



Potentiel électrique

Tut' Rentrée 2021-2022



Oskour feat Claralcalose (Le cochon et la dame avec la pagaie)

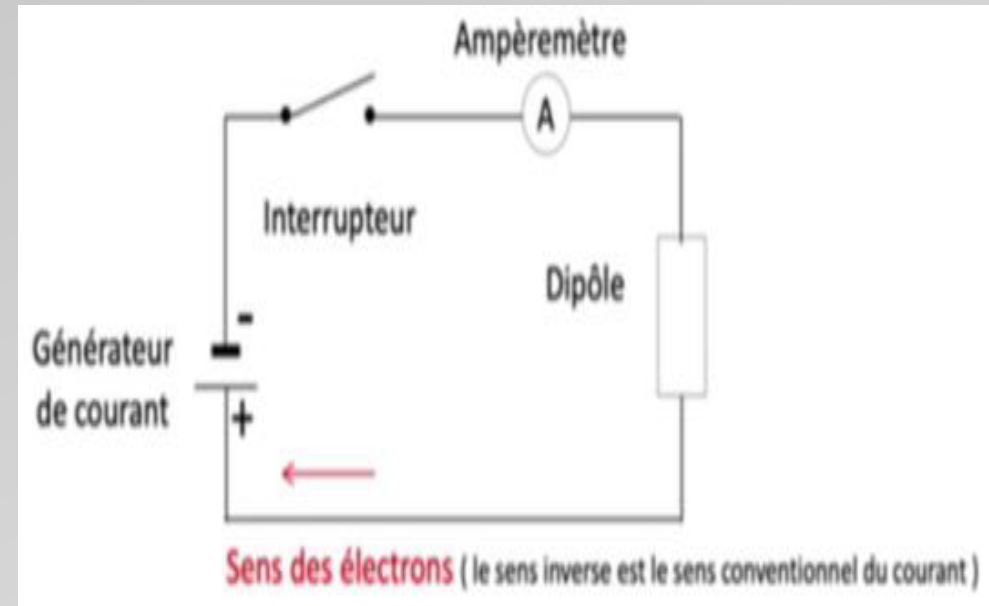




I- Potentiel électrique

A- Courants électriques et osmotiques

- Un générateur
- Un dipôle
- Un ampèremètre



En physio : ~~ampèremètre~~ → galvanomètre

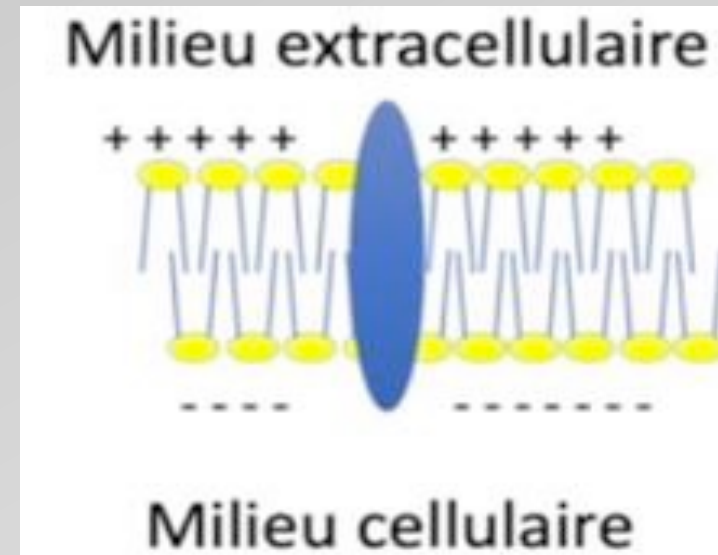




I- Potentiel électrique

A- Courants électriques et osmotiques

- Membrane plasmique = dipôle
- + en extra
- - en intra

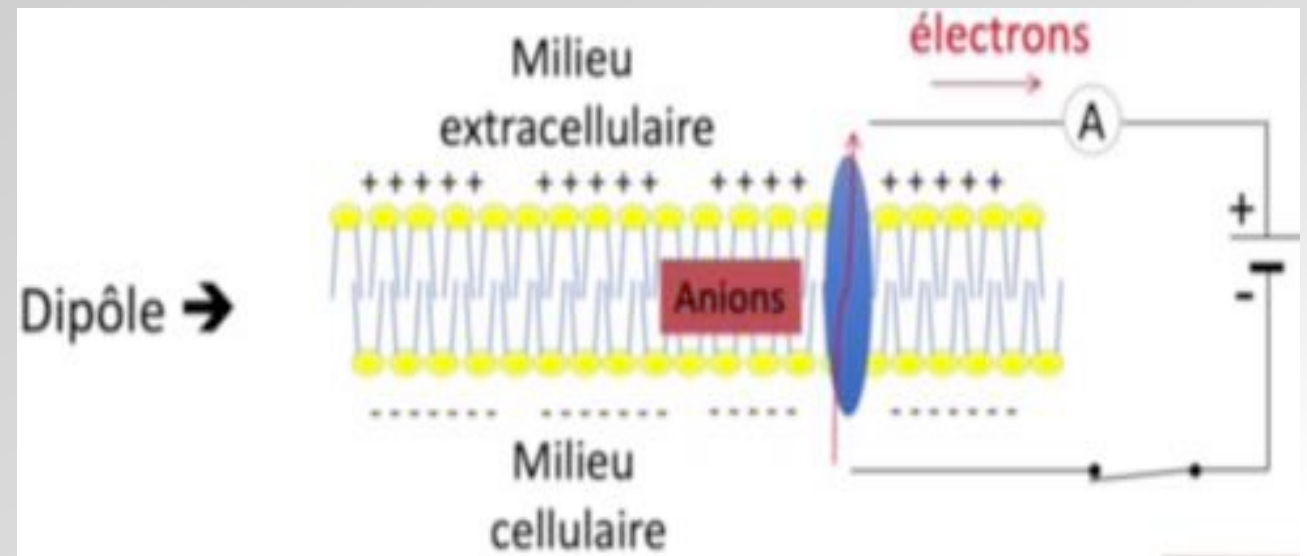


I- Potentiel électrique

A- Courants électriques et osmotiques



- Générateur externe
- Dipôle = membrane plasmique
- Galvanomètre pour collecter les données



I- Potentiel électrique

B- Quelques propriétés



- Le potentiel électrique d'une molécule est **proportionnel** à :
 - Sa **charge**
 - Sa **mobilité** dans le dipôle
 - L'**intensité** du champ électrique
- Le champ électrique est **homogène** dans la membrane plasmique.
- Une **osmole électriquement chargée** va vers l'endroit où les charges de signes **opposées** prédominent.
- Comme tout système électrique, on peut appliquer la loi d'**Ohm** :

$$\frac{\text{Intensité}}{\text{Potentiel électrique}} = \text{Conductance}$$

I- Potentiel électrique

Le récap de def'

	Courant électrique	Courant osmotique
Porteurs de charges	Electrons	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

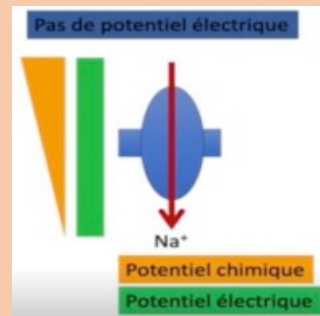


I- Potentiel électrique

C- Application et relation de Nernst

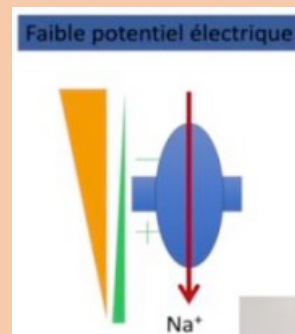
- Nobel 1920 : Potentiel électrique + potentiel chimique = 0

1) PE = 0



- La membrane plasmique possède une protéine **transmembranaire** qui transporte du sodium (Na^+) de haut en bas.
- Le potentiel électrique **nul** (rectangle).
- Le potentiel chimique **dicte** le transfert de haut en bas.

2) PE \neq 0 mais faible

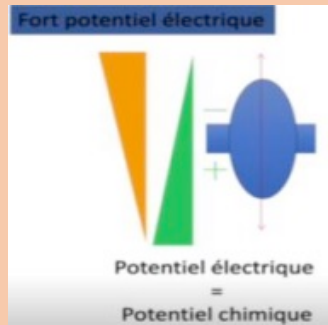


- On exerce un potentiel électrique à l'aide d'un **circuit extérieur**.
- On décide de mettre des charges **négligables** en haut et **positives** en bas.
- On va **contrarier** le flux de sodium puisque les charges positives (en bas) vont repousser les cations (+).

I- Potentiel électrique

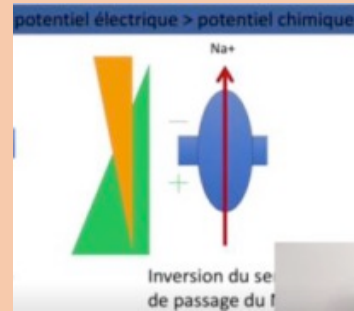
C- Application et relation de Nernst

1) PE moyen



- On exerce un potentiel électrique encore plus fort, on va finir par **équilibrer le potentiel chimique** du sodium (= il y aura autant d'ions sodium qui vont passer de haut en bas que de bas en haut).

2) PE fort



- On peut même parvenir à **inverser** complètement le flux de sodium, c'est-à-dire le faire progresser en sens inverse de son potentiel chimique !



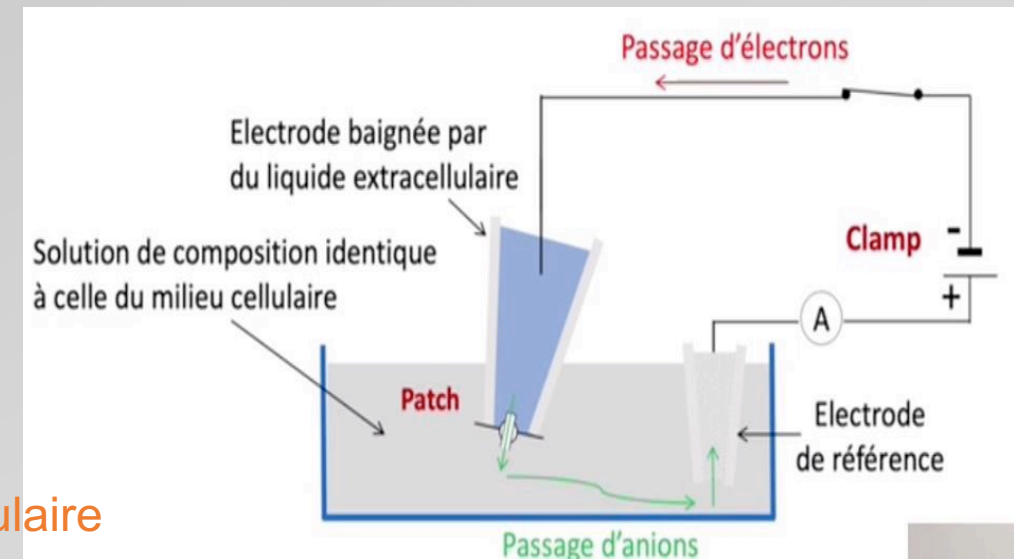
Les 2 potentiels **s'équilibrent** et se complètent. Si l'un est plus fort que l'autre, on va créer un flux de charges et donc d'ions, le plus souvent de Na^+ . Et on peut mesurer tout ça avec des montages qu'on va voir de suite !

II- Canaux ioniques

A- Le patch-clamp

- **Canaux ioniques** : Éléments transmembranaires permettant le passage d'osmoles à travers la membrane.

- Un **bain** = milieu **cellulaire**
- Une **membrane**
- De l'autre côté de la membrane : le **liquide extracellulaire**
- **Electrode de référence**



II- Canaux ioniques

A- Le patch-clamp

- Le **Clamp** désigne la manière de **définir** le voltage
- L'Intensité se mesure avec un galvanomètre
- La **conductance** se **calcule** en fonction de l'intensité pour un potentiel (loi d'Ohm)



Ah oui le 7eme PCR
pique Tom

Diagram illustrating the relationship between measured and calculated conductance:

$$\frac{\text{Mesurée}}{\text{Voltage}} = \text{Calculée}$$

Clampé = imposé

II- Canaux ioniques

A- Le patch-clamp

- Le patch-clamp a permis de découvrir que la conductance n'est pas uniforme selon les membranes, cellules, feuilletts etc... Il existe des protéines qui aident certaines osmoles mais pas d'autres !
- Or d'après la loi d'Ohm, une intensité faible en présence d'un voltage fort révèle une faible conductance, c'est-à-dire :
 - Soit l'absence de molécules facilitant le transport
 - Soit la conformation fermée de ces molécules dans nos conditions



II- Canaux ioniques

Le récap

- C'est un circuit assez simple doté d'un générateur externe,
- En utilisant la loi d'Ohm on calcule la conductance des membranes cellulaires,

Le patch-clamp permet en fait d'étudier les propriétés physiques des molécules transmembranaires qui sont à l'origine de la diffusion facilitée.



Rare selfie
d'un P1 après
18h d'histo

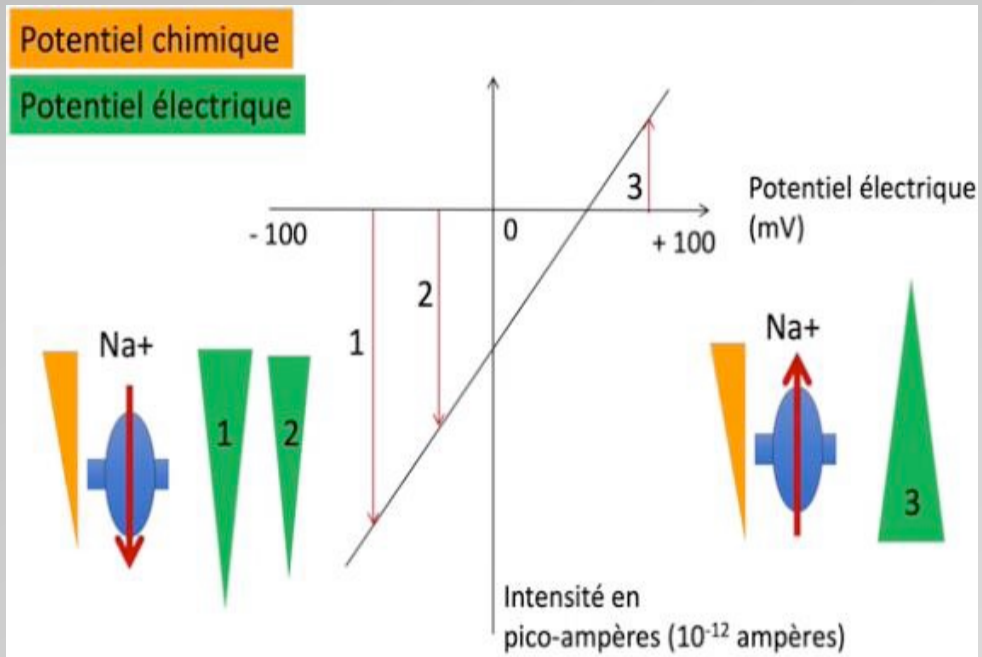
II- Canaux ioniques

B- Propriétés électriques du canal sodique épithélial (ENaC)

1. La valeur de **conductance** (en picosiemens (pS)).

$$\frac{\text{Intensité}}{\text{Voltage}} = \text{Conductance} = 4 \text{ pS}.$$

2. La **relation intensité-voltage** : en faisant varier le potentiel électrique (voltage), on va modifier l'intensité électrique.



- -100 mV en bas, on a un passage du sodium dans le même sens que le veut le potentiel chimique. PE + PC = potentiel plus fort

- Si l'on baisse un peu le voltage, l'intensité du courant diminue

- Potentiel électrique de +100 mV, le sodium passe en sens inverse de son potentiel chimique !

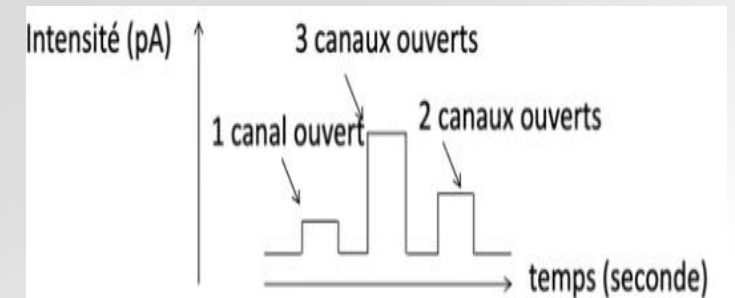
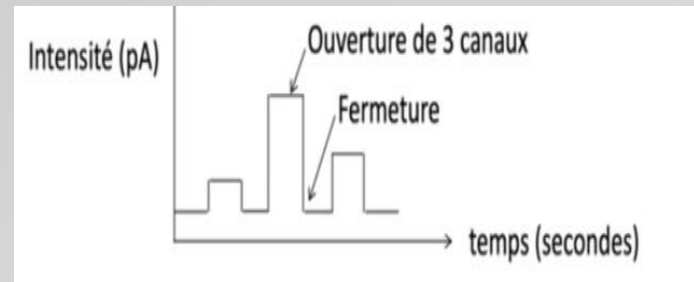
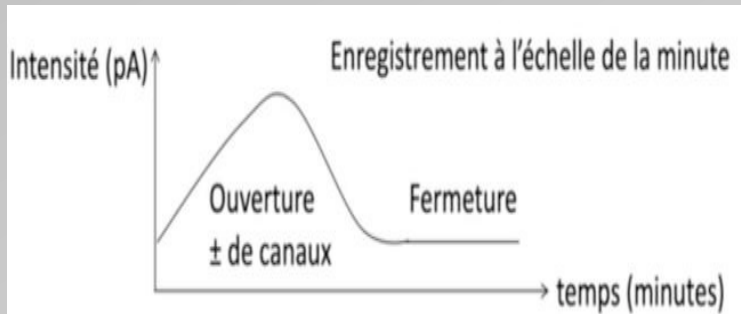


II- Canaux ioniques

B- Propriétés électriques du canal sodique épithélial (ENaC)

3. La **spécificité** du canal en modifiant le contenu du bain par de l'eau pure ou avec un seul ion. Si le courant passe, les ions passent, le canal fait passer ces ions.

4. Si on fait des mesures sur des durées différentes on peut aussi obtenir plein d'infos :



II- Canaux ioniques

B- Propriétés électriques du canal sodique épithélial (ENaC)



Cherche chaussette
contacter Dobby si info

5. La **probabilité d'ouverture** soit le nombre de canaux ouverts par unité de temps.

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



II- Canaux ioniques

B- Propriétés électriques du canal sodique épithélial (ENaC)

Avec toutes ces caractéristiques, on va pouvoir créer une
carte d'identité du canal !

	Relation intensité-voltage	Sélectivité ionique	Conductance pour le sodium	Durée d'ouverture	Probabilité d'ouverture
Canal sodique épithélial	Linéaire	Sodium (+ très peu de Lithium)	4 à 5 pS	1 seconde	0.5

II- Canaux ioniques

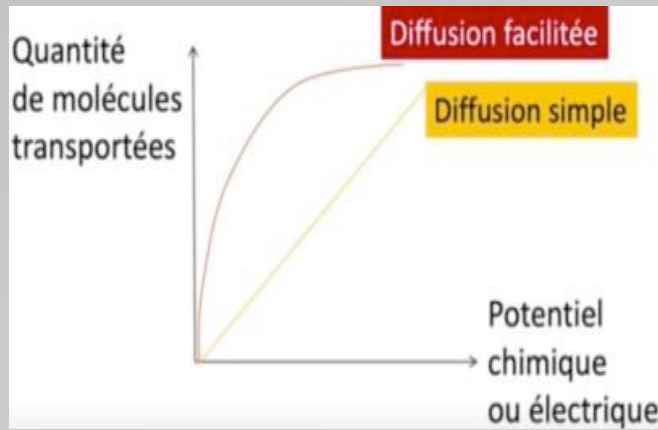
Le récap

- Il faut bien comprendre que la diffusion **facilitée** à travers les membranes plasmiques se passe grâce à des molécules **transmembranaires** et c'est le patch-clamp qui permet de caractériser les propriétés biophysiques de ces molécules.
- Chaque transporteur aura **ses** propriétés.
- Ces molécules sont des cibles **thérapeutiques** (allez voir le cours de Louibido il est fabuleux ❤️)

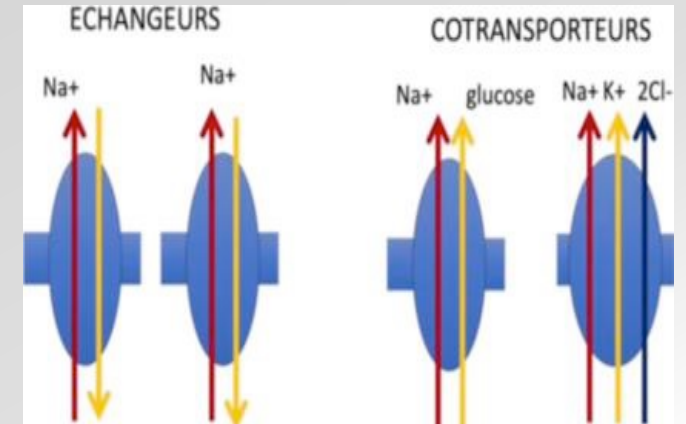
III – Co-transporteurs, échangeurs et pompes

Diffusion facilitée : Passage transmembranaire d'osmoles à l'aide d'un transporteur moléculaire. Les forces motrices sont les potentiels chimiques et électriques.

La **diffusion simple** ne fait **pas** intervenir de transporteurs moléculaires.



- Relation **linéaire** en cas de diffusion **simple**.
- Relation **exponentielle** dans le cas de la **diffusion facilitée**.

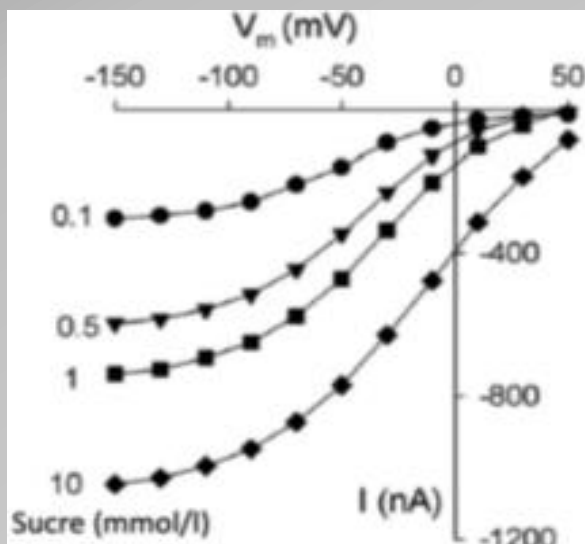




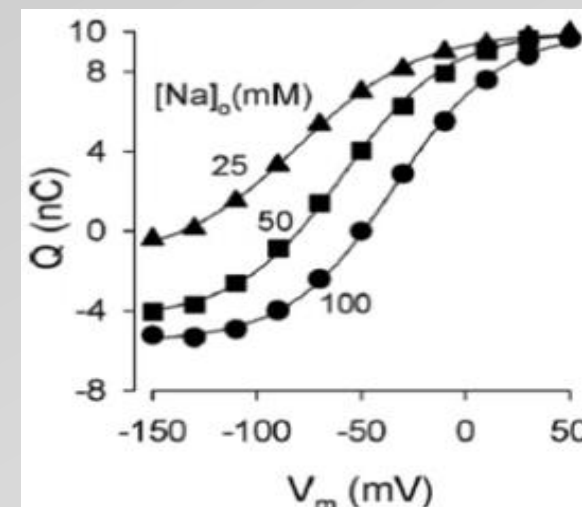
III – Co-transporteurs, échangeurs et pompes

A- Co-transporteur sodium/glucose

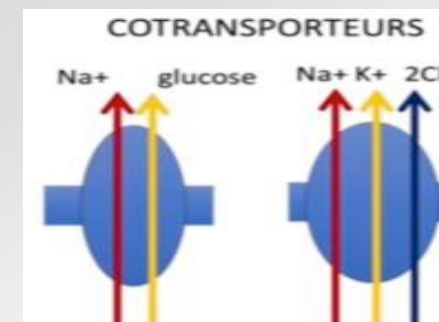
Avec le glucose :



Avec le sodium :

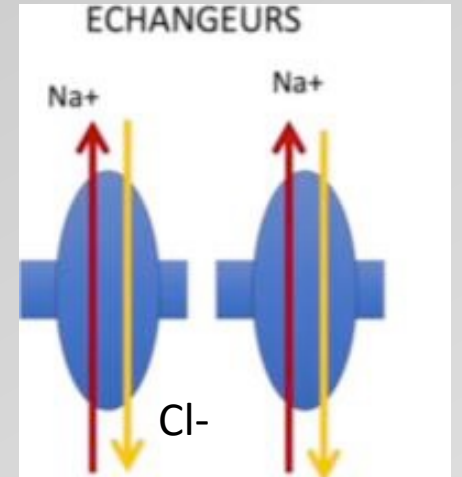
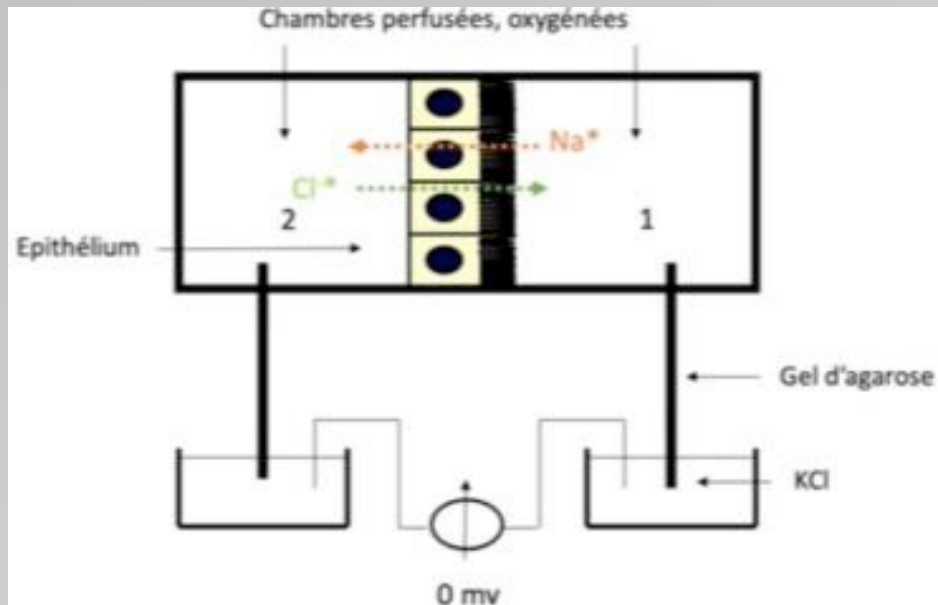


On a besoin des 2 espèces pour avoir un échange ! On va échanger 2 espèces dans le même sens mais il nous faut les 2 espèces pour fonctionner correctement !



III – Co-transporteurs, échangeurs et pompes

B- Echangeur sodium/chlore



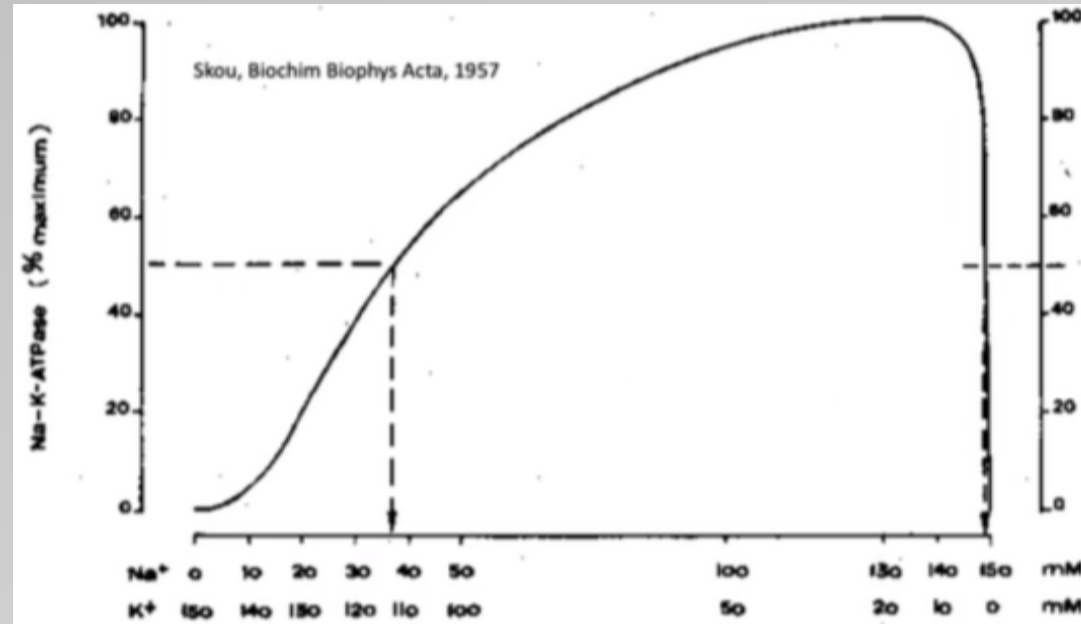
Presque comme un co-transporteur
mais ici c'est une espèce dans un sens
et l'autre dans le sens **opposé** !



III – Co-transporteurs, échangeurs et pompes

C- La pompe à sodium

Mémo :
Na = dehors
K = dedans



La pompe à sodium fait sortir 3 sodiums et fait rentrer 2 potassiums en hydrolysant une molécule d'ATP !



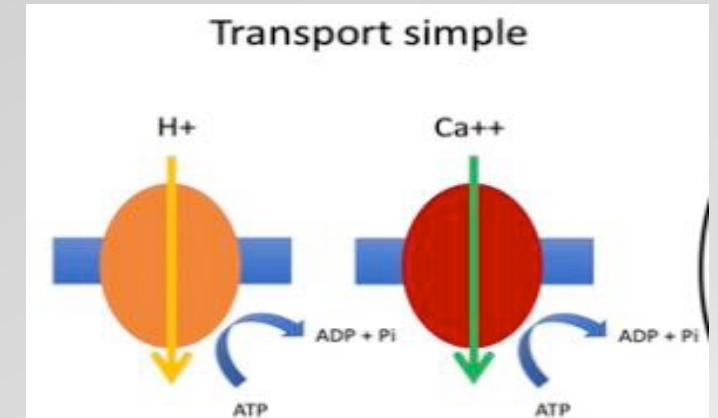
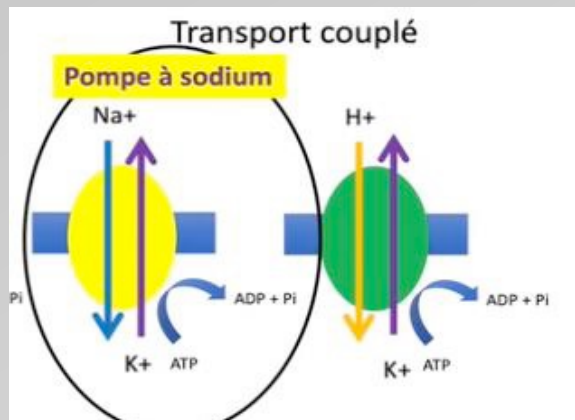
III – Co-transporteurs, échangeurs et pompes

C- La pompe à sodium



Il n'existe que **4 pompes** dans l'organisme humain

- 2 couplées :
 - La $\text{Na}^+/\text{K}^+ \text{ATPase}$ (= pompe à sodium)
 - La $\text{H}^+/\text{K}^+ \text{ATPase}$

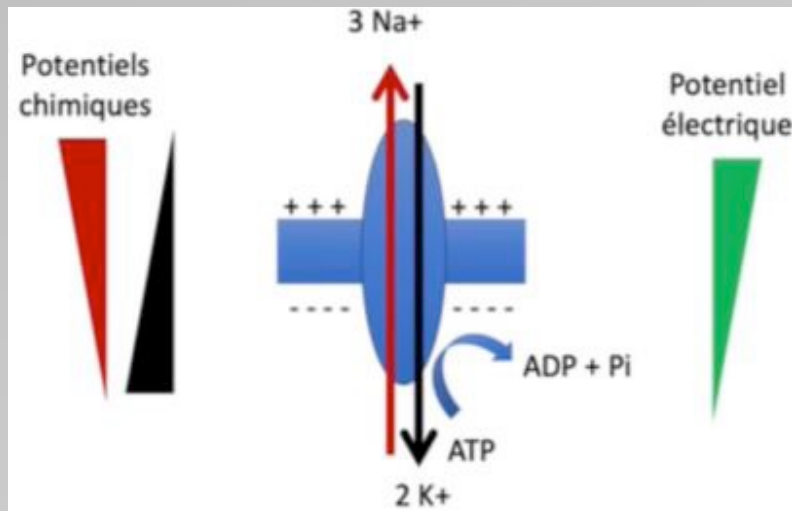


- 2 simples :
 - La pompe à protons (H^+)
 - La pompe à calcium (Ca^{2+})

III – Co-transporteurs, échangeurs et pompes

C- La pompe à sodium

Transport osmolaire actif : Transport nécessitant une pompe et la consommation directe d'ATP.



- On génère (\neq habituelle homogénéisation) ici 2 potentiels chimiques opposés pour les 2 espèces et 1 potentiel électrique.
- Les transports de sodium et de potassium sont ici actifs.

III – Co-transporteurs, échangeurs et pompes

C- La pompe à sodium

Mais comment transporter toutes ces espèces chimiques vitales avec seulement 4 pompes ?

→ Eh bien grâce au transport secondairement actif !

III – Co-transporteurs, échangeurs et pompes

C- La pompe à sodium

Ces pompes vont utiliser l'énergie chimique de l'ATP pour la transformer en PC **et** PE, on convertit l'énergie afin de pouvoir l'utiliser différemment.

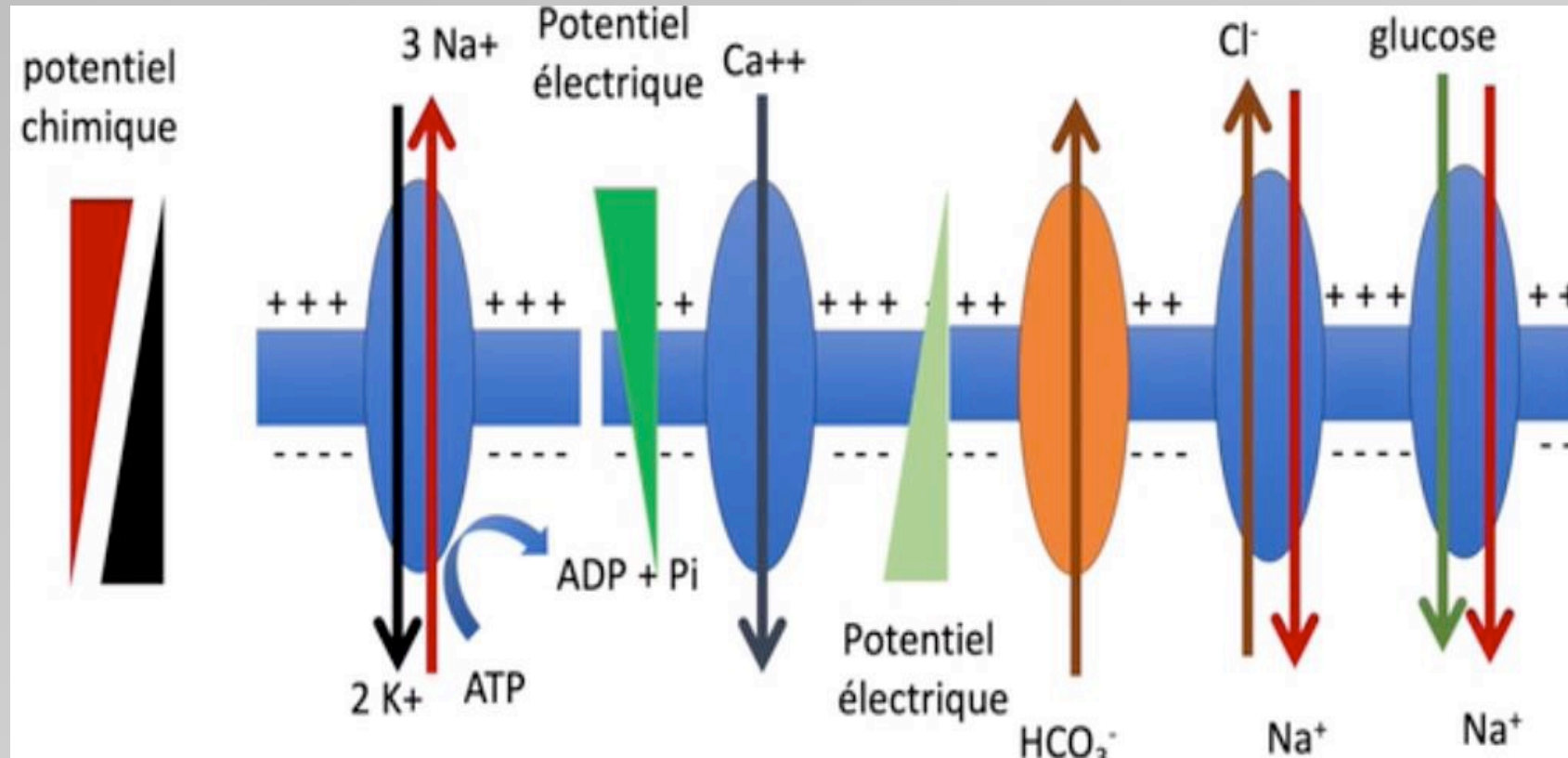
C'est ensuite la présence d'autres molécules de transports (canaux, co-transporteurs ou échangeurs) qui va permettre des transports osmotaires **secondairement actifs**. Ces transports secondairement actifs constituent la **grande** majorité des transports dans l'organisme.





III – Co-transporteurs, échangeurs et pompes

C- La pompe à sodium



III – Co-transporteurs, échangeurs et pompes

Le récap'

- Dans l'organisme, la **pompe à sodium** crée les gradients chimiques et électriques qui mobilisent la **plupart** des osmoles entre les compartiments.
- Il est important de comprendre que les échangeurs et les co-transporteurs s'arrêtent **complètement** de fonctionner lorsqu'il manque une seule des molécules qu'il transporte.
- L'ensemble de ces canaux ioniques, échangeurs, co-transporteurs et pompes sont **extrêmement** régulés dans l'organisme
- Les **pompes** convertissent l'énergie chimique en potentiel chimique et en potentiel électrique pour pouvoir alimenter les autres transporteurs qui ne peuvent récupérer l'énergie de l'ATP !





La physio est à NOUS !

IV- Potentiel de repos

A- Composition ionique cellulaire et extracellulaire

	Milieu cellulaire	Milieu extracellulaire
Na^+	10 mmol/L	144 mmol/L
K^+	160 mmol/L	4 mmol/L
Cl^-	6 mmol/L	114 mmol/L

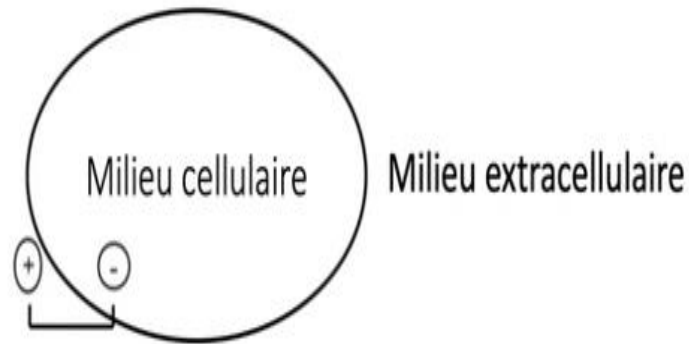
N'apprenez pas ces valeurs svp



IV- Potentiel de repos

B- Polarité électrique de la membrane plasmique

Potentiel transmembranaire mesuré - 80 mv



Si l'on mesure le PE d'une cellule, on observe un potentiel transmembranaire de l'ordre de **-80 mV en moyenne (à connaître ça) !** C'est ça le potentiel de repos.

IV- Potentiel de repos

B- Polarité électrique de la membrane plasmique

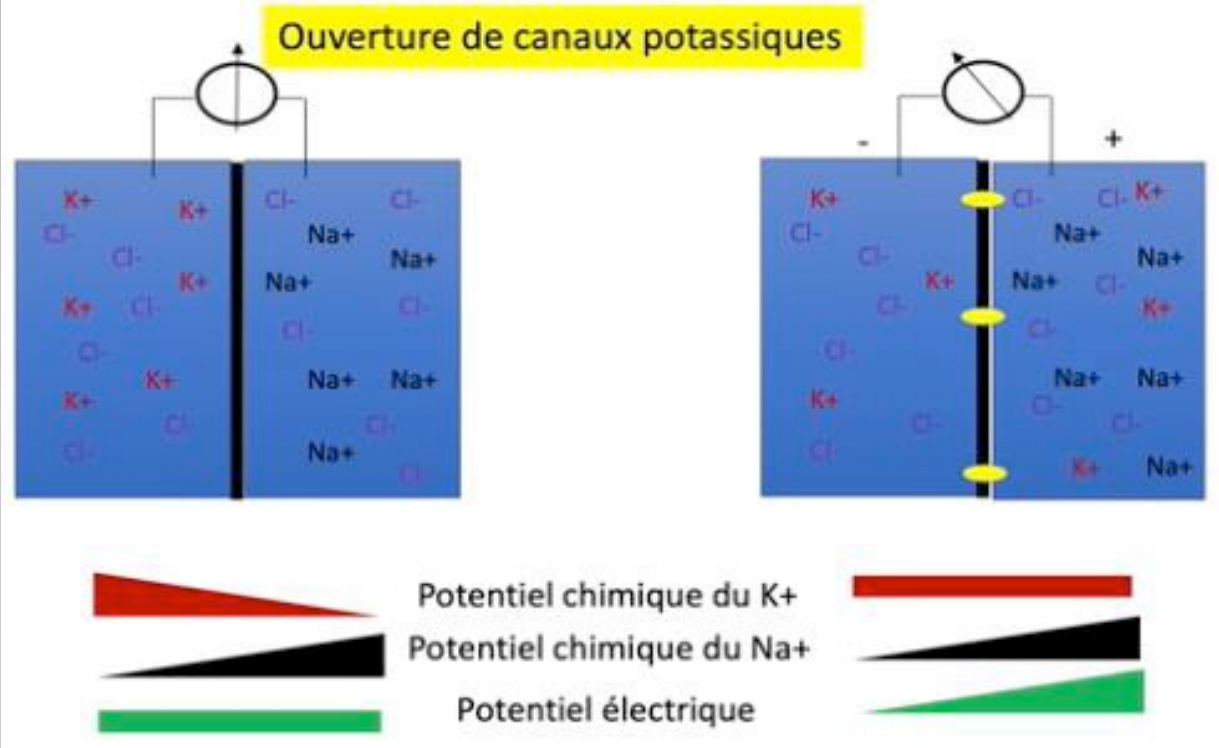
Ok mais quel rapport entre ces trucs là ? Tu balances des notions qui ont autant à voir que l'histoire et la biophysique !

→ Devinez quoi ? C'est encore à cause de la pompe à sodium 😊 Oui vous allez apprendre à l'aimer !

IV- Potentiel de repos

C- Pompe à sodium et courant de fuite

- Extra // NaCl
- Intra //KCl



	Initialement	Après ouverture (K+)
Potentiel chimique K+	Fort et opposé au PC du Na+	Très faible
Potentiel chimique Na+	Fort et opposé au PC du K+	Identique
Potentiel électrique	Quasi nul	Fort

Canaux potassiques ouverts

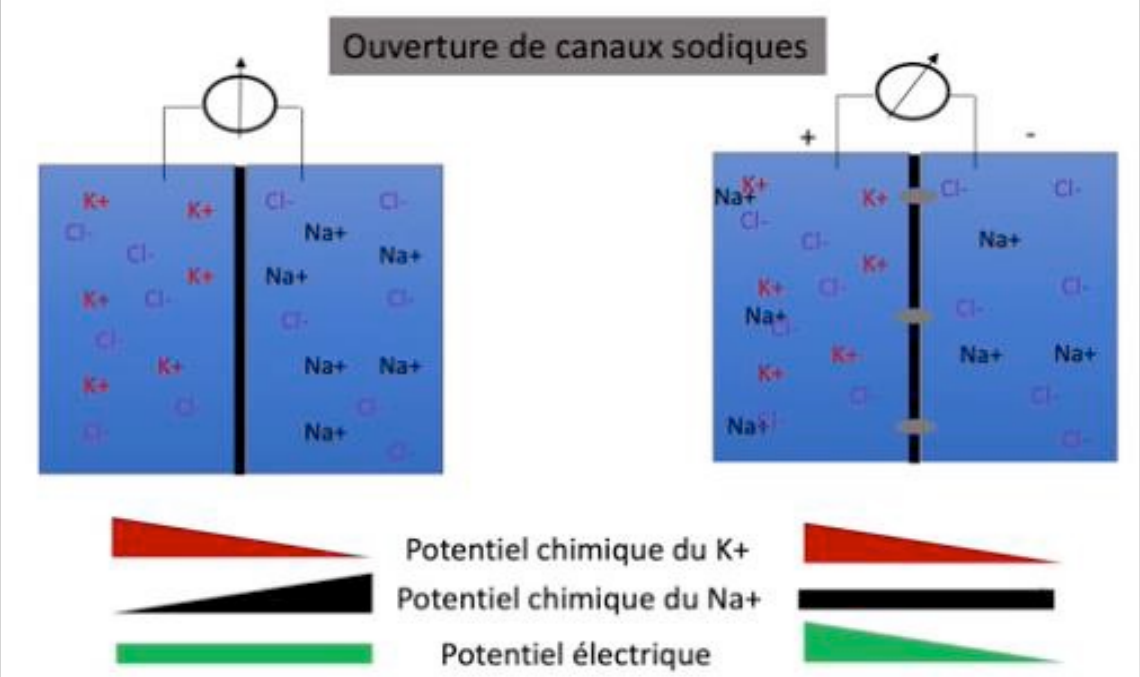


« J'aime bien ça...
Même pas envie
de tout cramer
pour une fois »

IV- Potentiel de repos

C- Pompe à sodium et courant de fuite

	Initialement	Après ouverture (K+)
Potentiel chimique K+	Fort et opposé au PC du Na+	Identique
Potentiel chimique Na+	Fort et opposé au PC du K+	Très faible
Potentiel électrique	Quasi nul	Fort

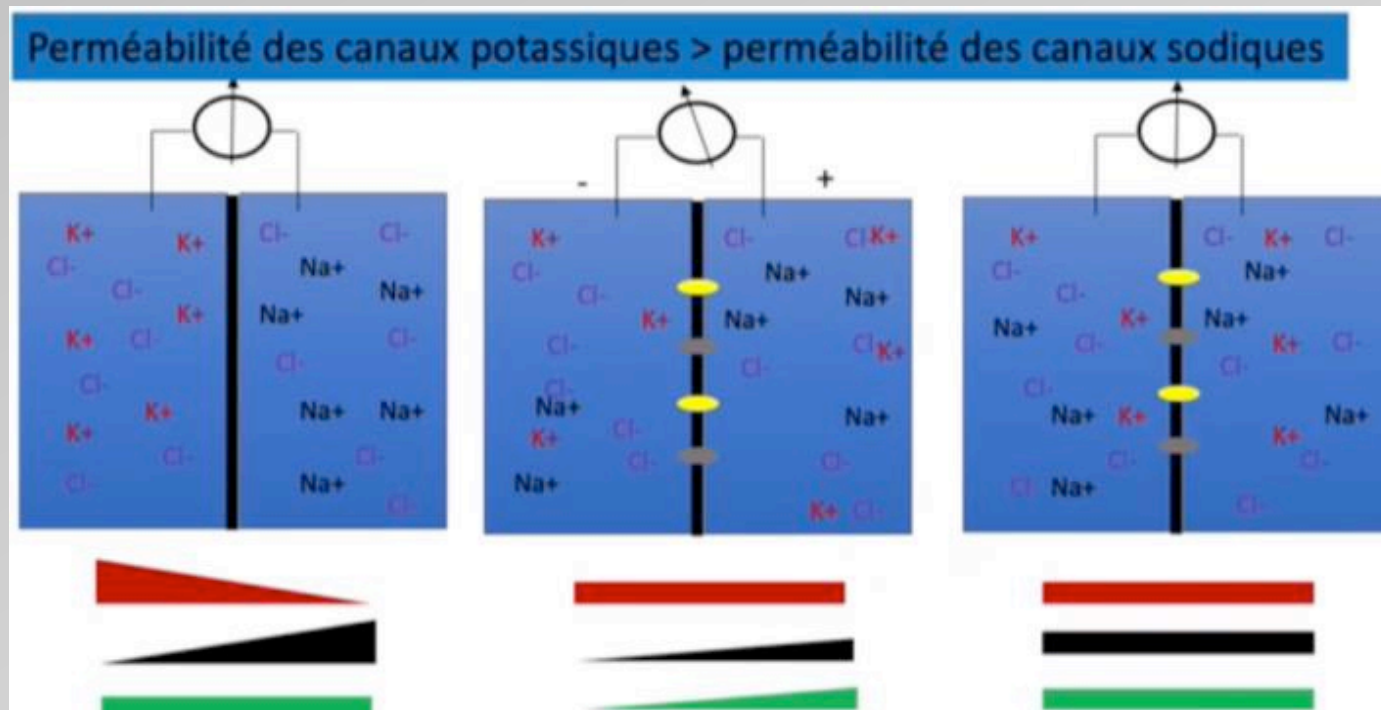


Canaux sodiques ouverts

IV- Potentiel de repos

C- Pompe à sodium et courant de fuite

La perméabilité des canaux potassiques est $>$ à celle des canaux sodiques.



« Même si le sodium passe moins facilement la membrane, il passe quand même, donc il va mettre plus de temps à annuler son PC mais il le fera quand même 😊 ».

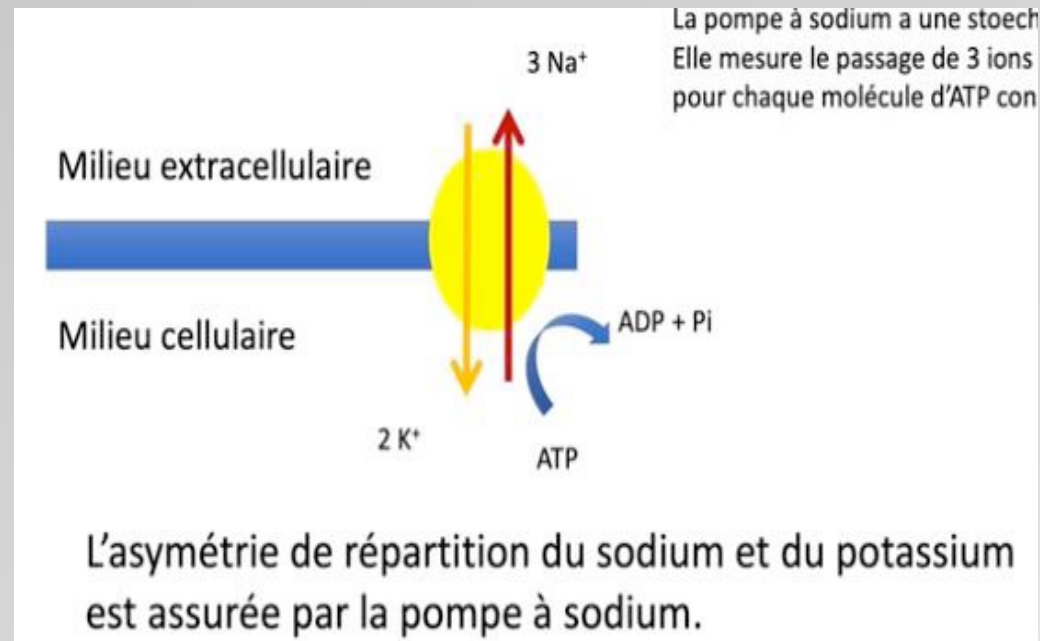


IV- Potentiel de repos

C- Pompe à sodium et courant de fuite

Mais en réalité \neq **inerte** car pompe à sodium !

Elle entretient la différence de répartition ionique : tout ce qui diffuse est renvoyé !



IV- Potentiel de repos

Le récap'

EXTRA = +

INTRA = -

Le potentiel de repos est expliqué par 2 choses :

1. La perméabilité inégale des canaux sodiques et potassiques va générer un potentiel électrique de repos.
2. La pompe Na^+/K^+ -ATPase entretient ce potentiel de repos, cette répartition asymétrique des charges.

Autrement dit, c'est la perméabilité inégale qui crée le PE au début mais c'est la pompe qui entretient ce PE (via le PC) !

C'est comme si l'on prolongeait cette situation transitoire et instable en utilisant de l'énergie.
On maintient un PC et donc un PE !

IV – Potentiel de repos

Le récap'

Milieux cellulaire et extracellulaire = neutres ≠ feuilletts

Le potentiel de repos dépend des pompes à sodium et des courants de fuite pour le sodium et le potassium.

La diffusion des osmoles à travers une membrane plasmique dépend des potentiels électriques et des potentiels chimiques selon la relation de Nernst.

Il suffit de la répartition asymétrique d'un ion sur 10^5 d'un côté ou de l'autre de la membrane plasmique pour créer une différence de potentiel électrique de 100 mV !

Cette asymétrie ne modifie pas la pression osmotique qui n'est pas du tout du même ordre de grandeur. Et heureusement ! On a un moyen d'avoir un potentiel de repos sans faire éclater les cellules !

Final clap

Merci pour votre attention et bon courage c'est un cours fondamental pour la suite !

Les QCM sont souvent accessibles en plus ❤️

Quand tu te rends compte que
physio > Jamie



Quelques QCM (prof)



QCM 1 : Le transport de Na^+ est couplé à celui de certains acides aminés qui vont dans le même sens que le Na^+ . Quelles propositions définissent le transport d'acides aminés dans ces conditions ?

- A) Il s'agit de diffusion facilitée
- B) Le transport nécessite la présence d'un échangeur
- C) Le transport nécessite la présence d'un cotransporteur
- D) Il s'agit de transport actif
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

Socrative student : nom de la room BIOFEESIO

Quelques QCM (prof)

QCM 1 : AC

- A) Vrai
- B) Faux
- C) Vrai
- D) Faux
- E) Faux



Quelques QCM (prof)



QCM 2 : Le potentiel membranaire de repos d'une cellule est déterminé par certains des éléments suivants. Lesquels ?

- A) Asymétrie de répartition de ions Na^+ et K^+ par rapport à la membrane
- B) Perméabilité de la membrane aux ions Na^+ et K^+
- C) Présence de protéines en grande quantité dans le cytoplasme
- D) Perméabilité des canaux K^+ plus importante que celle des canaux Na^+
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

Socrative student : nom de la room BIOFEESIO

Quelques QCM (prof)

QCM 2 : ABD

- A) Vrai
- B) Vrai
- C) Faux
- D) Vrai
- E) Faux



Quelques QCM (prof)



QCM 3 : Deux solutions contenant de l'eau et des osmoles ionisées sont séparées par une membrane sélective et perméable au K^+ . Il existe une différence de potentiel électrique transmembranaire. Quelles sont les propositions vraies concernant la diffusion du K^+ ?

- A) L'ion K^+ reste du côté négativement chargé de la membrane
- B) L'ion K^+ diffuse selon son potentiel chimique jusqu'à l'équilibre de concentration entre les 2 solutions
- C) L'ion K^+ diffuse selon son potentiel chimique et le potentiel électrique
- D) La diffusion de l'ion K^+ s'arrête lorsque son potentiel chimique est égal au potentiel électrique
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses

Socratic student : nom de la room BIOFEESIO

Quelques QCM (prof)



QCM 3 : CD

- A) Faux
- B) Faux
- C) Vrai
- D) Vrai
- E) Faux