



# POTENTIEL ÉLECTRIQUE, PHYSIOLOGIE

Carlarythmie

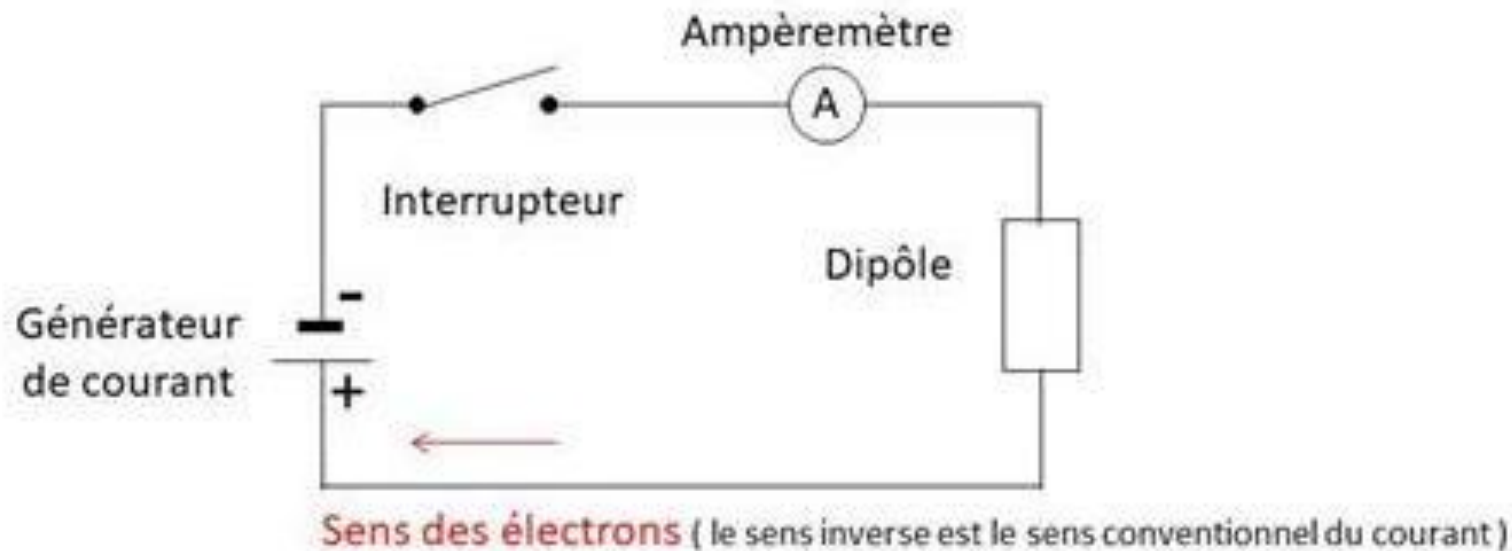
# INTRODUCTION

- I) Potentiel électrique
- II) Canaux ioniques
- III) Co-transporteurs, échangeurs et pompes
- IV) Potentiel de repos



# I) POTENTIEL ÉLECTRIQUE

## COURANTS ÉLECTRIQUES



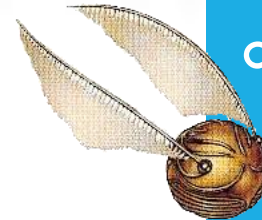
- Il existe des osmoles électriquement chargées dans les compartiments de l'organisme et on va voir qu'on peut mettre en équilibre les forces osmotiques et les forces électriques.

Montage simple:

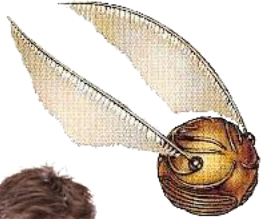
- un générateur : délivre un PE
- un dipôle : consomme l'électricité
- un ampèremètre: enregistre l'intensité du courant

- Le courant électrique passe à travers des conducteurs. Ce sont les **électrons** qui sont bougent dans les conducteurs et vont créer ce courant.

Ampèremètre -> Galvanomètre

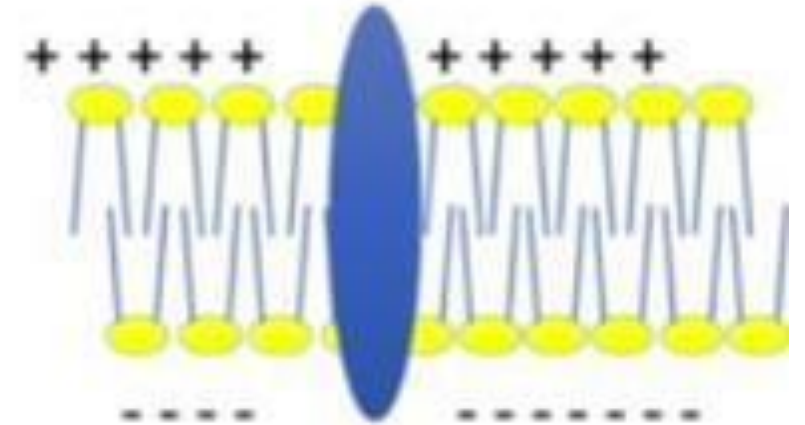


# COURANTS OSMOTIQUE



- ❖ Membrane plasmique = dipôle
- ❖ **Positif** en **extracellulaire**
- ❖ **Négatif** en **intracellulaire**

Milieu extracellulaire

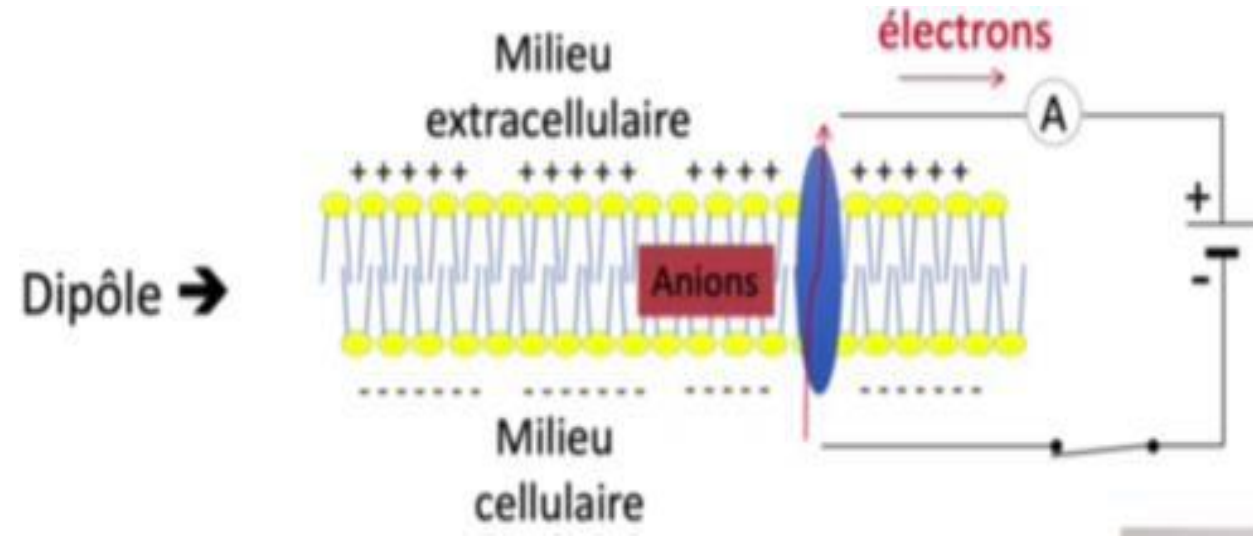


Milieu cellulaire



# MONTAGE EXPÉRIMENTAL : CONTINUITÉ DES COURANTS OSMOTIQUE ET ÉLECTRIQUE

- ❖ Générateur externe
- ❖ Le courant qui traverse la membrane n'est **pas un électron**, mais un **anion ou un cation**
- ❖ On envoie un potentiel électrique contrôlé et connu grâce au générateur, le galvanomètre mesure l'intensité (qui elle n'est pas connue) :
  - Détection d'une intensité: le courant passe, on a un flux de charge.
  - Aucune détection malgré un grand PE: les charges ne peuvent pas se déplacer dans le système étudié !



# RÈGLES GÉNÉRALES

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.**

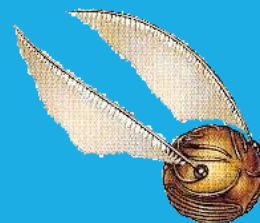
Une osmole électriquement chargée va vers l'endroit où les charges de signes opposées prédominent.

Comme tout système électrique, on peut appliquer la loi d'Ohm :

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

	Courant électrique	Courant osmotique
<b>Porteurs de charge</b>	Electrons	Ions (anions ou cations)
<b>Potentiel électrique (volt)</b>	Quantité d'électron en 1 point du conducteur	Quantité d'ions en 1 point du conducteur (potentiel chimique)
<b>Intensité (Ampère)</b>	Quantité de charges passant en 1 point d'un conducteur par unité de temps	
<b>Conductance (siemens)</b>	Facilité de mobiliser une charge dans un conducteur	
<b>Nature de la conductance</b>	Câble métallique	Membrane plasmique et transporteur moléculaire

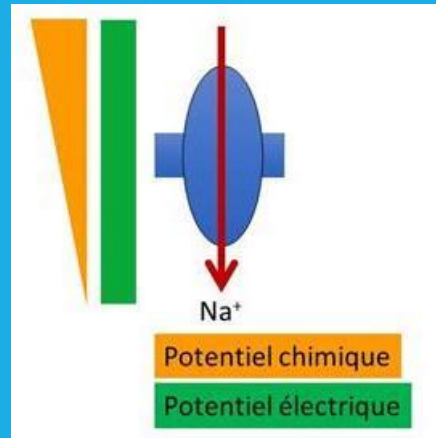
# RÉCAP DES DÉFINITIONS



# RELATION DE NERNST (NOBEL 1920)

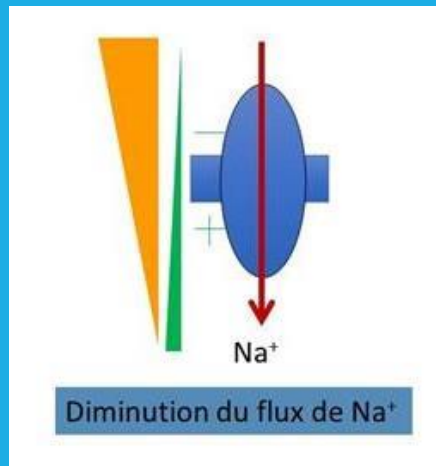
$$\text{Potentiel électrique} + \text{Potentiel chimique} = 0$$

1)  $PE = 0$



- La membrane plasmique possède une protéine **transmembranaire** qui transporte du sodium ( $\text{Na}^+$ ) 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



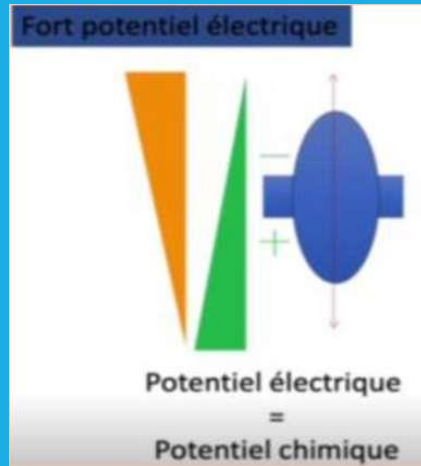
- On exerce un potentiel électrique à l'aide d'un circuit extérieur.
- On décide de mettre des charges négatives en haut et positives en bas.
- On va contrarier le flux de sodium puisque les charges positives (en bas) vont repousser les cations (+).



# RELATION DE NERNST (NOBEL 1920)

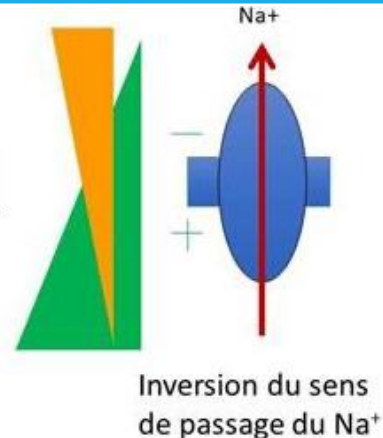


## 3) Fort PE



- 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).

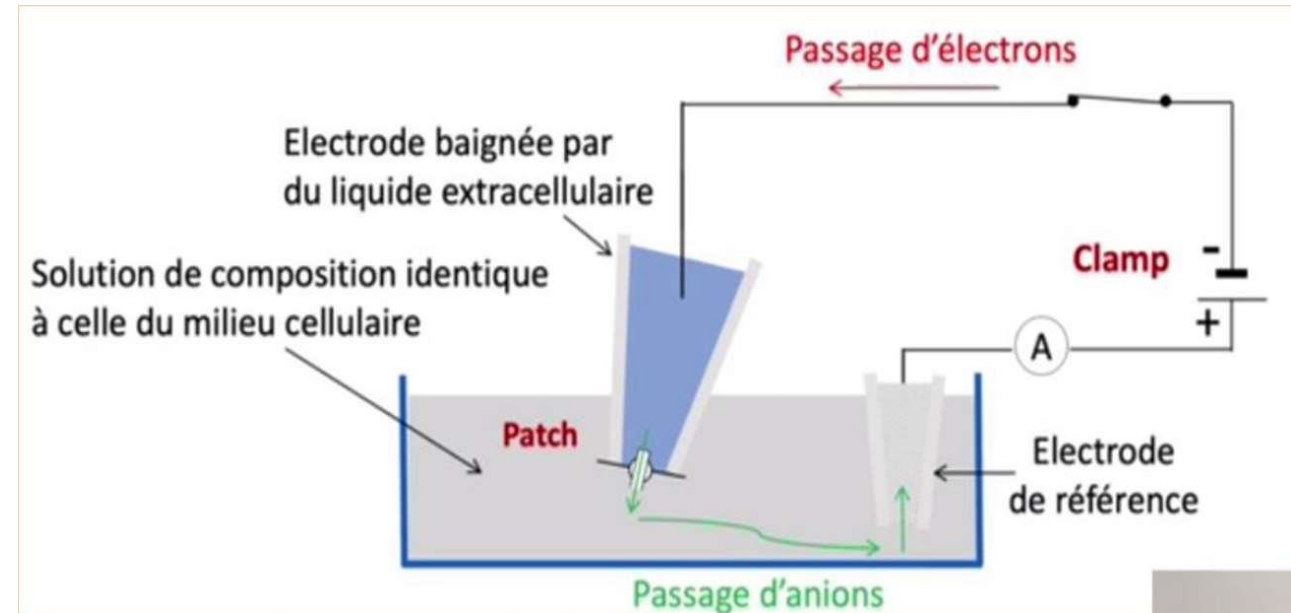
## 4) Potentiel électrique > potentiel chimique



- 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 !

## II) CANAUX IONIQUES 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



# 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)



$$\begin{array}{c} \boxed{\text{Mesurée}} \quad \text{Intensité} \\ \hline \text{Voltage} \\ \boxed{\text{Clampé = imposé}} \end{array} = \text{Conductance} \quad \boxed{\text{Calculée}}$$

# LE PATCH-CLAMP

- Le patch-clamp a permis de découvrir que la conductance n'est pas uniforme selon les membranes, cellules, feuillettes 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



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



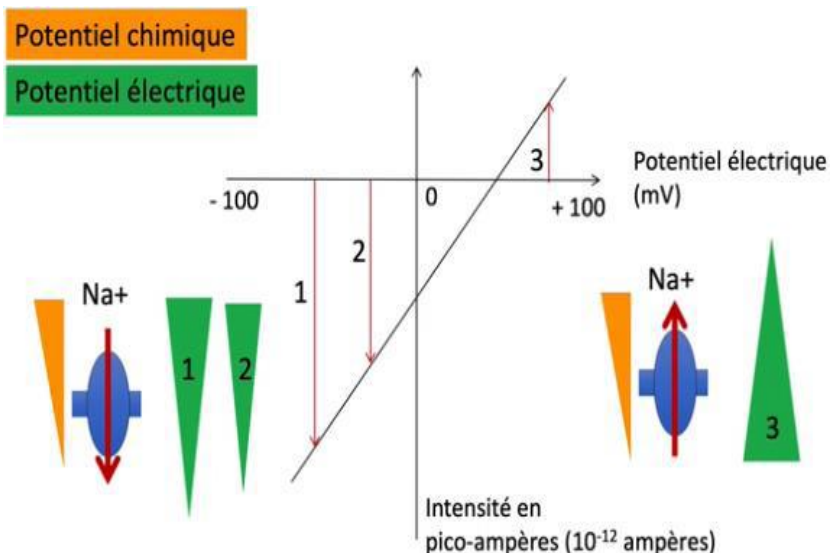
# PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DU CANAL SODIQUE ÉPITHÉLIAL (ENAC)

*Que nous apprend la technique du patch clamp?*

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** !

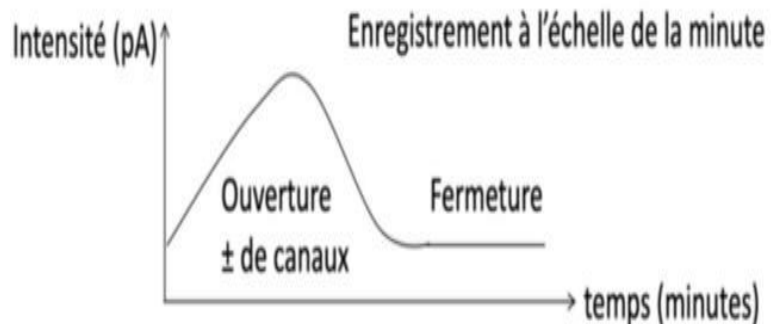


# PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DU CANAL SODIQUE ÉPITHÉLIAL (ENAC)

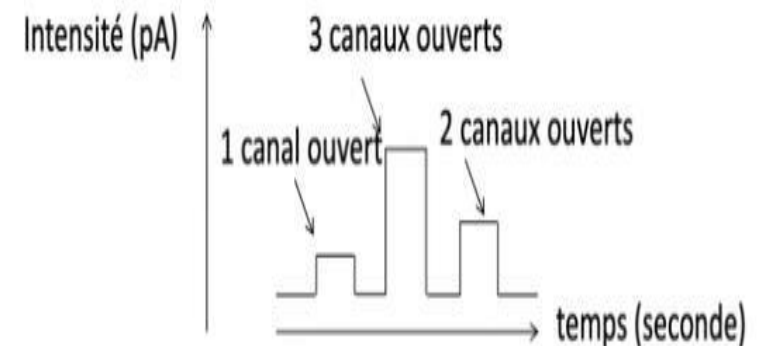
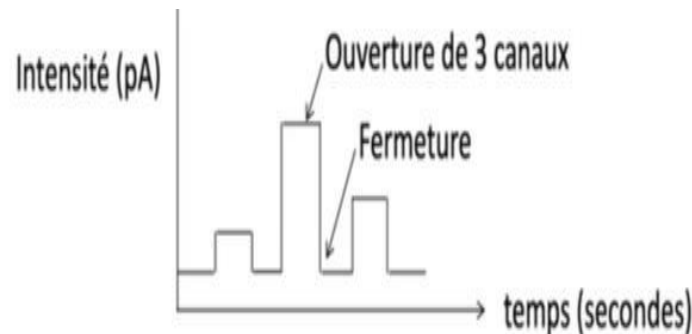
3. La **spécificité** du canal en modifiant le contenu du bain par de l'eau pure ou avec un seul ion. Si le courant passe, les ions passent, le canal fait passer ces ions.

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

En minutes:



En secondes:



# PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DU CANAL SODIQUE ÉPITHÉLIAL (ENAC)



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

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

# 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

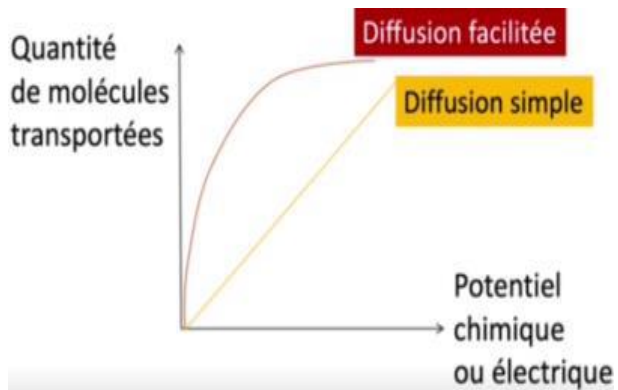
# RÉCAP

- 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**



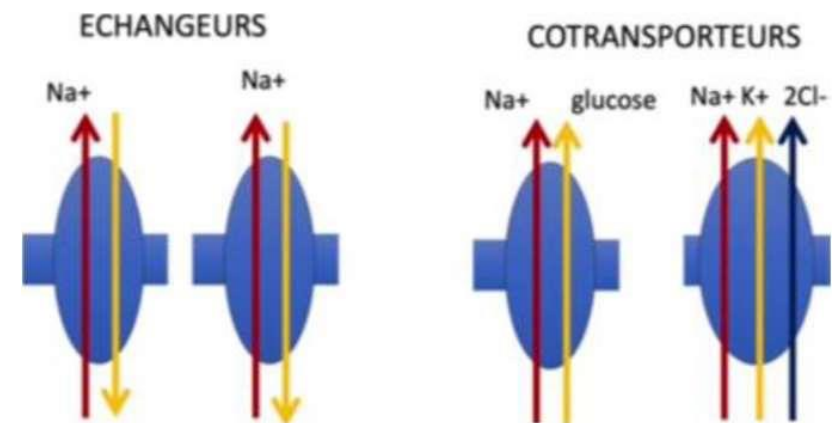
# III — CO-TRANSPORTEURS, ÉCHANGEURS ET POMPES

- **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.
- Immense diversité de transporteurs : échangeurs, cotransporteurs, pompes



La quantité de molécules transportées varie en fonction du pc et pe:

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

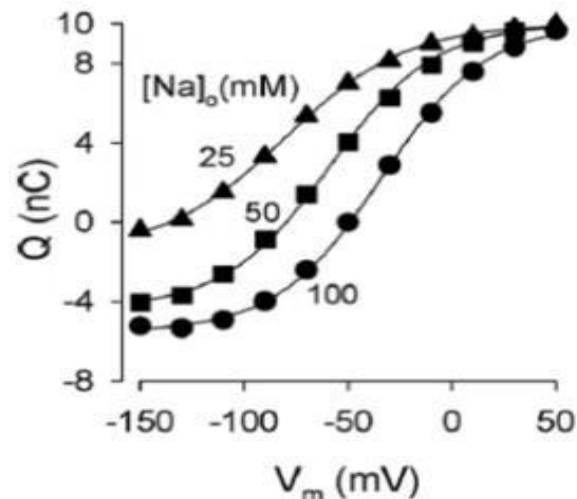
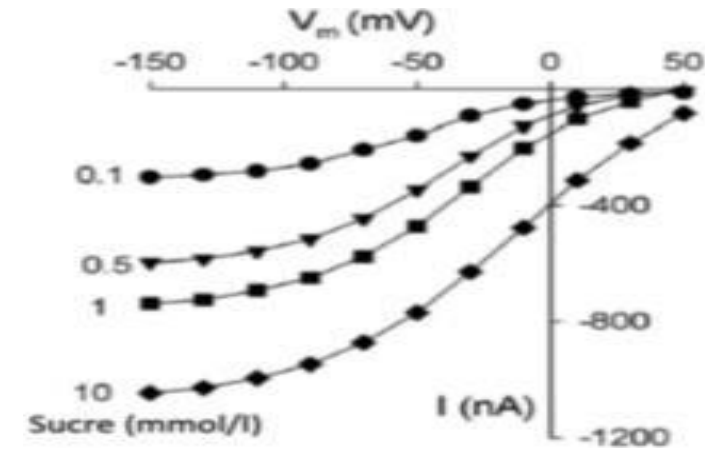






# CO TRANSPORTEUR SODIUM-GLUCOSE

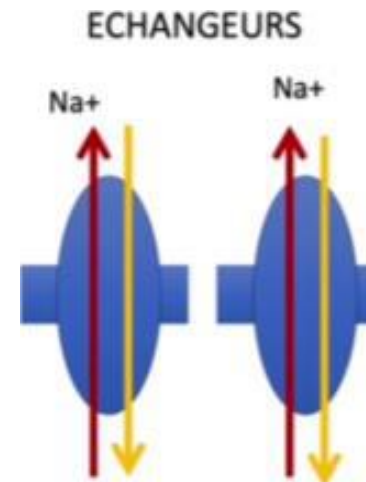
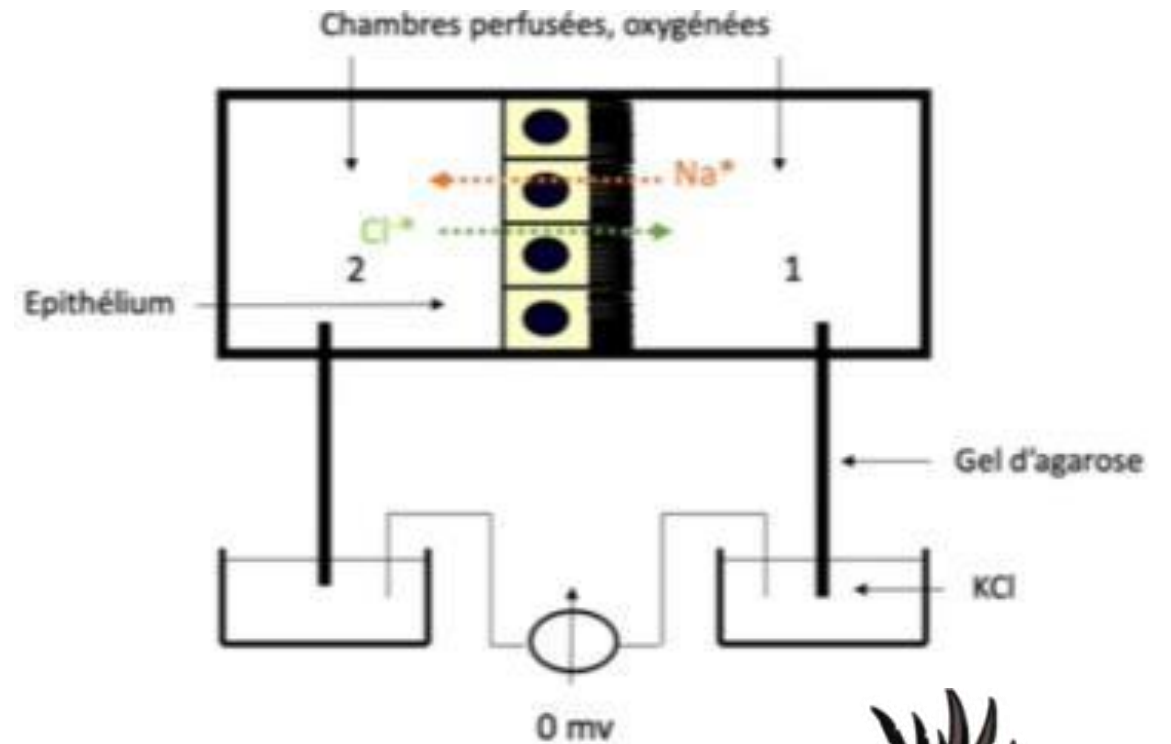
- En **augmentant** la concentration de **glucose**: la variations d'intensité de courant **augmente proportionnellement**. La concentration de glucose a une influence sur le flux du co-transporteur, donc **0 glucose = 0 transport**
- Avec le **sodium**:



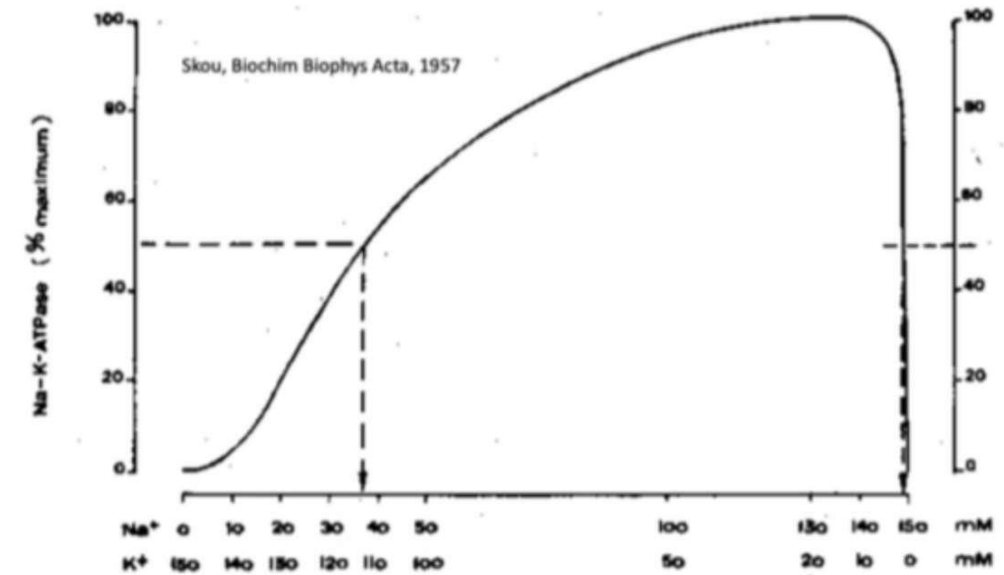
On a **besoin des 2 espèces** pour avoir un échange ! On va échanger 2 espèces dans le **même sens** mais il nous faut les 2 espèces pour fonctionner parfaitement !

# ÉCHANGEUR SODIUM-CHLORE

- Montage des chambres de Hüssing épithélium entre deux rebords de la chambre. on choisit des cellules particulières qui ne possèdent que l'échangeur étudié. On crée un PE grâce à un dispositif externe: Si l'on détecte une intensité c'est qu'on a un échange et un flux
- Ce dispositif ne fonctionne que pour les échangeur avec des entités chargées !
- L'échangeur est in fine comme un co-transporteur sauf qu'une espèce va dans un sens alors que l'autre suit le sens opposé.



- **vertical**: l'activité ATPasique de la pompe
- **horizontal**, on voit la quantité de **sodium** et de **potassium**
- La pompe à sodium fait **sortir 3 sodiums (Na)** et fait **rentrer 2 potassiums (K)** en hydrolysant une molécule d'ATP !
- Si il manque du sodium ou du potassium, l'activité Atpasique est nulle
- Si ils sont en concentration maximale, l'activité Atpasique est maximale



# LA POMPE À SODIUM

Mémo :

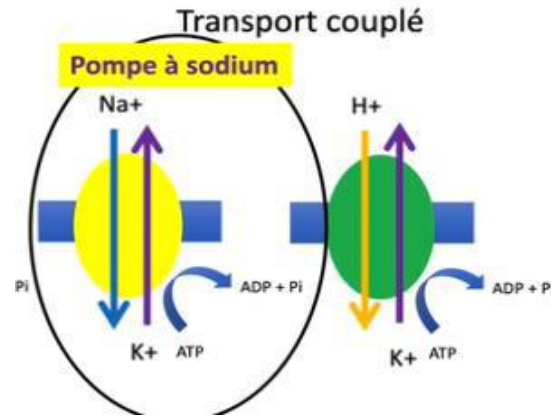
**Na** = dehors

**K** = deda**ns**

## Il n'existe que 4 pompes dans l'organisme

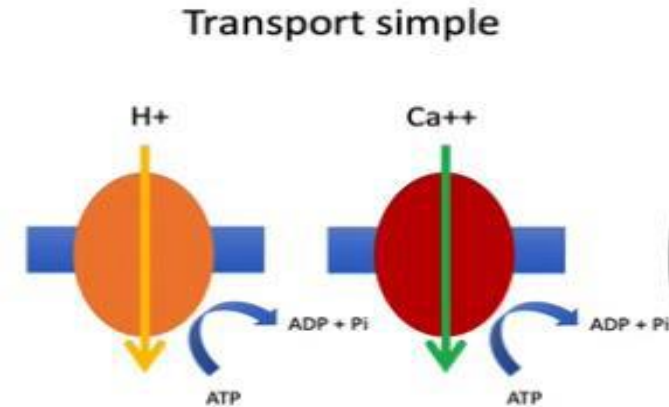
### 2 couplées :

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



### 2 simples :

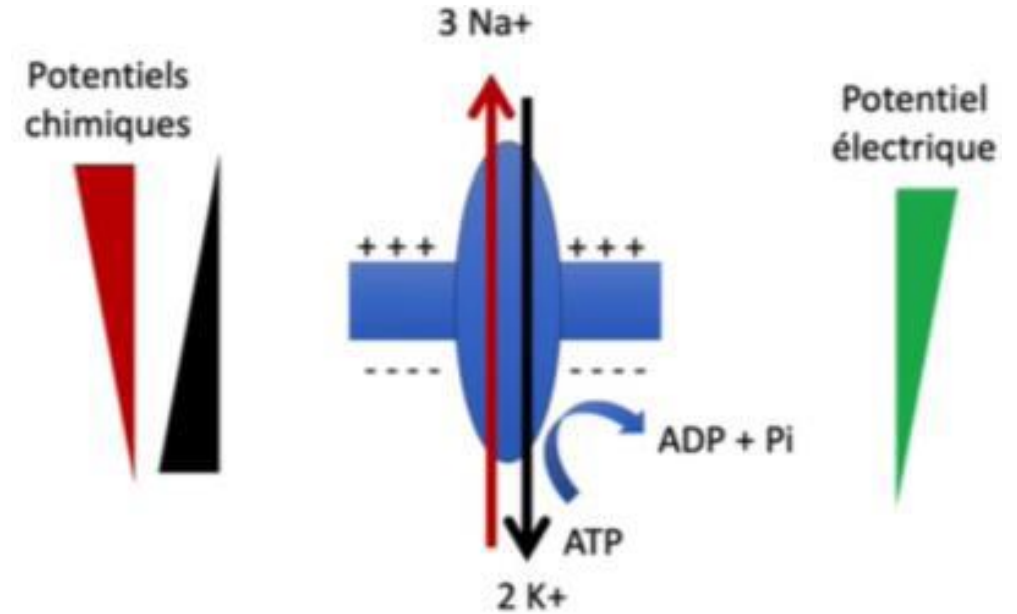
- La pompe à protons ( $\text{H}^+$ )
- La pompe à calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ )



On parle de pompes, ce sont des transports directement **ACTIFS** car elles consomment de l'ATP (=énergie chimique)

# 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**.
- Mais alors comment transporter toutes ces espèces chimiques vitales avec seulement 4 pompes ?
  - Et bien grâce au transport secondairement actif!



# LA POMPE À SODIUM



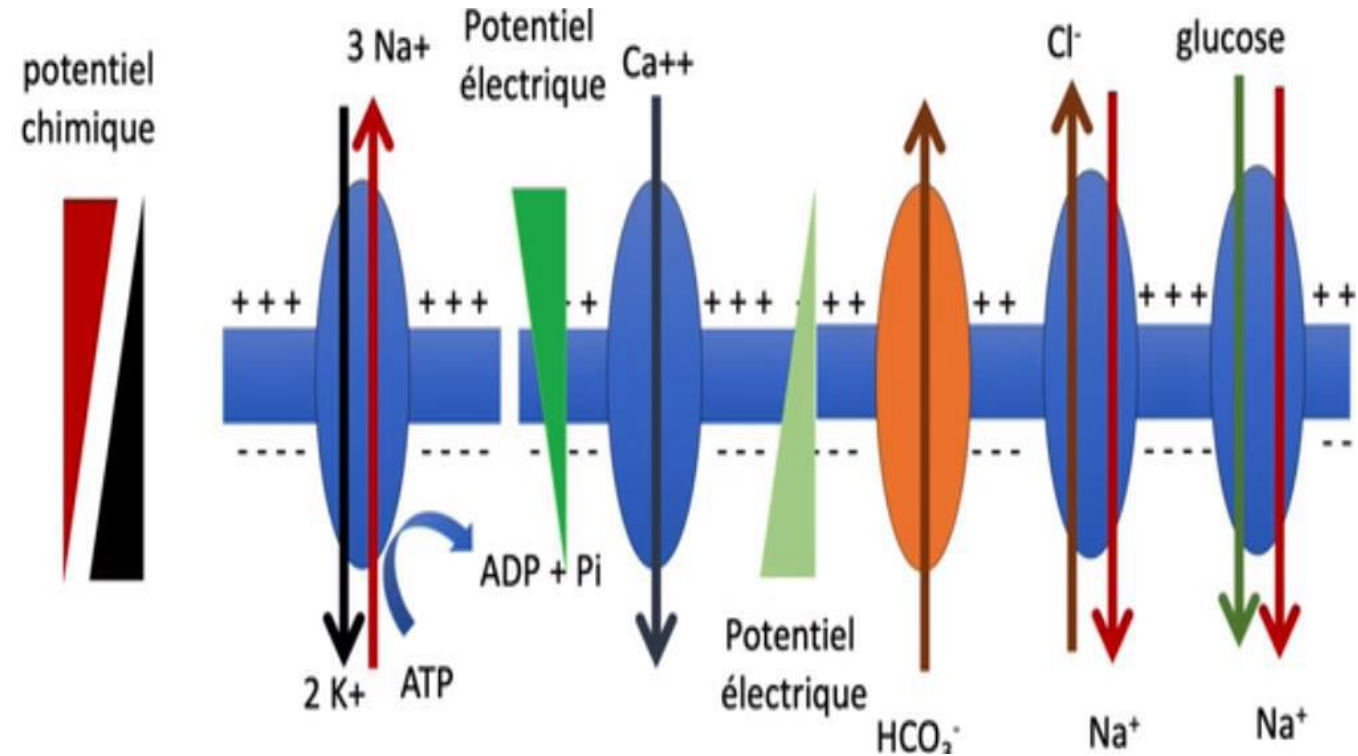
- Ces pompes vont utiliser l'énergie chimique de l'ATP pour la transformer en PC **et** PE, on convertit l'énergie afin de pouvoir l'utiliser différemment.
- C'est ensuite la présence d'autres molécules de transports (canaux, co-transporteurs ou échangeurs) qui va permettre des transports osmotiques **secondairement actifs**. Ces transports **secondairement actifs** constituent la grande **majorité des transports** dans l'organisme.

## LA POMPE À SODIUM

La pompe à sodium a généré des potentiels chimiques **et** des potentiels électrique à partir d'ATP produit par la cellule.

Ces potentiels vont permettre plein d'autres échanges :

- Pour le **Ca<sup>2+</sup>**, il fuit les + du Na<sup>+</sup>. il va passer de haut en bas grâce au PE crée par la pompe
- Le **HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** passe de bas en haut, fuyant les charges **négatives** (selon le pe)
- **L'échangeur sodium-chlorure**: Na<sup>+</sup> passer de haut en bas selon son PE mais surtout son PC ! Le chlorure, en sens inverse chassé par son PE.
- **Co-transporteur sodium/glucose**, Na<sup>+</sup> va vers le bas selon son PC et le glucose est asservi au sodium



# LA POMPE À SODIUM

# RÉCAP



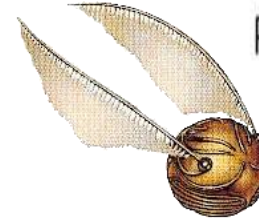
- Si l'on regarde différemment les choses, **seules les pompes ont un moteur** ! Mais elles vont aider tous les autres transporteurs !
- Dans l'organisme, la **pompe à sodium** crée les gradients chimiques et électriques qui mobilisent la **plupart** des osmoles entre les compartiments.
- Il est important de comprendre que les échangeurs et les co-transporteurs s'arrêtent « **complètement** » de fonctionner lorsqu'il manque une seule des molécules qu'il transporte. (attention qcm: baisse d'efficacité = juste)
- 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 !

## IV) POTENTIEL DE REPOS

	Milieu cellulaire	Milieu extracellulaire
<b>Na<sup>+</sup></b>	10 mmol/L	144 mmol/L
<b>K<sup>+</sup></b>	160 mmol/L	4 mmol/L
<b>Cl<sup>-</sup></b>	6 mmol/L	114 mmol/L

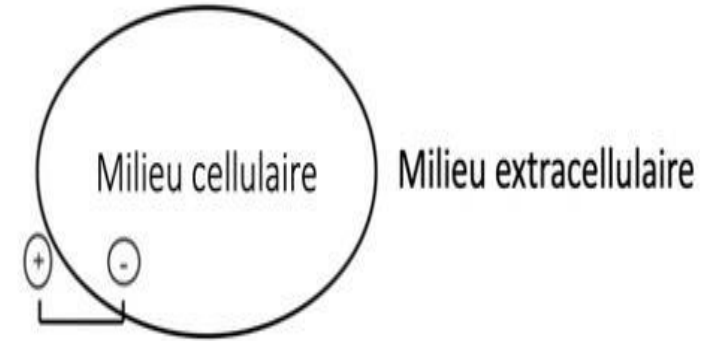
Les valeurs ne sont pas à apprendre

# POTENTIEL ÉLECTRIQUE DE LA MEMBRANE PLASMIQUE



Potentiel transmembranaire mesuré - 80 mv

- PE membranaire d'une cellule est en moyenne de **-80 mV ++**! C'est ça le potentiel de repos -> très variable d'un type de cellule à un autre





# POMPE À SODIUM ET COURANT DE FUITE

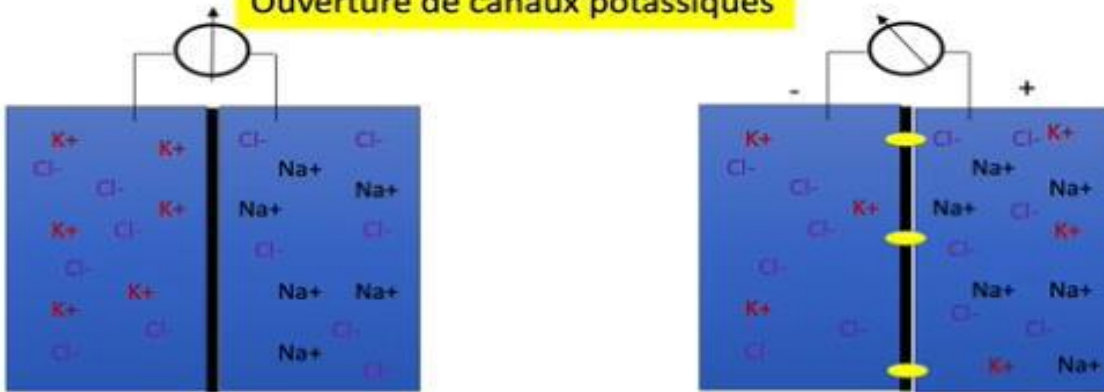
**Extracellulaire = NaCl**

**Intra = KCl**

**stœchiométrie de 3/2 : 3 ions sodium vers l'extérieur** et de **2 ions potassium vers l'intérieur** à chaque hydrolyse d'ATP

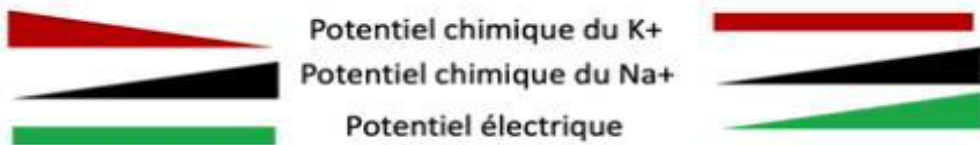
**asymétrie K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>**

Ouverture de canaux potassiques



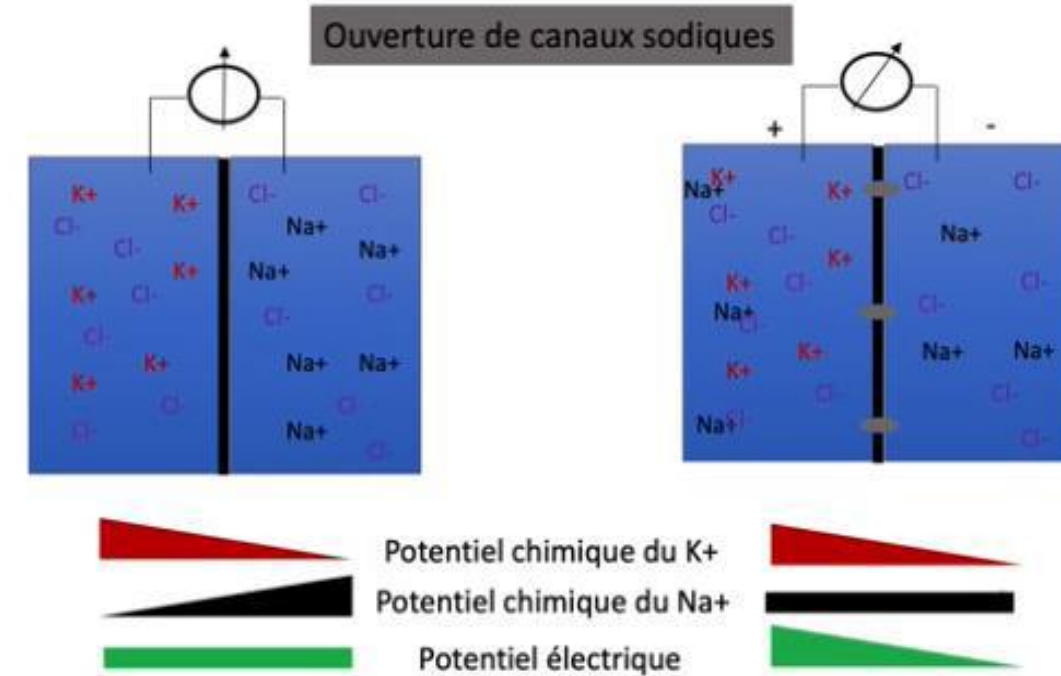
	Initialement	Après ouverture K <sup>+</sup>
Potentiel chimique K <sup>+</sup>	Fort et opposé au PC du Na <sup>+</sup>	Très faible
Potentiel chimique Na <sup>+</sup>	Fort et opposé au PC du K <sup>+</sup>	Identique
Potentiel électrique	Quasi nul	Fort

**Canaux potassiques ouverts**



# POMPE À SODIUM ET COURANT DE FUITE

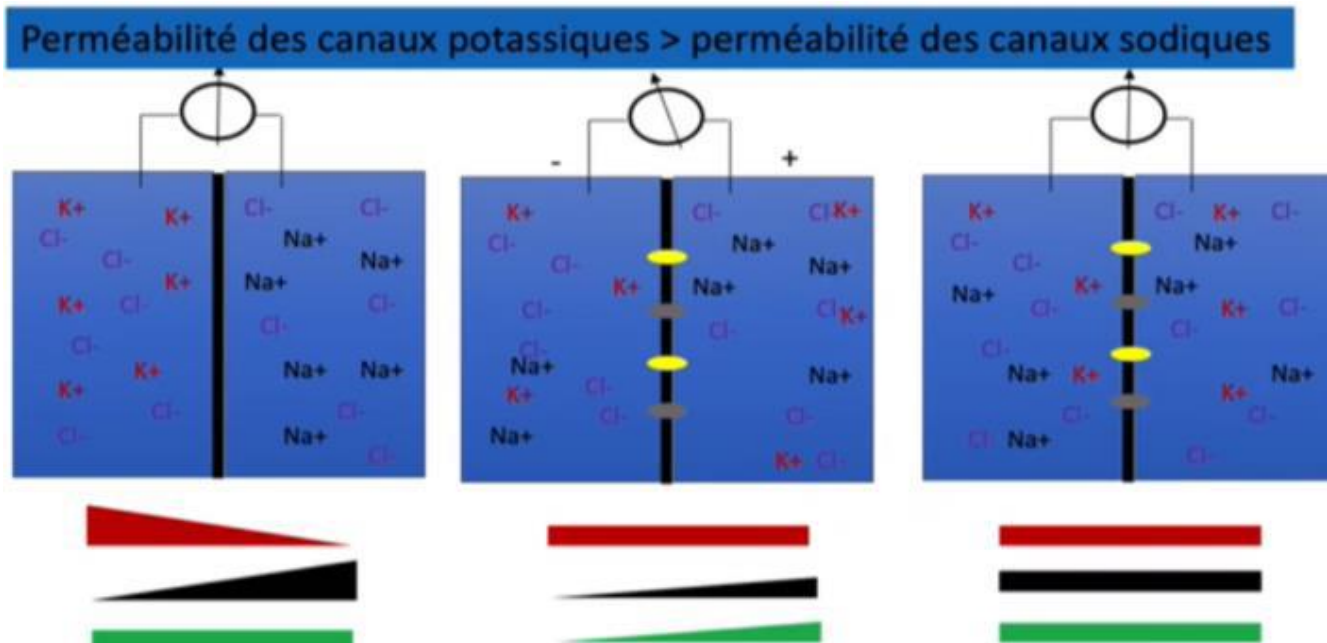
	Initialement	Après ouverture K <sup>+</sup>
Potentiel chimique K <sup>+</sup>	Fort et opposé au PC du Na <sup>+</sup>	Identique
Potentiel chimique Na <sup>+</sup>	Fort et opposé au PC du K <sup>+</sup>	Très faible
Potentiel électrique	Quasi nul	Fort



Canaux **sodiques** **ouverts**

# POMPE À SODIUM ET COURANT DE FUITE

Dans l'organisme, les canaux  $K^+$  et  $Na^+$  ont une perméabilité différente : La perméabilité des canaux potassiques est  $>$  à celle des canaux sodiques.

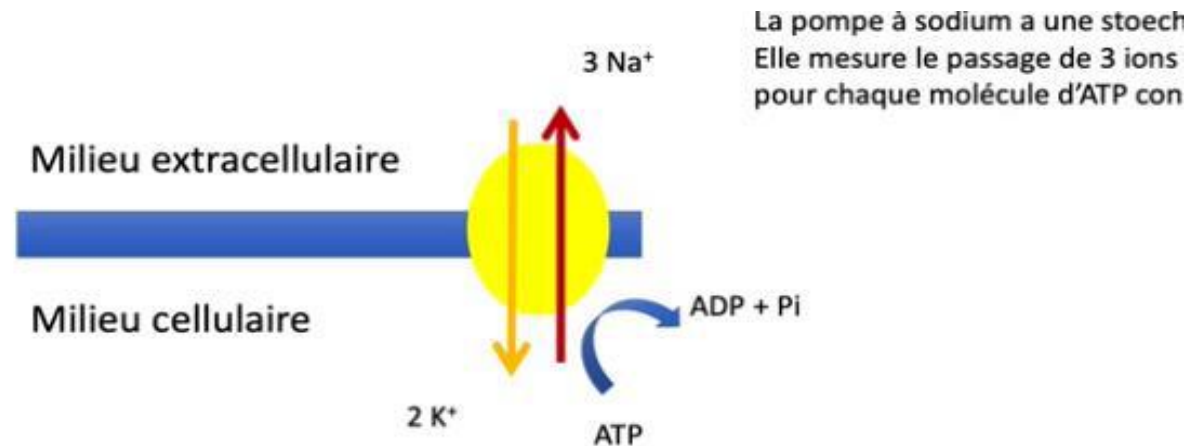


- Passage plus abondant de charges de gauche à générant ainsi une asymétrie de composition des milieux et un PE.
- Dans un système inerte: les potentiels disparaissent puisqu'il s'agit d'une différence de perméabilité donc d'une différence de vitesse de passage ionique.

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

# POMPE À SODIUM ET COURANT DE FUITE

- réalité  $\neq$  inerte car pompe à sodium !
- Elle entretient la différence de répartition ionique : tout ce qui diffuse est renvoyé !



L'asymétrie de répartition du sodium et du potassium est assurée par la pompe à sodium.

# RÉCAP

Extra = +

Intra = -



Le potentiel de repos est expliqué par 2 choses :

- La **perméabilité inégale** des canaux sodiques et potassiques va **générer/créer** un potentiel électrique de repos.
- La **pompe**  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase **entretient** (attention pas crée) 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 !*

# RÉCAP

	Milieu cellulaire	Milieu extracellulaire
Na <sup>+</sup>	10 mmol/L	144 mmol/L
K <sup>+</sup>	160 mmol/L	4 mmol/L
Cl <sup>-</sup>	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

- Milieux cellulaire et extracellulaire = **neutres (somme cation et anion est nulle)** ≠ feuillet
- 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 !



# QCM 1

**QCM 1 : Le transport de  $\text{Na}^+$  est couplé à celui de certains acides aminés qui vont dans le même sens que le  $\text{Na}^+$ . 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



# CORRECTION QCM 1

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

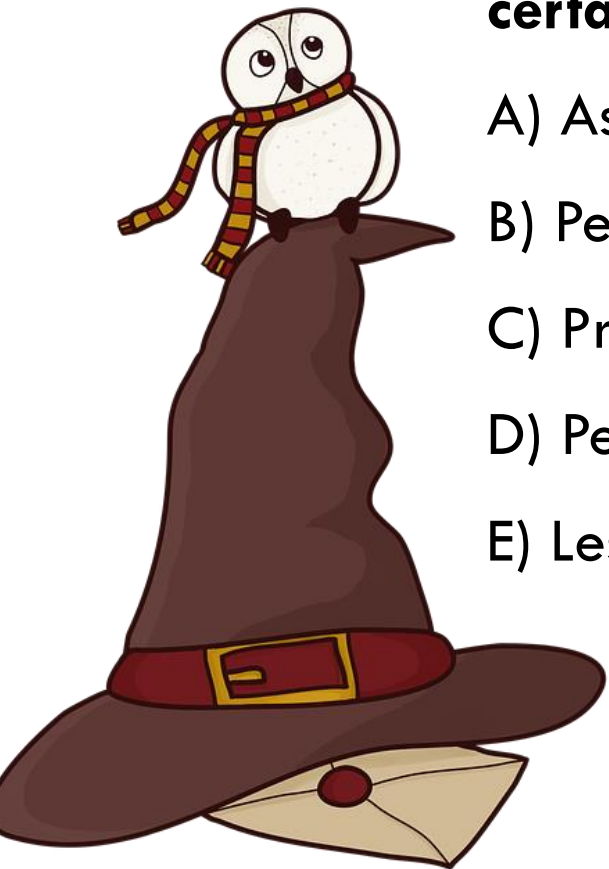
- A) Il s'agit de diffusion facilitée
- B) Le transport nécessite la présence d'un échangeur
- C) Le transport nécessite la présence d'un co-transporteur
- D) Il s'agit de transport actif
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses



# QCM 2

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

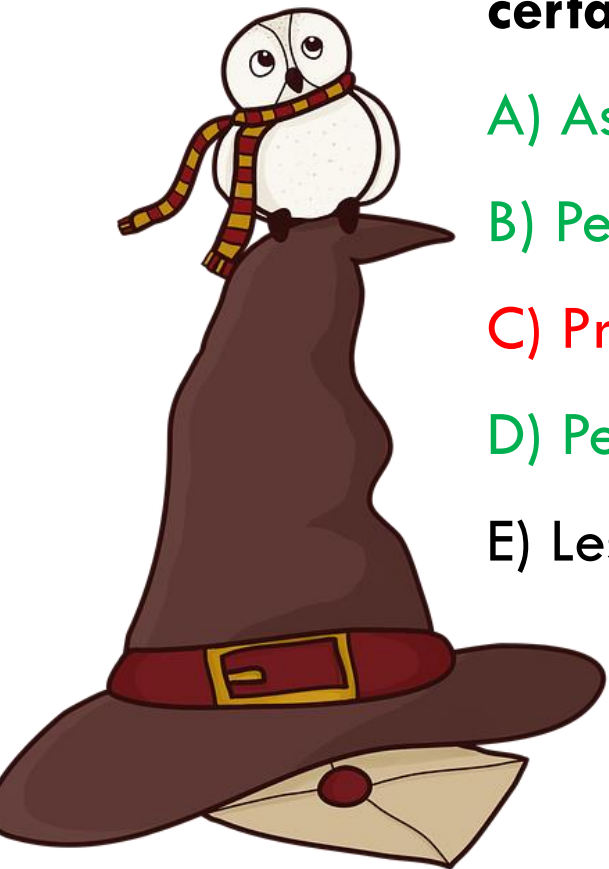
- A) Asymétrie de répartition de ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  par rapport à la membrane
- B) Perméabilité de la membrane aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$
- C) Présence de protéines en grande quantité dans le cytoplasme
- D) Perméabilité des canaux  $\text{K}^+$  plus importante que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



# CORRECTION QCM 2

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

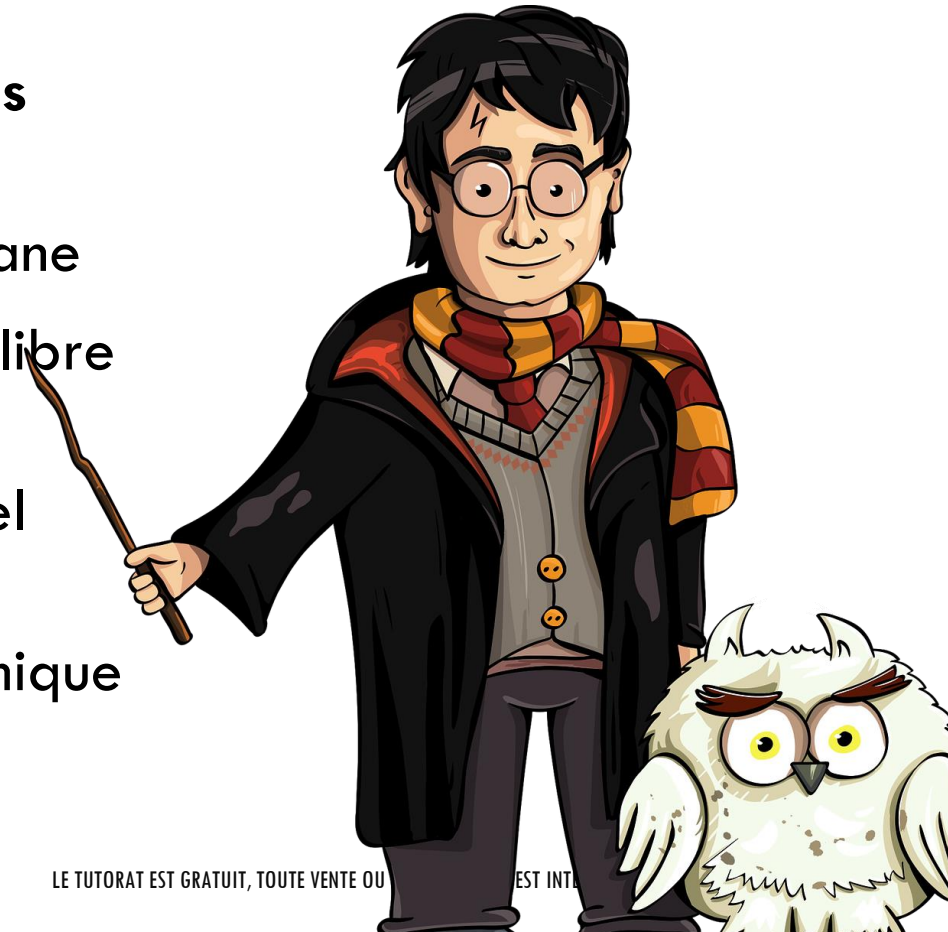
- A) Asymétrie de répartition de ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  par rapport à la membrane
- B) Perméabilité de la membrane aux ions  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$
- C) Présence de protéines en grande quantité dans le cytoplasme
- D) Perméabilité des canaux  $\text{K}^+$  plus importante que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



# QCM3

**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



# QCM3

**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





**FIN!!!**

**Merci de votre attention et  
bon courage pour ce début  
d'année <3**