

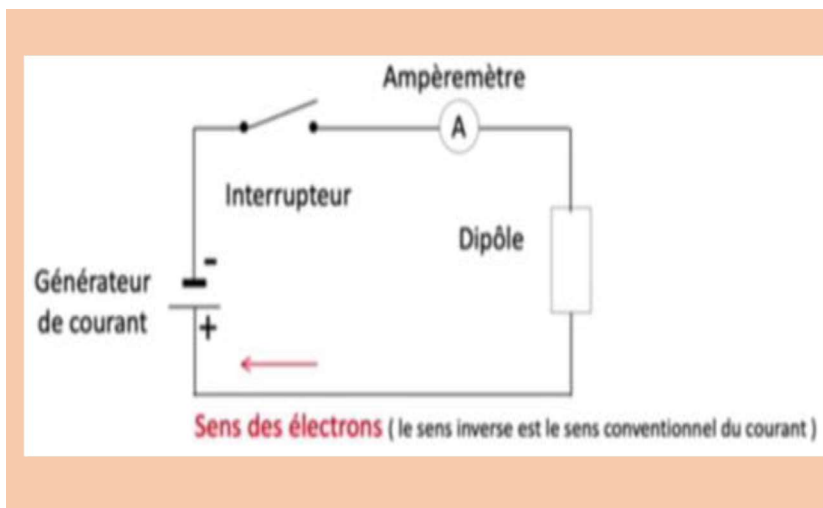
Potentiel électrique

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. Oui on va mélanger PC et PE ☺ De plus, j'ai décidé de laisser certaines phrases textos du prof pour vous habituer à la formulation *originale*.

I- Potentiel électrique

A- Courants électriques et osmotiques :

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

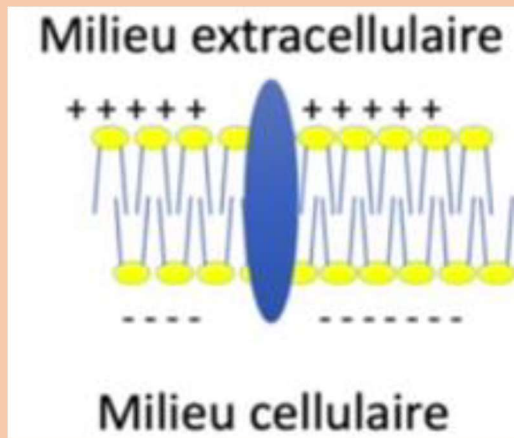


- Un **générateur** de courant délivre un potentiel électrique.
- Un **dipôle** correspond à n'importe quel appareil électrique (Ex. ampoule) qui va « consommer » de l'électricité.
- Un **ampèremètre** enregistre l'intensité du courant.

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

Remarque : En physiologie, les ampèremètres doivent détecter des courants infiniment petits. Dans ce cas, on les appelle alors des **galvanomètres** qui sont des ampèremètres **ultrasensibles**. Leur nom vient de Galvani qui a montré, en premier, la présence d'électricité dans le corps des animaux à l'aide de grenouilles (Kultur G donc à avoir vu simplement).

Maintenant comparons avec un courant osmotique :

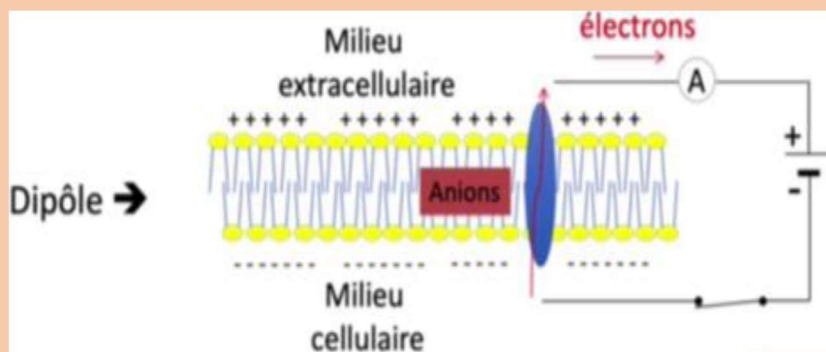


- La **membrane plasmique** constitue un **dipôle** avec ses protéines transmembranaires.
- On a une répartition des charges qui est **positive** vers le milieu **extracellulaire** et **négative** vers le milieu **cellulaire**.

Mnémono : intra le i c'est un – debout et extra le x c'est un + sur le coté 😊

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.



On a alors :

- Un **générateur externe**.
- Un **dipôle**, constitué par la membrane plasmique.
- Un **galvanomètre** pour collecter les données.

Remarque : 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 généré 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 !

B- 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 **opposées** prédominent : le + va vers le – et inversement ^^.

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

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

Récap' de def on a dit trop de trucs :

	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

Par ♥ ça hein !

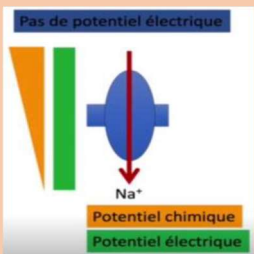
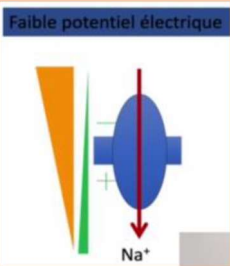
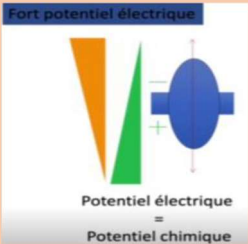
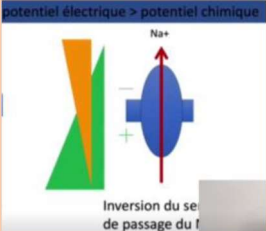
C- Application et la relation de Nernst (Nobel de 1920) :

Nernst a eu le génie de mettre en équation le potentiel électrique et le potentiel chimique. Il a démontré que :

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

Donc le potentiel chimique d'une substance dissoute (osmole électriquement chargée) équilibre son potentiel électrique. Evidemment la version originale non-simplifiée thermodynamique est insane mais simplifions pitié :

Prenons 4 exemples pour bien comprendre :

<p>1) PE = 0</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 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.
<p>2) PE $\neq 0$ mais faible</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 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 (+).
<p>3) PE moyen</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 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).
<p>4) PE fort</p> 	<ul style="list-style-type: none"> 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 !

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^+ . Et on peut mesurer tout ça avec des montages qu'on va voir de suite !

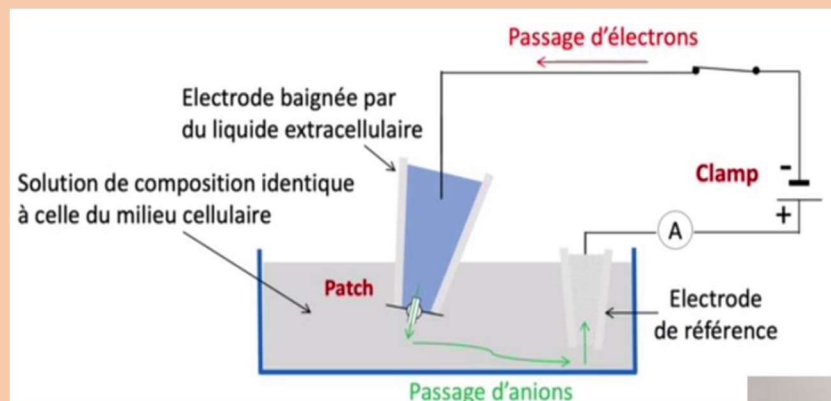
II- Canaux ioniques

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

Mais comment les a-t-on découverts ? Eh 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 = Epithelial Sodium Canal) et nous verrons quels sont les intérêts de ces mesures en physiologie et en médecine.

A- Le patch-clamp :



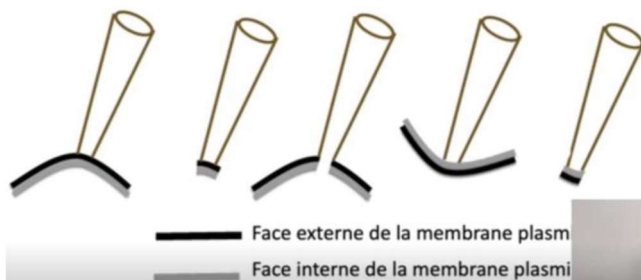
- Un **bain** qui correspond au milieu **cellulaire**.
- Une **membrane** accrochée au bout d'une **pipette**.
- De l'autre côté de la membrane : le **liquide extracellulaire**.
- Enfin une **électrode de référence** un peu plus loin dans le bain.

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...

Remarque : 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. GG les gars, surtout que la technique a permis de mettre en évidence un tas de trucs fondamentaux ☺ [Cette année c'est pour les mécanismes des récepteurs tactiles et thermiques qui fonctionnent aussi avec des canaux !].

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



Cette adhésion peut se réaliser de **plusieurs manières** (face extérieure ou intérieure, détachement ou non d'un morceau de membrane ou encore transperçure éventuelle du premier feuillet de la membrane pour aller patcher le deuxième feuillet voire même arracher un morceau...).

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 (oui encore).

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

- 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).

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, feuillets 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.

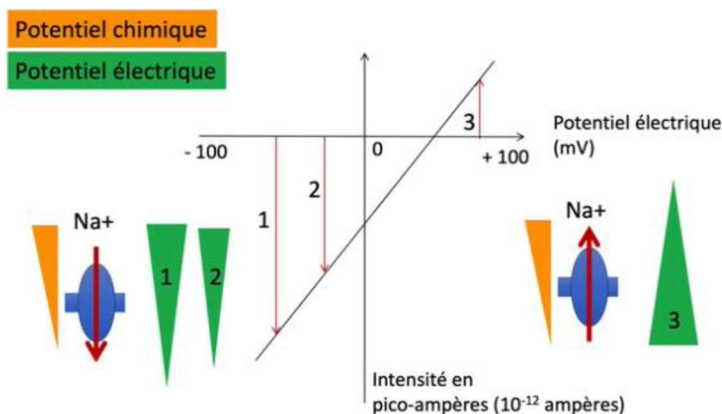
B- Propriétés électriques du canal sodique épithélial (ENaC) :

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)).

$$\frac{\text{Intensité}}{\text{Voltage}} = \text{Conductance} = 4 \text{ pS. (Ça vous parle pas trop mais c'est très petit } \sim 10^{-12}.)$$
- 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.

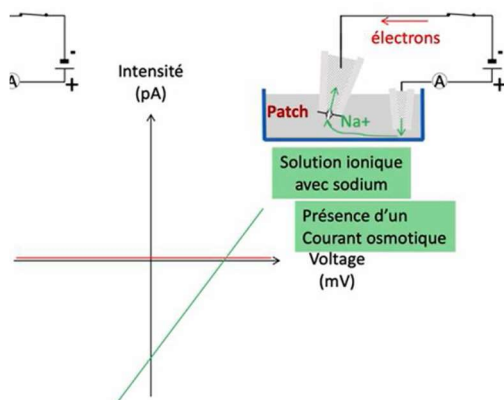
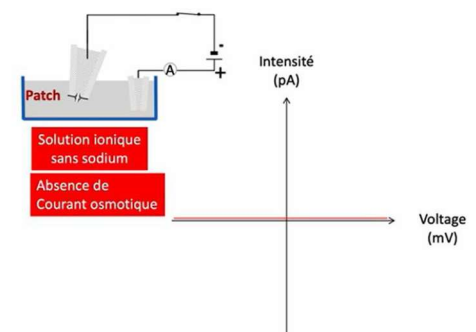
- 1 : Si l'on se place au niveau de potentiels électriques de -100 mV en bas, on a un passage du sodium dans le même sens que le veut le potentiel chimique. Le potentiel électrique potentialise ici l'effet du potentiel chimique.

- 2 : 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.

- 3 : Dans la dernière situation, si on inverse les choses en passant à une différence de potentiel électrique de $+100 \text{ mV}$, 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 :

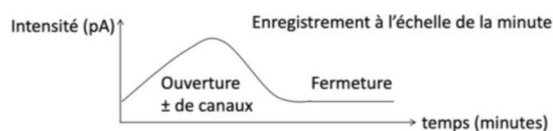
- Si on prend une solution ionique sans sodium, même si on exerce la plus forte différence de potentiel électrique on n'aura aucun passage osmotique entre la pipette de patch et l'électrode de référence.



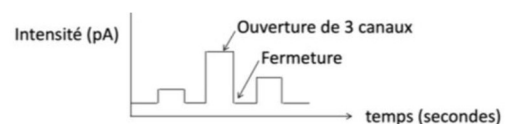
- En revanche, si l'on se place dans une solution ionique contenant du sodium, on retrouve la forme de la relation intensité-voltage vue précédemment.

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

- En minutes :

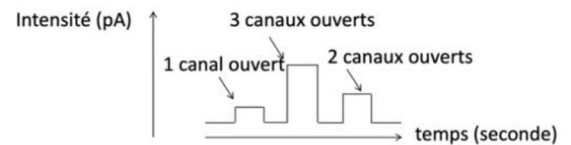


- En secondes :



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 seconde ; 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.

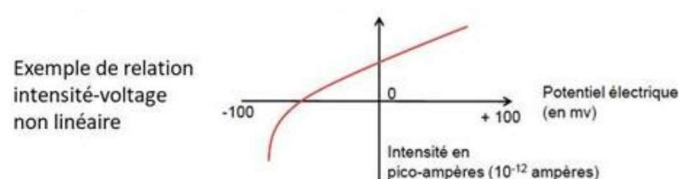
$$\text{Probabilité d'ouverture} = \frac{\text{Temps d'ouverture}}{\text{Durée d'enregistrement}}$$

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

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

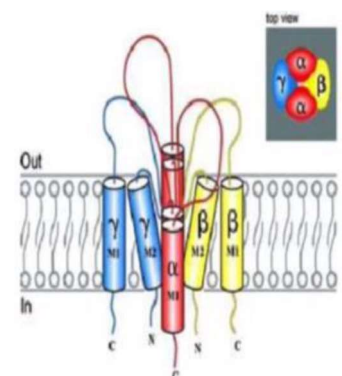
	Relation intensité-voltage	Sélectivité ionique	Conductance pour le sodium	Durée d'ouverture	Probabilité d'ouverture
Canal sodique épithélial	Linéaire	Sodium (+ très peu de Lithium)	4 à 5 pS	1 seconde	0.5

Un exemple d'une relation intensité/voltage non linéaire



Remarque : Pour les plus curieux le prof a approfondi la structure du canal :

« Une fois que l'on a caractérisé les propriétés biophysiques et que l'on a identifié un canal, on cherche à en connaître la structure moléculaire. Voici la structure moléculaire du canal sodique épithélial (clonée par l'équipe de Bernard Rossier à Lausanne en 1993). Il s'agit de sous-unités transmembranaires : α , β , γ réparties par deux selon quatre dipôles qui constituent un port moléculaire à travers lequel passe le sodium. »



Ok mais ça sert à quoi tout ça en fait ?

« • L'intérêt est de comprendre comment se passe la diffusion facilitée à travers les membranes plasmiques : il y a des canaux ioniques pour le sodium, des canaux ioniques pour des substances non électriquement chargées comme le glucose ou encore l'eau (aquaporines).

• Ces canaux sont des cibles thérapeutiques. Vous voyez ça en +++ en pharmaco ! Un exemple ? → le canal sodique épithélial est inhibé par l'amiloride qui est un médicament diurétique que l'on utilise pour traiter les œdèmes et les épanchements.

• La compréhension de la régulation du canal ENaC permet de comprendre pourquoi il y a des hypers ou des hypotensions artérielles en cas de mutation du gène codant pour le canal ENaC.

• Certains canaux cationiques non-sélectifs sont des capteurs de pression mécanique. Ils vont être à l'origine de la régulation artérielle, de la perception de la position des membres (proprioception) et du sens du toucher : Encore une fois Nobel 2021 de Physio ou Médecine avec le point suivant aussi 😊

• D'autres canaux cationiques non-sélectifs sont des capteurs de température qui vont influencer sur la régulation de la température corporelle, les réactions d'évitement...

• Des canaux sodiques et potassiques sont présents sur les cardiomyocytes et les cellules nodales à l'intérieur du cœur et déterminent le rythme cardiaque, des médicaments qui ciblent ces canaux sont des médicaments anti-arythmiques. Et ça on le revoie dans mon autre fiche ^^ » !

Le Pr veut juste vous montrer que la communication cellulaire et l'homéostasie de l'organisme repose sur des mécanismes complexes de régulation des canaux ioniques et, plus généralement, des transporteurs moléculaires !

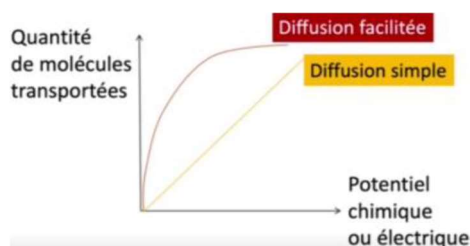
Récap' :

- 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 ♥)
- 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.
(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).
- 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 :

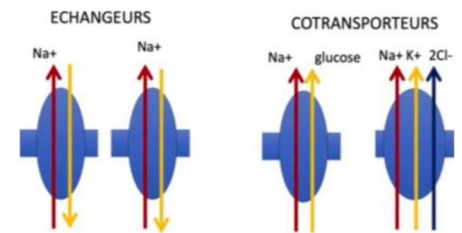
- Selon une relation **linéaire** en cas de diffusion **simple**.
- Selon une relation **exponentielle** dans le cas de la **diffusion facilitée**.

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

Il existe des **échangeurs** : Na^+/Cl^- ou Na^+/H^+ .

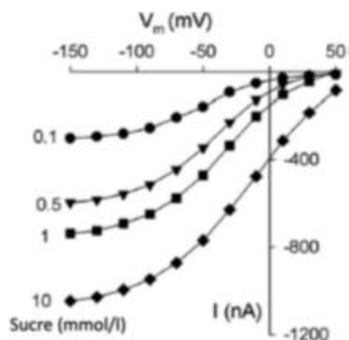
Et des **co-transporteurs** : $\text{Na}^+/\text{glucose}$ ou $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{2Cl}^-$.

Voire même des **pompes**.



Voyons un exemple de chaque.

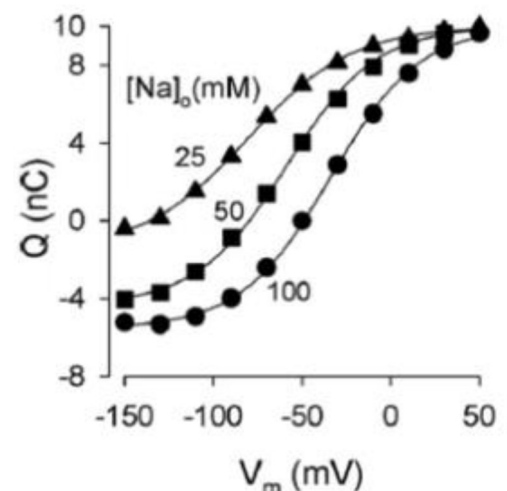
A- Co-transporteur sodium/glucose :

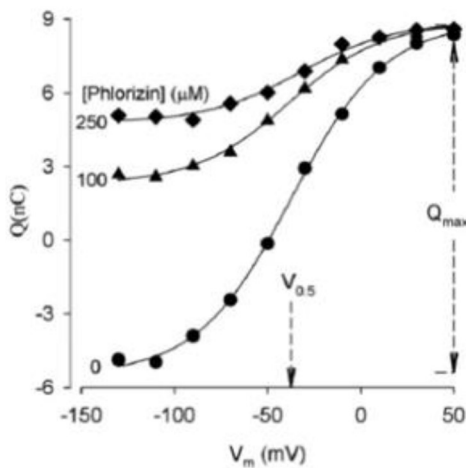


- On a ici un tel co-transporteur. En fixant la concentration en Na^+ (+ le voltage), et en **augmentant la concentration de glucose**, on remarque des variations d'intensité de courant **proportionnellement** à l'augmentation de la concentration de sucre.

- 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^+ 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 espèces dans le **même** sens mais il nous faut les 2 espèces pour fonctionner parfaitement !

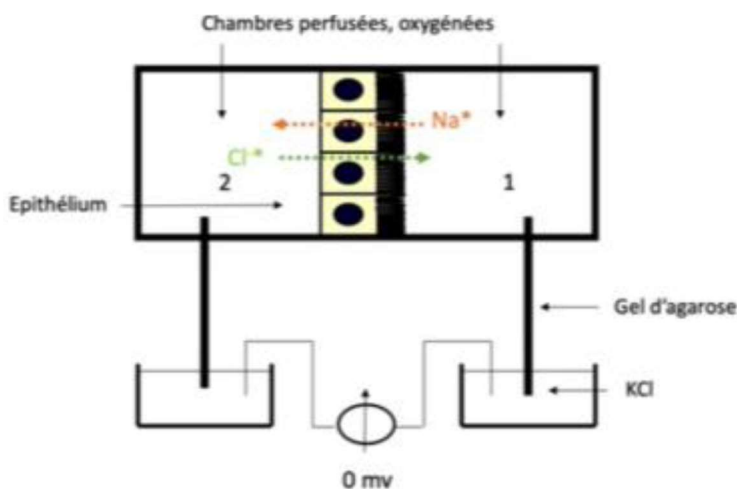




- On peut même essayer de trouver des **inhibiteurs** pharmacologiques.
- On met une concentration optimale de glucose et de Na^+ et on rajoute des molécules candidates. Si d'un coup l'on n'a plus rien, c'est gagné !
- Ici, on introduit de la phlorizine (extrait de pépins de pomme). Cette molécule va **inhiber** le co-transporteur sodium/glucose.

B- Echangeur sodium/chlore :

Ici nous avons le montage des chambres de Hüssing (le prof ne s'étend pas du tout dessus mais voilà le schéma et des compléments) :



On cale un épithélium dans une 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 (on le répète et si vous voulez un récap n'hésitez pas).

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

« Si l'on veut étudier un échangeur électroneutre, on peut avoir recours à la mesure de la radioactivité dans la composition des chambres 1 et 2. »

Le prof veut juste dire ici que l'on peut adapter le dispositif avec des espèces marquées à l'aide de la **radioactivité** 😊

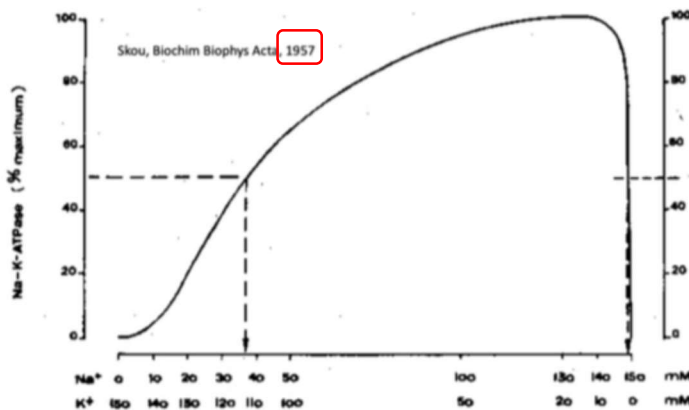
In fine, l'échangeur c'est presque comme un co-transporteur sauf qu'une espèce va dans un sens, alors que l'autre suit le sens **opposé** !

Remarque : L'échangeur sodium/chlorure a été décrit en 2009. Et il s'agit d'un système à plusieurs segments transmembranaires reliés par des boucles extra et intra-cellulaire.

Remarque bis : On peut précisément déterminer à quel endroit le sodium ou le chlorure traverse cette structure. Et on peut également aisément déterminer à quel endroit un inhibiteur pharmacologique, ici l'hydrochlorothiazide, se fixe pour bloquer l'échangeur sodium chlorure !

C- La pompe à sodium :

Sa description a eu lieu en 1957 et Jens Skou fut récompensé par un Prix Nobel pour cette description 40 ans plus tard en 1997 ! (Soyez patients en sciences et même en physio, c'est pas facile au début mais beaucoup de cours se recoupent vous inquiétez pas)



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).

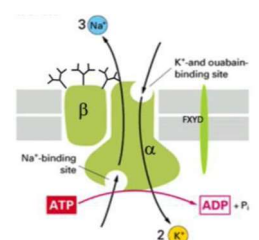
S'il manque du sodium (extrême gauche) ou du potassium (extrême droite), l'activité ATPasique est nulle.

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

La pompe à sodium fait sortir 3 sodiums en échange de 2 potassiums vers l'intérieur de la cellule en hydrolysant une molécule d'ATP.

Remarque : L'ouabaïne est un inhibiteur pharmacologique de cette pompe.

La structure cristalline de la pompe à sodium a été décrite 10 ans après le Prix Nobel, en 2007 : on sait que la pompe à sodium comporte 3 sous-unités : α , β et FXYD.



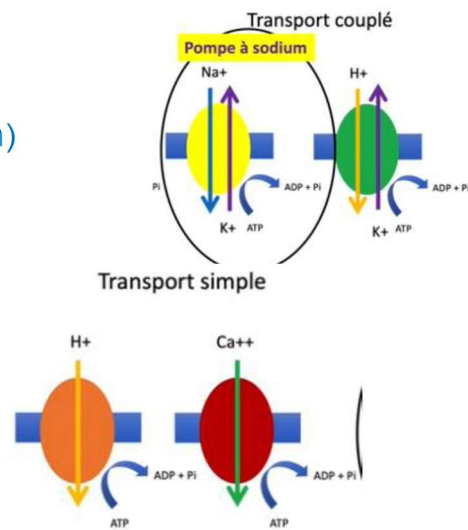
Il n'existe que 4 pompes dans le corps humain (pour le moment ?) :

➤ 2 couplées :

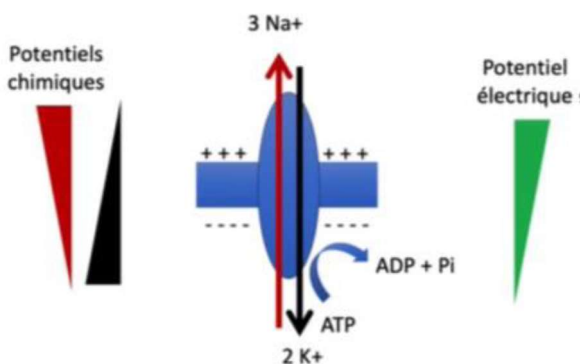
- La Na^+/K^+ ATPase (= pompe à sodium)
- La H^+/K^+ ATPase

➤ 2 simples :

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



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



- **Transport osmolaire actif** : Transport nécessitant une pompe et la consommation directe d'ATP.
- On génère ici 2 potentiels chimiques opposés pour les 2 espèces et 1 potentiel électrique.
- Les transports de sodium et de potassium sont ici **actifs**.

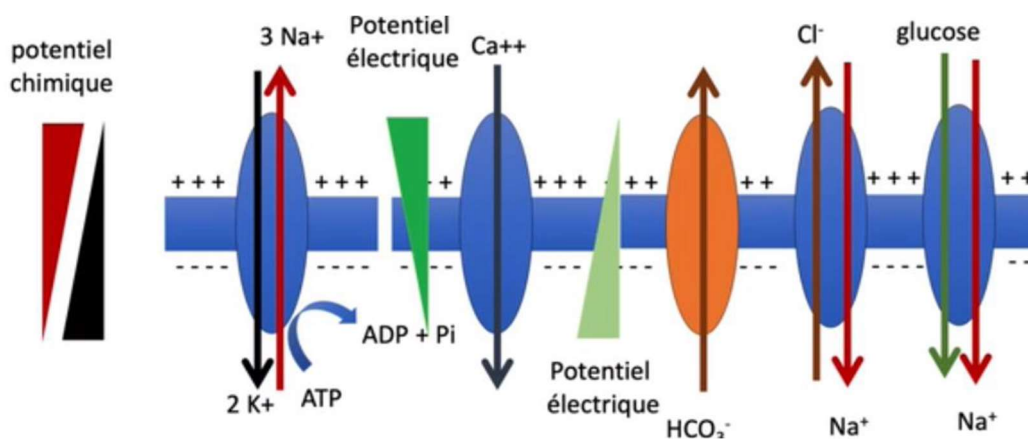
Mais du coup il existe seulement 4 pompes ? Comment on fait pour le reste ? ! Et bien ces 4 pompes vont utiliser l'énergie chimique de l'ATP pour la transformer en PC et PE, on convertit l'énergie afin de pouvoir l'utiliser différemment.

C'est ensuite la présence d'autres molécules de transports (canaux, co-transporteurs ou échangeurs) qui va permettre des transports osmotiques **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 :

- Pour le Ca^{2+} , celui-ci va **fuir les charges +** du Na^+ . Donc il va avoir tendance à passer de haut en bas grâce au PE créé par la pompe !
- Le bicarbonate (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**.



Remarque : 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.



Point important ERRATUM :

J'ai dit à la TTR que les transporteurs couplés 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 ! **Confirmé par le prof** « on jouera pas sur les mots ici hein »

Néanmoins nous demanderons au Professeur dès que le cours sortira !

Encore désolé le cheval à bascule est une image fausse pour les QCM 😞

IV- Potentiel de repos

A- Composition ionique des milieux cellulaire et extracellulaire :

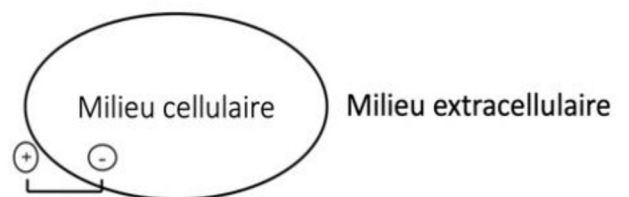
On remarque que les principaux constituants du milieu extracellulaire : sodium, potassium et chlorure ont une répartition asymétrique par rapport au cytoplasme ! (N'apprenez PAS les données exactes ouf) :

	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

B- Polarité électrique de la membrane plasmique :

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.

Potentiel transmembranaire mesuré - 80 mv

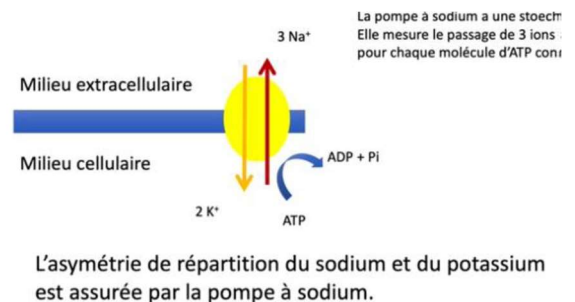


Remarque : Ce potentiel transmembranaire est extrêmement variable d'une cellule à l'autre et est dépendant du type cellulaire.

Ok mais quel rapport ? Tu balances 2 parties aussi hors-sujet que les QCM de pharmacie mek ☹ ! Oui oui pardon ça arrive !

C- Pompe à sodium et courants de fuite :

Rappelons que 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.

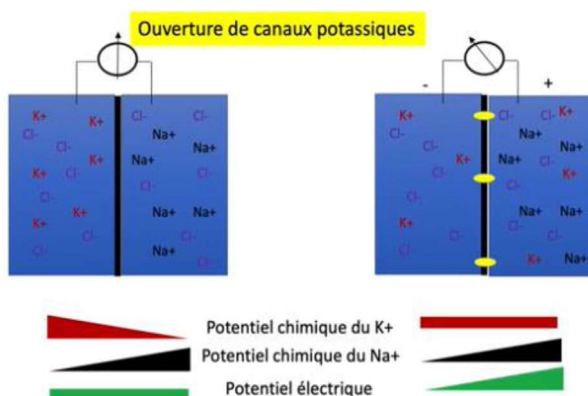
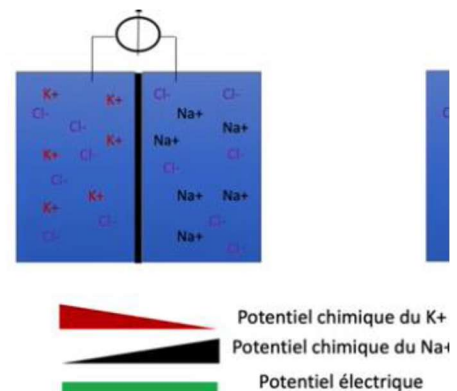


On considère maintenant 2 compartiments séparés par une membrane :

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

Donc avec une asymétrie K^+/Na^+ aussi. On fait une modélisation quoi !

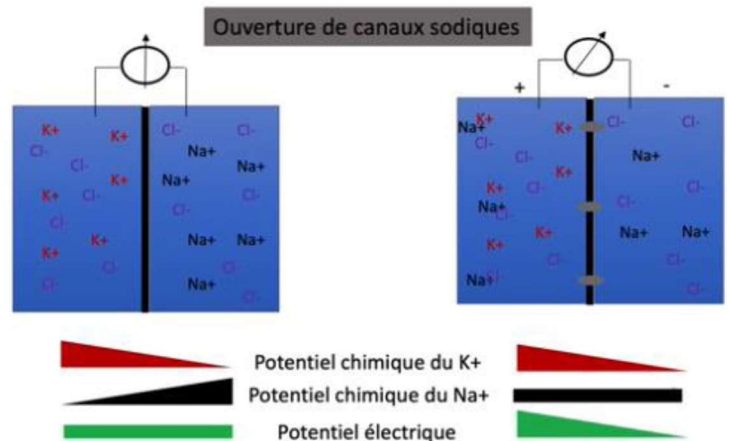
1) On voit qu'au **départ**, il n'y a **pas** de potentiel électrique. En revanche, on a un potentiel chimique de **même force mais de sens opposé** pour le sodium et le potassium. Les canaux sont bien fermés.



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% du Na^+ et une partie du 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.



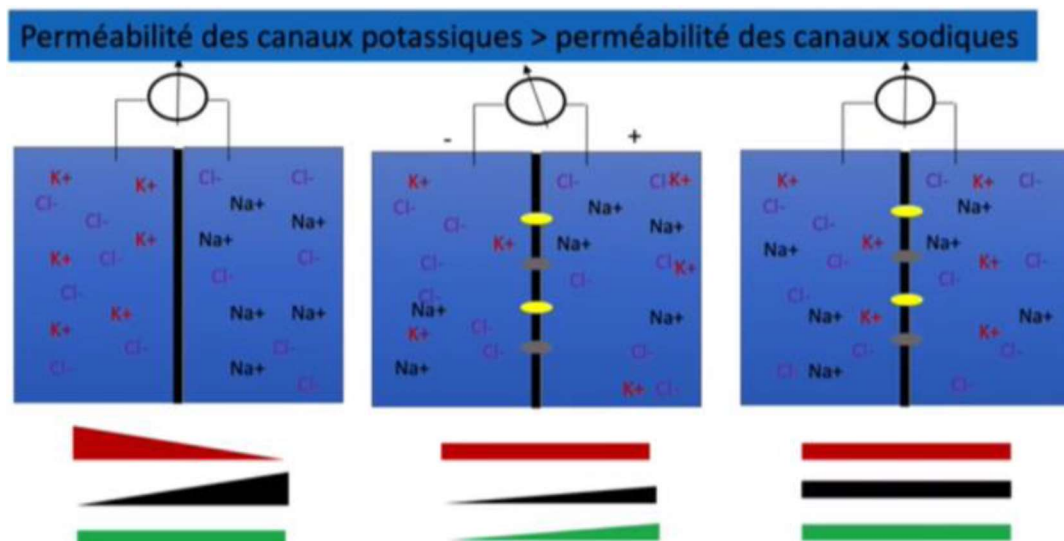
Bon nickel on arrive à créer un PE simplement en fermant un canal et avec une asymétrie de concentration ! Mais comment ça se passe dedans les gens ?

Dans l'organisme, les canaux K^+ et 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 : un PC et un PE minimaux !



Remarque : Pour citer mon vieux de biophysio' « 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 plein 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.

EXTRA = +
INTRA = -

Remarque : 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 !

Recap' :

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. Et la **pompe** Na^+/K^+ -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) !

J'ai eu BEAUCOUP de posts dessus, n'hésitez pas à jeter un coup d'œil ! En plus j'ai fait un post « sujets récurrents » à côté du CT, où j'ai regroupé les sujets clés !

Remarque : 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 ⁺	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

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.

Récap' :

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.

Dédi à ceux qui bossent comme des tarés dès août, c'est dur mais il vous faut juste tenir, la tempête finit toujours par passer ♥

Dédi à mes co-tuts encore !

Dédi au tut c'est tellement dingue :D

Dédi à mon chat (encore)

Des bisous a+ les B(L)G et surtout courage ça va commencer à être dur dur ☹