

I. Molécules ionisées et courants osmotiques

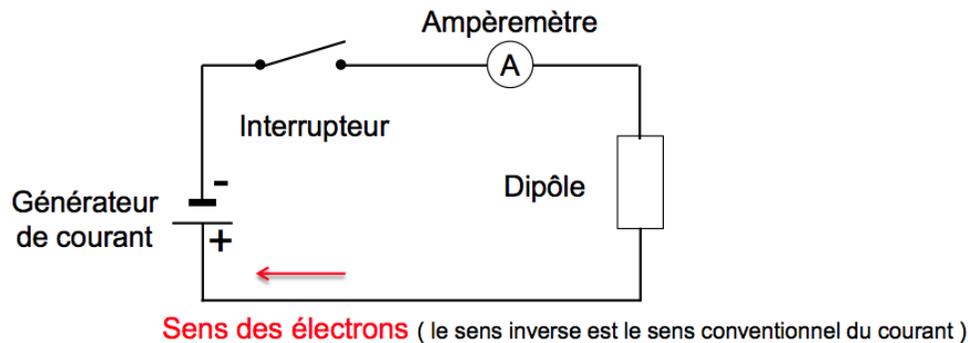
A) Courant électrique et osmotique

Potentiel électrique : potentiel de diffusion d'une molécule chargée dans un champ électrique.

Les mouvements des ions créent des courants osmotiques (non électriques).

Les osmoles chargées vont vers les charges de signe opposé.

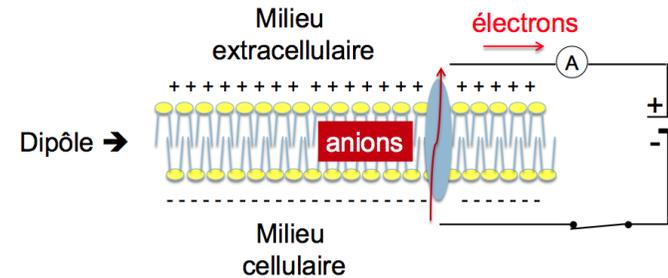
➤ Exemple de circuit



(Galvanomètre : ampèremètre hypersensible)

Dans l'organisme, le dipôle est la membrane plasmique.

On fait circuler un courant électrique qui est relayé par un courant osmotique ionique.



➤ Loi d'Ohm

$$\text{Conductance} = \frac{\text{Intensité}}{\text{différence de potentiel électrique}}$$

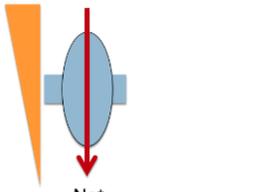
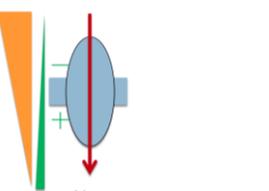
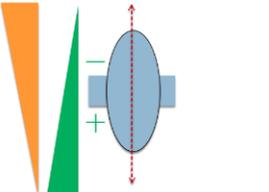
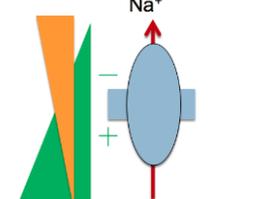
	Courant électrique	Courant ionique
Porteurs de charges	Électrons	Ions (anions et cations)
Potentiel électrique (Volt)	Quantité d'électrons en 1 point du conducteur	Quantité d'ions en 1 point du conducteur (potentiel chimique)
Intensité (Ampère)	Quantité de charges passant en 1 point d'un conducteur par unité de temps	
Conductance (Siemen)	Facilité de mobiliser une charge dans un conducteur	
Nature de la conductance	Câble métallique	Membrane plasmique et transporteur moléculaire

B) Potentiel chimique et électrique

➤ Relation de Nernst

Le potentiel chimique équilibre le potentiel électrique d'une osmole électriquement chargée en solution.

Potentiel chimique + potentiel électrique = 0

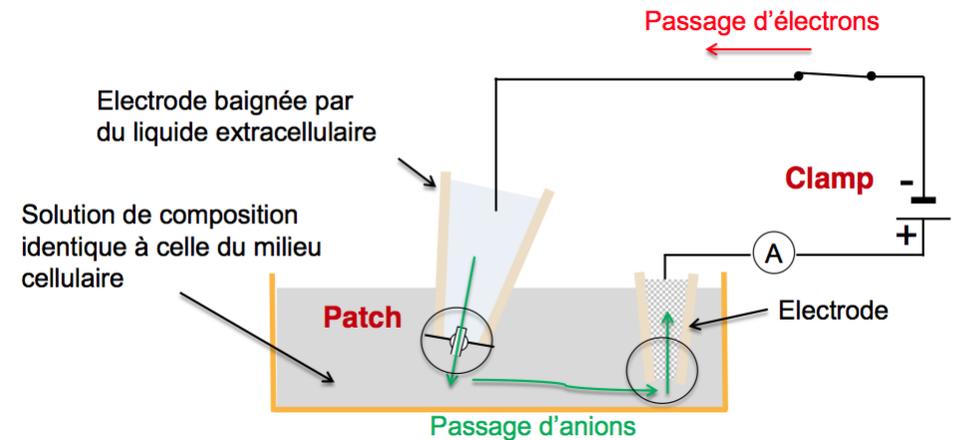
	<p>Potentiel chimique Pas de potentiel électrique</p>
	<p>Potentiel chimique Faible potentiel électrique Diminution du flux du Na+</p>
	<p>Potentiel chimique Fort potentiel électrique Potentiel électrique = potentiel chimique Entrée de Na+ = sortie de Na+ Equilibre</p>
	<p>Potentiel chimique Potentiel électrique plus fort Inversion du sens de passage du Na+</p>

II. Conductance membranaire

A) Patch clamp

Le patch clamp est utilisé dans l'étude des conductances membranaires.

➤ Montage électrique expérimental :



Patch : fixation d'un fragment membrane plasmique à l'extrémité d'une pipette (côté intracellulaire dans le bain)

Clamp : différence de potentiel électrique fixée par le générateur

On utilise la loi d'Ohm :

$$\text{conductance} = \frac{\text{intensité}}{\text{ddp électrique}}$$

↓
↑
↓

calculée mesurée par l'ampèremètre clampée

Les protéines transmembranaires permettent la diffusion facilitée des osmoles chargées.

Si la conductance est faible alors que la ddp forte :

- Absence de protéine transmembranaire
- OU conformation fermée

Donc le patch clamp révèle les propriétés physiques des protéines transmembranaires en conformation ouverte.

B) Exemple

Canal Na⁺ :

On prélève la membrane d'une cellule épithéliale et on calcule la conductance avec la loi d'Ohm :

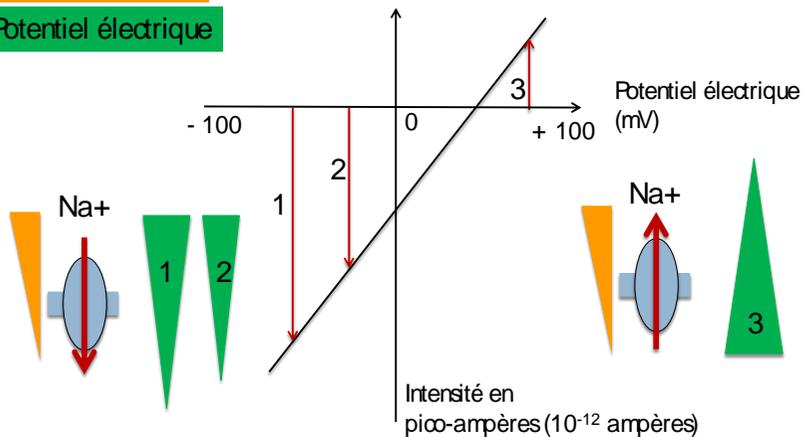
$$\frac{\text{Intensité}}{\text{ddp électrique}} = \text{Conductance} = 4 \text{ à } 5 \text{ pS}$$

- Relation intensité-voltage :

Ici, on ne clamp pas donc le potentiel électrique peut varier.

Potentiel chimique

Potentiel électrique



En 1 : le potentiel chimique est dans le même sens que le potentiel électrique qui est fort, on mesure une grande intensité.

En 2 : le potentiel électrique est plus faible mais toujours dans le même sens que le potentiel chimique, on freine un peu le passage du Na⁺. L'intensité est donc plus faible.

En 3 : le potentiel électrique est plus fort que le potentiel chimique et dans le sens opposé, on inverse le sens du passage du Na⁺. L'intensité dépend donc des 2 potentiels.

- Spécificité ionique :

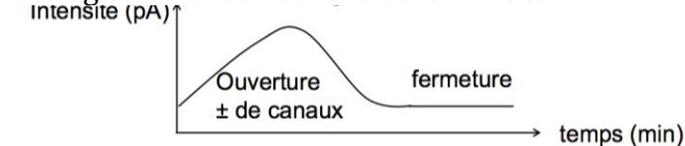
Pour avoir une continuité entre courant électrique et courant osmotique, il faut qu'il y ait une correspondance entre les ions présents dans la solution et les canaux de la membrane. Les canaux sont spécifiques de certains ions.

- Ouverture du canal Na⁺

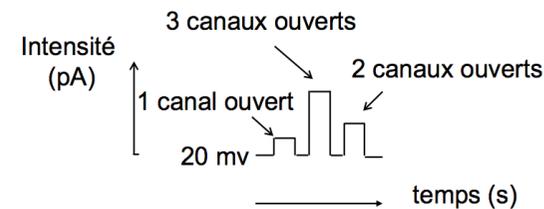
On enregistre le temps d'ouverture des canaux.

L'intensité est proportionnelle au nombre de canaux ouverts.

Enregistrement à l'échelle de la minute :



Enregistrement à l'échelle de la seconde :



- Durée et probabilité d'ouverture :

$$\text{Pr obabilité d' ouverture} = \frac{\text{Temps d' ouverture}}{\text{Durée d' enregistrement}}$$

- Les canaux diffèrent par :

- La forme de la relation intensité-voltage (linéaire ou non)
- La probabilité d'ouverture
- Le temps d'ouverture
- La sélectivité ionique
- La conductance (facilité avec laquelle les ions traversent le canal)

Canaux Na⁺ impliqués dans la diurèse et dans la régulation de la pression artérielle.

Canaux cationiques non sélectifs : capteurs de la pression mécanique ou de la température

Canaux Na⁺ et K⁺ : déterminants du rythme cardiaque (cibles des mdc anti-arythmiques)

III. Potentiel chimique transmembranaire

A) Électroneutralité des liquides biologiques

Il y a une asymétrie de concentration entre plasma et liquide interstitiel mais le bilan des charges est nul de part et d'autre de la membrane cellulaire

Différence de potentiel électrique	Côté interne de la membrane chargé -	Côté externe de la membrane chargé +
Na ⁺	10 mmol/L	144 mmol/L
K ⁺	160 mmol/L	4 mmol/L
Cl ⁻	6 mmol/L	114 mmol/L
Cations	212 meq/L	153 meq/L
Anions	212 meq/L	153 meq/L
Bilan de charges	nul	nul

Pour l'électrophysiologie le bilan des charges n'est pas nul !

Ddp = 100 mV quand 1 ion sur 10⁵ est réparti de manière asymétrique
Donc le bilan des charges est nul quand on parle d'osmolarité (autant de cations que d'anions dans chaque milieu) mais pas quand on parle au niveau de l'électrophysiologie.

→ Les transferts de charges sont quantitativement négligeables mais qualitativement importants !

Les phénomènes électriques peuvent varier énormément en intensité sans compromettre l'équilibre osmotique des cellules. Les pressions osmotiques ne sont pas contrariées par les propriétés électriques des membranes.

B) Mouvements de charges

- Relation de Nernst :

Potentiel chimique + potentiel électrique = 0

A l'équilibre, l'ion entre autant qu'il sort. Le potentiel électrique est proportionnel au rapport de concentration entre un ion intra et extra cellulaire.

$$\text{Potentiel électrique à l'équilibre} = -\frac{RT}{zF} \ln \left[\frac{[\text{ion}_{\text{intracellulaire}}]}{[\text{ion}_{\text{extracellulaire}}]} \right]$$

$$\text{à } 37^\circ\text{C} \Rightarrow -60 \text{ mV} \log \left[\frac{[\text{ion}_{\text{intracellulaire}}] \text{ mol/kg}}{[\text{ion}_{\text{extracellulaire}}] \text{ mol/kg}} \right]$$

Conséquences de la relation de Nernst :

- Permet de calculer le potentiel électrique membranaire en connaissant les concentrations ioniques de part et d'autre de la membrane
- Chaque valeur est calculée pour un ion seul
- Si valeur calculée > valeur mesurée → canal ionique peu perméable ou peu ouvert
- Canal ouvert → potentiel mesuré quasiment égal au potentiel d'équilibre de l'ion

Grâce à l'ouverture et à la fermeture des canaux, le potentiel de la cellule peut varier de 150 mV.

Plus la valeur mesurée se rapproche de la valeur calculée, plus le nombre de canaux ouverts est important (plus l'osmole se rapproche de l'équilibre).

Une cellule au repos possède quasiment tous ses canaux Cl⁻ et K⁺ ouverts et ses canaux Na⁺ très peu ouverts.

C) Polarisation membranaire électrique

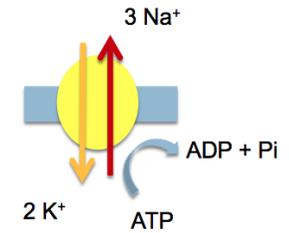
- Pompe à sodium

Transport actif (hydrolyse de l'ATP)

La pompe à sodium fait sortir 3 ions Na⁺ de la cellule et entrer 2 ions K⁺. Malgré cette asymétrie de répartition des cations, il n'y a pas de ddp

créé car la répartition de Cl⁻ équilibre les charges donc l'électroneutralité est conservée.

Ce couplage est nécessaire mais non suffisant pour expliquer la différence de potentiel électrique transmembranaire.

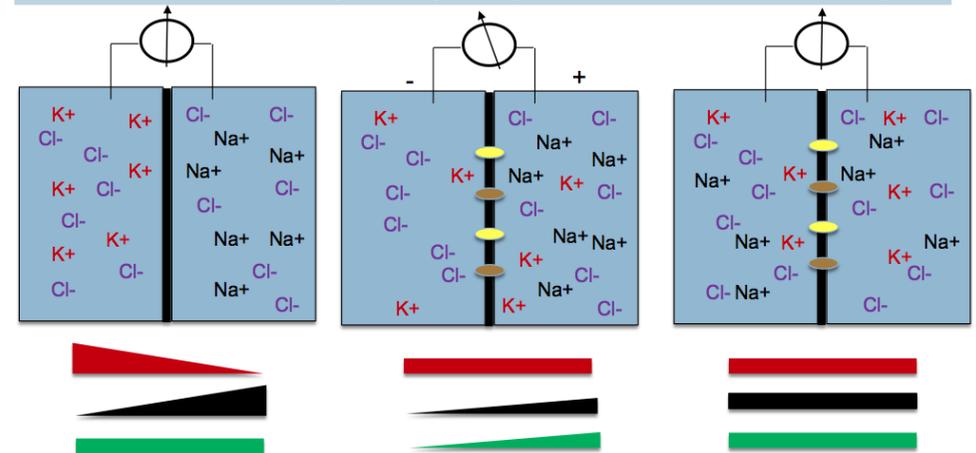


- Différence de perméabilité

La perméabilité des canaux potassiques est plus forte que celle des canaux sodiques.

La différence de perméabilité est responsable de la différence de potentiel électrique transmembranaire.

Perméabilité des canaux potassiques > perméabilité des canaux sodiques



La pompe sodique est nécessaire car si elle n'était pas présente les ions finiraient par trouver leur équilibre.

Le transport actif du Na⁺ et du K⁺ par la pompe Na/K ATPase explique que cette différence de potentiel électrique persiste.

IV. Les transporteurs moléculaires

A) Les différentes sortes de transporteurs

- Canaux
- Transporteurs couplés : échangeurs, co-transporteurs
- Pompes (consomment de l'ATP) : transport simple ou couplé

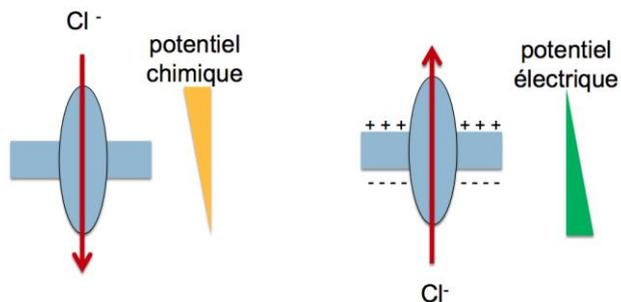
La Na/K ATPase est ubiquitaire (sur toutes les membranes)

B) Les différents modes de transport

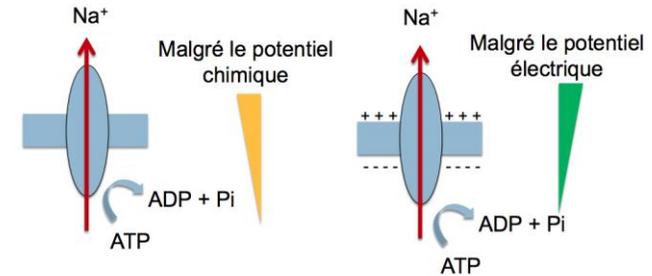
Passage lié à la différence de potentiel chimique : diffusion (simple si pas de transporteur moléculaire ou facilitée si présence de transporteurs moléculaires)

Passage du à l'hydrolyse de l'ATP : transport actif ou secondairement actif

- Transport passif : lié à la différence de potentiel chimique ou électrique



- Transport actif : lié à l'hydrolyse de l'ATP (les potentiels ne sont pas pris en compte)



- Transport secondairement actif

Exemple : le transport actif du Na^+ entraîne un transport de potassium et de chlore selon leur potentiel électrique respectif.

