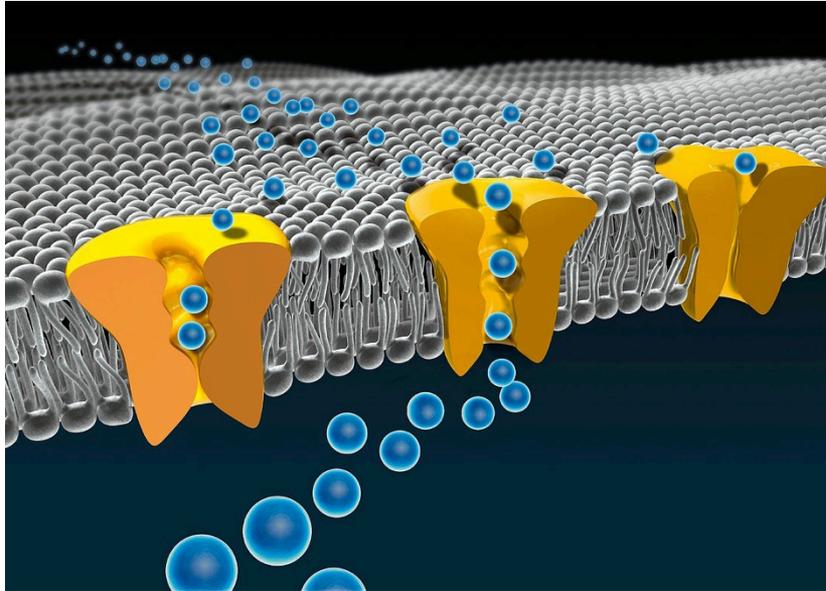


*SV-C – La cellule dans son environnement*

# Chapitre 2 – Membranes et échanges membranaires



La membrane, limite des cellules et des compartiments intracellulaires pour les Eucaryotes.

Barrière étanche ?

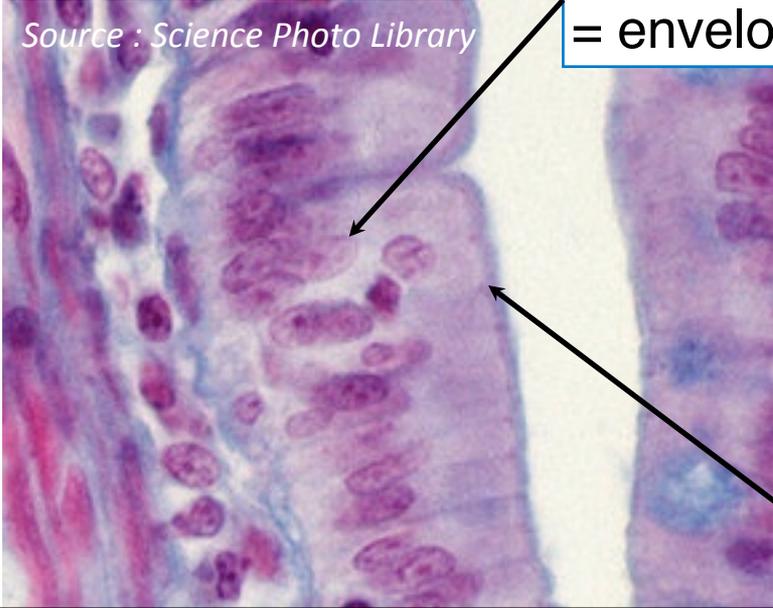
Relation entre l'extérieur (matrice, milieu externe) et l'intérieur (cytosol, cytosquelette)

# **1. La membrane, une bicouche mosaïque et fluide**

## **1.1. L'organisation des membranes : des mosaïques**

# Les membranes des cellules eucaryotes au MP

Source : Science Photo Library



double membrane  
= enveloppe du noyau

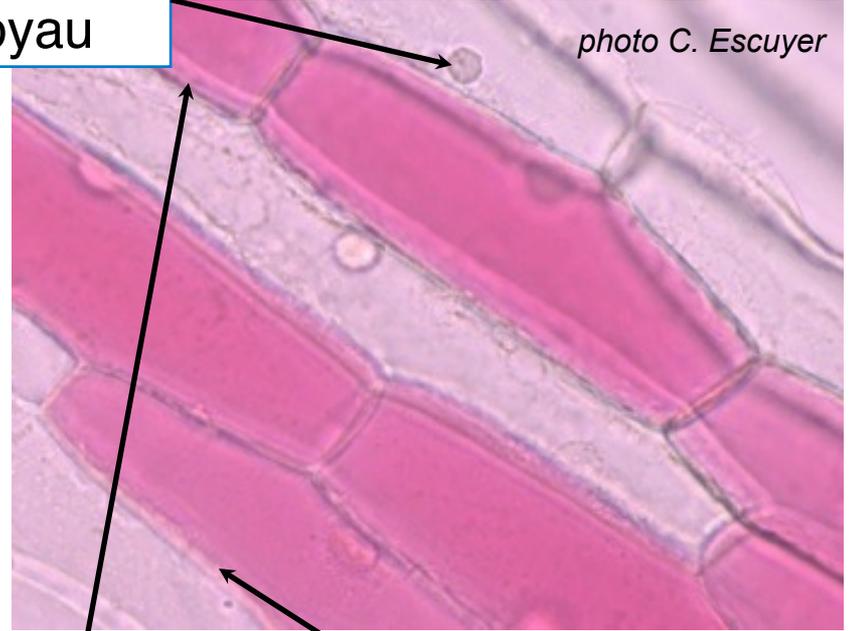


photo C. Escuyer

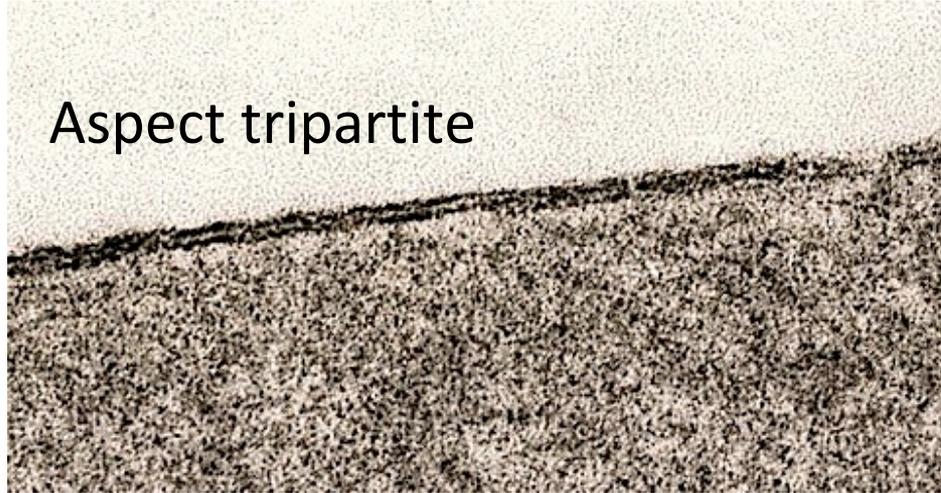
x 40

**Cellule animale :**  
**membrane plasmique :  $700 \mu\text{m}^2$**   
**membranes internes :  $7\ 000 \mu\text{m}^2$**

membrane  
plasmique

membrane de la vacuole  
(tonoplaste)

# Les membranes au MET et MEB



x 370 000

Bicouche lipidique vue au  
MET - Épaisseur 7,5 nm



Cryofracture et MEB

# Un assemblage de lipides et protéines

## Membrane plasmique d'hématie (modèle)

40 % de lipides

52 % de protéines

8 % de fraction glucidique

% en masse

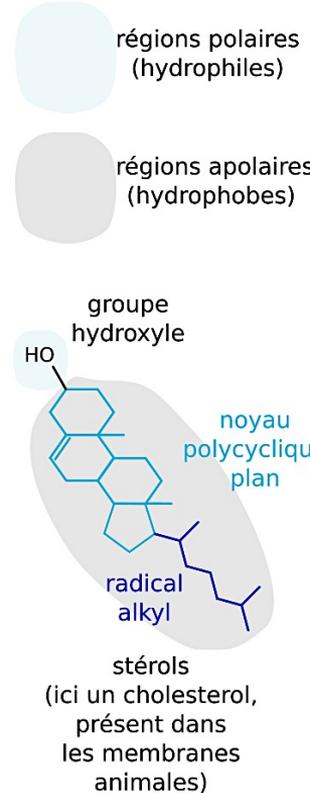
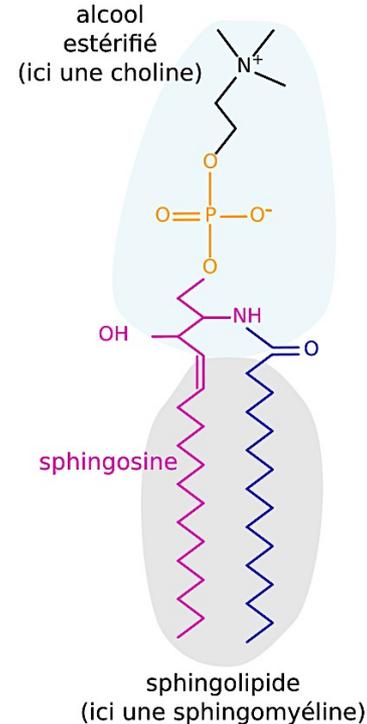
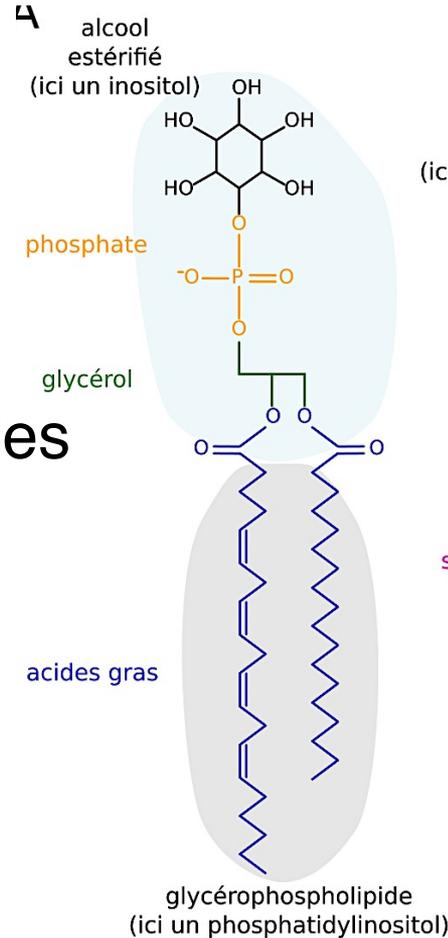
En nombre de molécules, les lipides sont 100 fois plus nombreux que les protéines.

## Variations

- selon l'organite : 75% de protéines dans la membrane du REG
- selon le type cellulaire : 20% de protéines dans les cellules de Schwann mais 60% dans les hépatocytes et 65% dans les bactéries.

# Les lipides membranaires

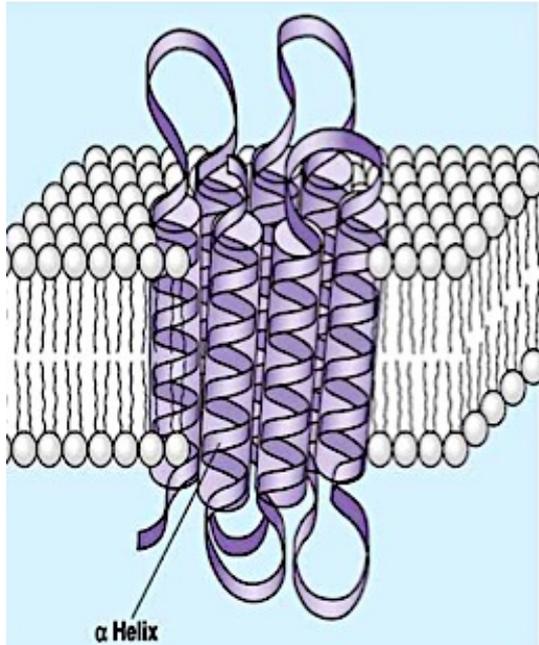
- $5 \cdot 10^6$  par  $\mu\text{m}^2$  de bicouche  
dont :
- 50 % de phosphoglycérides
  - 25 % de cholestérol
  - 20 % de sphingolipides
  - 5 % autres (glycolipides, prostanglandines)



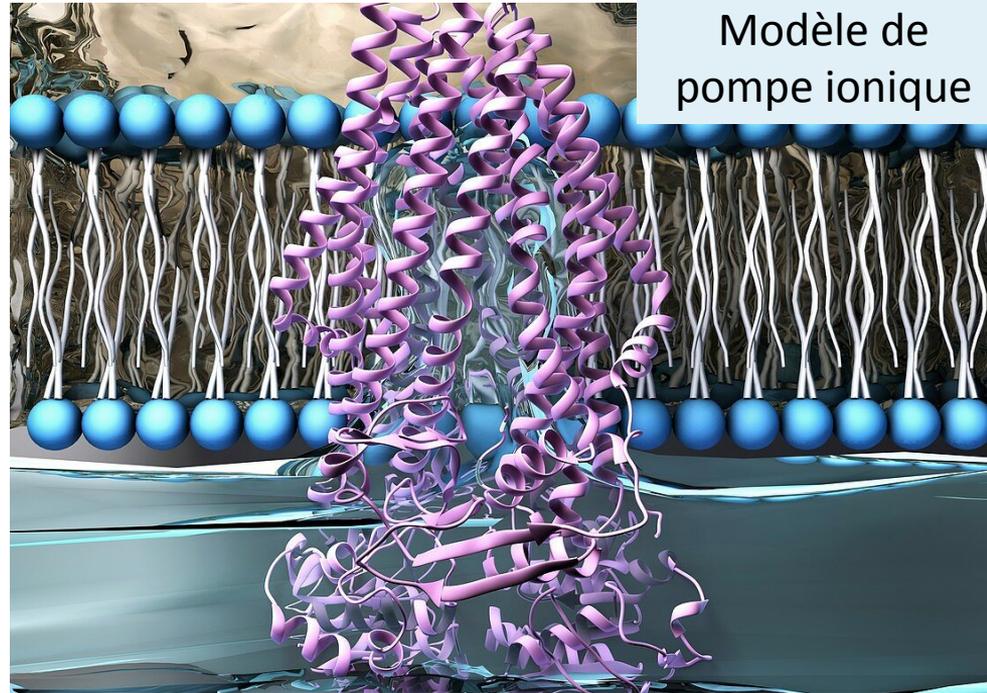
# Des protéines intrinsèques intégrées

uniquement détachées de la membrane par l'ajout de détergent

Hélices de 20 à 25 acides aminés à résidu hydrophobe



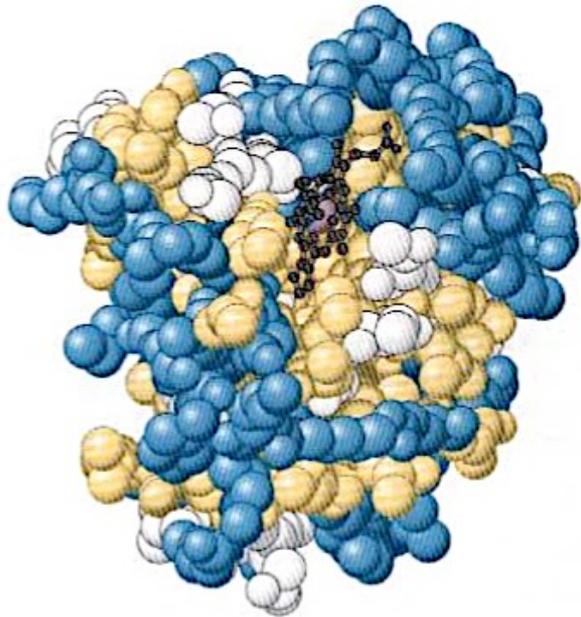
Source : Pearson Education



Source : Ella Maru Studio, Science Photo Library

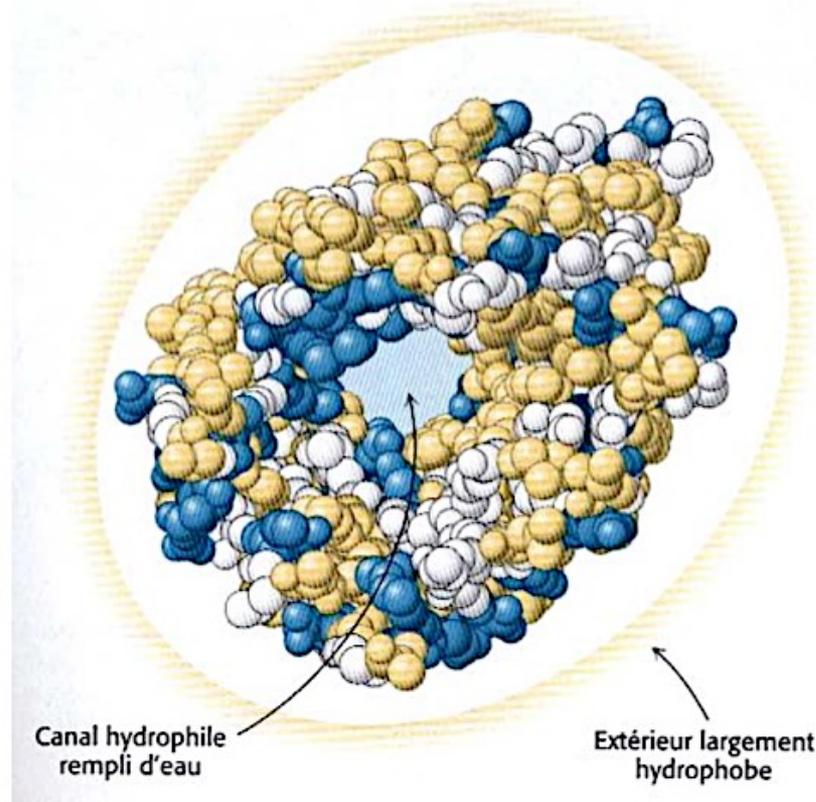
# Les aquaporines

myoglobine



**aa chargés**  
**aa hydrophobes**

porine



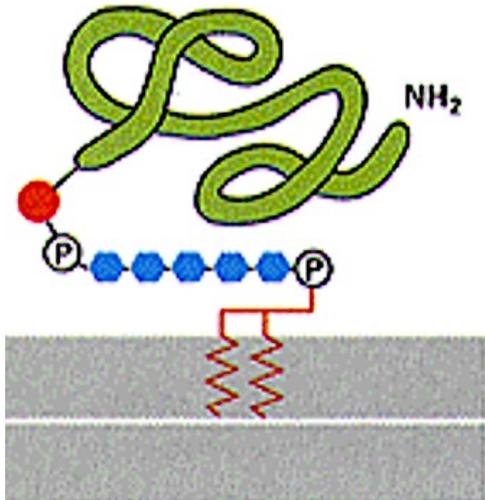
Source : Céline Raguénès-Nicol

# Les protéines intrinsèques ancrées

uniquement détachées de la membrane par l'ajout de détergent

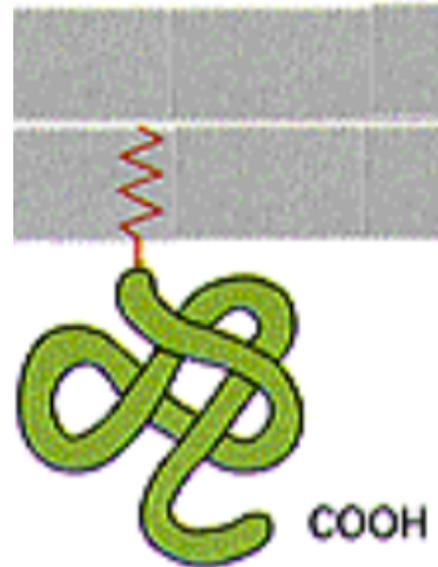
## Protéines liées de façon covalente à un lipide membranaire

Ancre GPI sur le feuillet externe  
(exemple : N-CAM)



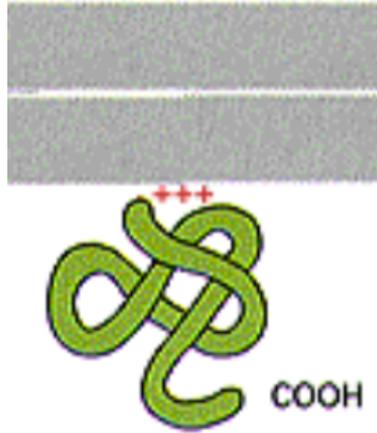
GPI = glycosyl-phosphatidyl-inositol

Lien avec un acide gras sur le feuillet interne  
(exemple : protéine G)

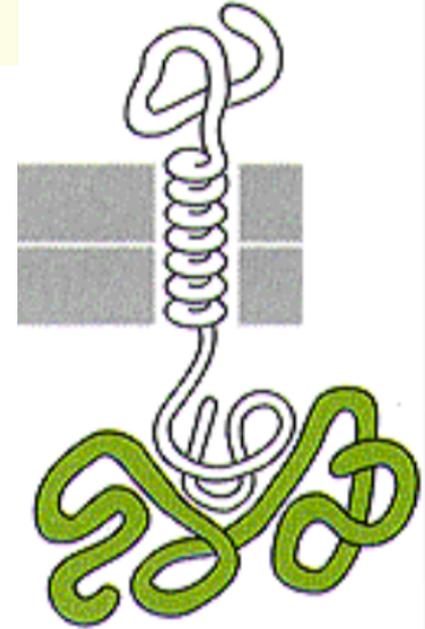


# Les protéines extrinsèques = périphériques

liées de façon non covalente

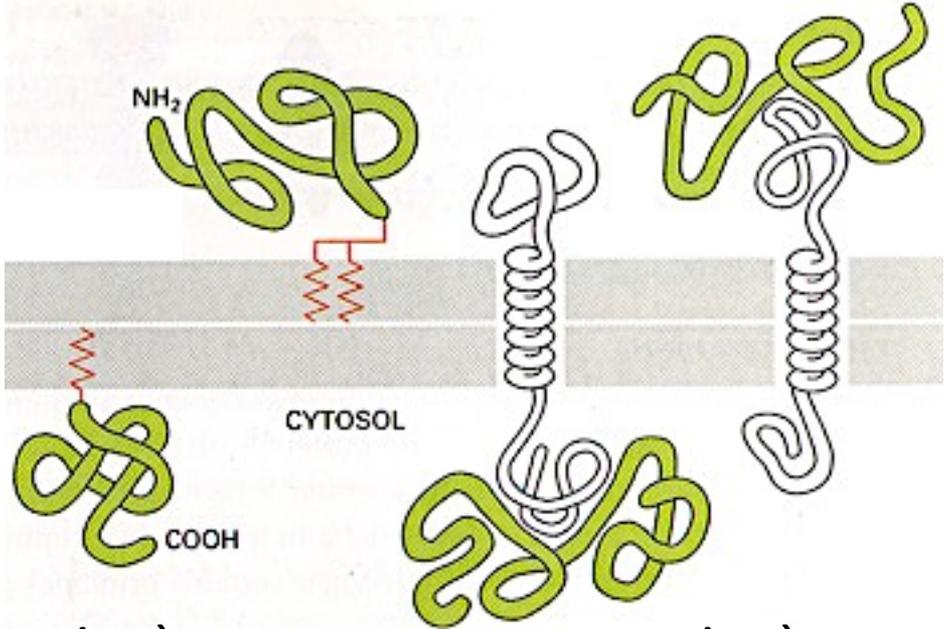
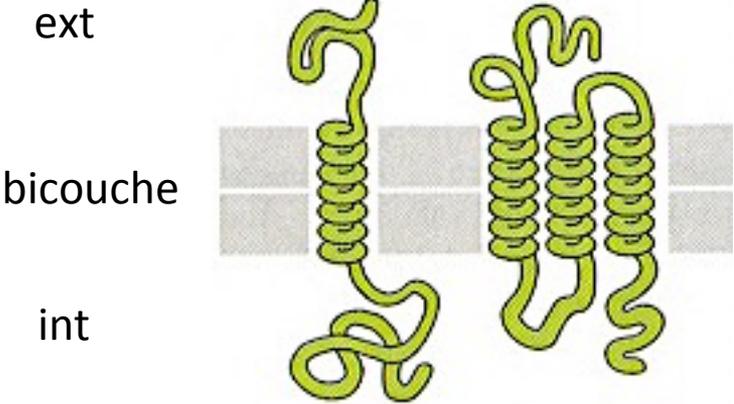


liées par interactions ioniques  
(ex : annexine)

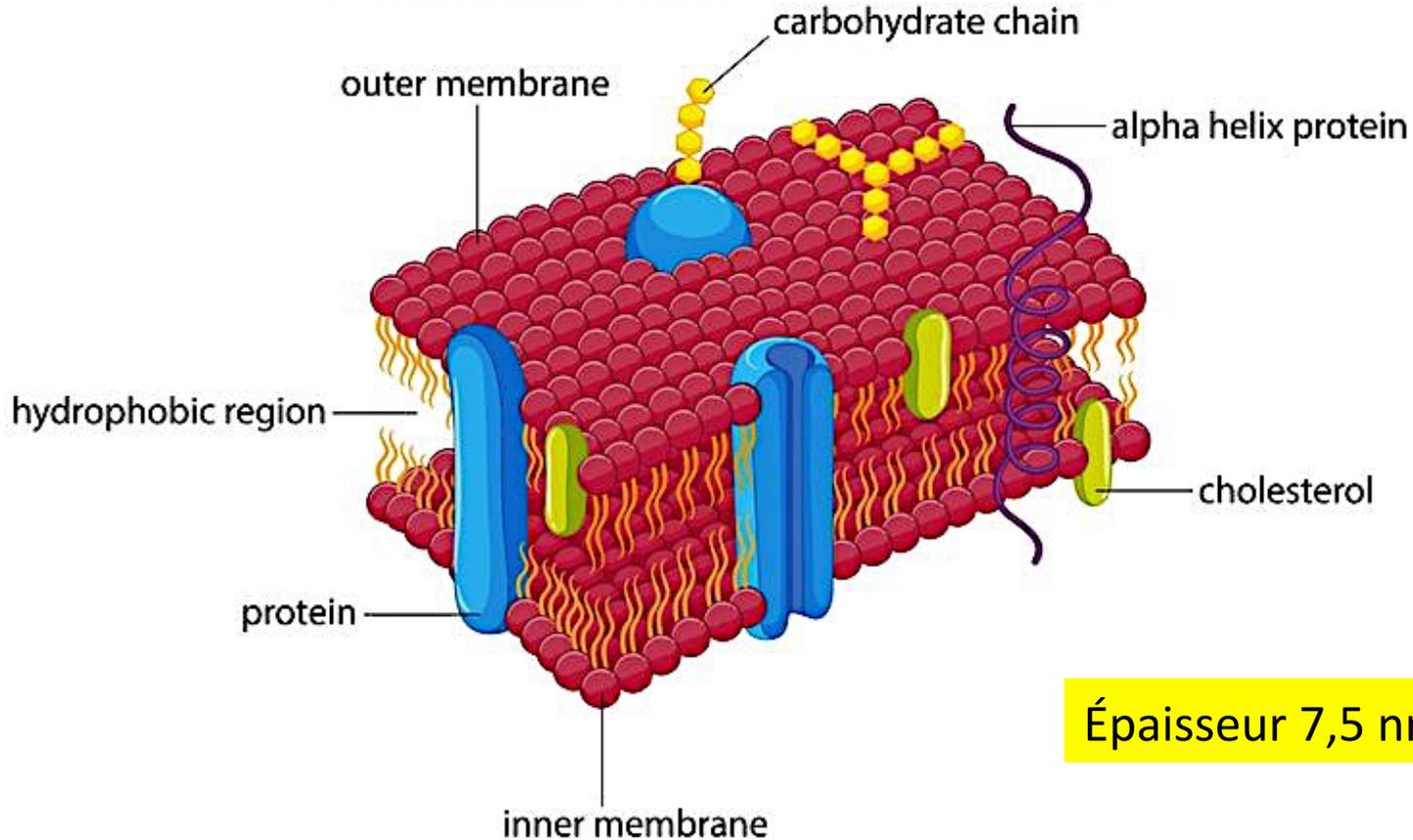


liaisons faibles avec une  
protéine intrinsèque  
(ex : protéine AP et clathrine)

# BILAN

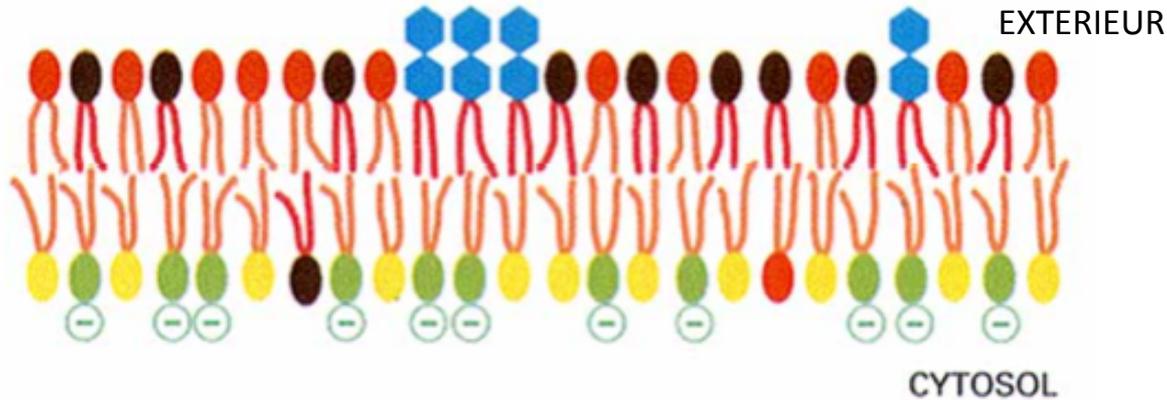


# Le modèle de Singer Nicolson



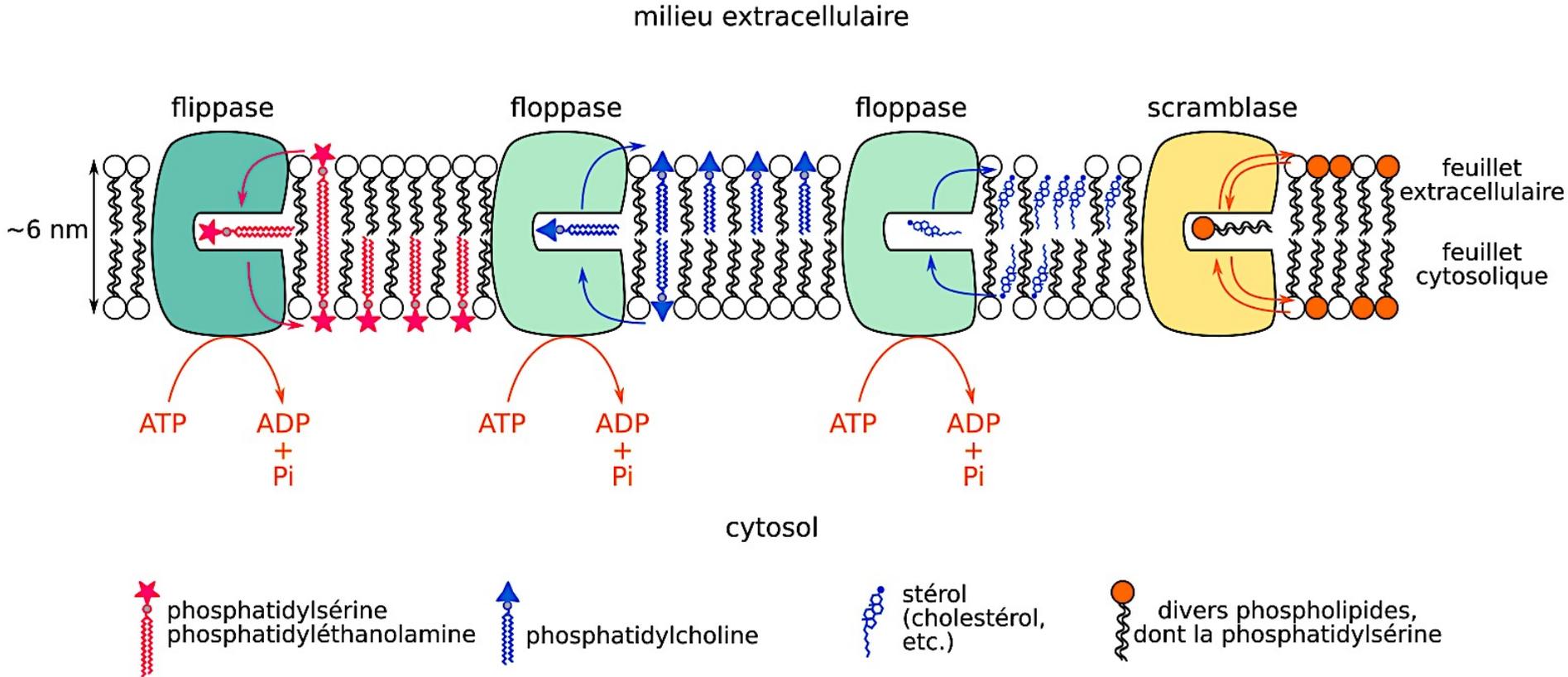
# Une membrane asymétrique

Des lipides disposés dans les deux héli-membranes



	<i>extérieur</i>	<i>intérieur</i>
<b>Phosphatidylserine</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
<b>Phosphatidylethanolamine</b>	<b>10</b>	<b>90</b>
<b>Phosphatidylcholine</b>	<b>90</b>	<b>10</b>
<b>Glycolipides</b>	<b>100</b>	<b>0</b>
<b>Cholestérol</b>	<b>75</b>	<b>25</b>

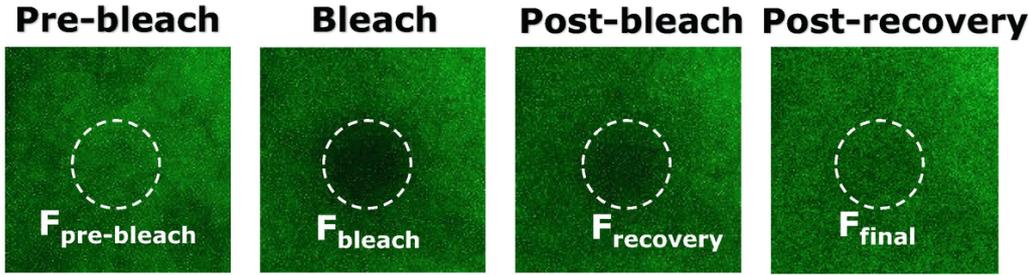
# Une asymétrie contrôlée par des enzymes



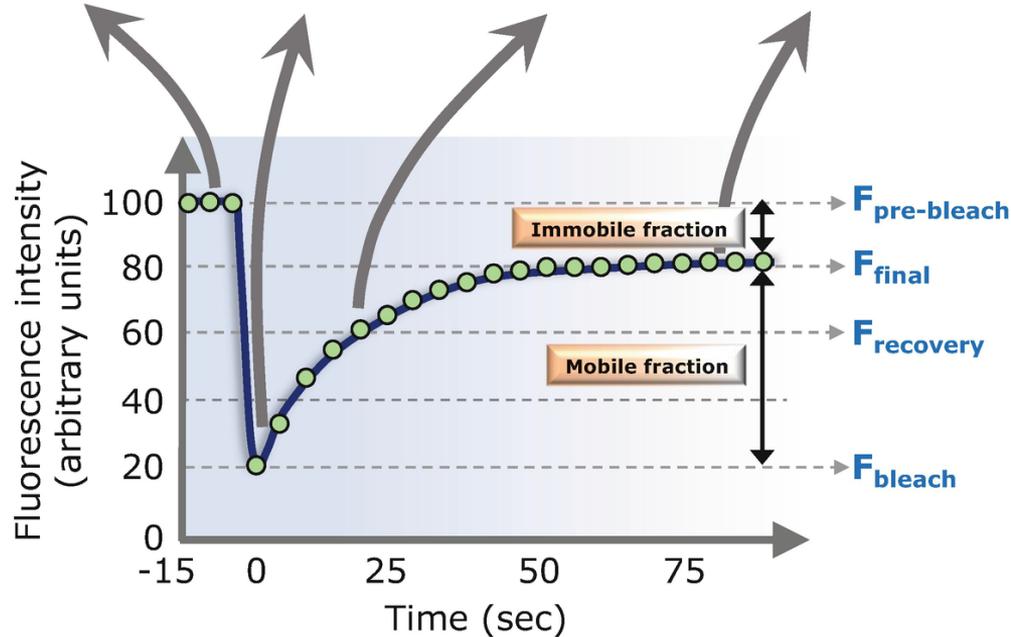
# **1. La membrane, une bicouche mosaïque et fluide**

## **1.2. La fluidité membranaire**

# La fluidité membranaire : approche expérimentale



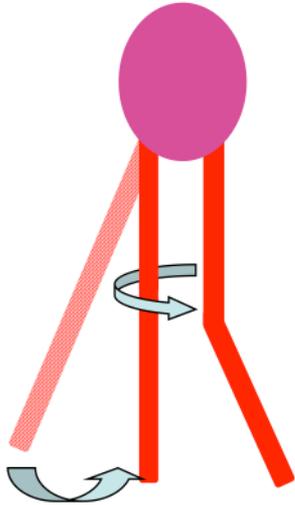
**FRAP** : Fluorescence Recovery After Photobleaching



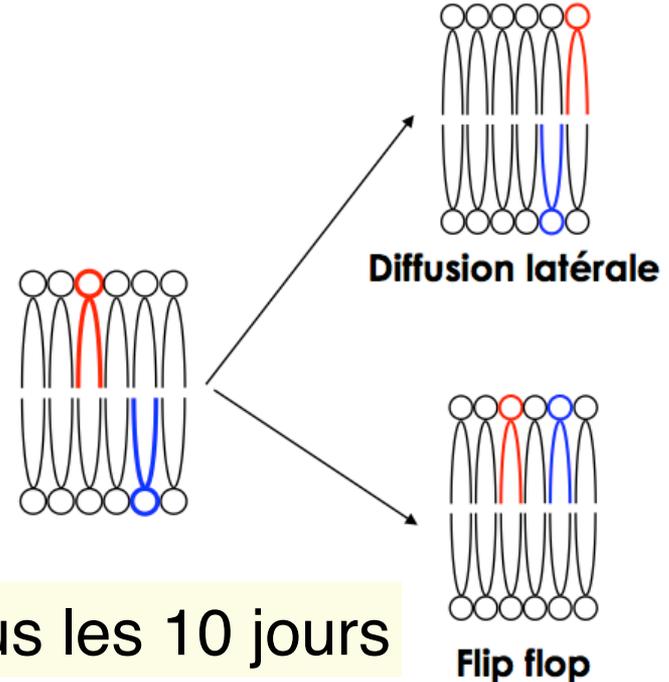
# Les mouvements dans la membrane

Des mouvements permanents dus à l'agitation moléculaire

Mouvements locaux ( $10^{11}/\text{sec}$ )

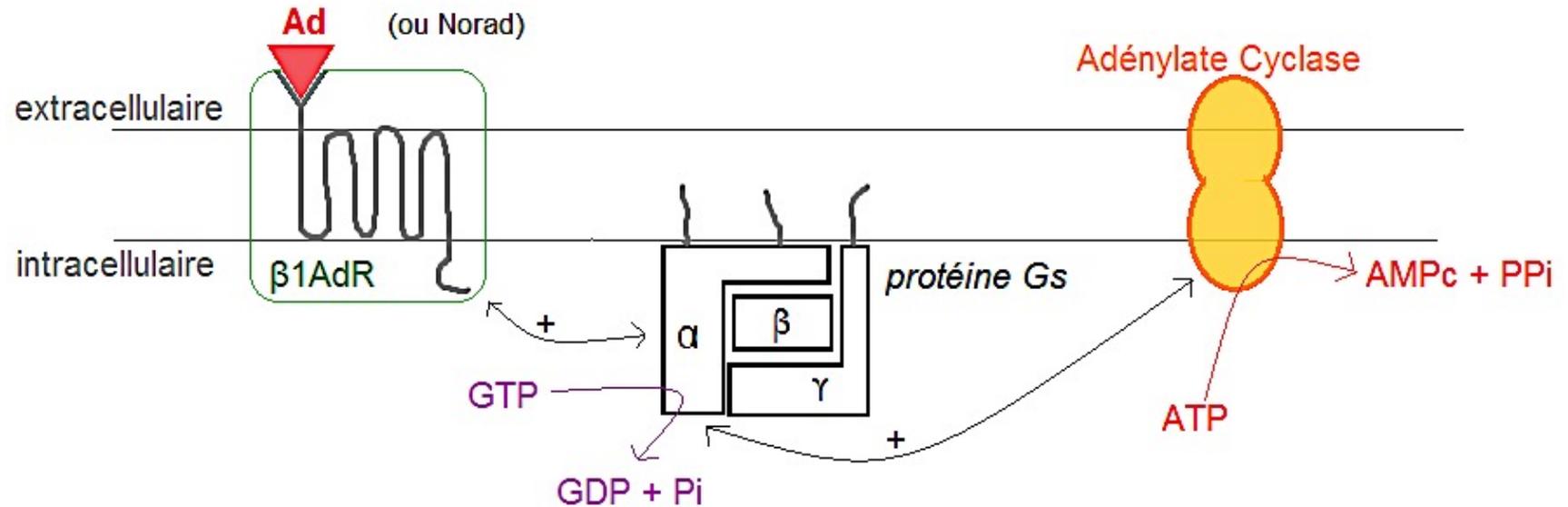


$10^7$  échange.s<sup>-1</sup> avec le voisin



1 flip-flop tous les 10 jours

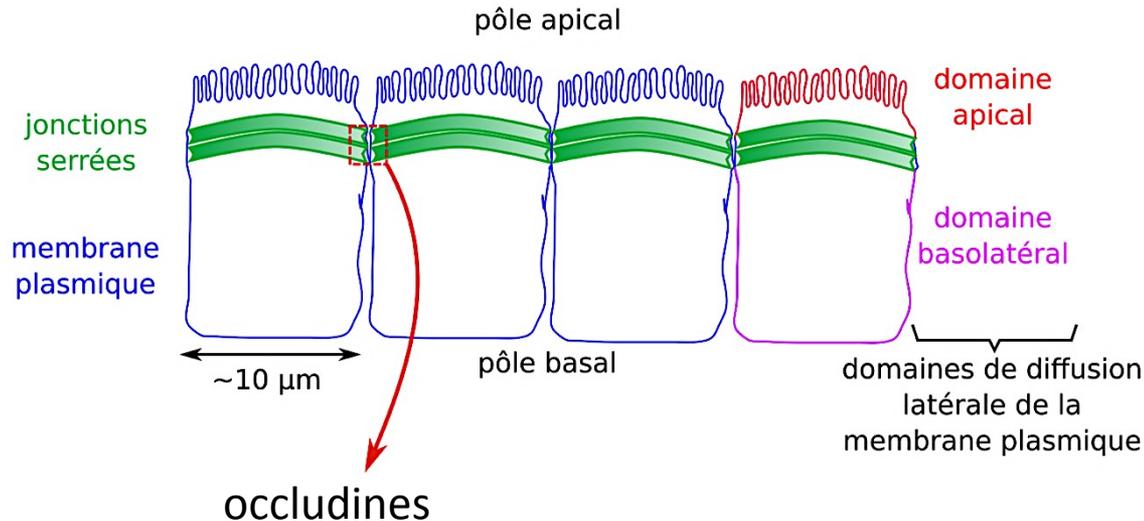
# Importance de la fluidité membranaire



Voie de l'AMPc : exemple avec le récepteur adrénergique  $\beta_1$

# La fluidité est régulée

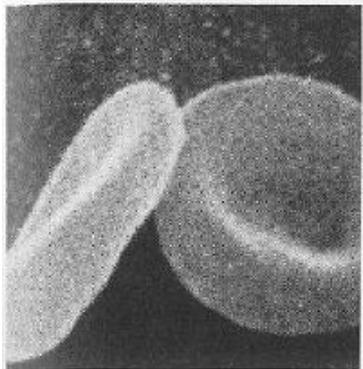
- Régulée par le taux de cholestérol et d'acides gras insaturés
  - # Cholestérol = tampon de fluidité
  - # Présence d'acides gras insaturés augmentant la fluidité
- Restreinte par des barrières : exemple des zones étanches



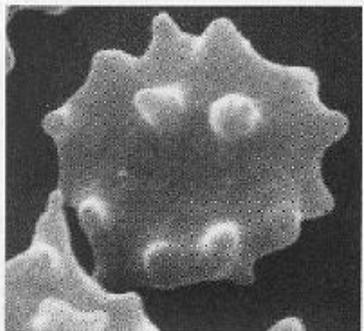
## **2. La perméabilité des membranes**

### **2.1. Le passage des substances selon leur nature**

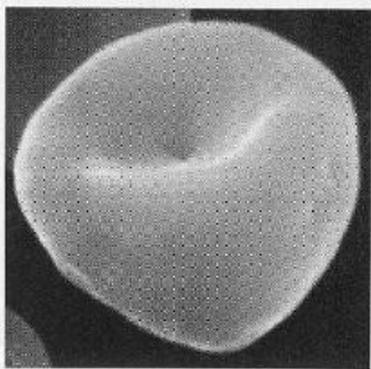
# L'osmose



(a)  
[NaCl]  
9 ‰



(b)  
[NaCl]  
12 ‰



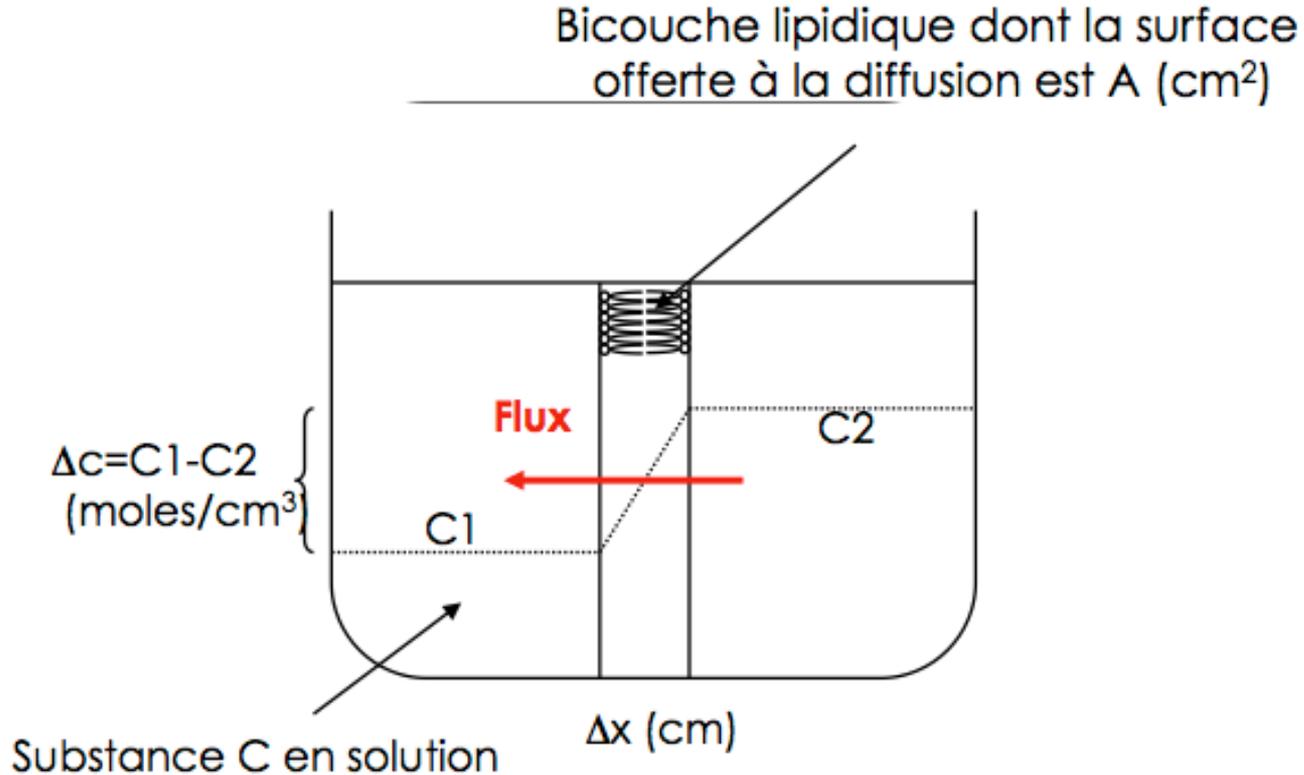
(c)  
[NaCl]  
5 ‰

[NaCl]  
15 ‰



Source : <http://sciences.csgn.be/osmo.htm>

# Étude de la perméabilité



# Le flux de substances

D'après la 1<sup>ère</sup> loi de diffusion de Fick,

The diagram illustrates Fick's first law of diffusion with the following equation and annotations:

$$\text{Flux} = -D \times S \times \frac{\Delta C}{\Delta x}$$

- Flux en mol.s<sup>-1</sup>**: Unit of the flux, indicated by a black box and arrow pointing to the 'Flux' term.
- D coefficient de diffusion en cm<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>**: Unit of the diffusion coefficient, indicated by an orange box and arrow pointing to 'D'.
- S surface en cm<sup>2</sup>**: Unit of the surface area, indicated by a light blue box and arrow pointing to 'S'.
- C concentration en mol.cm<sup>-3</sup>**: Unit of concentration, indicated by a light green box and arrow pointing to 'C' in the numerator.
- x épaisseur de l'échangeur en cm**: Unit of thickness, indicated by a light purple box and arrow pointing to 'x' in the denominator.

le signe - indique que le flux est dirigé vers le compartiment où la concentration est la plus faible

# Loi de diffusion

Pour une unité de surface

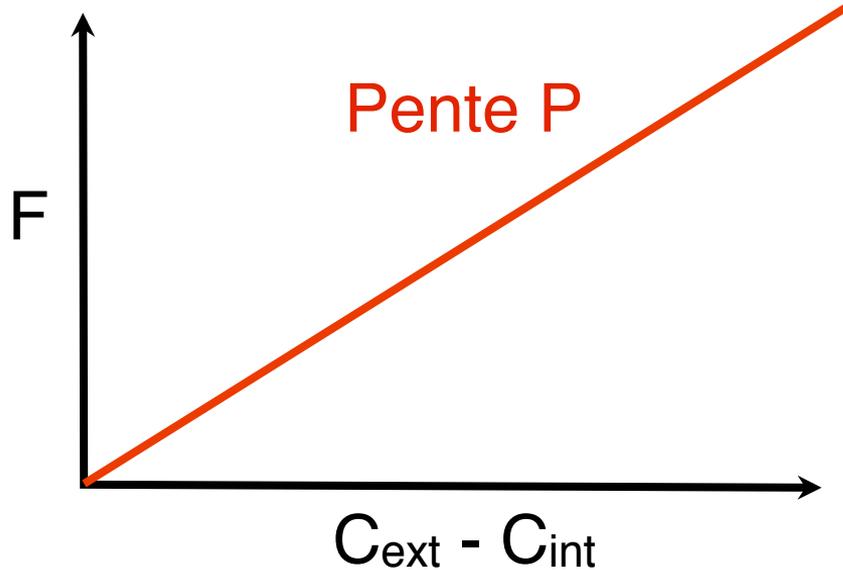
$$\text{Flux} = - D \cdot \frac{\Delta C}{\Delta x} = - P \cdot \Delta C$$

où  $P = \frac{D}{\Delta x}$  coefficient de perméabilité en  $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$

$\Delta x =$  épaisseur de la membrane = 7,5 nm

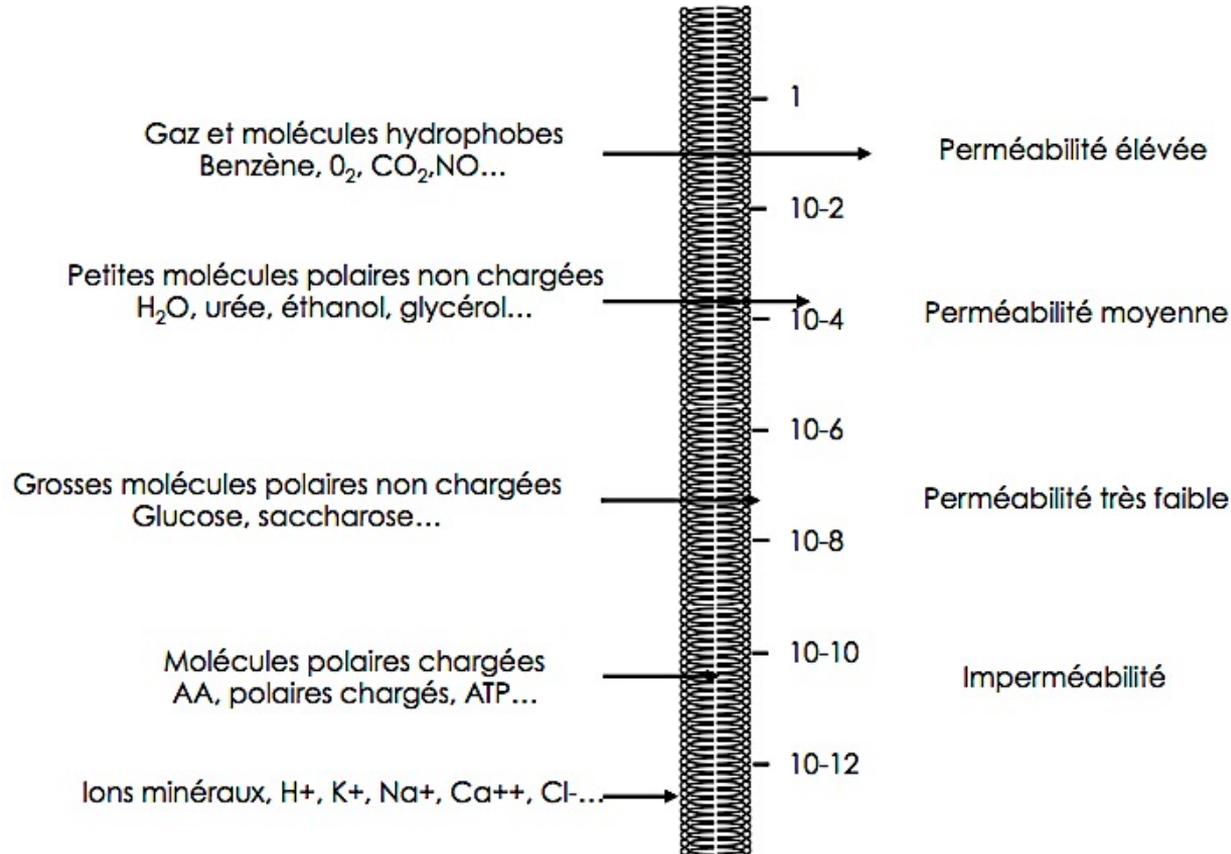
# Valeurs de P

Mesure du flux F entrant de substances variées



Mesure de  $P$  = pente de la courbe de mesure de l'entrée de la substance en fonction du gradient

# Résultats : valeurs de P



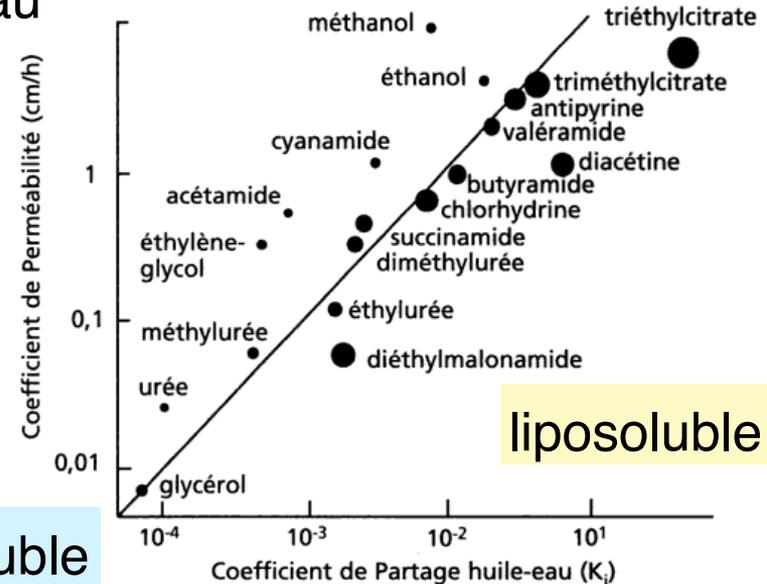
# Perméabilité et coefficient de partage

## mesure du coefficient de partage

on mêle le soluté avec un mélange eau/huile d'olive et on attend que les phases se séparent.

Coefficient =  $\frac{\text{concentration du soluté dans l'huile}}{\text{concentration du soluté dans l'eau}}$

**Un fort coefficient de partage correspond à une molécule très liposoluble qui traverse aisément les bicouches lipidiques.**



hydrosoluble

# Relation entre P et le coefficient de partage

Il y a un lien entre le coefficient de partage huile / eau et le coefficient de perméabilité

**P est le coefficient de perméabilité en  $\text{cm.s}^{-1}$**

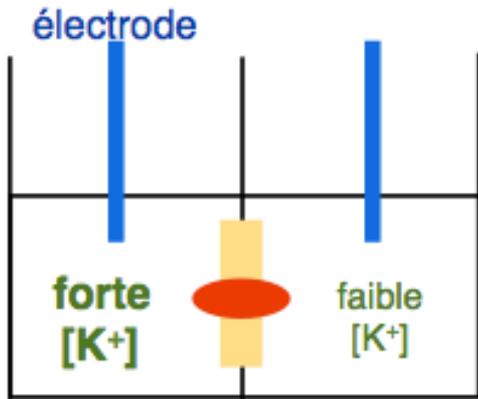
**coefficient de partage de A =  $\frac{\text{solubilité de A dans l'huile}}{\text{solubilité de A dans l'eau}}$**

Le coefficient de partage huile / eau indique la nature liposoluble des substances. Les molécules liposolubles peuvent traverser la membrane par simple diffusion. **Important en pharmacologie.**

## **2. La perméabilité des membranes**

**2.2. Le passage des substances est régi par le potentiel électrochimique**

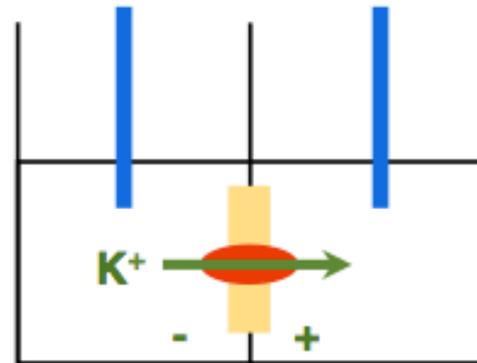
# Transport des ions et force ion-motrice



Absence de Ca<sup>2+</sup>  
=> canal fermé

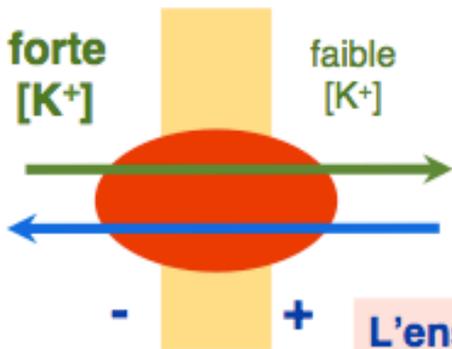
canal BK, s'ouvrant  
en présence de Ca<sup>2+</sup>

bicouche  
lipidique



Présence de Ca<sup>2+</sup> => canal ouvert

il s'ensuit un champ électrique qui renvoie  
les K<sup>+</sup> vers le compartiment initial



composante chimique : différence de concentration

composante électrique : différence de charges

L'ensemble des 2 composantes est la force «ion-motrice»

# Aspect thermodynamique du transport

différence de potentiel électrochimique

$$\Delta G'_{i \rightarrow e} = \mu_e - \mu_i = R.T.\ln\left(\frac{C_e}{C_i}\right) + z.F.(E_e - E_i)$$

Variation d'enthalpie libre

composante chimique  
différence de concentration

composante électrique  
tension transmembranaire

si  $\Delta G'_{i \rightarrow e} < 0 \Rightarrow$  transport spontané, exergonique

si  $\Delta G'_{i \rightarrow e} > 0 \Rightarrow$  transport non spontané, endergonique : il faut dépenser de l'énergie pour provoquer le transfert

# La force ion-motrice

concentration en mM	intracellulaire	extracellulaire
Na <sup>+</sup>	10	140
K <sup>+</sup>	140	5
Ca <sup>2+</sup>	10 <sup>-3</sup>	5
Cl <sup>-</sup>	14	147

Calculez  $\Delta G_{\text{int} \rightarrow \text{ext}}$  pour l'ion Na<sup>+</sup> dans une cellule de potentiel de repos égal à - 60 mV. Conclure.

$$\Delta G_{\text{int} \rightarrow \text{ext}} = RT \ln \frac{[\text{ext}]}{[\text{int}]} - z \mathcal{F} \text{ ddp}$$

$$R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$T = 298 \text{ K}$$

$$\mathcal{F} = 96\,500 \text{ C}$$

# La force ion-motrice

concentration en mM	intracellulaire	extracellulaire
Na <sup>+</sup>	10	140

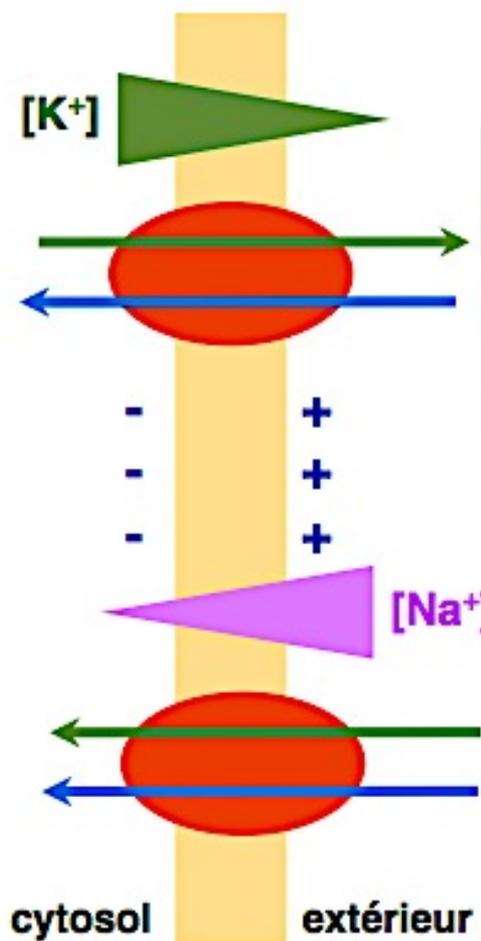
$$\Delta G_{\text{int} \rightarrow \text{ext}} = RT \ln \frac{[\text{ext}]}{[\text{int}]} - z F \Delta \psi$$

$$\Delta G_{\text{int} \rightarrow \text{ext}} = 8,31 \times 298 \times \ln (140/10) - 1 \times 96500 \times (-60 \cdot 10^{-3})$$

$$\Delta G_{\text{int} \rightarrow \text{ext}} = + 12,3 \text{ kJ.mol}^{-1} \Rightarrow \text{non spontané dans ce sens}$$

$\Delta G_{\text{ext} \rightarrow \text{int}} = - 12,3 \text{ kJ.mol}^{-1}$  ce qui signifie que l'entrée de Na<sup>+</sup> dans la cellule est une source énergétique : elle permet par exemple l'entrée de glucose dans la cellule contre le gradient.

# BILAN



**composante chimique :  
différence de concentration**

**composante électrique :  
différence de charges**

**L'ensemble des 2 composantes  
est la force «ion-motrice»**

$$\Delta G_{\text{int} \rightarrow \text{ext}} = RT \ln \frac{[\text{ext}]}{[\text{int}]} - z \mathcal{F} \text{ddp}$$

ddp = différence de potentiel  
membranaire =  $E_{\text{int}} - E_{\text{ext}}$

# Le transport de l'eau

$$\Psi = P - \pi - \tau$$

potentiel hydrique en Pa  
= potentiel chimique de l'eau

potentiel hydrostatique  
≈ pression de l'eau (turgescence)

potentiel osmotique  
lié aux solutés dissous

potentiel matriciel  
≈ pouvoir de rétention

**L'eau se déplace spontanément selon les potentiels hydriques décroissants**

# Le point sur le potentiel chimique

Le potentiel chimique  $\mu$  est une grandeur thermodynamique qui définit l'état énergétique d'une substance.

Il a la dimension d'une énergie.

Il réunit différents facteurs :

$$\mu_i = \mu_i^\circ + RT \ln(a_i) + V_i P + z \mathcal{F} \Delta E + m_i g h$$

potentiel standard

activité  $\approx$  concentration

effet de la pression  
 $V$  = volume molaire

effet des charges électriques

effet de l'altitude sur  $g$

# Le point sur le potentiel chimique

## Le potentiel chimique $\mu$ appliqué à l'eau

$$\mu_i = \mu_i^\circ + RT \ln(a_i) + V_i P + z \mathcal{F} \Delta E + m_i g h$$

Convention : vaut 0  
pour l'eau

activité de l'eau correspond à l'effet des  
solutés donc à la pression osmotique  $\pi$

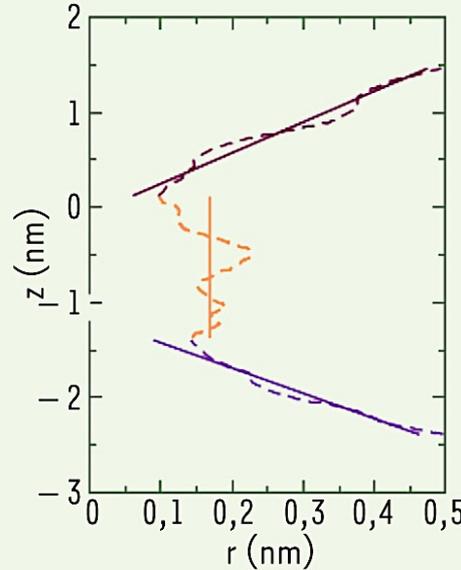
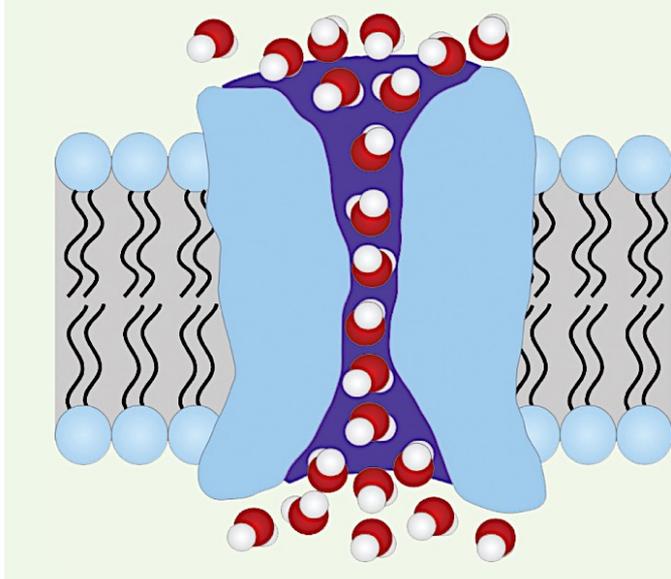
effet de la pression  
 $P - \tau$

négligé ici

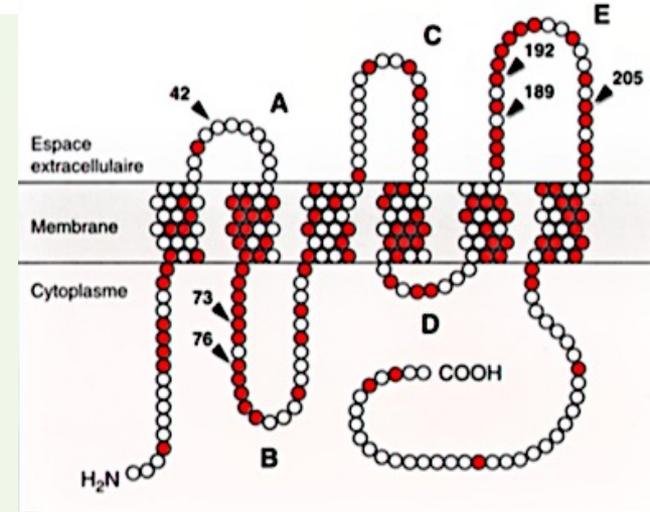
Nul dans le  
cas de l'eau

Le potentiel hydrique  $\psi$  est  $\mu_{\text{eau}}$  rapporté au volume  
molaire : il devient une pression

# Les aquaporines



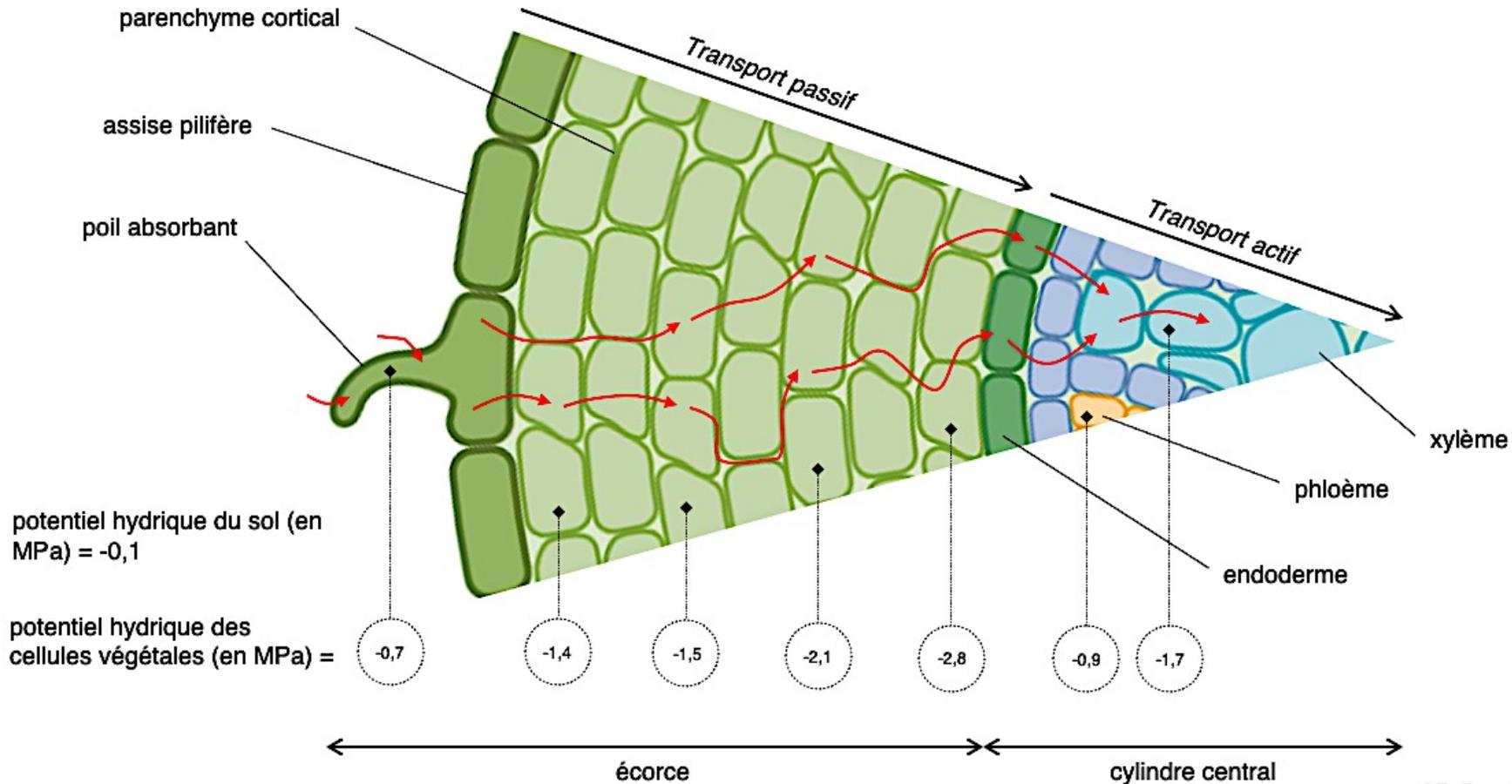
Rayon du pore



Aquaporine AQP1

Diffusion simple à travers le pore de diamètre 0,15 nm

# Transport de l'eau dans une racine végétale



# Faisons le point

## Transport d'une substance à travers la membrane

### Aspect thermodynamique : spontané dans quel sens ?

La **différence de potentiel électrochimique** entre les 2 faces de la membrane détermine si le transport est spontané ou non. Les solutés vont spontanément dans le sens des potentiels décroissants.

### Aspect cinétique : quantité par seconde

La **loi de diffusion de Fick** donne accès au flux de soluté qui traverse la membrane (vitesse et quantité).

### Modalité de transport

Selon sa **nature**, le soluté traverse la membrane par diffusion simple entre les lipides ou emprunte un transporteur protéique.

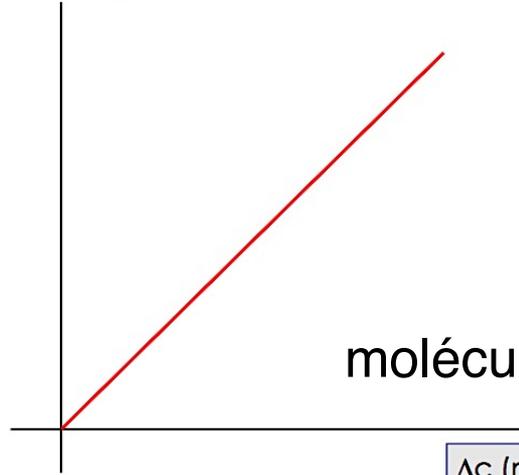
## **2. La perméabilité des membranes**

**2.3. Le transport passif : dans le sens des potentiels électrochimiques décroissants**

# Les deux types de transport passif

Transport passif simple (= libre)

Flux (mole/sec)



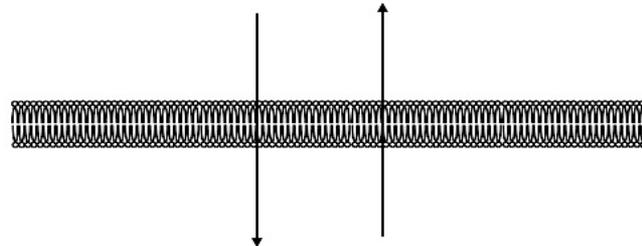
Gaz, hormones  
stéroïdes, urée,  
molécules liposolubles...

Transport passif par diffusion lipophile

Gradient de concentration

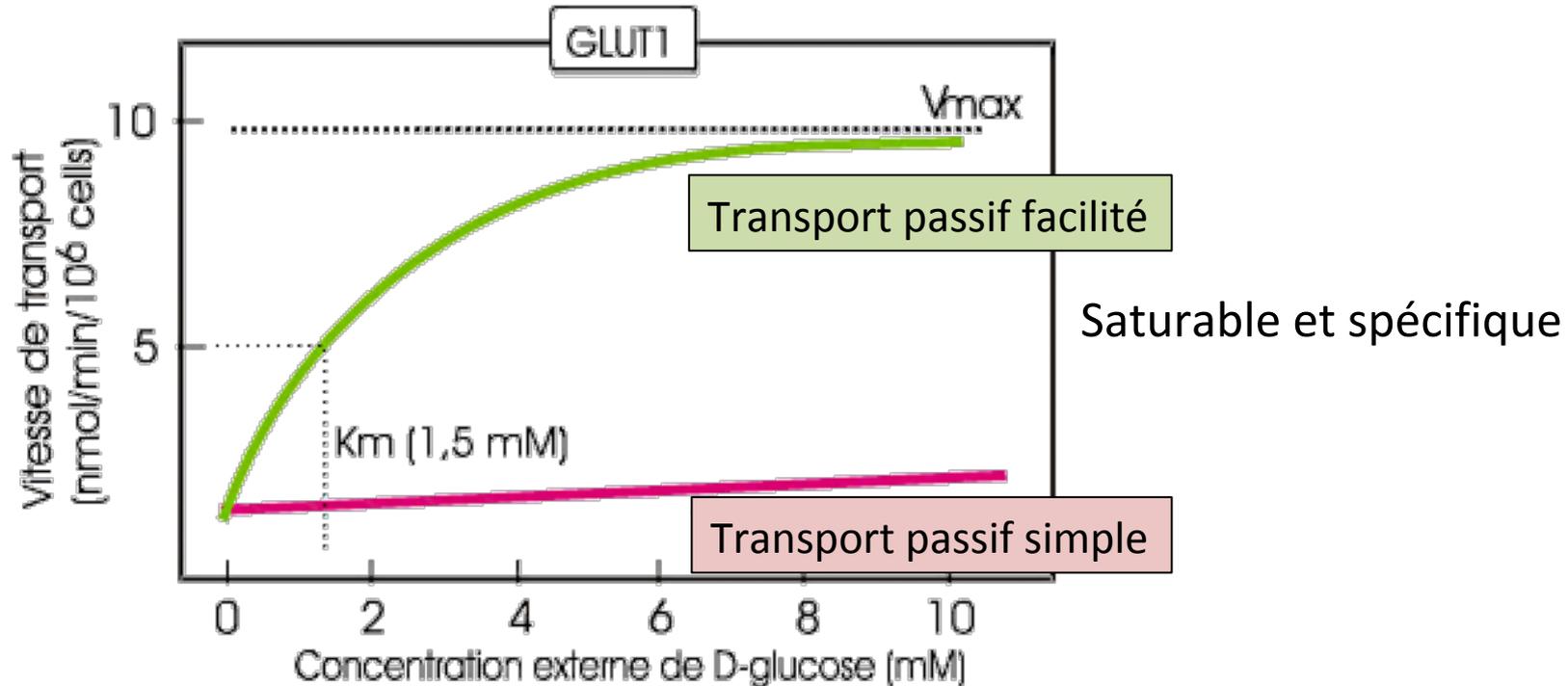
exterieur

cytoplasme



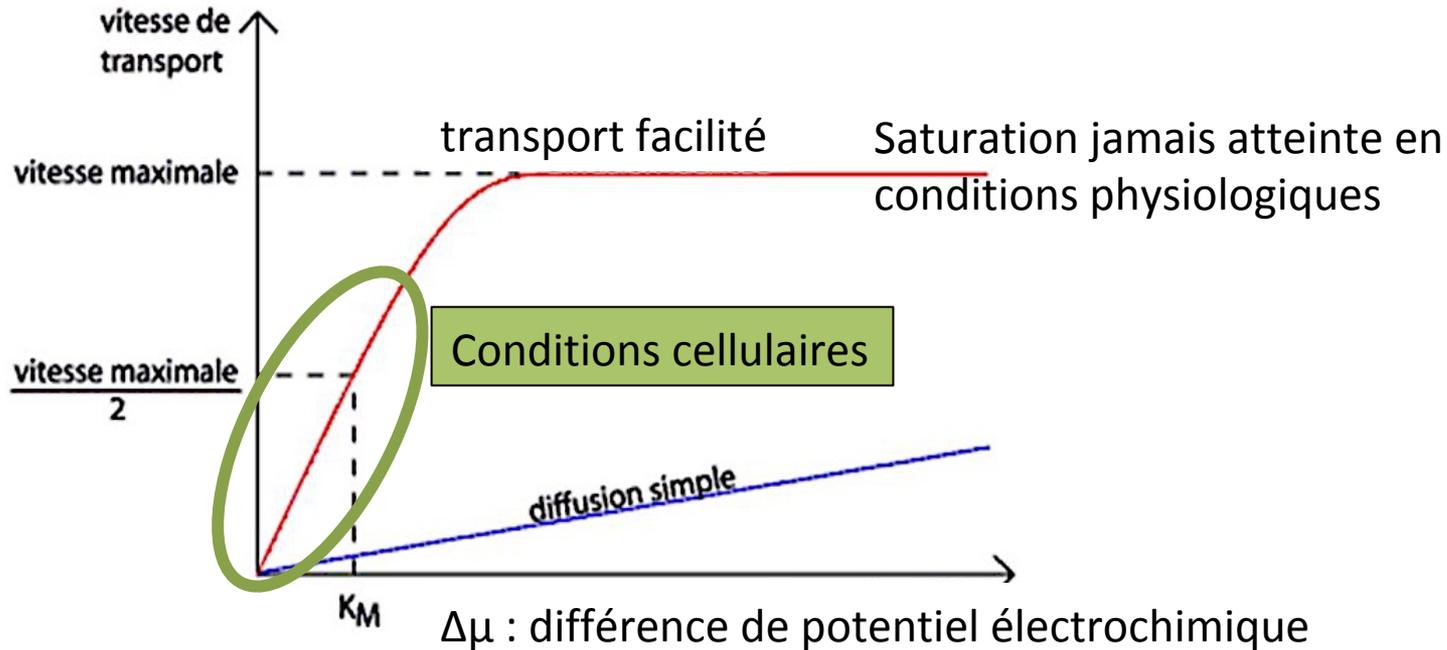
# Les deux types de transport passif

## Transport passif facilité

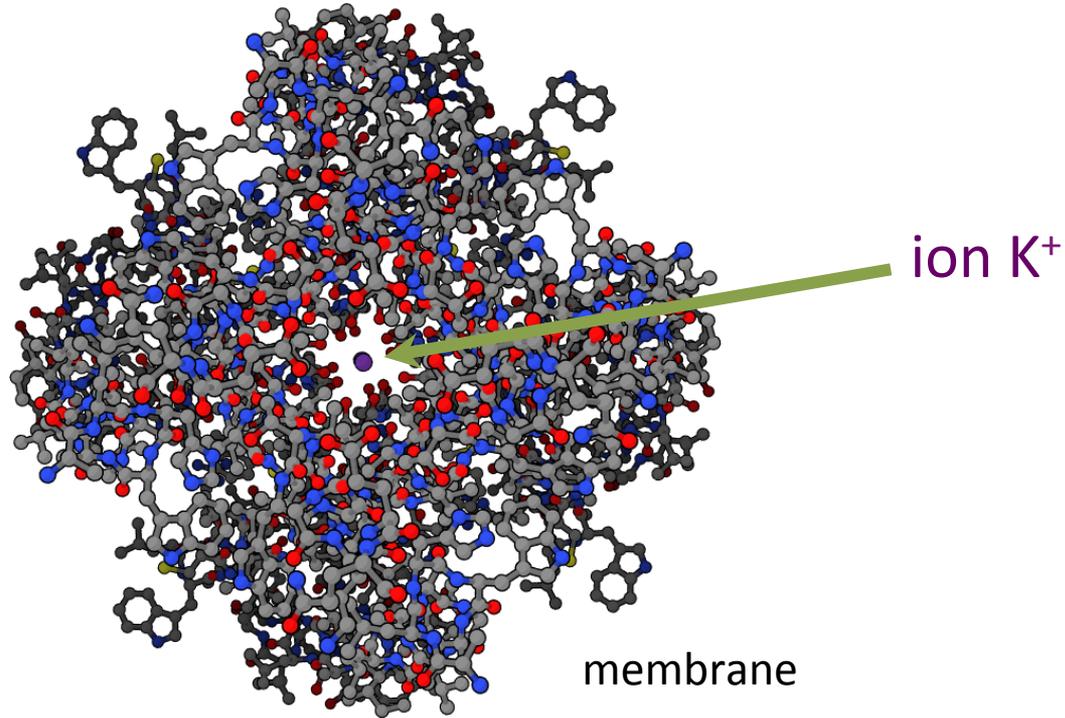


# Le transport passif dans les entérocytes

## Cas du transport passif des ions



# Un canal toujours ouvert : le canal de fuite à $K^+$

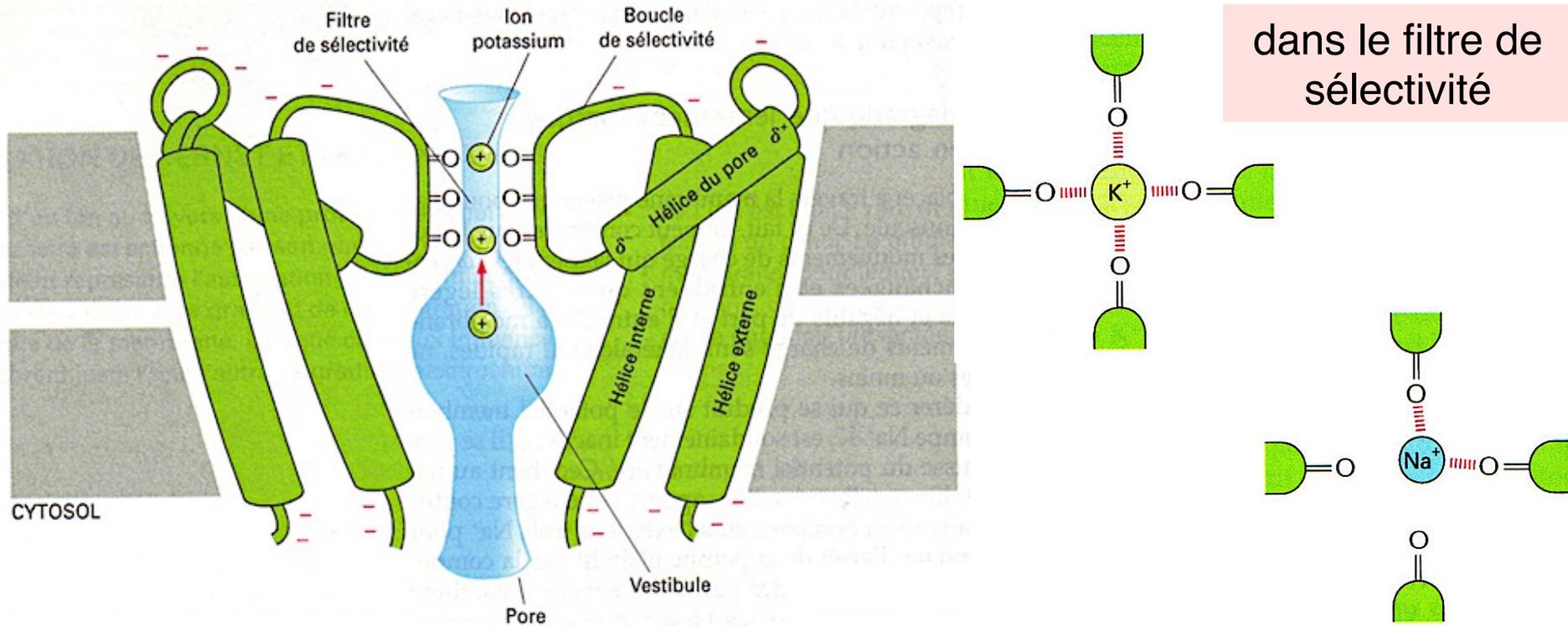


Dans les cellules excitables, il existe des canaux à ouverture régulée par :

- le voltage ;
- un ligand ;
- une force mécanique...

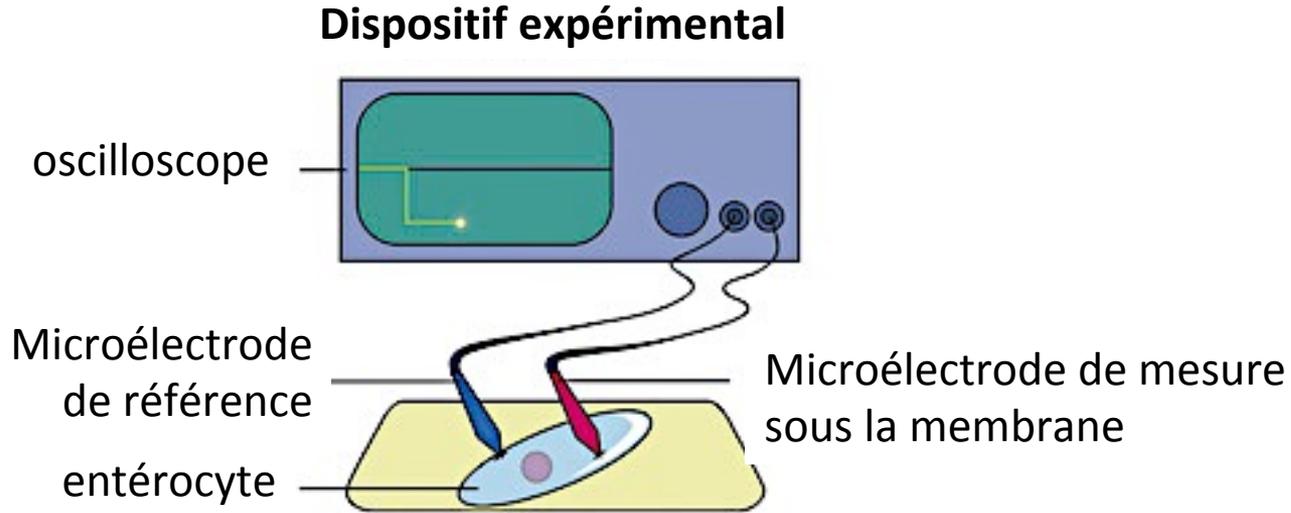
Vue de dessus du canal à 4 domaines

# La spécificité du canal



L'ion se débarrasse de toutes les molécules d'eau qui l'entourent et interagit avec les résidus du filtre => passage possible.

# Une différence de potentiel électrique mesurée



## Valeur mesurée

$$E_{\text{ext}} - E_{\text{int}} = \text{ddp} = -60 \text{ mV}$$

# Quel transport dans le canal de fuite à $K^+$ ?

concentration en mM	intracellulaire	extracellulaire
$Na^+$	10	140
$K^+$	140	5
$Ca^{2+}$	$10^{-3}$	5
$Cl^-$	14	147

Calculez  $\Delta G_{int \rightarrow ext}$  pour l'ion  $K^+$  dans une cellule de potentiel de repos égal à -60 mV. Conclure.

$$\Delta G_{int \rightarrow ext} = RT \ln \frac{[ext]}{[int]} - z \mathcal{F} ddp$$

$$R = 8,31 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$T = 298 \text{ K}$$

$$\mathcal{F} = 96\,500 \text{ C}$$

# Le transfert de l'ion K<sup>+</sup>

concentration en mM	intracellulaire	extracellulaire
K <sup>+</sup>	140	10

$$\Delta G_{\text{int} \rightarrow \text{ext}} = RT \ln \frac{[\text{ext}]}{[\text{int}]} - z F ddp$$

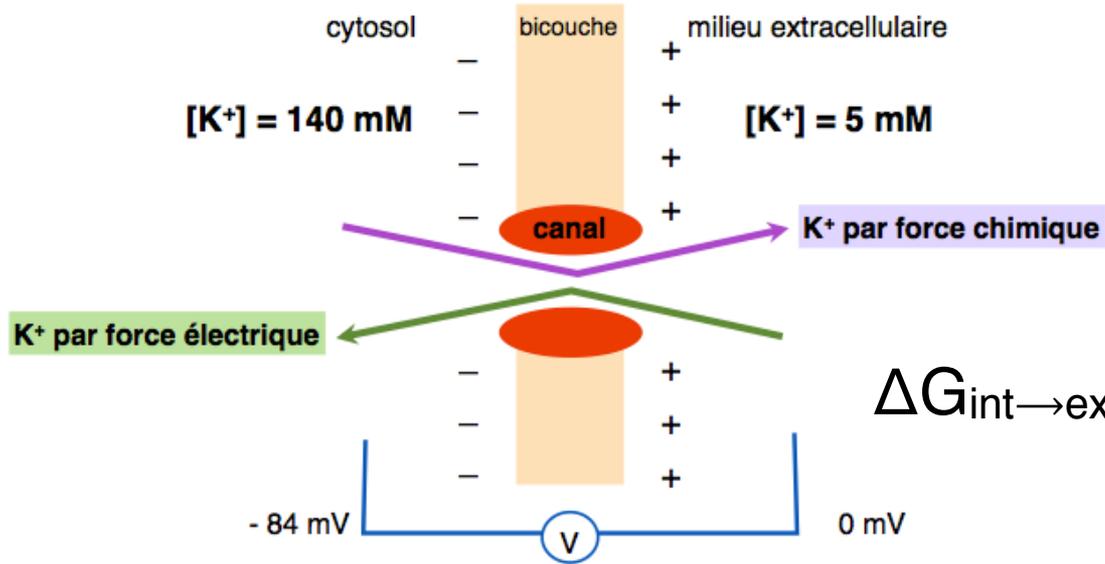
$$\Delta G_{\text{int} \rightarrow \text{ext}} = 8,31 \times 298 \times \ln (5/140) - 1 \times 96500 \times (-60.10^{-3})$$

$$\Delta G_{\text{int} \rightarrow \text{ext}} = - 2,4 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

$\Delta G_{\text{int} \rightarrow \text{ext}}$  proche de zéro : presque à l'équilibre !

# Le potentiel d'équilibre

Équilibre quand  $\Delta G = 0$



$$\Delta G_{\text{int} \rightarrow \text{ext}} = RT \ln \frac{[\text{ext}]}{[\text{int}]} - z \mathcal{F} ddp$$

Calculer le potentiel d'équilibre de chaque ion.  
Le comparer au potentiel de repos de  $-60 \text{ mV}$ .

# Potentiel d'équilibre des ions

concentration en mM	intracellulaire	extracellulaire
Na <sup>+</sup>	10	140
K <sup>+</sup>	140	5
Ca <sup>2+</sup>	10 <sup>-3</sup>	5
Cl <sup>-</sup>	14	147

$$\Delta G_{\text{int} \rightarrow \text{ext}} = RT \ln \frac{[\text{ext}]}{[\text{int}]} - z \mathcal{F} \text{ potentiel d'équilibre} = 0$$

$$\text{Potentiel d'équilibre} = \frac{RT}{z \mathcal{F}} \ln \frac{[\text{ext}]}{[\text{int}]} = \text{loi de Nernst}$$

# Potentiel d'équilibre des ions

concentration en mM	intracellulaire	extracellulaire
Na <sup>+</sup>	10	140
K <sup>+</sup>	140	5
Ca <sup>2+</sup>	10 <sup>-3</sup>	5
Cl <sup>-</sup>	14	147

$$\text{Potentiel d'équilibre} = \frac{8,31 \times 298}{96\,500 \, z} \ln \frac{[\text{ext}]}{[\text{int}]}$$

ion	Potentiel d'équilibre en mV
K <sup>+</sup>	- 86
Na <sup>+</sup>	+ 68
Ca <sup>2+</sup>	+ 109
Cl <sup>-</sup>	- 60

# Expérience de Bernstein

Enregistrement du potentiel de membrane en faisant varier la  $[\text{ion}]_{\text{ext}}$  et en maintenant constante celle des autres.

$$[\text{K}^+]_{\text{int}} = 140 \text{ mmol.L}^{-1}$$

$[\text{K}^+]_{\text{ext}}$ en $\text{mmol.L}^{-1}$	ddp mesurée en mV
3	- 70
80	- 44
3 400	- 10

En faisant varier  $[\text{Na}^+]$  et  $[\text{Cl}^-]$ , la ddp reste sensiblement à  $- 60 \text{ mV}$ .

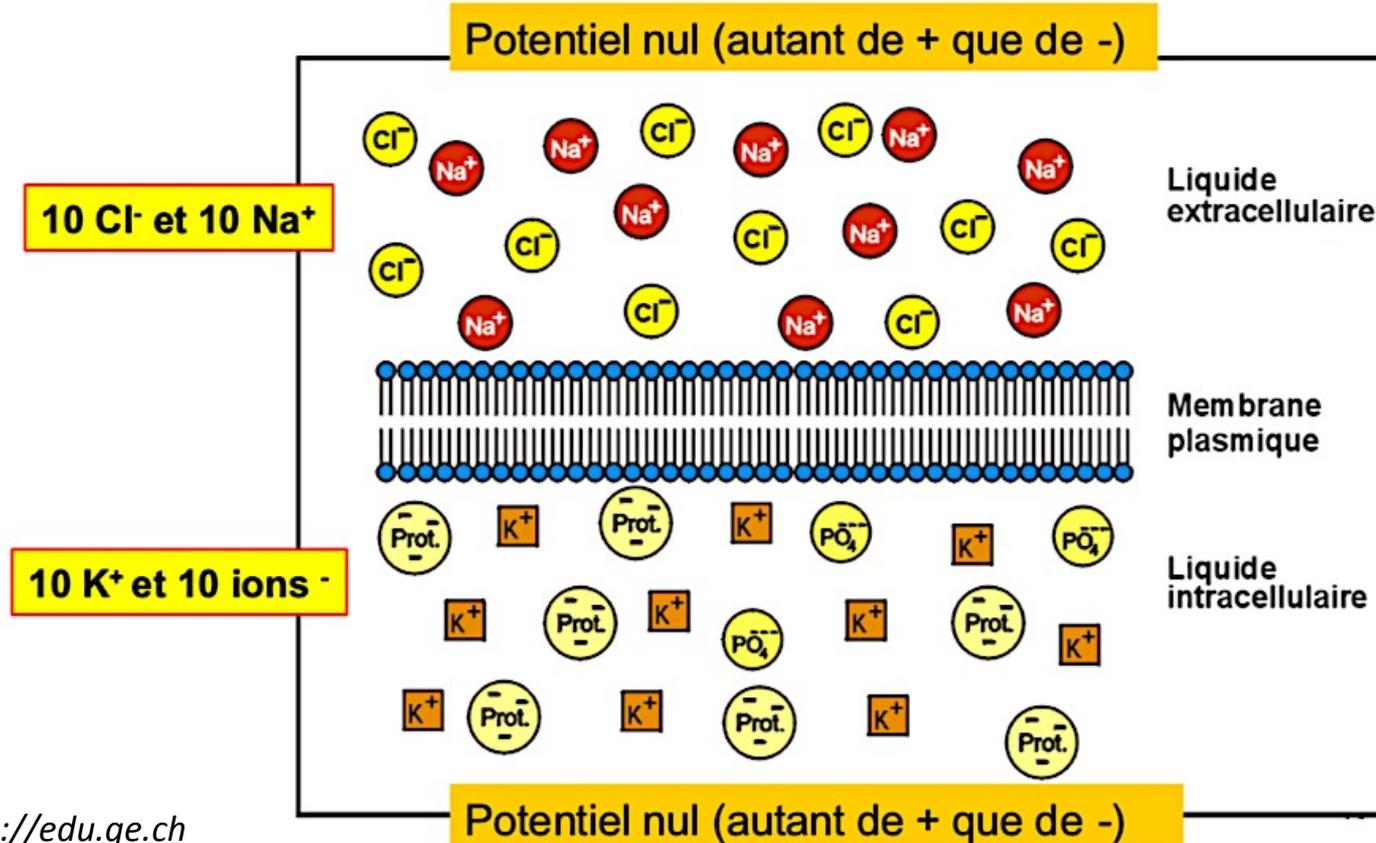
# La membrane est semi-perméable

Seul  $K^+$  possède un canal de fuite : la membrane est perméable à  $K^+$ .

Il atteint presque son équilibre. Il est à l'origine du potentiel de repos.

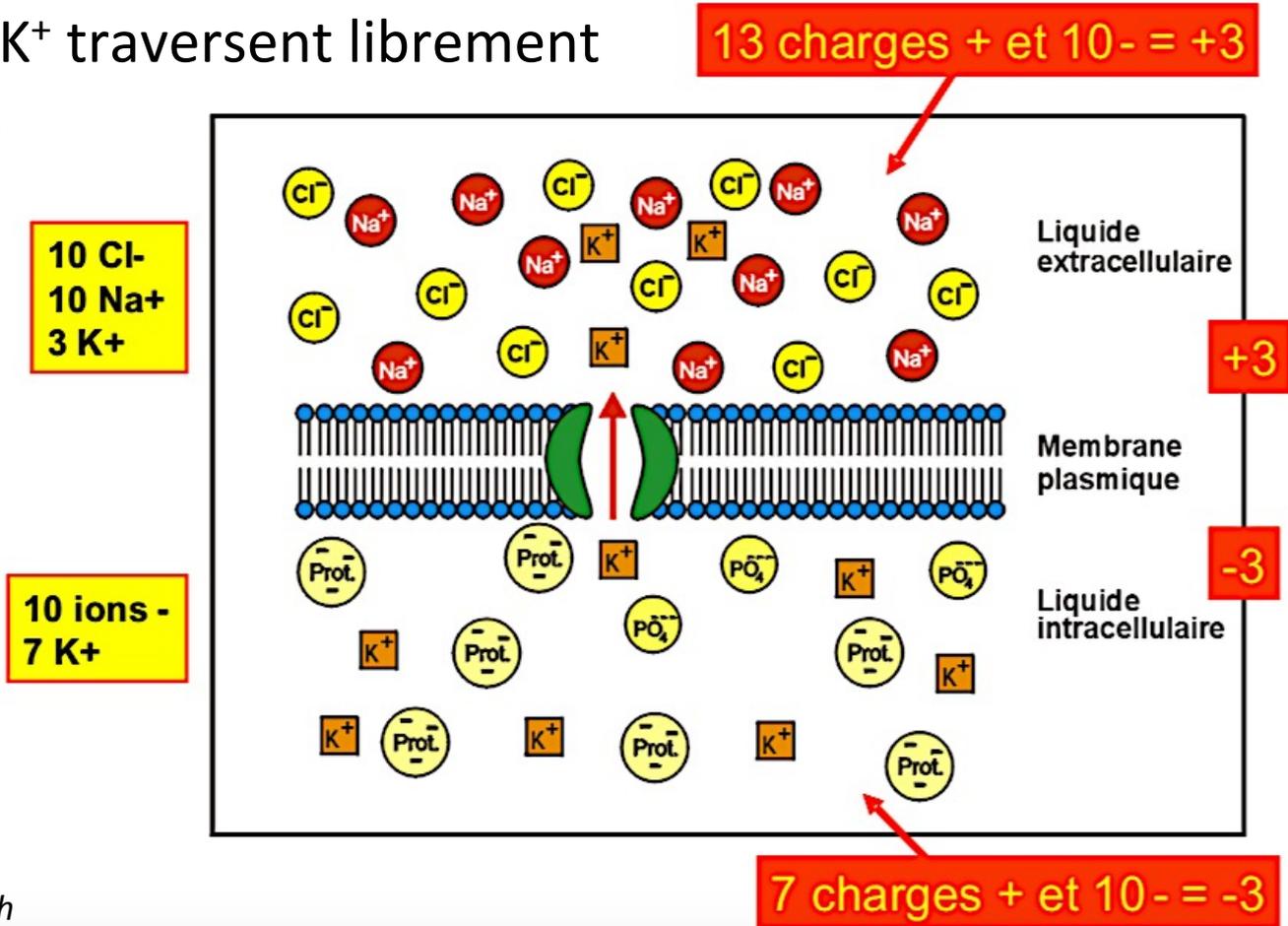
# Le potentiel de repos (1)

Électroneutralité des milieux de part et d'autre de la membrane



# Le potentiel de repos (2)

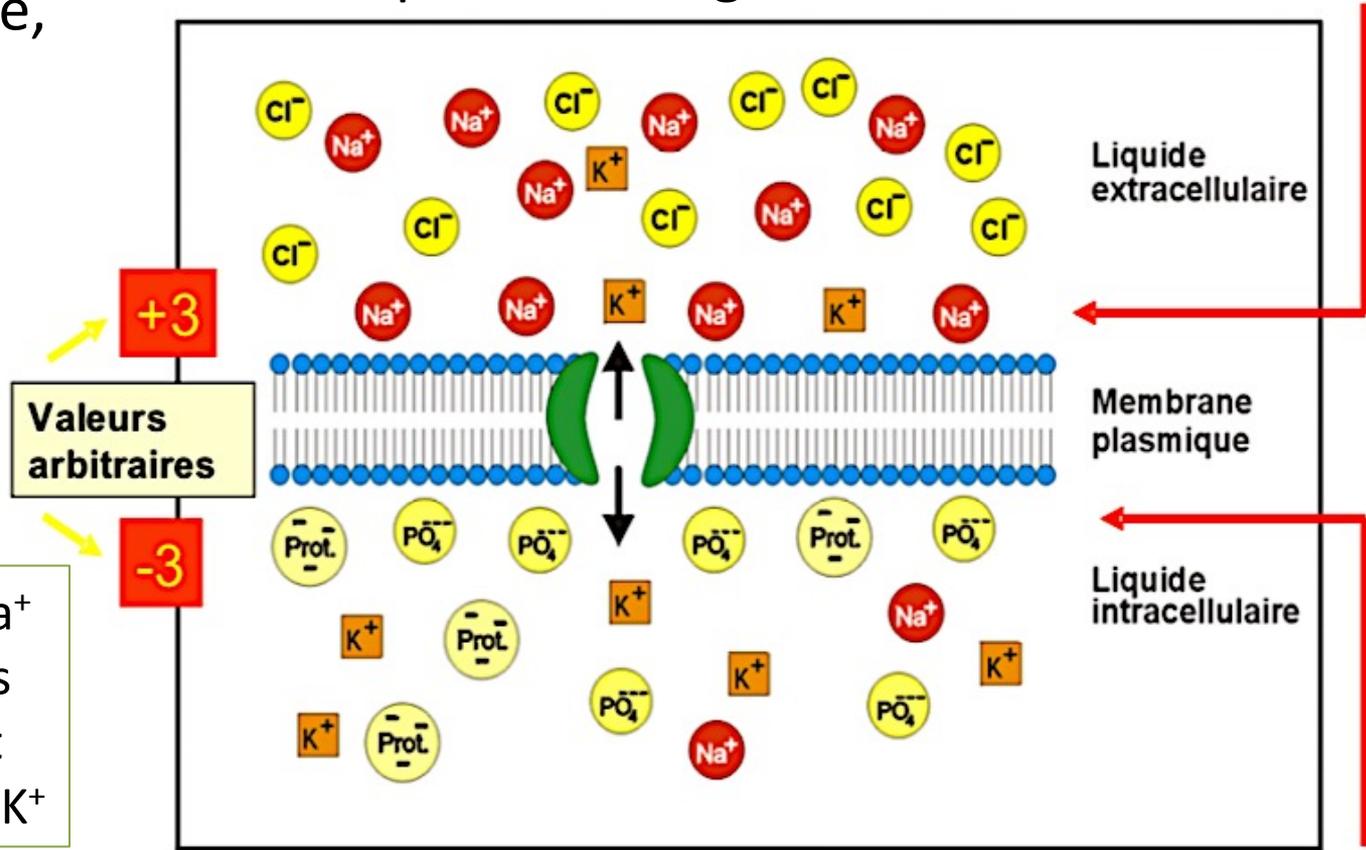
Seuls les ions  $K^+$  traversent librement la membrane.



# Le potentiel de repos (3)

À l'équilibre,

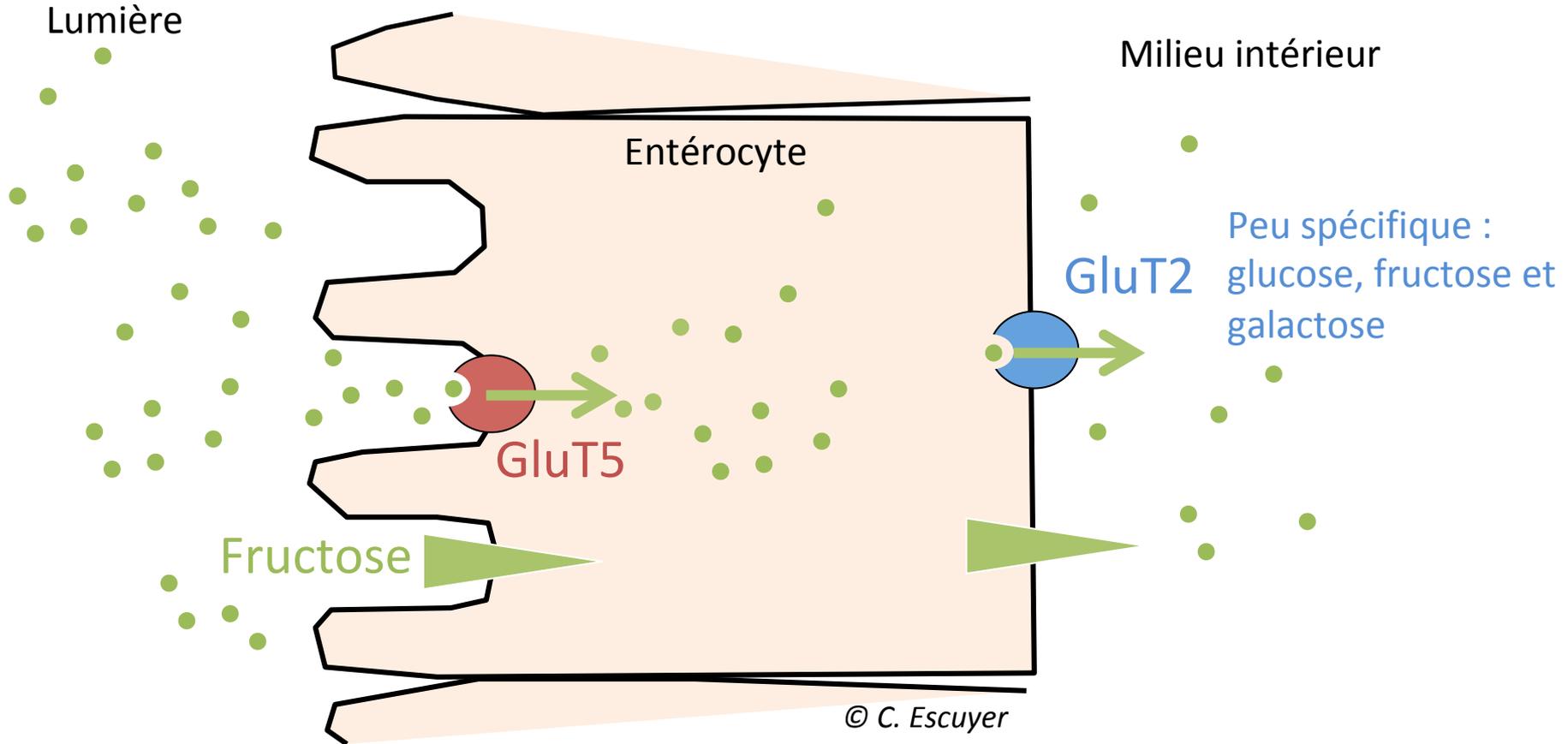
Surplus de charges + en surface de la membrane



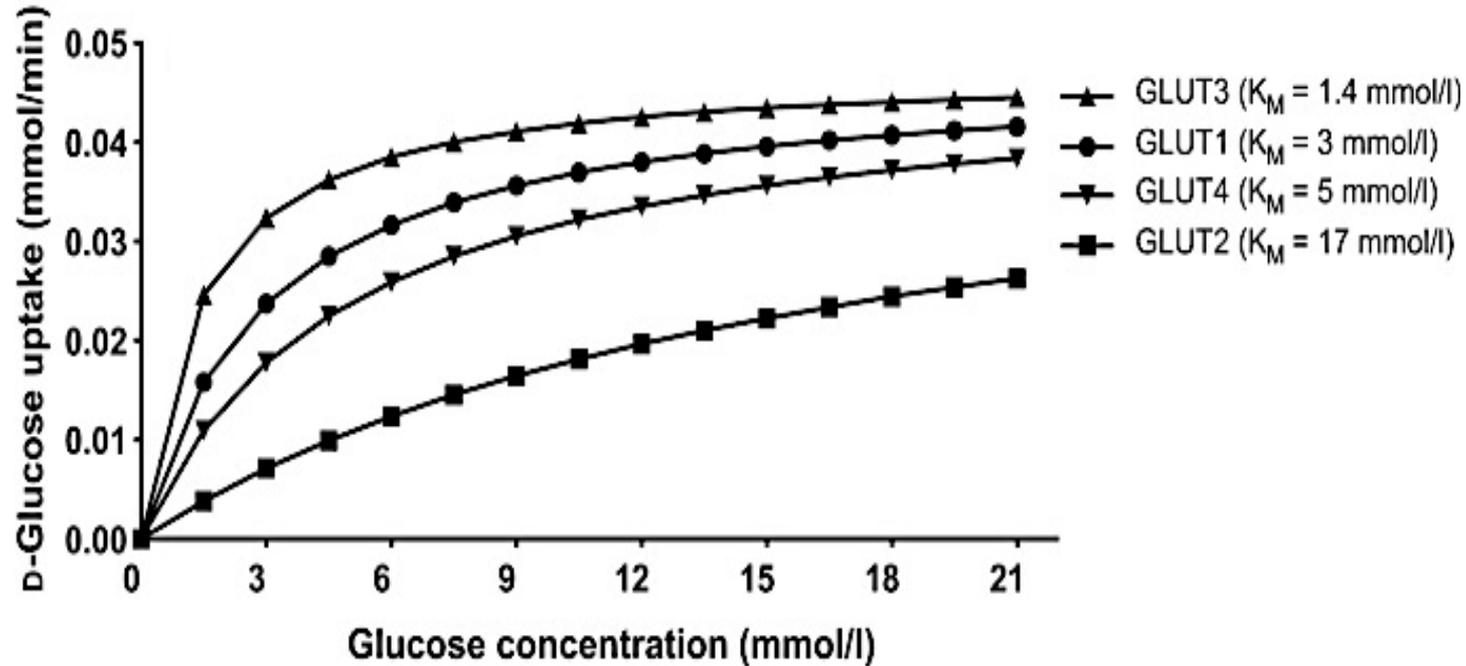
Surplus de charges - en surface de la membrane

Un peu de Na<sup>+</sup> passe => pas exactement l'équilibre de K<sup>+</sup>

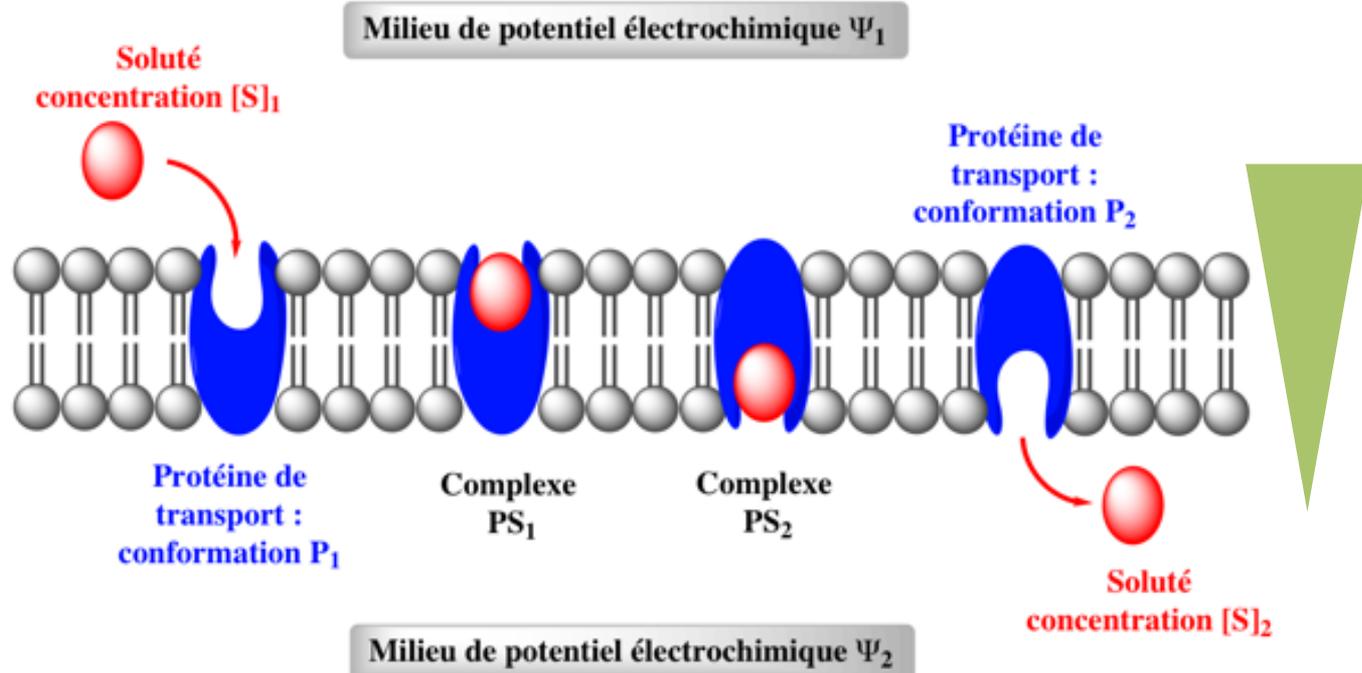
# Les perméases, des transports facilités spécifiques



# GLuT, une famille de perméases



# Les perméases : protéines déformables



*E. Jaspard (2013)*

Fixation du ligand => changement de conformation qui l'expulse de l'autre côté de la membrane. **Flux de  $10^2$  à  $10^4$  molécules par seconde.**

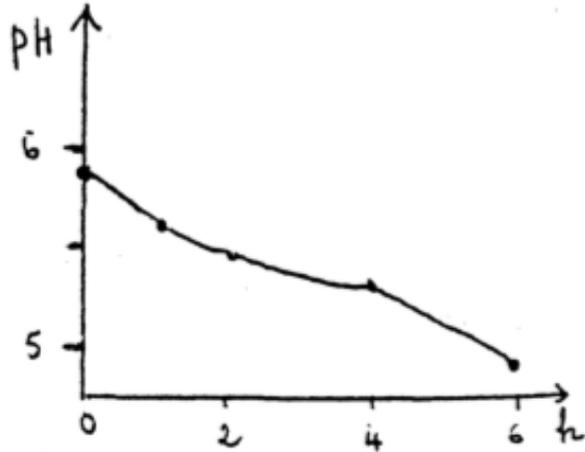
## **2. La perméabilité des membranes**

### **2.4. Le transport actif : dans le sens des potentiels électrochimiques croissants**

Défavorable au sens thermodynamique

# Les pompes : transporteur actif primaire

Exemple de la pompe à  $H^+$  des végétaux et bactéries



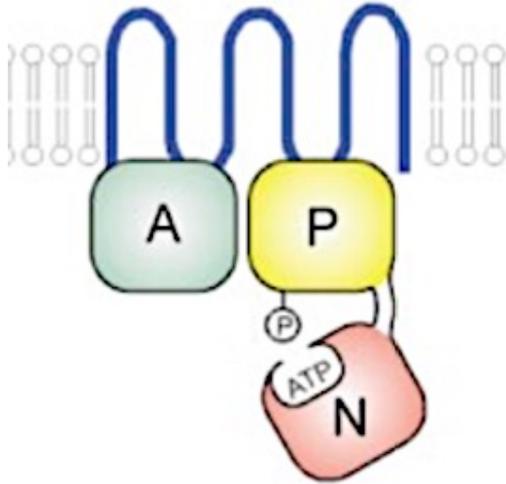
Delrot et Bonnemain (1979) : effet de tissus foliaires de Vesce sur le pH de la solution d'incubation

Travaux de Novacky (1978)

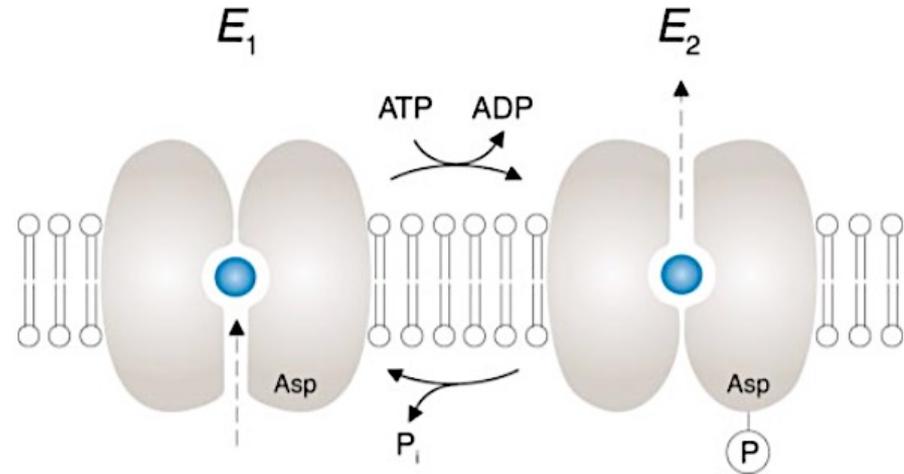
Mesure du potentiel de membrane de cellules de Lentilles d'eau et du pH extracellulaire en fonction du taux d'ATP intracellulaire.

[ATP] en nmol par g de poids frais	Potentiel de membrane en mV	pH extracellulaire
94	- 220	4,9
23	- 90	5,8

# Une pompe actionnée par l'hydrolyse d'ATP



Une protéine  
membranaire à domaines

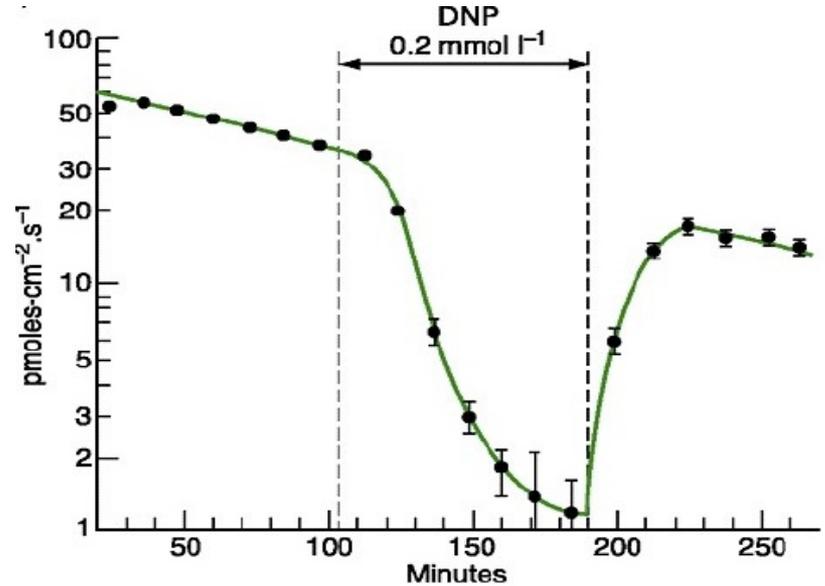
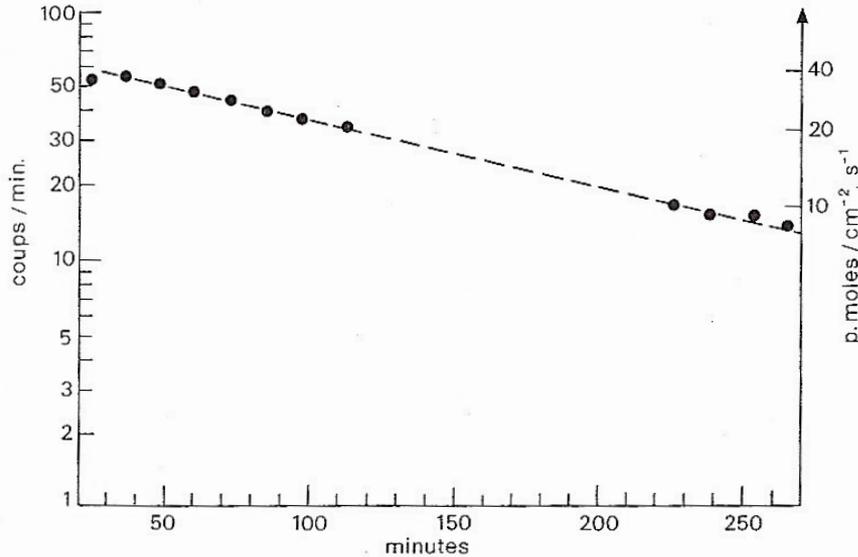


Modèle de mécanisme de transport

**Flux de  $10^2$  à  $10^3$  ions par seconde**

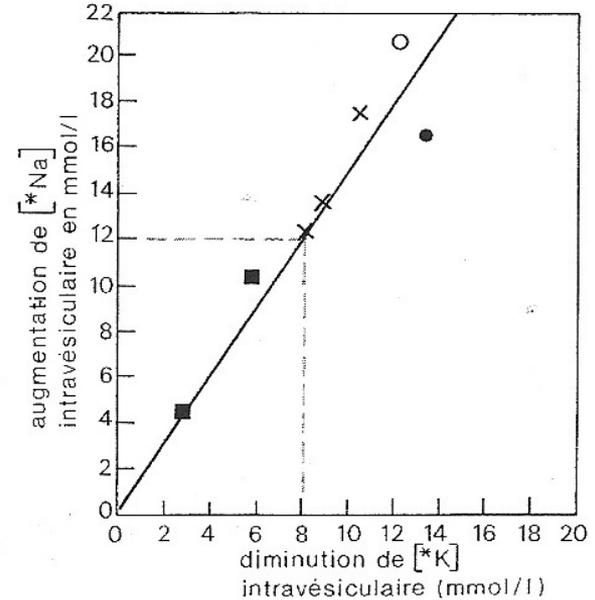
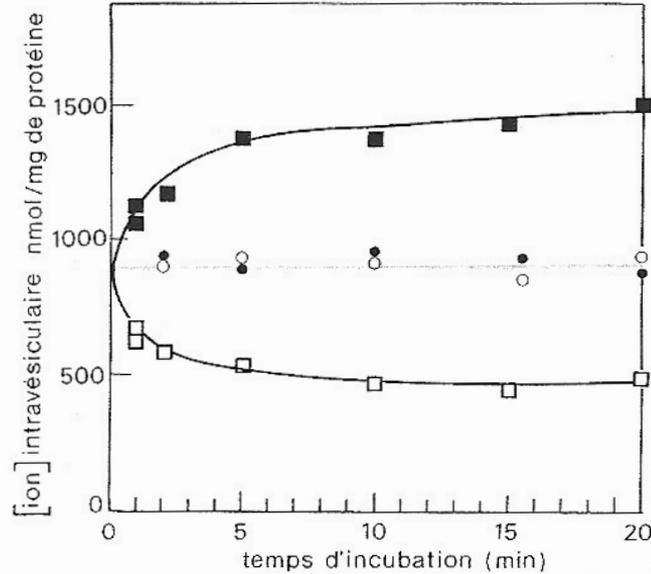
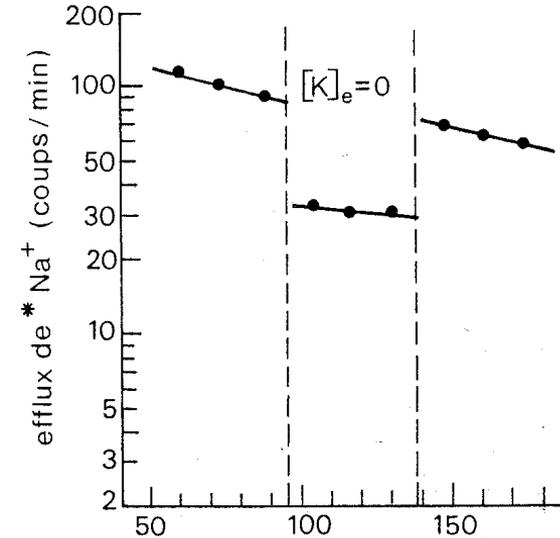
# Une pompe des cellules animales

## Exercice intégré

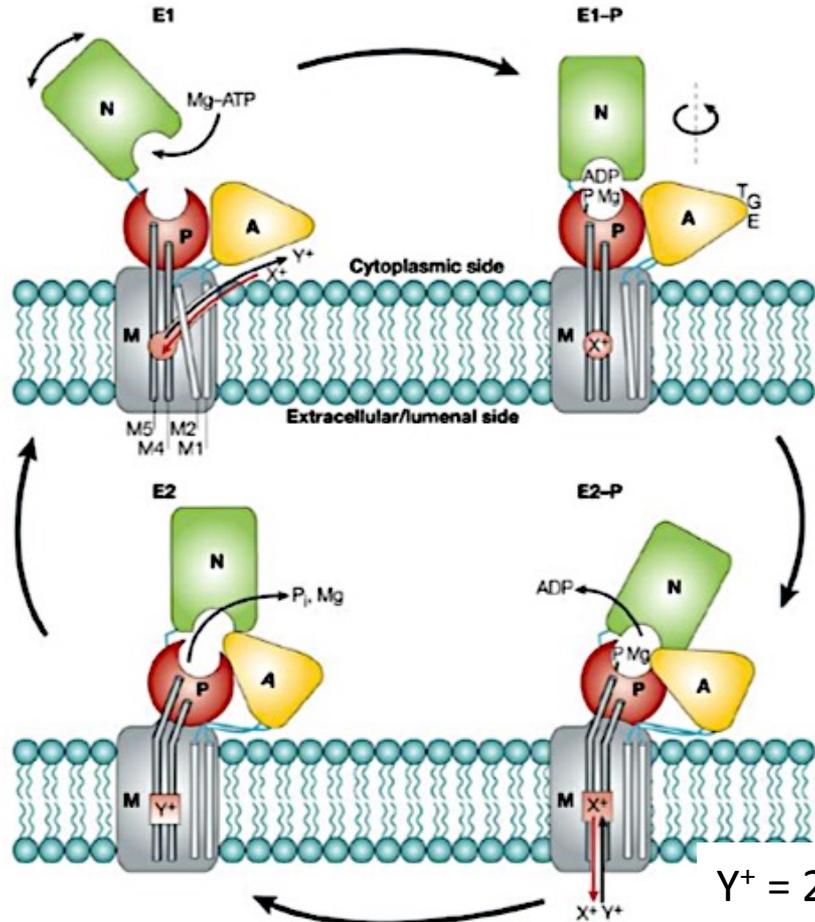


# Une pompe des cellules animales

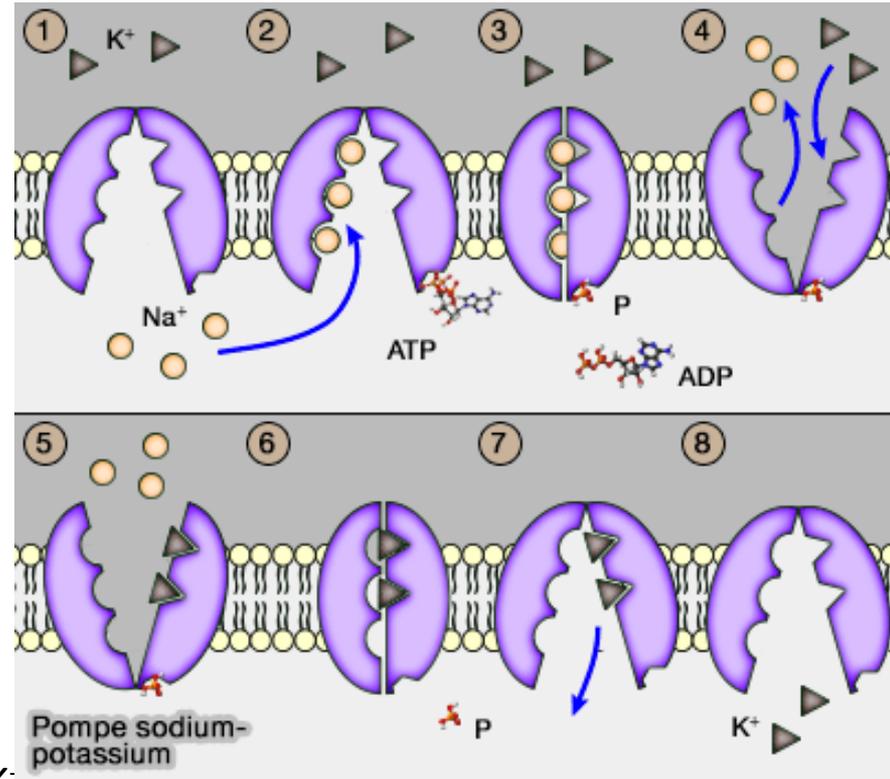
## Exercice intégré



# Modèle de la pompe Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>/ATPase

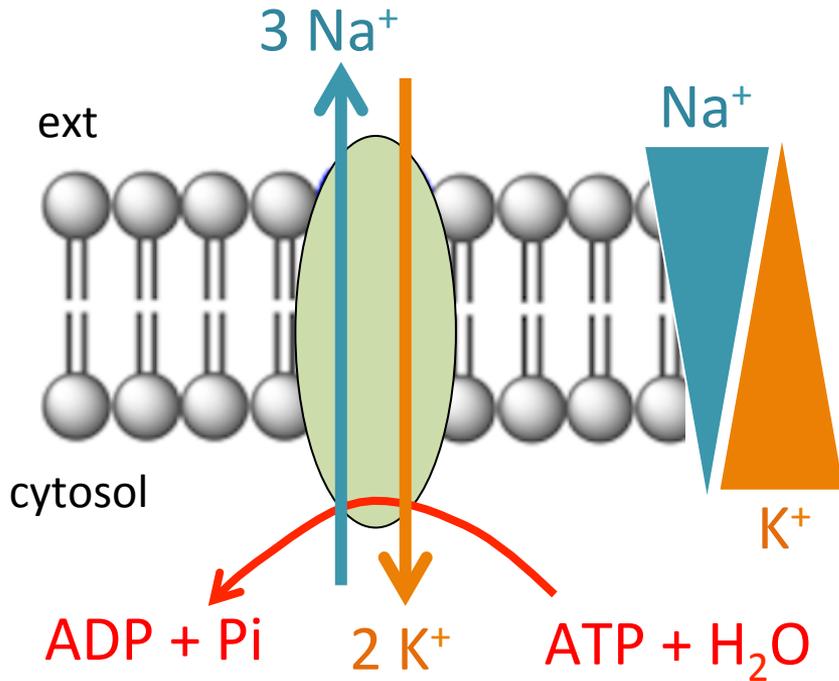


## Modèle simplifié



Y<sup>+</sup> = 2 ions K<sup>+</sup>  
 X<sup>+</sup> = 3 ions Na<sup>+</sup>

# Rôles de la pompe $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{ATPase}$



Transporteur des cellules animales

**Régulation du volume cellulaire**  
Régulation de la pression osmotique

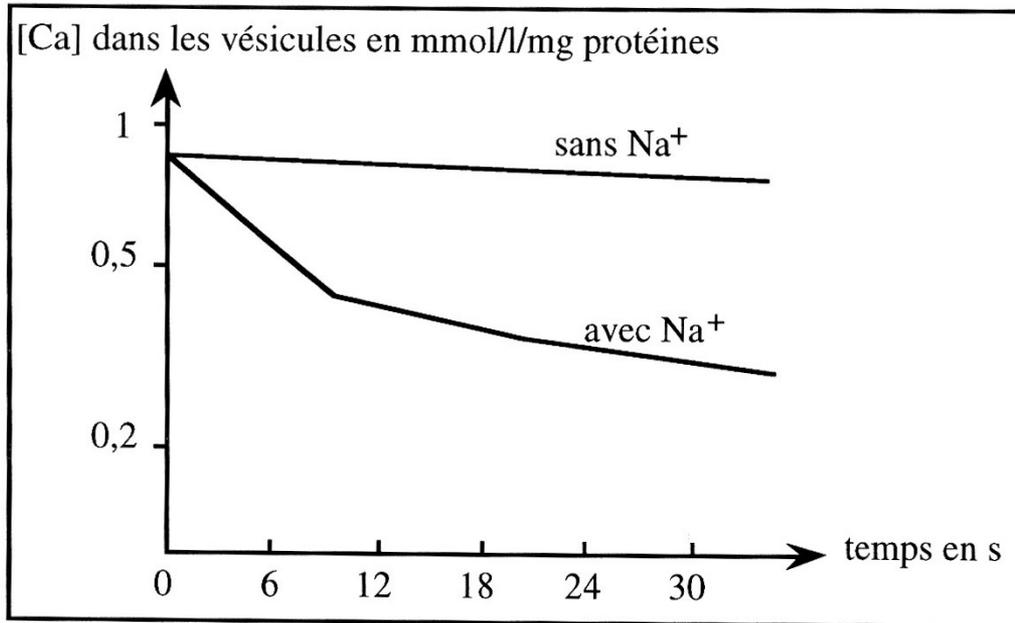
Maintien des concentrations en lien  
avec le potentiel de repos

Il s'agit d'un couplage énergétique : chimio - osmotique.

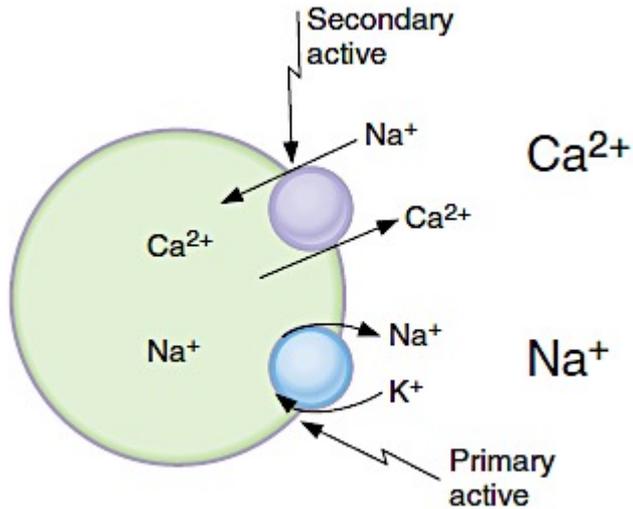
# Le cotransport : mise en évidence

## expérience

pendant 10s, on charge des vésicules issues de membranes plasmiques avec du  $^{45}\text{Ca}^{2+}$ . Dans un milieu froid contenant ou non du sodium, on mesure la quantité de calcium dans les vésicules au cours du temps.



# Interprétation



Moteur = gradient de  $\text{Na}^+$

Couplage osmo-osmotique

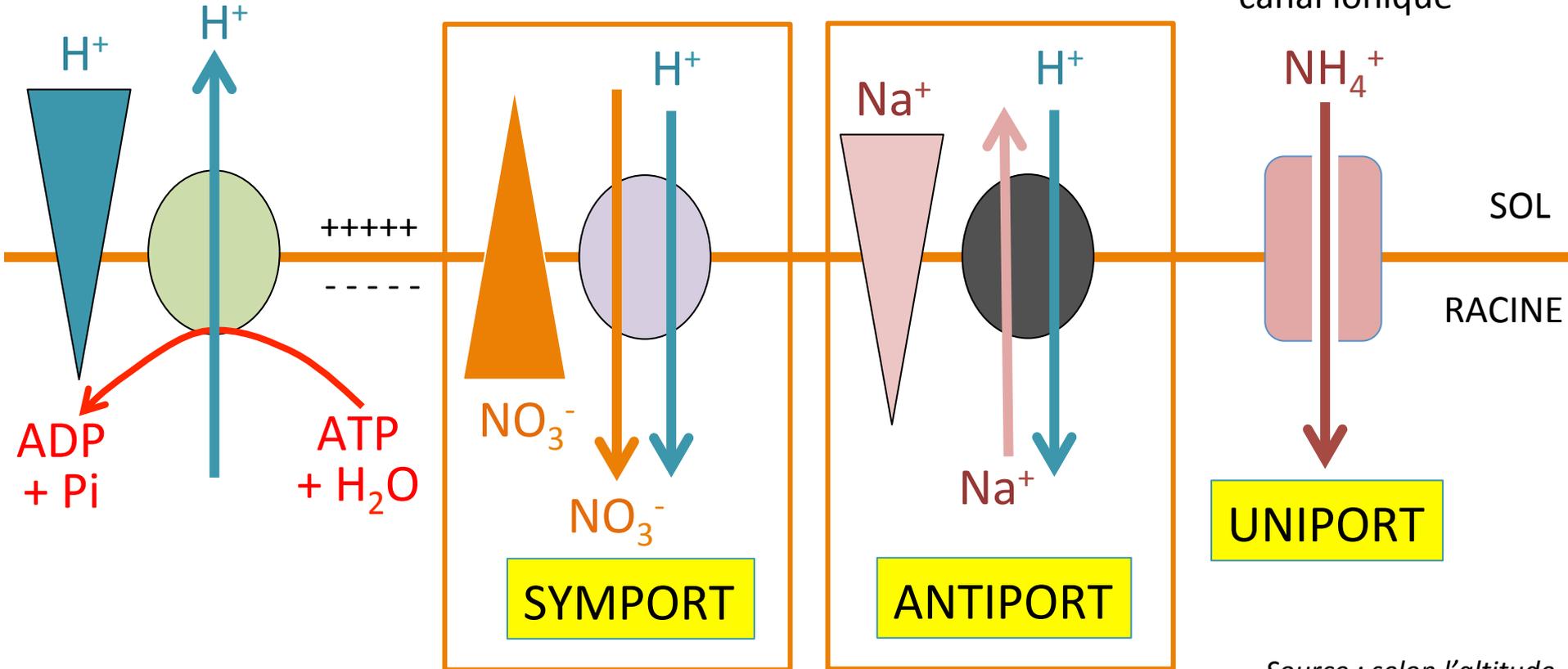
Pompe  $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{ATPase}$

Couplage chimio-osmotique

Transport actif secondaire car il dépend du transport actif primaire.  
Il s'agit d'un couplage énergétique.

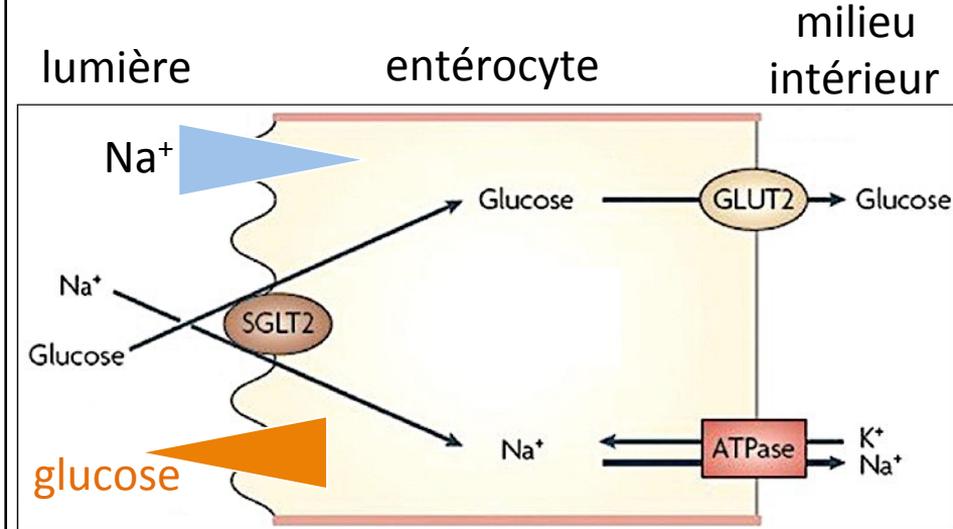
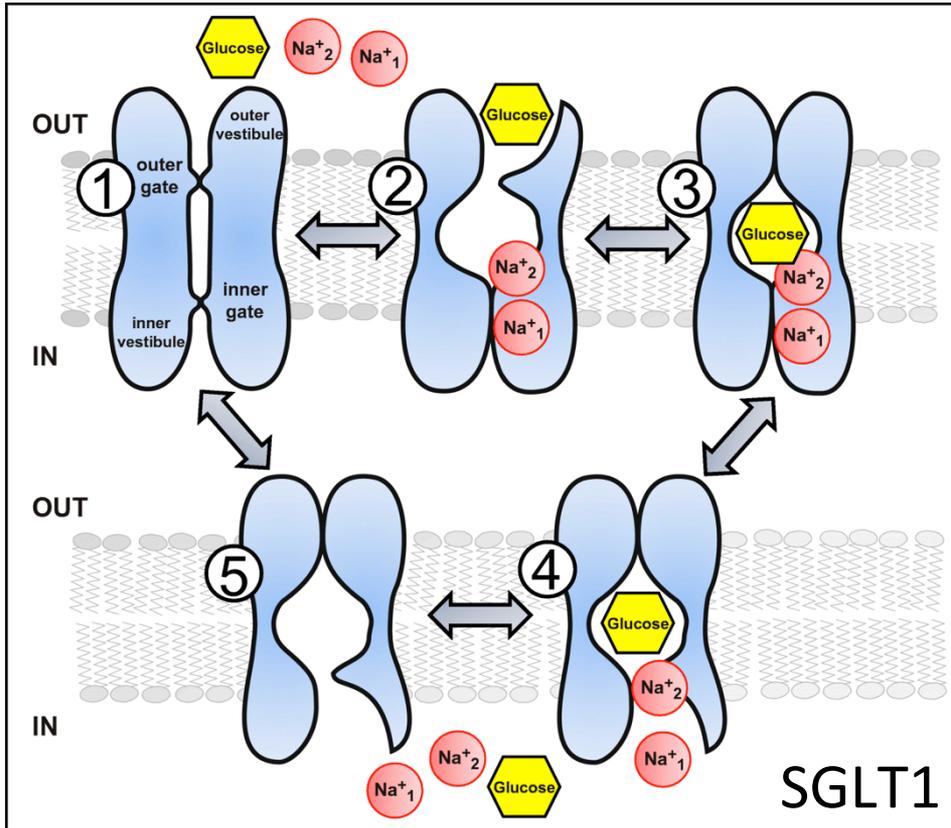
# Antiport et symport

Cas des cellules végétales



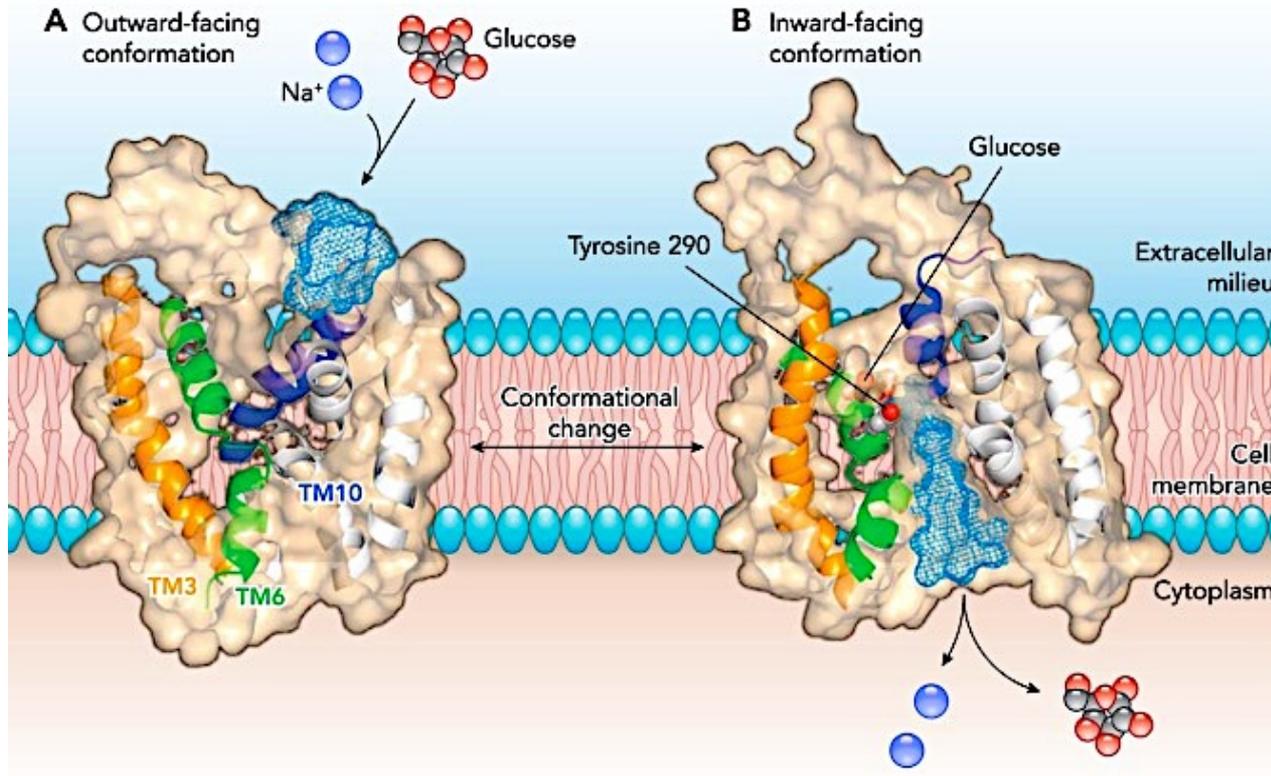
Source : selon l'altitude

# Le transporteur de glucose SGLT des entérocytes



Modèle de fonctionnement du symport Na<sup>+</sup>/glucose

# Protéine SGLT : symport $\text{Na}^+$ /glucose



# BILAN

## Transport

- passif : spontané
  - simple : à travers la bicouche lipidique
  - facilité : par l'intermédiaire d'une protéine membranaire (canal ou perméase) donc saturable
- actif : avec couplage énergétique
  - primaire = pompe, transporteur ATP dépendant
  - secondaire = co-transport en utilisant la dissipation d'un gradient

# Bilan sur le potentiel de repos

**Origine majeure = perméabilité aux ions  $K^+$**

Facteurs supplémentaires à l'origine du potentiel :

- déséquilibre des concentrations de  $Na^+$  et  $K^+$  grâce à la pompe  $Na^+/K^+/ATPase$
- excès d'anions intracellulaires fixes ( $PO_4^{3-}$ , protéines, ARN...) et phosphatidylsérine chargée – côté interne

## **Rôles :**

- Contrôle du volume des cellules animales
- Moteur des co-transports avec  $Na^+$
- Potentiel variable pour les cellules excitables (BCPST2)

# Schéma dans le cadre d'un entérocyte

À faire vous-même en faisant figurer :

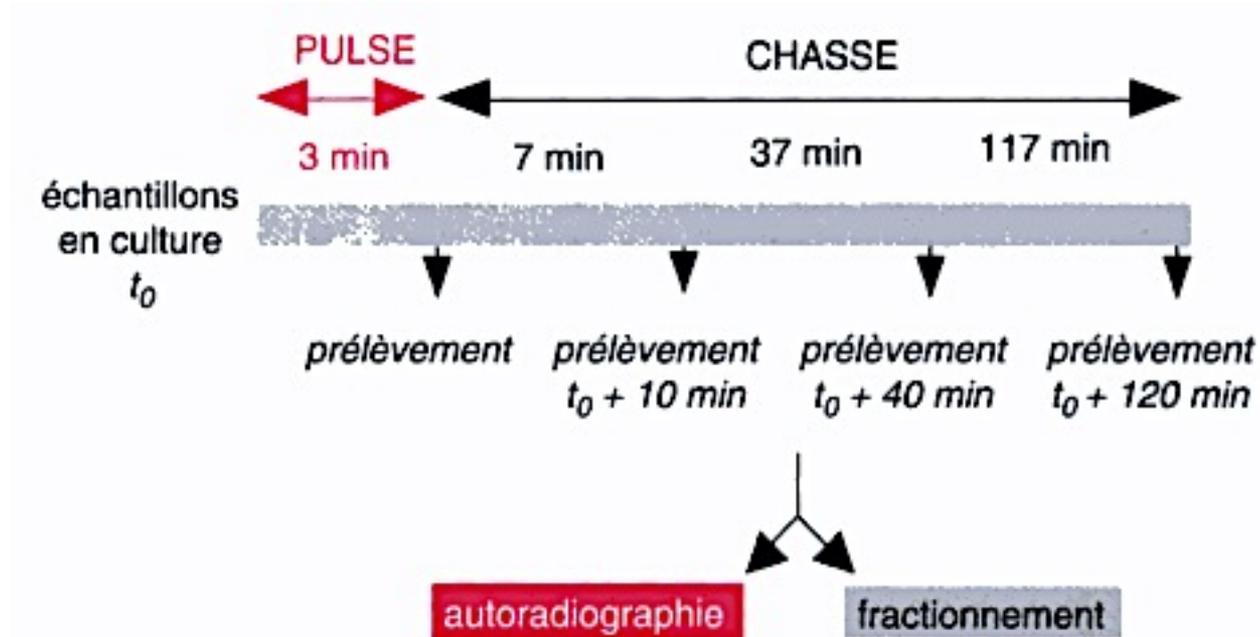
- un canal de fuite à  $K^+$
- une pompe  $Na^+/K^+/ATPase$
- une perméase à fructose
- un symport  $Na^+/glucose$  de type SGLT
- un antiport  $Na^+/Ca^{2+}$

# **3. La déformation des membranes et le transfert de matière**

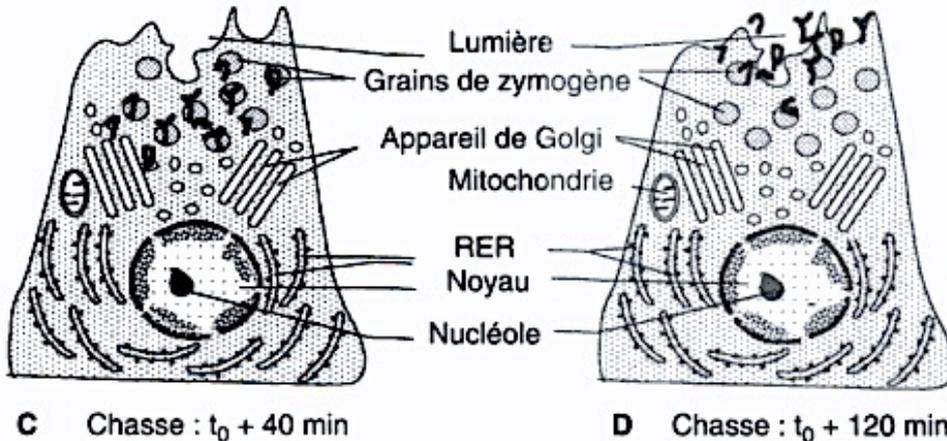
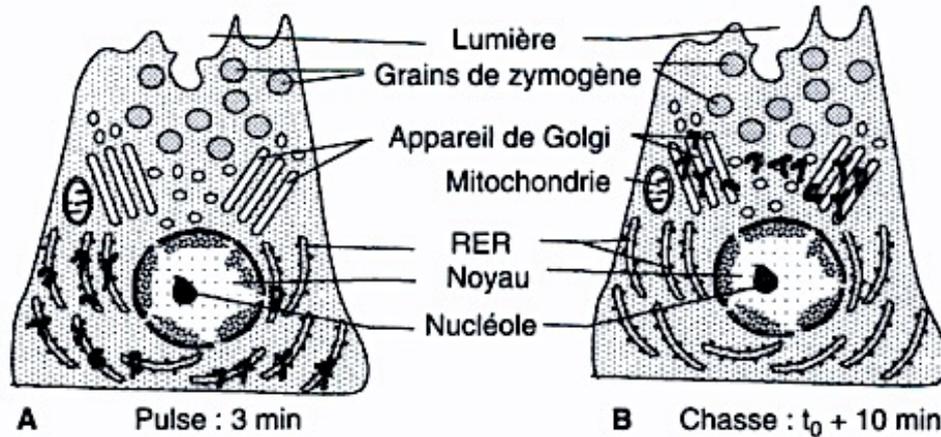
## **3.1. Des flux de membrane dans la cellule**

# L'expérience de Palade : pulse et chasse

Sur une cellule acineuse du pancréas exocrine

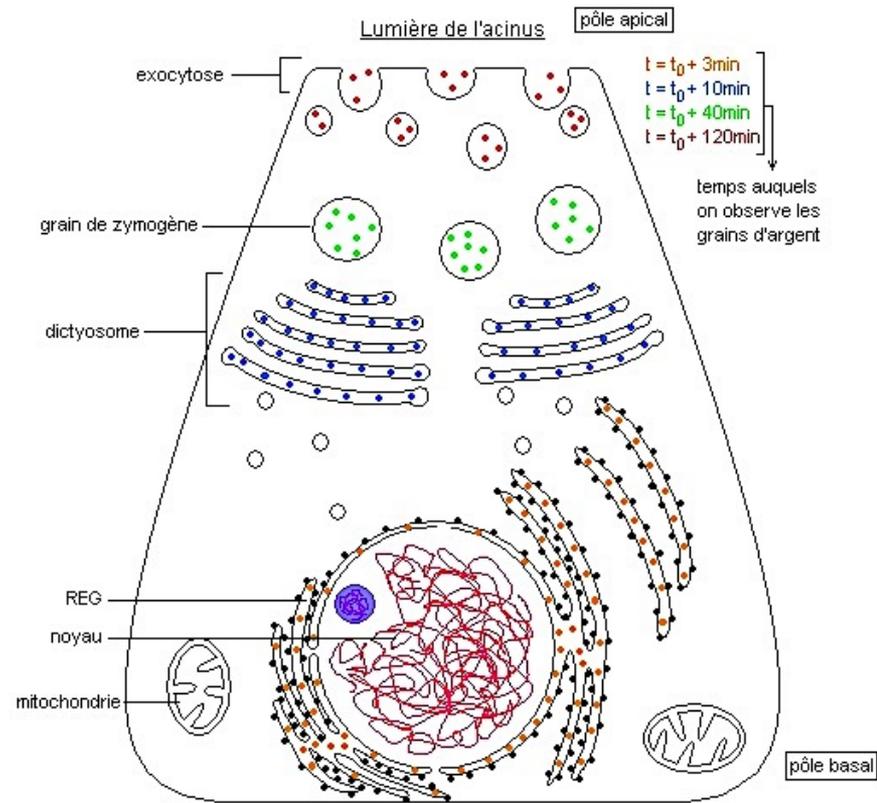
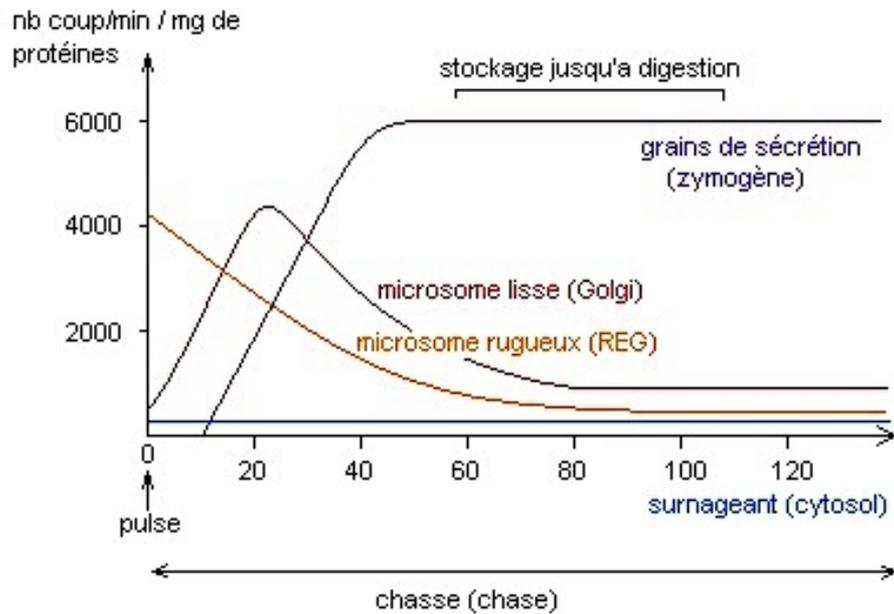


# Expérience de Palade



La radioactivité (donc les Leucines) se déplace du REG (A) vers les dictyosomes (B) puis vers les vésicules de sécrétion (C) et enfin est sécrétée (D).

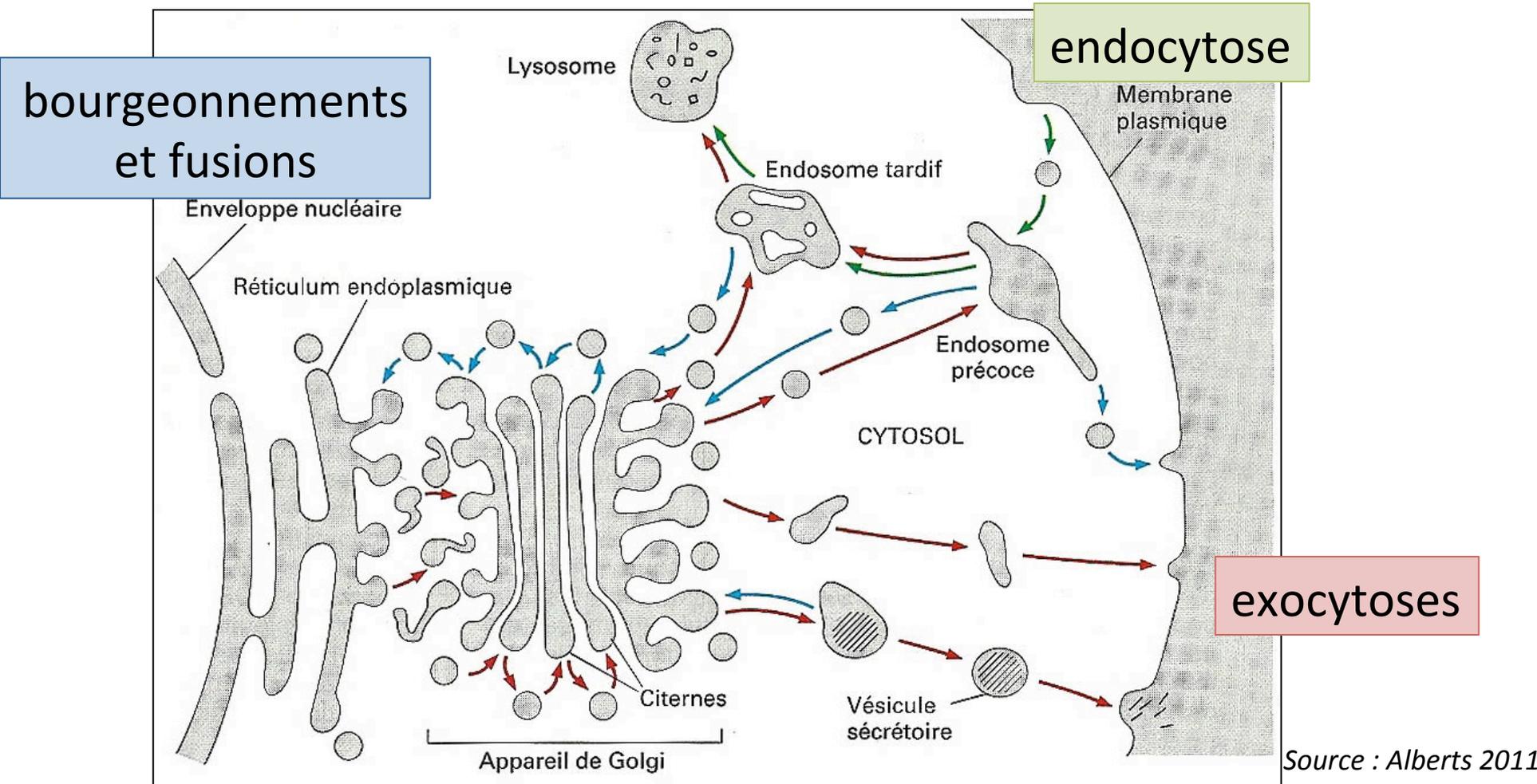
# Résultats



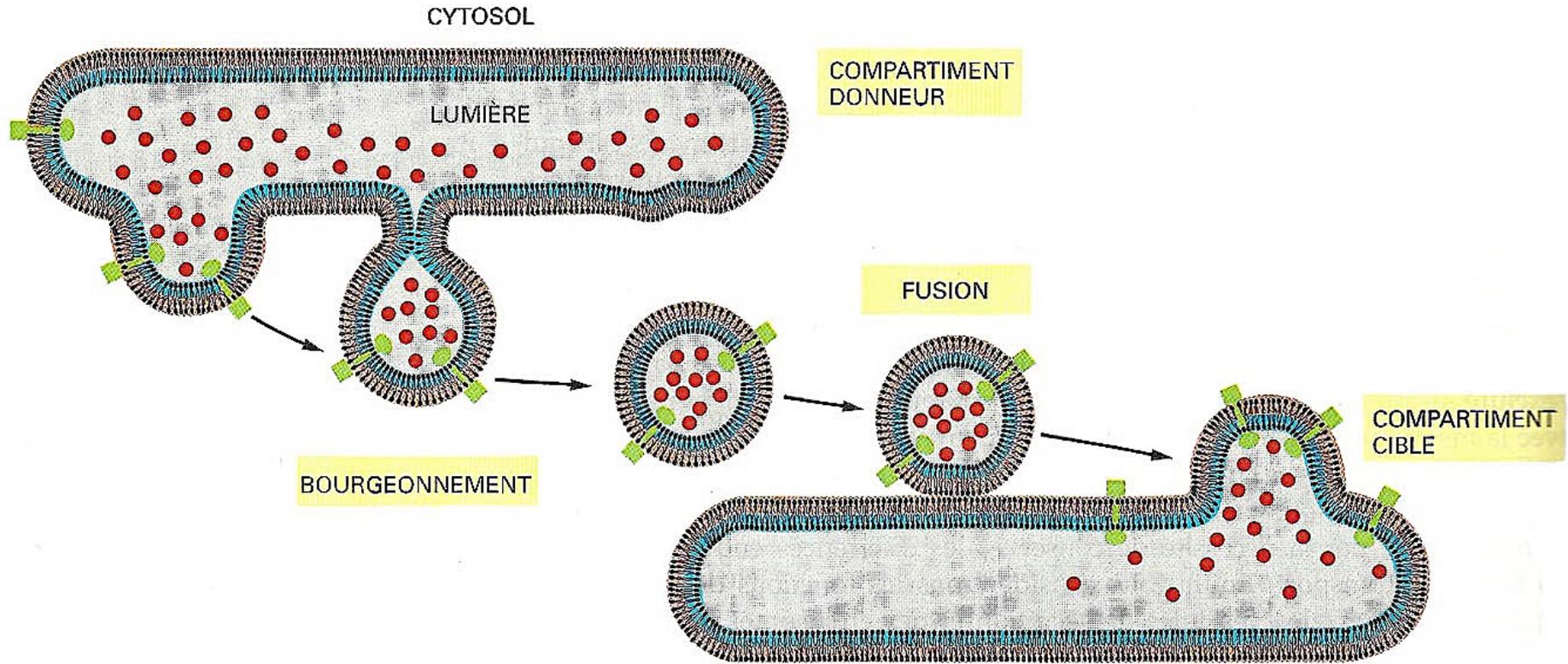
Résultats de l'expérience (schéma)

Notion de cellule polarisée

# Des flux de membrane dans la cellule



# Des bourgeonnements et fusions de membrane

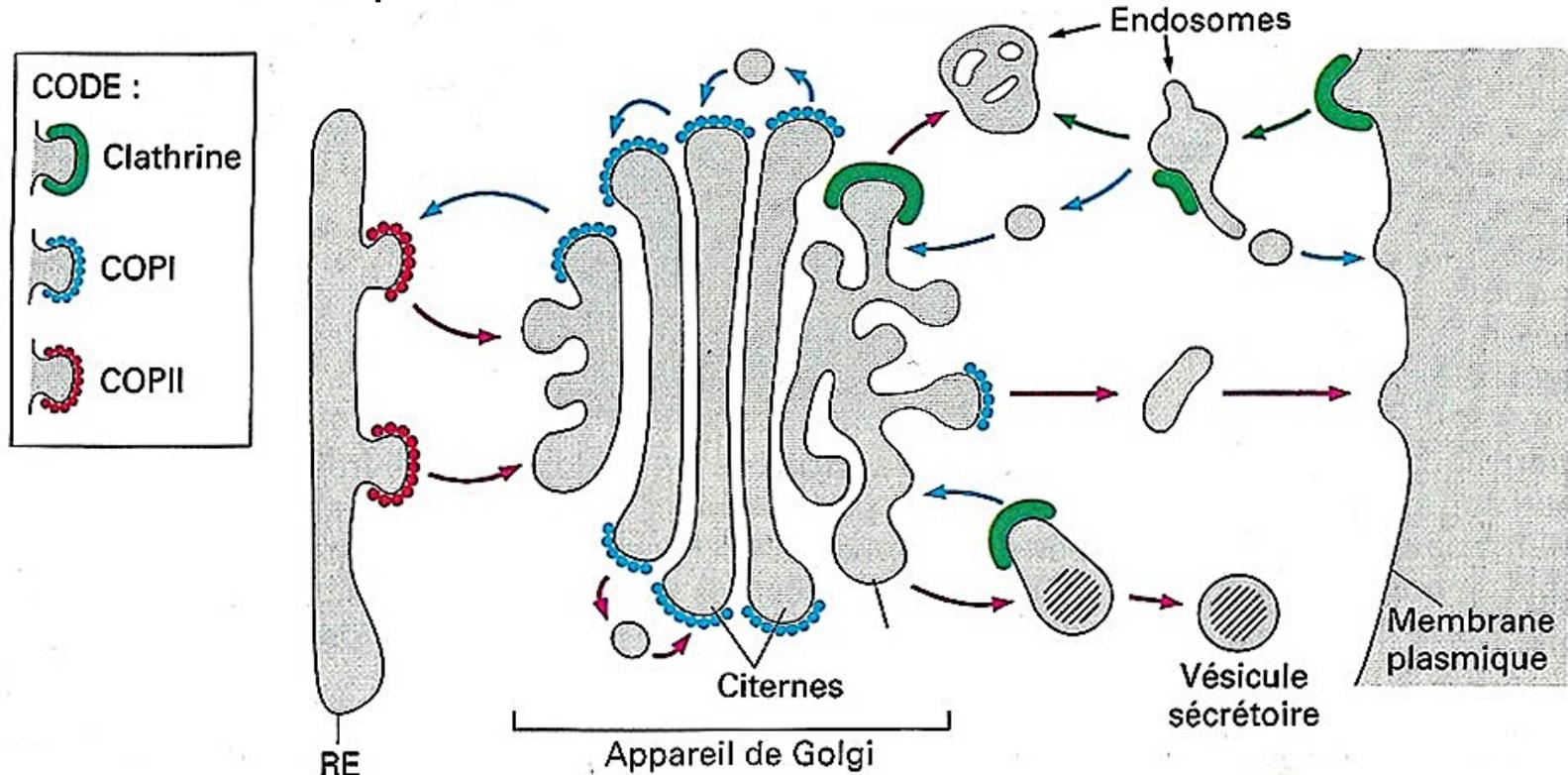


# **3. La déformation des membranes et le transfert de matière**

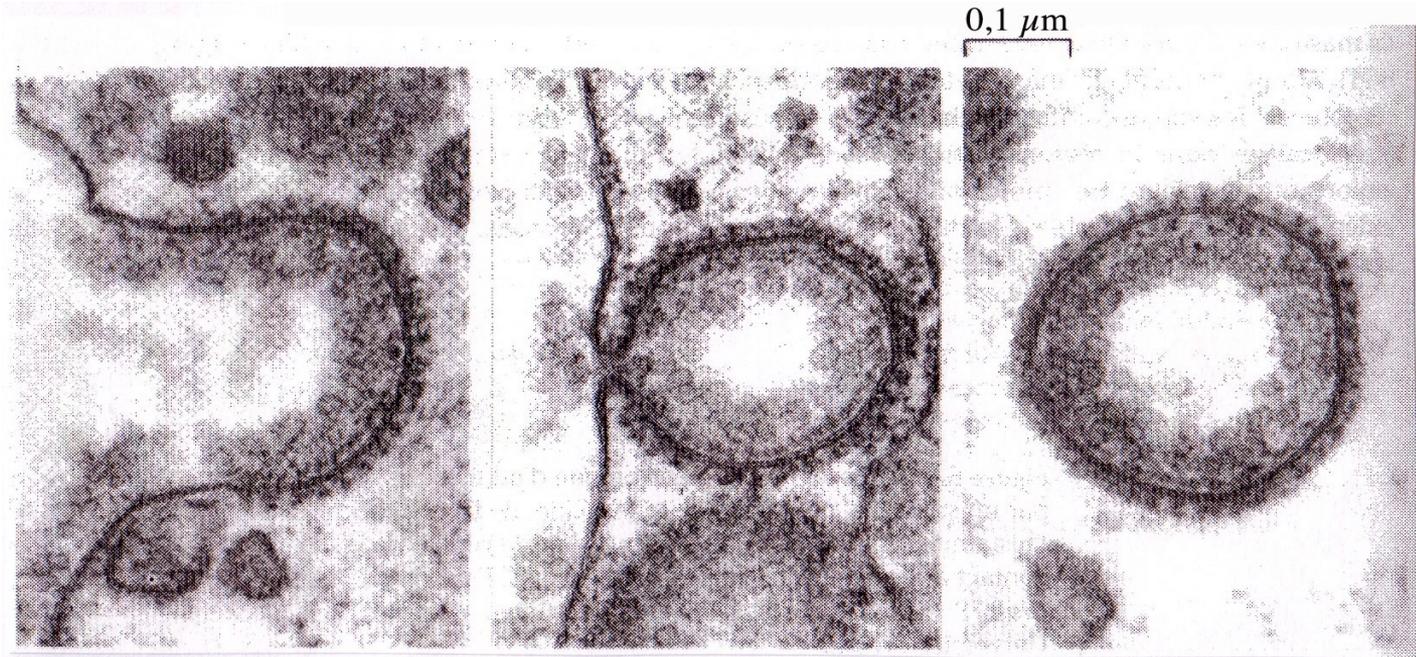
## **3.2. La formation de vésicules par endocytose et bourgeonnement**

# Formation de vésicules

La membrane se déforme sous l'effet de protéines périphériques qui s'assemblent en sphère.



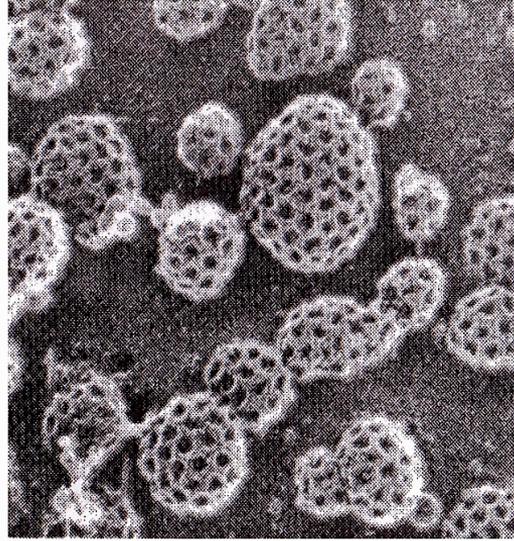
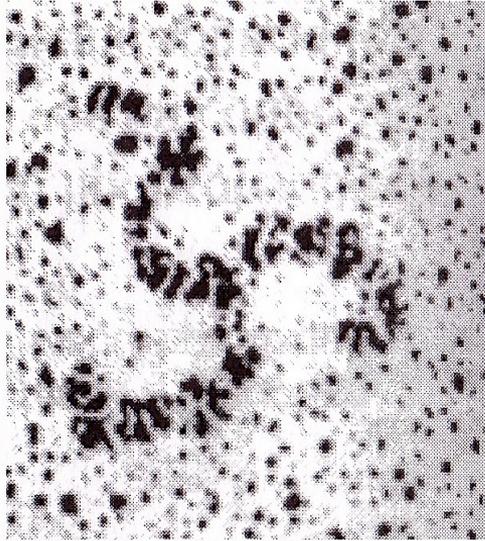
# Exemple de l'endocytose



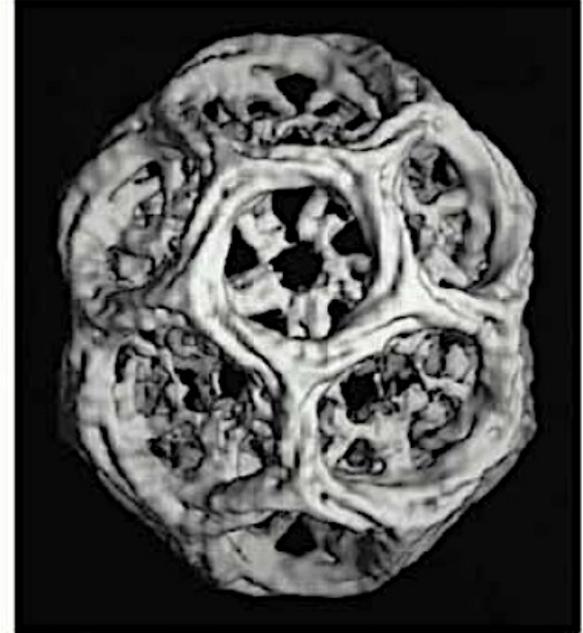
*Electronographies montrant la chronologie d'une endocytose.  
Le milieu extracellulaire se situe à gauche sur les clichés.*

# La clathrine, une protéine périphérique

Son association sphérique « force » la membrane à une déformation en vésicule.



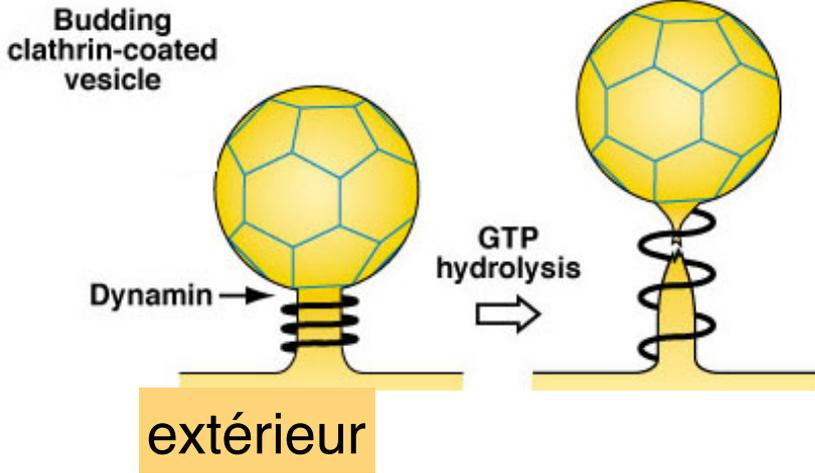
0,2  $\mu\text{m}$



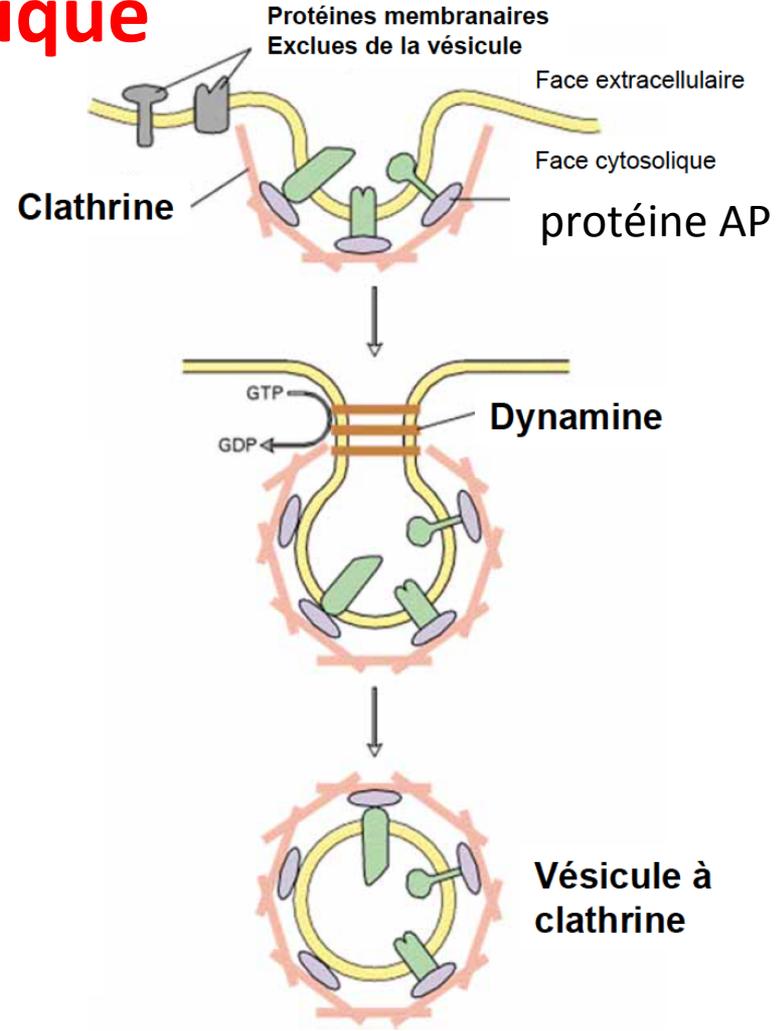
(C)

50 nm

# Une endocytose spécifique



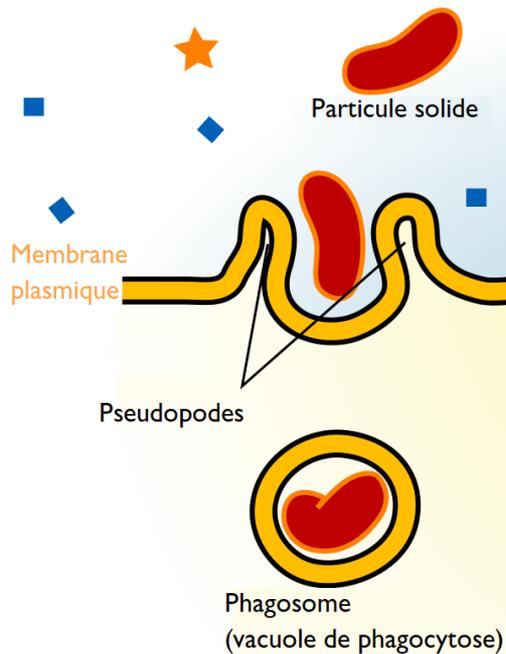
Fission membranaire par la  
dynamine + GTP



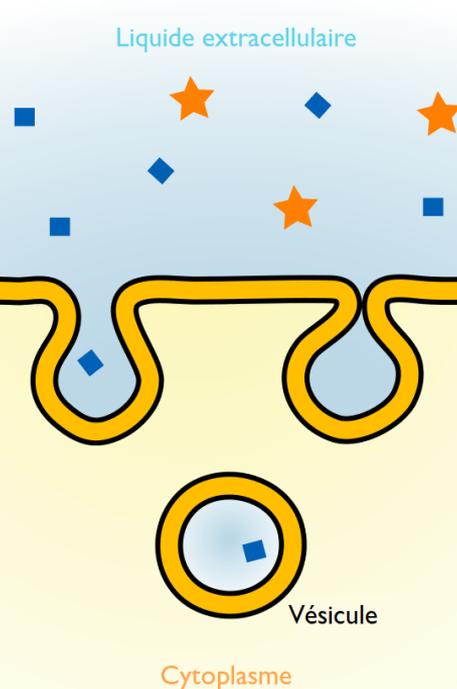
# Des cas particuliers

## Schéma de l'endocytose

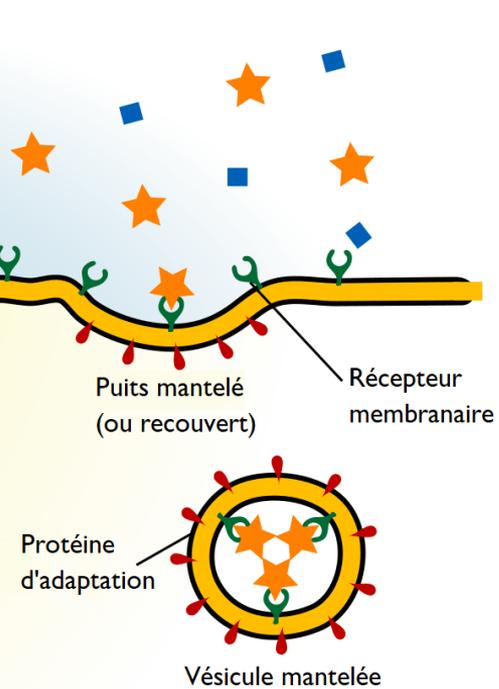
### Phagocytose



### Pinocytose



### Endocytose à récepteur



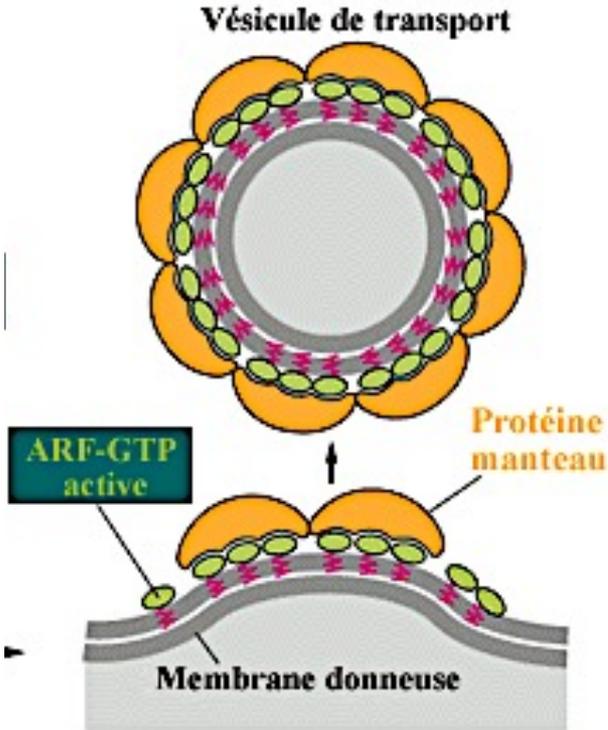
# Des cas particuliers

La pinocytose est un processus de formation de petites vésicules emplies de liquide extracellulaire : toutes les cellules la réalisent.

Exemple des anticorps du lait maternel, assimilé par l'intestin du nouveau-né par pinocytose

La phagocytose des cellules spécialisées met en jeu des expansions de cytoplasme générés par le cytosquelette et entourant la particule internalisée.

# Le bourgeonnement



**Même principe que l'endocytose**

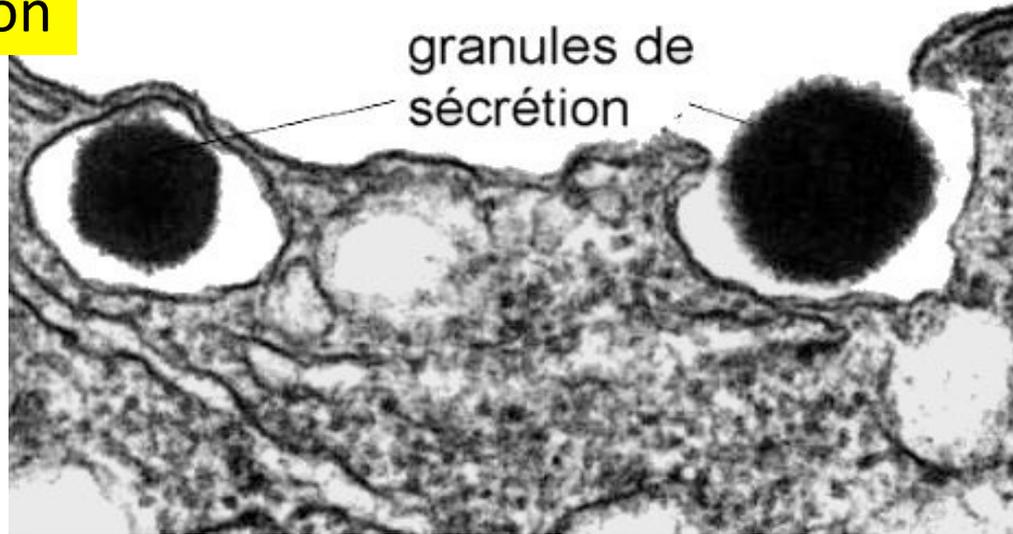
- ARF sert de protéine d'assemblage comme AP
- COP (coat-protein) = protéine manteau est l'équivalent de la clathrine

# **3. La déformation des membranes et le transfert de matière**

## **3.3. La fusion des membranes et l'exocytose**

# L'exocytose, fusion membranaire

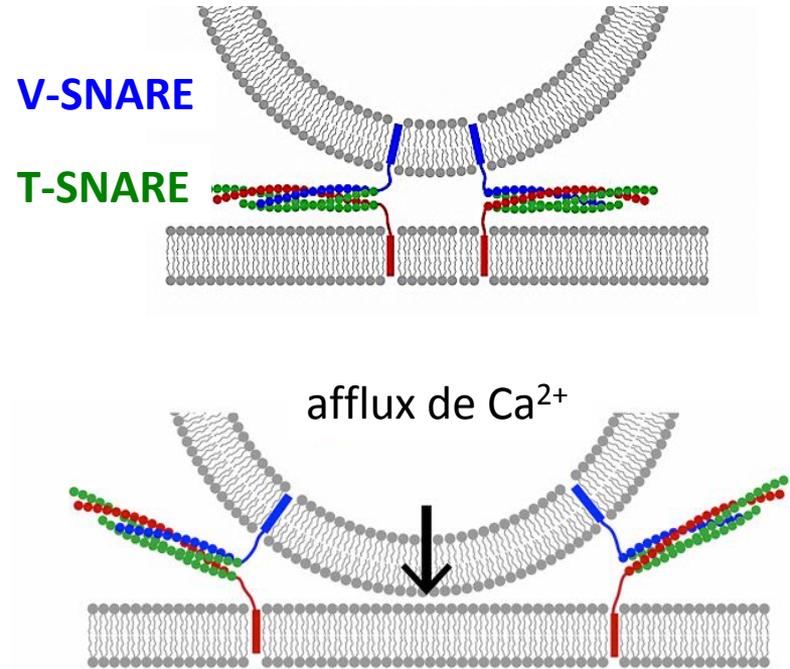
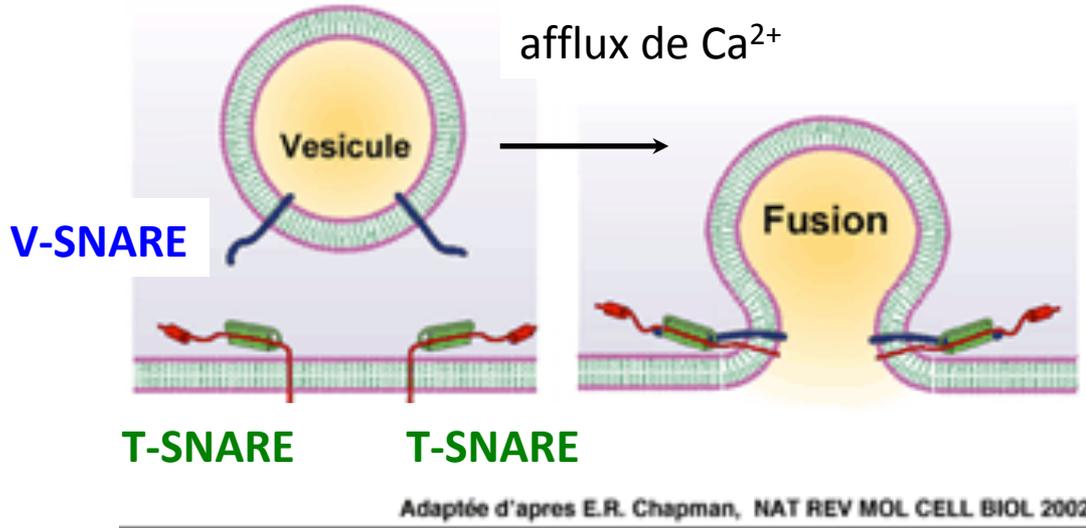
## 1) Observation



*Exocytose d'une vésicule d'insuline par une cellule de Langerhans (pancréas)*

2) Mise en évidence de protéines SNARE : deux liposomes possédant des protéines SNARE fusionnent en présence de  $\text{Ca}^{2+}$ .

# Un arrimage et une fusion forcée par $\text{Ca}^{2+}$

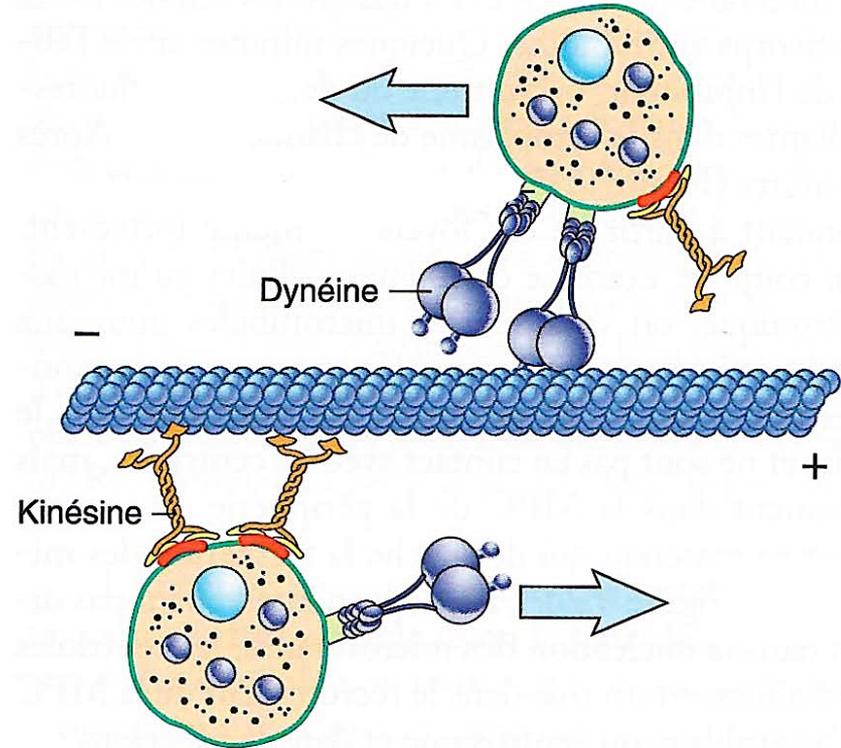
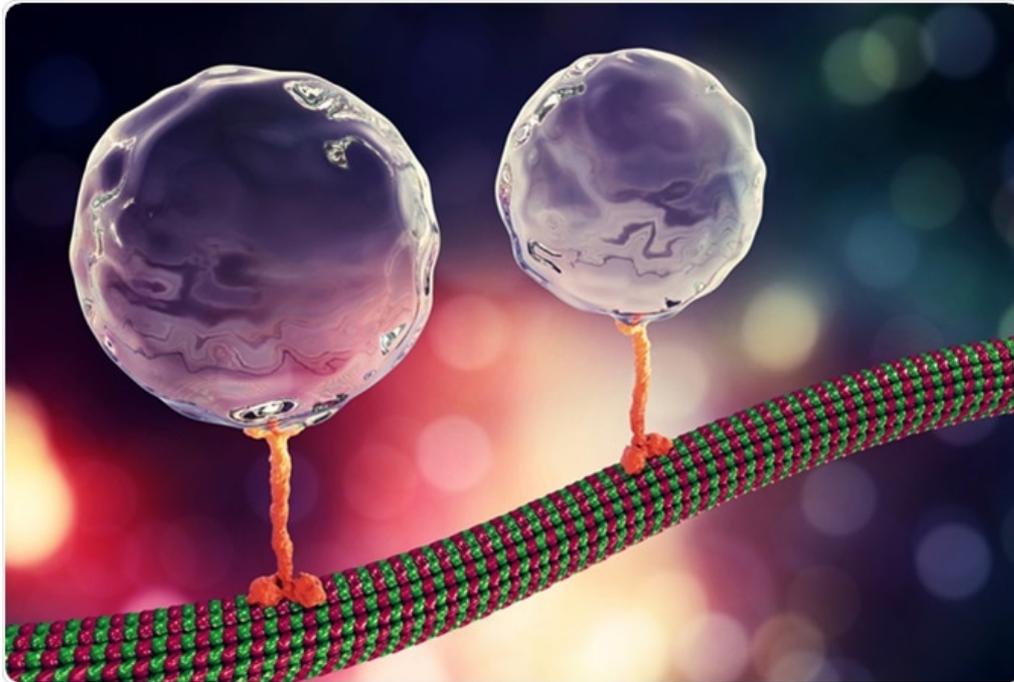


Exocytose constitutive ou régulée (signal augmentant le taux de  $\text{Ca}^{2+}$ )

# **3. La déformation des membranes et le transfert de matière**

## **3.4. Le déplacement des vésicules**

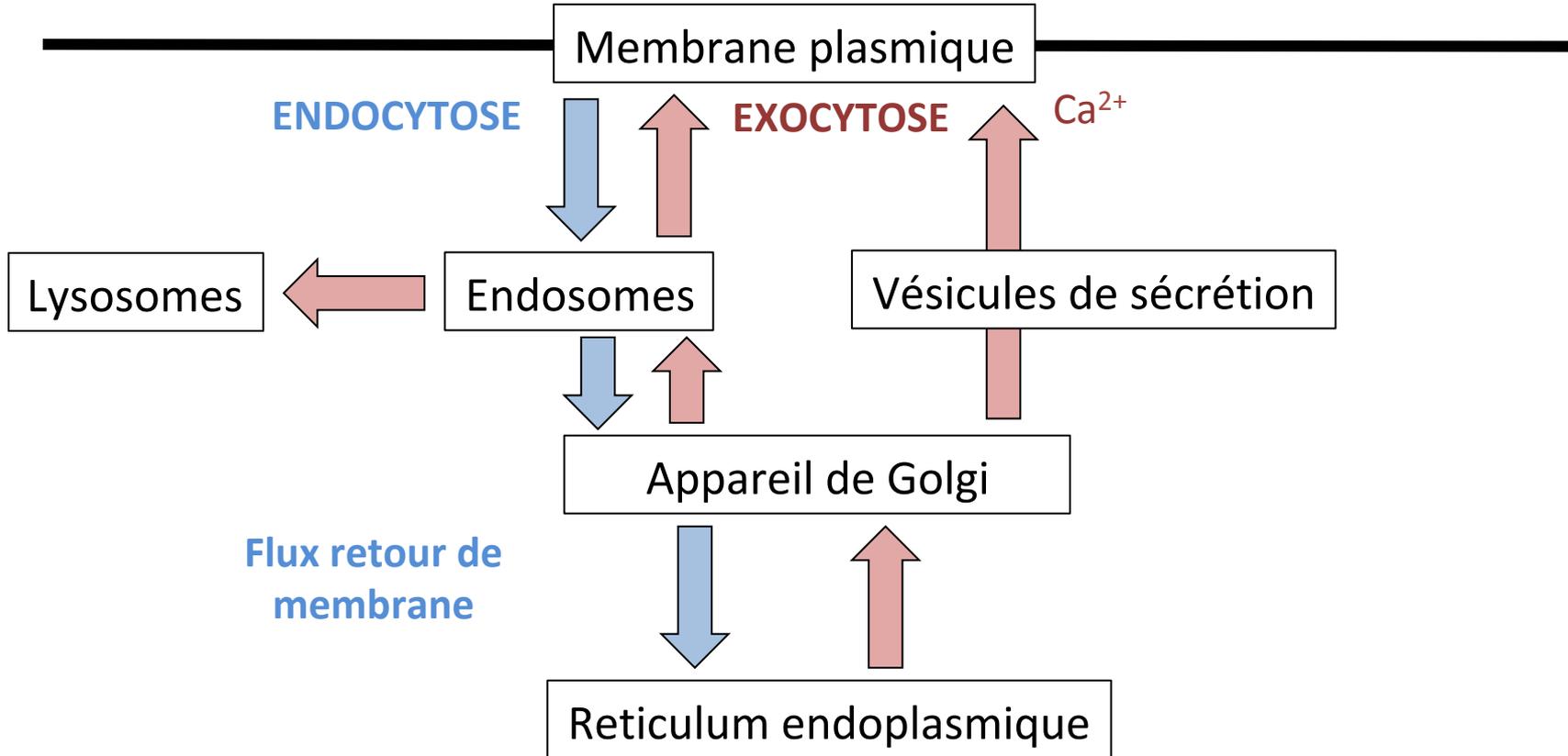
# Le déplacement des vésicules



Kinésine : déplacement de - vers +  
Dyneïne : déplacement de + vers -

# BILAN : flux membranaire

Flux de membrane au sein de la cellule



# Bilan

## Membranes **souples, fluides** et **déformables**

Regroupement de récepteurs ayant lié des particules internalisables grâce à la **fluidité membranaire**.

**Déformation** de la membrane provoquée par des protéines extrinsèques qui s'assemblent en structures sphériques.

**Fusion de membranes** grâce à des protéines membranaires complémentaires.

# CONCLUSION

La membrane est une interface dynamique entre deux espaces.

Perméabilité membranaire : transfert de molécules et ions de petite taille à travers la membrane.

Déformation membranaire pour les particules de grandes tailles (protéines, complexes, virus...).

Ne pas oublier les plasmodesmes et jonctions gap...