Potentiel éléctrique

Salut les jeunes, nouveaux cours de la très goatesque physio aujourd'hui, dans la continuité des cours sur les potentiels, celui là est très sympa, encore une fois n'oubliez pas que la physiologie c'est avant tout de la compréhension, on n'apprend jamais rien bêtement dans cette matière !

n'oubliez pas de prendre du recul sur la P1 soyez curieux et aimez ce que vous faites, ça passera plus vite, on garde le sourire et on mange bien, dort bien avec un peu de sport pour rester à son prime.

on se lance dans le cours force et honneur n'oubliez pas de vous mettre en lau (c'est important)



Le baiser, Gustav Klimt, 1908-1909

I. Potentiel éléctrique :

je vous laisse l'intro qu'avait rédigé mon bon vieux opiacédric que je trouve très pertinente :

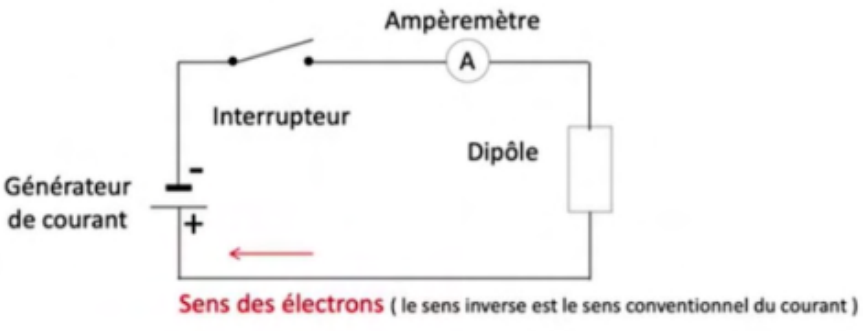
Dans l'organisme, certains **ions** et **molécules** dissous portent une charge électrique : ce sont des **osmoles électriquement chargées**, comme le sodium (Na+), le potassium (K+) ou le chlorure (Cl−). Leur répartition entre les différents compartiments (intracellulaire, extracellulaire) n'est pas due au hasard : elle résulte d'un équilibre entre deux types de forces.

D'un côté, les forces **osmotiques**, liées aux différences de concentration, tendent a déplacer les ions pour **équilibrer** les pressions osmotiques. De l'autre, les forces **électriques**, produites par la séparation de charges, influencent leur **mouvement** pour rétablir la neutralité électrique.

Le potentiel électrique correspond donc à cette composante électrique des forces qui s'exercent sur les ions. Comprendre ce concept est essentiel pour expliquer des phénomènes physiologiques comme le potentiel de membrane, la transmission de l'influx nerveux ou la contraction cardiaque et musculaire.

A. Courant éléctrique :

Dans ce cours nous allons parler de **courant éléctrique**, ainsi il est important de rappeler comment est construit un montage simple mais très utilisé :



On retrouve sur le schema :

-Générateur : délivre le potentiel électrique

-Dipole : appareil électrique qui consomme de l'électricité

-Ampèremètre : appareil de mesure de l'intensité du courant pour le quotidien

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

Le courant électrique passe à travers des **conducteurs**. Ce sont les **électrons** qui bougent dans les conducteurs et vont créer ce courant. En physiologie, il est parfois nécessaire de mesurer des courants extrêmement faibles, produits par l'activité électrique des cellules ou des tissus.
Les ampèremètres utilisés dans ce contexte sont spécialement conçus pour détecter ces courants infimes : on les appelle **galvanomètres**+++.

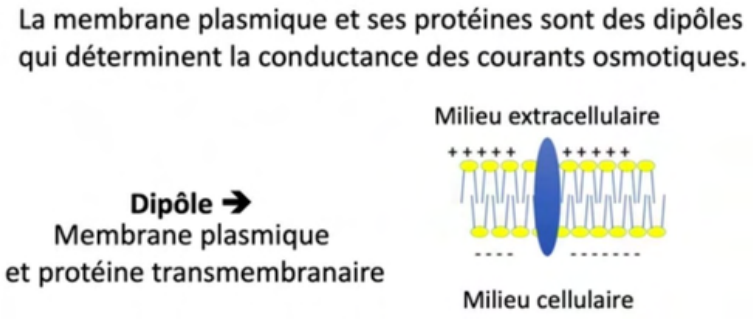
y'a de la place sur le reste de la page donc je vous mets 2-3 trucs cools (je mettrai toutes les dédicaces et tout dans les cours versions finals...)



Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

B. Courant osmotique

Dans notre corps, les courants osmotiques se distribuent à travers la **membrane plasmique** (et ses protéines transmembranaires) qui jouera donc le rôle de **dipole** (cf définition au dessus). On va retrouver une différence de répartition des charges qui vont être :



!! petit schema pour une meilleure visualisation

Feuillet **interne** de la membrane plasmique = **Négatif**
Feuillet **externe** de la membrane plasmique = **Positif**

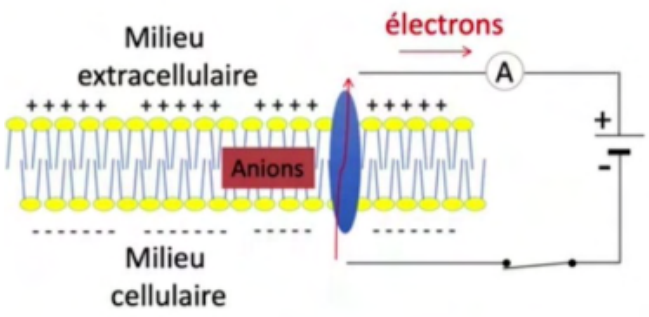
C'est vraiment la base du cours et ça permet de comprendre tout ce qui va suivre donc retenez bien ça les amis !!

!! IMPORTANT : le type de courant influ sur le support de ce dernier

-Le courant dans un circuit éléctrique est véhiculé par des **éléctrons** (*vous avez du le voir au lycée ou en premiere année de prépa pour tous mes anciens #hanginthere*)

-Le courant dans l'organisme est véhiculé par des **osmoles chargées**

Il est possible expérimentalement, de mettre en continuité les courants électriques (avec un circuit externe) et les courant osmotiques dans une membrane biologique ou un tissu.



On retouve sur le schema :

- Une membrane plasmique (qui joue le rôle de dipôle).
- Un générateur externe sur la droite. Il va permettre d'envoyer un potentiel électrique contrôlé dans le circuit vers la membrane.
- Un galvanomètre (A). il est placé après le passage dans la membrane et va permettre de détecter une intensité quelconque

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

Remarque (IMPORTANT pour comprendre) : le courant qui traverse la membrane dans l'organisme n'est pas composé d'eléctrons mais **d'anions** et de **cations** (ex : Cl-, Na+ ...)

la question que tout le monde se pose : A quoi sert cette experience et comment est ce qu'on s'en sert ?

On applique un potentiel électrique **connu** via un générateur, et l'ampèremètre mesure l'intensité **inconnue**. Si une intensité est détectée, un flux de charges (osmoles) circule ; sinon, malgré un fort potentiel, les charges ne peuvent pas se déplacer. Le but est de montrer qu'une membrane biologique peut être intégrée à un circuit électrique et que, dans l'organisme, le courant est porté par des ions (cations et anions) plutôt que par des électrons, tout en restant mesurable avec un galvanomètre.

C. Propriétés

Il faut ABSOLUMENT savoir que le potentiel électrique d'une molécule est proportionnel à :

-Sa charge
-Sa mobilité dans le dipole
-L'intensité du champ électrique

!! On considère, dans la goatesque physiologie et en médecine, que le champ électrique est **homogène** dans la membrane plasmique. C'est une modélisation nécessaire

!! Les molécules chargées se dirigeront vers l'endroit ou **les charges de signes opposés prédominent** (les + iront vers les - c'est du classique vous connaissez)

TABLEAU RECAP/COMPARATIF (force et honneur)

	Courant électrique	Courant osmotique
Générateur de courant	Délivre un potentiel électrique	Délivre un potentiel électrique
Dipôle	Correspond à n'importe quel appareil électrique : ex. ampoule	Membrane plasmique et ses protéines transmembranaires
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	Quantité de charges passant en 1 point d'un conducteur par unité de temps
Conductance (Siemens)	Facilité de mobiliser une charge dans un conducteur	Facilité de mobiliser une charge dans un conducteur
Nature de la conductance	Câble métallique	Membrane plasmique et transporteur moléculaire ex. protéines transmembranaires

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

D. Loi d'Ohm,relation de Nernst et relation de Goldmann

$$\textbf{Loi d'Ohm} : \frac{\text{Intensité}}{\text{Potentiel électrique=voltage}} = \text{Conductance}$$

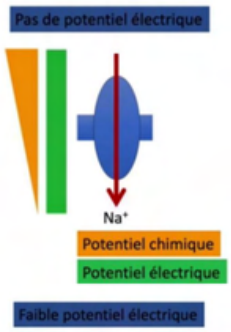
Ca normalement vous connaissez bien, il me semble qu'on le voit déjà au lycée

Retenez que le grand **Walther Nernst** (prix Nobel de chimix en 1920) a démontré que :

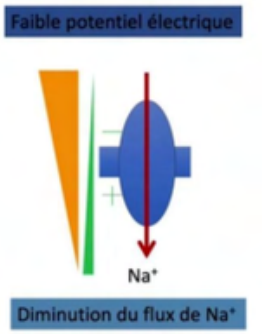
POTENTIEL CHIMIQUE + POTENTIEL ELECTRIQUE = 0

→ Il a eu l'idée de mettre en relation le potentiel chimique et le potentiel électrique en démontrant que le potentiel chimique équilibre le potentiel électrique d'une osmole chargée (on va éttofer un peu pour comprendre)

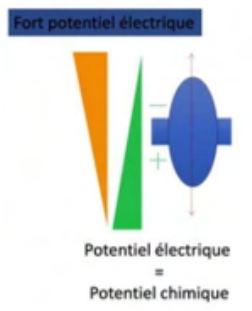
!! Illustration de la relation de Nernst sur une membrane plasmique :



La membrane plasmique possède une **protéine transmembranaire** (le rond bleu sur le schéma) qui transporte du sodium Na+ de haut en bas. Ici, on voit que le potentiel électrique est **nul** (le rectangle vert) et qu'il existe un potentiel chimique (le triangle orange) pour le sodium, qui dicte le transport vers le bas.

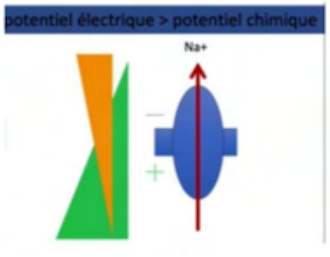


On réalise alors une experience : On va exercer un potentiel électrique (avec un circuit extérieur). Il va y avoir des charges **positives** en bas et **négatives** en haut. Le potentiel électrique **contrarie** le flux de Na+. En effet, le Na+ se dirige vers les charges positives selon son potentiel chimique mais on rappelle que les osmoles chargées vont à l'endroit des charges de signe opposé (IMPORTANT à comprendre) selon leur potentiel électrique (donc vers les charges négatives). Donc on crée un potentiel électrique puisque nos osmoles de sodium (Na+) vont vouloir remonter pour aller vers les charges négatives



On augmente le **potentiel électrique** qu'on exerce avec notre générateur. On va donc **équilibrer** les 2 potentiels. Potentiel chimique = potentiel électrique, il y a autant dions Na+ qui passent en haut et en bas.

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite



Si on continue d'augmenter le potentiel électrique on finit par inverser le flux de sodium, puisque le potentiel électrique devient plus fort que le potentiel chimique. Ainsi le sodium ne va plus que de bas en haut

L'idée de ce passage ce n'est vraiment pas de tout apprendre par coeur mais bien de comprendre comment les choses fonctionnent pour être à l'aise avec la suite du cours, n'ayez pas peur de prendre du temps sur la compréhension d'une notion en physiologie c'est normal !!! passez le maintenant pour que ce soit encrer plutôt que de vous réveiller la veille du concours

RAJOUTS PRÉSENTIELS :

La **relation de Nernst** nous permet de définir le **potentiel d'équilibre.** Ainsi, le potentiel d'équilibre pour un cation est égal au rapport de concentration de l'ion entre les milieux **intracellulaire et extracellulaire**. Pour un anion, c'est l'inverse : il est égal au rapport de concentration de l'ion entre le milieu **extracellulaire et intracellulaire**

Le **potentiel d'équilibre** est la valeur de tension où un ion n'a **plus** de mouvement net à travers la membrane, on comprend donc que le passage d'une substance électriquement chargée va dépendre à la fois de sa **concentration** et de **sa charge**. Dans le cadre du potentiel d'équilibre, les forces chimiques et électriques **s'équilibrent**. Il permet de savoir dans quel sens un ion circule et d'expliquer comment les ions **participent** à l'électricité des cellules comme les neurones ou les muscles.

Potentiel électrique + potentiel chimique =0

$$\text{Potentiel d'équilibre} = -\frac{RT}{zF} \ln \frac{[cation_{\text{intracellulaire}}]}{[cation_{extracellulaire}]}$$

$$\text{à37℃} = \text{-60 mv} \log \frac{[cation_{\text{intracellulaire}}]}{[cation_{extracellulaire}]}$$

[ion] = concentration ionique

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

Dans la réalité, les membranes de l'organisme ne sont **pas perméables à un seul ion**, ainsi, le professeur introduit **la relation de Goldmann**, extension de la relation de Nernst, qui permet de donner un potentiel d'équilibre dans une situation où il y a **plusieurs substances électriquement chargées**. Cette relation correspond à la somme des rapports de concentration de tous les ions qui nous intéressent :

P = perméabilité
[ion] = concentration

Relation de Goldmann

$$\text{Potentiel d'équilibre} = -K \ln \frac{P_K[K^+]_{ext} + P_{Na}[Na^+]_{ext}}{P_K[K^+]_{int} + P_{Na}[Na^+]_{int}}$$

Potentiel électrique ⟺ Potentiels chimiques

Applications fonctionnelles des relations de Nernst et Goldmann :

L'équation de Nernst permet de calculer le potentiel d'équilibre d'un ion pris **isolément**, en fonction de ses concentrations de part et d'autre de la membrane. L'équation de Goldman, elle, prend en compte **plusieurs ions** en même temps et donne une valeur plus proche du potentiel de membrane réel, que l'on peut mesurer avec des **électrodes**.

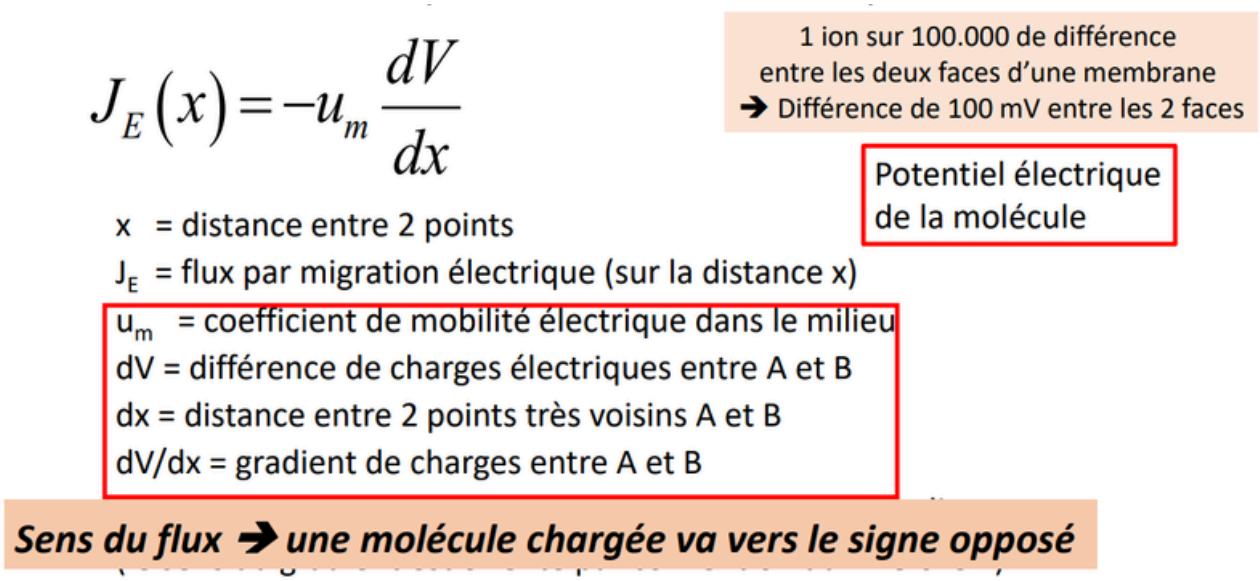
Or, lorsque ces deux potentiels (calculé et mesuré) **ne sont pas égaux**, on peut conclure qu'il y a une tendance au **passage** de l'ion à travers la membrane (*car la formule Nernst permet de savoir pour quel potentiel l'ion n'aura plus de mouvement*), selon son **gradient**. Si c'était uniquement la diffusion qui jouait, les concentrations changeraient et finiraient par **s'égaliser**.

Dans la réalité, les concentrations restent **stables** dans le temps à l'interieur et à l'exterieur de la cellule (logique, le milieu est tres controlé). On comprend donc qu'il existe un **transport actif** (*les fameuses pompes...*) qui **compense** en permanence la diffusion passive et maintient les différences de concentrations.

En résumé : Nernst = équilibre théorique d'un ion, Goldman = potentiel global de la cellule. La différence entre **théorie** et **mesure** montre que les ions **diffusent**, mais que cette diffusion est constamment équilibrée par des mécanismes **actifs**, ce qui permet à la cellule de rester **stable**.

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

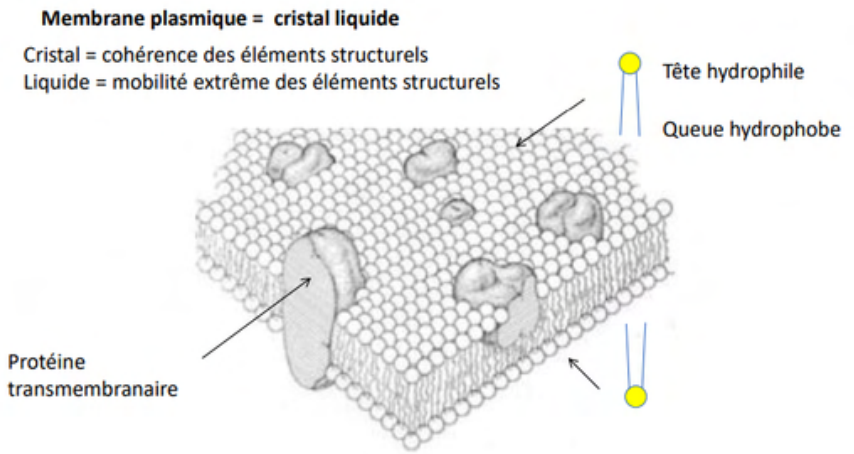
Le professeur mentionne également cette formule analogue à la loi de **Fick**, cette dernière nous dit que le flux représente le **mouvement** des molécules chargées sous l'effet d'un champ électrique. Il dépend du **gradient** de potentiel électrique et de la **mobilité** de la molécule. Le signe **négatif** indique que le flux est dirigé dans le sens **opposé** au gradient de potentiel. Ainsi, même une **petite différence** de potentiel, comme 100 mV entre les deux faces d'une membrane, peut suffire à générer un déplacement important d'ions.



Je vous mets la diapo entière du prof comme ça vous avez toutes les informations !

Enfin, le prof parle de la membrane plasmique en la décrivant grâce à un **schéma**. Il explique que la membrane peut être considérée comme un **cristal liquide** : cristal parce que les éléments qui la composent gardent une **cohérence structurelle** et liquide parce que ces mêmes éléments sont extrêmement **mobiles**.

Notre membrane est composée de **phospholipides** qui sont repartis en bicouche dans laquelle sont insérées nos fameuses **protéines** (*dont on parle dans la suite du cours*). Ces protéines peuvent être traversées, ainsi les **transports diffusifs facilités** sont le fait de ces protéines transmembranaires !



A noter que certaines molécules liposolubes et gaz peuvent traverser par diffusion simple !

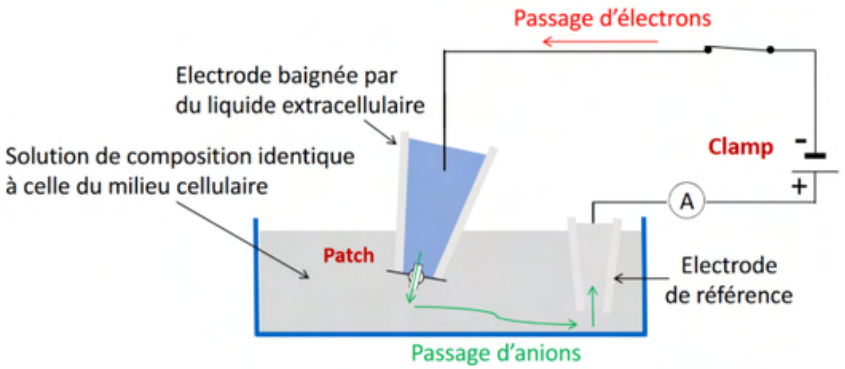
Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

(espace blanc à cause du décalage des rajouts)

II. Canaux ioniques

A. Patch clamp

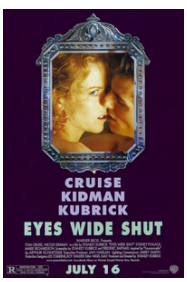
Pour bien commencer, on va définir ce que sont les **canaux ioniques** : éléments transmembranaires qui permettent le passage d'osmoles chargées ou non.



pour arriver à definir ces canaux ioniques, nous avons utiliser des montages **experimentaux**, comme celui du **patch clamp** que je vais vous décrire. Le patch clamp est un montage permettant la mesure des **courants osmotiques** (ce qui a valu un prix Nobel de physiologie et médecine à Neher et Sackmann en 1991).







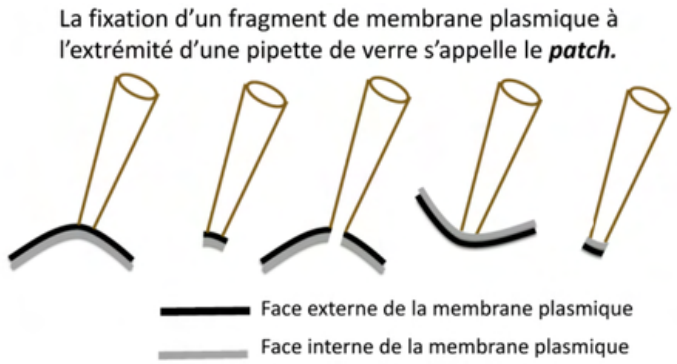


: faut juste applaudir !

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

Sur le schéma on peut voir : un bain (qui correspond au **milieu cellulaire**), une membrane qui trempe accrochée à l'extremité d'une pipette dans laquelle se trouve un liquide qui correspond au **milieu extracellulaire**. La membrane "patchée" sur la pipette se trouve entre deux solutions représentant les milieux cellulaire et extracellulaire. Ce système osmotique est connecté à un **circuit externe** permettant de libérer un voltage controlé et de mesurer **l'intensité** apres l'électrode de référence via un **galvanomètre** (dont on a parlé au début du cours).

sur le schéma on peut observer un courant ionique osmotique (en vert) entre les deux électrodes. Le fait de pouvoir modifier le voltage et d'en exercer des différents via le circuit externe permet de démontrer la **conductance** de la membrane (sa capacité à faire passer le courant).



Le terme "patch" désigne l'adhésion d'un fragment de membrane plasmique à l'extremité d'une pipette de verre microforgée extrêmement fine. Son adhésion se fait de différentes manières

- Sur la face extérieure (1) ou intérieure (4) de la membrane.

- Avec le détachement (2 et 5) ou non d'un morceau de membrane.

- En transperçant éventuellement le premier feuillet de la membrane pour aller patcher le deuxième feuillet (3) à ce moment-là, on peut arracher le petit morceau de membrane.

Rappel :

$$\text{Loi d'Ohm} = \frac{\text{Intensité}}{\text{Potentiel électrique=voltage}} = \text{Conductance}$$

Intensité : Mesurée ; Potentiel électrique=voltage : Clampé ; Conductance : Calculée

!! IMPORTANT : retenez bien ce qui est mesuré, clampé ou calculé !!

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

A savoir :

-Le clamp désigne la manière de définir le **voltage**

-**L'intensité** se mesure avec un **ampèremètre**

-La **conductance** se calcule en fonction de **l'intensité** mesurée pour un potentiel clampé

La **loi d'Ohm** permet ici de mettre en avant la proportionnalité entre la **conductance** et le rapport entre le **voltage** et **l'intensité**.

La principale information tirée du patch-clamp est qu'il existe des **variations** de conductance. Ces variations révèlent la présence de protéines transmembranaires facilitant la diffusion des osmoles à travers les membranes biologiques. Le patch clamp permet donc aussi logiquement de faire l'étude des **propriétés** de ces protéines transmembranaires.

La conductance n'est donc pas toujours la même. En effet, si le voltage est fort mais que l'intensité est faible on aura donc une faible conductance montrant :

-Soit une **absence** de protéines facilitant le transport

- Soit la **conformation fermée** de ces protéines transmembranaires

B. Exemple du canal sodique épithéliale (ENaC)

Le **canal sodique épithélial** (= ENac) est une protéine transmembranaire que l'on va retrouver dans les poumons ou les reins. Elle permet la diffusion facilité du **sodium** +++

Je vous écris un peu parce qu'il reste un peu de place. J'espère que le cours vous plaît et que visuellement c'est agréable... J'essaie de ne pas trop surcharger. Si vous avez des conseils, des retours ou que vous avez des trucs à dire, ecrivez-moi sur Facebook : Julian Prallet.

C'est important de dégrossir un peu la P1 et sa réputation. C'est une superbe année, vous allez faire des rencontres et apprendre beaucoup de choses très intéressantes !!!
Ce n'est pas aussi dur que ce que beaucoup de gens veulent vous faire croire pour vous vendre des trucs douteux. C'est seulement une question d'organisation (hyper importante) et de motivation, rien de surhumain à l'examen !!!
On peut kiffer sa P1, je vais essayer de faire mon max pour que ce soit votre cas !

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

il y a 4 informations importantes et essentielles à retenir sur cette protéine :

-**Sa conductance :**

pour déterminer sa conductance (qui rappelons-le est calculée), on reprend la technique du patch clamp (donc on va extraire un petit fragment membranaire en posant une pipette et en exerçant une petite succion pour détacher un morceau). Sa conductance est de **4 à 5 pS (picosiemens)**

-**Sa séléctrivité :**

c'est un canal **sélectif**, il ne laisse passer que certains composés (**donc ici sodium et un peu de lithium**). Si on reprend le patch clamp dans une solution ionique sans sodium, aucun passage n'est détecté même avec le plus grand des potentiels électriques exercés. Tandis que si la solution contient du Na+ on retrouve alors la relation linéaire intensité / voltage.

-**La relation intensité et voltage (PE) est linéaire**

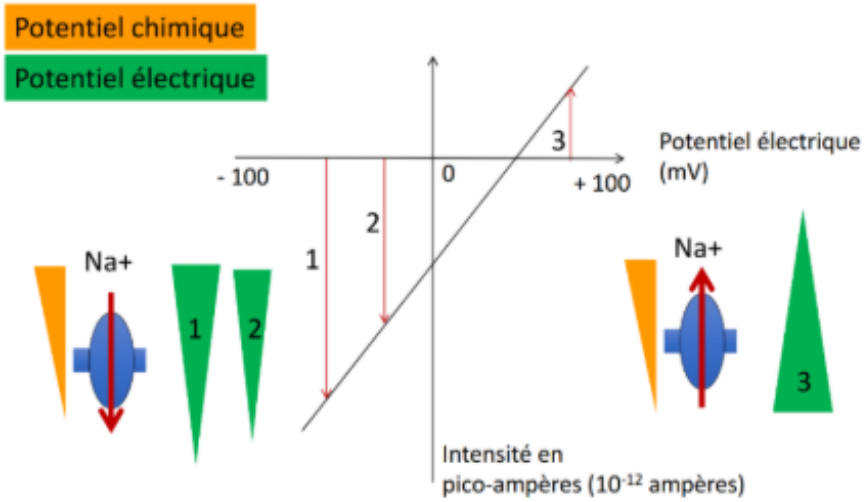
-**Sa durée et sa probabilité d'ouverture :**

Probabilité d'ouverture : **0,5**

Durée d'ouverture : **1,0 seconde**

On va detailler un peu ne vous en faites pas

La relation intensité et voltage (PE) est linéaire :



Ici, le potentiel électrique sur l'axe horizontal et l'intensité sur l'axe vertical. On voit que la relation entre l'intensité et voltage est linéaire.

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

Pour expliquer la raison de cette linéarité :

1. Quand le PE est à -100 mV :

- la force électrique et la force chimique vont dans le **même sens** = le sodium entre dans la cellule plus **facilement**
- le potentiel électrique **potentialise** l'action du potentiel chimique

2. Si on augmente un peu le PE (on le rend moins négatif) :

- La force électrique devient **moins forte**, donc le courant de sodium **diminue**
- le potentiel chimique, lui, **ne change pas**

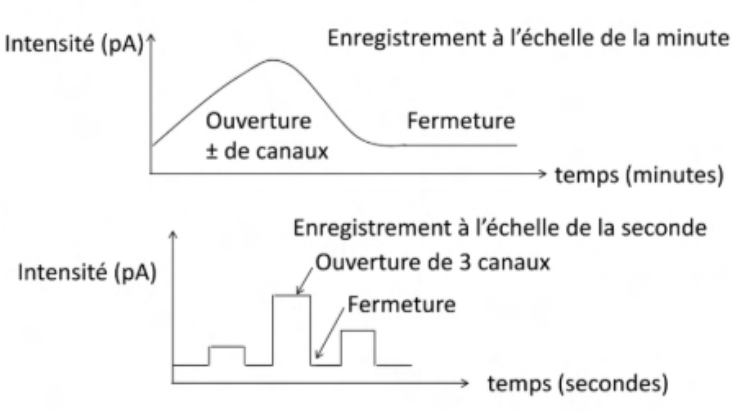
3. Quand le PE est a +100 mV :

- La force électrique pousse dans le sens **opposé** a la force chimique
- Résultat : le sodium **change** de direction et **sort** de la cellule

En résumé :

PE négatif → sodium rentre
PE proche de 0 → sodium entre moins
PE positif → sodium sort

-Sa durée et sa probabilité d'ouverture :



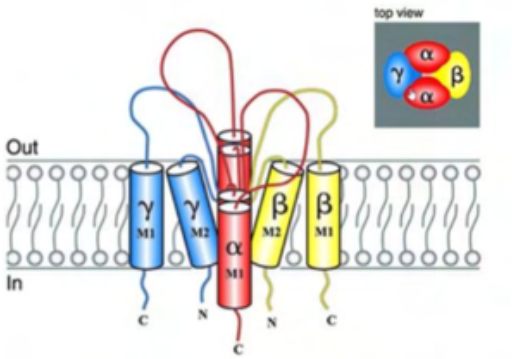
On observe différents phénomènes selon l'échelle de temps. En minutes on a le « tendance globale » alors que l'on est beaucoup plus précis avec l'échelle en seconde ; à tel point que l'on peut voir des petits rehaussements. Chaque « petit rehaussement » de rectangle correspond à l'ouverture d'un ou plusieurs canaux. Autrement dit, plus le rectangle est haut, plus il y a de canaux ouverts

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

Vous avez ici un tableau qui fait un récap de ce qu'on a dit : **A CONNAITRE +++**

	Relation intensité/ voltage	Sélectivité ionique	Conductance pour le sodium	Durée d'ouverture	Probabilité d'ouverture
Canal sodique épithélial (ENaC)	Linéaire	Sodium (lithium)	4 à 5pS	1 seconde	0,5

Le prof détail la structure du canal sodique épithéliale :



« 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. »

A quoi nous sert cette explication ?

l'objectif est de comprendre le **fonctionnement** de la diffusion facilitée à travers les membranes cellulaires.

- il existe **plusieurs** canaux ioniques : certains pour le sodium (Na+), d'autres pour des molécules **non chargées** comme par exemple le **glucose** ou **l'eau** (via les aquaporines).

- Ces canaux peuvent représenter des **cibles** pour les **médicaments**. Par exemple, le canal sodique (ENaC) peut etre bloqué par l'amiloride, un diurétique utilisé pour traiter les oedèmes et épanchements.

- Certains canaux ioniques **non sélectifs** sont sensibles à la **pression mécanique** : ils participent à la régulation de la pression artérielle, à la perception de la position du corps (proprioception) et au toucher → Découverte qui a été récompensée par le prix Nobel 2021 de physiologie/médecine. On a donc pu mettre en évidence pourquoi certaines mutations de gènes entrainent de l'hypertension ou de l'hypotension

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

- D'autres canaux cationiques **non sélectifs** sont sensibles à la **température** et jouent un rôle dans la régulation thermique, la détection de chaleur ou de froid et les réaction d'évitement.

- Les canaux sodiques et potassiques présents dans les **cellules cradiaques** (cardiomyocytes et cellules nodales, vous verrez ça dans l'excellent cours sur le potentiel cardiaque que va faire mon co tut Nolan) déterminent le **rythme** cradiaque. Certains médicaments antiarythmique ciblent ces canaux.

Ainsi, le prof veut vous faire comprendre que lorsque l'on prend un peu de recul, on voit que **l'homéostasie** de l'organisme reposent sur des mécansimes **précis** de **régulation** des canaux ioniques et autres transporteurs moléculaires.

Conclusion du professeur :

- Le **patch-clamp** permet de caractériser des protéines transmembranaires facilitant la diffusion des osmoles ;

- Ces molécules sont des **cibles thérapeutiques** ;

- Ces molécules conduisent les osmoles électriquement chargées ou non, simultanément dans **le même sens ou simultanément en sens inverse** (cotransporteurs, échangeurs) ;

- Certaines de ces molécules génèrent des **potentiels chimiques et/ou électriques** en transportant les osmoles de manière **active** (consommation d'ATP) : ce sont des pompes.

force aussi tout ceux qui sont en Las chimie mdrr je sais qu'elle est un peu relou cette las mais ca va le faire #tuttopassa, avec les anciens de Las chimie on va essayer de vous mettre bien cette année

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

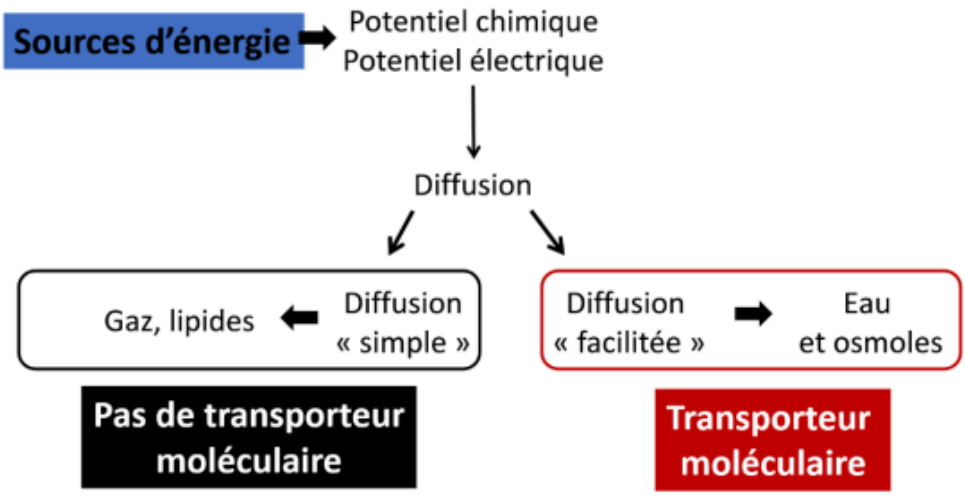
III. Co-transporteurs, échangeurs et pompes

Maintenant que nous avons parlé des **canaux ioniques**, nous allons étudier les co-transporteurs, les échangeurs et les pompes. Nous allons commencer par définir la diffusion facilitée.

A. La diffusion facilitée

Dans notre organisme on retrouve **différents** types de diffusions, dans un premier temps la **diffusion simple**, cette dernière ne fait appel à **aucun transporteur moléculaire**, les osmoles diffusent simplement à travers la membrane. A noter que c'est un cas très **rare** dans l'organisme.

On retrouve un deuxième type de diffusion : la **diffusion facilitée**, elle permet le passage **transmembranaires** d'osmoles électriquement chargées ou non à travers une membrane via un transporteur moléculaire. Les forces entrant en jeu sont le potentiel **électrique** et le potentiel **chimique**.



Diffusion **simple** = **sans** transporteur

Diffusion **facilitée** = **avec** transporteur

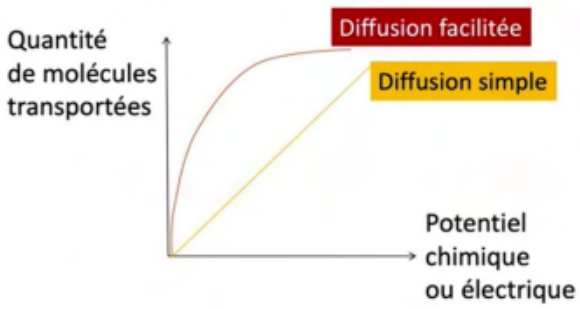
Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

Ainsi, la quantité de molécules transportées/déplacées varie en fonction du potentiel **chimique** et **électrique** :

La diffusion simple se fait selon une relation **linéaire**

La diffusion facilitée se fait selon une relation **exponentielle**

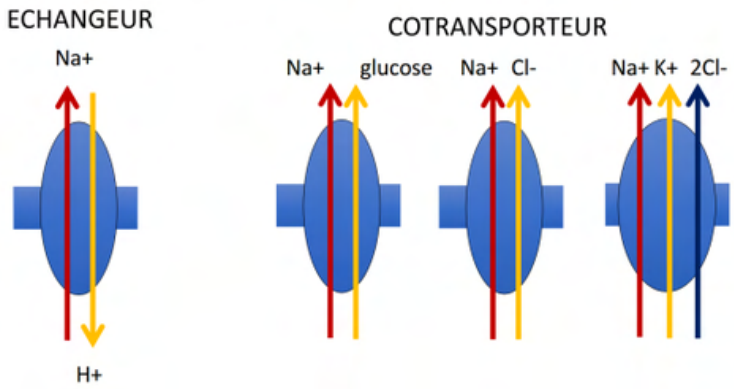
On peut souligner le fait que la présence de transporteur moléculaire permet une plus **grande** quantité de transport pour une plus faible valeur de potentiel :



Il existe 3 types de transporteurs moléculaires :

- Echangeurs : les osmoles transportées d'un compartiment à l'autre par les échangeurs vont aller dans des **sens opposés**.

- Co-transporteurs : Les osmoles qu'il transporte d'un compartiment à l'autre vont aller dans le **même sens**.

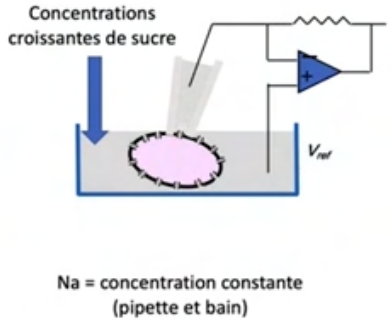


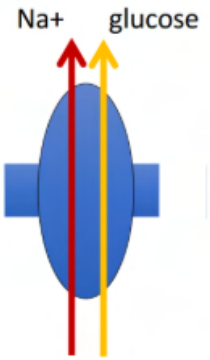
- Pompes : transporteur qui nécessite de **l'énergie** via l'hydrolyse d'une molécule d'**ATP**, c'est un transport **ACTIF**+++ (Exemple la pompe à sodium Na/K ATPase cf mon cours sur le potentiel de repos !)

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

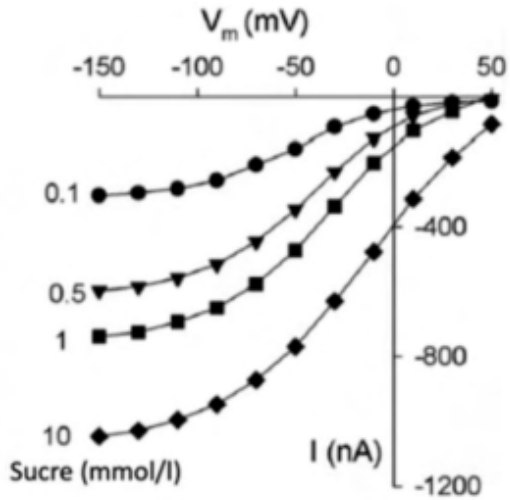
Ceci étant dit, nous allons étudier en détail chacun de ces éléments pour bien comprendre leur fonctionnement !

1.Co-transporteur sodium/glucose





Nous allons mettre en place une **experience** (encore), nous allons étudier le **co-transporteur sodium/glucose** grace à la technique du **patch clamp**. Une cellule (le rond rose) est placée dans une solution où la concentration en sodium est maintenue **constante** tandis que la concentration en glucose va **varier** dans le bain. Une **micropipette** (patch-clamp) est appliquée contre la membrane de la cellule : elle contient une solution **controlée** et est reliée à un **amplificateur**. Cette dernière a deux roles : d'une part, elle permet de fixer le potentiel de membrane de la cellule (voltage-clamp), et d'autre part, elle sert à mesurer le courant ionique qui circule lorsque les transporteurs sodium/glucose fonctionnent. Ainsi, à chaque entrée conjointe de sodium et de glucose, **un courant est généré** et peut être enregistré par l'amplificateur.



On remarque des **variations** d'intensité de courant, pour un voltage donné, proportionnellement à **l'augmentation** de la concentration de **sucre**.

On observe sur le graphique :

- 0.1 mmol/L de sucre donne une intensité de l'ordre de -200 nA
- 10 mmol/L de sucre donne une intensité proche de -1200 nA

Lorsqu'on multiplie la concentration de sucre par 100, l'intensité est multiplié par 6.

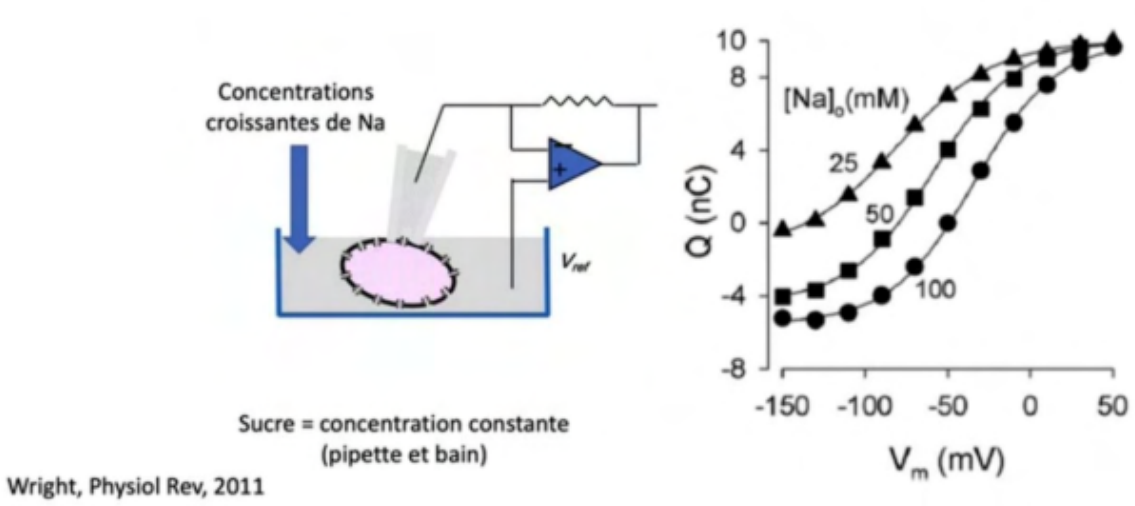
Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

- Quand il n'y a **pas de glucose** dans le bain, on n'observe pratiquement **pas de courant**

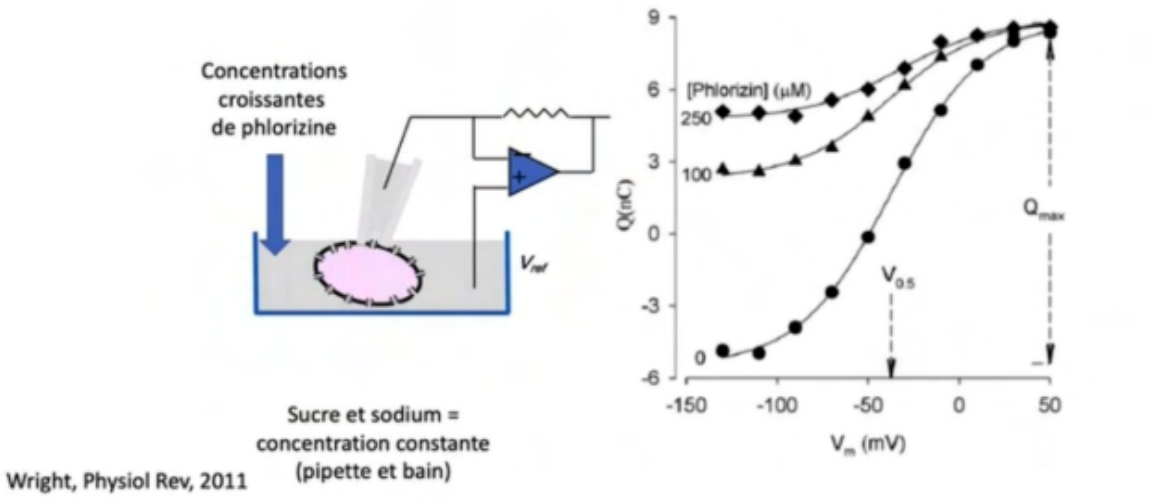
- Dès qu'on **rajoute** du glucose un courant entrant **apparait** (courant négatif = ions positifs qui entrent)

- Plus la concentration de glucose **augmente**, plus ce courant est **important**

On va ensuite faire exactement la meme chose mais cette fois ci on fait varier **les concentrations en sodium**



Ainsi, on va se rendre compte que l'intensité du courant **augmente** à mesure que la concentration en sodium **augmente**. On montre ainsi que l'intensité du courant à travers ces molécules membranaires dépend **du sodium ET du glucose**



Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

Ce qui est pratique avec cette experience c'est que l'on peut caracteriser **les inhibiteur 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. Par exemple en introduisant la **phloorrhizine ++** (extrait de pépins de pomme) on se rend compte que cette dernière 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**.

A retenir (très important) :

- Les concentrations de Na+ ou de glucose ont **toutes les deux** une importance sur le **fonctionnement** du **co-transporteur**
- Le transporteur nécessite la présence **des 2 osmoles** pour fonctionner à 100%
- Le transporteur fait passer les 2 osmoles **dans le meme sens**



(Coin Gainsbard)

Souvenez vous du but

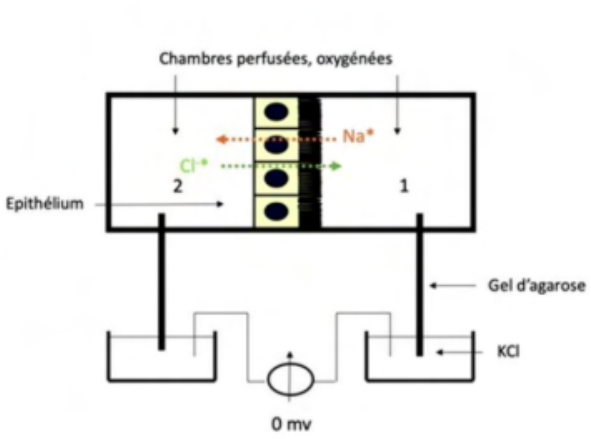


Arrachez moi cette P1

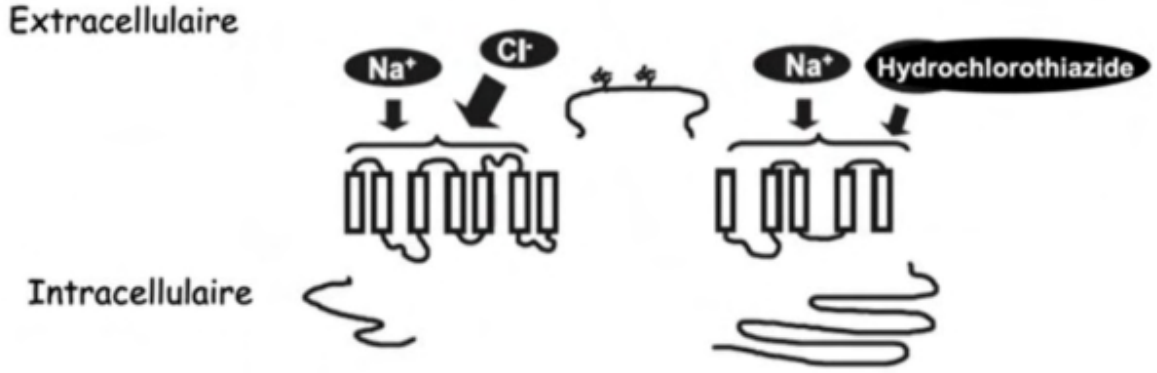
Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

2.Echangeur sodium/chlore

A savoir : il est **impossible** d'utiliser la technique du patch clamp pour étudier ce transporteur. L'échangeur sodium/chlorure fait passer 1 Na+ (osmole chargée **positivement**) contre 1 Cl- (osmole chargée **négativement**), on parle d'échangeur **électro neutre** car le potentiel électrique ne varie pas ainsi la technique du patch clamp ne fonctionne pas ! On utilise alors un autre montage, appelé **chambre de Ussing.**



Vous pouvez observer 2 compartiments (1 et 2) sur le schema, séparés par un **épithelium** au milieu. Les 2 compartiments sont **perfusés** et **oxygénés** pour maintenir les cellules en vie. On voit un circuit externe relié au système par du **gel d'agarose** qui mesure le potentiel électrique. Mais rappelez vous, l'échangeur est **électro neutre** donc nous allons utiliser la **radioactivité** pour montrer qu'il existe des variations de concentration sans variation de potentiel et donc qu'il y a bien des **échanges** !

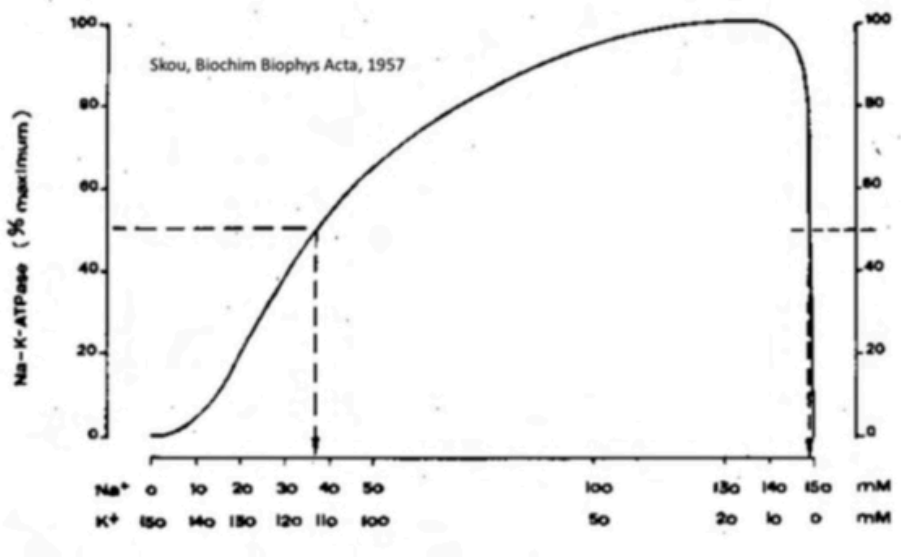


L'échangeur sodium/chlorure a été décrit sur le plan de sa structure moléculaire en 2009. Il s'agit d'un système à plusieurs **segments transmembranaires** reliés par des boucles **extra** et **intra-cellulaire**. On peut précisément déterminer à quel endroit le sodium ou le chlorure traverse cette structure. On peut également aisément déterminer à quel endroit un inhibiteur pharmacologique, ici **l'hydrochlorothiazide**, se fixe pour **bloquer** l'échangeur sodium chlorure.

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

3.La pompe à sodium

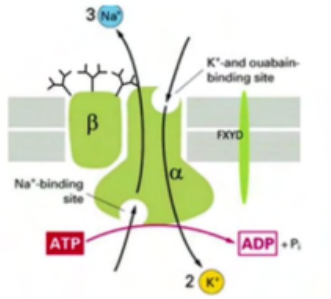
Jens Skou a décrit son fonctionnement en 1957 et fut récompensé par un prix Nobel en 1997 (11 minutos tardes)



On peut observer sur l'axe vertical (des ordonnées) **l'activité ATPasique** (l'activité ATPasique signifie juste le moment ou la pompe hydrolyse de l'ATP pour fournir l'énergie necessaire à son fonctionnement) de la pompe de 0 à 100%. Sur l'axe horizontal (des absisses), on observe la **quantitée de sodium et de potassium**, de 0 à 150 mmol de gauche à droite pour le sodium et vice-versa pour le potassium.

On constate que lorsque la concentration de sodium ou de potassium est nulle, **l'activité ATPasique est nulle** (la pompe ne marche pas). En revanche, en présence d'une concentration optimal de sodium et de potassium, **l'activité ATPasique est maximale**, permettant à la pompe de fonctionner. A savoir également, cette pompe possède une **stoechiométrie de 3/2**, c'est à dire qu'elle fait sortir 3 Na+ de la cellule tandis qu'elle fait rentrer 2 K+ (*mais ça vous le savez deja car vous avez TOUS bossé ma superbe fiche sur le potentiel de repos...*), on dit qu'elle réalise un **transport couplé**.

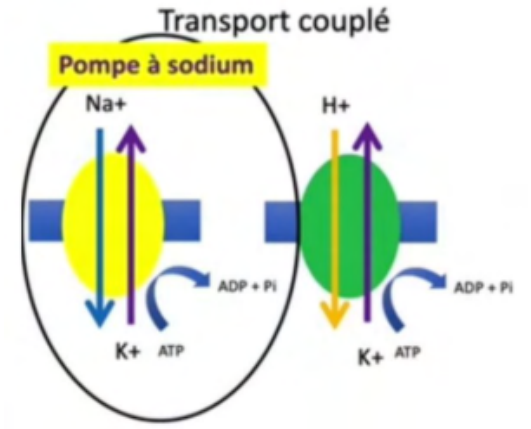
L'ouabaïne est l'inhibiteur pharmacologique de cette pompe.



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

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

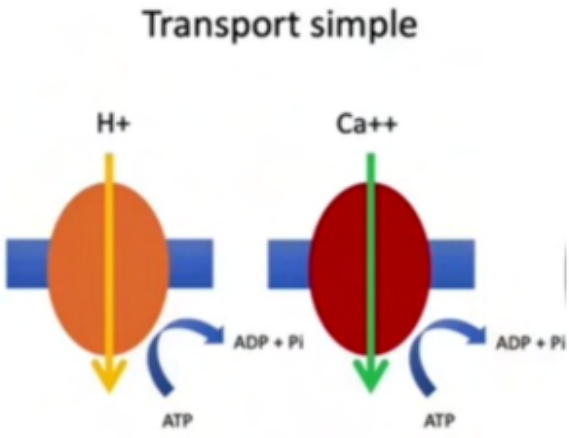
Dans l'organisme il existe seulement 4 pompes :



2 qui réalisent un transport couplé :

- La pompe H^+ /K^+ ATPase qui fait rentrer 1 proton (H^+) en échange de la sortie d'1 potassium (K^+) toujours en **hydrolysant de l'ATP** puisque c'est une pompe +++.

- La pompe à sodium Na^+/K^+ ATPase que l'on vient de présenter.



2 qui réalisent un transport simple :

- La pompe à proton H^+ ATPase qui fait sortir 1 H^+ (proton) vers l'extérieur en **hydrolysant une molécule d'ATP**

- La pompe à calcium Ca^{2+} ATPase qui fait sortir 1 Ca^{2+} vers l'exterieur en **hydrolysant une molécule d'ATP**. A savoir que cette pompe existe aussi en version Mg^{2+} qui fait donc passer seulement du magnésium

Tableau récap du bon vieux Opiacédric :

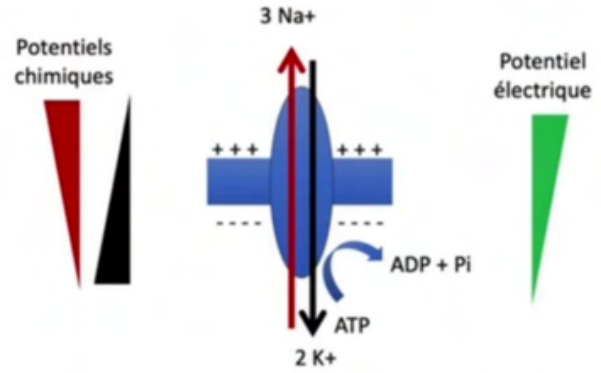
Type de transporteur	Transporteur	Caractéristiques
Co-transporteur	Sodium/Glucose (Na+/Glucose)	° Dépend des concentrations de sodium et de glucose (il faut les deux) ° Inhibiteur : phloorrhizine
Echangeur	Sodium/Chlore (Na+/Cl-)	° Inhibiteur : hydrochlorothiazide
Pompe	Pompe à sodium (Na+/K+ ATPase)	° Nécessite de l'ATP ° Echange 3 sodium et 2 potassiums ° Inhibiteur : ouabaïne ° Transport couplé
	Pompe H+/K+ ATPase	° Echange un H+ contre un K+ ° Nécessite de l'ATP ° Transport couplé
	Pompe à proton H+	Transporte un H+ ° Nécessite de l'ATP ° Transport simple
	Pompe à calcium Ca2+	° Transporte un Ca2+ ° Nécessite de l'ATP ° Transport simple

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

4.Transport actif et secondairement actif

Lorsque l'on parle de pompe, ce sont des **transports actifs qui consomment de l'ATP**.

Transport osmolairement actif : transport qui se passe à travers une pompe et qui nécessite la consommation directe d'ATP.



Reprenons l'exemple de la pompe à sodium qui déplace 3 cations sodium (Na^+) **vers le haut** et 2 cations potassium (K^+) **vers le bas**. Elle va ainsi génerer des **potentiels chimiques** en sens opposés pour le sodium et le potassium et des **potentiels électriques** (représentés du + vers le - à droite de l'image par le triangle vert)

Transport secondairement actif : lorsque la pompe a créé une situation déterminée sur le plan des potentiels chimiques et électriques, la présence d'autres molécules de transports (canaux, co-transporteurs ou échangeurs) va permettre des transports osmolaires secondairement actifs.

- Transport secondairement actif : transport d'au moins 2 solutés, l'un dans le sens inverse prédit par la différence de potentiel électrochimique, l'autre dans le sens prédit

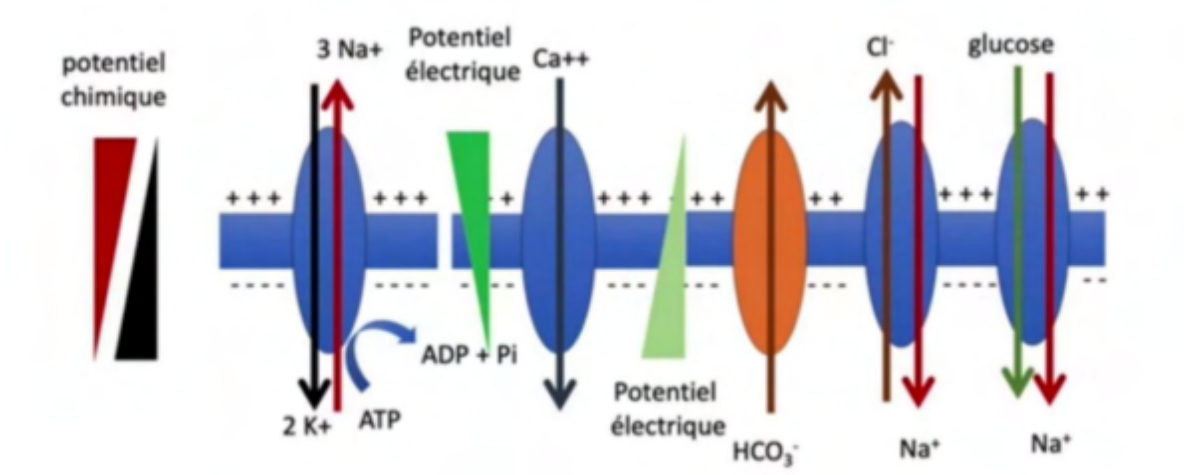
je vous mets la définiton du diapo du prof, comme ça vous avez tout !

→ Ceci constitue la majorité des transports dans l'organisme !!

Le transport secondairement actif est un mécanisme ou la molécule (*par molécule on entend Co-transporteur, échangeur...*) ne consomme pas directement d'ATP, mais utilise l'énergie stockée dans les potentiels chimiques ou électriques créés par des pompes qui, elles, consomment de l'ATP. En d'autres termes, la pompe (ex Na^+/K^+ ATPase) établit des potentiels chimiques et électriques, et ces potentiels sont ensuite exploités par un co-transporteur ou échangeur pour faire entrer ou sortir d'autres substances contre leur gradient propre.

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

Explication du transport secondairement actif avec un exemple (pour que ce soit plus parlant) :



Dans un premier temps, la pompe Na^+ /K^+ (à gauche) **génère des potentiels chimiques et électriques**.

Si on prend l'exemple du canal calcique, on voit que le calcium (Ca^{2+}) va avoir tendance à passer **de haut en bas**, en effet étant chargé positivement il va se déplacer **vers les charges négatives selon le potentiel électrique** généré par la pompe à sodium (*le tout sans utiliser d'ATP*)

Si on prend un canal à bicarbonate ($HCO3^-$), le bicarbonate va passer de bas en haut, dans le meme esprit que le calcium, selon le **potentiel électrique**.

Si on prend l'échangeur sodium-chlorure, le sodium va passer de haut en bas selon le **potentiel chimique** que crée la pompe au préalable, le chlorure lui passera en sens inverse, chassé par son **potentiel électrique**.

Si on prend le cas du co-transporteur sodium glucose, le sodium passe toujours de haut en bas selon son potentiel chimique et le glucose dont le passage est asservi à celui du sodium, le suit.

Ca peut paraitre un peu barbare à première vu mais en dézoomant tout et si vous avez bien compris la notion de potentiel chimique/électrique, tout est très logique, c'est comme une chaine de dominos ou on placerait la pompe en tant que premier domino...

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

IMPORTANT : point QCM

Vous devez compter **vrai** les deux items suivants :

“Un transporteur couplé s’arrete completement s’il manque une des 2 espèces transportées”

“Un transporteur couplé fonctionne moins bien s’il manque une des 2 espèces transportées”

Conclusion du prof :

- Dans l’organisme, la pompe à sodium **crée** les gradients chimiques et électriques qui **mobilisent** la plupart des **osmoles** entre les compartiments.
- Les échangeurs et les co-transporteurs **s’arrêtent complètement** de fonctionner lorsqu’il manque une seule des molécules qu’il transportent ++. Un co-transporteur sodium/glucose en l’absence de glucose ne transporte **pas** de sodium ou un échangeur sodium/chlorure en l’absence de chlorure ne transporte **pas** de sodium.
- L’ensemble de ces canaux ioniques, échangeurs, co-transporteurs et pompes sont **extrêmement régulés** dans l’organisme.



Daniel dans la fosse aux lions, Briton Rivière, 1872, trop trop hard

! FIN !

C’est tout pour ce super cours de physiolove. Le travail a été fait, je suis fier de vous les jeunes ! Je le mettrai à jour si besoin après le présentiel, encore une fois : bombardez les QCM y’a que comme ça que l’on apprend !! Ne lachez rien et n’oubliez pas : celui qui abandonne une fois, abandonnera toute sa vie.

N’hesitez pas à me faire des retours sur messenger !

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

Dédicaces en Lau tu connais :

Re dédi à toute ma famille, c'est moi qui decide je fais ce que je veux c'est ma fiche

dédi au tutorat nissart et tous les tuteurs qui se donnent à fond et produisent un travail de qualité pour vous faire réussir brillament votre P1

dédi sur dédi à mes homies Omar, Nolan, Paul, Pierrick, Safa, Sirine, Inès, Gabin et tous les autres, c'est la famille

Dédi à cette immense matière qu'est la physiologie et l'incroyable team qu'on forme avec mes co-tut, quand j'étais en P1 je m'imaginais tuteur de physio, froidement

Dédi à la médecine que j'ai hate d'étudier c'est de la frappe + dédi aux commandos Marine, médecin fs, froidement encore une fois

dédi à l'époque ou je galerais en prepa avec mes gars, c'etait quelque chose mdrr (le TIPE les gars j'en rigole encore) n'hésitez pas à vous réorienter si vous sentez que ce que vous faites ne vous plait plus !! Dieu merci j'ai changé de voie
d'ailleurs si y'a des vieux/réorientation force on est ensemble ne lachez rien et soyez fiers d'avoir osé, ça va le faire !!!!!

dédi à kekra et sch tiens

dédi au cinéma et à l'horrible pathé massena ou vous pourrez me croiser très souvent mdrr (vacances d'été d'il y a deux ans j'y allais 3 fois par jour c'était quelque chose !)

Dédi à mes fillots/fillotes Gael,Emmanuelle, Mustafa, Rahma, Kawtar, Emma, Assia qui vont reussir leur P1 haut la main, je n'en ai pas l'ombre d'un doute !

dernière dédi pour vous, qui avez le courage d'entreprendre cette année, vous verrez vous aurez le sourire en y repensant...

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

La belote niçoise veille au grain et Jairique production n'est jamais loin...

Page ode à Jairique production et tous ses membres (la new wave nissart)





Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite