\text{K}} = \uparrow$
Out Cl^- <hr/> In Cl^-	+++ ↓ ---	↔	$\times P_{\text{Cl}} = \leftrightarrow$

Le potentiel d'Action

Au repos l'entrée de Na^+ est compensée par un efflux de K^+ ; le potentiel E_m reste constant

Le potentiel d'action est engendré par un changement de la perméabilité sélective de la membrane du K^+ vers Na^+

Mécanismes ioniques du potentiel d'action

Il existe des canaux Na^+ dont la perméabilité dépend du potentiel de la membrane

Plus la cellule est dépolarisée, plus ces canaux s'ouvrent, entraînant au seuil une dépolarisation explosive de la membrane par entrée de Na^+

$$E_m \text{ tend vers } E_{\text{Na}}$$

Mécanismes ioniques du potentiel d'action

Après un certain délai, la dépolarisation membranaire provoque l'ouverture de canaux K^+ ddp dépendants.

Efflux de K^+ qui s'ajoute au flux entrant de Na^+

Repolarisation membrane vers $E_{\text{repos}} = E_{\text{membrane}}$, E_r .

Potentiel de repos et d'action peuvent être quantifiés par l'équation de Goldman-Hodgkin-Katz

$$E_m = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K^+]_e / [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_e / [Na^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_i / [Cl^-]_e}{1}$$

P_K , P_{Na} et P_{Cl} : perméabilités ioniques membranaires

Circuit électrique équivalent

Un canal membranaire est caractérisé par sa sélectivité ionique et ses propriétés d'ouverture

Les cellules nerveuses engendrent des signaux en ouvrant et en fermant des canaux ioniques.

Ceci leur permet de contrôler la perméabilité membranaire.

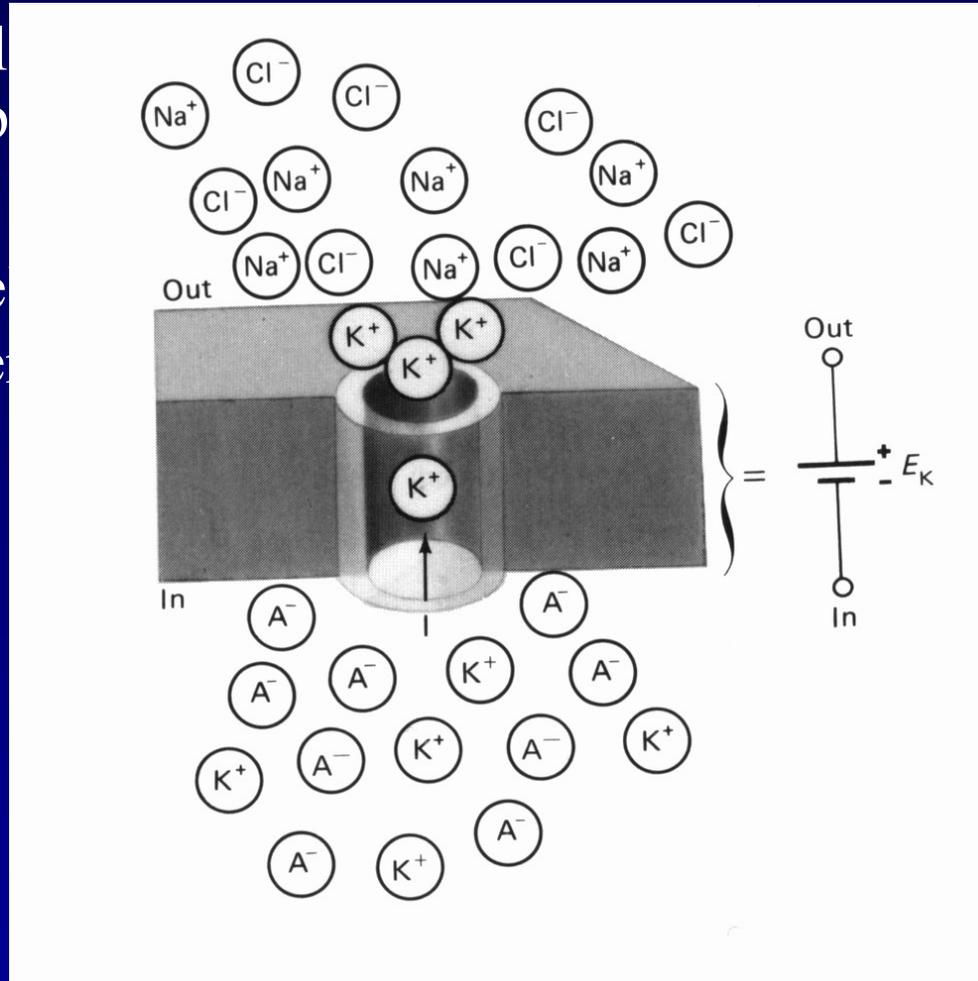
On peut en mesurer les conséquences par le courant ionique et le changement résultant du potentiel de membrane.

Les propriétés passives de la membrane peuvent s'étudier à l'aide d'un modèle de circuit équivalent

Circuit électrique équivalent

Une force él
membrane p

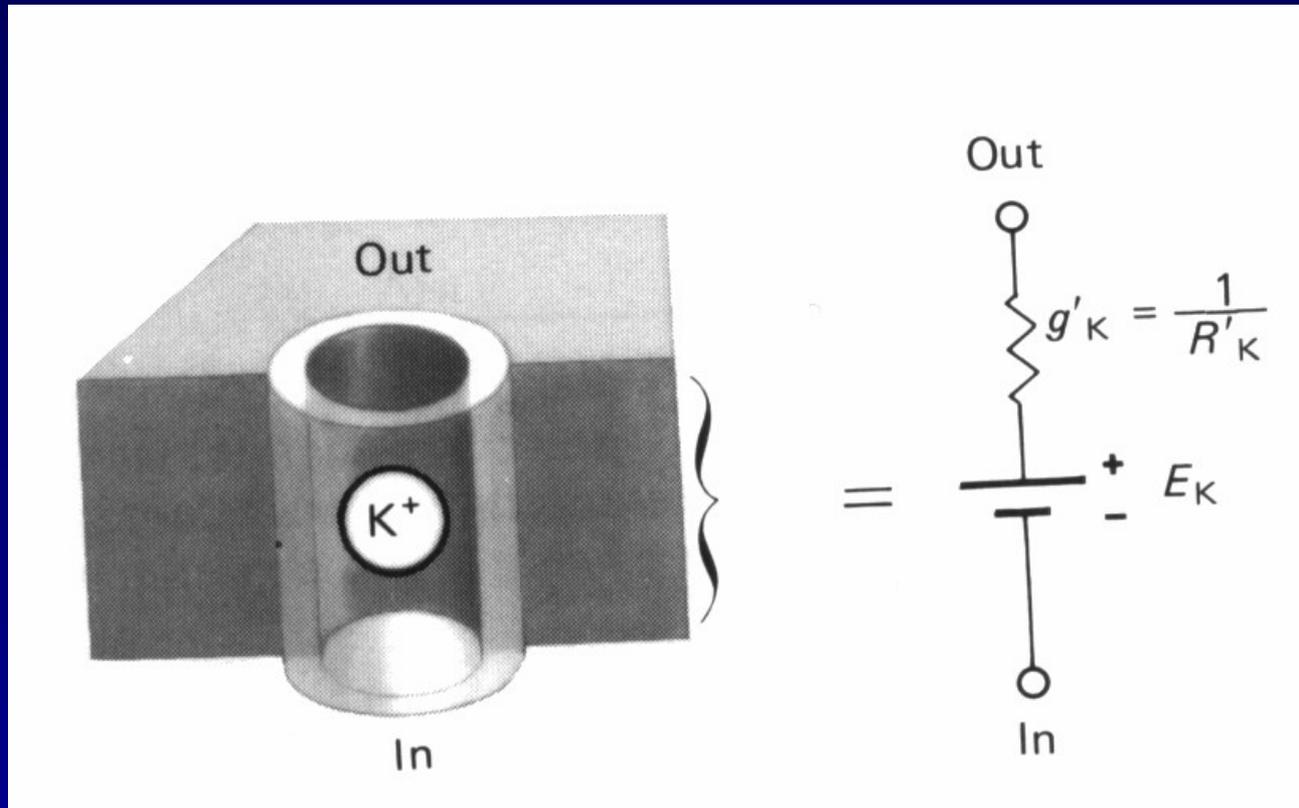
Un canal sé
être représe



de la

nc

Circuit électrique équivalent



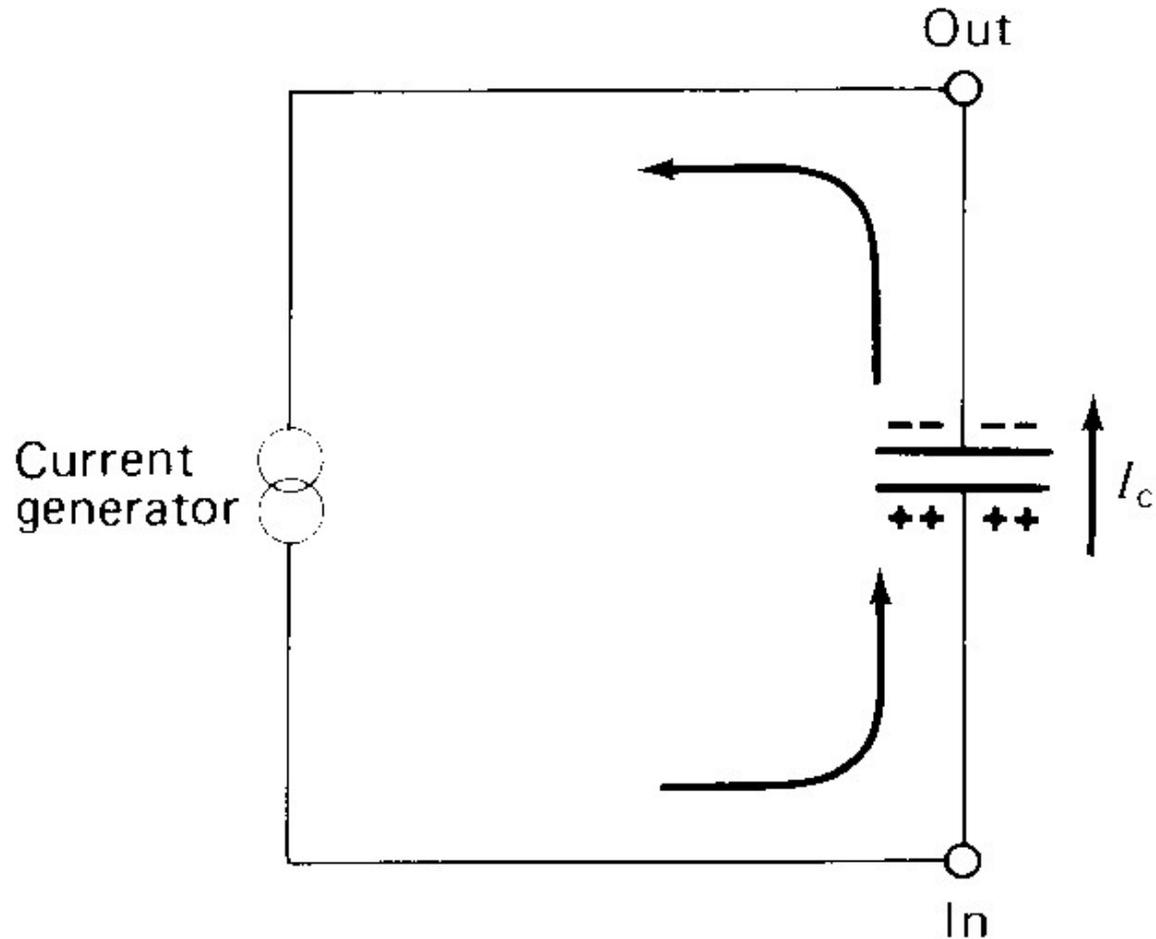
Conséquences des propriétés passives membranaires

La membrane du neurone peut accumuler des charges électriques au niveau des parties non conductrices

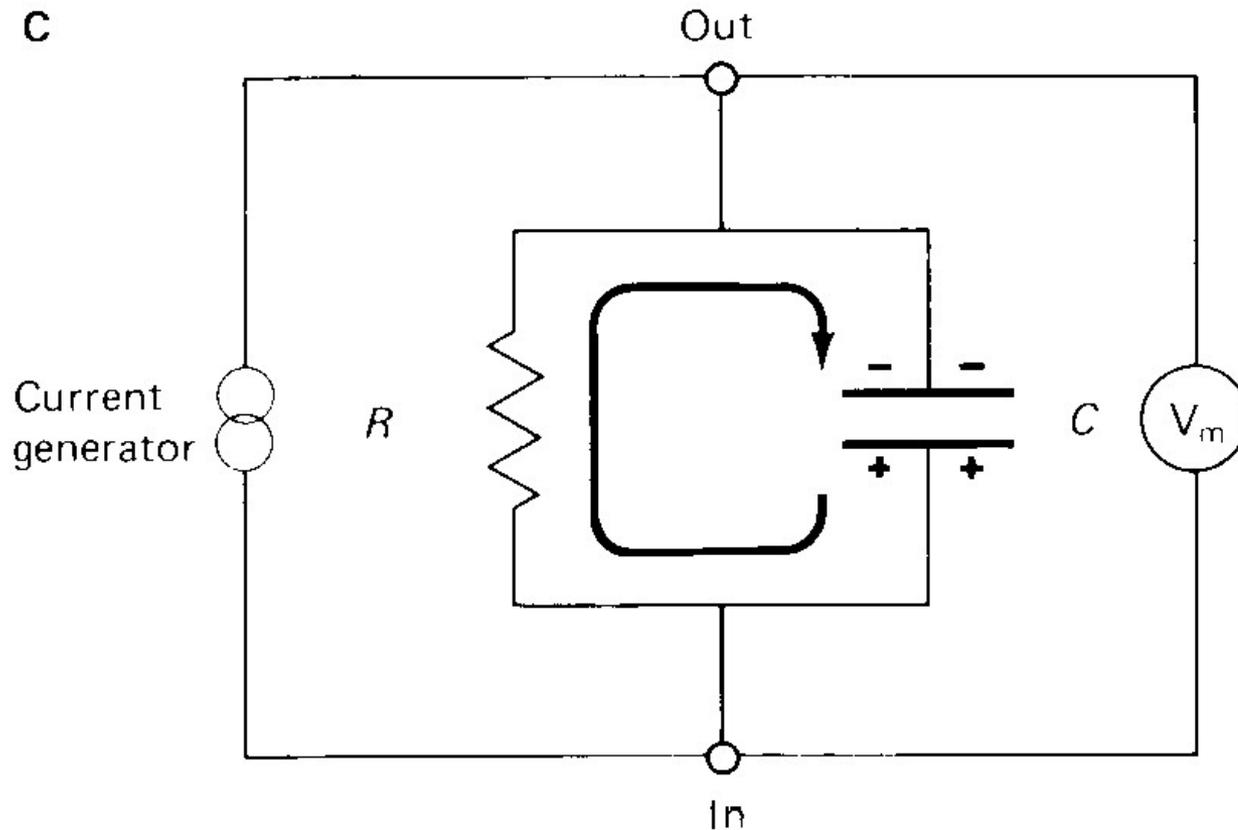
Elle possède donc des propriétés capacitives et va pouvoir accumuler des charges électriques ou les restituer.

Circuit électrique équivalent

B

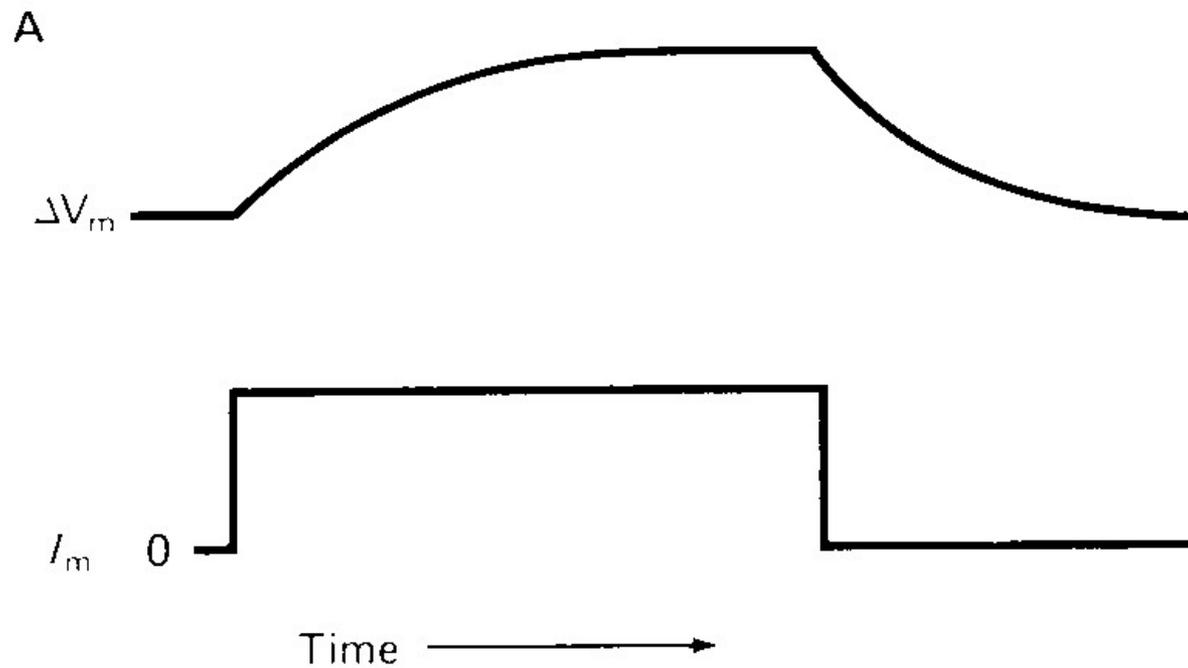


Circuit électrique équivalent



7-3 A. The time course of ΔV_m is slowed by the membrane capacitance. When V_m is changed by current injected

Circuit électrique équivalent

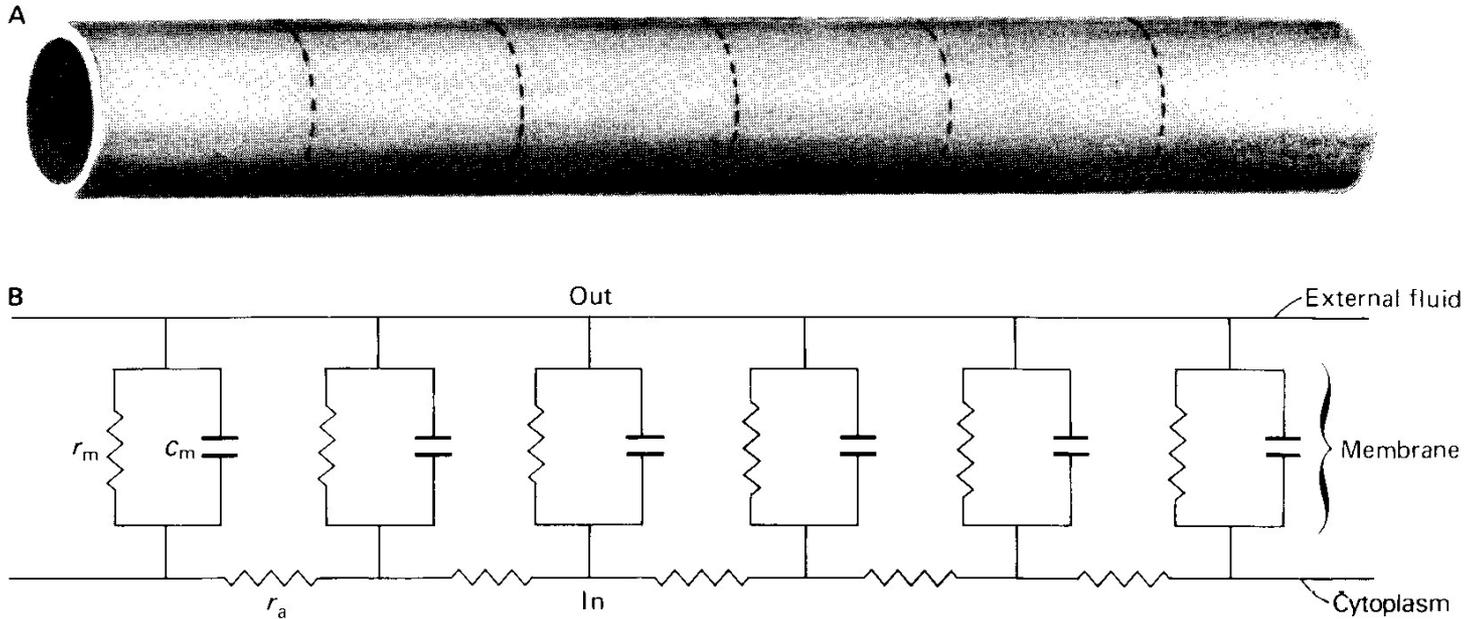


Circuit électrique équivalent

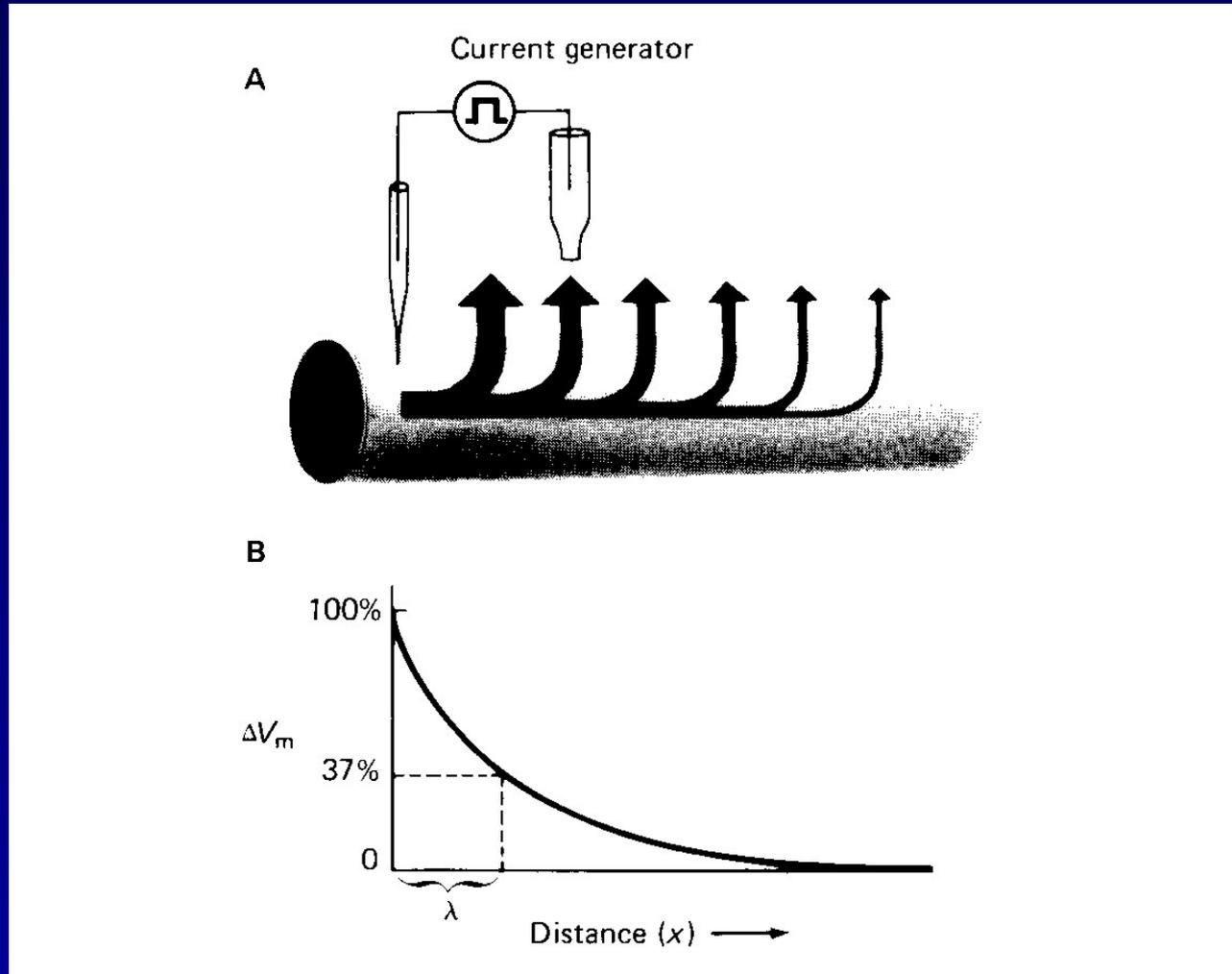
Finalement, le potentiel de repos peut être calculé à partir du circuit équivalent de la membrane en tenant compte du Na^+ et du K^+

$$E_m = [(E_{\text{Na}} \cdot g_{\text{Na}}) + (E_{\text{K}} \cdot g_{\text{K}})] / [g_{\text{Na}} + g_{\text{K}}]$$

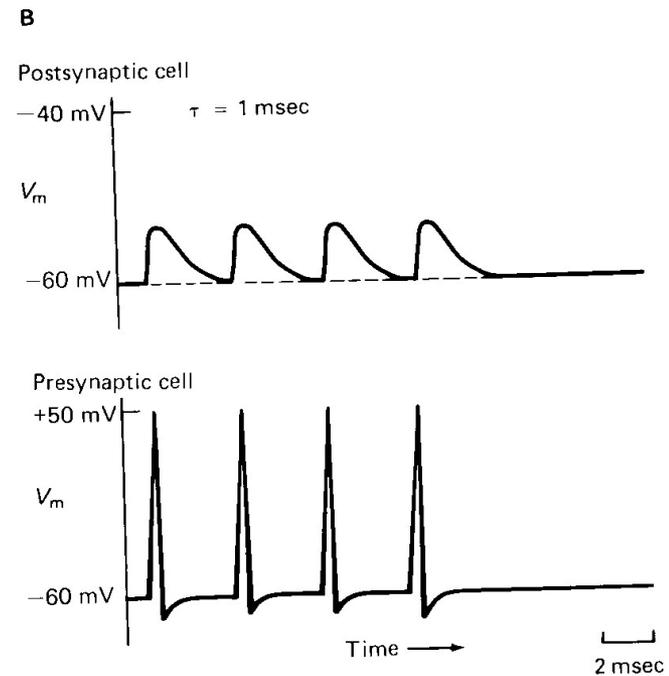
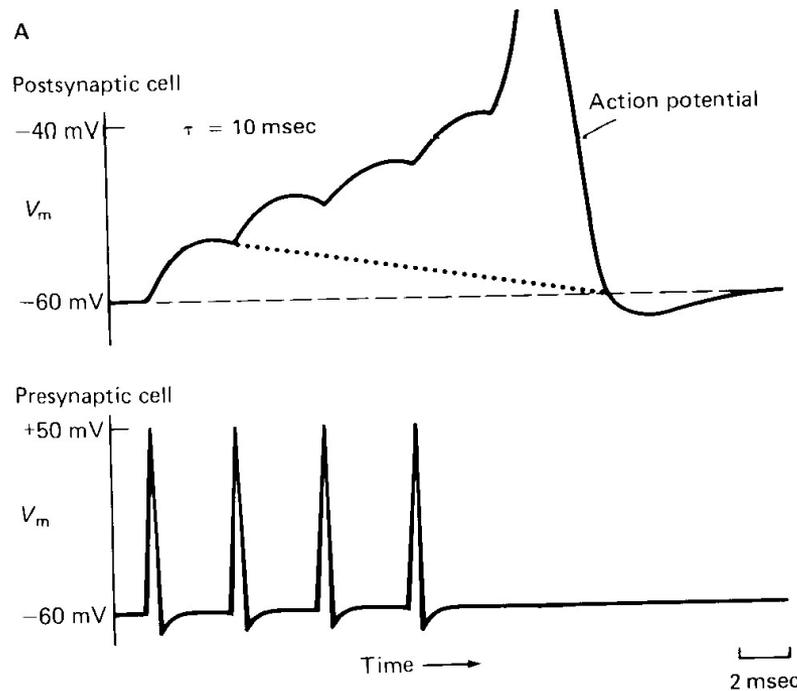
Conséquences des propriétés passives membranaires



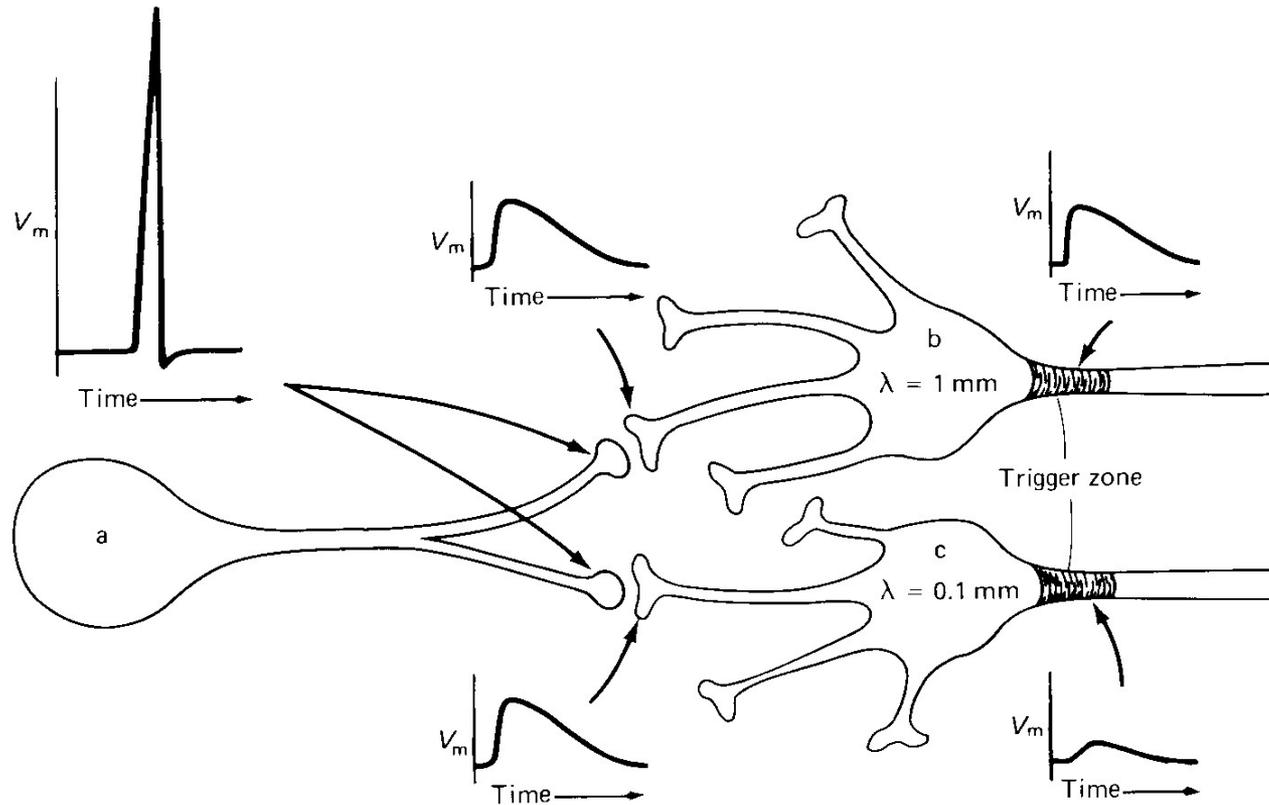
Conséquences des propriétés passives membranaires



Conséquences des propriétés passives membranaires : constante de temps



Conséquences des propriétés passives membranaires : constante d'espace





Laboratoire de Physiologie

Faculté de Médecine Pierre et Marie Curie

Site Pitié-Salpêtrière

<http://www.physio.chups.jussieu.fr>