

# Tut' rentrée

## Potentiel électrique et courants osmotiques

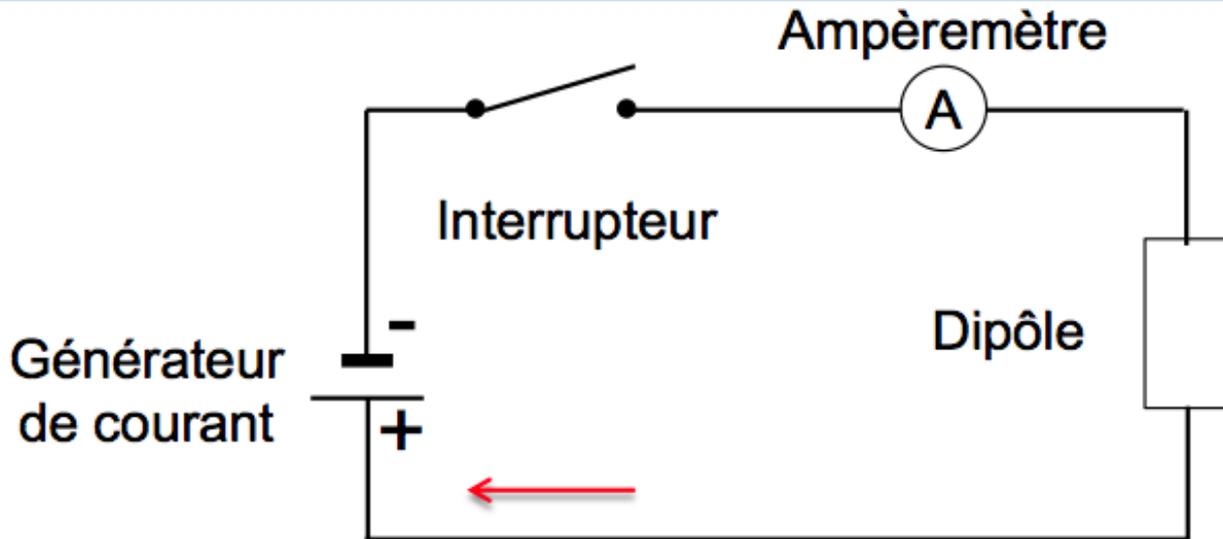
# I. Molécules ionisées et courants osmotiques

# A/ Courant électrique et osmotique

**Potentiel électrique** : potentiel de diffusion d'une molécule chargée dans un champ électrique

Les osmoles chargées vont vers les charges de signe opposé

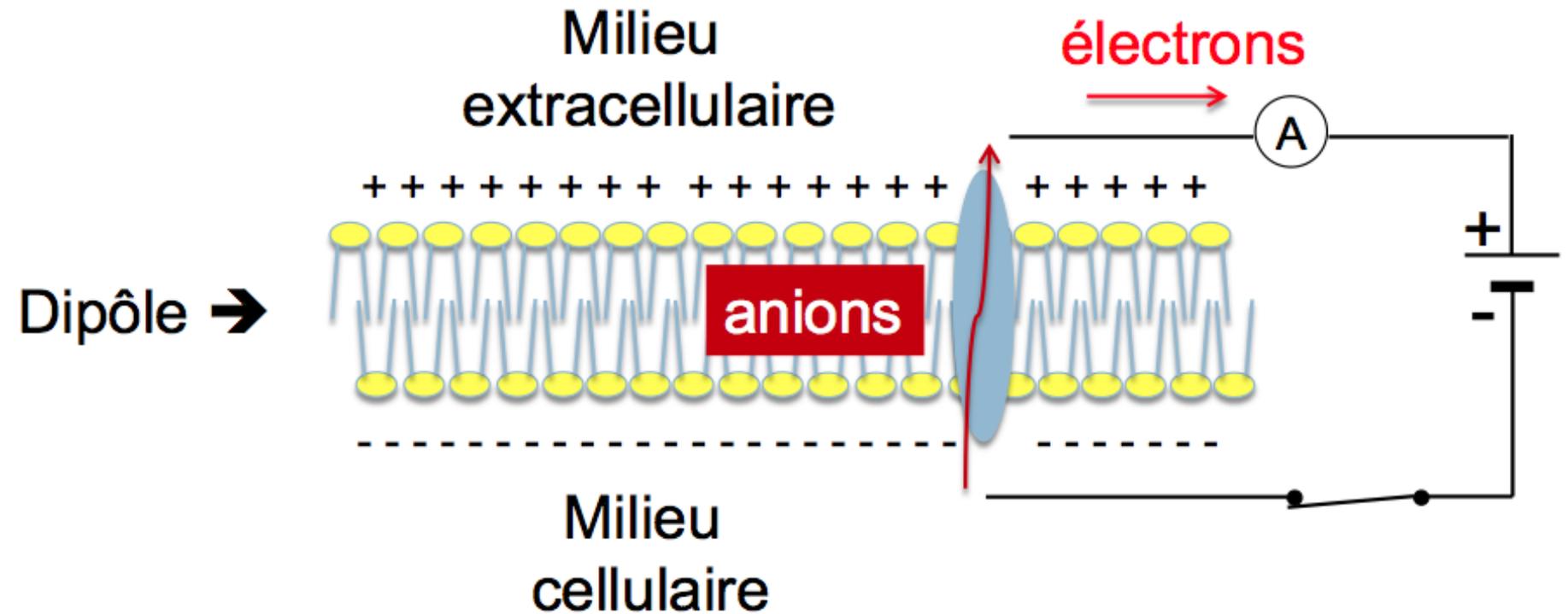
# A/ Courant électrique et osmotique



**Sens des électrons** ( le sens inverse est le sens conventionnel du courant )

## Galvanomètre : ampèremètre hypersensible

# A/ Courant électrique et osmotique



# A/ Courant électrique et osmotique

Loi d'Ohm :

$$\text{conductance} = \frac{\text{intensité}}{\text{ddp électrique}}$$

	Courant électrique	Courant ionique
Porteurs de charges	Électrons	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	
<b>Nature de la conductance</b>	<b>Câble métallique</b> <small>Le tutorat est gratuit. Toute vente ou reproduction est interdite.</small>	<b>Membrane plasmique et transporteur moléculaire</b>

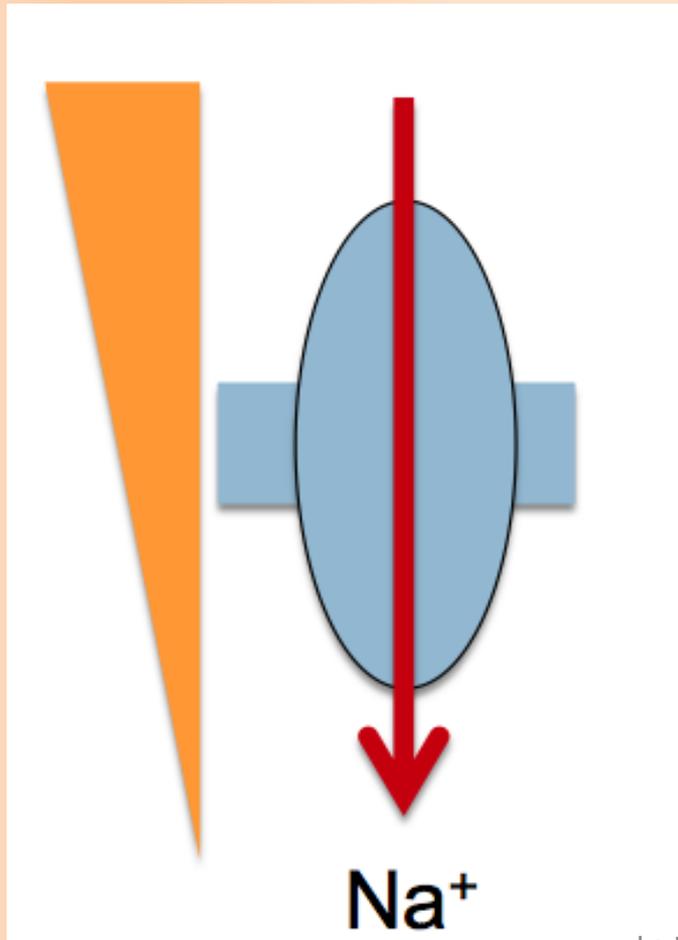
# B/ Potentiel chimique et électrique

Relation de Nernst :

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

**Potentiel chimique + potentiel électrique = 0**

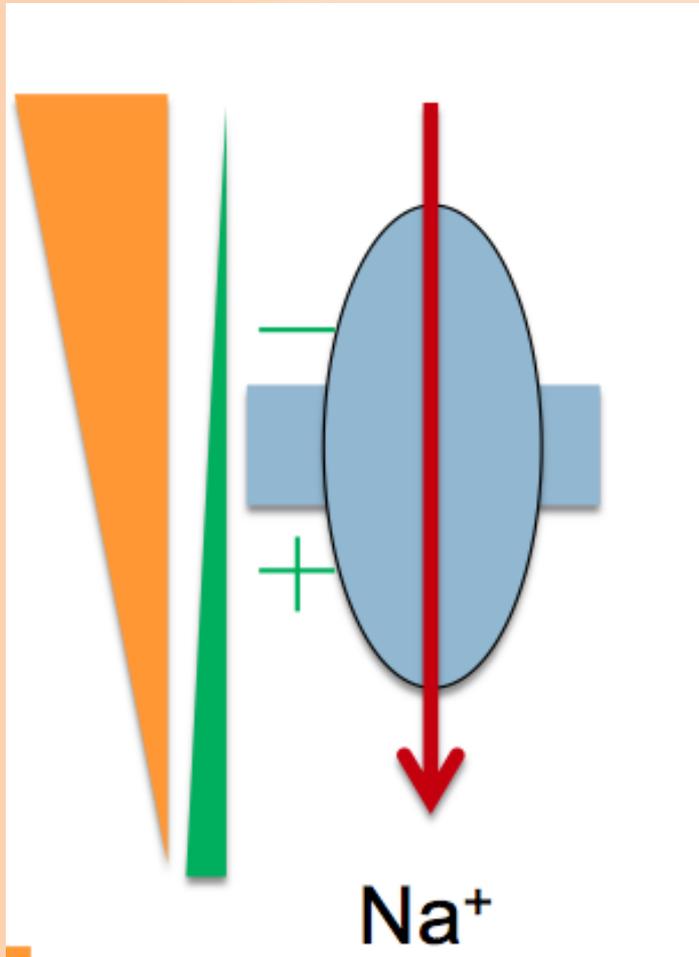
# B/ Potentiel chimique et électrique



Potentiel chimique

Pas de potentiel électrique

# B/ Potentiel chimique et électrique

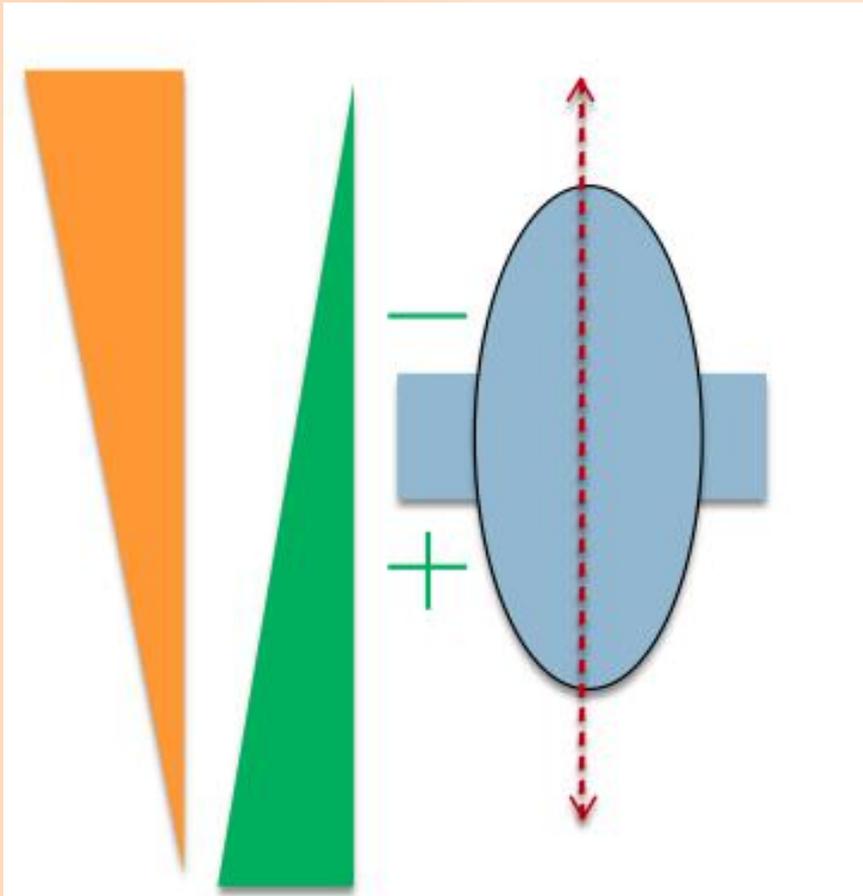


Potentiel chimique

Faible potentiel électrique

Diminution du flux du  $\text{Na}^+$

# B/ Potentiel chimique et électrique

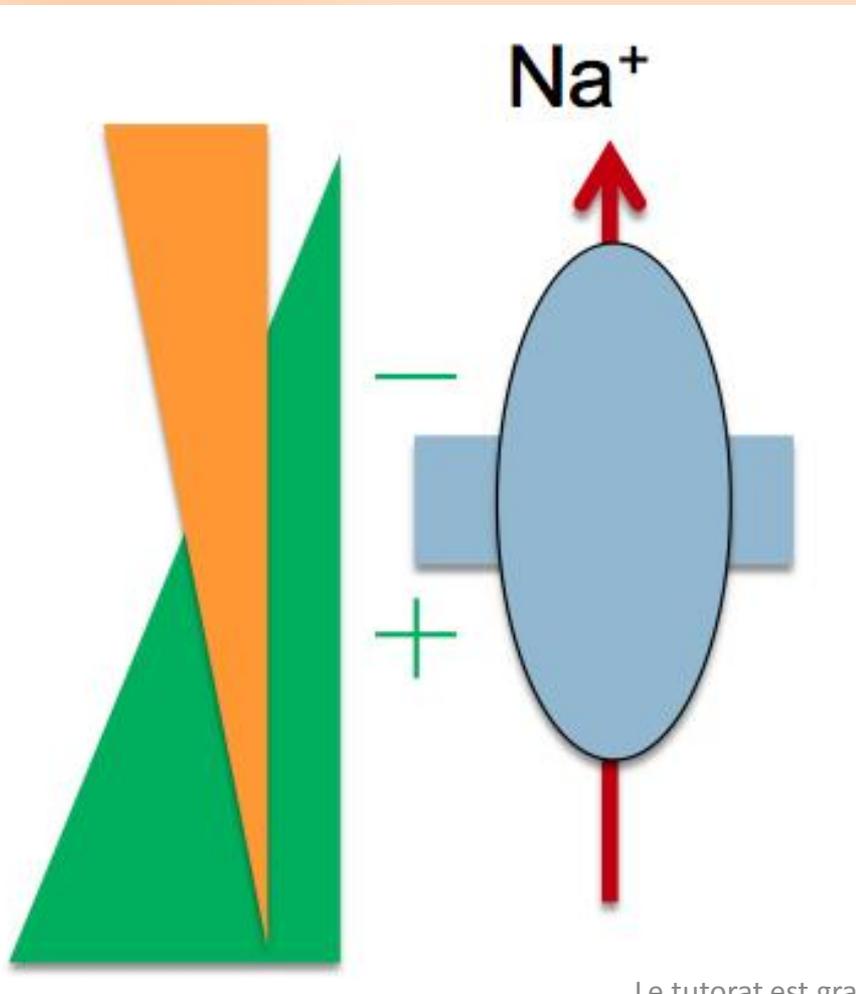


Potentiel chimique

Fort potentiel électrique

Potentiel électrique =  
potentiel chimique  
entrée = sortie

# B/ Potentiel chimique et électrique



Potentiel chimique

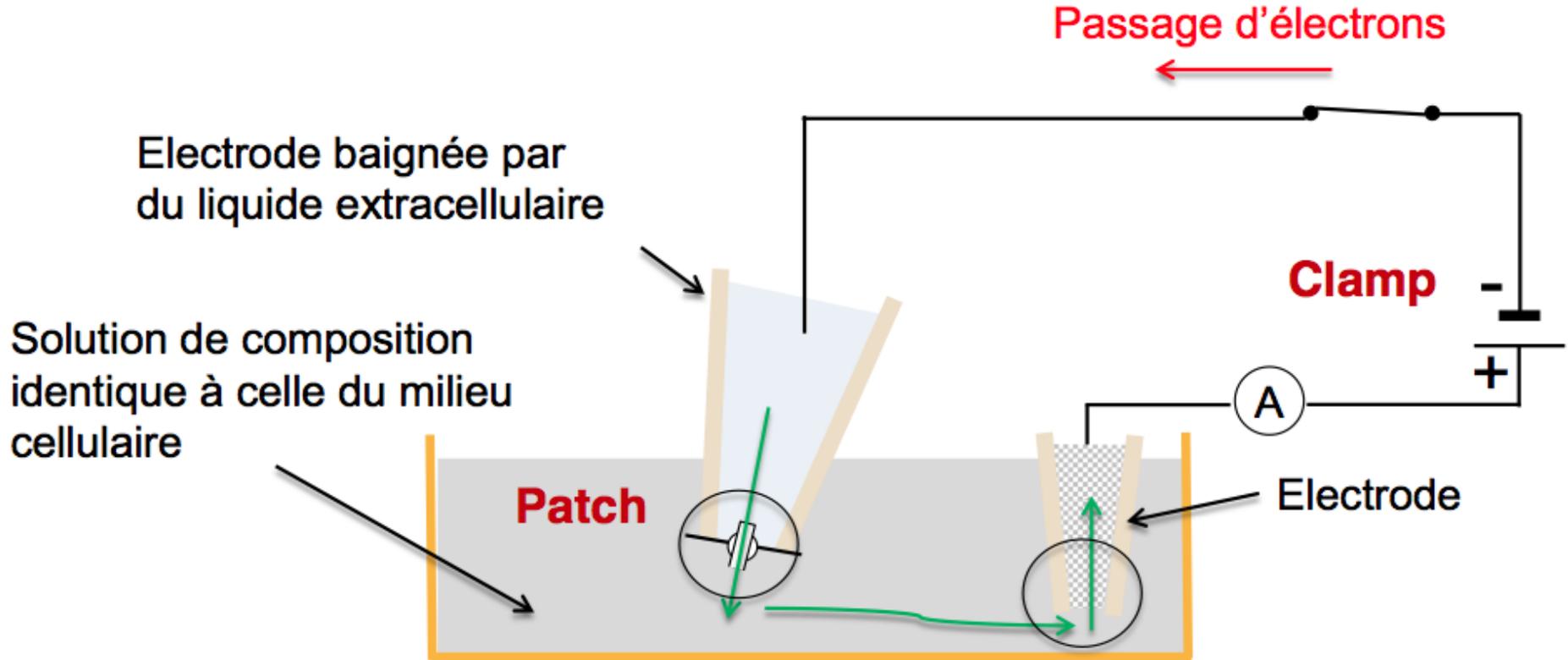
Potentiel électrique plus fort

Inversion du sens de passage du  $\text{Na}^+$

# II. Conductance membranaire

# A/ Patch clamp

## Montage électrique expérimental



# A/ Patch clamp

**Patch** : fixation d'un fragment membrane plasmique à l'extrémité d'une pipette

**Clamp** : différence de potentiel électrique fixée

On utilise la loi d'Ohm :

$$\text{conductance} = \frac{\text{intensité}}{\text{ddp électrique}}$$

calculée

mesurée par l'ampèremètre

clampée

# A/ Patch clamp

Protéines transmembranaires permettent la diffusion facilitée des osmoles chargées

Si conductance faible alors que  $ddp$  forte :

- Absence de protéine transmembranaire
- OU conformation fermée

## B/ Exemple : canal Na<sup>+</sup>

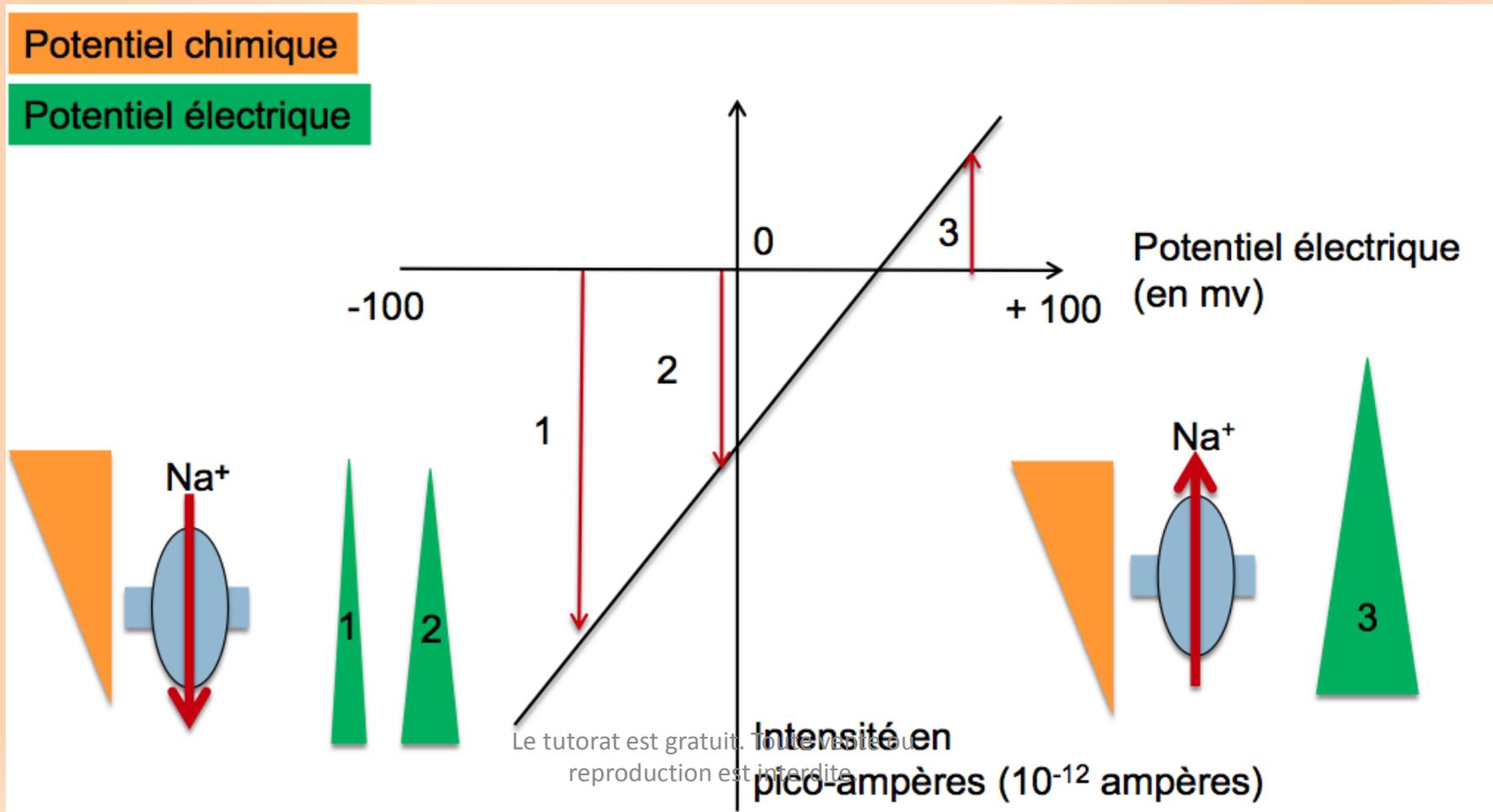
Membrane d'une cellule épithéliale

Conductance obtenue avec la loi d'Ohm :

$$\frac{\text{Intensité}}{\text{ddp électrique}} = \text{Conductance} = 4 \text{ à } 5 \text{ pS}$$

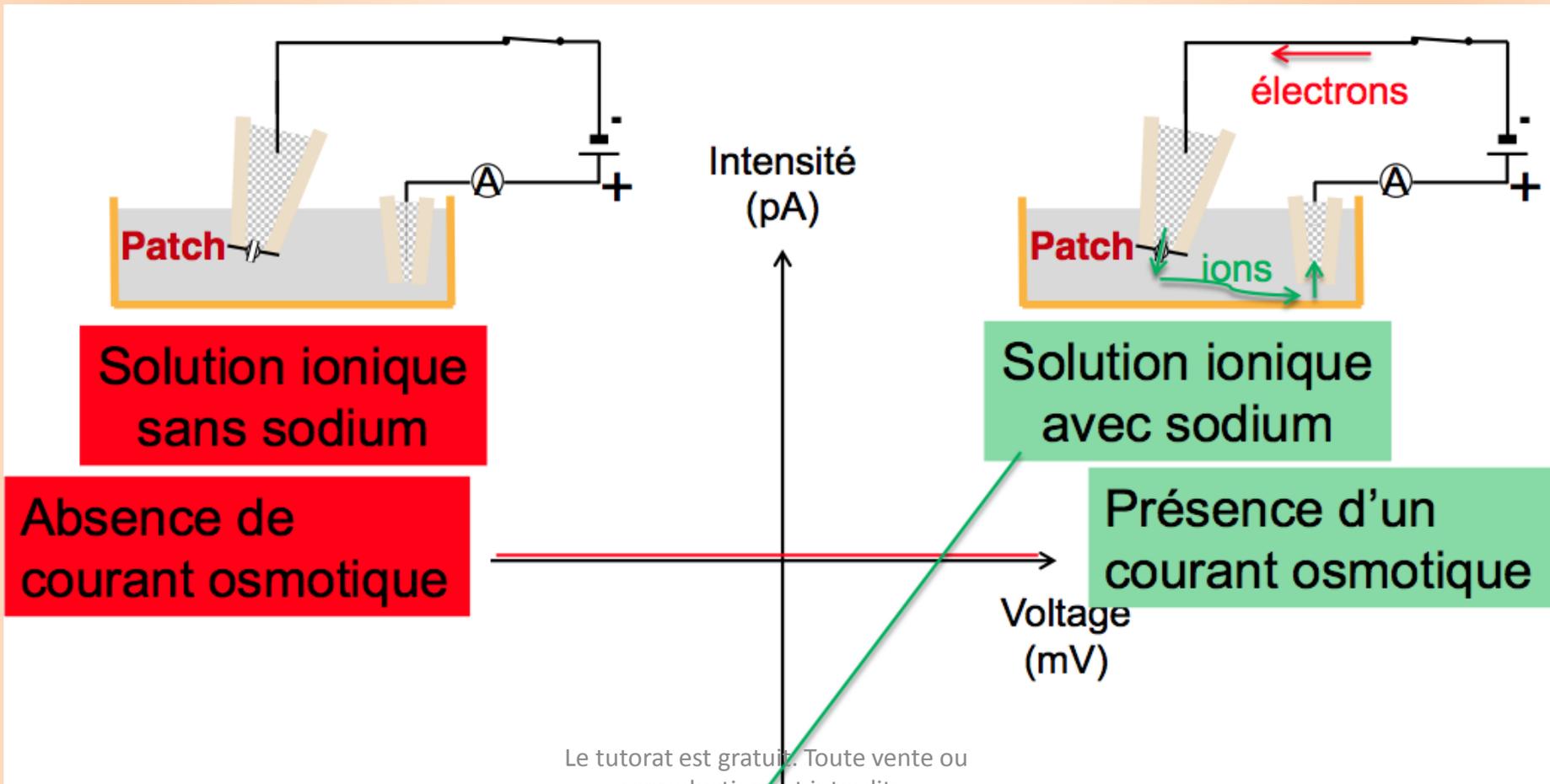
# B/ Exemple : canal Na<sup>+</sup>

Relation intensité-voltage :



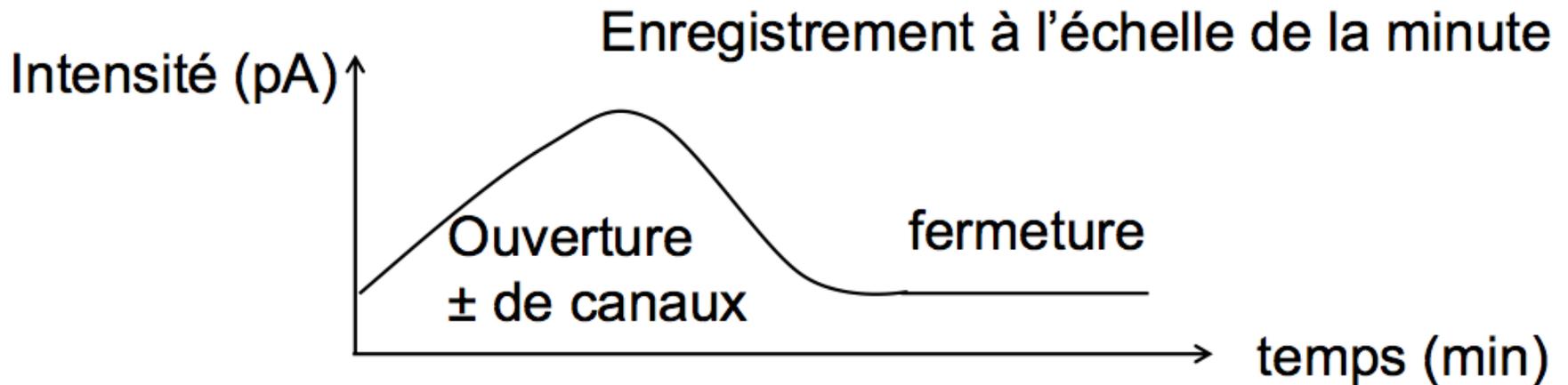
# B/ Exemple : canal $\text{Na}^+$

## Spécificité ionique

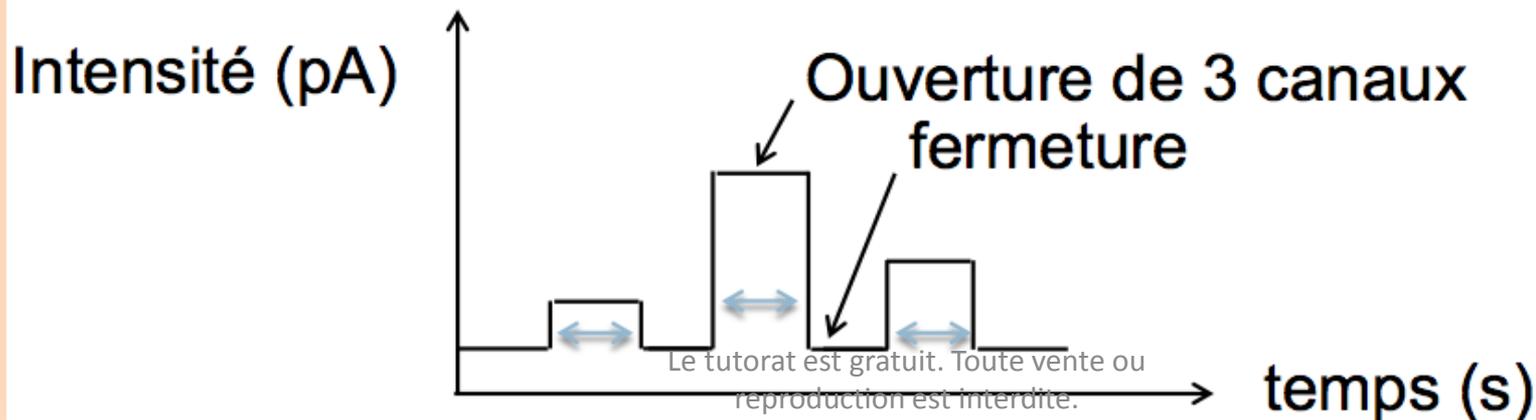


# B/ Exemple : canal Na<sup>+</sup>

## Ouverture du canal Na<sup>+</sup>



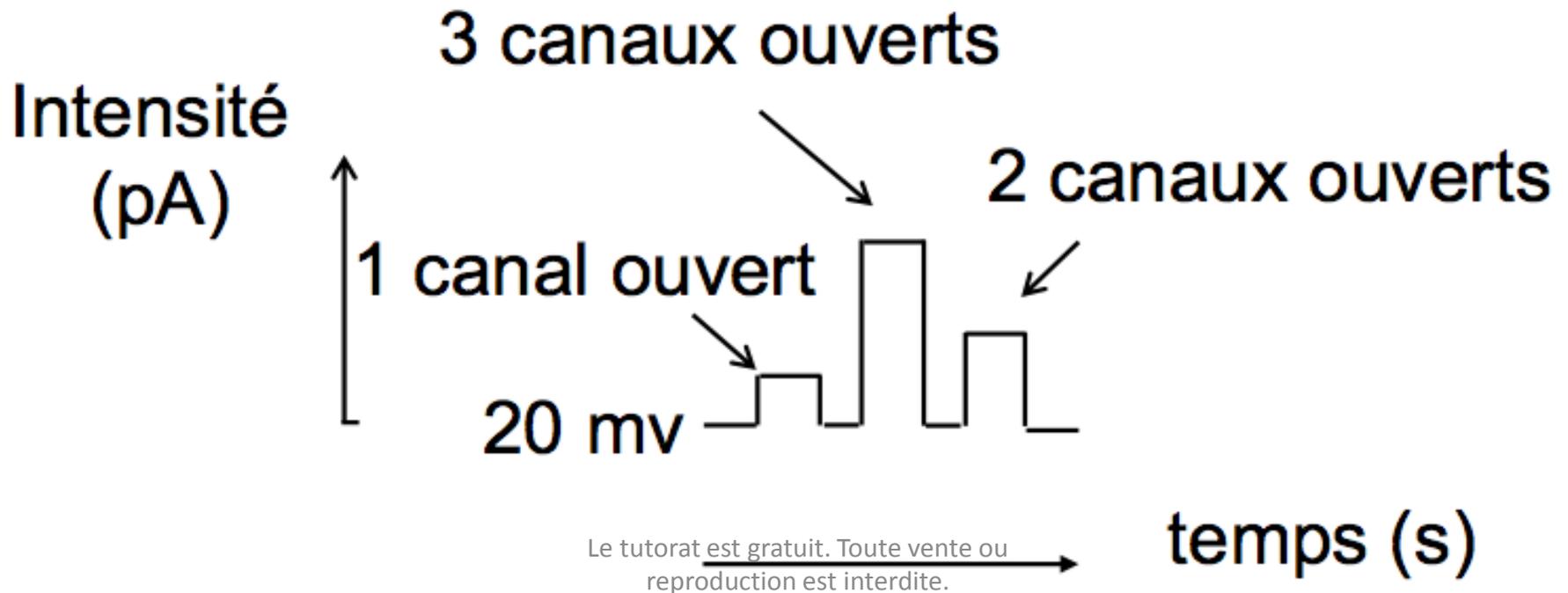
## Enregistrement à l'échelle de la seconde



# B/ Exemple : canal Na<sup>+</sup>

Mesure du courant unitaire

Intensité proportionnelle aux nombres de canaux ouverts



# B/ Exemple : canal Na<sup>+</sup>

Durée et probabilité d'ouverture

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

# B/ Exemple

Les canaux diffèrent par :

- La forme de la relation intensité-voltage (linéaire ou non)
- La probabilité d'ouverture
- Le temps d'ouverture
- La sélectivité ionique
- La conductance

# B/ Exemple

Canaux  $\text{Na}^+$  impliqués dans la diurèse et dans la régulation de la pression artérielle

Canaux cationiques non sélectifs : capteurs de la pression mécanique et/ou de la température

Canaux  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  : déterminants du rythme cardiaque (cibles des mdc anti-arythmiques)

# III. Potentiel chimique transmembranaire

# A/ Electroneutralité des liquides biologiques

Asymétrie de concentration entre plasma et liquide interstitiel mais bilan des charges nul de part et d'autre de la membrane cellulaire

Différence de potentiel 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>

# A/ Electroneutralité des liquides biologiques

Pour l'électrophysiologie le bilan des charges n'est pas nul !

ddp = 100 mV quand 1 ion sur  $10^5$  est réparti de manière asymétrique

→ Bilan des charges nul quand on parle d'osomolarité (cations=anions) mais pas au niveau électrophysiologique

# A/ Electroneutralité des liquides biologiques

→ Les transferts de charges sont quantitativement négligeables mais qualitativement importants !

Les phénomènes électriques peuvent varier énormément en intensité sans compromettre l'équilibre osmotique des cellules.

# B/ Mouvements de charges

Relation de Nernst

**Potentiel chimique + potentiel électrique = 0**

A l'équilibre, l'ion entre autant qu'il sort.

$$\text{Potentiel électrique à l'équilibre} = -\frac{RT}{zF} \ln \frac{[\text{ion}_{\text{intracellulaire}}]}{[\text{ion}_{\text{extracellulaire}}]}$$

$$\text{à } 37^\circ \text{C} \Rightarrow -60 \text{ mV} \log \frac{[\text{ion}_{\text{intracellulaire}}] \text{ mol / kg}}{[\text{ion}_{\text{extracellulaire}}] \text{ mol / kg}}$$

# B/ Mouvements de charges

Conséquences de la relation de Nernst :

- Permet de calculer le potentiel électrique membranaire en connaissant les concentrations ioniques de part et d'autre de la membrane
- Chaque valeur est calculée pour un ion seul dans le cas où l'ion est à l'équilibre.

# B/ Mouvements de charges

Conséquences de la relation de Nernst :

- Si valeur calculée  $>$  valeur mesurée  $\rightarrow$  canal ionique peu perméable ou peu ouvert
- Canal ouvert  $\rightarrow$  potentiel mesuré quasiment égal au potentiel d'équilibre de l'ion
- Grâce à l'ouverture et à la fermeture des canaux, le potentiel de la cellule peut varier de 150 mV.

# B/ Mouvements de charges

Exemple : canaux Cl<sup>-</sup>

Potentiel transmembranaire mesuré au repos : -80 mV

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

Le potentiel électrique calculé est égal au potentiel transmembranaire mesuré : le Cl<sup>-</sup> est à l'équilibre donc ses canaux sont ouverts.

# B/ Mouvements de charges

Exemple : canaux Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup>

Potentiel transmembranaire mesuré au repos : -80 mV

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

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

# B/ Mouvements de charges

Exemple : canaux  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$

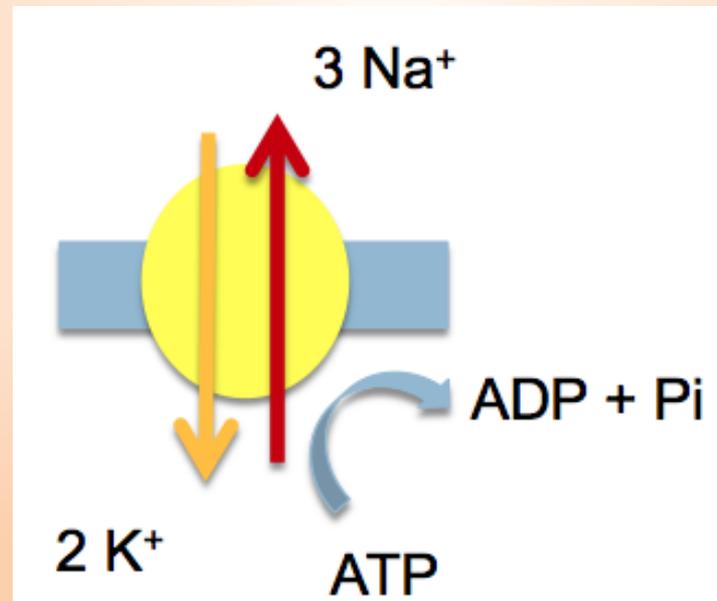
Le potentiel électrique calculé pour le potassium est beaucoup plus proche du potentiel transmembranaire mesuré que le potentiel calculé pour le sodium.

→ Les canaux potassiques sont beaucoup plus ouverts que les canaux sodiques au repos.

# C/ Polarisation membranaire électrique

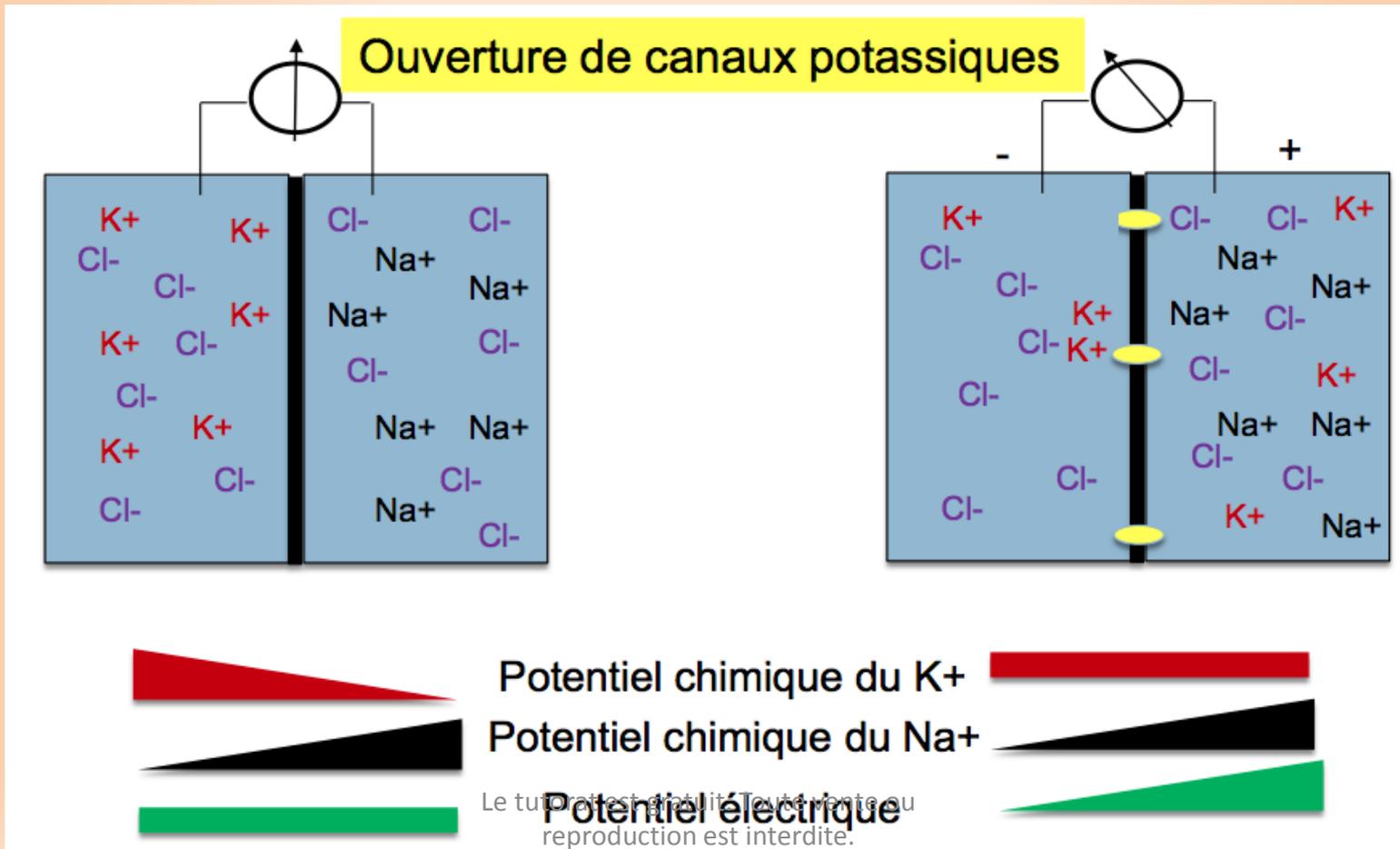
Pompe à sodium

La répartition de  $\text{Cl}^-$  équilibre les charges donc l'électroneutralité est conservée.



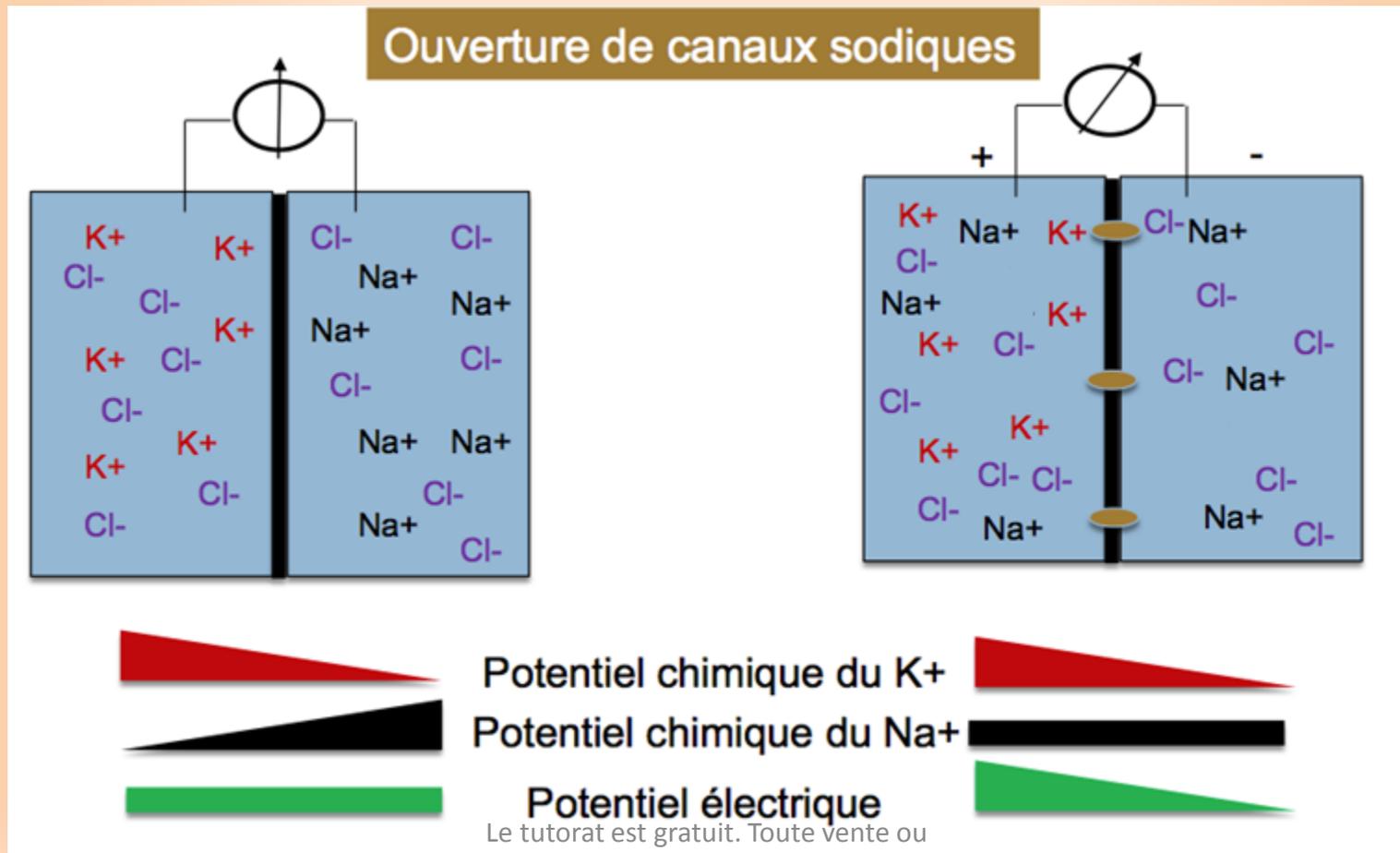
# C/ Polarisation membranaire électrique

## Différence de perméabilité



# C/ Polarisation membranaire électrique

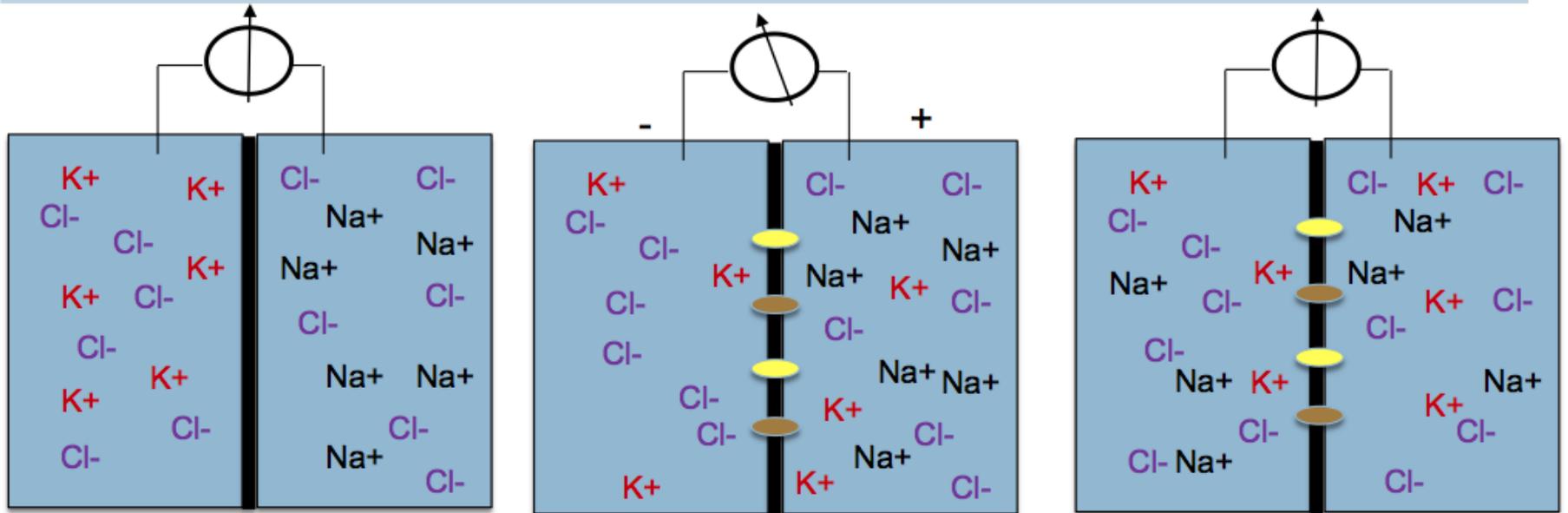
## Différence de perméabilité



# C/ Polarisation membranaire électrique

## Différence de perméabilité

Perméabilité des canaux potassiques > perméabilité des canaux sodiques



Le tutorat est gratuit. Toute vente ou reproduction est interdite.

# C/ Polarisation membranaire électrique

Le potentiel transmembranaire est donc généré par la différence de perméabilité des canaux potassiques et sodiques.

Le transport actif du  $\text{Na}^+$  et du  $\text{K}^+$  par la pompe Na/K ATPase explique que cette différence de potentiel électrique persiste.

# IV. Les transporteurs moléculaires

# A/ Les différentes sortes de transporteurs

- Canaux
- Transporteurs couplés : échangeurs, co-transporteurs
- Pompes (consommement de l'ATP) : transport simple ou couplé

La Na/K ATPase est ubiquitaire (sur toutes les membranes)

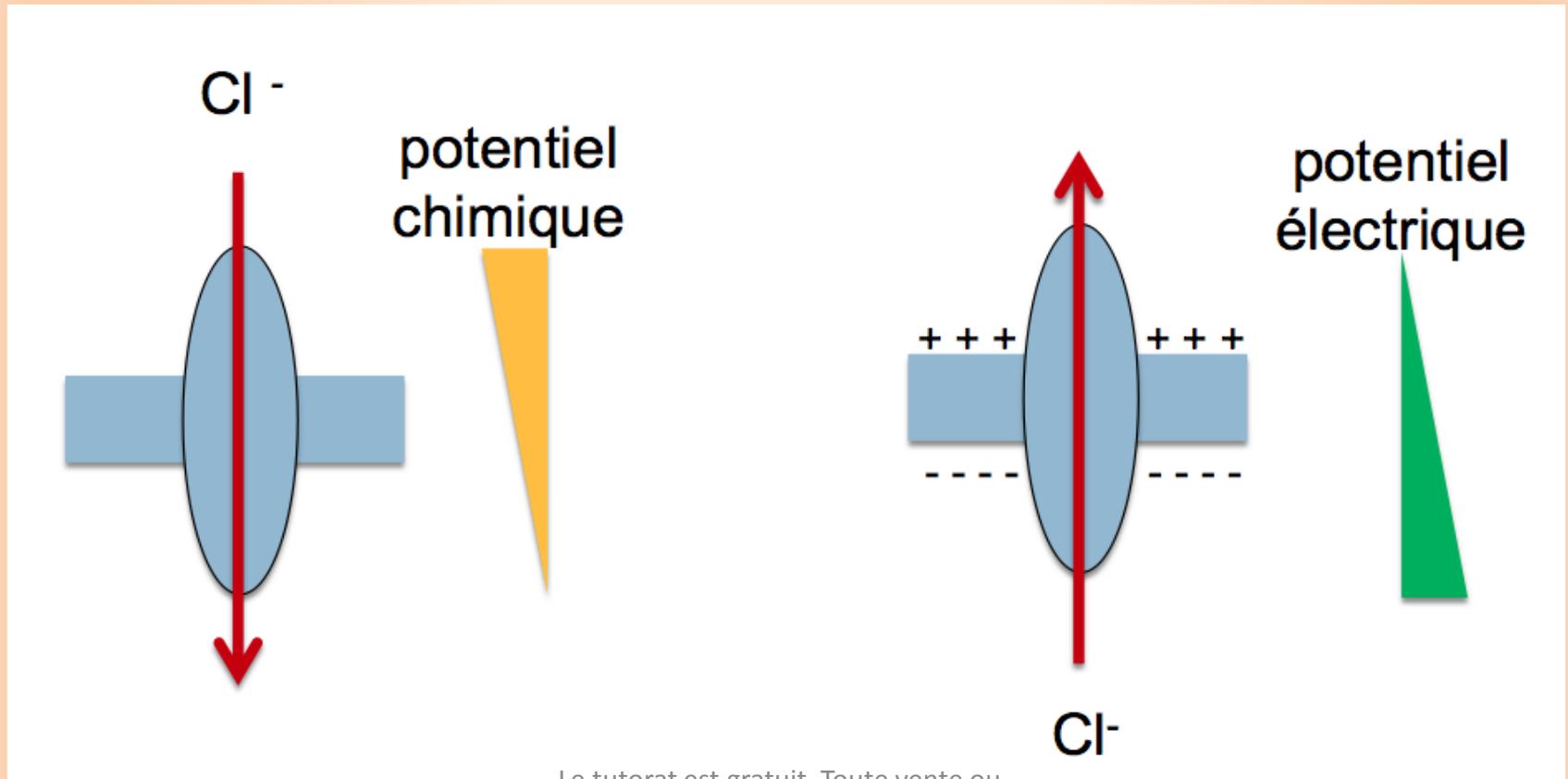
## B/ Les différents modes de transport

Passage lié à la différence de potentiel chimique : diffusion (simple si pas de transporteur moléculaire ou facilitée si présence de transporteurs moléculaires)

Passage dû à l'hydrolyse de l'ATP : transport actif ou secondairement actif

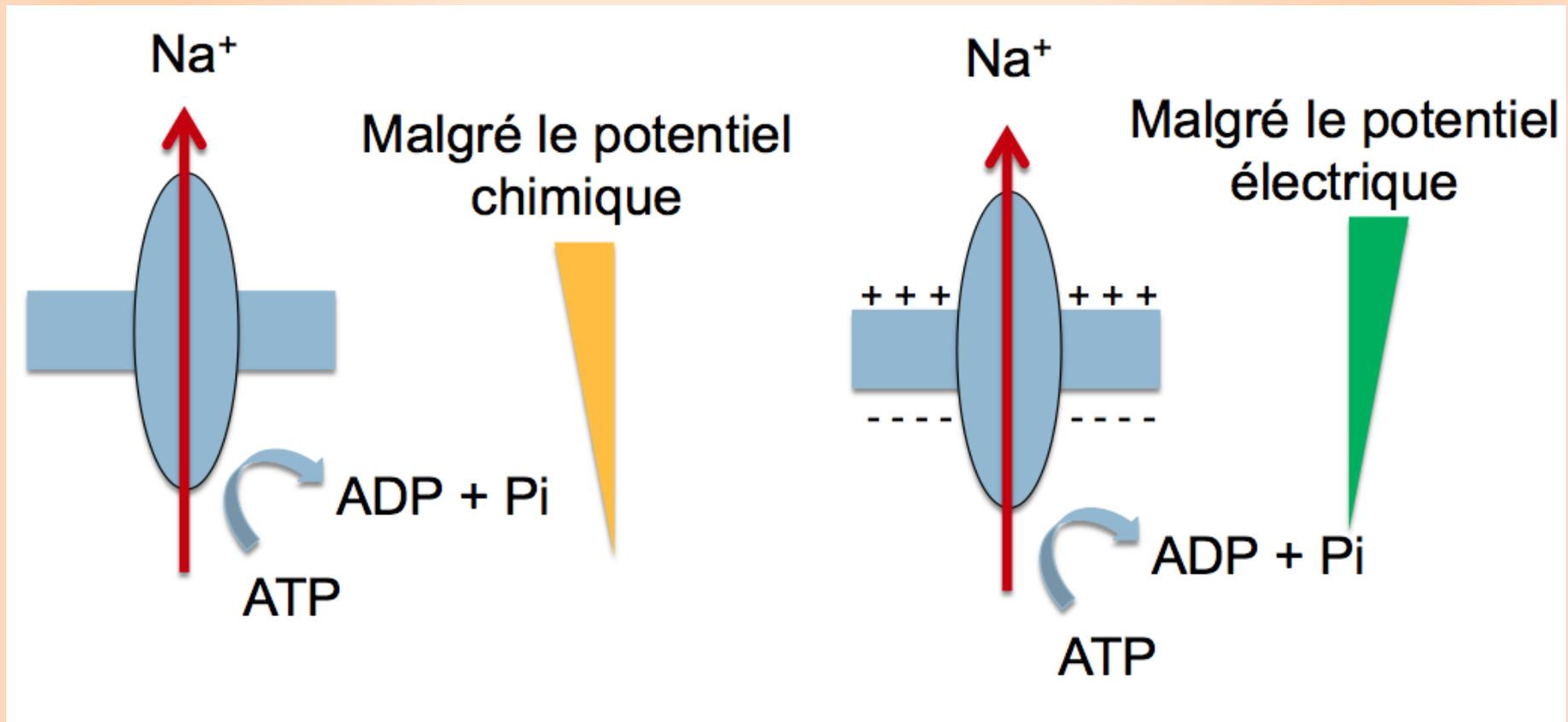
# B/ Les différents modes de transport

## Transport passif



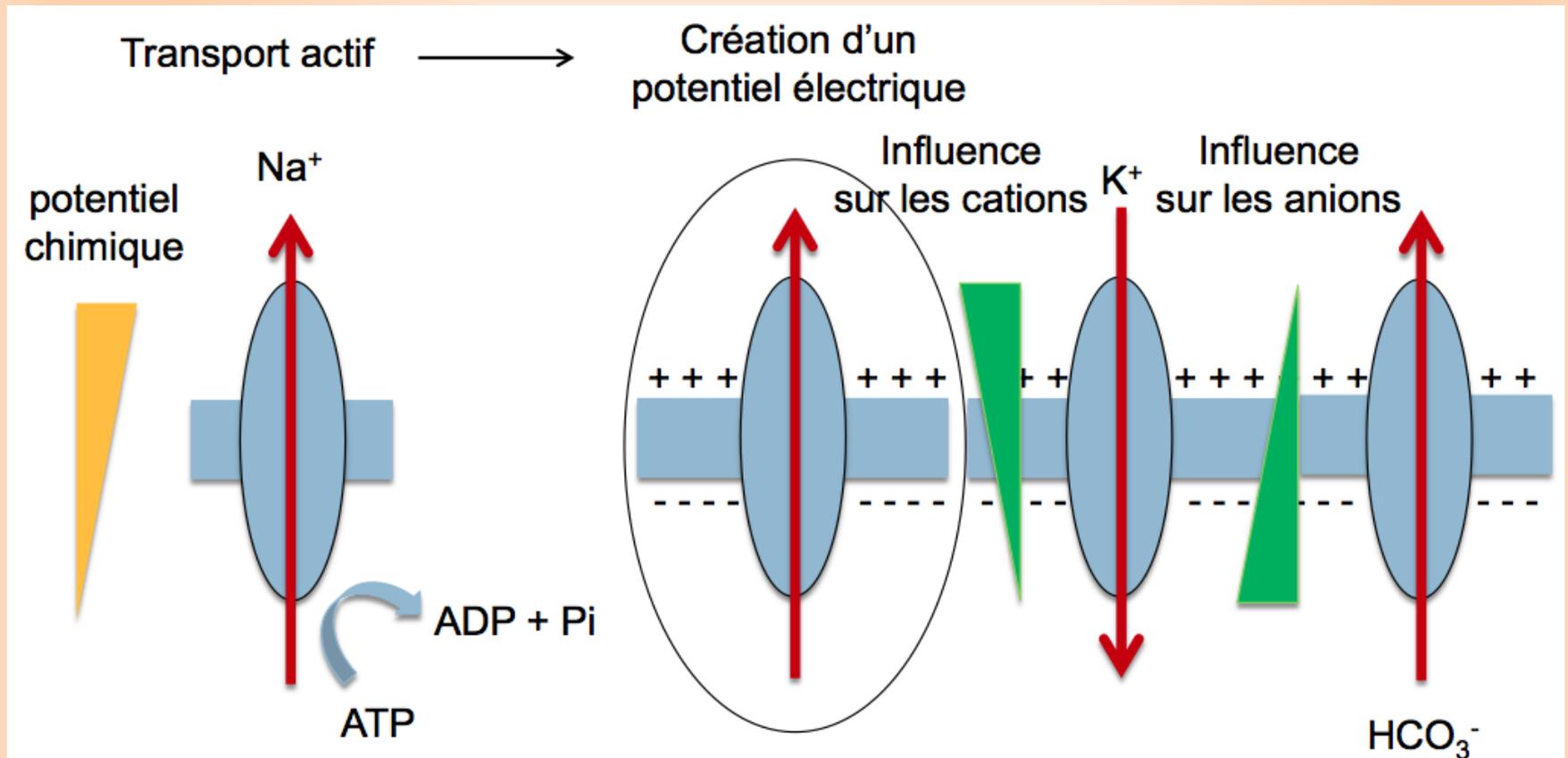
# B/ Les différents modes de transport

## Transport actif



# B/ Les différents modes de transport

## Transport secondairement actif



# B/ Les différents modes de transport

