

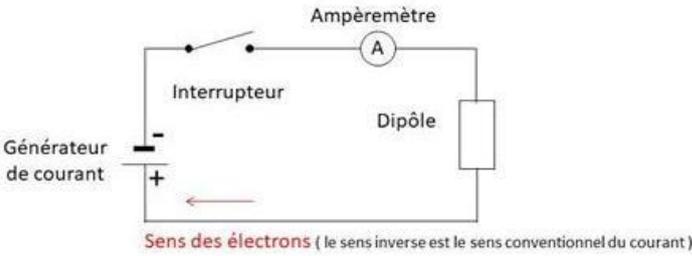
# Potentiel électrique

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**.

## I) Potentiel électrique

### Courants électriques et osmotiques

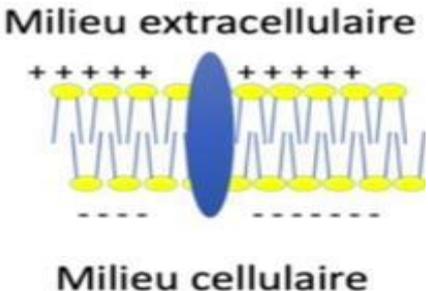
Nous allons utiliser des **courants électriques** dans ce cours. Rappelons comment est construit un montage simple mais très utilisé :

 <p>Sens des électrons ( le sens inverse est le sens conventionnel du courant )</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♥ Un <b>générateur</b> de courant délivre un <u>potentiel électrique</u></li> <li>♥ Un <b>dipôle</b> correspond à n'importe quel appareil électrique (ex : ampoule) qui va « consommer » de l'électricité.</li> <li>♥ Un <b>ampèremètre</b> enregistre l'<u>intensité</u> du courant</li> </ul>
---	--

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

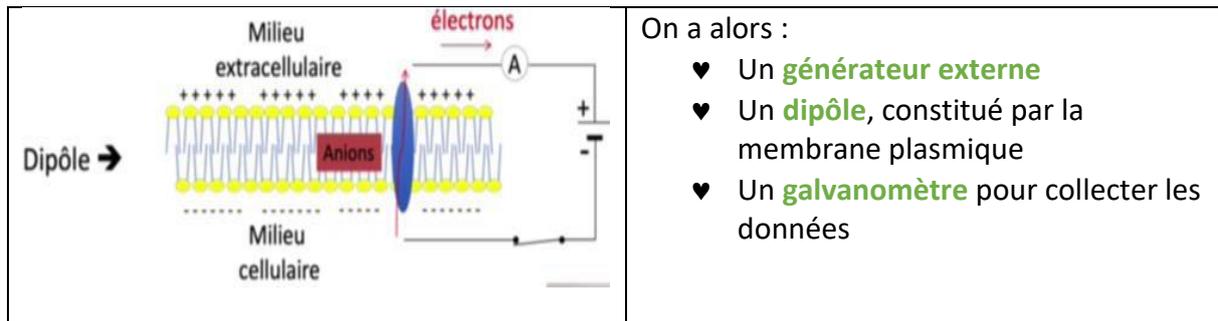
En physiologie, les **ampèremètres** doivent détecter des courants infiniment petits. Dans ce cas, on les appelle alors des **galvanomètres** (du nom de Galvani qui a mis en évidence l'électricité animale en premier) qui sont des ampèremètres ultrasensibles.

Maintenant comparons avec un courant osmotique :

 <p>Milieu extracellulaire</p> <p>Milieu cellulaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>♥ La <b>membrane plasmique</b> constitue un <b>dipôle</b> avec ses <b>protéines transmembranaires</b></li> <li>♥ On a une répartition qui est <b>positive</b> vers le <b>milieu extracellulaire</b> et <b>négative</b> vers le <b>milieu cellulaire</b></li> </ul>
--	---

Bon cool on en fait quoi ? Vous sentez bien qu'on va vouloir mesurer les courants osmotiques pour avoir un max d'infos. Pour cela on va utiliser un courant électrique ! Regardons le montage :

On veut mettre en continuité les **courants osmotique et électrique**, avec un circuit externe et les courants osmotiques dans une membrane biologique (un tissu par ex).



Le courant qui traverse la membrane **n'est pas un électron**, mais un anion ou un cation. On applique simplement une différence de potentiel et roule ma poule !

Joli montage certes mais comment on s'en sert ? On envoie un **potentiel électrique contrôlé et connu** grâce au **générateur** (oui le générateur va créer un PE artificiel). L'**ampèremètre** va alors mesurer **l'intensité qui elle, n'est pas connue**. ++

Si on arrive à **détecter une intensité** : c'est que **le courant passe bien** et donc que l'on a un flux de charge.

Autrement si l'ampèremètre ne **détecte rien** malgré un grand PE : c'est que **les charges ne peuvent pas se déplacer** dans le système étudié !

### Quelques propriétés

Il faut noter quelques règles pour notre montage :

1. Le **potentiel électrique** d'une molécule est proportionnel à : +++
  - ♥ Sa **charge**
  - ♥ Sa **mobilité** dans le dipôle
  - ♥ **L'intensité** du champ électrique
2. On considère, en physiologie et en médecine, que le **champ électrique est homogène dans la membrane plasmique**. C'est une modélisation nécessaire.
3. Pour savoir comment se déplace une **osmole électriquement chargée** il suffit de savoir **qu'elle va vers l'endroit où les charges de signes opposés prédominent**. (Ex : si elle est chargée + elle ira vers les -)

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

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

♥ Récap des définitions ♥

	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

Application et la relation de Nernst (Prix Nobel en 1920)

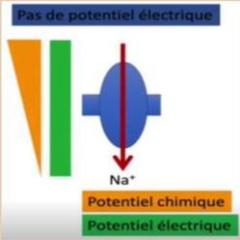
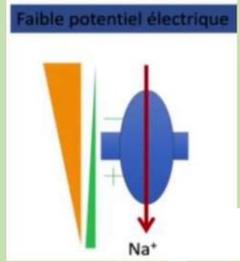
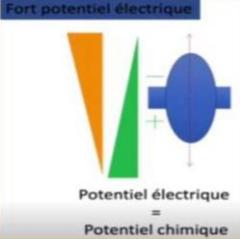
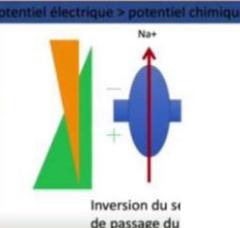
**Nernst** a eu le génie de mettre en équation **le potentiel électrique et le potentiel chimique**.

Il a démontré que **la somme des potentiels chimique et électrique était nulle**.

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

Donc le **potentiel chimique** d'une substance dissoute (*osmole électriquement chargée*) **équilibre** son **potentiel électrique**. +++

**Illustration de la relation de Nernst sur la membrane plasmique**

<p><b>1) PE = 0</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La membrane plasmique possède une <b>protéine transmembranaire</b> qui transporte du <b>sodium (Na<sup>+</sup>)</b> de haut en bas.</li> <li>• Le <b>potentiel électrique nul</b> (rectangle).</li> <li>• Le <b>potentiel chimique dicte</b> le transfert de haut en bas.</li> </ul>
<p><b>2) PE ≠ 0 mais faible</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• On exerce un <b>potentiel électrique</b> à l'aide d'un circuit extérieur.</li> <li>• On décide de mettre des <b>charges négatives en haut</b> et <b>positives en bas</b>.</li> <li>• On va <b>contrarier</b> le <b>flux de sodium</b> puisque les charges positives (en bas) vont repousser les cations (+).</li> </ul>
<p><b>3) Fort PE</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• On exerce un <b>potentiel électrique</b> encore plus fort, on va finir par <b>équilibrer le potentiel chimique</b> du sodium (= il y aura autant d'ions sodium qui vont passer de haut en bas que de bas en haut).</li> </ul>
<p><b>4) Potentiel électrique &gt; potentiel chimique</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• On peut même parvenir à <b>inverser</b> complètement le flux de sodium, c'est-à-dire <b>le faire progresser en sens inverse</b> de son <b>potentiel chimique</b> !</li> </ul>

Bon vous avez compris que 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<sup>+</sup>. Et on peut mesurer tout ça avec des **montages** ♥

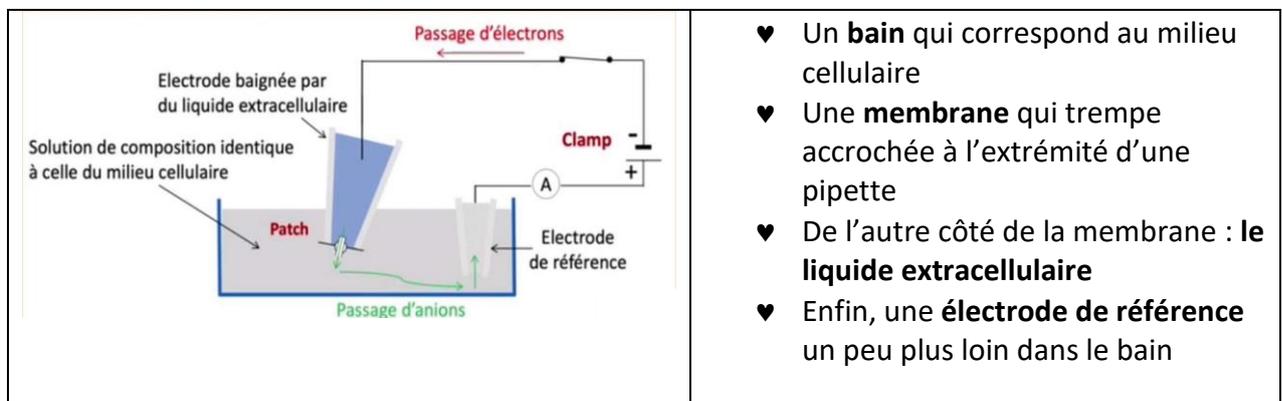
## II) Canaux ioniques

**Canaux ioniques** : Eléments **transmembranaires** qui permettent le passage d'osmoles chargées ou non à travers la membrane.

*Mais comment les a-t-on découverts ? Et bien on utilise des montages expérimentaux comme celui du patch-clamp (d'où l'intérêt de la partie I).*

Pour bien comprendre ce qu'est un canal ionique, nous prendrons l'exemple du **♥ canal sodique épithélial (ENaC) ♥** et nous verrons quels sont les intérêts de ces mesures en physiologie et en médecine.

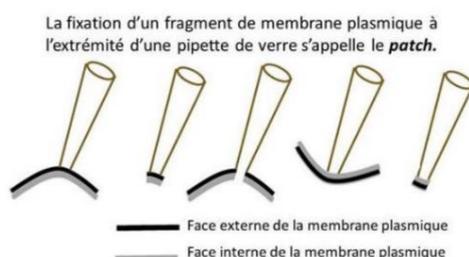
### Le patch-clamp



Entre la membrane patchée sur la pipette et l'électrode de référence, on peut observer le passage d'un **courant ionique osmotique**. Le **montage électrique** relie l'électrode de référence à l'électrode comportant la membrane. On va donc pouvoir étudier la **conductance** de la membrane et voir si l'on a des surprises...

On peut donc exercer des **voltages différents** sur le **système osmotique** pour mesurer l'**intensité** du courant dans le système. Ce montage et la maîtrise de cette technique ont valu un Prix Nobel de Physiologie et Médecine en 1991 à Neher et Sackmann.

Le **patch** désigne l'**adhésion d'un fragment de membrane plasmique** à l'**extrémité** d'une pipette de verre « microflure extrêmement **fine** ».



#### L'adhésion peut se réaliser de plusieurs manières :

- ♥ Face extérieure ou intérieure de la membrane
- ♥ Détachement ou non d'un morceau de la membrane
- ♥ On peut aussi éventuellement transpercer le premier feuillet pour aller patcher le deuxième feuillet de la membrane

La **loi d'Ohm** (partie I) nous indique que la facilité avec laquelle le courant va traverser notre système (= la **conductance**), est proportionnelle au **rapport de l'intensité sur le voltage**. +++

$$\frac{\text{Mesurée}}{\text{Clampé = imposé}} \frac{\text{Intensité}}{\text{Voltage}} = \text{Calculée} \text{ Conductance}$$

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

(ATTENTION à bien retenir qui est mesuré, calculé ou clampé = ça tombe souvent !!!)

La principale découverte par le **patch-clamp** est qu'il existe des **variations de conductance** qui révèlent la présence de **molécules transmembranaires** facilitant la diffusion des **osmoles** à travers les membranes biologiques. Donc 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 les conditions expérimentales dans lesquelles on se place.

*Et c'est logique ! Peu importe à quel point on force le PE rien ne passe ! C'est comme quand vous forcez sur la porte pour l'ouvrir mais qu'elle s'ouvre pas, c'est que quelque chose bloque : ou il fallait tirer la porte (la honte), ou c'est pas une porte (mdr là) ou encore elle est fermée à clef ! C'est pareil ici, les canaux sont fermés ou inexistantes : rien ne passe !*

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)

**ENaC** : Présent dans le poumon, le rein. C'est une **protéine transmembranaire** qui permet la diffusion facilitée du **sodium**. +++

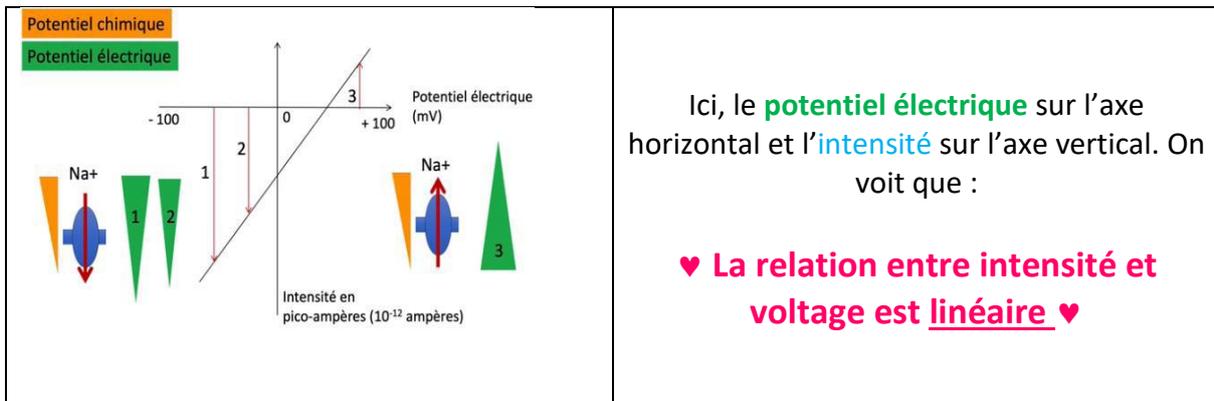
Mais que nous apprend la technique de patch-clamp sur le fonctionnement de ce canal ?

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

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

(Ça vous parle pas trop mais c'est très petit  $\approx 10^{-12}$ .)

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



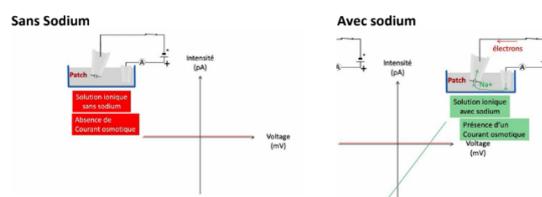
Ici, le **potentiel électrique** sur l'axe horizontal et l'**intensité** sur l'axe vertical. On voit que :

♥ La relation entre intensité et voltage est linéaire ♥

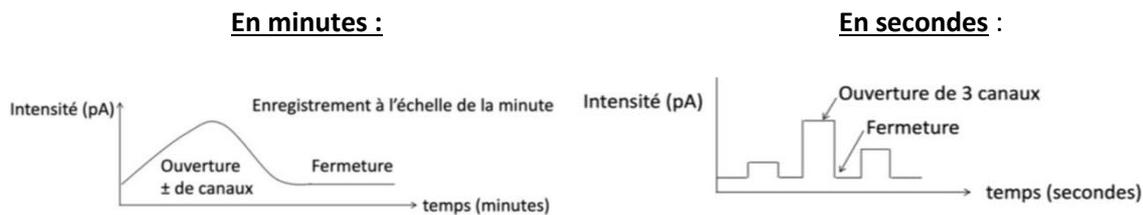
- ♥ Si l'on se place au niveau de **potentiels électriques** de **-100 mV** en bas, on a un passage de **sodium** dans le même sens que le veut le **potentiel chimique**. Le potentiel électrique **potentialise** ici l'effet du **potentiel chimique**.
- ♥ Si l'on baisse **un peu** le voltage, l'**intensité** du courant **diminue** car le **potentiel chimique** ne change **pas** mais le **potentiel électrique diminue**.
- ♥ Dans la dernière situation, si on inverse les choses en passant à une différence de potentiel électrique de **+100 mV**, à ce moment-là, le **sodium** passe en **sens inverse** de son **potentiel chimique**.

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. Ici on obtient 2 cas :

- ⇒ Si on prend une **solution ionique sans sodium**, même si on exerce la plus forte différence de potentiel électrique on n'aura **aucun** passage osmotique entre la pipette de patch et l'électrode de référence.
- ⇒ En revanche, si l'on se place dans une **solution ionique contenant du sodium**, on **retrouve la forme de la relation intensité-voltage** vue précédemment.



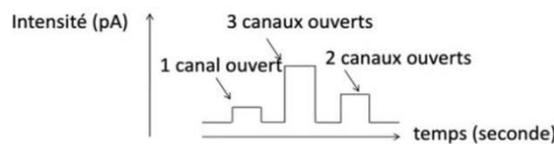
4- Si on fait des mesures sur des durées différentes on peut aussi obtenir plein d'infos :



Les canaux sont des molécules qui ont une durée de vie et des propriétés intrinsèques. Ainsi, lorsqu'on enregistre pendant une période assez prolongée, les variations d'intensité pour un potentiel électrique donné, on observe **des variations d'intensité dépendant de l'ouverture et de la fermeture des canaux.** +++

On observe **différents phénomènes** selon l'échelle de temps. En *minutes* on a le « tendance globale » alors que l'on est beaucoup plus précis avec *l'échelle en secondes* ; à tel point que l'on peut voir des *petits rehaussements*.

Chaque « **petit rehaussement** » de rectangle correspond à **l'ouverture d'un ou plusieurs canaux**. Autrement dit, plus le rectangle est haut, plus il y a de canaux ouverts :



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

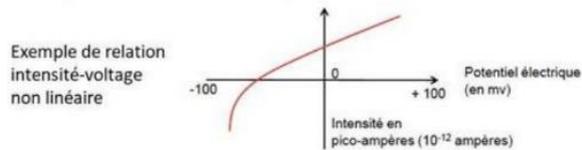
$$Probabilité\ d'ouverture = \frac{Temps\ d'ouverture}{Durée\ d'enregistrement}$$

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

Chaque canal va donc avoir une identité précise selon le système biologique qui sert à l'exprimer.

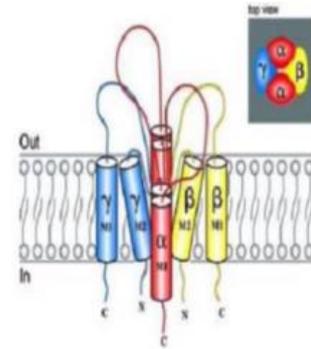
Pour notre exemple du **canal sodique épithélial** on aura (*à savoir*) : ++++++

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



Exemple d'un autre canal dont la relation intensité/voltage n'est pas linéaire. **Donc il possède des propriétés différentes de l'ENaC**

La **structure moléculaire du canal sodique épithélial**. Il est composé de sous-unités transmembranaires  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  réparties selon quatre dipôles. Cela constitue **un port moléculaire à travers lequel passe le sodium ++**



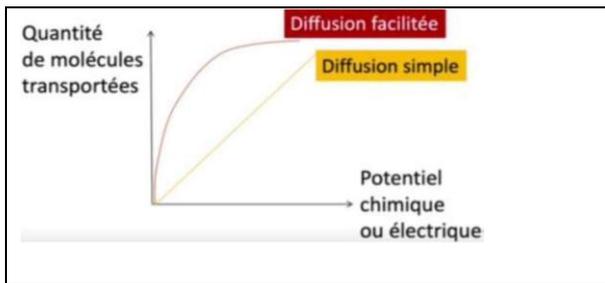
## Récap

- 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**.
- Il n'y a pas que des canaux, il y a aussi des **co-transporteurs et des échangeurs**, c'est-à-dire des **molécules transmembranaires qui vont asservir le passage d'une substance au passage dans le même sens ou dans le sens opposé d'une autre ou de plusieurs autres substances**. Ex : si le glucose doit passer à travers un co-transporteur avec le sodium, s'il n'y a pas de sodium, le glucose ne peut pas passer seul. Il a besoin du glucose pour passer.
- Certaines **molécules transmembranaires consommant de l'ATP** vont générer des potentiels chimiques ou électriques. Ces molécules sont appelées des **pompes**.

### III) Co-transporteurs, échangeurs et pompes

**Diffusion facilitée** : On rappelle qu'il s'agit du passage transmembranaire d'osmoles à l'aide d'un **transporteur moléculaire**. Les forces motrices sont les **potentiels chimiques** et **électriques**.

Par opposition, la **diffusion simple** ne fait **pas** intervenir de **transporteurs moléculaires**. Cette situation reste rare dans l'organisme.



La quantité de molécules transportées varie en fonction du **potentiel chimique et électrique** :

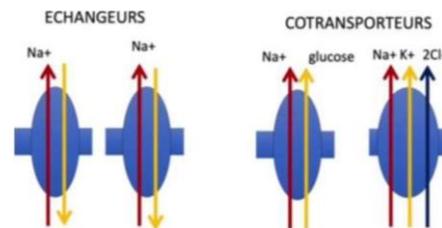
- Selon une relation **linéaire** en cas de diffusion **simple**.
- Selon une relation **exponentielle** dans le cas de la **diffusion facilitée**.

On observe une immense diversité de transporteurs, qui peuvent se combiner et rendre des échanges très complexes !

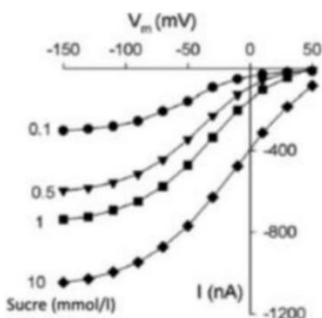
Il existe des **échangeurs** :  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  ou  $\text{Na}^+/\text{H}^+$   
 Et des **co-transporteurs** :  $\text{Na}^+/\text{glucose}$  ou  $\text{Na}^+/\text{K}^+/2\text{Cl}^-$ .

Voir même des **pompes** (ex : pompe à sodium)

Voyons un exemple de chaque.

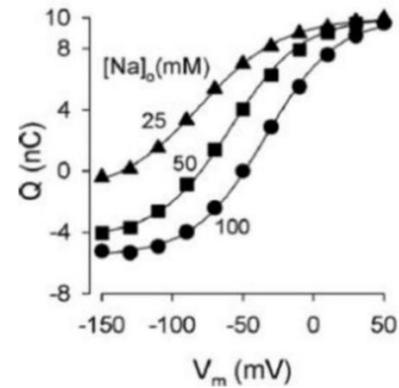


#### Co-transporteur sodium/glucose



- ♥ On a ici un tel co-transporteur. En fixant la concentration en  $\text{Na}^+$  (+ le voltage) et en augmentant la concentration de glucose, on remarque des **variations d'intensité de courant proportionnellement à l'augmentation** de la concentration de sucre.
- ♥ Autrement dit, on montre que la concentration de glucose a une influence sur le flux du co-transporteur représenté par l'intensité I
- ♥ Logique : **0 glucose = 0 transport = 0 flux = 0 intensité.**

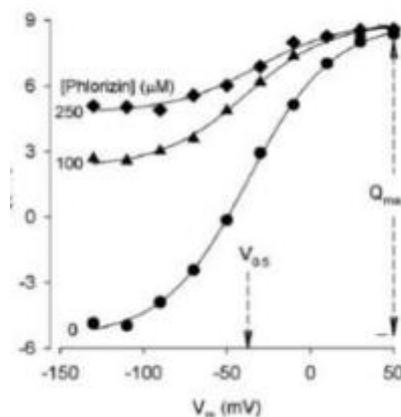
- ♥ A présent, on réalise l'expérience en **miroir** pour montrer que le **sodium** a, lui aussi, une **influence** sur **l'intensité électrique**.
- ♥ Ici, la concentration de sucre est constante et la concentration de sodium est croissante.
- ♥ Là encore, comme précédemment, on voit **l'intensité du courant augmenter à mesure que la concentration en sodium augmente**.
- ♥ Là encore la **concentration de Na<sup>+</sup> a une influence** sur le flux du co-transporteur représenté par **l'intensité I**.
- ♥ Plus encore, avec ces 2 expériences on montre **qu'on a besoin des 2 espèces pour avoir un échange parfait** ! C'est ça le **co-transporteur** ! On va échanger des espèces dans le **même sens** mais **il nous faut les 2 espèces pour fonctionner parfaitement ET les 2 vont dans le même sens +++**



Expérience avec les **inhibiteurs**, on peut également caractériser les inhibiteurs pharmacologiques du co-transporteur sodium/glucose en optimisant les concentrations de sucre et de sodium dans le bain dans lequel trempe la cellule dont la membrane comporte les co-transporteurs et en introduisant différentes molécules.

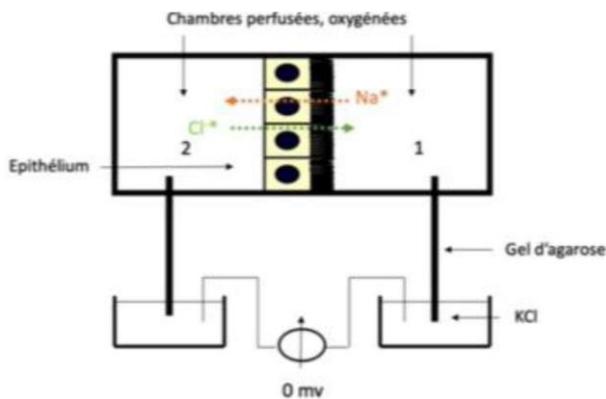
Ici, on introduit de la **phloorrhizine** (extrait de pépins de pomme). Cette **molécule va bloquer le co-transporteur sodium/glucose**.

→ En l'introduisant à 250 μmol/L, on n'a quasiment plus d'intensité de courant pour des potentiels très variables.



## Échangeur sodium-chlore

Ici nous avons le **montage des chambres de Hussing** :



On cale un **épithélium** entre deux rebords de la chambre, de sorte que quel que soit l'échange d'entités, il faille passer par la couche de cellules.

Evidemment on choisit des cellules particulières qui ne **possèdent que l'échangeur étudié**.

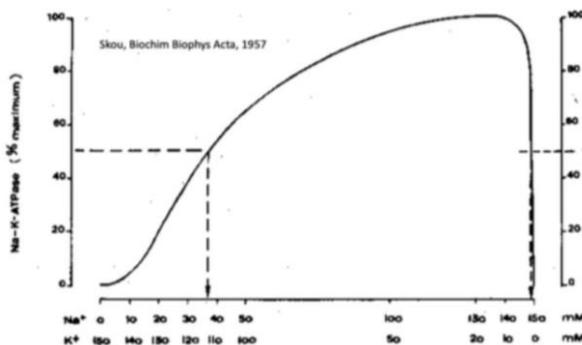
On **crée encore un PE** grâce à un dispositif externe. Si l'on détecte une intensité c'est qu'on a un échange et un flux

Ce dispositif ne fonctionne que pour les **échangeurs avec des entités chargées !**

**L'échangeur c'est presque comme un co-transporteur mais une espèce va dans un sens, alors que l'autre suit le sens opposé ! +++**

Un *inhibiteur pharmacologique*, **l'hydrochlorothiazide**, se fixe pour bloquer l'échangeur sodium/chlore.

### La pompe à sodium Na/K ATPase (transport **actif**)



Prise dans le papier original, la figure montre sur **l'axe vertical, l'activité ATPasique** de la pompe (de 0 à 100%) et sur **l'axe horizontal, on voit la quantité de sodium et de potassium**, (de 0 à 150 mmol de gauche à droite pour le sodium et vice-versa pour le potassium).

**S'il manque du sodium (extrême gauche) ou du potassium (extrême droite), l'activité ATPasique est nulle.**

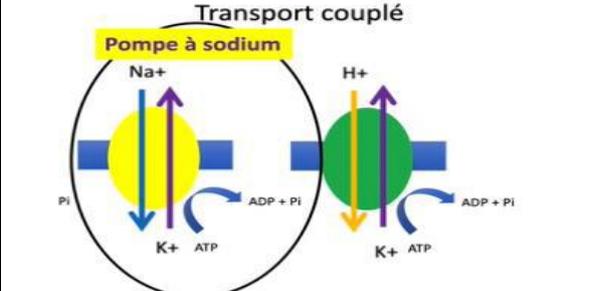
**En revanche, en présence d'une concentration optimale de sodium et de potassium, l'activité ATPasique est maximale.**

**L'ouabaine** est un inhibiteur pharmacologique de cette **pompe**.

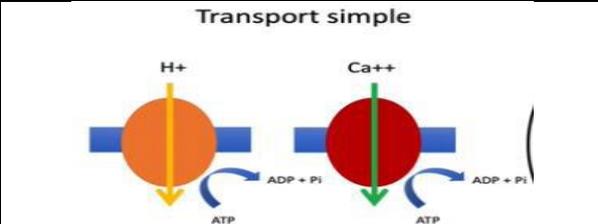
**La pompe à sodium distribue 3 sodiums en échange de 2 potassiums et en hydrolysant une molécule d'ATP ++++  
Elle fait sortir 3 Na<sup>+</sup> et rentrer 2 K<sup>+</sup>**

**Il n'existe que 4 pompes dans le corps humain :**

**2 couplées :**

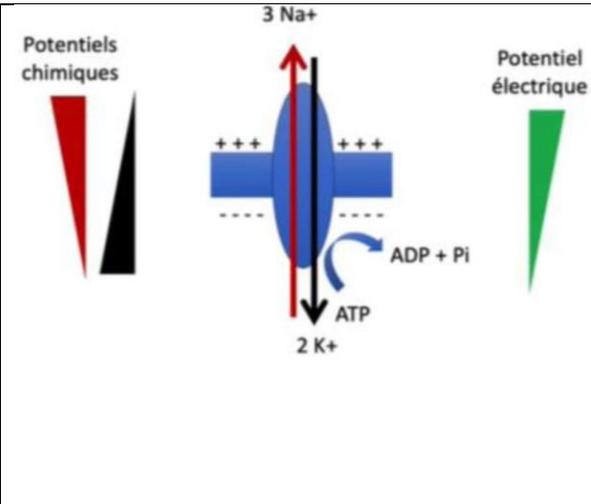
<ul style="list-style-type: none"> <li>♥ La <b>Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATPase</b> (= pompe à sodium)</li> <li>♥ La <b>H<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATPase</b></li> </ul>	
--	--

**2 simples :**

<ul style="list-style-type: none"> <li>♥ La <b>pompe à protons (H<sup>+</sup>)</b></li> <li>♥ La <b>pompe à calcium (Ca<sup>2+</sup>)</b></li> </ul>	
--	--

**Transport osmolaire actif et secondairement actif**

ATTENTION !!! Quand on parle de **pompes**, ce sont des **transports directement ACTIFS** car elles **consommant de l'ATP** (= Energie chimique) ! ++++

	<p><b>Transport osmolaire actif</b> : transport nécessitant une <b>pompe</b> et la consommation <b>directe d'ATP</b>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>♥ La <b>pompe à sodium</b> génère ici <b>2 potentiels chimiques opposés</b> pour le sodium et le potassium et <b>un potentiel électrique</b>.</li> <li>♥ Les transports de sodium et de potassium sont ici <b>actifs</b>.</li> </ul>
---	---

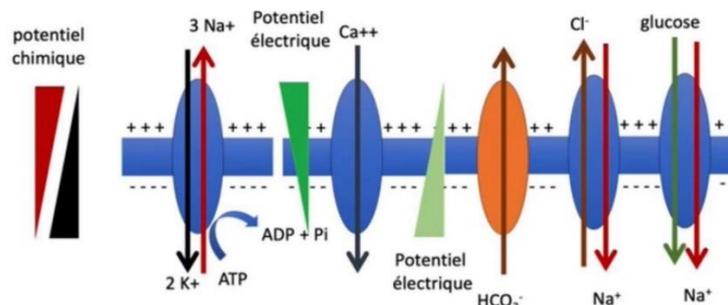
*Mais du coup il existe seulement 4 pompes ? Comment on fait pour le reste ?! Et bien ces 4 pompes vont utiliser l'énergie chimique de l'ATP pour la transformer en PC et PE, on convertit l'énergie afin de pouvoir l'utiliser différemment.*

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.** ++

Partons sur un exemple : **La pompe à sodium** (à gauche) a généré des **potentiels chimiques** et des **potentiels électriques** à partir d'**ATP** produit par la cellule.

Ces potentiels vont permettre plein d'autres **échanges osmotaires secondairement actifs** :

- ♥ Pour le  $\text{Ca}^{2+}$ , celui-ci va **fuir les charges +** du  $\text{Na}^+$ . Donc il va avoir tendance à passer de haut en bas grâce au **PE** créé par la pompe !
- ♥ Le bicarbonate ( $\text{HCO}_3^-$ ) va passer de bas en haut, **fuyant les charges négatives** (toujours selon le **potentiel électrique**).
- ♥ Un peu plus compliqué : Si on prend l'échangeur sodium-chlorure, le **sodium** va passer de haut en bas selon son **PE** mais **surtout son PC** ! Le **chlorure**, passera lui en sens inverse (de bas en haut) **chassé** par son **PE**.
- ♥ Si l'on prend le cas du co-transporteur sodium/glucose, le **sodium** passe toujours de haut en bas selon son **PC** et le **glucose** dont le passage est **asservi à celui du sodium le suit**.



Si l'on regarde différemment les choses, seules les pompes ont un moteur ! Mais elles vont aider tous les autres transporteurs !



## 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.

**!! Attention QCM !!**

On dit dans le cours que les transporteurs couples s'arrêtaient complètement de fonctionner s'il manquait une des espèces transportées. C'est texto du prof.

**MAIS** en QCM il faut compter **VRAI** les items :

- "Un transporteur couplé s'arrête complètement s'il manque une des espèces transportées"
- "Un transporteur couplé fonctionne moins bien s'il manque une des espèces transportées"

**Il suffit qu'il y ait la notion de baisse d'efficacité !**

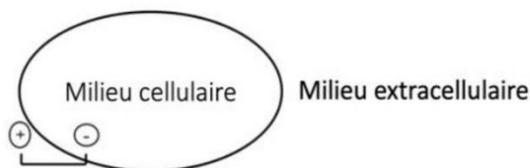
**IV) Potentiel de repos****Composition ionique des milieux cellulaire et extracellulaire**

On remarque que les principaux constituants du milieu extracellulaire : **sodium, potassium et chlorure** ont une répartition asymétrique par rapport au cytoplasme ! (N'apprenez PAS les données) :

	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

**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** ++++ !

C'est ça le **potentiel de repos**.

Ce potentiel transmembranaire est extrêmement **variable** d'une cellule à l'autre et est dépendant du type cellulaire. ++

**Pompe à sodium et courants de fuite**

Milieu extracellulaire

Milieu cellulaire

3 Na<sup>+</sup>

2 K<sup>+</sup>

ATP → ADP + Pi

La pompe à sodium a une stœchiométrie de 3/2. Elle mesure le passage de 3 ions sodium vers l'extérieur et de 2 ions potassium vers l'intérieur de la cellule à chaque fois qu'elle hydrolyse une molécule d'ATP.

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

♥ Rappel ♥

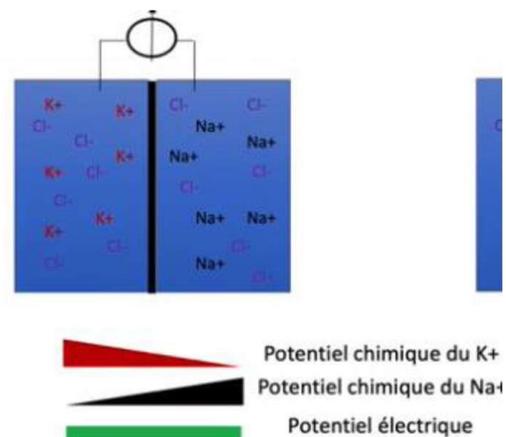
**la pompe à sodium assure une asymétrie de répartition du sodium et du potassium** puisqu'elle a une stœchiométrie de 3/2 c'est-à-dire qu'elle mesure le passage de **3 ions sodium vers l'extérieur** et de **2 ions potassium vers l'intérieur** de la cellule à chaque fois qu'elle **hydrolyse une molécule d'ATP**. ☆

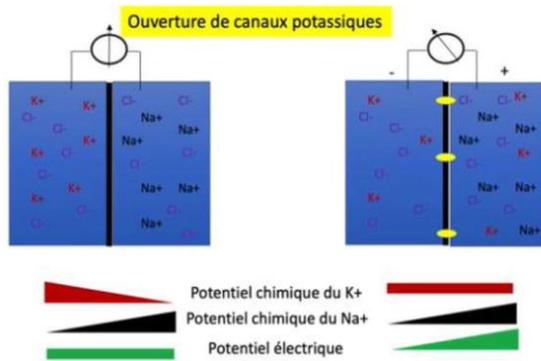
**On considère maintenant 2 compartiments séparés par une membrane :**

- Un **compartiment intracellulaire** fait de **chlorure de potassium (KCl)**
- Un **compartiment extracellulaire** fait de **chlorure de sodium (NaCl)**

Donc avec une **asymétrie K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>** aussi. On fait une modélisation quoi !

1) On voit **qu'au départ**, il n'y a **pas de potentiel électrique**. En revanche, **on a un potentiel chimique de même force** mais de **sens opposé** pour le sodium et le potassium. **Les canaux sont bien fermés**.

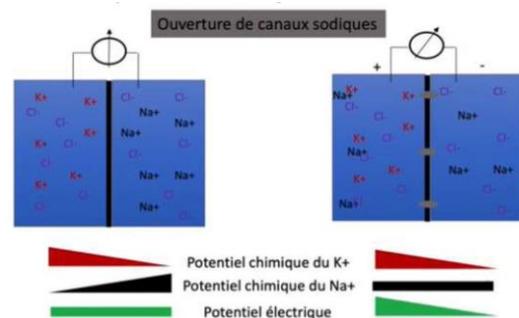




2) Si **l'on ouvre des canaux potassiques** sur la membrane qui sépare ces deux compartiments, on va observer le **passage du potassium selon son potentiel chimique**. Le PC du sodium ne va pas bouger mais **le PC du potassium, lui, va disparaître**.

Or, d'un coup on se retrouve à avoir 100% de  $\text{Na}^+$  et une partie du  $\text{K}^+$  (*chassée par son PC*) dans un même compartiment ! Il y a donc une **asymétrie de charges ! +++**

3) Si l'on fait la même chose avec des canaux sodiques, le **phénomène inverse se produit** : le **sodium équilibre sa concentration par diffusion entre les deux milieux** générant ainsi un **potentiel électrique**. Il annule presque son potentiel chimique sans modifier le potentiel chimique du potassium !



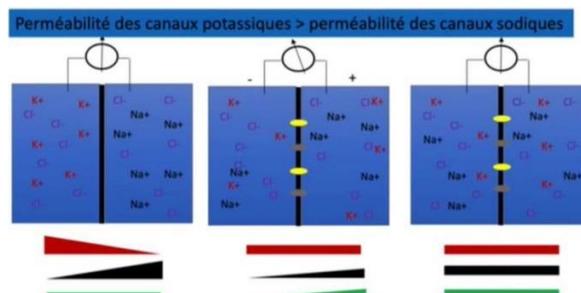
*Bon nickel on arrive à créer un PE simplement en fermant un canal et avec une asymétrie de concentration ! Mais comment ça se passe dedans les gens ?*

Dans l'organisme, les canaux  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$  ont une **perméabilité différente** :

♥ **La perméabilité des canaux potassiques est supérieure à celle des canaux sodiques** ♥

Ici on observera un **passage plus abondant** de charges de gauche à droite que de droite à gauche, générant ainsi une **asymétrie de composition des milieux** et un **PE**.

Dans un système inerte, les potentiels disparaissent au bout d'un certain temps puisqu'il s'agit d'une différence de perméabilité donc d'une différence de vitesse de passage ionique. Autrement dit, on arrive à une situation instable et transitoire qui vise le minimum d'énergie càd un PC et un PE minimaux !



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 ! +++

Toutefois dans l'organisme, on est loin d'une situation inerte ! On a **pleins de pompes** qui maintiennent un PC.

Dans l'organisme, **l'activité permanente des pompes à sodium** sur les cellules **entretient** cette **différence de répartition ionique**. Mais c'est la **présence de canaux sodiques moins perméables que les canaux potassiques qui assure un bilan de charges, un potentiel électrique**.

Donc les **membranes plasmiques** se retrouvent **polarisées positivement** sur leur **feuillet extracellulaire** et **négativement** sur le **feuillet intra-cellulaire**+++++

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

## Récap

**Le potentiel de repos est expliqué par 2 choses ++++ : (bien faire la différence entre générer/créer et entretenir)**

1. La **perméabilité inégale** des canaux sodiques et potassiques va **générer** un **potentiel électrique de repos**.
2. Et la **pompe Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> ATPase et son activité permanente** sur la membrane plasmique vont **entretenir** 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 évidemment) !

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 !

	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
<b>Bilan de charges</b>	<b>nul</b>	<b>nul</b>

Les milieux cellulaire et extracellulaire sont considérés comme électriquement neutres.

C'est-à-dire que la somme des cations et la somme des anions dans chacun des milieux cellulaire et extracellulaire est nulle.

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.

Les propriétés électriques des cellules déterminent le rythme cardiaque et la transmission des signaux neuronaux (revu plus tard).

Fin de cette longue Fiche. Bravo à toi !! ☆

Si vous avez des questions ou un pb n'hésitez-pas !!

*« Tout est possible du moment qu'on a assez de cran »*

Harry Potter et L'ordre du Phoenix, Ginny Weasley

Ayez le cran de croire en vous, continuez de travailler et de rêver, vous pouvez y arriver ♥



Toi quand tu as **TOUT** compris sur le cours PE ♥