

A thick black L-shaped frame is positioned around the text. It starts at the top left, goes right, then down, then right again, and finally down to the bottom right corner.

# POTENTIEL ÉLECTRIQUE ET COURANTS OSMOTIQUES

TTR 2019-2020, UE3b meilleure matière

## L'organisme à grande échelle

### **Compartimentation de l'organisme**

Les milieux liquides

Le milieu aérien pulmonaire

### **Mesures de grandeurs**

Force hydrostatique

## L'organisme à « moyenne échelle »

### **Composition des milieux**

Substances dissoutes

Substances chargées

### **Mesures de grandeurs**

Forces osmotique  
et électrique

## L'organisme à petite échelle

### **Dynamique des milieux**

Oxydation des nutriments

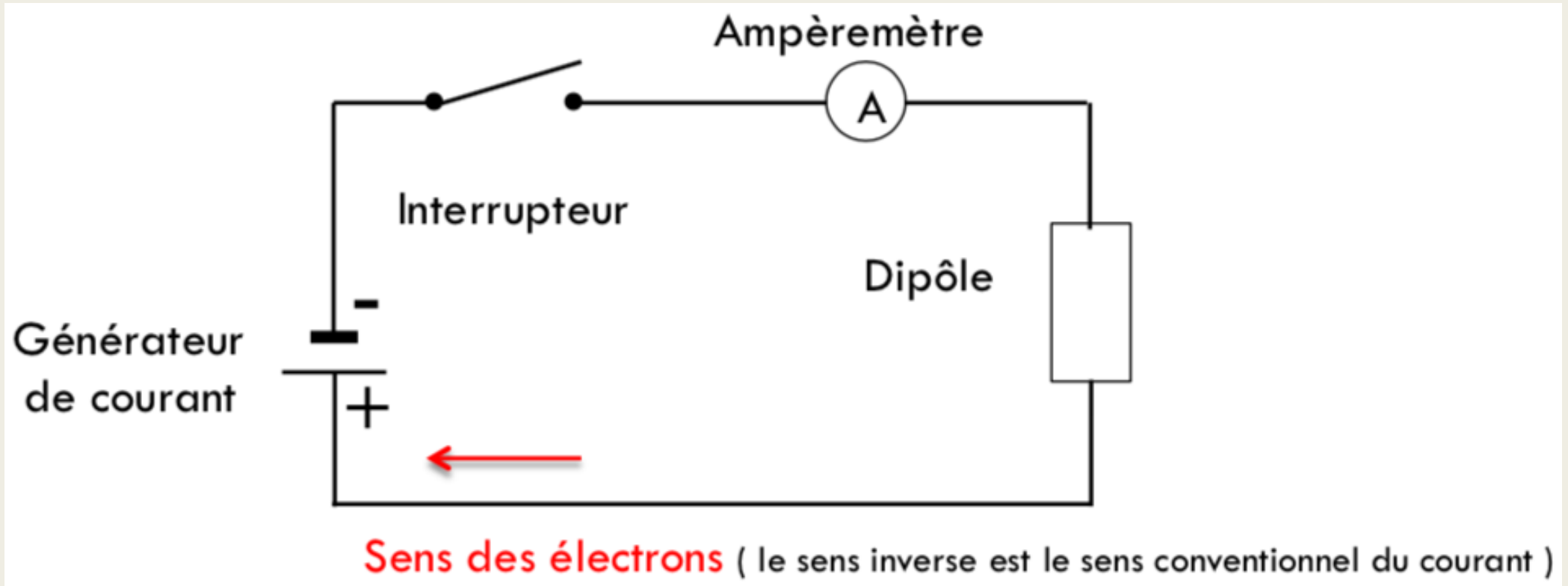
### **Mesures de grandeurs**

Energie libre

# 1/MOLÉCULES IONISÉES ET COURANTS OSMOTIQUES

- Les **phénomènes électriques** sont aussi importants que les phénomènes chimiques
- Les **ions** en solution sont des molécules chargées **comparables** à des **électrons** dans un métal conducteur d'électricité  
(les anions sont attirés par les charges + et les cations par les charges -)
- Mouvements ioniques créent des **courants osmotiques**
- Potentiel électrique proportionnel à la **charge**, à la **mobilité** et à l'**intensité** du champ électrique
- Le champ électrique est **homogène** dans la membrane plasmique

# 1/MOLÉCULES IONISÉES ET COURANTS OSMOTIQUES



# 1/MOLÉCULES IONISÉES ET COURANTS OSMOTIQUES

**INTENSITÉ** : nb d'électrons qui traversent en **unité de temps** (en A)

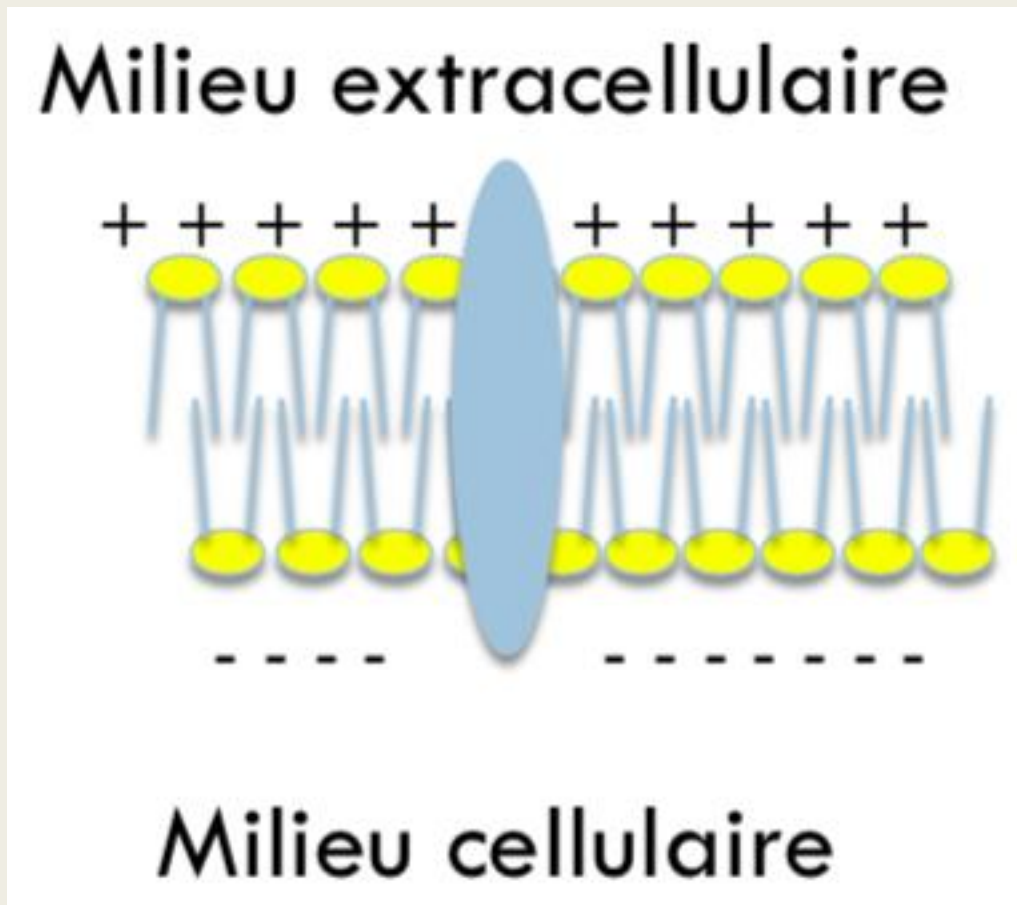
**POTENTIEL** : Quantité d'ion ou d'électron qui s'accumule en un point (en V)

**CONDUCTANCE** : Facilité de mobiliser une charge dans un circuit

**GALVANOMÈTRE** : Ampèremètre très sensible adapté aux courants biologiques

→ Sens des électrons : sens inverse du courant électrique

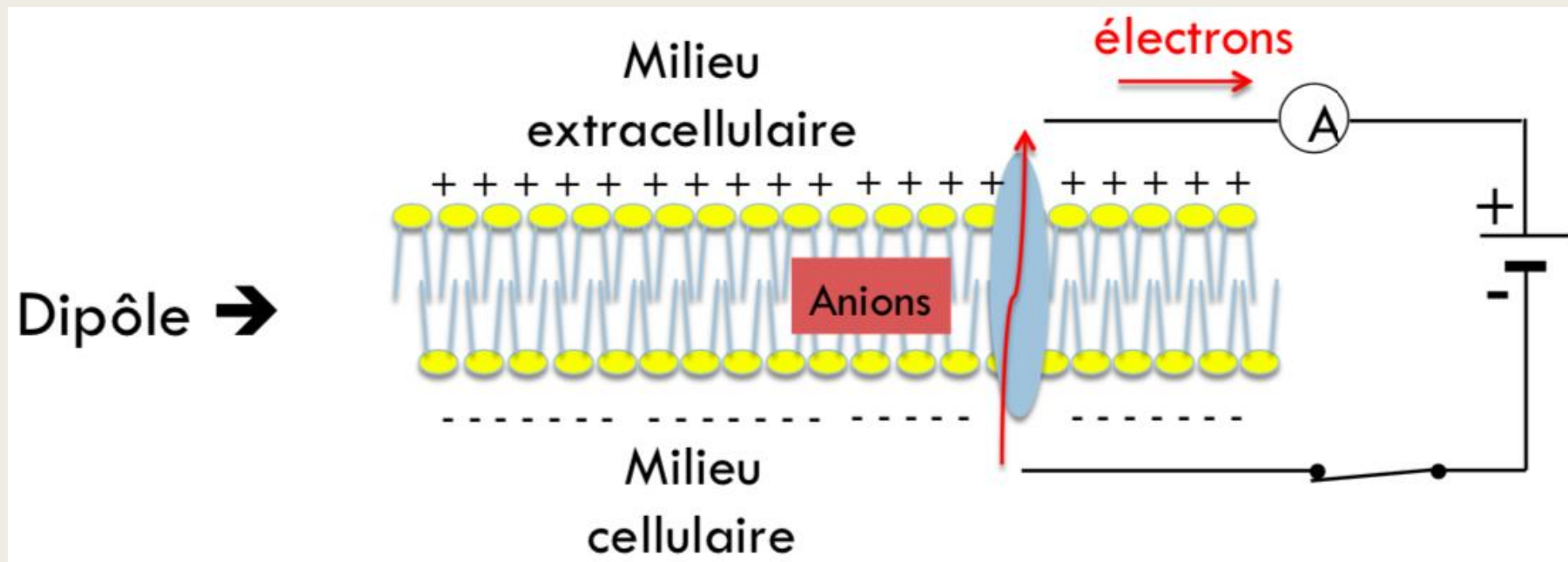
# 1/MOLÉCULES IONISÉES ET COURANTS OSMOTIQUES



**DIPÔLES** : Membrane plasmique + protéines

→ Déterminent la conductance des courants osmotiques

# 1/MOLÉCULES IONISÉES ET COURANTS OSMOTIQUES



→ Dans notre circuit, le courant électrique est converti en **courant osmotique** au niveau de la membrane

# 1/MOLÉCULES IONISÉES ET COURANTS OSMOTIQUES

→ L'inverse de la conductance : la **résistance**

LOI D'OHM : **CONDUCTANCE = INTENSITÉ / POTENTIEL**

→ Plus le courant est intense, plus le système conduit facilement = plus les protéines sont perméables aux ions



# 1/MOLÉCULES IONISÉES ET COURANTS OSMOTIQUES

	Courant électrique	Courant ionique
Porteurs de charges	Électrons	Ions (anions et cations)
Potentiel Electrique (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

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

# 1/MOLÉCULES IONISÉES ET COURANTS OSMOTIQUES

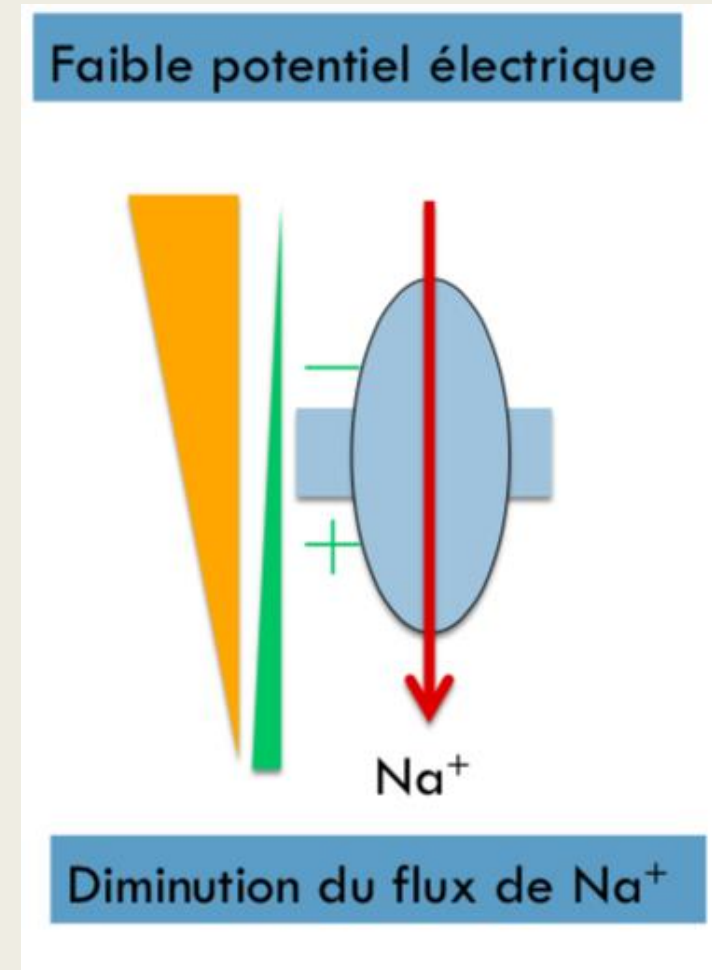
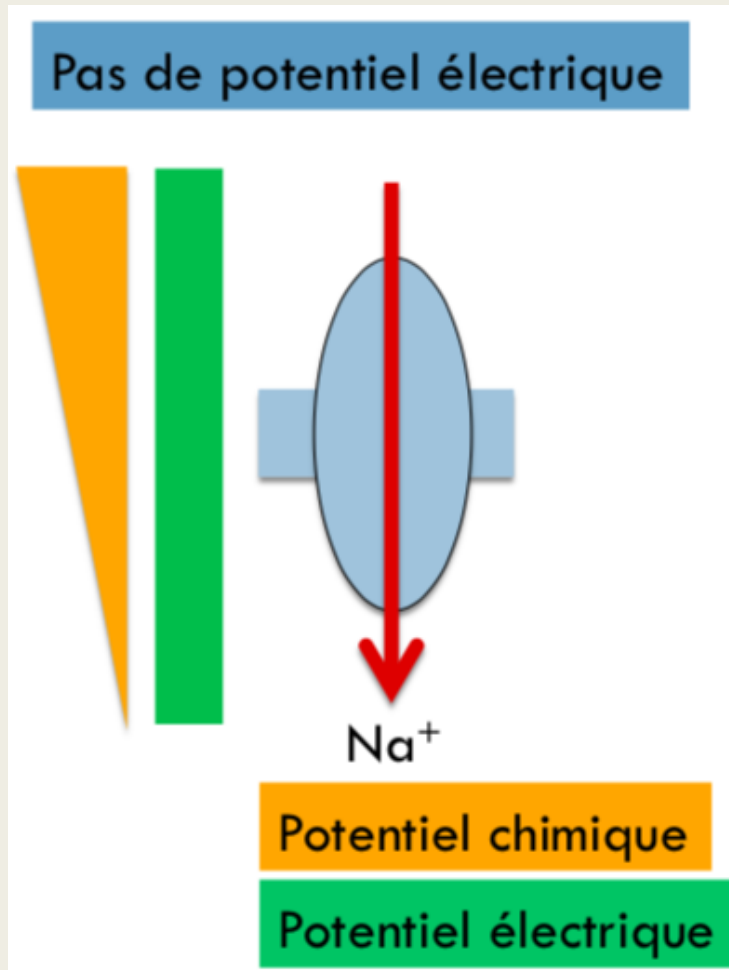
## LOI DE NERNST

→ Le potentiel chimique équilibre le potentiel électrique d'une osmole chargée en solution

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

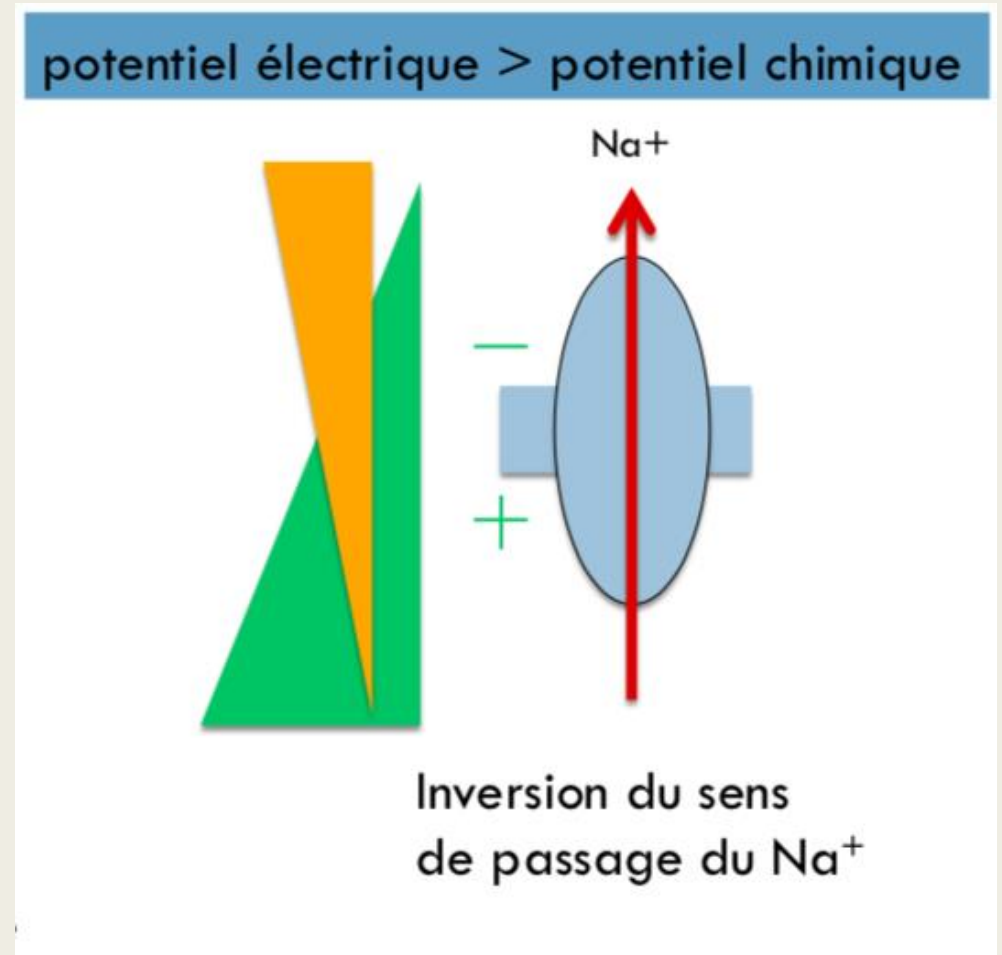
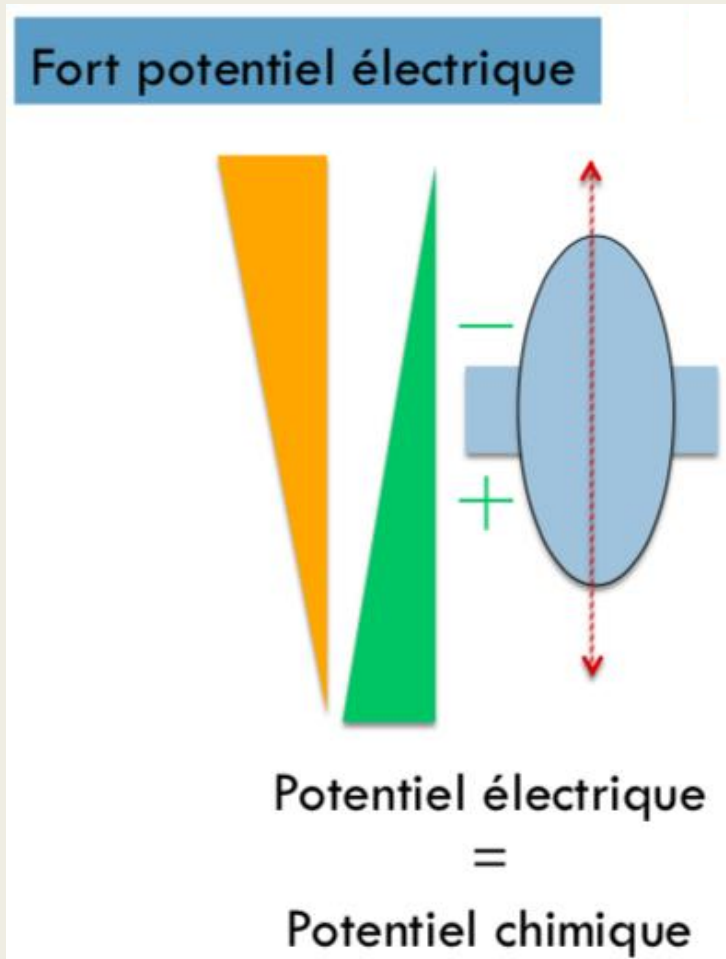
# 1/MOLÉCULES IONISÉES ET COURANTS

## OSMOTIQUES

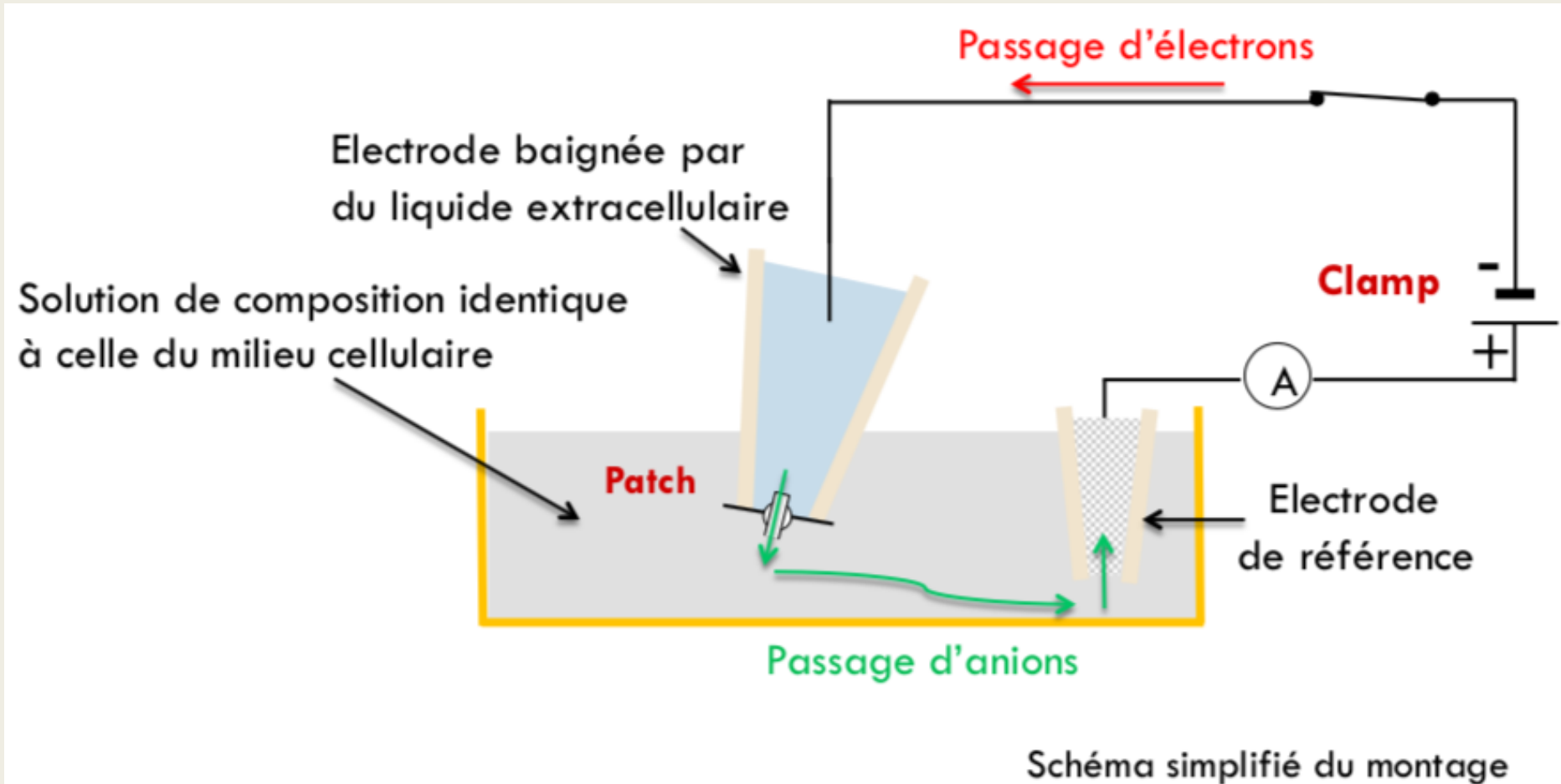


# 1/MOLÉCULES IONISÉES ET COURANTS

## OSMOTIQUES

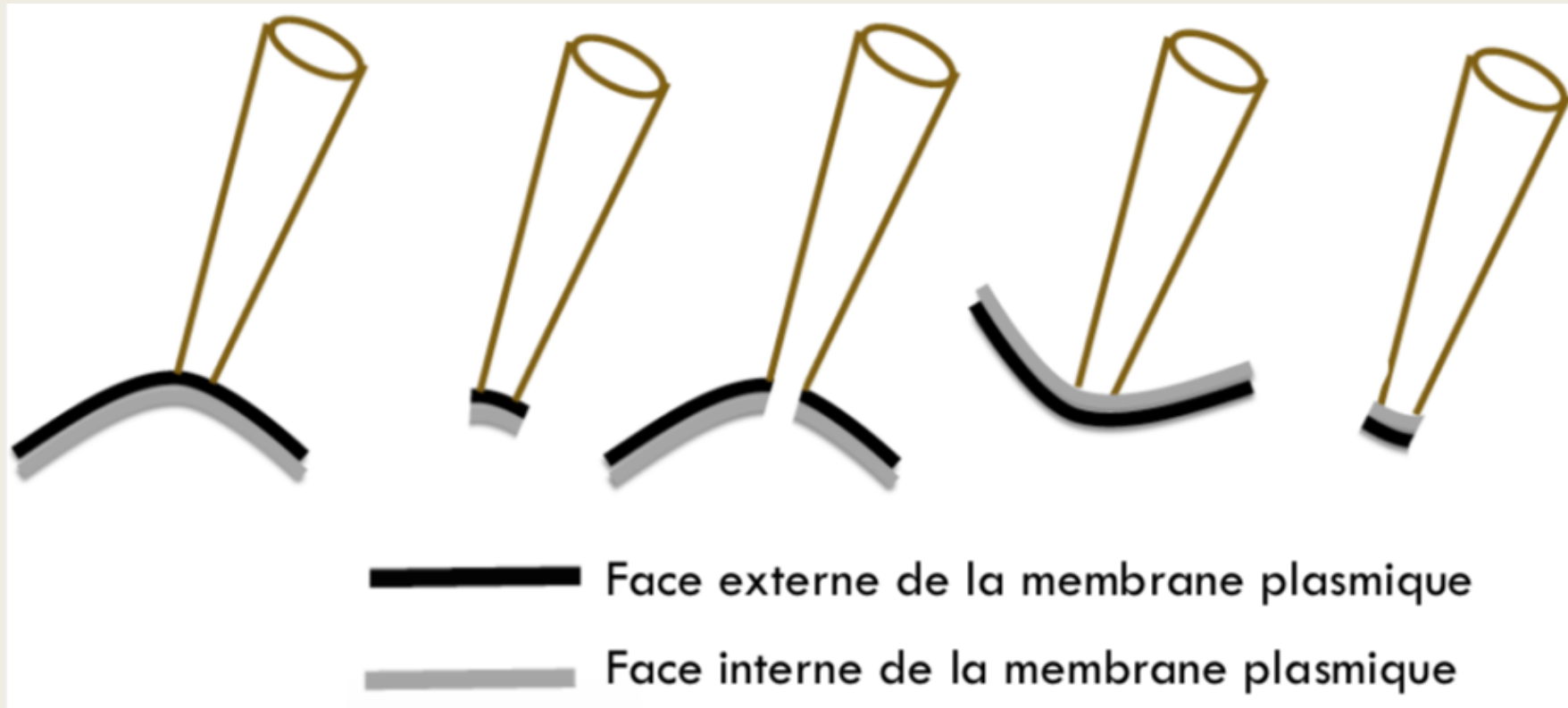


## 2/CONDUCTANCE MEMBRANAIRE



## 2/CONDUCTANCE MEMBRANAIRE

### PATCH-CLAMP



## 2/CONDUCTANCE MEMBRANAIRE

→ **LOI D'OHM** s'applique au circuit

→ **Mise sous tension = Clamp** : parce qu'on fixe le voltage (clamber = fixer le voltage)

→ **PROTÉINES**

**TRANSMEMBRANAIRES :**

permettent diffusion  
facilitée (affectent la  
conductance)

Mesurée avec  
un ampèremètre

$$\frac{\textit{Intensité}}{\textit{Voltage}} = \textit{Conduc tan ce}$$

Clampé

Calculée

## 2/CONDUCTANCE MEMBRANAIRE

→ **Intensité faible** avec **Voltage élevé** = **Conductance faible** :

- **Absence** de protéines membranaires (pas de canal)
- Protéines membranaires en **conformation fermée**

→ **PATCH-CLAMP:**

- Montre l'**existence** de protéines transmembranaires (diffusion facilitée des osmoles)
- Révèle les **propriétés physiques** de ces mêmes protéines



## 2/CONDUCTANCE MEMBRANAIRE

### CANAL SODIQUE ÉPITHÉLIAL

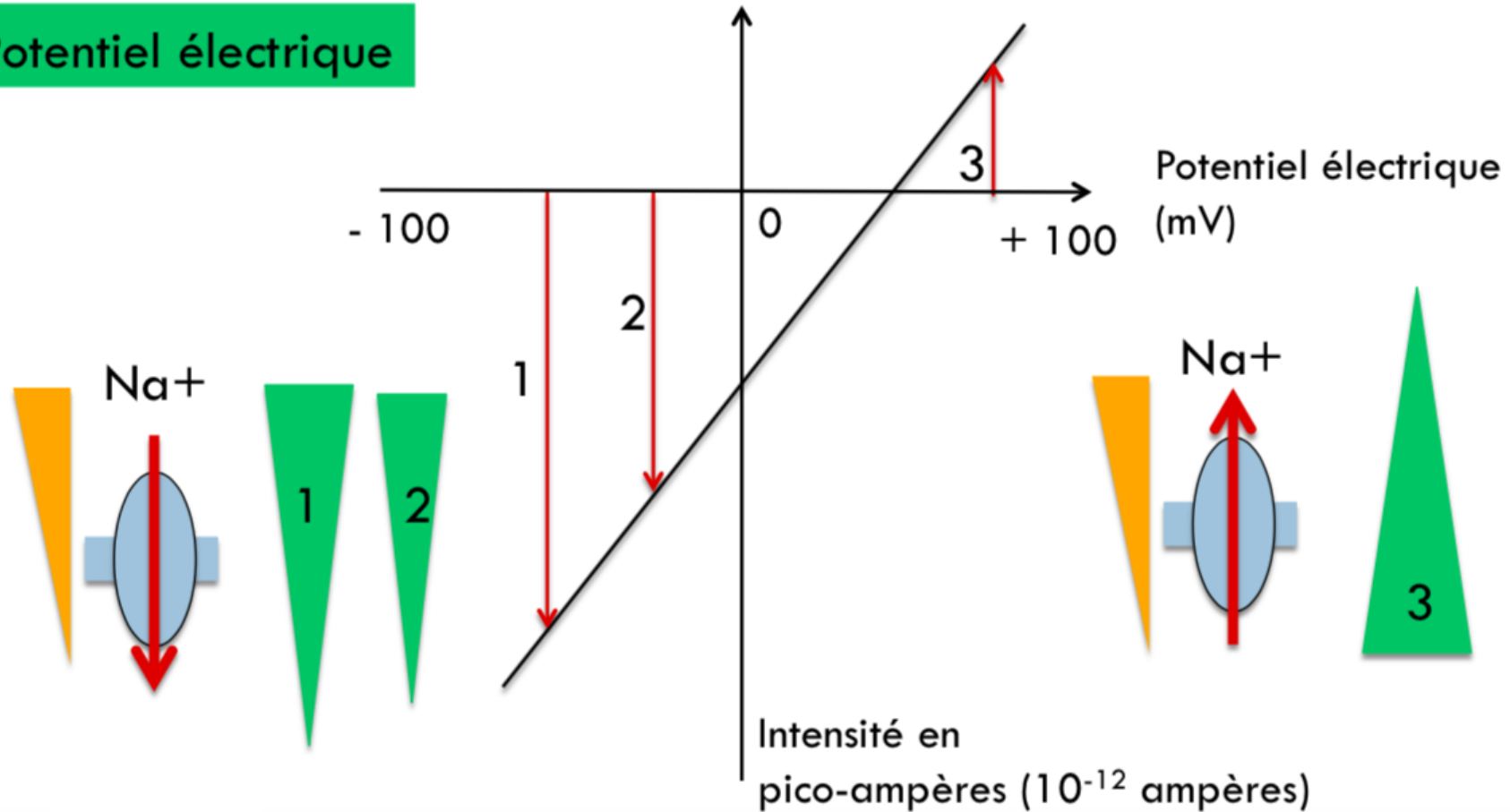
- Protéine transmembranaire permettant la **diffusion facilitée**
- Rein, poumons (régulation **pression artérielle** et des **échanges alvéolaires**)
- Conductance : **4 pS**
- Intensité varie beaucoup en fonction du potentiel électrique :

**RELATION INTENSITÉ-VOLTAGE LINÉAIRE**

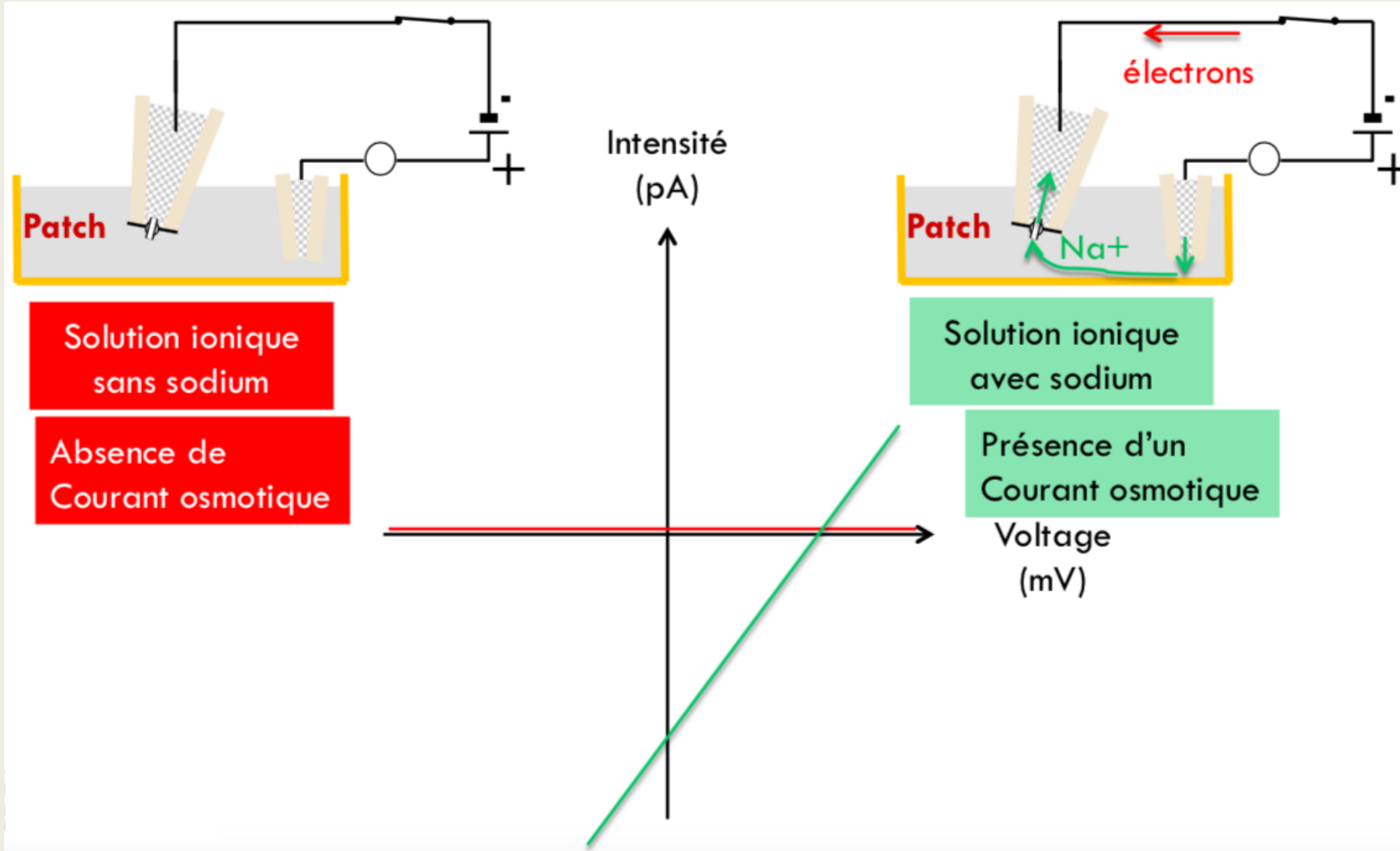
## 2/CONDUCTANCE MEMBRANAIRE

Potentiel chimique

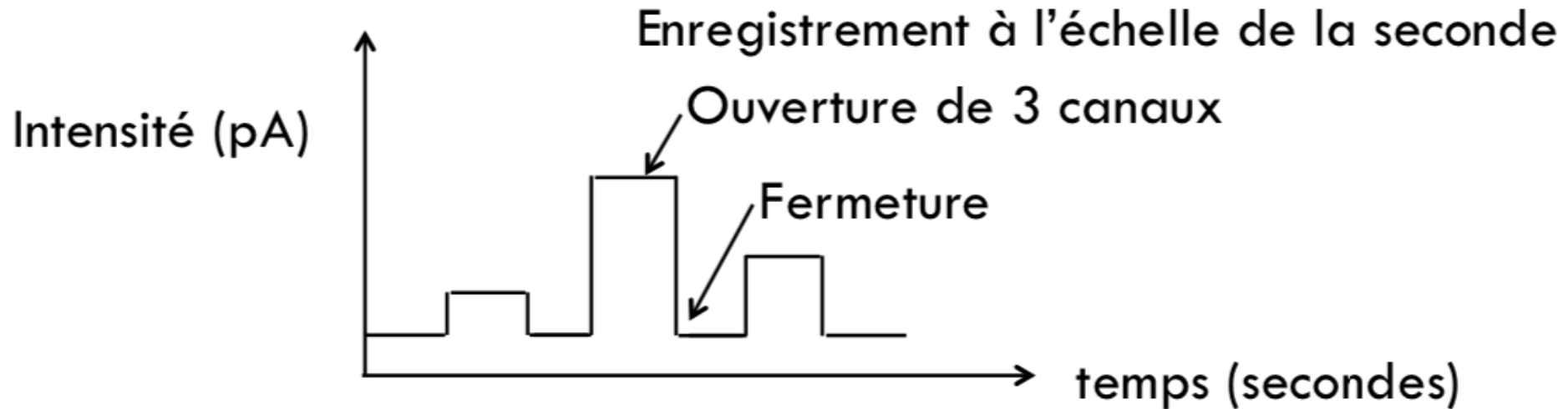
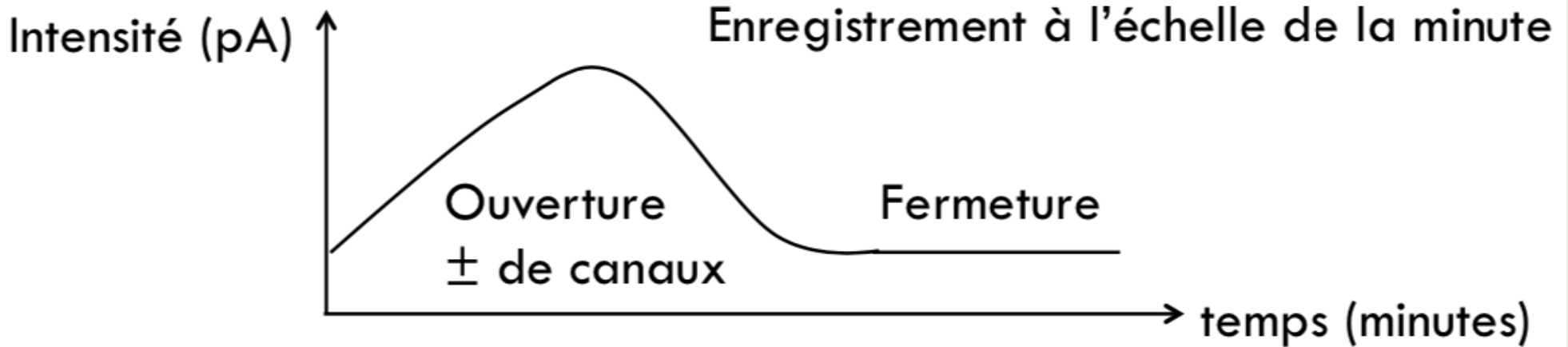
Potentiel électrique



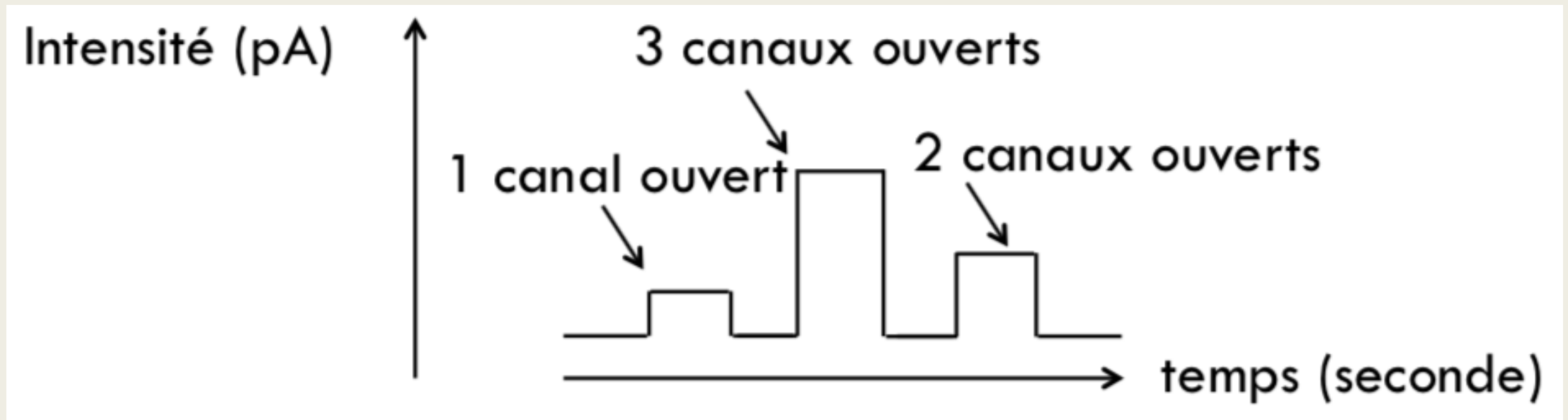
## 2/CONDUCTANCE MEMBRANAIRE



## 2/CONDUCTANCE MEMBRANAIRE

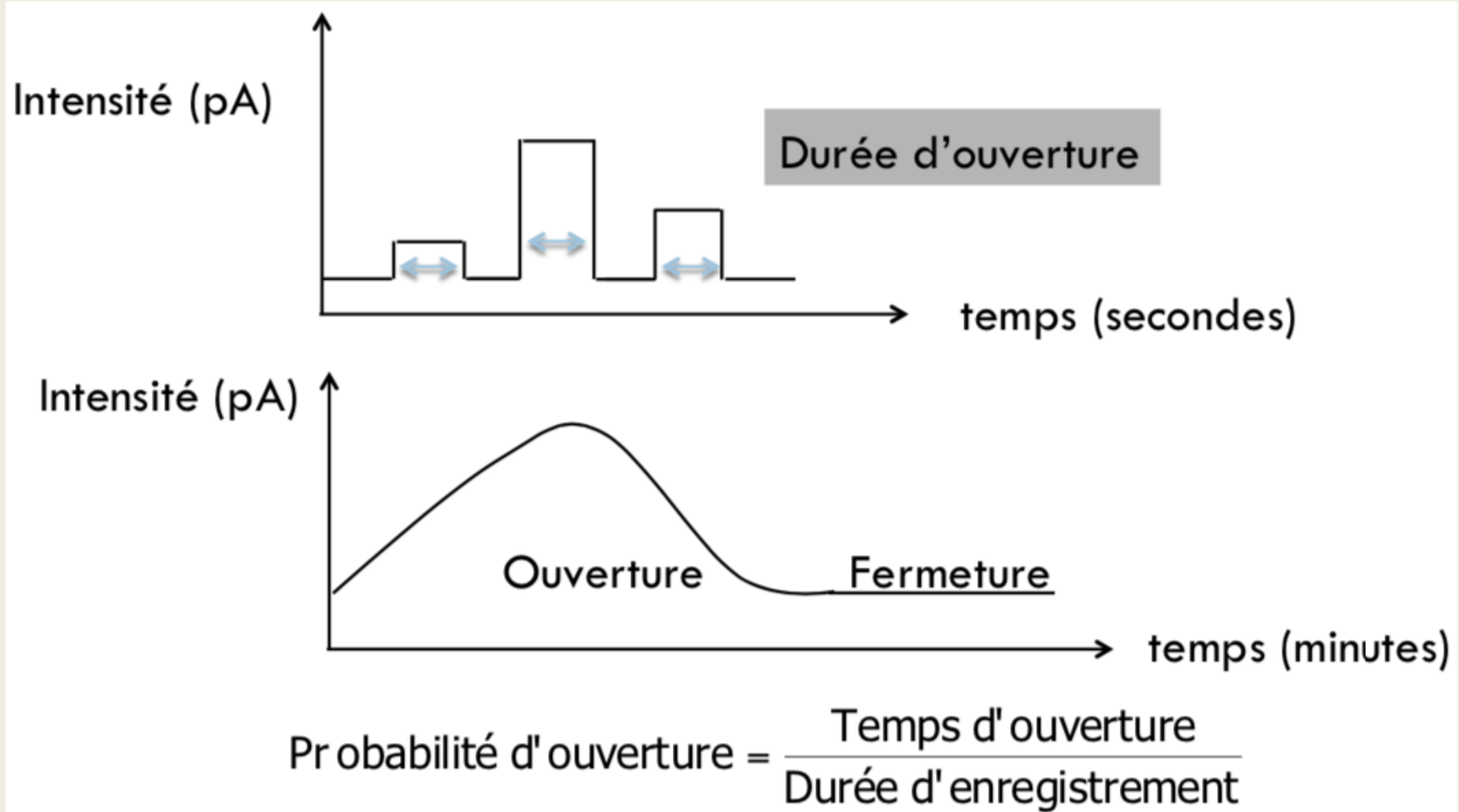


## 2/CONDUCTANCE MEMBRANAIRE



→ **COURANT UNITAIRE** : intensité d'un canal

## 2/CONDUCTANCE MEMBRANAIRE

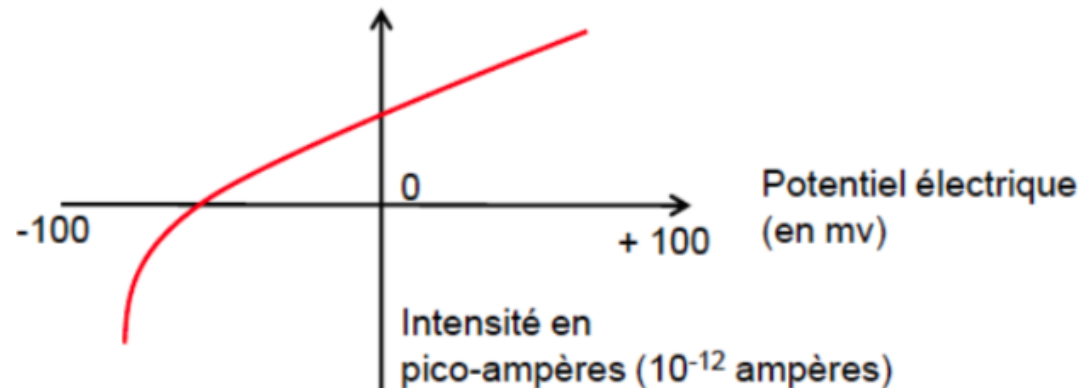


## 2/CONDUCTANCE MEMBRANAIRE

### CARTE D'IDENTITÉ DU CANAL

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

Exemple de relation intensité-voltage non linéaire



## 2/CONDUCTANCE MEMBRANAIRE

- **CANAUX VOLTAGE-DÉPENDANTS** : Intensité mesurée seulement dans certaines fourchettes de voltage
- Canaux sodiques épithéliaux peuvent être bloqués par l'**AMILORIDE** (inhibiteur pharmacologique)
- **AMILORIDE** : **diurétique** → traitement contre l'hypertension artérielle, les épanchements et les œdèmes de l'insuffisant cardiaque
- **Mutation** du canal sodique : **hypo** ou **hyper tension** artérielles sévères



## 2/CONDUCTANCE MEMBRANAIRE

**AUTRES CANAUX** (QUE LES VOLTAGES-DÉPENDANTS) :

- **Canaux cationiques non-sélectifs** : capteurs mécano-sensibles
  - Régulation pression artérielle
  - Proprioception
  - Sens du toucher (extéroception, sens épicrotique)
- **Canaux sodiques et potassiques** : déterminants rythme cardiaque, Cibles des anti-arythmiques (rythme et force de contraction)
- **Canaux cationiques non-sélectifs** : Capteurs de température et de perception thermique



# POTENTIEL ÉLECTRIQUE TRANSMEMBRANAIRE

1/Électroneutralité des liquides biologiques

2/ Mouvements de charges

3/ Polarisation membranaire électrique



# Asymétrie de concentration $\neq$ asymétrie de charge électrique

	Côté interne de la membrane chargé -	Côté externe de la membrane chargé +
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>

# Electroneutralité des liquides biologiques

- Une différence de potentiel électrique entre 2 milieux liquides séparés par une membrane atteint 100 mV quand **1 ion sur  $10^5$**  est réparti de manière asymétrique.
- Pour l'électrophysiologie, **le bilan des charges n'est pas nul ++**
- Pour les propriétés osmotiques, le bilan des charges est nul et les 2 milieux sont considérés comme électriquement neutres :
  - **Cations = Anions**

# Conséquences

- Les propriétés électriques des cellules sont liées à des transferts de charge quantitativement négligeables mais qualitativement importants.
- Rythme cardiaque, rythmes circadiens, péristaltisme intestinal, codage et transmission des signaux dans le système nerveux dépendent des propriétés électriques des cellules.
- Les phénomènes électriques peuvent varier énormément en intensité sans compromettre l'équilibre osmotique des cellules.

# La relation de Nernst

Potentiel électrique + potentiel chimique = 0

A l'équilibre, l'ion rentre autant qu'il sort de la cellule

$$\text{Potentiel électrique à l'équilibre} = -\frac{RT}{zF} \ln \frac{[cation]_{\text{intracellulaire}}}{[cation]_{\text{extracellulaire}}}$$
$$\text{à } 37^{\circ}\text{C} = -60 \text{ mV} \log \frac{[cation]_{\text{intracellulaire}}}{[cation]_{\text{extracellulaire}}}$$

Le potentiel transmembranaire moyen est **-80mV**

En connaissant les concentrations en ions de part et d'autre de la mb on peut calculer le PE

Valeur calculée = valeur mesurée pour un ion → Il est à **l'équilibre**

Valeur calculée ≠ valeur mesurée pour un ion → Le canal ionique correspondant est **peu perméable** OU **peu ouvert**

Lorsque qu'un canal est **ouvert**, le **potentiel mesuré tend vers le potentiel d'équilibre** de l'ion correspond +++

En ouvrant et fermant ses canaux, une cellule peut faire varier son potentiel dans une gamme d'environ **150mV**

# Ions chlorure, potassium et sodium

$$\text{Potentiel électrique}_{\text{Chlore}} = -\frac{RT}{zF} \ln \frac{[Cl^-]_{\text{extracellulaire}}}{[Cl^-]_{\text{intracellulaire}}} \approx -80 \text{ mv}$$

$$\text{Potentiel électrique}_{\text{Potassium}} = -\frac{RT}{zF} \ln \frac{[K^+]_{\text{intracellulaire}}}{[K^+]_{\text{extracellulaire}}} \approx -96 \text{ mv}$$

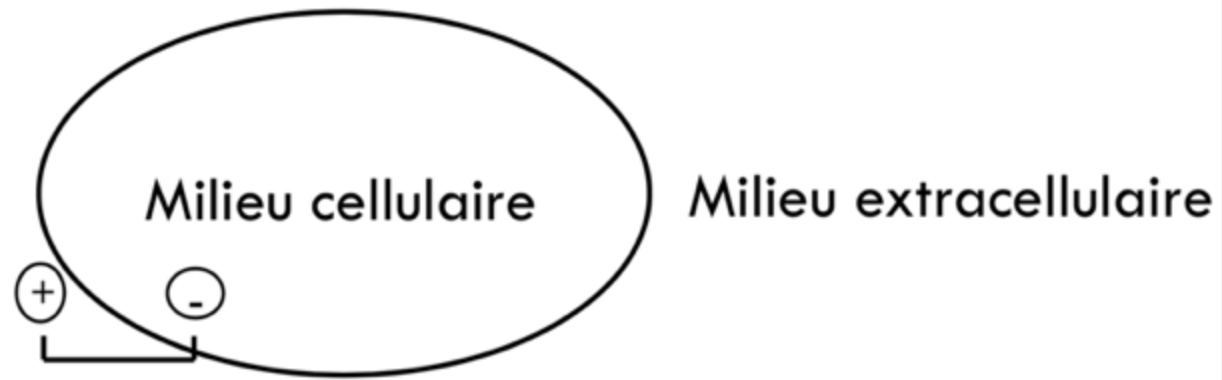
$$\text{Potentiel électrique}_{\text{Sodium}} = -\frac{RT}{zF} \ln \frac{[Na^+]_{\text{intracellulaire}}}{[Na^+]_{\text{extracellulaire}}} \approx 70 \text{ mv}$$

Le potentiel électrique calculé pour le potassium est beaucoup plus proche du potentiel transmembranaire mesuré que le potentiel calculé pour le sodium

→ les canaux potassiques sont **beaucoup plus ouverts** que les canaux sodiques

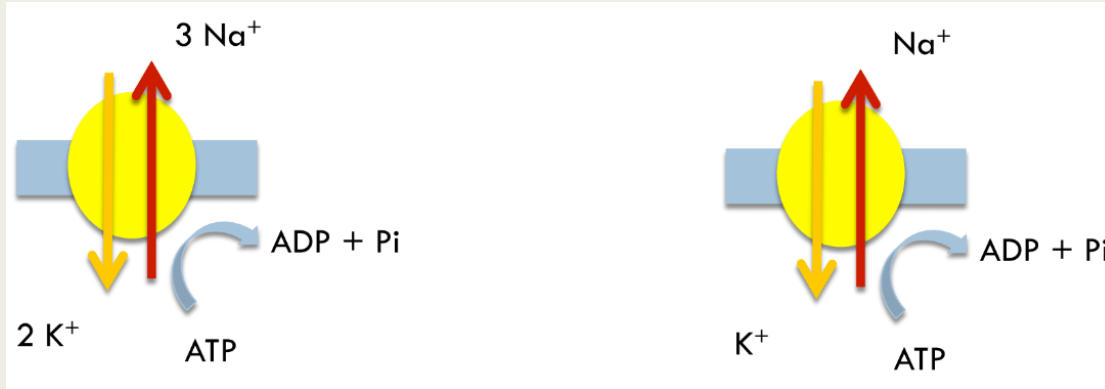
# Quelle est l'origine du potentiel transmembranaire ?

Potentiel transmembranaire mesuré au repos = - 80 mv





# La stœchiométrie de la pompe à sodium

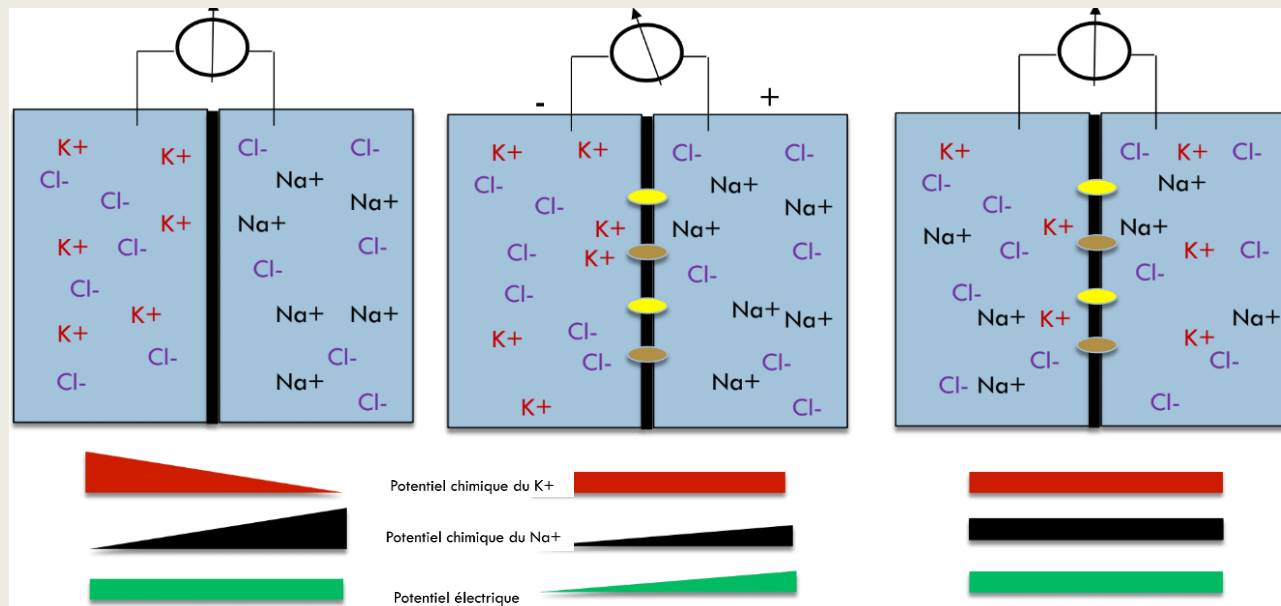


Dans les deux cas :

- L'asymétrie de répartition des cations est assurée
- Les deux côtés de la membrane restent électroneutres car la répartition du Cl<sup>-</sup> équilibre les charges

DONC : La stœchiométrie 3/2 de la pompe à sodium n'est **pas** **suffisante** pour expliquer la différence de potentiel transmembranaire

# Potentiel électrique d'une membrane

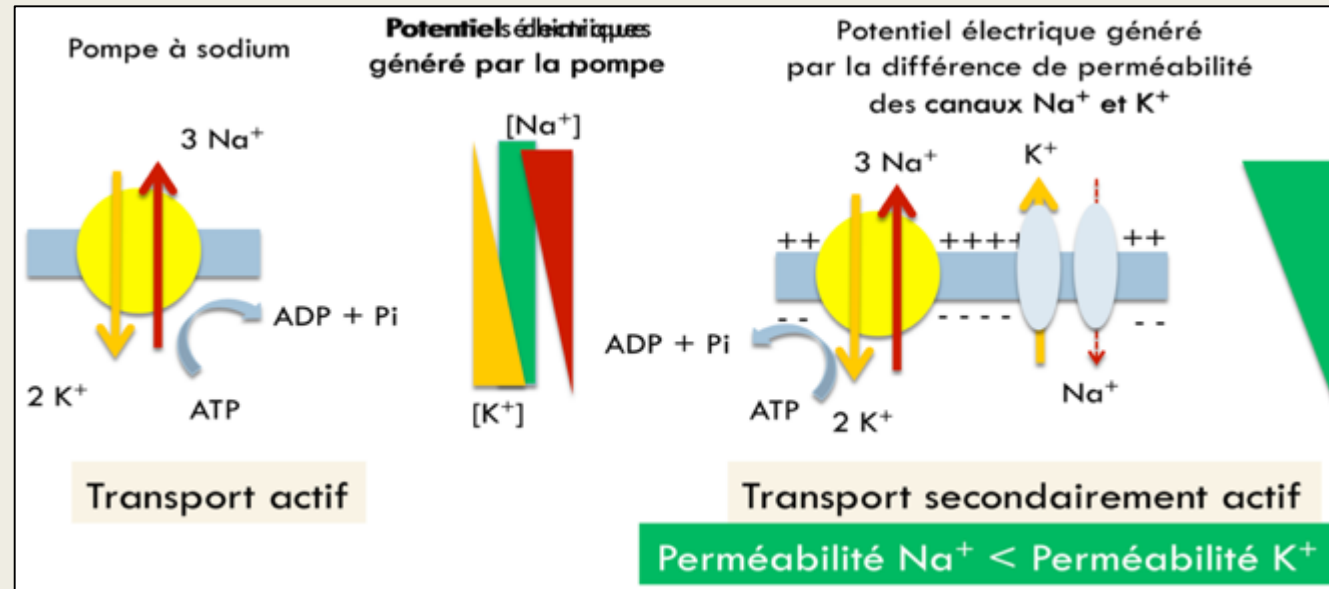


Au début : **PC maximaux et PE nul**

Ouverture des canaux ioniques :  
(perméabilité K<sup>+</sup> > Na<sup>+</sup>) **création d'un PE**

Le Na<sup>+</sup> a fini de diffuser : **le PE redevient nul**

# Le maintien de l'asymétrie de répartition du $\text{Na}^+$ et du $\text{K}^+$ assure la pérennité du potentiel électrique transmembranaire



1) La pompe à sodium **crée et maintient** une asymétrie de répartition entre le  $\text{Na}^+$  et le  $\text{K}^+$ .

➤ On a un PC mais pas de PE !!!

2) La perméabilité différente des canaux sodiques et potassiques crée une accumulation de charges positives à l'extérieur de la cellule :

➤ CREATION DU POTENTIEL ELECTRIQUE

# Recap +++

- La perméabilité inégale des canaux sodiques et potassiques EXPLIQUE la différence de potentiel électrique au repos.
- Le transport actif de  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  par la **Na/K ATPase** explique que cette différence de potentiel électrique PERSISTE

# Conséquences importantes

- Les variations de la kaliémie dans le milieu extracellulaire modifient :

- $[K^+]$  dans le milieu cellulaire.

- **Le potentiel électrique de repos +++**

Rappel : le potentiel électrique du  $K^+$  est de -96mV

▣  $[K^+]_{\text{extracellulaire}}$  de 1mmol/L : potentiel électrique -104 mV

▣  $[K^+]_{\text{extracellulaire}}$  de 1mmol/L : potentiel électrique - 90 mV

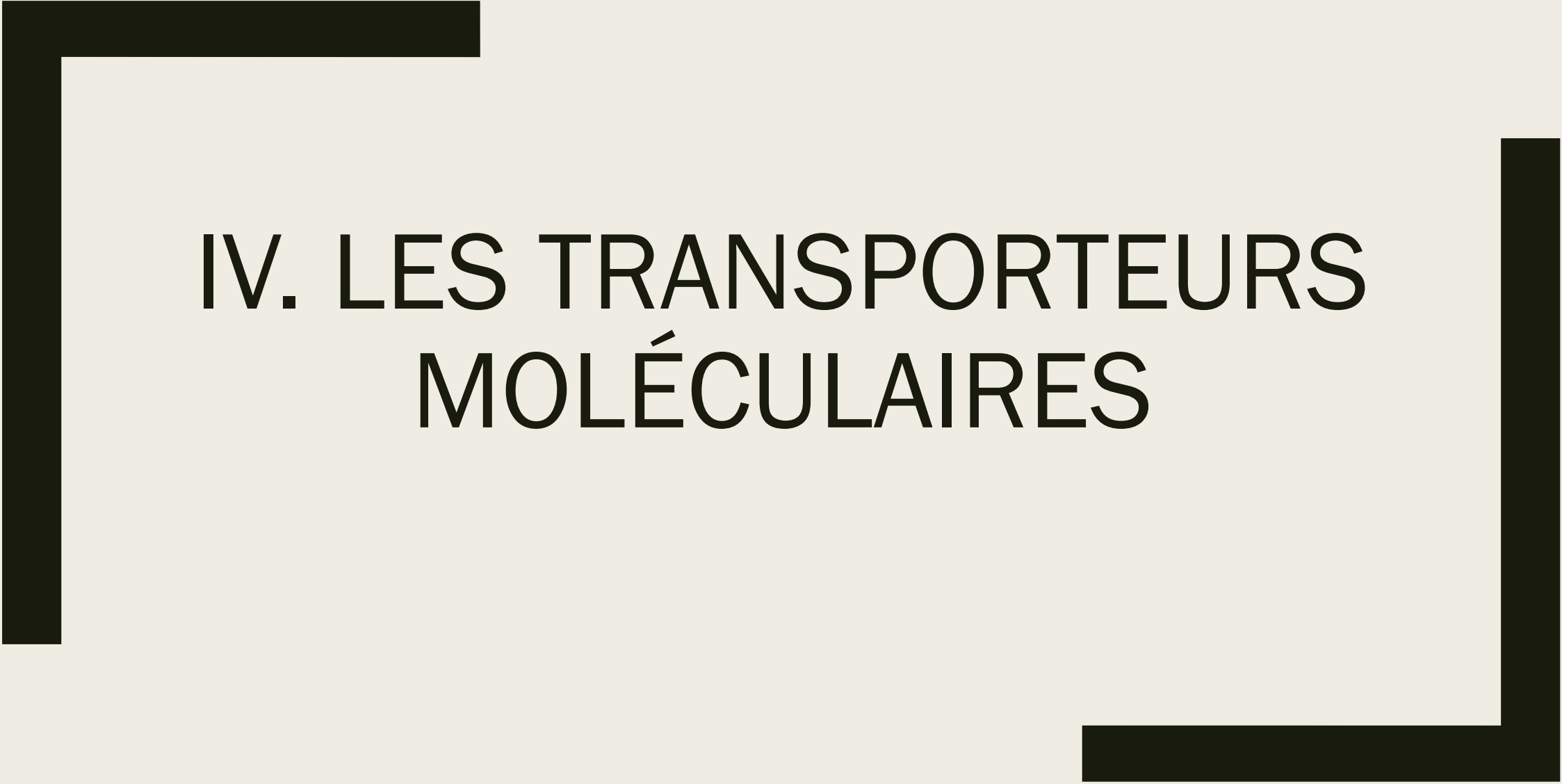
Remarque : cette modification de potentiel de repos peut avoir des conséquences sur les cellules excitables telles que les cardiomyocytes !

# Conséquences importantes

- La membrane plasmique des cellules au repos est très peu perméable au  $\text{Na}^+$ : le  $\text{Na}^+$  exerce une tonicité sur les membranes plasmiques.
- Les variations de natrémie provoquent des transferts d'eau entre le milieu cellulaire et le milieu extracellulaire.

Hypernatrémie = déshydratation cellulaire

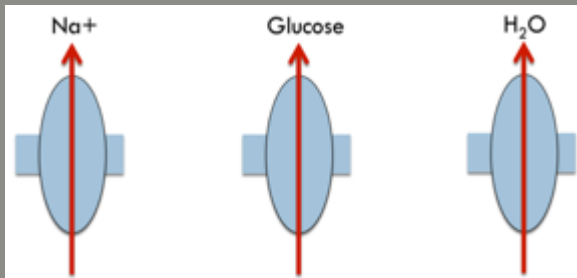
Hyponatrémie = hyperhydratation cellulaire

A thick black L-shaped frame is positioned on the left and bottom edges of the slide, framing the central text.

# IV. LES TRANSPORTEURS MOLÉCULAIRES

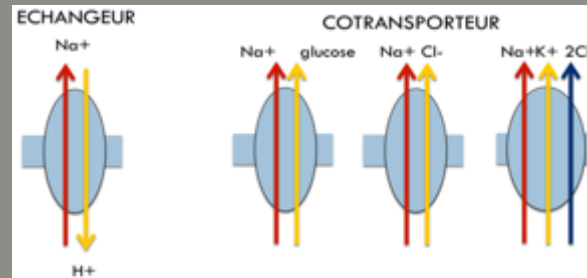
# A. Les différentes sortes de transporteurs

## Les canaux simples



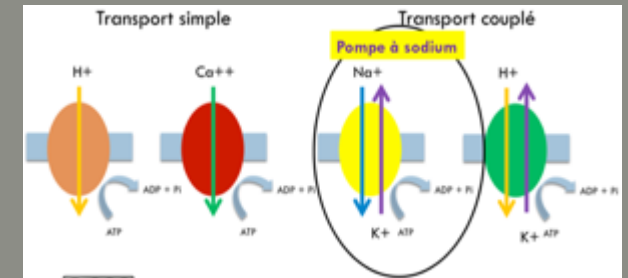
- **Spécifiques**
- Une molécule à la fois
- Un sens
- Pas d'énergie

## Les transporteurs couplés



1. **Échangeurs** (sens inverse)
  2. **Co-transporteurs** (même sens)
- **Dépendance** entre les 2 molécules

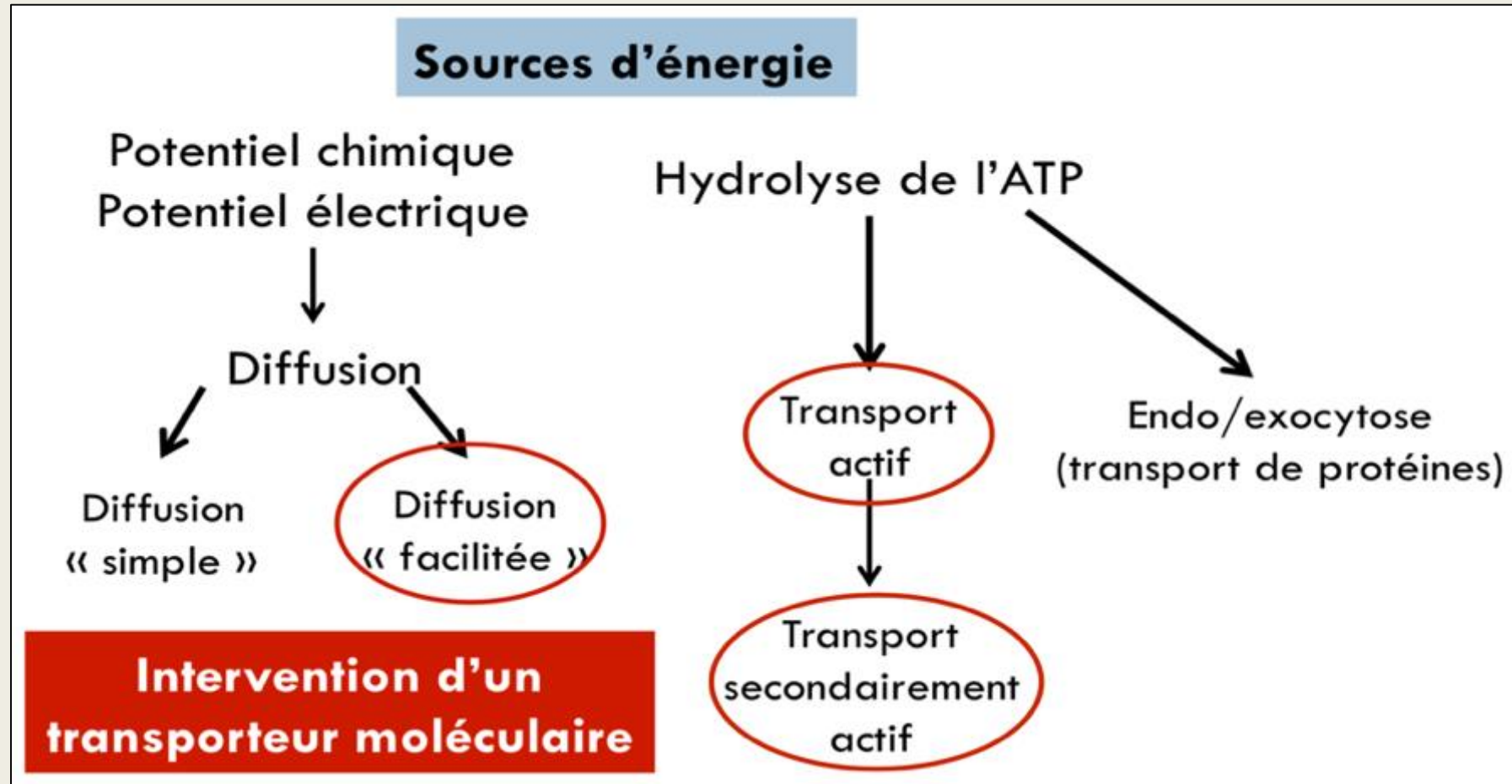
## Les pompes



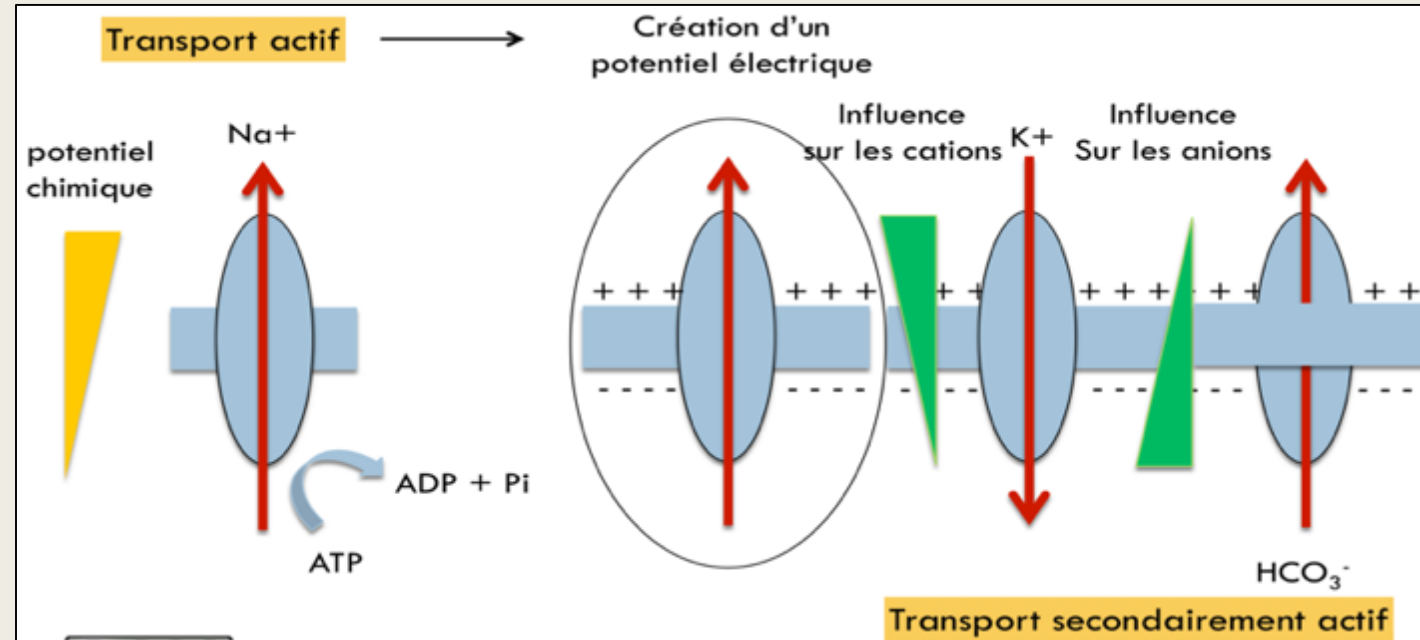
- De transport simple ou couplé
- Consommation d'**ATP** +++
- Ex : La pompe à sodium <3



## B. Les différents modes de transport



## B. Les différents modes de transport



- Transport actif : consomme de l'ATP et se fait **contre l'effet** du potentiel chimique ou électrique
- Transport secondairement actif est la conséquence de l'activité d'une pompe

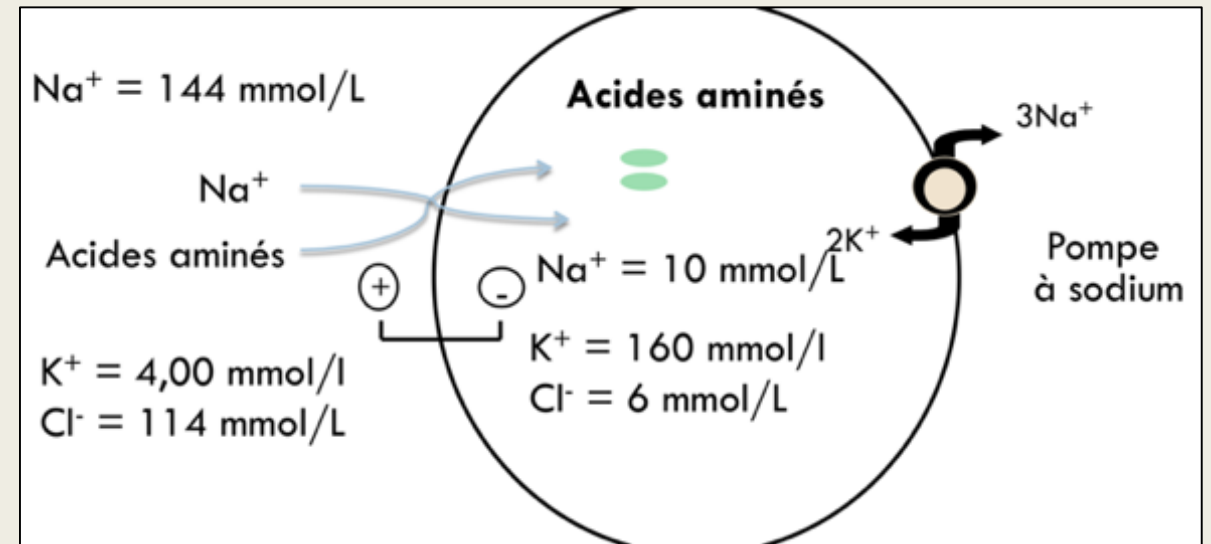
## C. Exemples

### ➡ Transport secondairement actif

- Les cellules sont métaboliquement actives :
  - ✓ **Sécrétion** de molécules en solution à partir du cytoplasme.
  - ✓ **Dégradation** de molécules organiques dans le cytoplasme.
- Diminution de l'**osmolalité cellulaire**
- Diminution du **volume cellulaire** par équilibre osmotique de l'eau
- Régulation du volume cellulaire pour éviter la déshydratation :
  - ✓ Entrée d'acides aminés **non** essentiels couplée à celle du sodium grâce au fonctionnement de la **pompe à sodium** (Na/K ATPase)

Régulation du volume cellulaire pour éviter la déshydratation :

- ✓ Entrée d'acides aminés **non** essentiels couplée à celle du sodium grâce au fonctionnement de la **pompe à sodium** (Na/K ATPase)

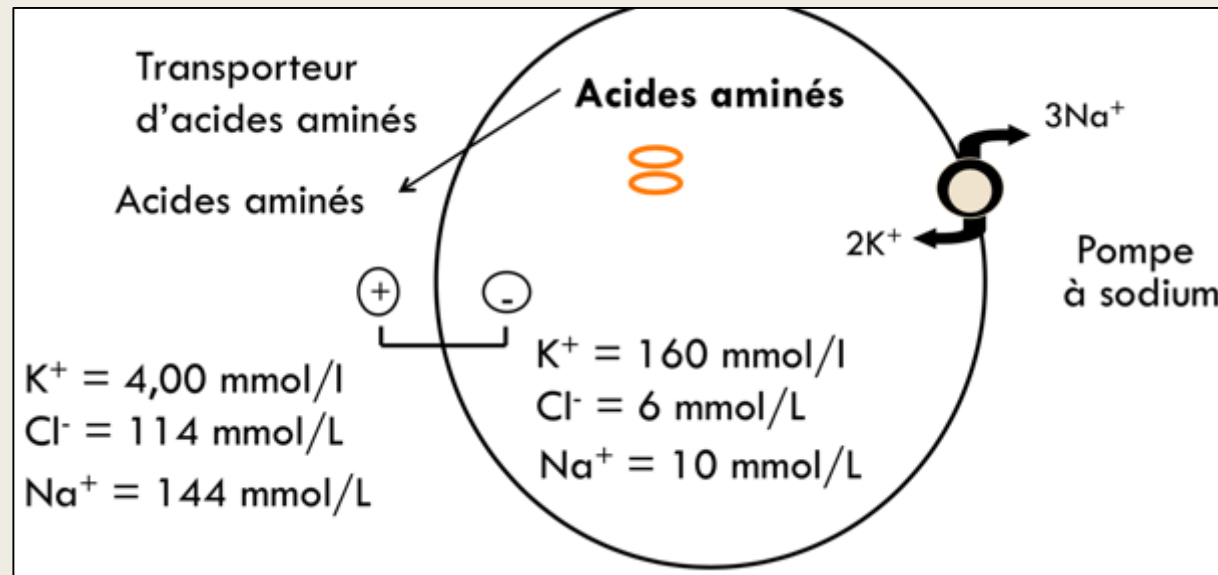


- Le potentiel chimique des AA est **favorable** à leur sortie.
- Le  $\text{Cl}^-$  assure l'**électroneutralité**.
- La **pompe à sodium** (transport actif) crée un potentiel chimique pour le  $\text{Na}^+$  qui rend favorable son **entrée** dans la cellule.
- Donc les potentiels chimique ET électrique du sodium sont favorables à son entrée : les AA rentrent dans la cellule **avec** l'ion sodium

→ Maintien de l'osmolalité intracellulaire

# C. Exemples

## ➡ Diffusion facilitée



**Augmentation** de l'osmolalité cellulaire

→ Les AA sortent de la cellule selon leur potentiel chimique par diffusion facilitée (transporteur)



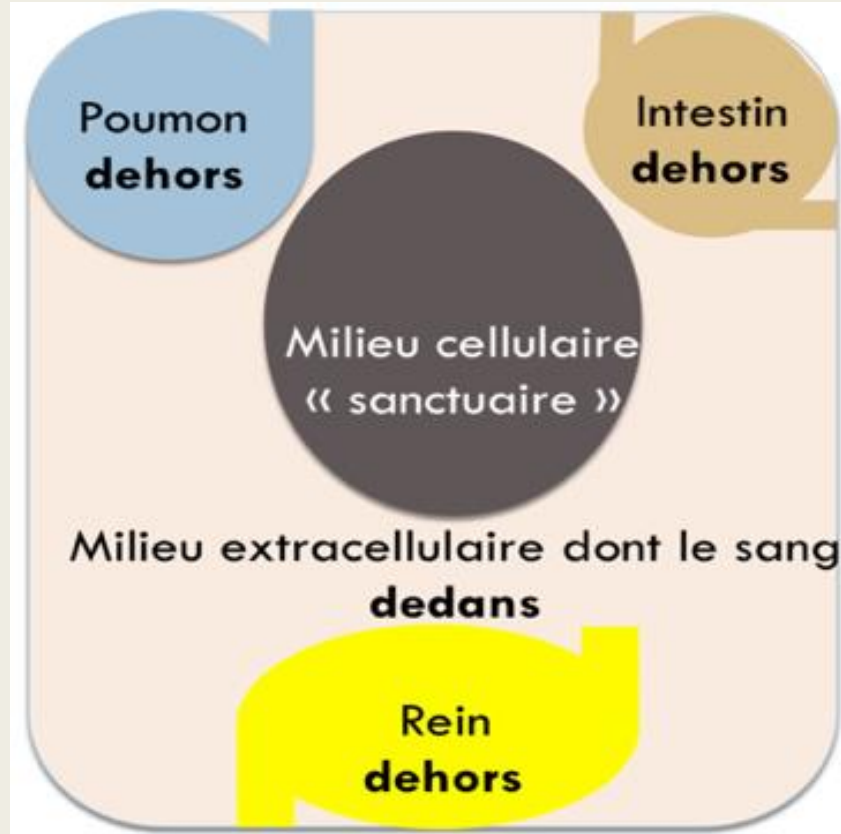
# V. LES ÉPITHÉLIUMS



# A. Définitions

- Epithelium :
  - ✓ Couche de cellules posées sur une **lame basale**.
  - ✓ Situé à l'**interface** entre le milieu intérieur et le milieu extérieur.
- 2 fonctions :
  - ✓ **Protection** (peau)
  - ✓ **Transport** (rein, intestin, poumon)

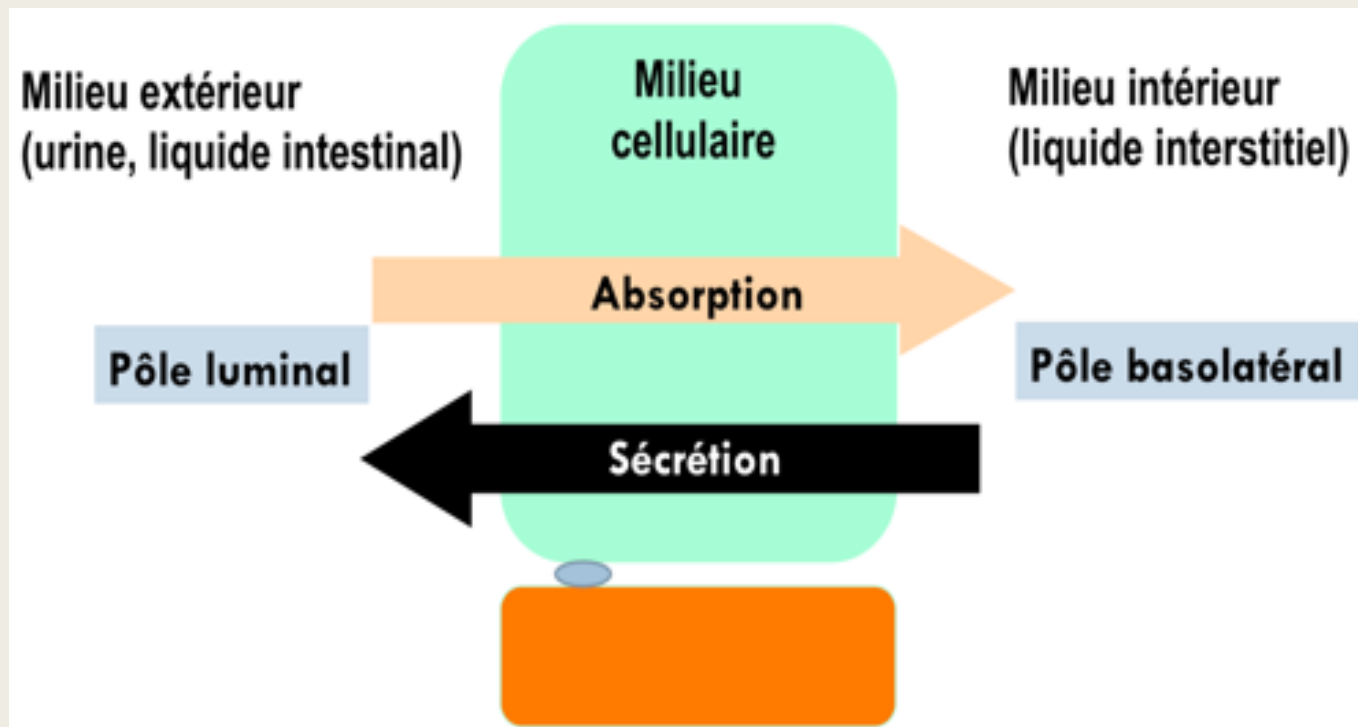
# Rappel



+++ Attention +++

Milieu **extracellulaire** (dont le sang)  
= Milieu **intérieur**





- Cellules polarisées
- Absorption/Sécrétion
- Molécules de jonction
- Expression **différentielle** des molécules de chaque côté  
➡ capacités d'échange

# B. Structure - fonction

## Particularités du transport d'osmoles dans les épithéliums

- Les forces **osmotiques** et **électriques** sont à l'origine des transports d'osmoles (**la pression hydrostatique n'intervient pas**) !
- Les transports **actifs** et **secondairement actifs** existent dans les épithéliums.
- Passage des osmoles : +++
  - ✓ Les osmoles passent à travers les 2 membranes plasmiques successivement (transport actif ou secondairement actif)
  - ✓ Les osmoles passent entre 2 cellules (voie paracellulaire). La diffusion est soit simple, soit facilitée

■ Les variations de composition du cytoplasme des cellules épithéliales sont atténuées par :

- ✓ Des protéines de transport intracellulaire (calcium)
- ✓ La présence simultanée aux 2 pôles de protéines perméables aux mêmes osmoles
- ✓ Le passage d'osmoles dans les espaces intercellulaires (transport paracellulaire par diffusion simple ou facilité par un transporteur)