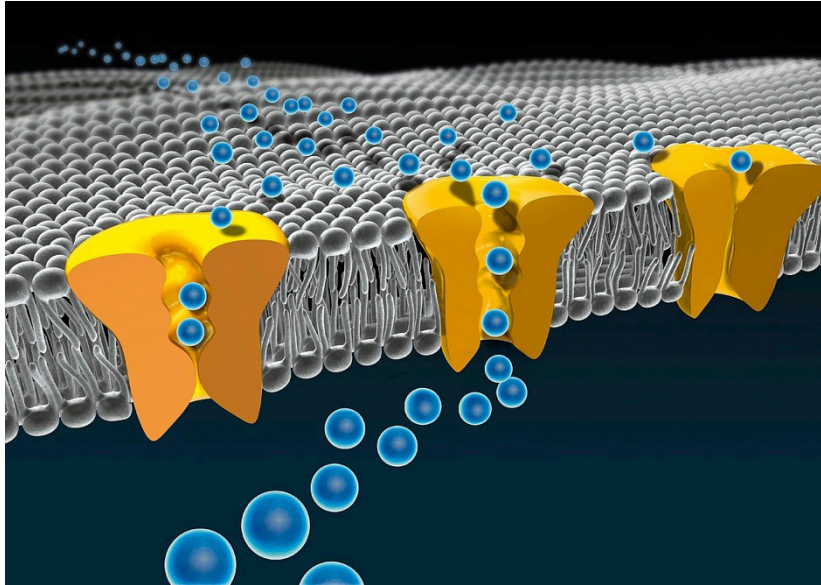


SV-C – La cellule dans son environnement

Chapitre 2 – Membranes et échanges membranaires



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

Barrière étanche ?

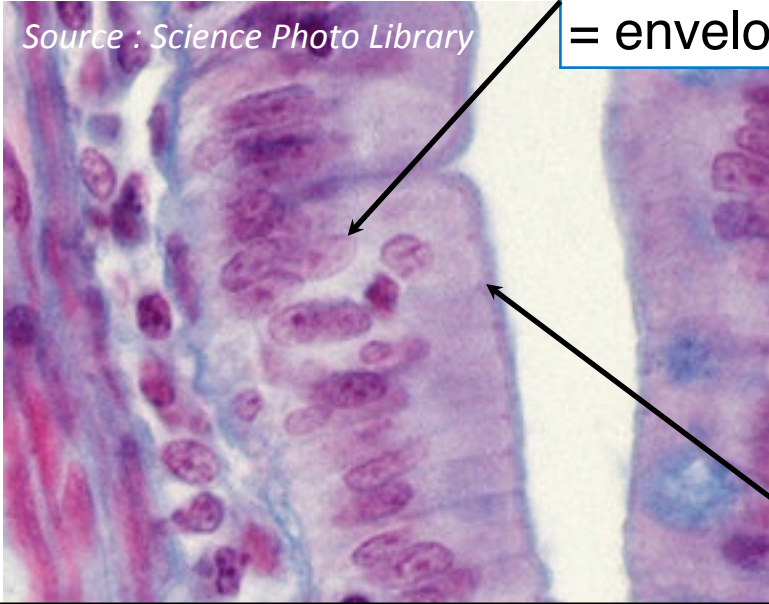
Relation entre l'extérieur (matrice, milieu externe) et l'intérieur (cytosol, cytosquelette)

1. La membrane, une bicouche mosaïque et fluide

1.1. L'organisation des membranes : des mosaïques

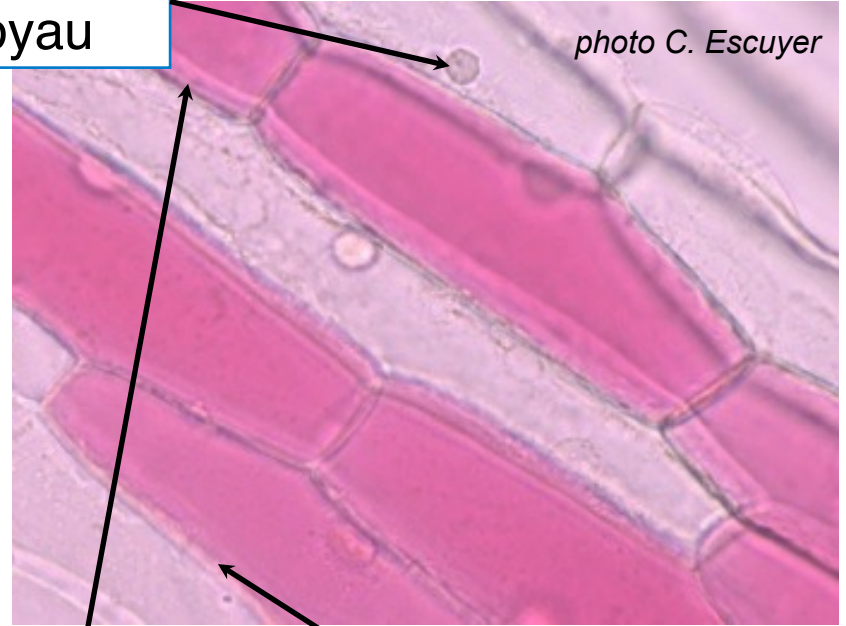
Les membranes des cellules eucaryotes au MP

Source : Science Photo Library



double membrane
= enveloppe du noyau

photo C. Escuyer



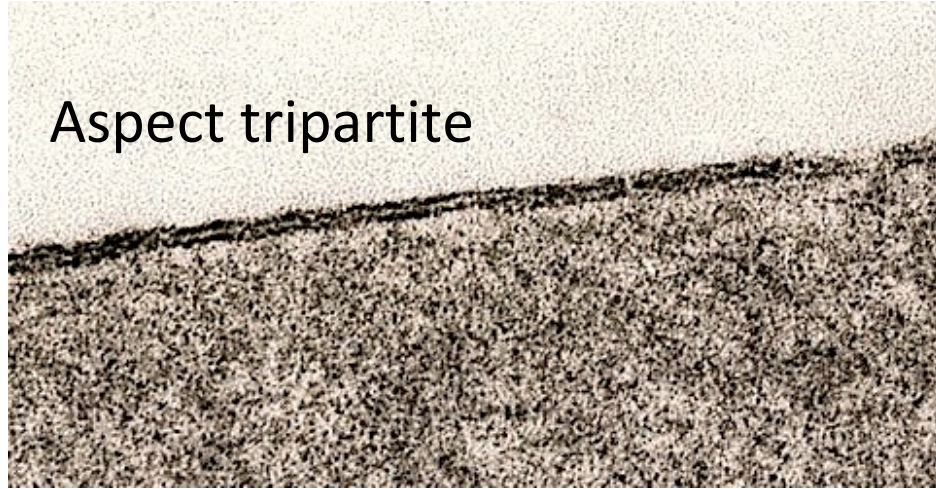
x 40

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.

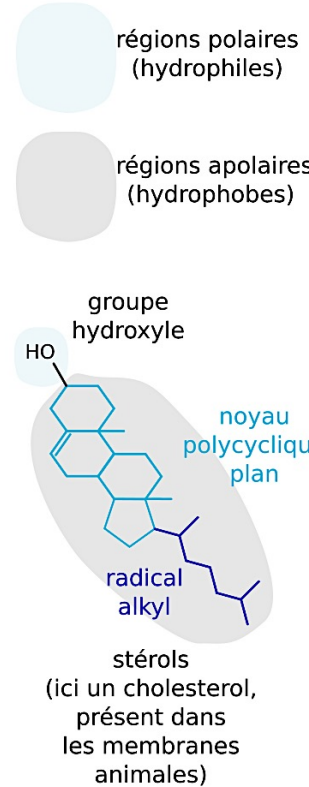
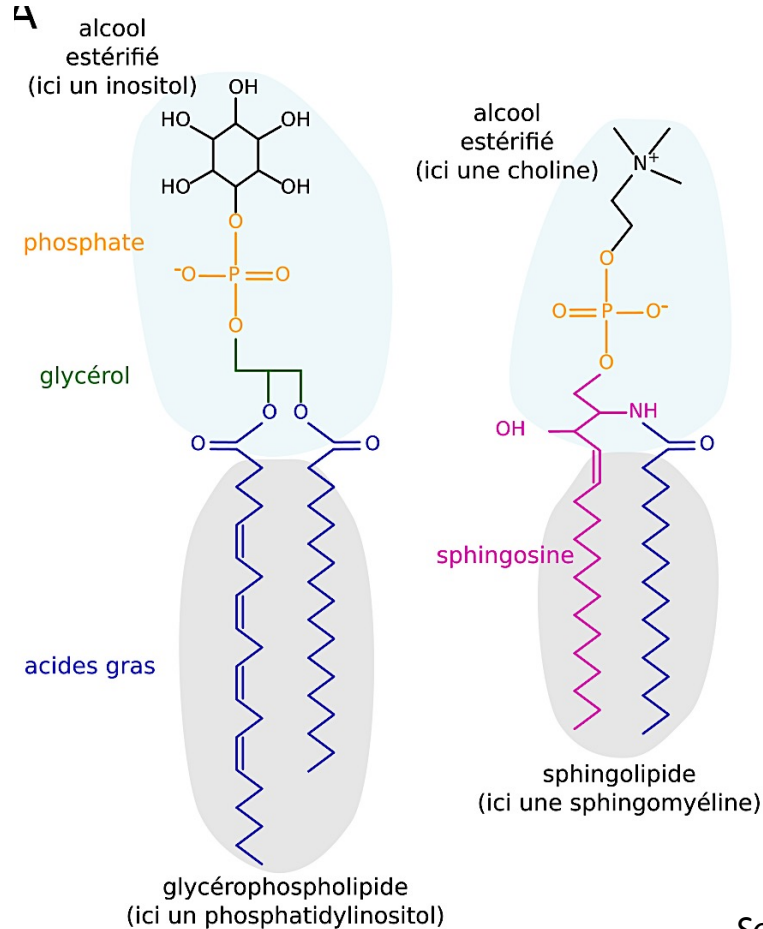
Variations

- 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

5.10^6 par μm^2 de bicouche dont :

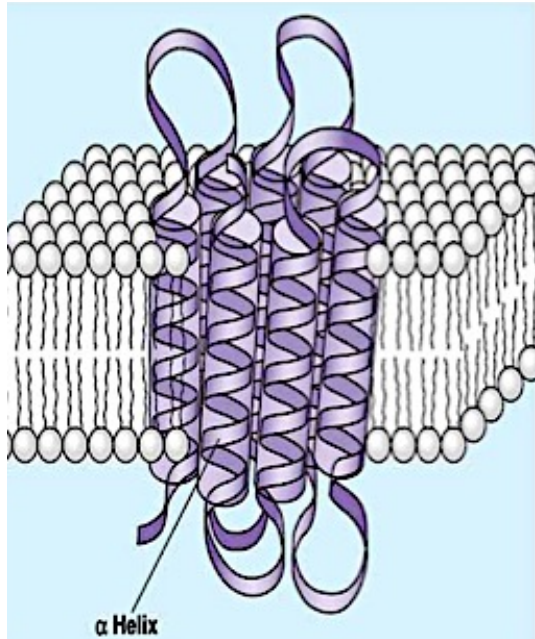
- 50 % de phospholipides
- 25 % de cholestérol
- 20 % de sphingolipides
- 5 % autres (glycolipides, prostanglandines)



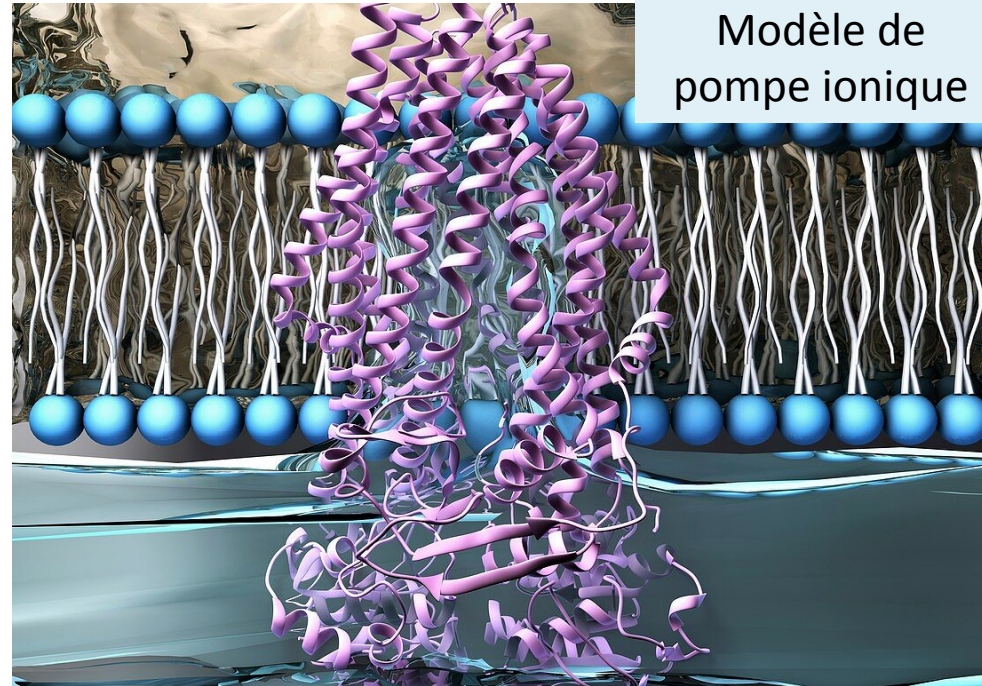
Des protéines intrinsèques intégrées

uniquement détachées de la membrane par l'ajout de détergent

Hélice de pas 0,54 nm : combien de tours ? Combien d'acides aminés ?



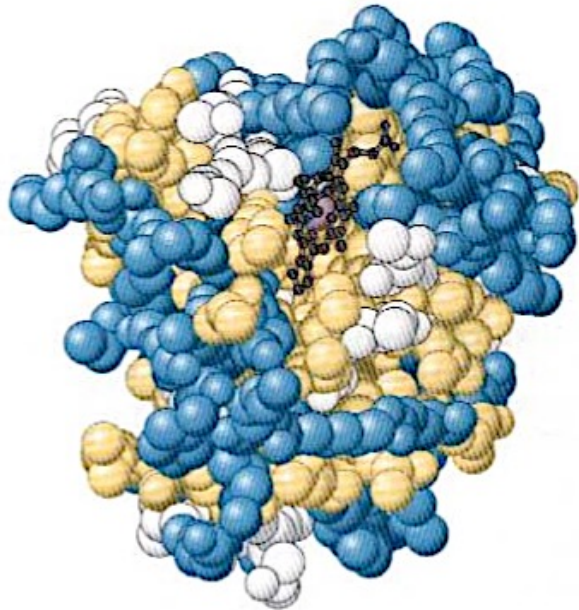
Source : Pearson Education



Source : Ella Maru Studio, Science Photo Library

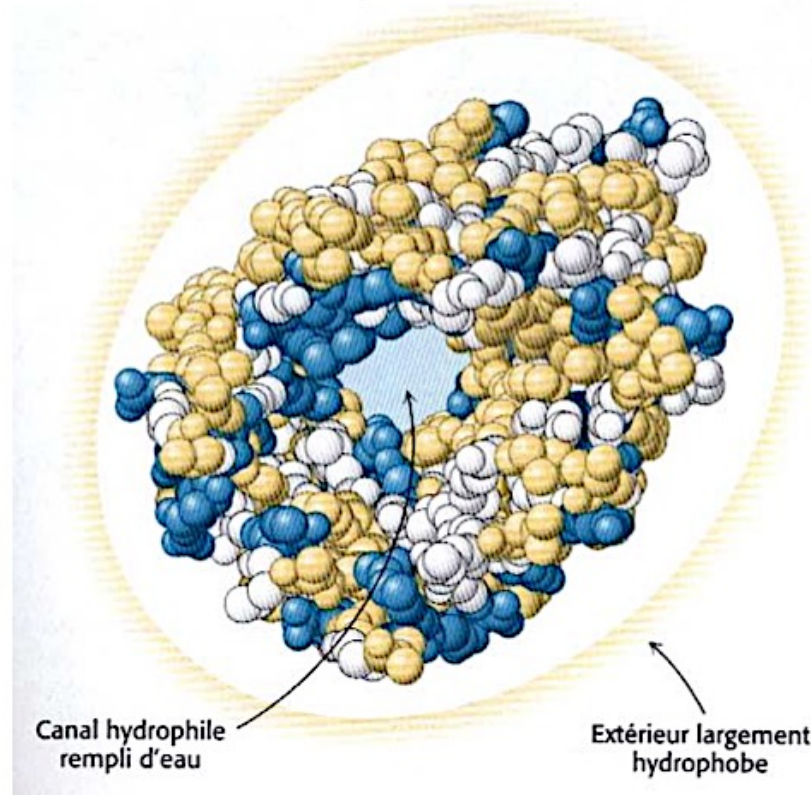
Les aquaporines

myoglobine



aa chargés
aa hydrophobes

porine



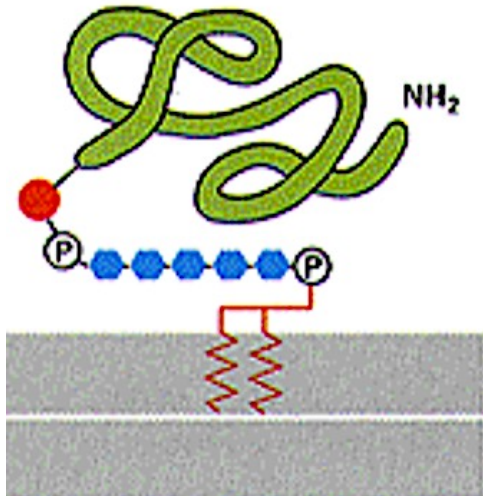
Source : Céline Raguénès-Nicol

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)

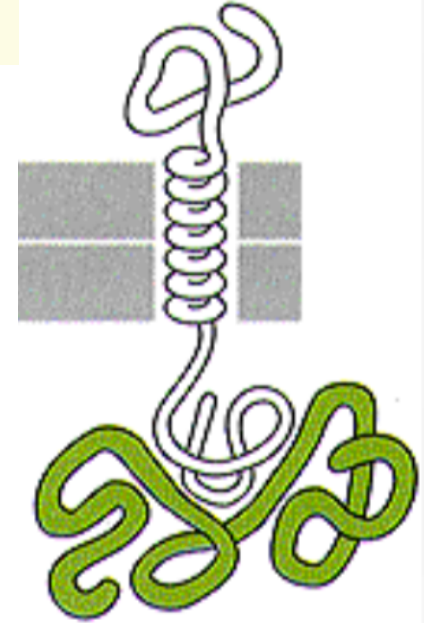


Les protéines extrinsèques = périphériques

liées de façon non covalente

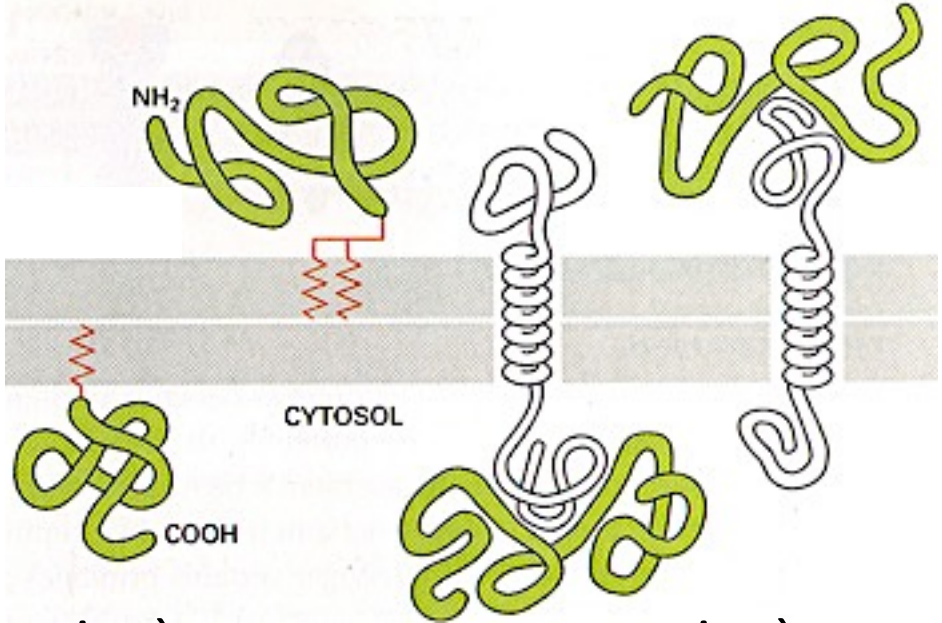
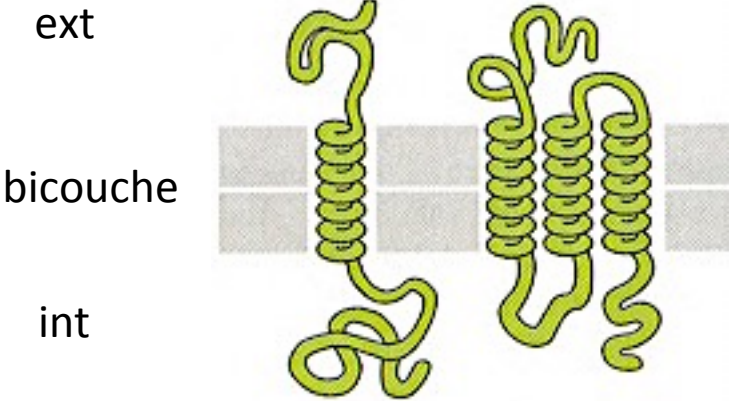


liées par interactions ioniques
(ex : annexine)



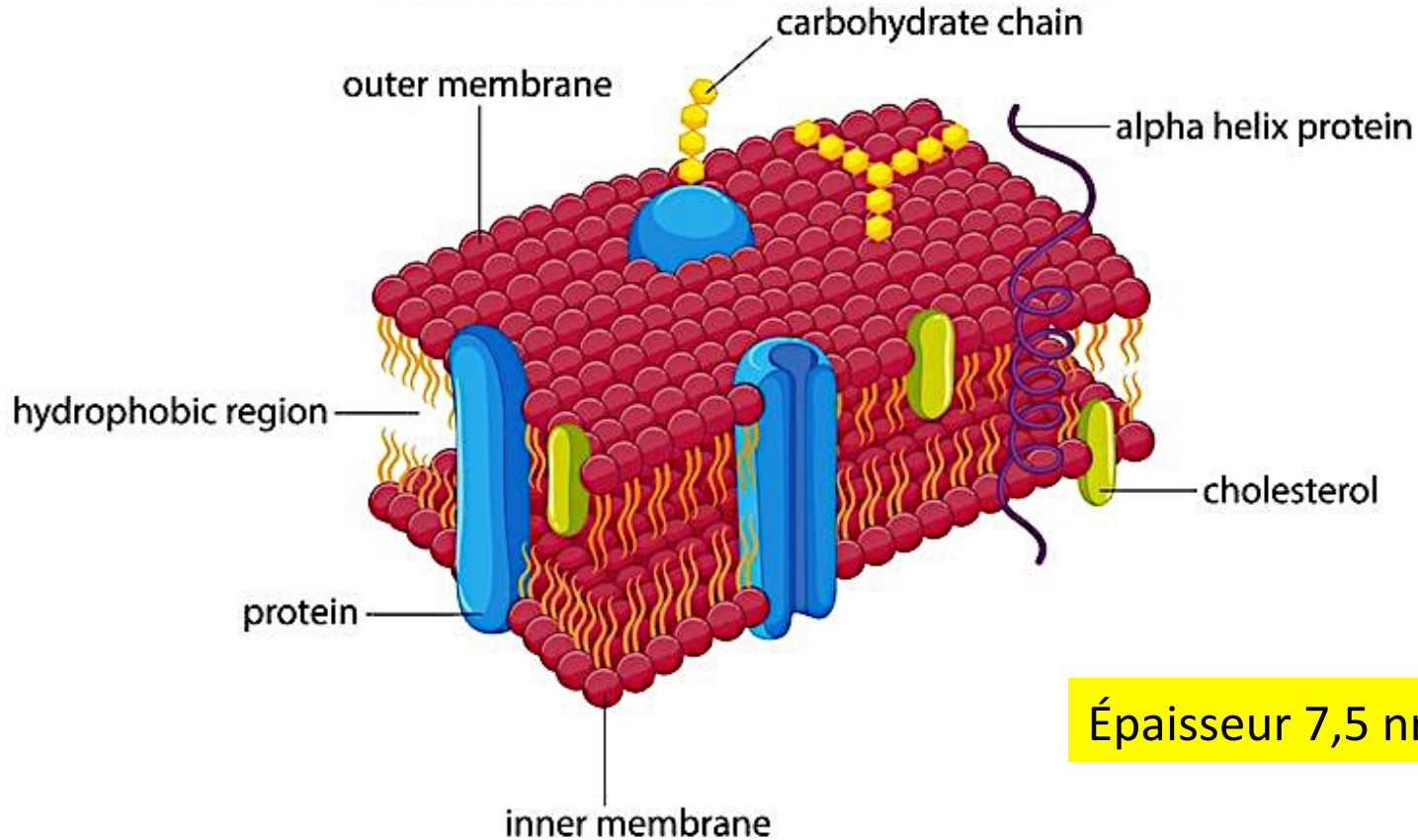
liaisons faibles avec une
protéine intrinsèque

BILAN



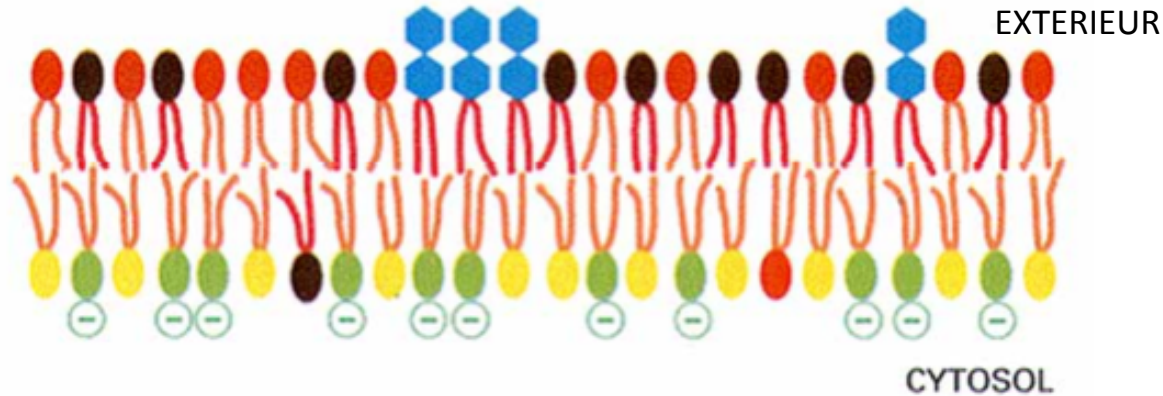
Source : Alberts

Le modèle de Singer Nicolson



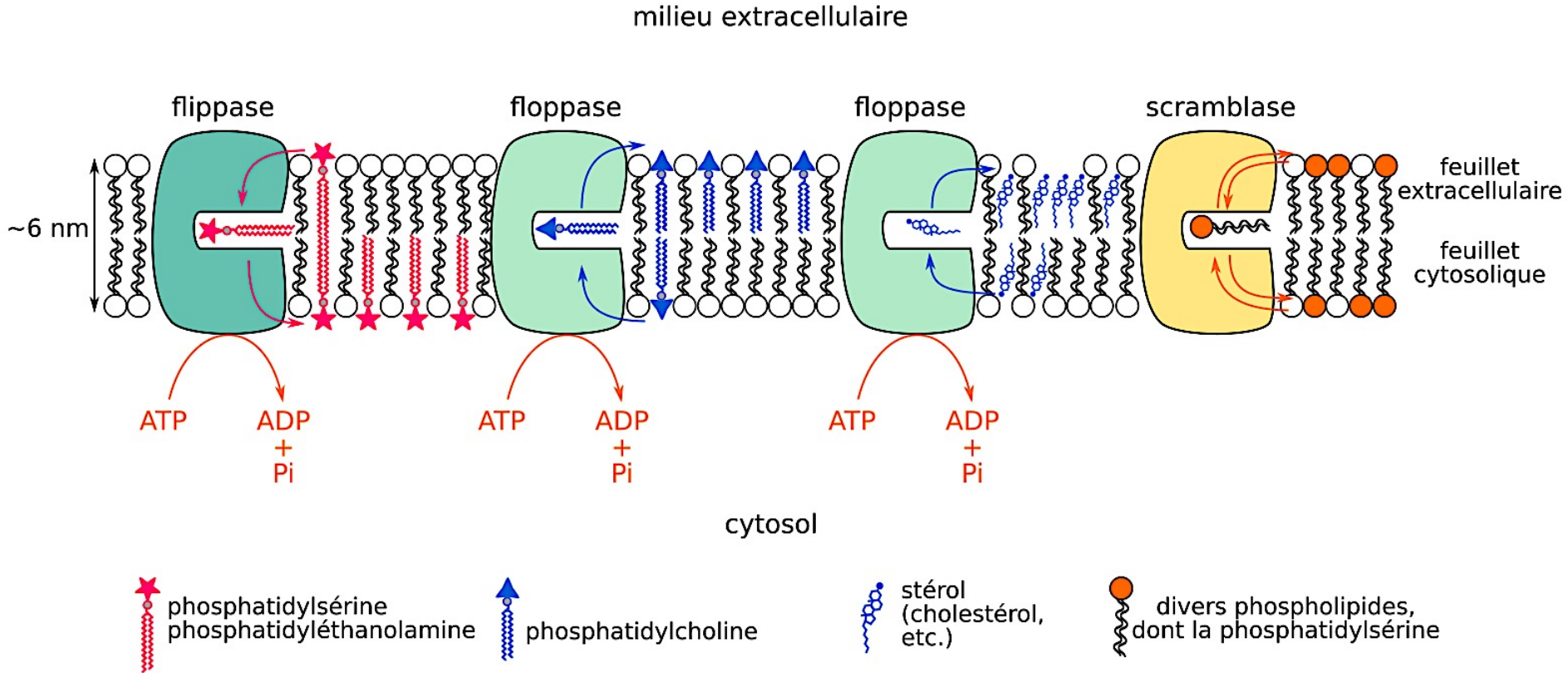
Une membrane asymétrique

Des lipides disposés dans les deux héli-membranes



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

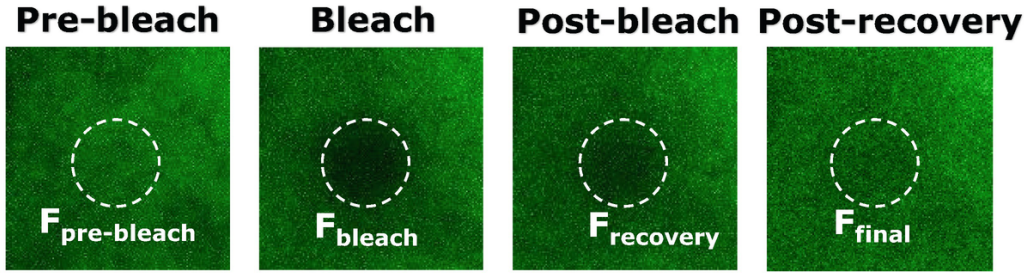
Une asymétrie contrôlée par des enzymes



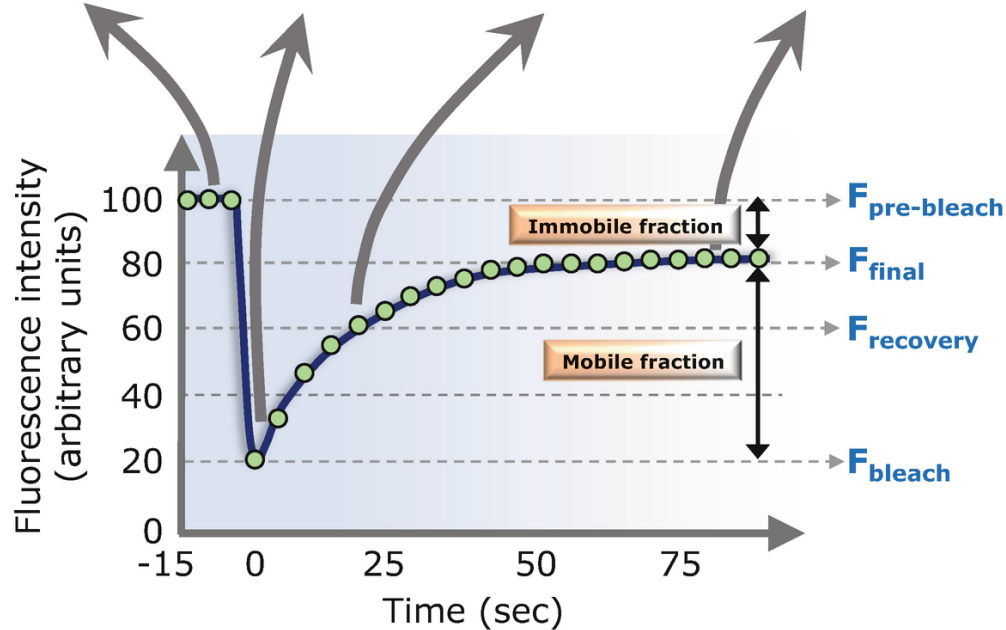
1. La membrane, une bicouche mosaïque et fluide

1.2. La fluidité membranaire

La fluidité membranaire : approche expérimentale



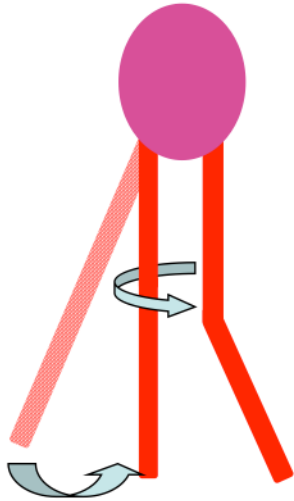
FRAP : Fluorescence Recovery After Photobleaching



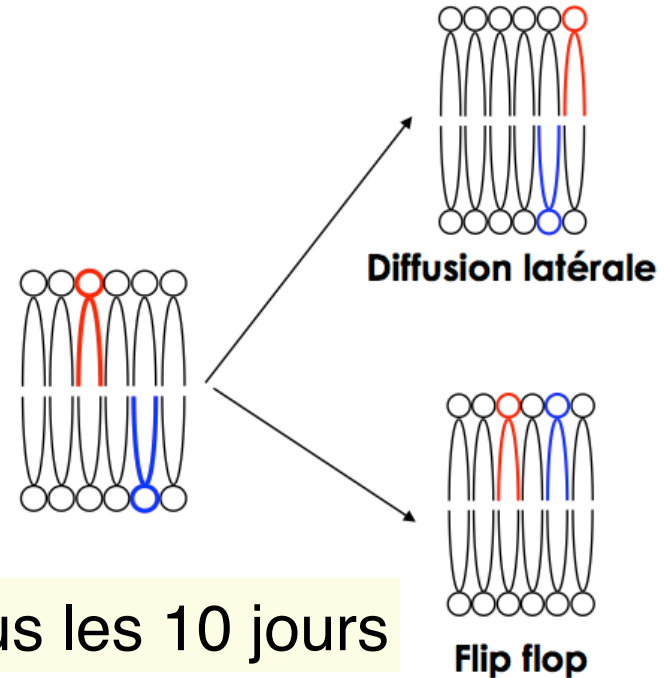
Les mouvements dans la membrane

Des mouvements permanents dus à l'agitation moléculaire

Mouvements locaux (10^{11} /sec)

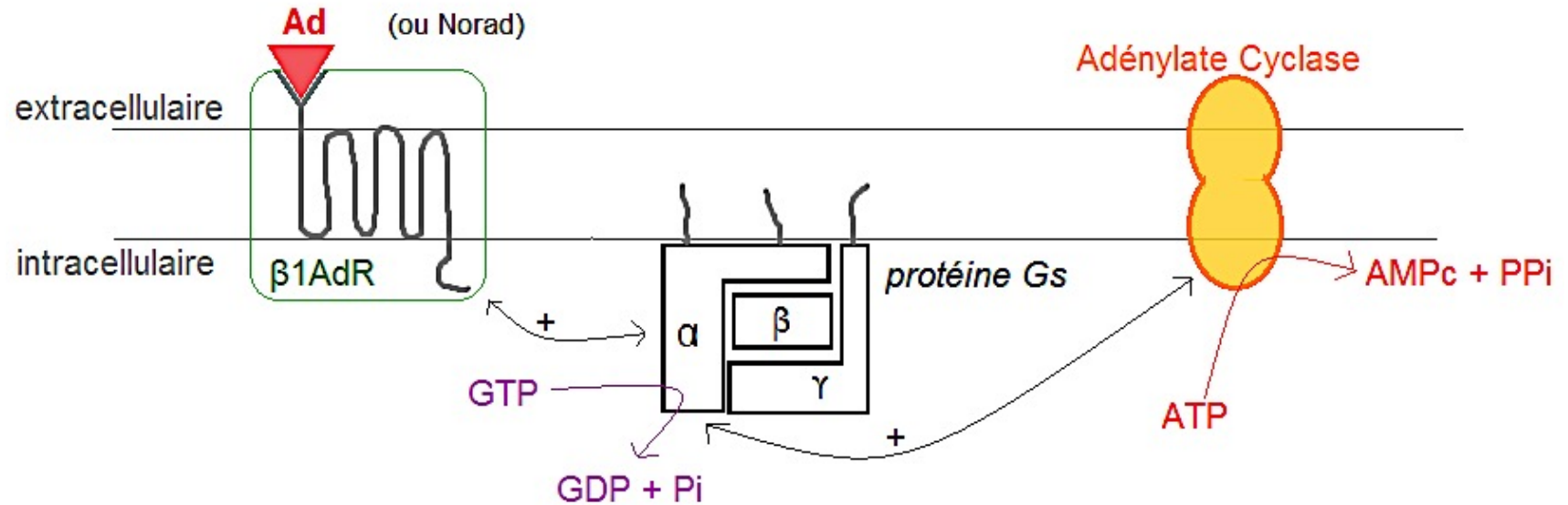


10^7 échange.s⁻¹ avec le voisin



1 flip-flop tous les 10 jours

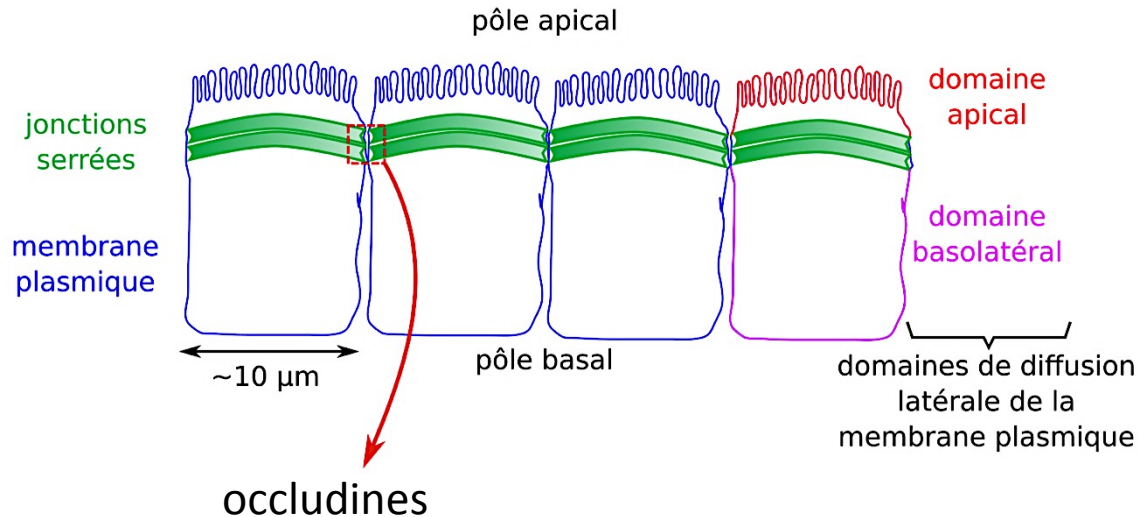
Importance de la fluidité membranaire



Voie de l'AMPc : exemple avec le récepteur adrénergique β_1

La fluidité est régulée

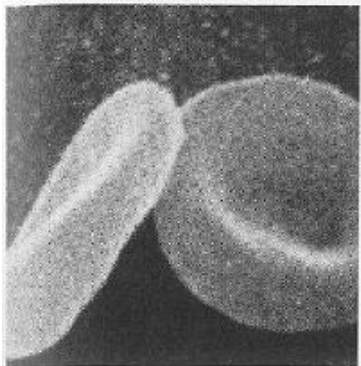
- Régulée par le taux de cholestérol et d'acides gras insaturés
 - # Cholestérol = tampon de fluidité
 - # Présence d'acides gras insaturés augmentant la fluidité
- Restreinte par des barrières : exemple des zones étanches



2. La perméabilité des membranes

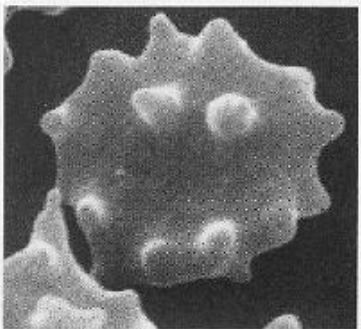
2.1. Le passage des substances selon leur nature

L'osmose



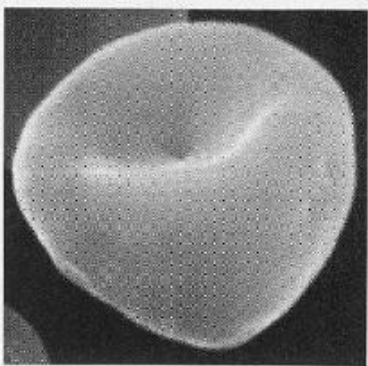
(a)

[NaCl]
9 ‰



(b)

[NaCl]
12 ‰



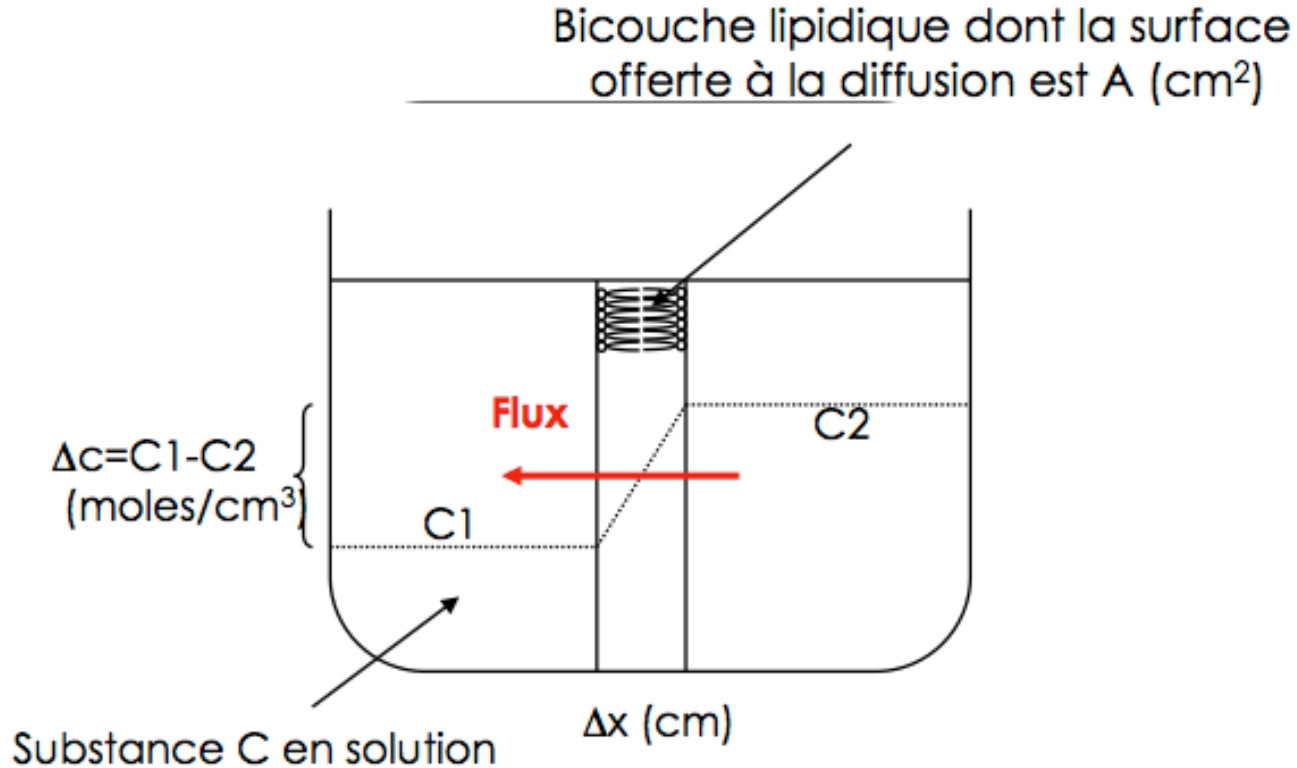
(c)

[NaCl]
5 ‰



[NaCl]
15 ‰

Étude de la perméabilité



Le flux de substances

D'après la 1^{ère} loi de diffusion de Fick,

Flux en mol.s⁻¹

S surface en cm²

D coefficient de diffusion en cm².s⁻¹

C concentration en mol.cm⁻³

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

x épaisseur de l'échangeur en cm

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

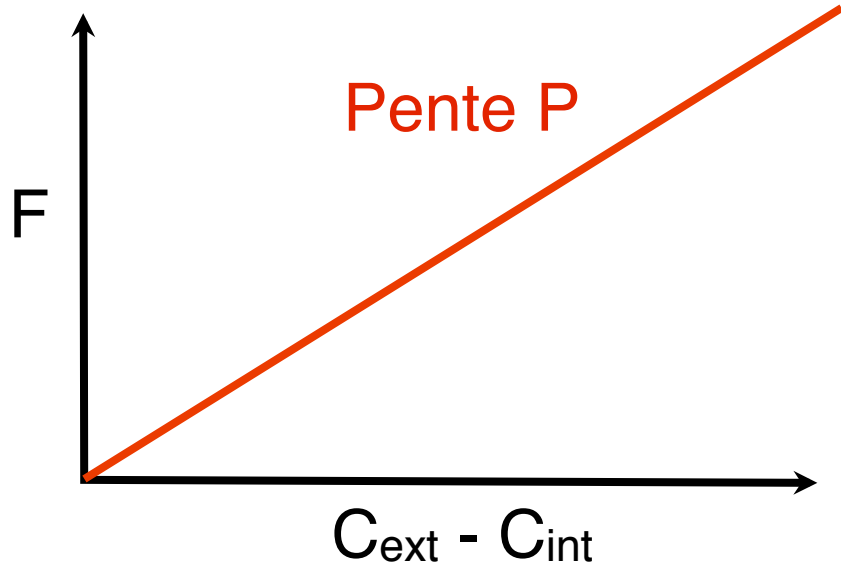
$$\text{Flux} = - D \cdot \frac{\Delta C}{\Delta x} = - P \cdot \Delta C$$

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

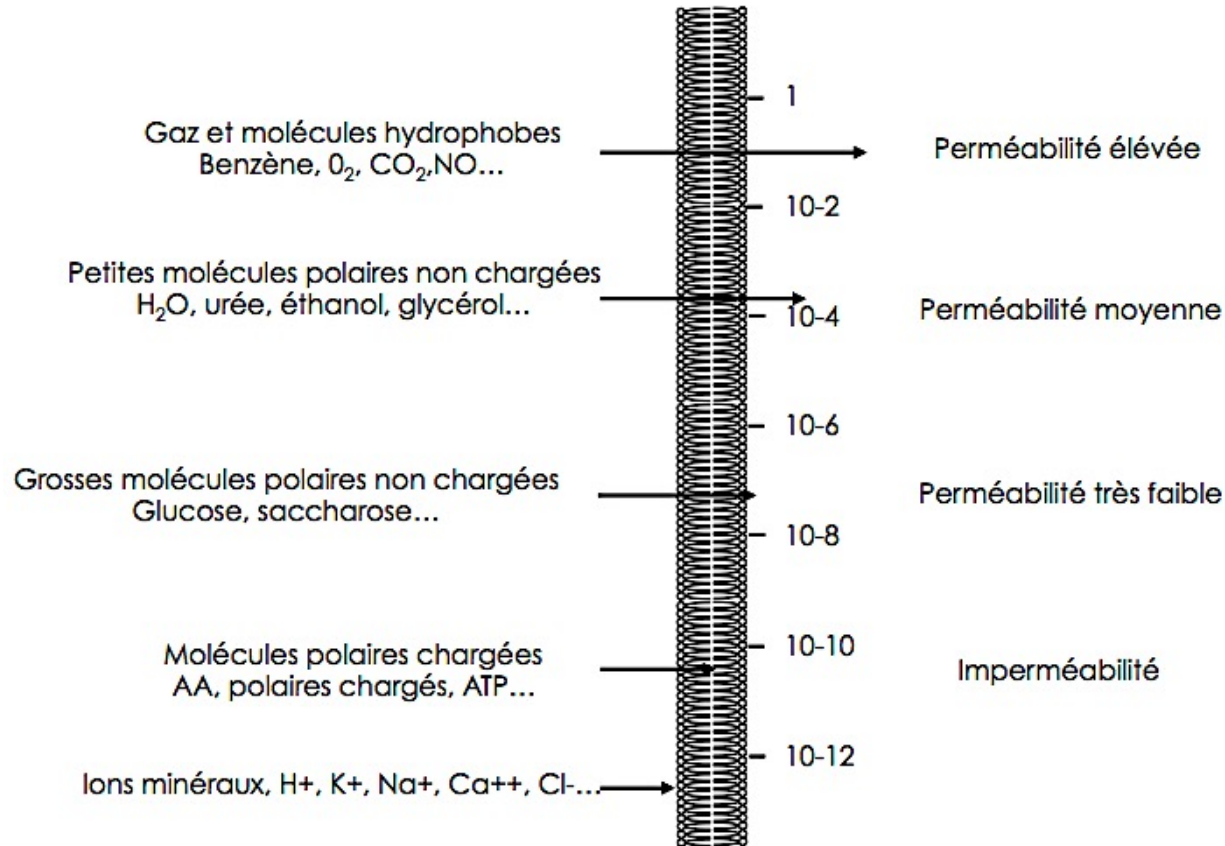
Valeurs de P

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



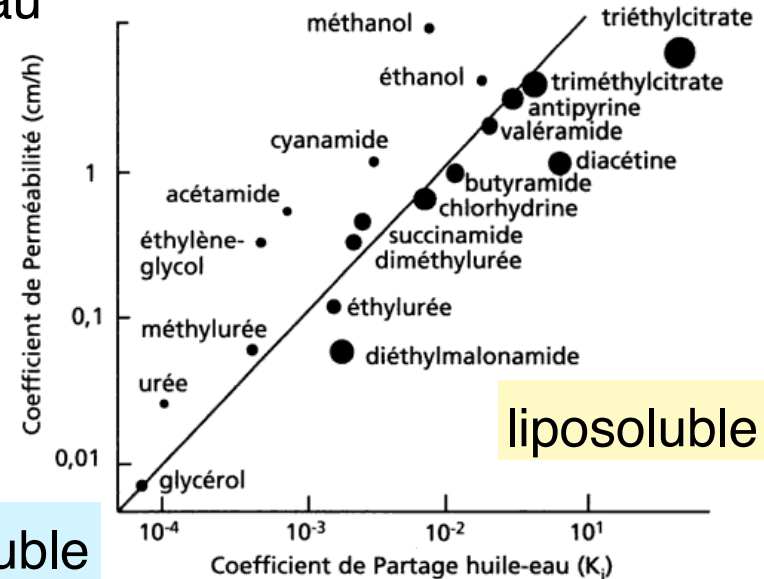
Perméabilité et coefficient de partage

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

liposoluble

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 cm.s^{-1}

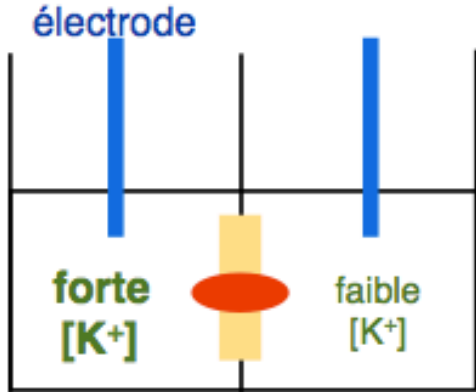
coefficient de partage de A = $\frac{\text{solubilité de A dans l'huile}}{\text{solubilité de A dans l'eau}}$

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

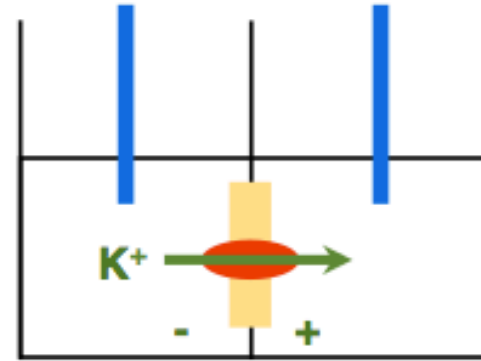
Transport des ions et force ion-motrice



Absence de Ca²⁺
=> canal fermé

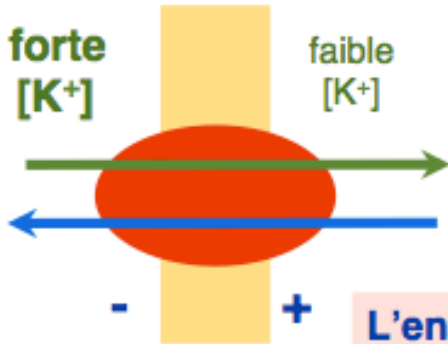
canal BK, s'ouvrant
en présence de Ca²⁺

bicouche
lipidique



Présence de Ca²⁺ => canal ouvert

il s'ensuit un champ électrique qui renvoie
les K⁺ 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 ⁺ | 10 | 140 |
| K ⁺ | 140 | 5 |
| Ca ²⁺ | 10 ⁻³ | 5 |
| Cl ⁻ | 14 | 147 |

Calculez $\Delta G_{\text{int} \rightarrow \text{ext}}$ pour l'ion Na⁺ 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 ⁺ | 10 | 140 |

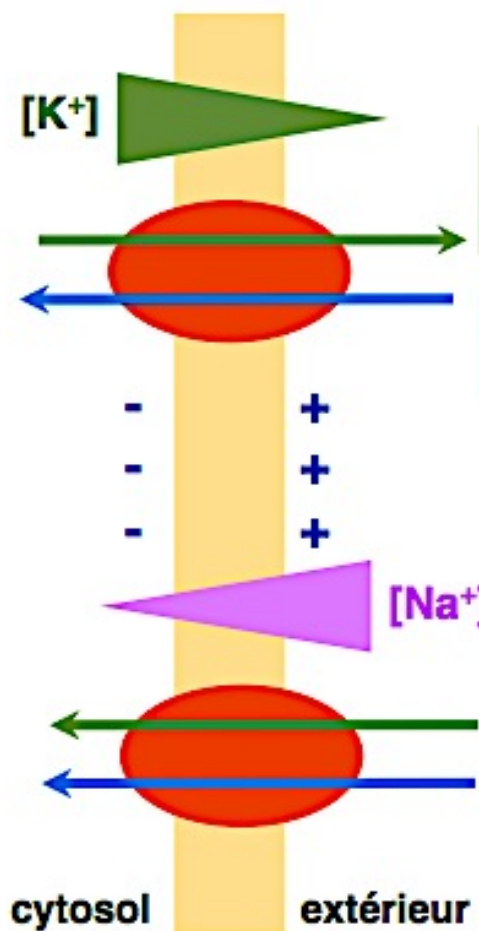
$$\Delta G_{\text{int} \rightarrow \text{ext}} = RT \ln \frac{[\text{ext}]}{[\text{int}]} - z F \Delta \psi$$

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

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

$\Delta G_{\text{ext} \rightarrow \text{int}} = - 12,3 \text{ kJ.mol}^{-1}$ ce qui signifie que l'entrée de Na⁺ 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 μ 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 μ 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 π

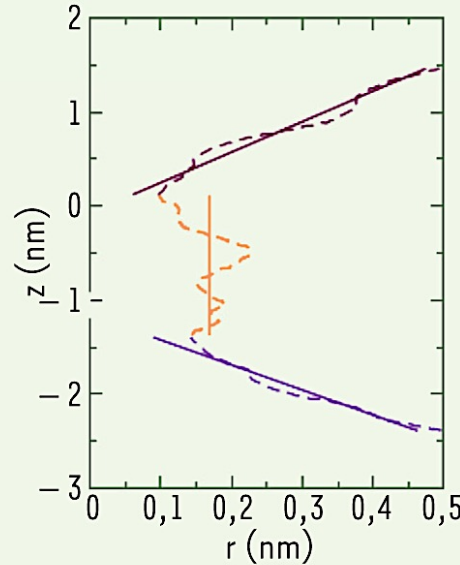
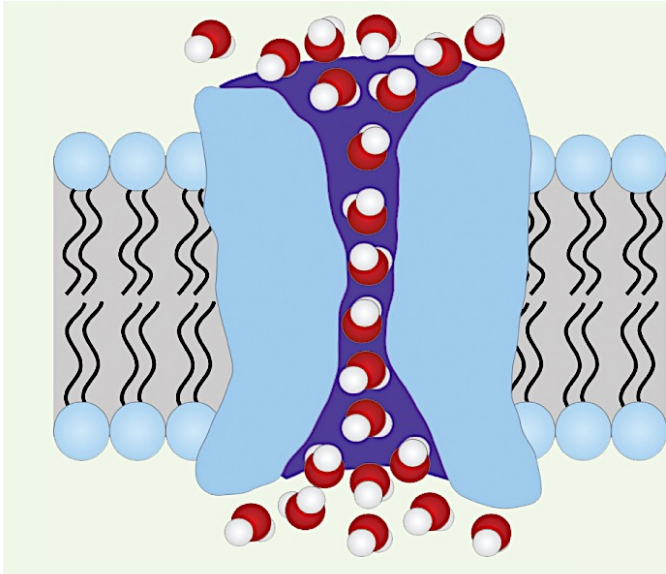
effet de la pression
 $P - \tau$

négligé ici

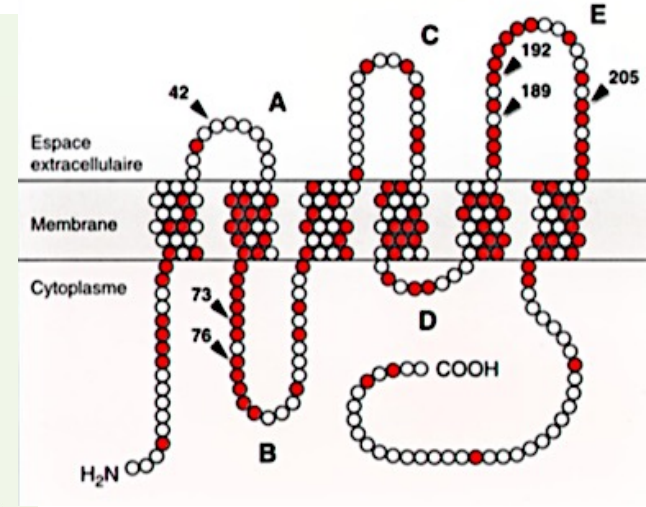
Nul dans le
cas de l'eau

Le potentiel hydrique ψ est μ_{eau} rapporté au volume
molaire : il devient une pression

Les aquaporines



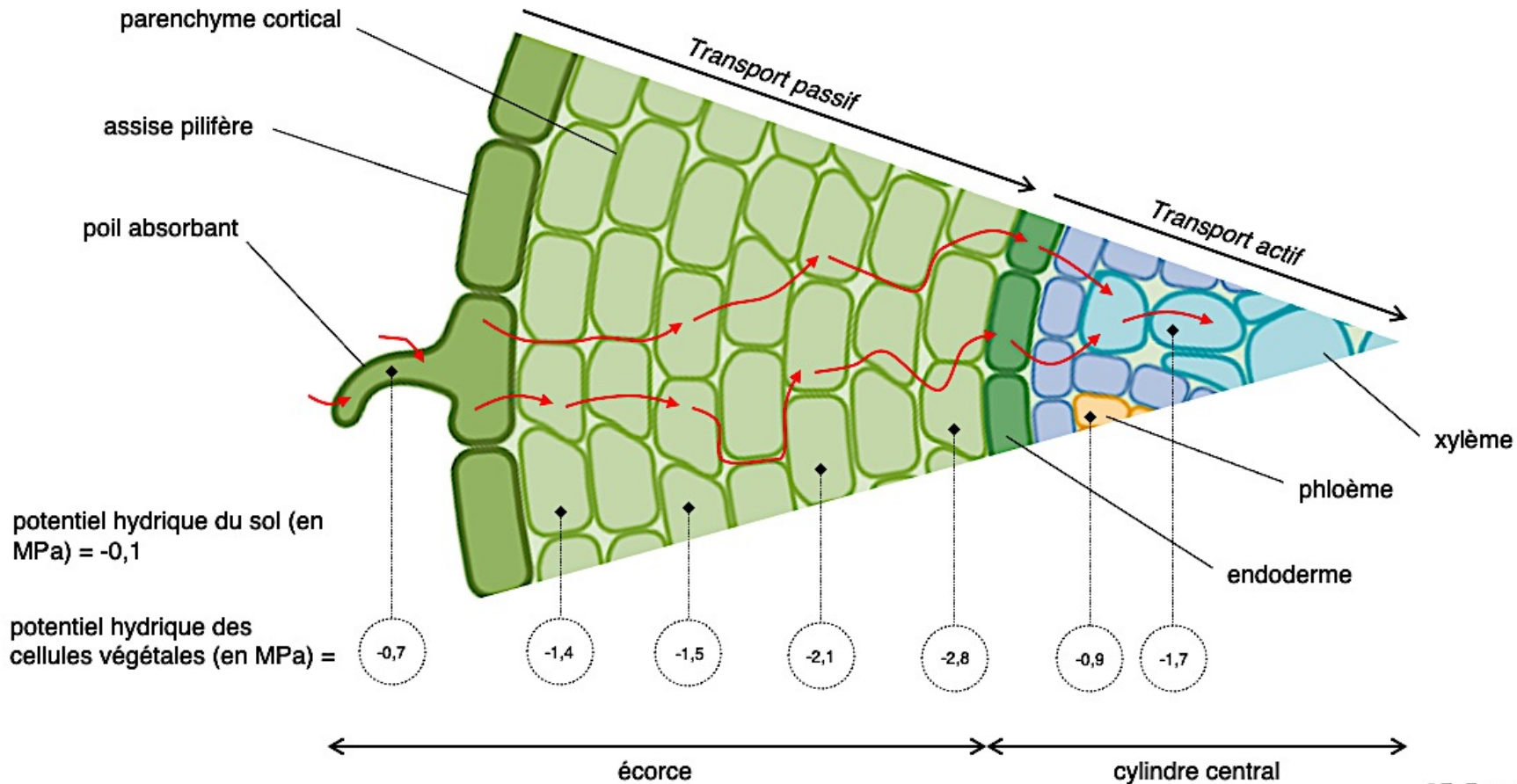
Rayon du pore



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.

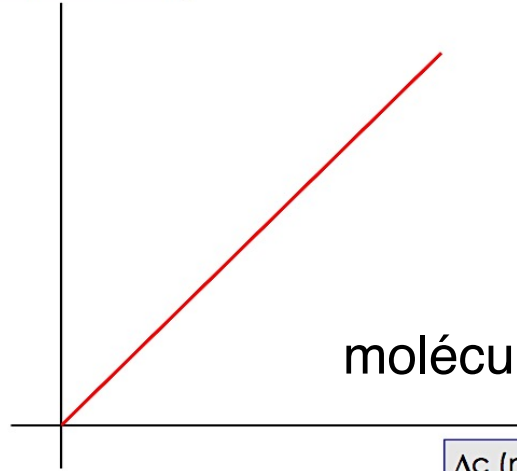
2. La perméabilité des membranes

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)

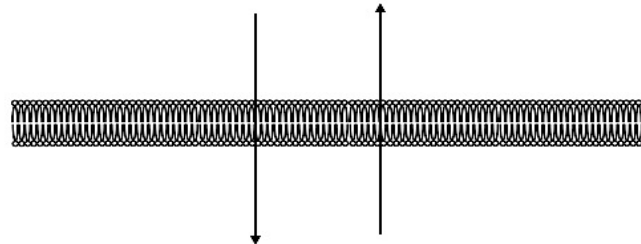


Gaz, hormones
stéroïdes, urée,
molécules liposolubles...

Transport passif par diffusion lipophile

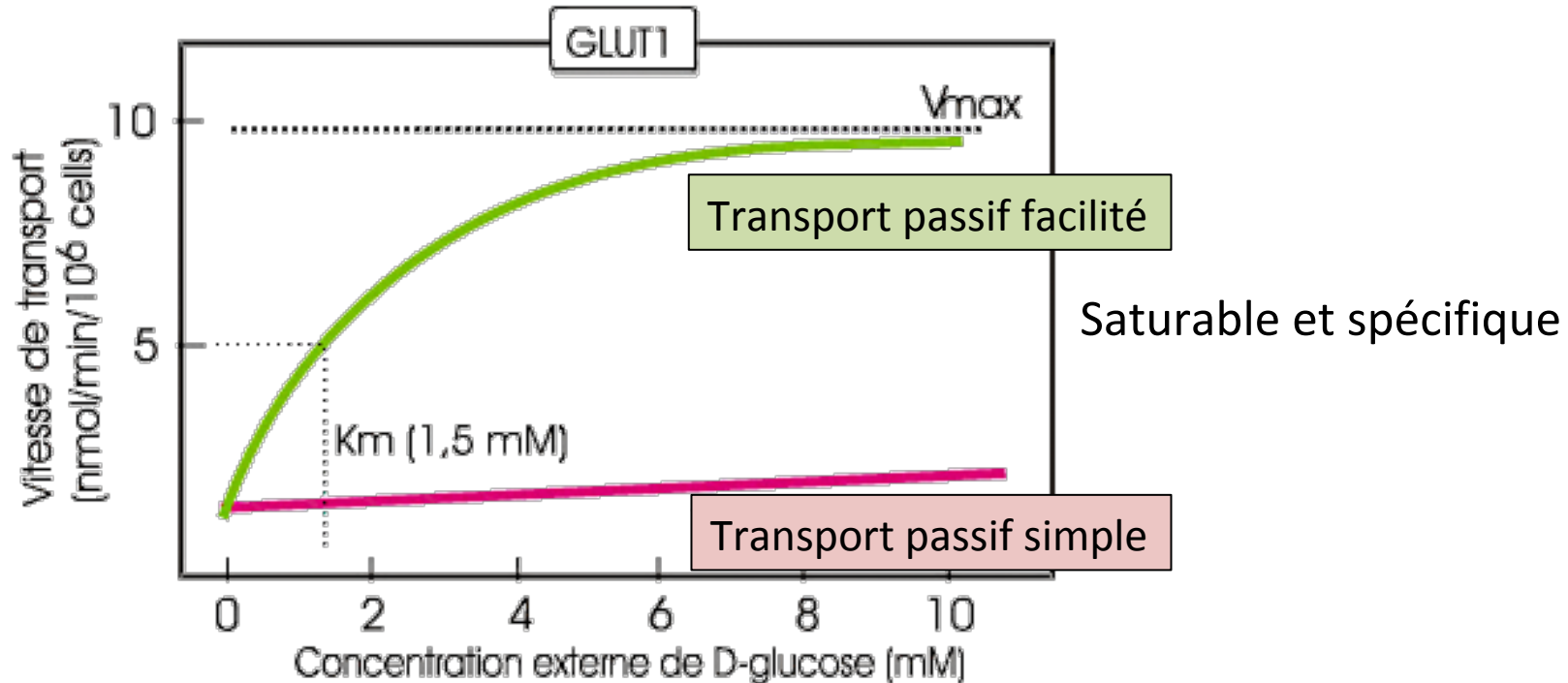
Gradient de concentration

exterieur
cytoplasme



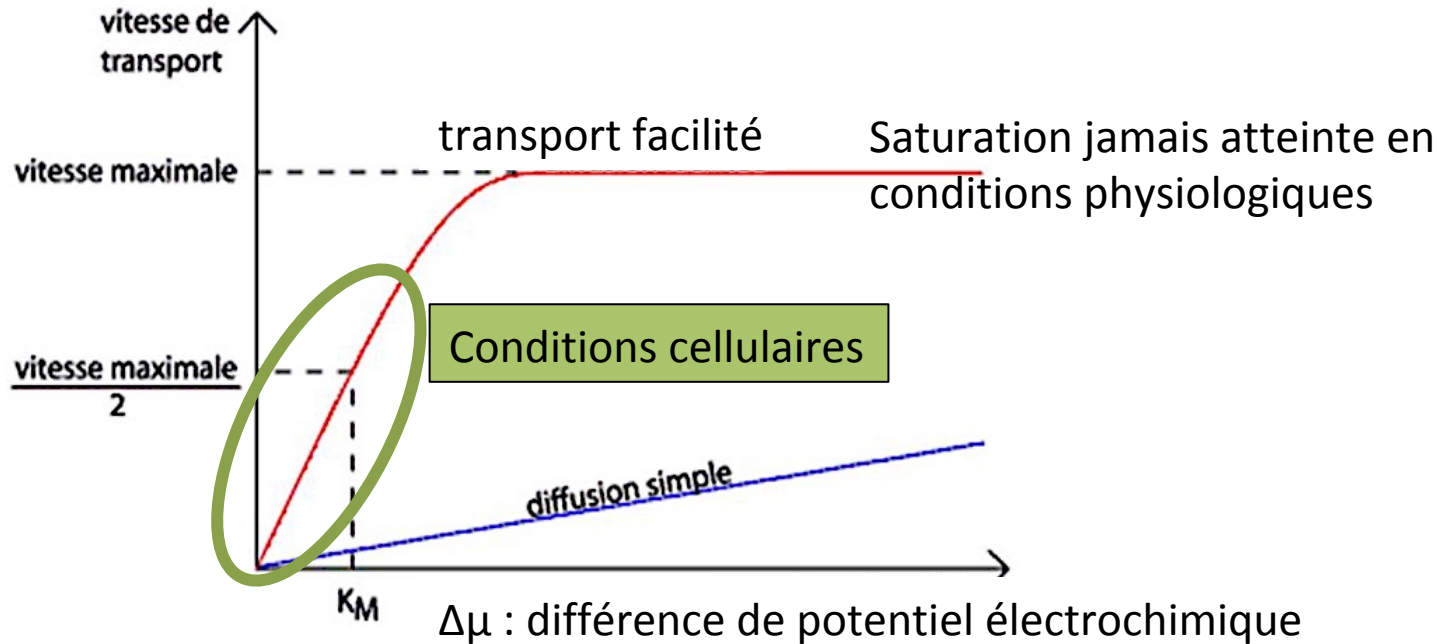
Les deux types de transport passif

Transport passif facilité

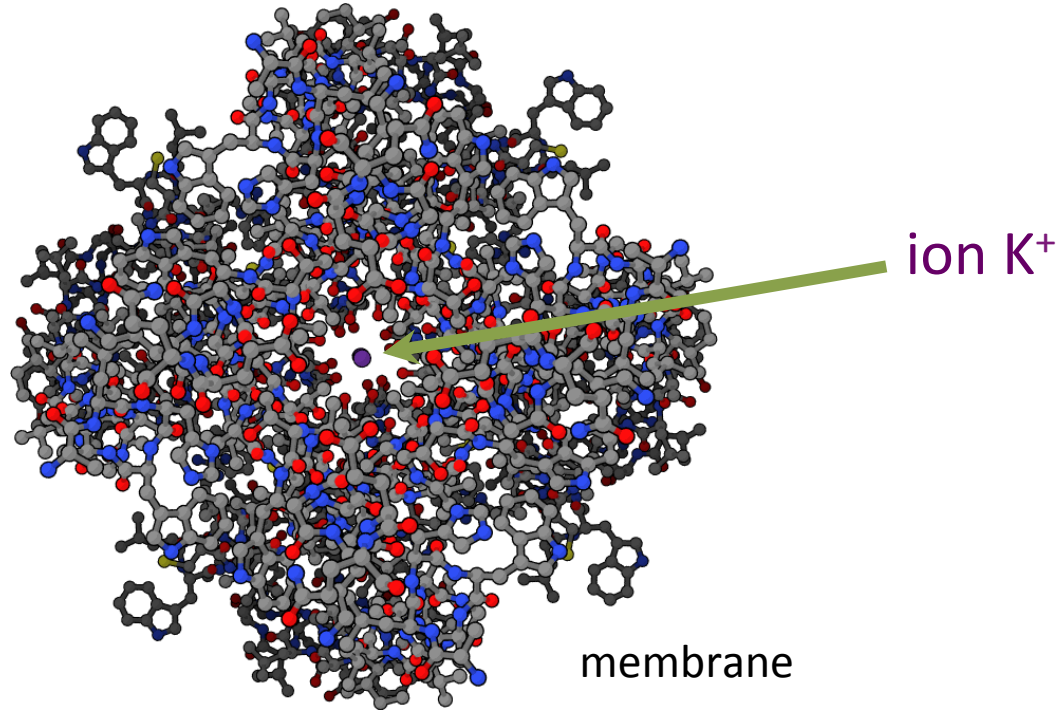


Le transport passif dans les entérocytes

Cas du transport passif des ions



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

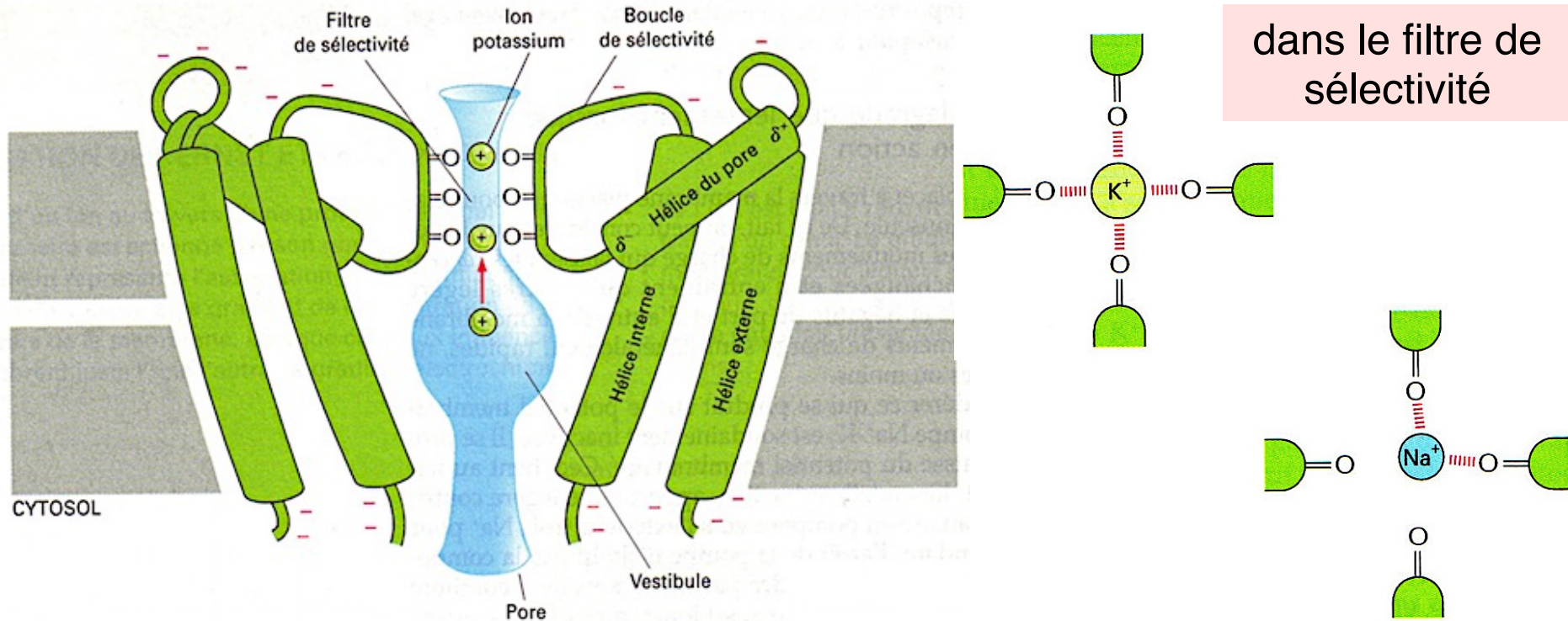


Dans les cellules excitables, il existe des canaux à ouverture régulée par :

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

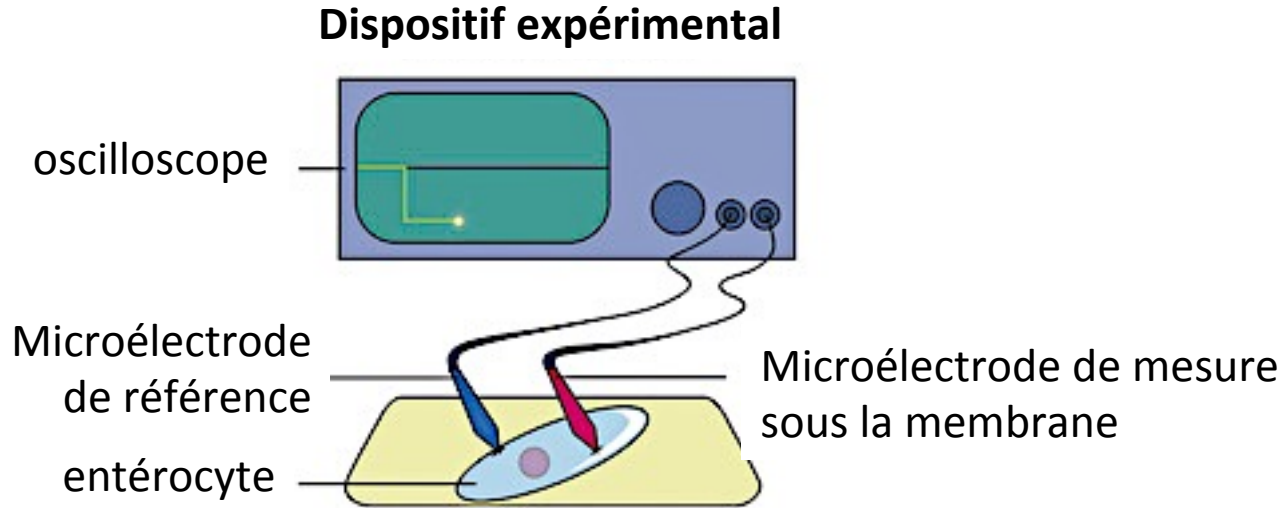
Vue de dessus du canal à 4 domaines

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⁺

| concentration en mM | intracellulaire | extracellulaire |
|---------------------|-----------------|-----------------|
| K ⁺ | 140 | 10 |

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

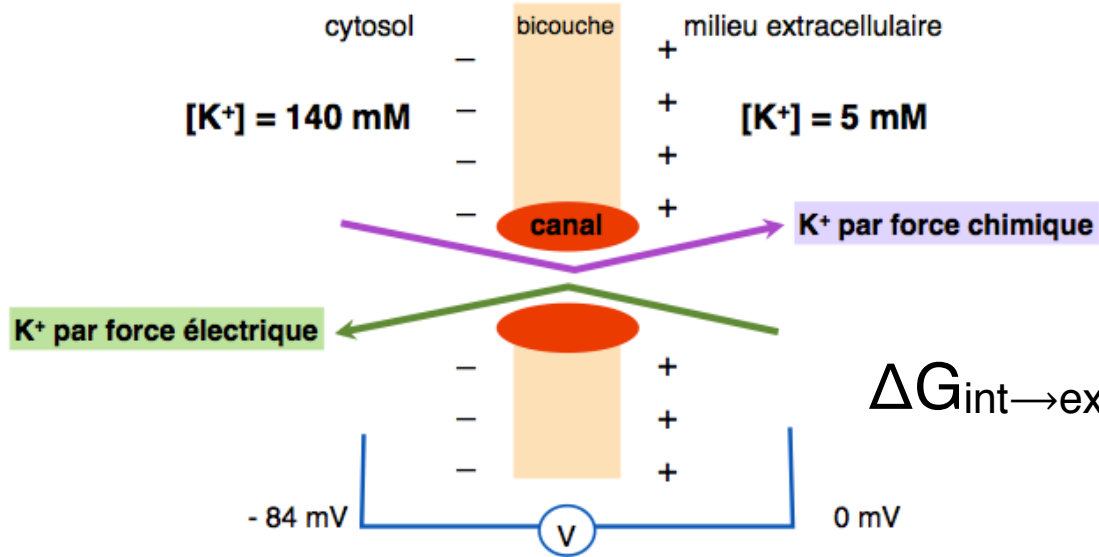
$$\Delta G_{\text{int} \rightarrow \text{ext}} = 8,31 \times 298 \times \ln (5/140) - 1 \times 96500 \times (-60.10^{-3})$$

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

$\Delta G_{\text{int} \rightarrow \text{ext}}$ 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 mV.

Potentiel d'équilibre des ions

| concentration en mM | intracellulaire | extracellulaire |
|---------------------|------------------|-----------------|
| Na ⁺ | 10 | 140 |
| K ⁺ | 140 | 5 |
| Ca ²⁺ | 10 ⁻³ | 5 |
| Cl ⁻ | 14 | 147 |

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

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

Potentiel d'équilibre des ions

| concentration en mM | intracellulaire | extracellulaire |
|---------------------|------------------|-----------------|
| Na ⁺ | 10 | 140 |
| K ⁺ | 140 | 5 |
| Ca ²⁺ | 10 ⁻³ | 5 |
| Cl ⁻ | 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 ⁺ | - 86 |
| Na ⁺ | + 68 |
| Ca ²⁺ | + 109 |
| Cl ⁻ | - 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 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 $- 60 \text{ mV}$.

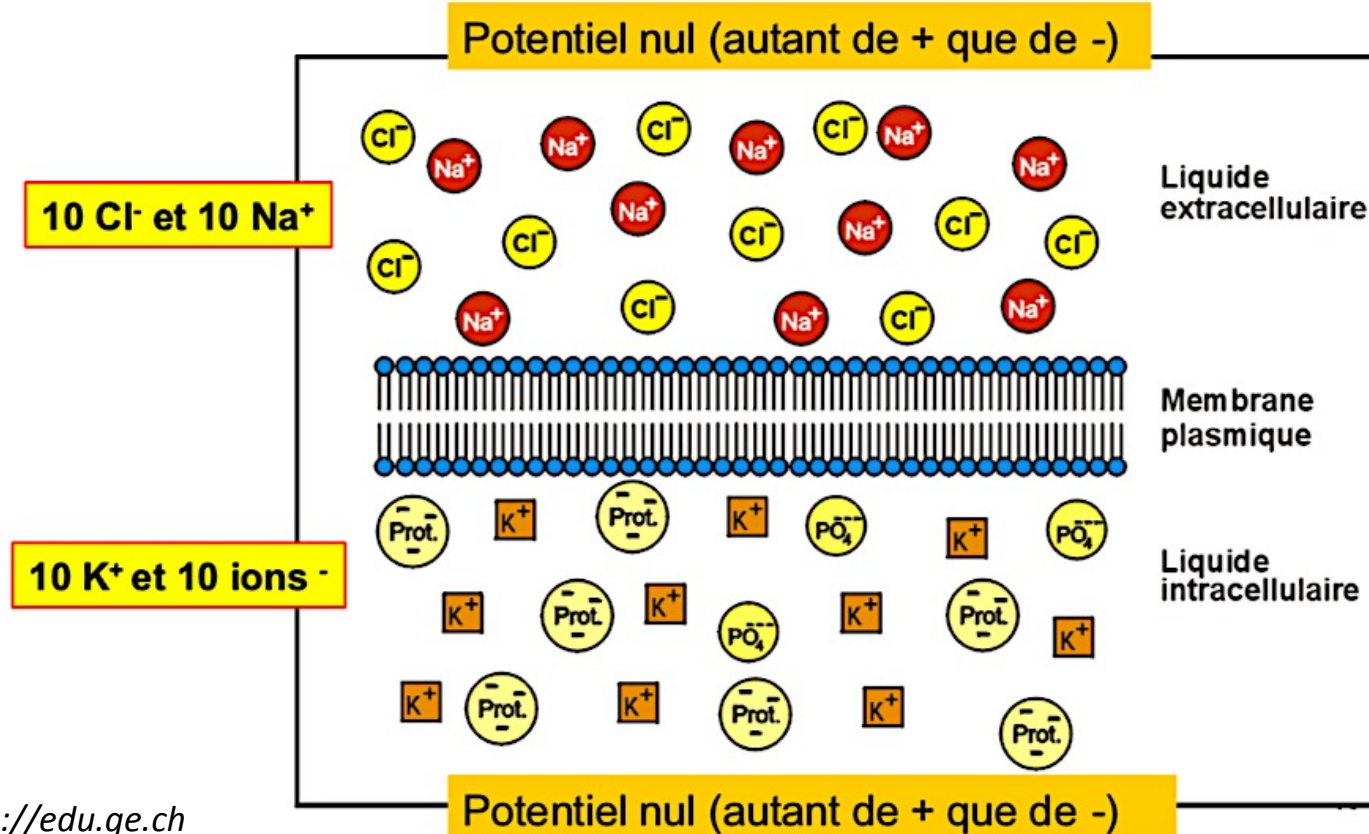
La membrane est semi-perméable

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.

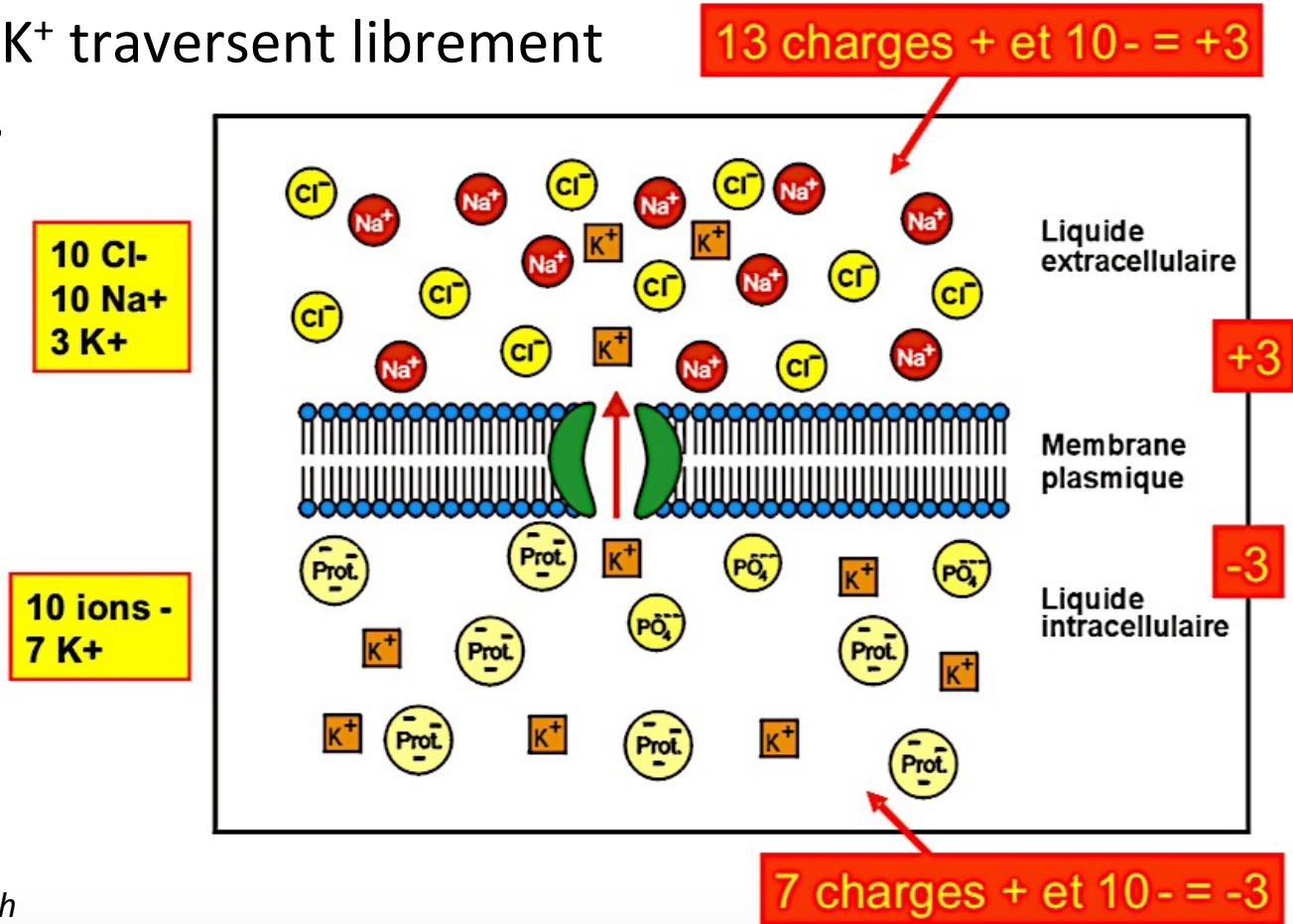
Le potentiel de repos (1)

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



Le potentiel de repos (2)

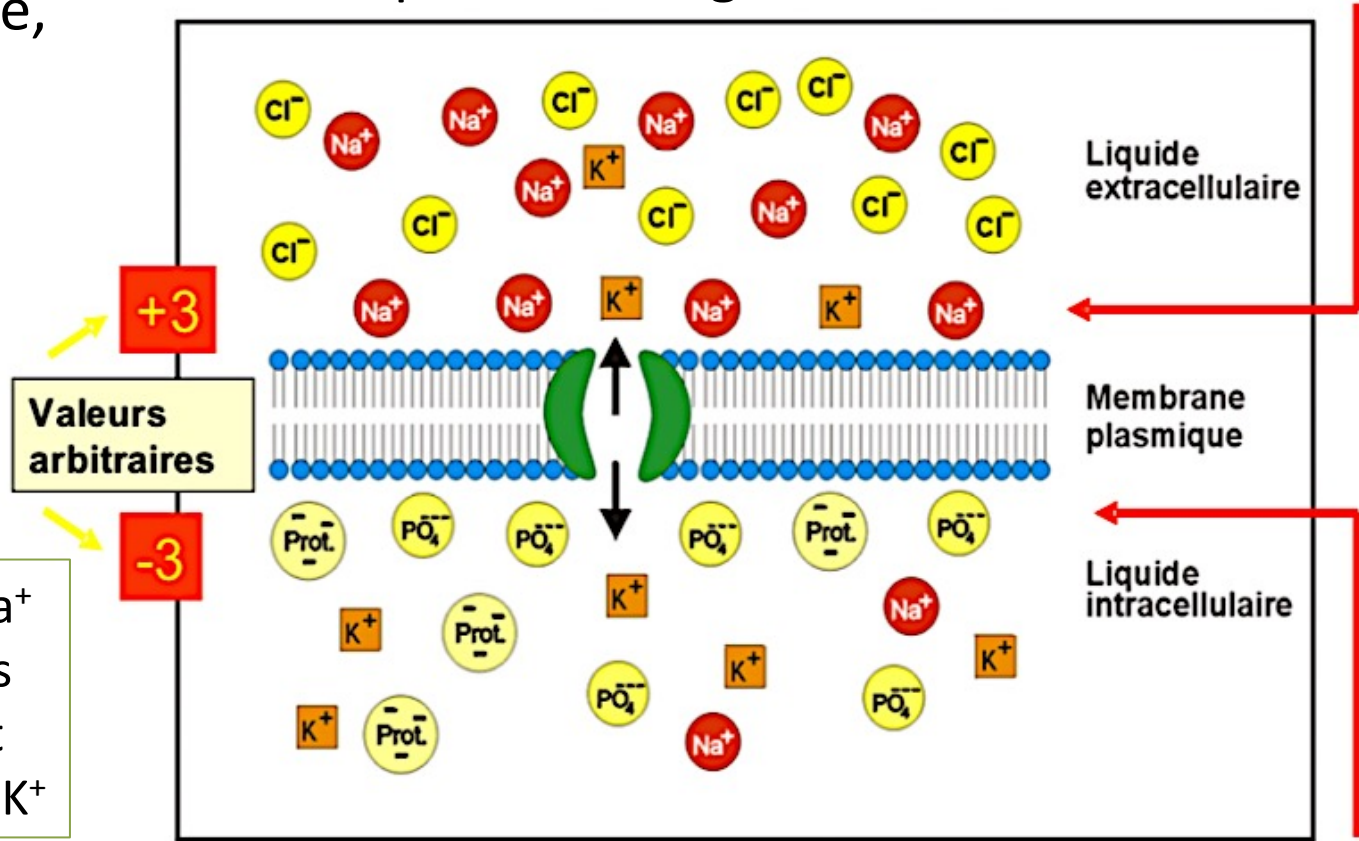
Seuls les ions K^+ traversent librement la membrane.



Le potentiel de repos (3)

À l'équilibre,

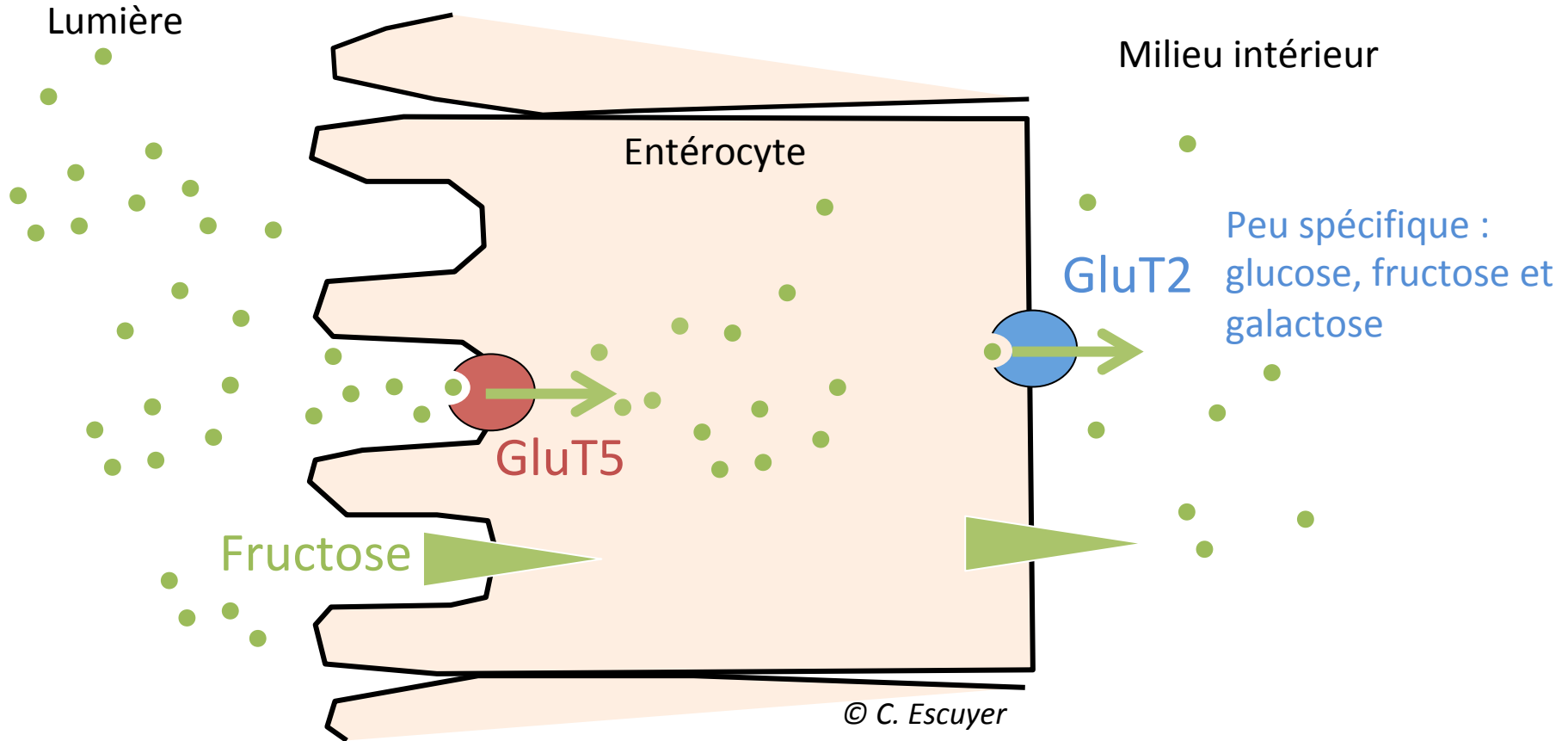
Surplus de charges + en surface de la membrane



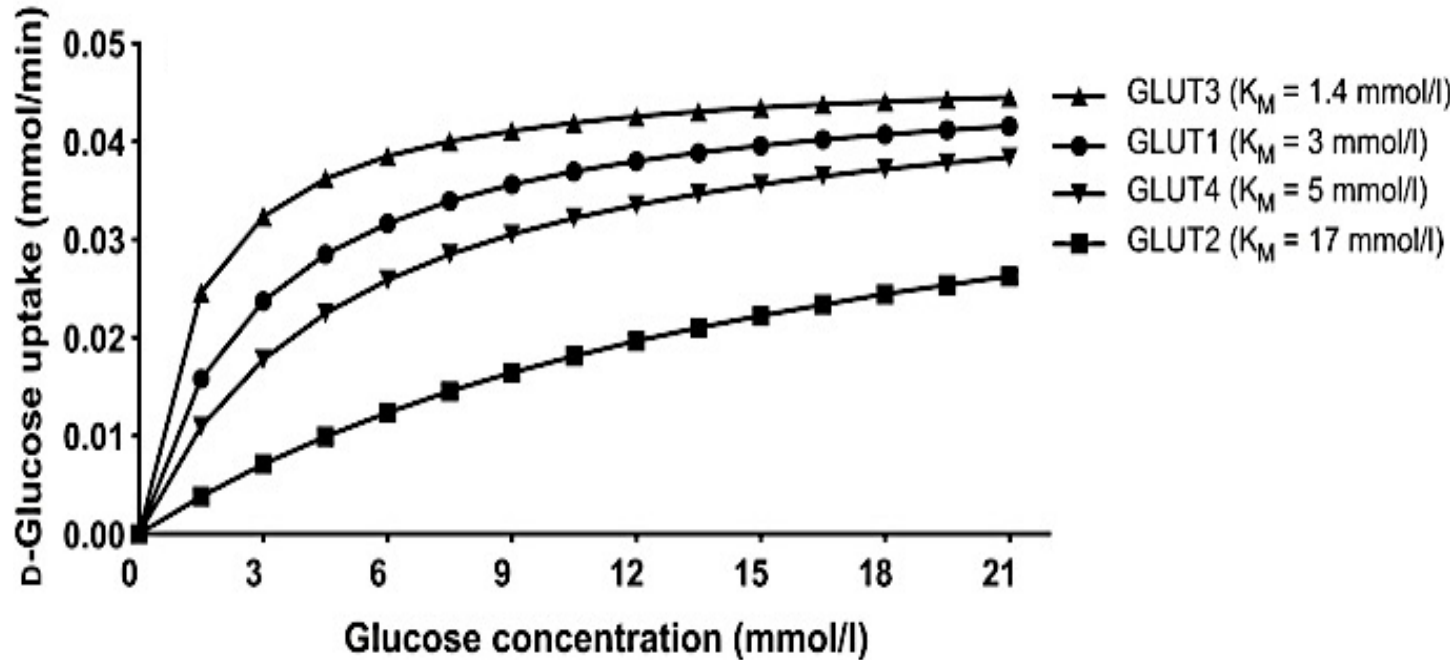
Un peu de Na⁺ passe => pas exactement l'équilibre de K⁺

Surplus de charges - en surface de la membrane

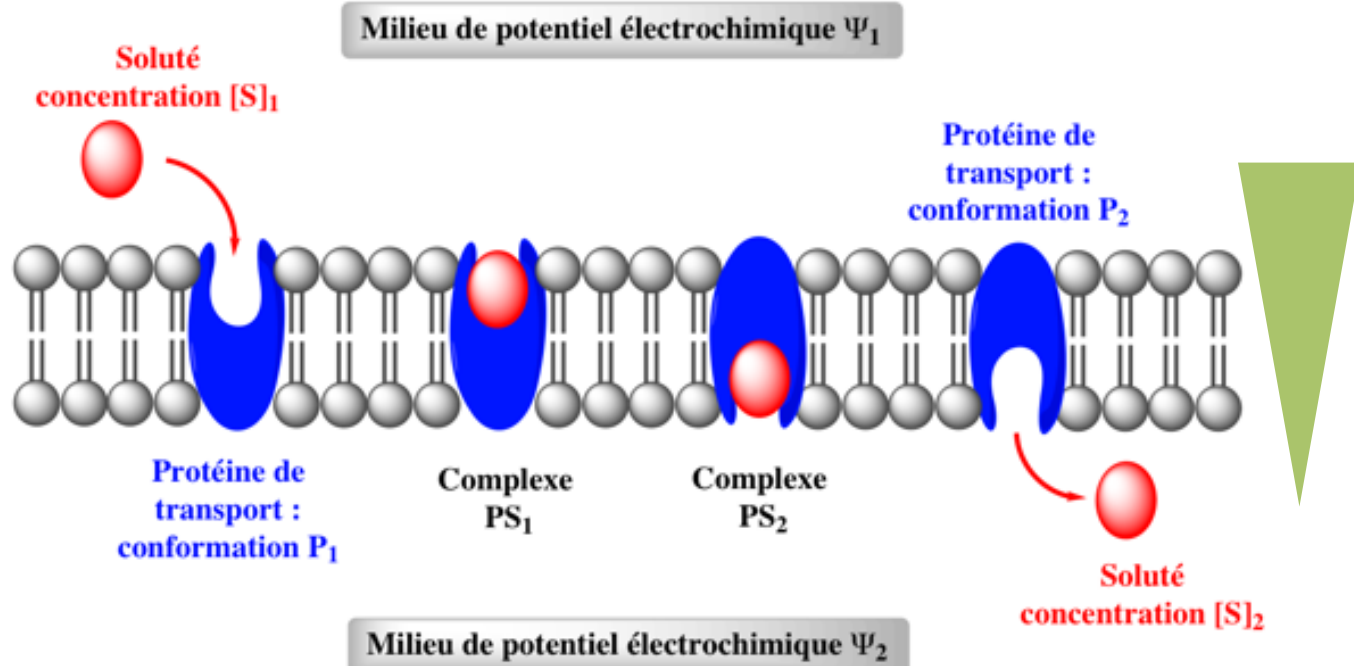
Les perméases, des transports facilités spécifiques



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.**

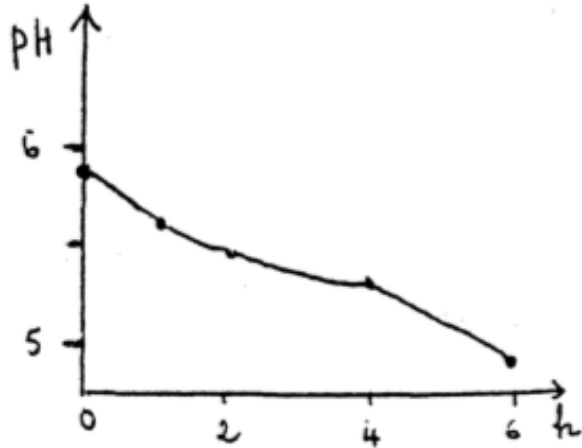
2. La perméabilité des membranes

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



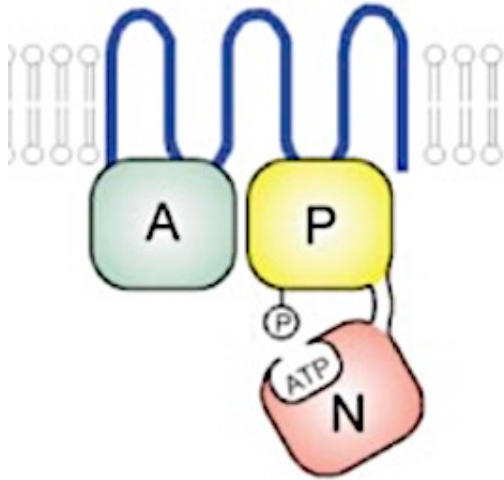
Delrot et Bonnemain (1979) : effet de tissus foliaires de Vesce sur le pH de la solution d'incubation

Travaux de Novacky (1978)

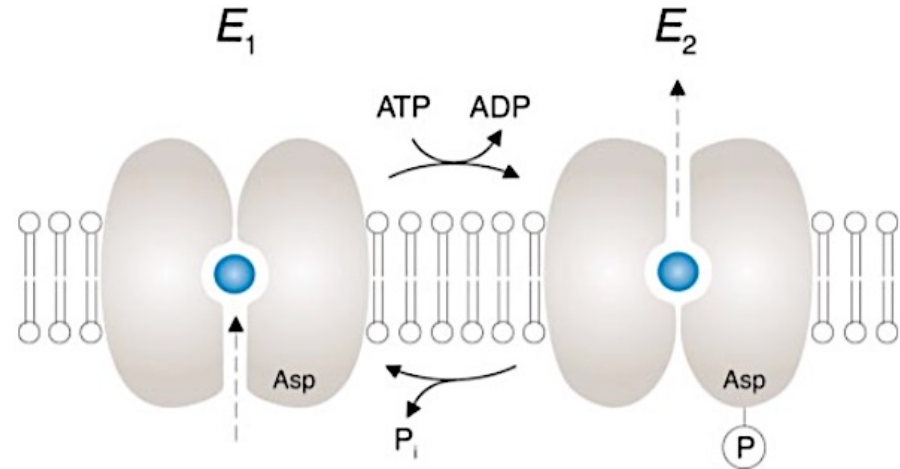
Mesure du potentiel de membrane de cellules de Lentilles d'eau et du pH extracellulaire en fonction du taux d'ATP intracellulaire.

| [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

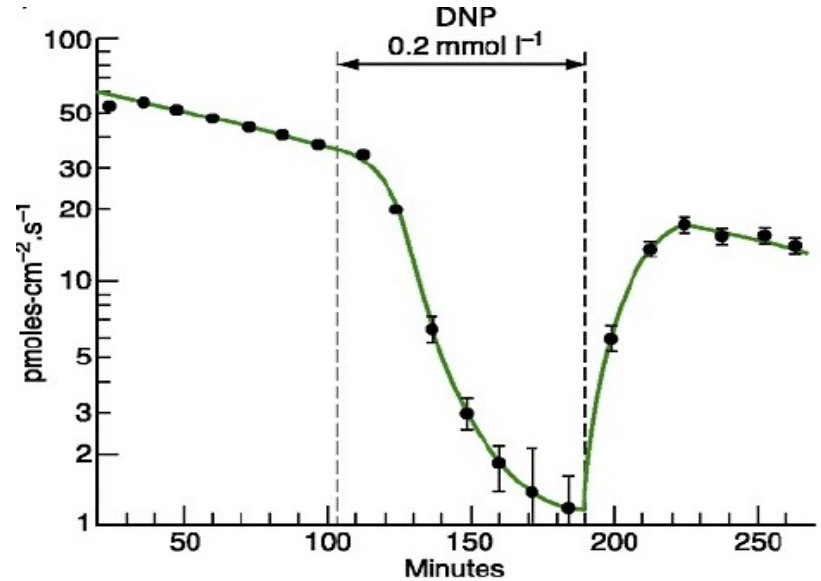
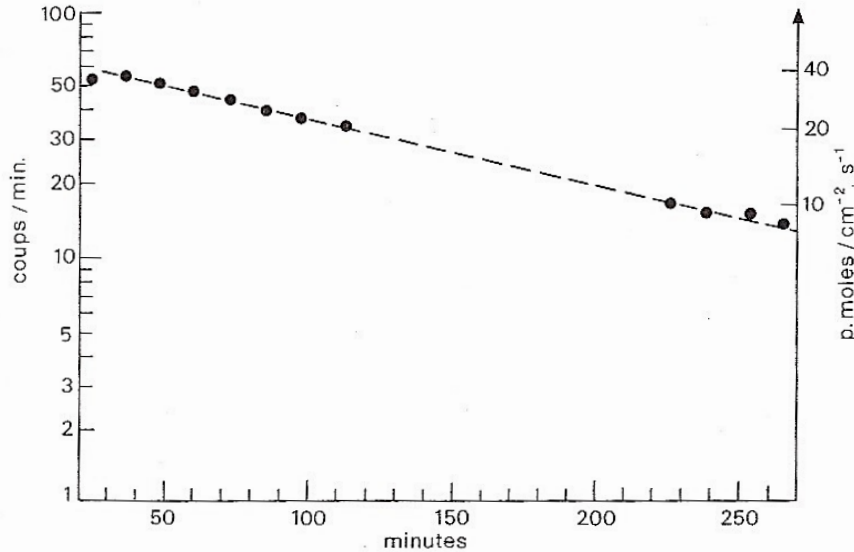


Modèle de mécanisme de transport

Flux de 10^2 à 10^3 ions par seconde

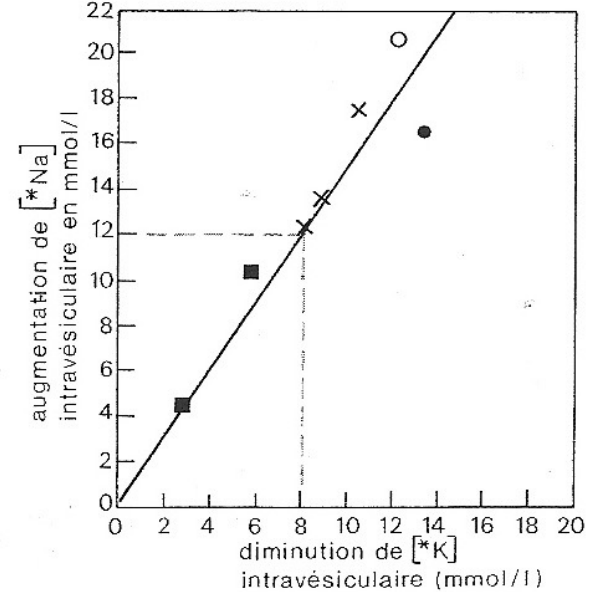
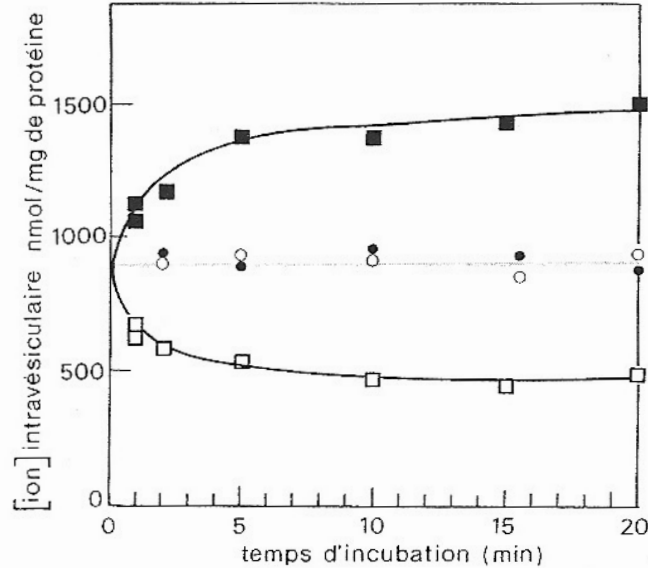
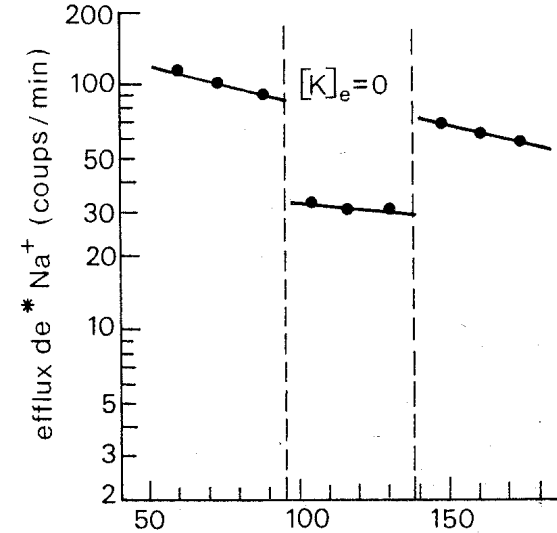
Une pompe des cellules animales

Exercice intégré

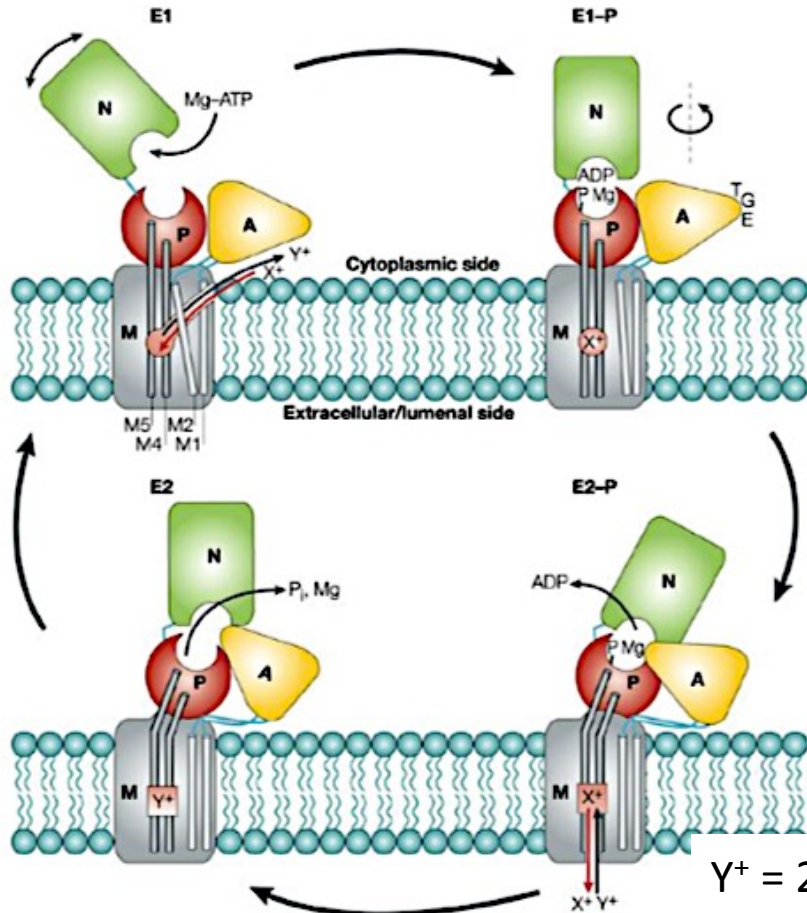


Une pompe des cellules animales

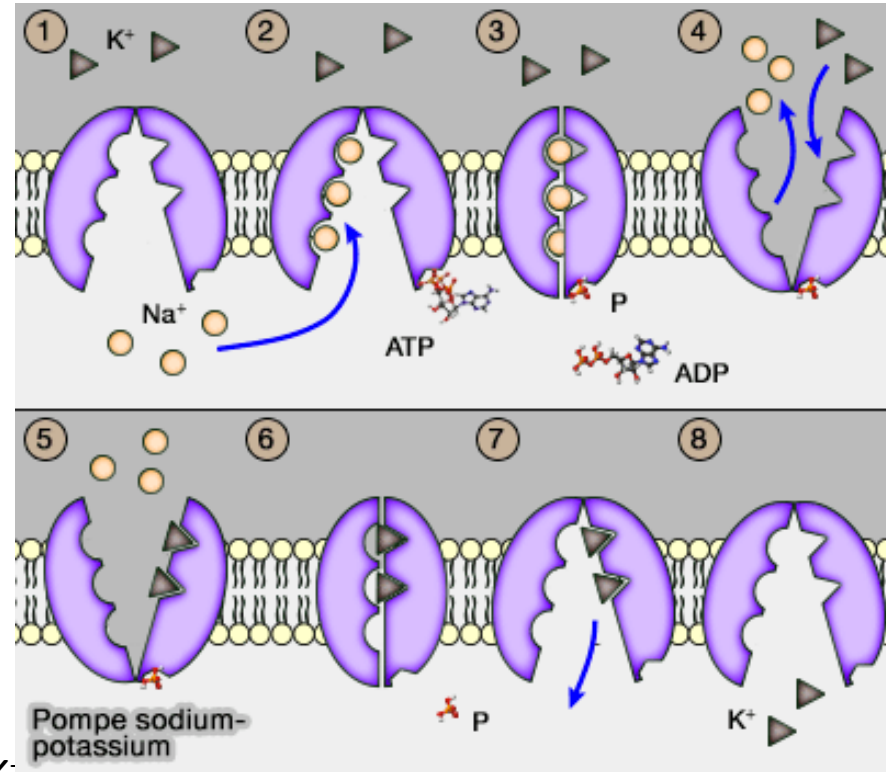
Exercice intégré



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

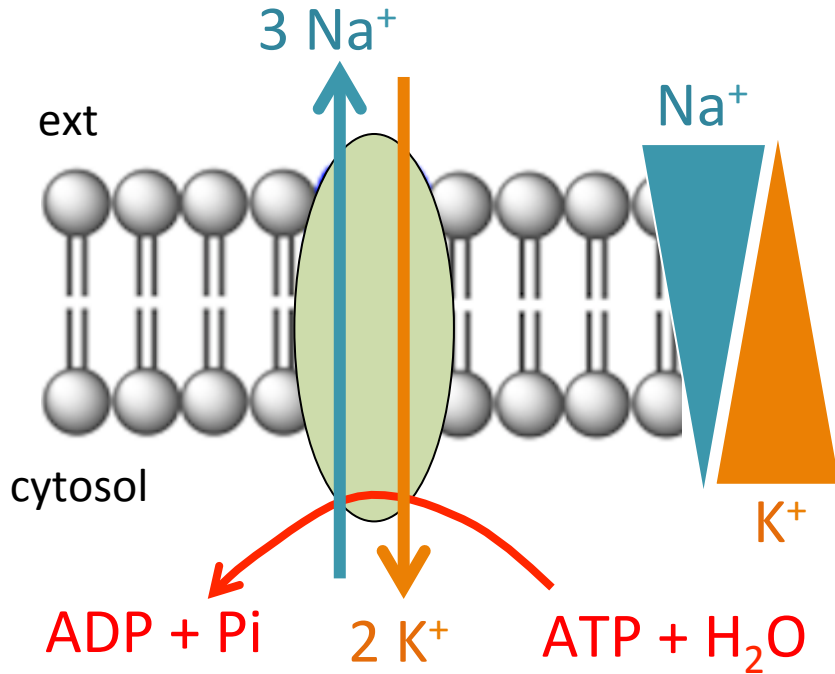


Modèle simplifié



$\text{Y}^+ = 2 \text{ ions } \text{K}^+$
 $\text{X}^+ = 3 \text{ ions } \text{Na}^+$

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



Régulation du volume cellulaire
Régulation de la pression osmotique

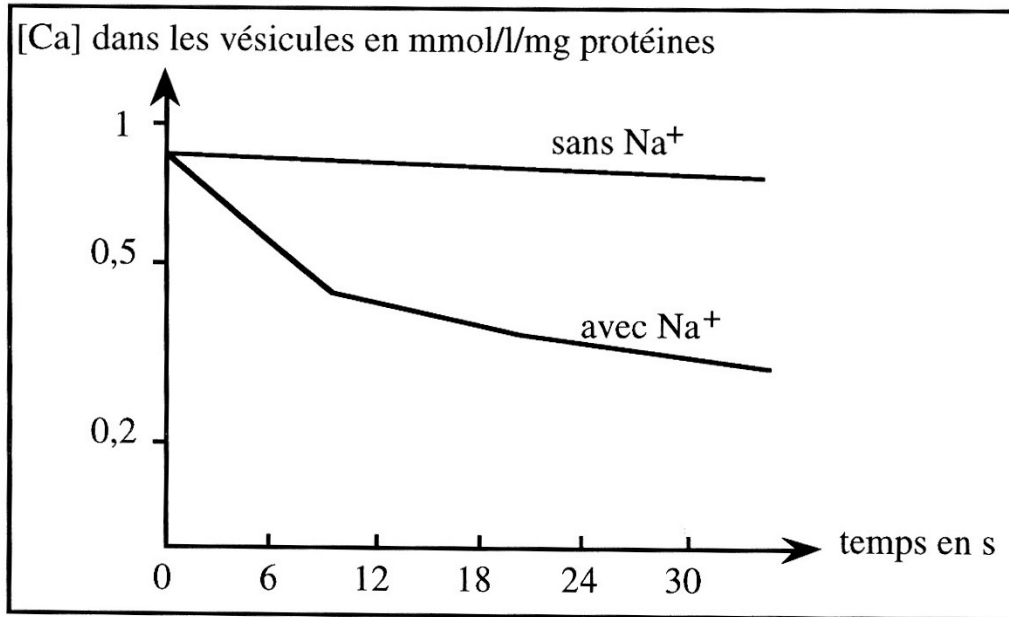
Maintien des concentrations en lien
avec le potentiel de repos

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

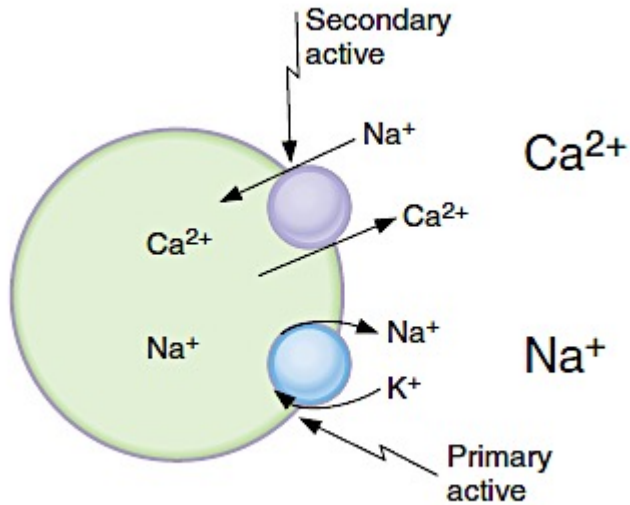
Le cotransport : mise en évidence

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 Na^+

Couplage osmo-osmotique

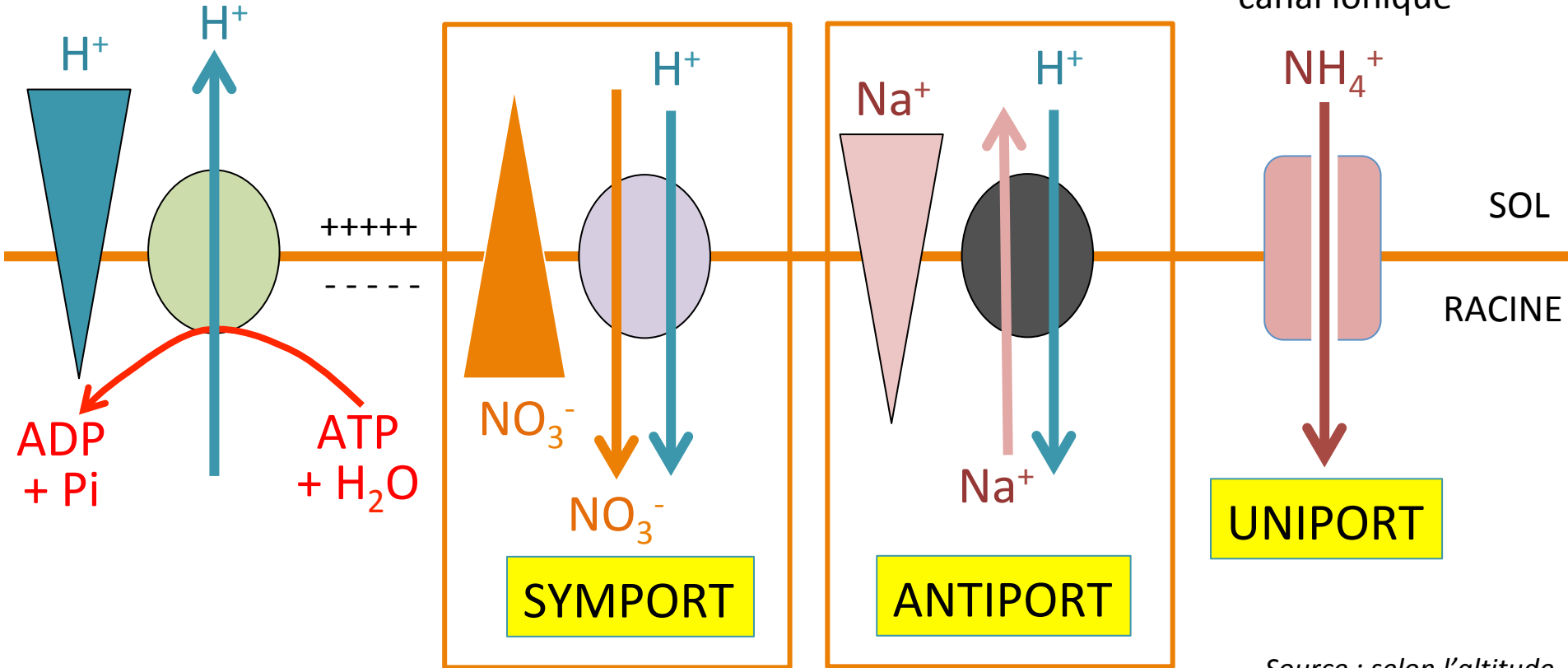
Pompe $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{ATPase}$

Couplage chimio-osmotique

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

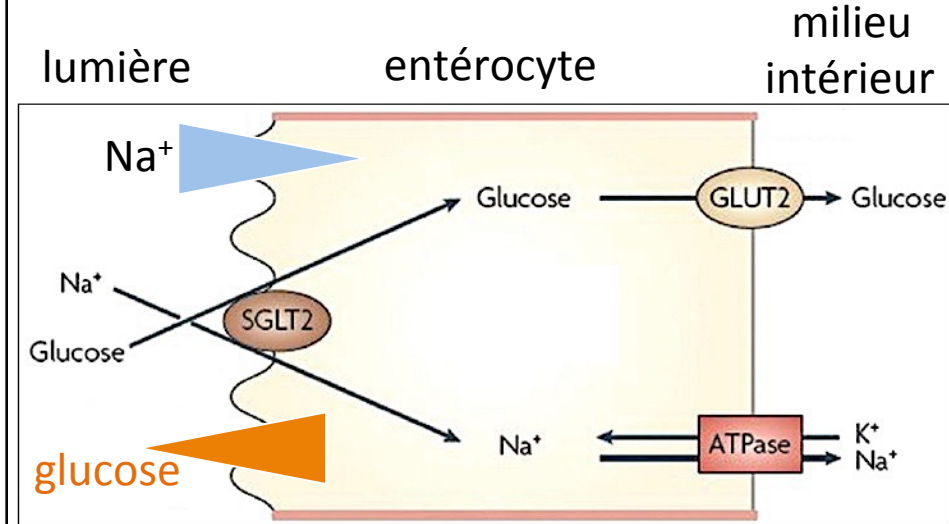
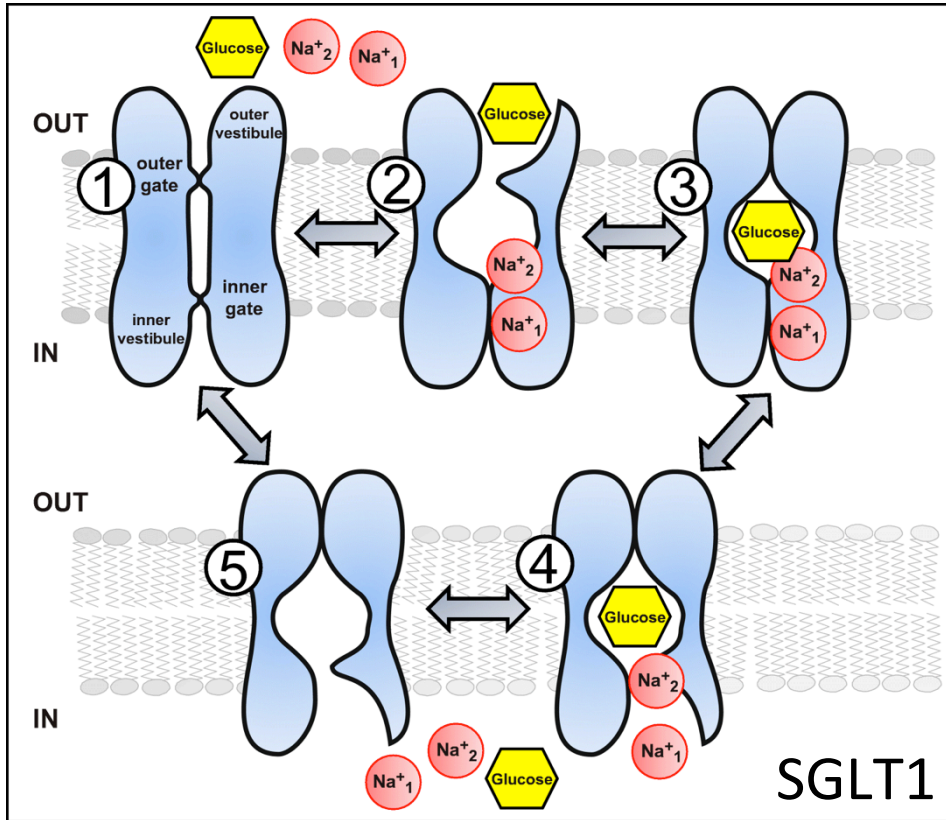
Antiport et symport

Cas des cellules végétales



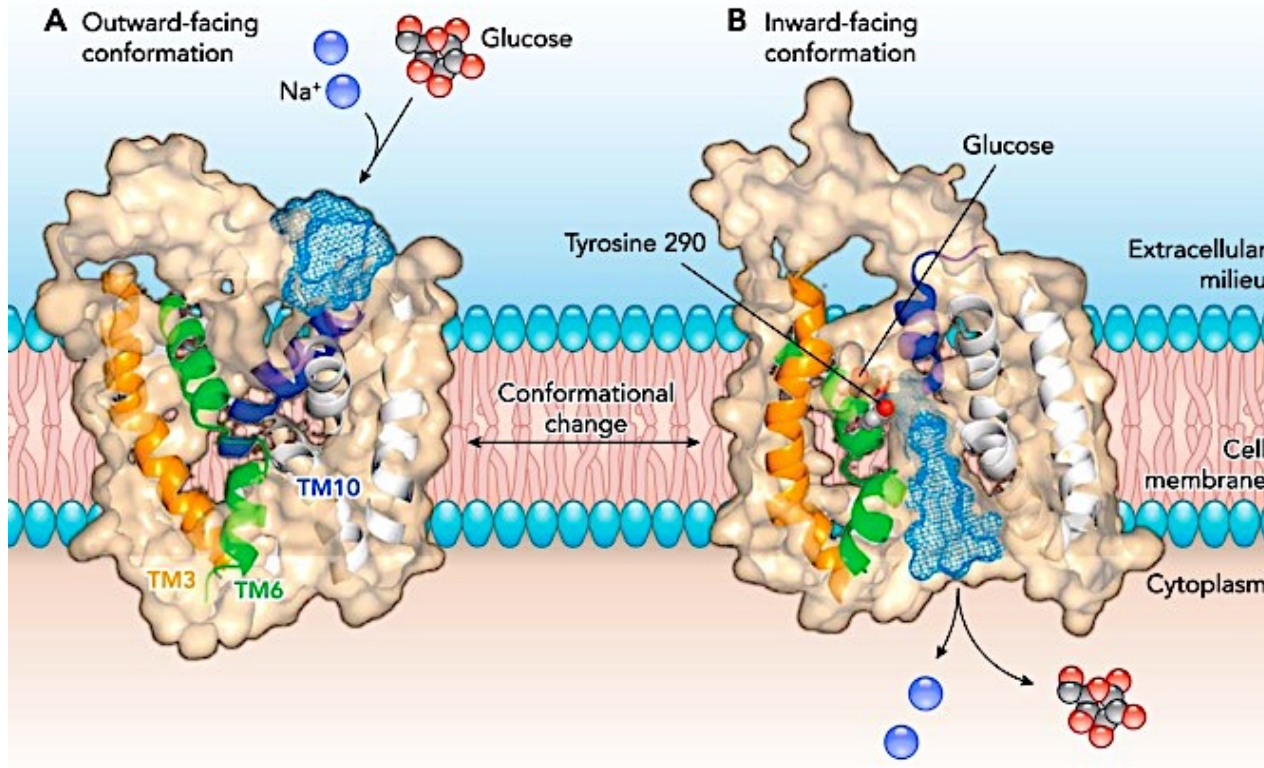
Source : selon l'altitude

Le transporteur de glucose SGLT des entérocytes



Modèle de fonctionnement du symport Na^+ /glucose

Protéine SGLT : symport 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 = cotransport 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 :

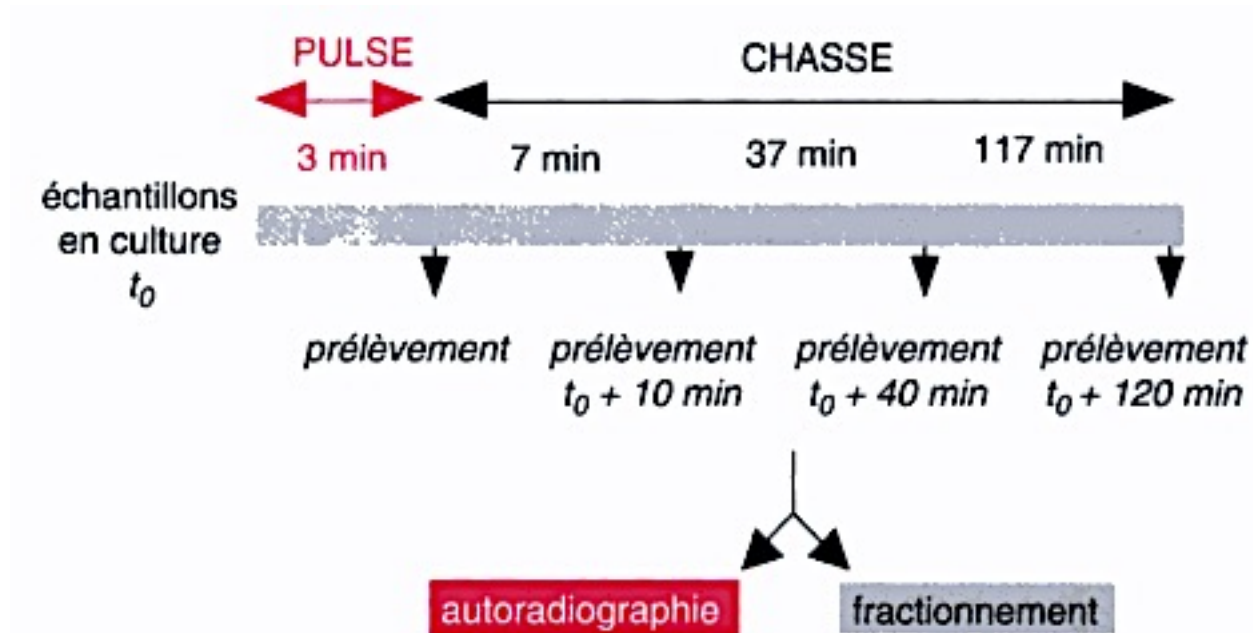
- un canal de fuite à K^+
- une pompe $Na^+/K^+/ATPase$
- une perméase à fructose
- un symport $Na^+/glucose$ de type SGLT
- un antiport Na^+/Ca^{2+}

3. La déformation des membranes et le transfert de matière

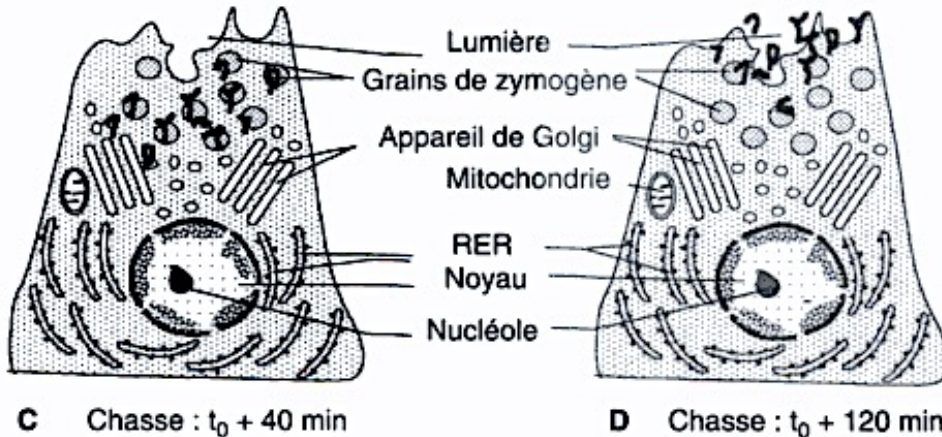
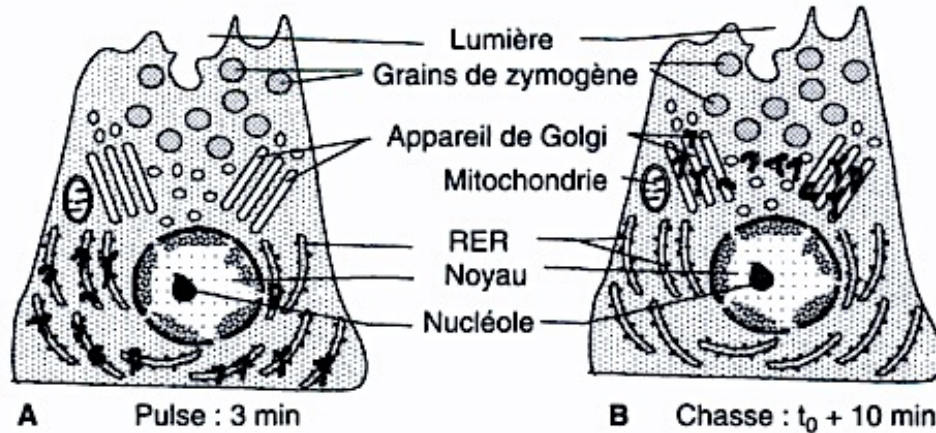
3.1. Des flux de membrane dans la cellule

L'expérience de Palade : pulse et chasse

Sur une cellule acineuse du pancréas exocrine

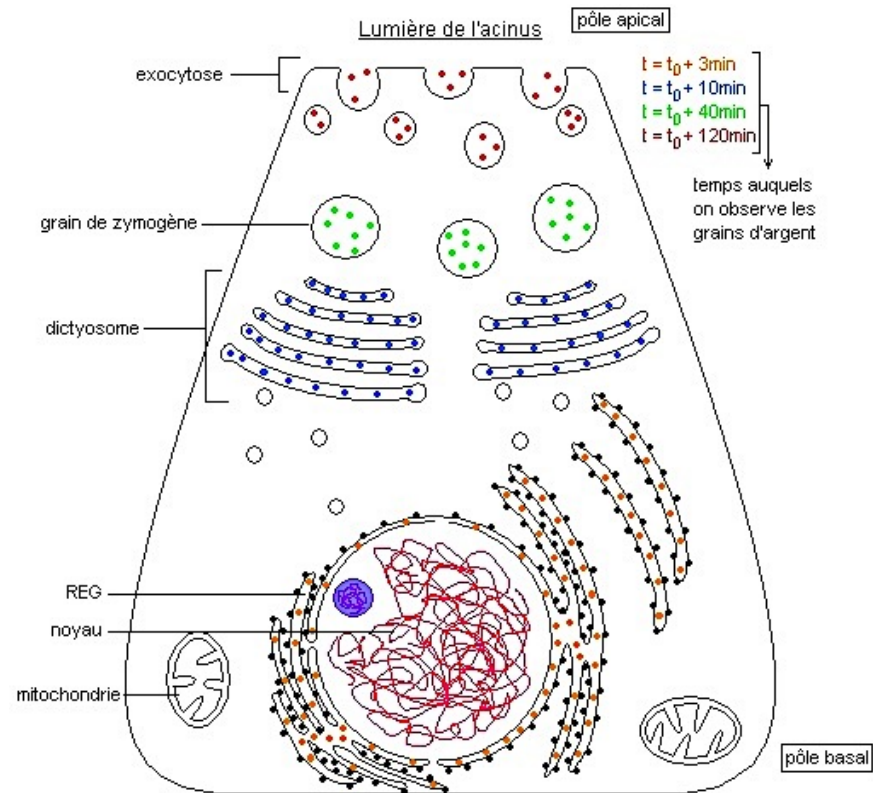
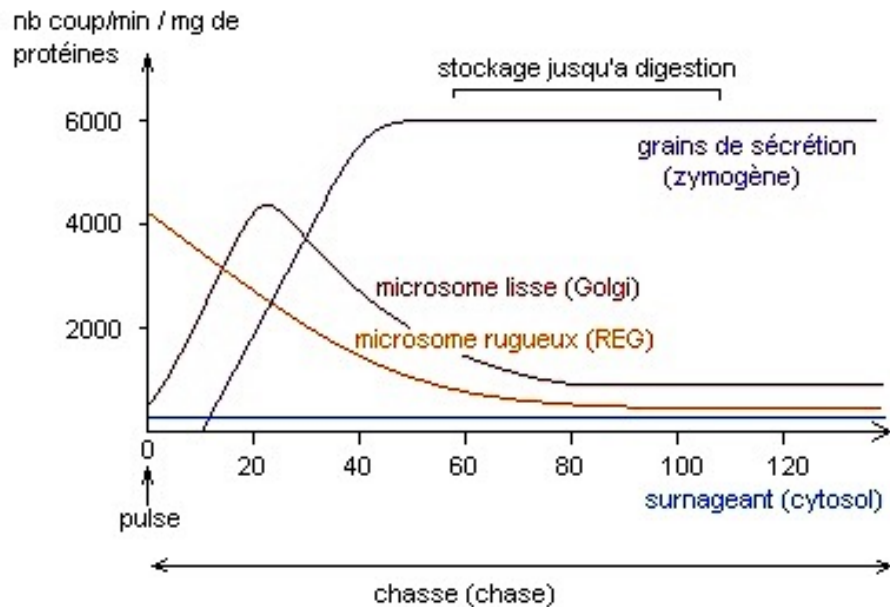


Expérience de Palade



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).

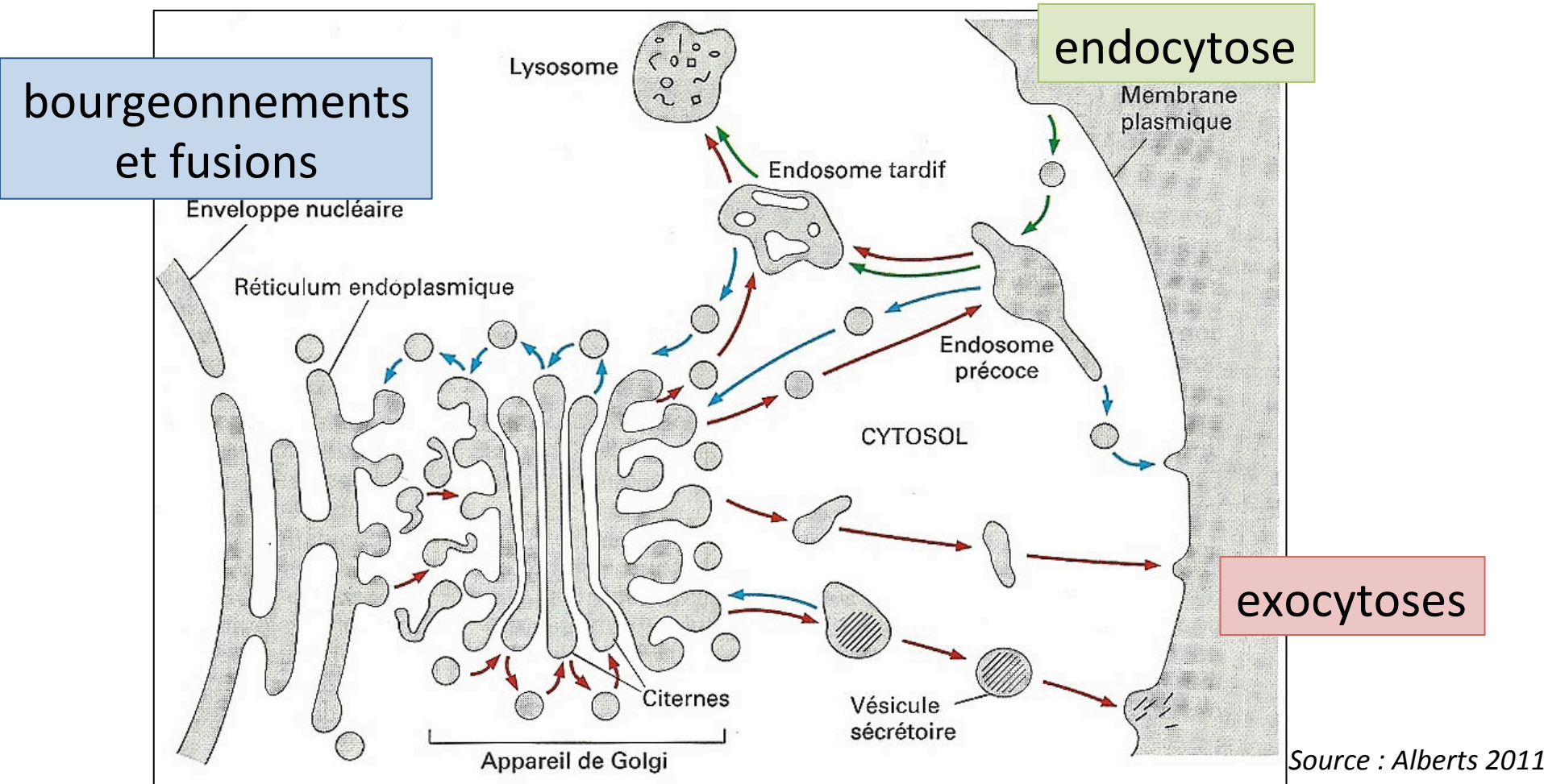
Résultats



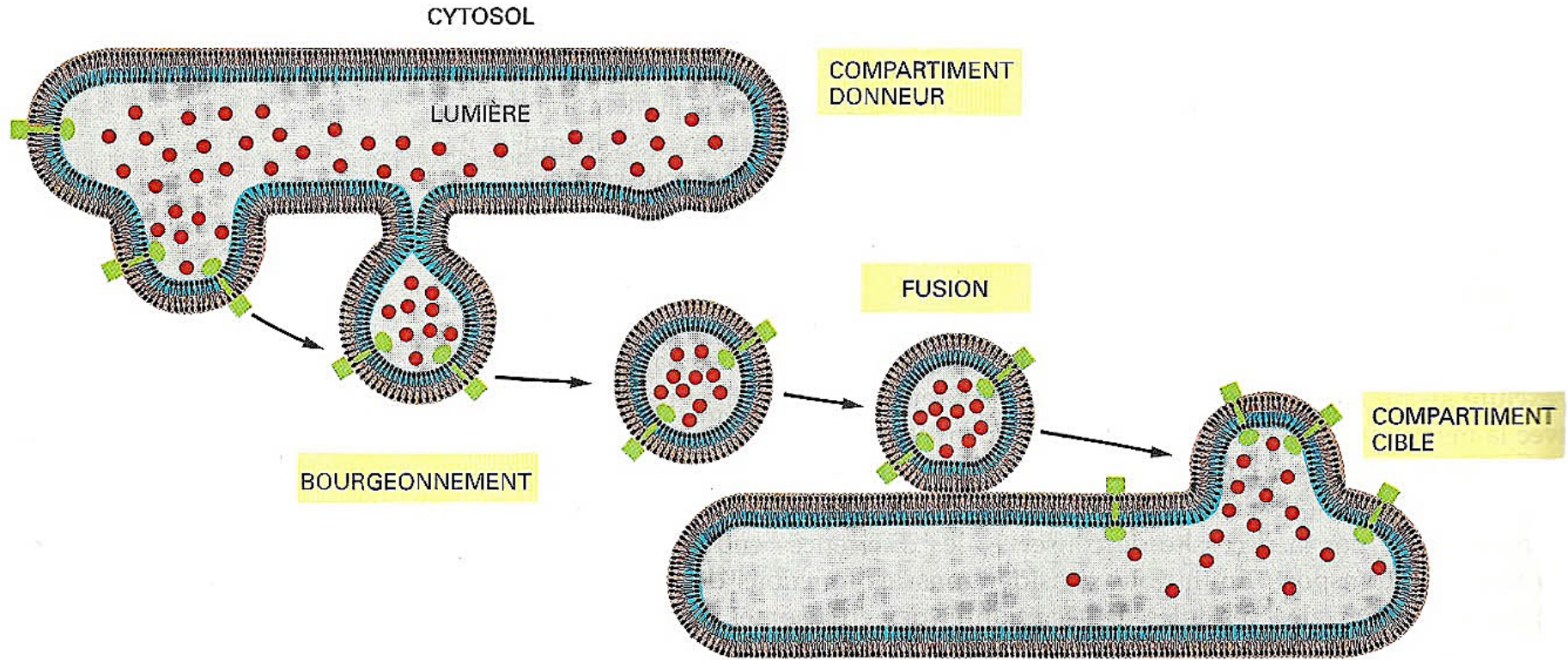
Résultats de l'expérience (schéma)

Notion de cellule polarisée

Des flux de membrane dans la cellule



Des bourgeonnements et fusions de membrane

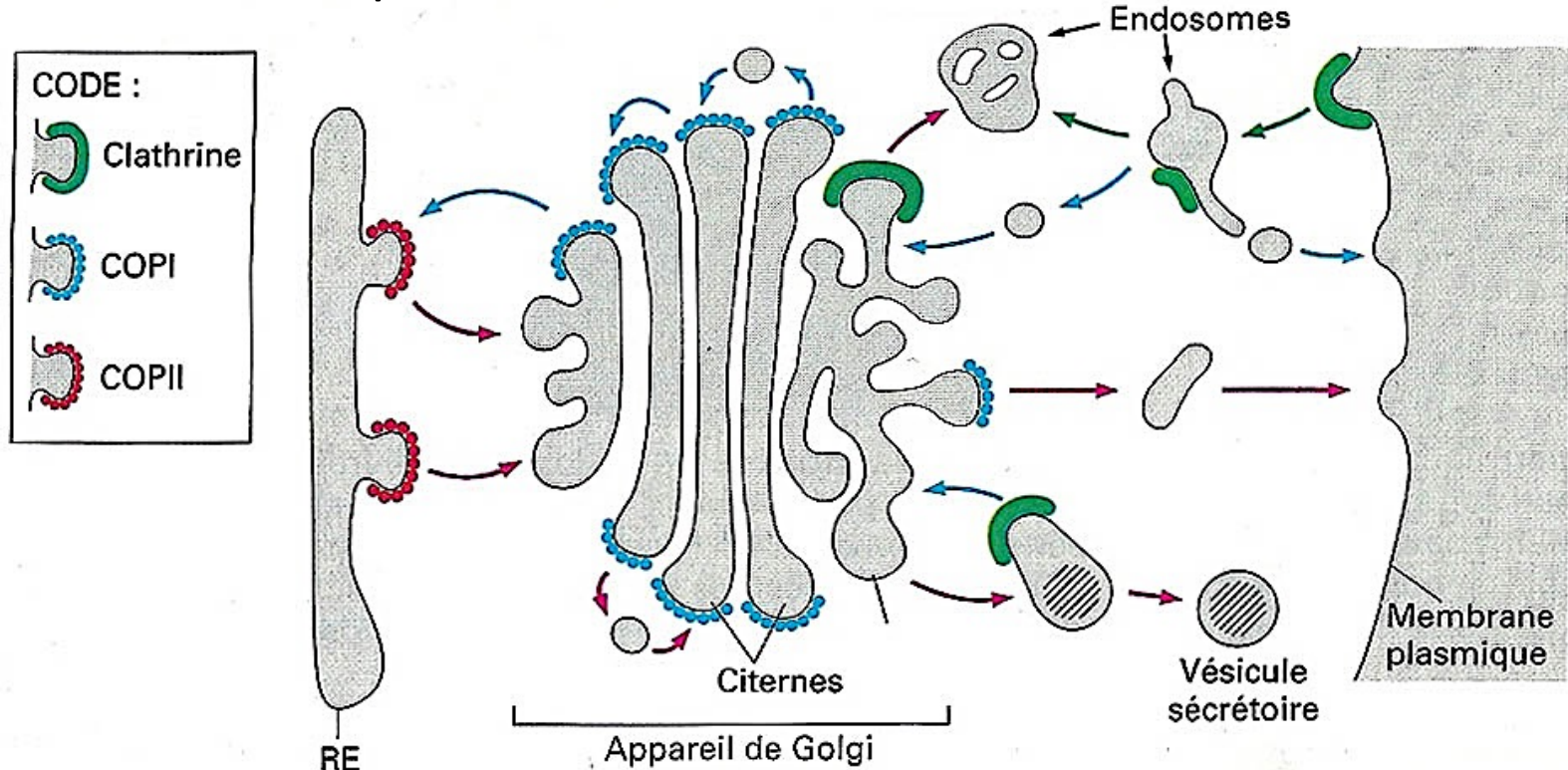


3. La déformation des membranes et le transfert de matière

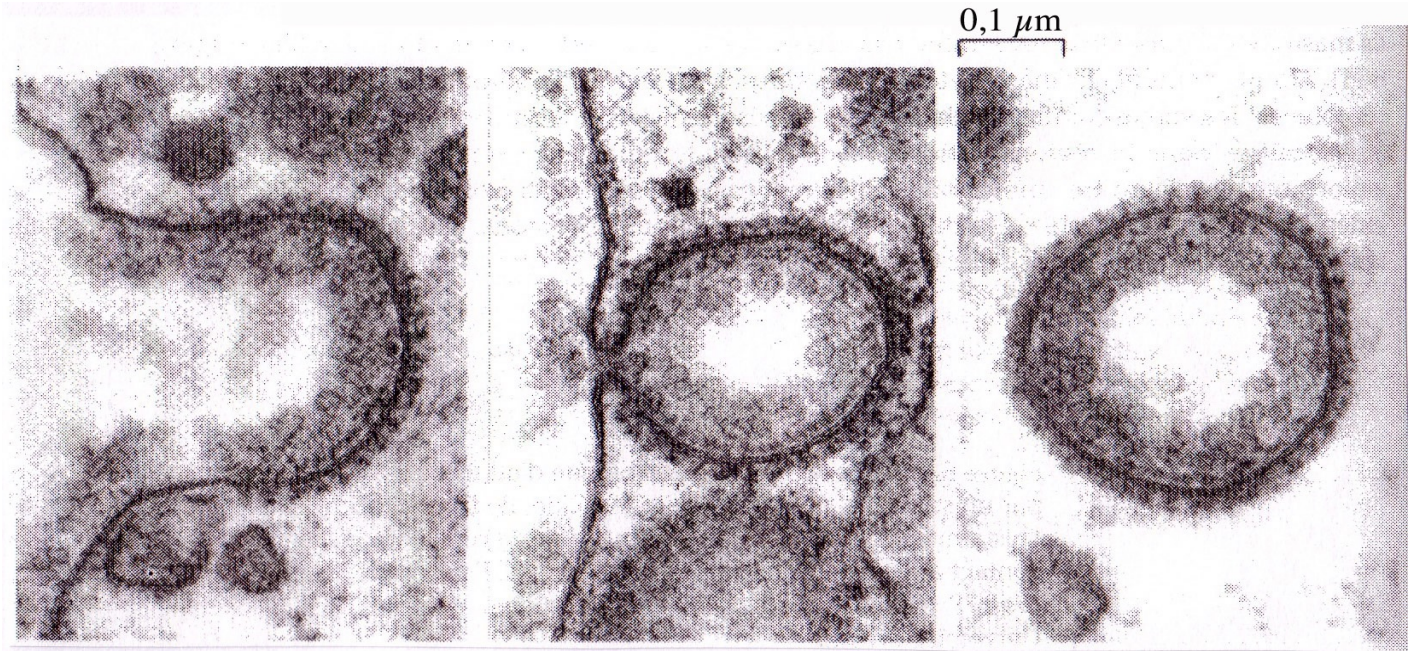
3.2. La formation de vésicules par endocytose et bourgeonnement

Formation de vésicules

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



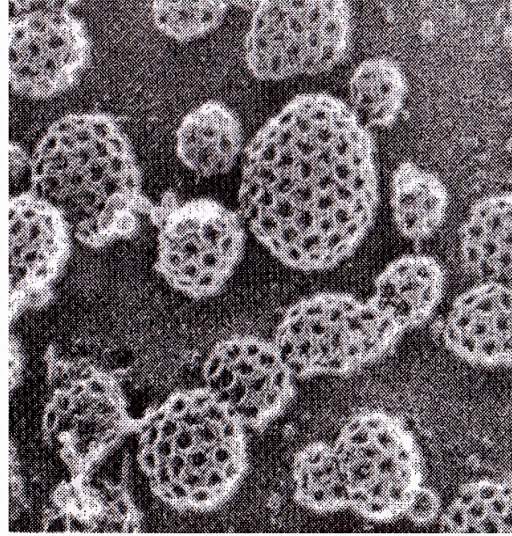
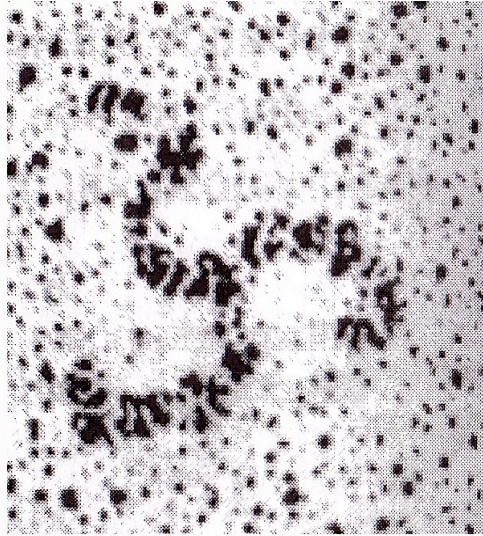
Exemple de l'endocytose



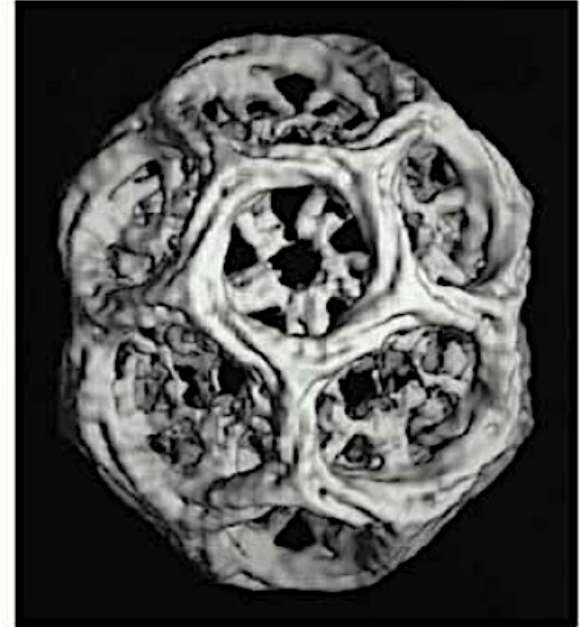
*Electronographies montrant la chronologie d'une endocytose.
Le milieu extracellulaire se situe à gauche sur les clichés.*

La clathrine, une protéine périphérique

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



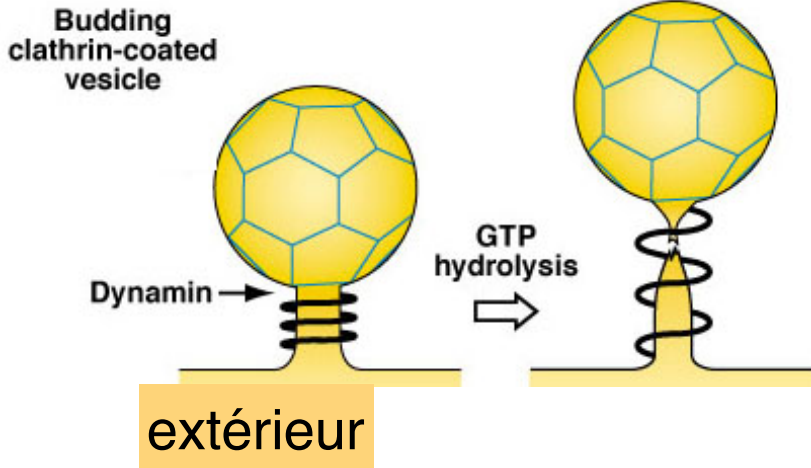
0,2 μm



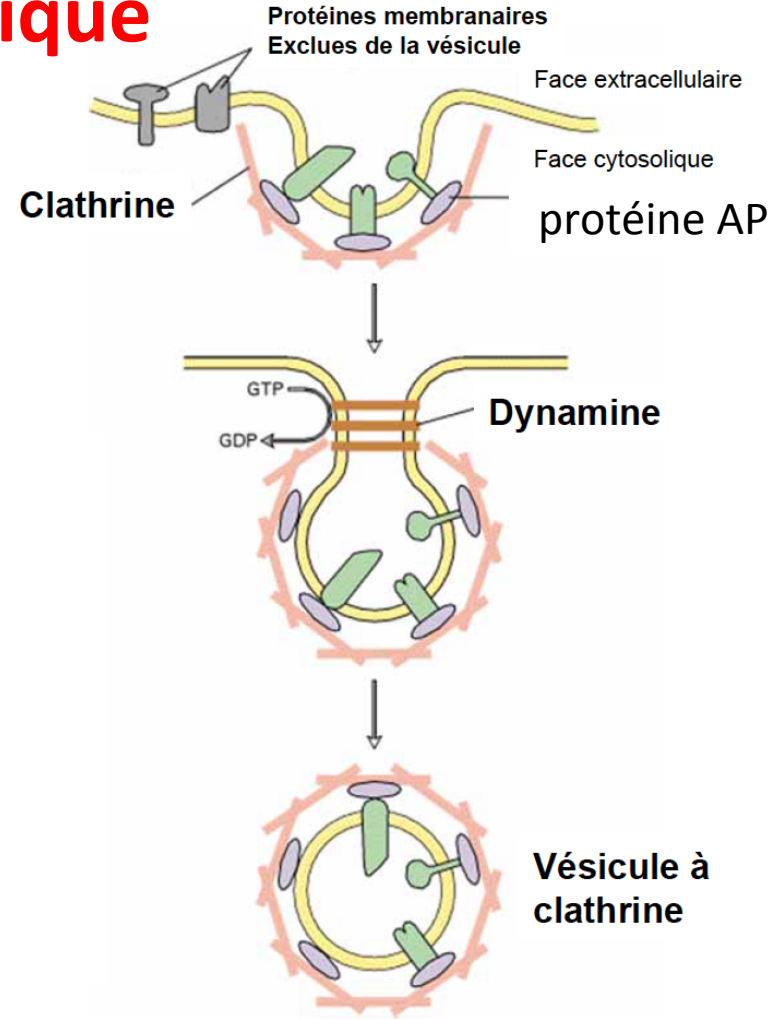
(C)

50 nm

Une endocytose spécifique



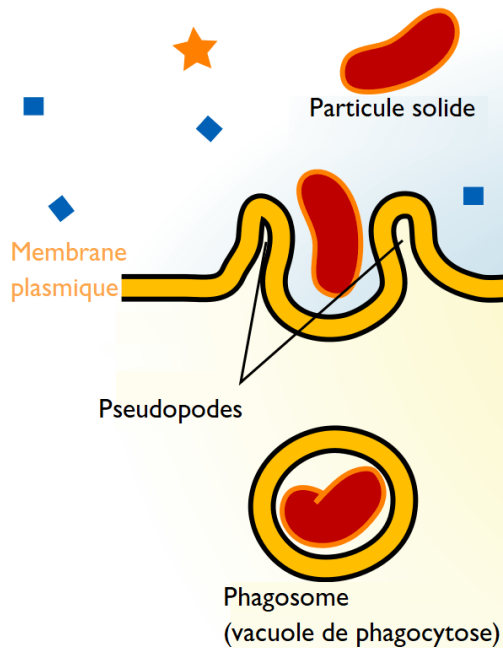
Fission membranaire par la dynamine + GTP



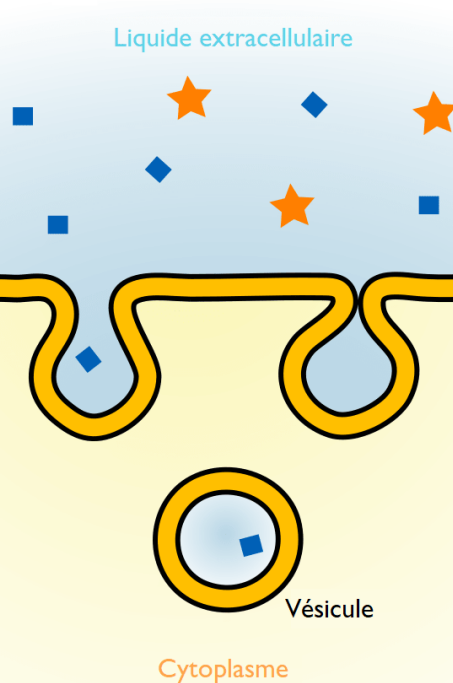
Des cas particuliers

Schéma de l'endocytose

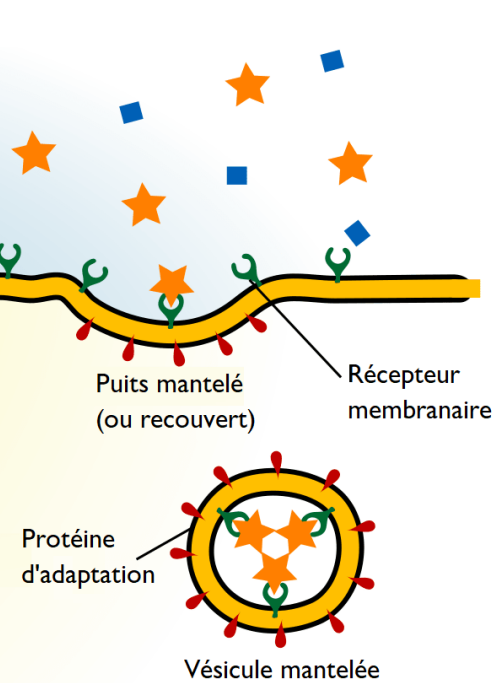
Phagocytose



Pinocytose



Endocytose à récepteur



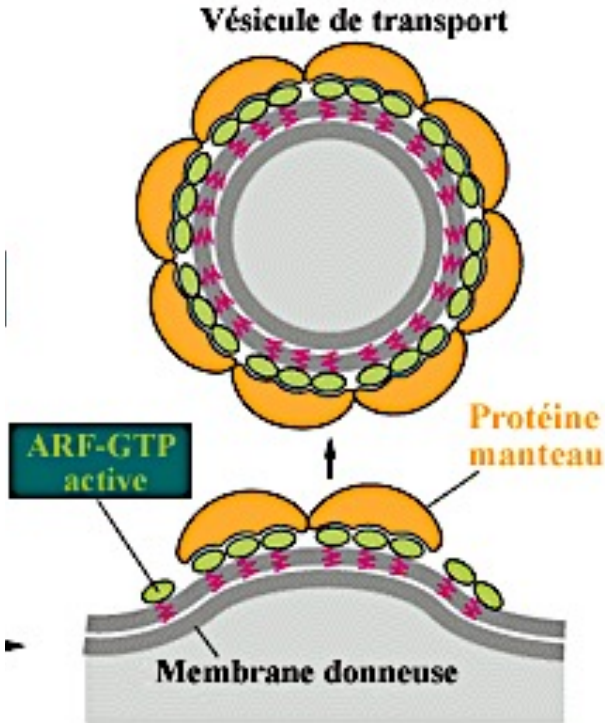
Des cas particuliers

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

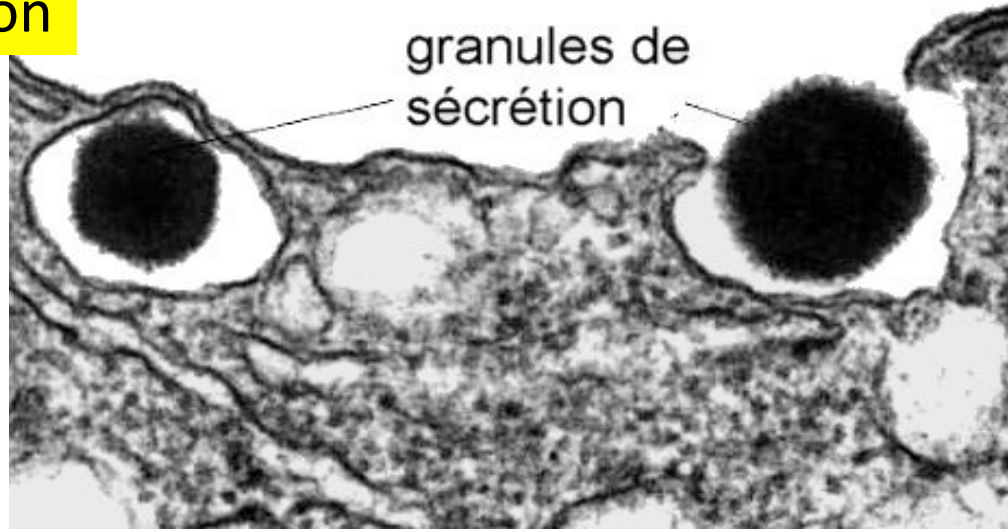
- ARF sert de protéine d'assemblage comme AP
- COP (coat-protein) = protéine manteau est l'équivalent de la clathrine

3. La déformation des membranes et le transfert de matière

3.3. La fusion des membranes et l'exocytose

L'exocytose, fusion membranaire

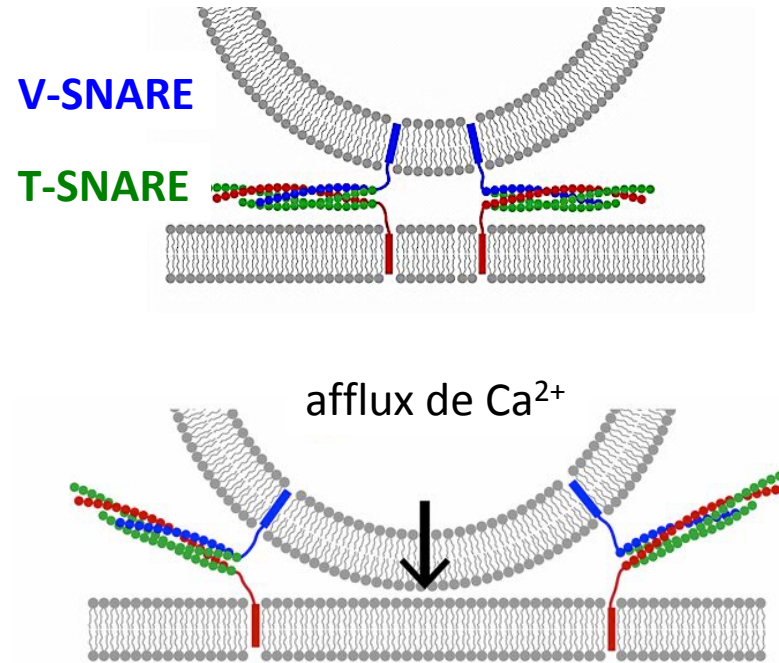
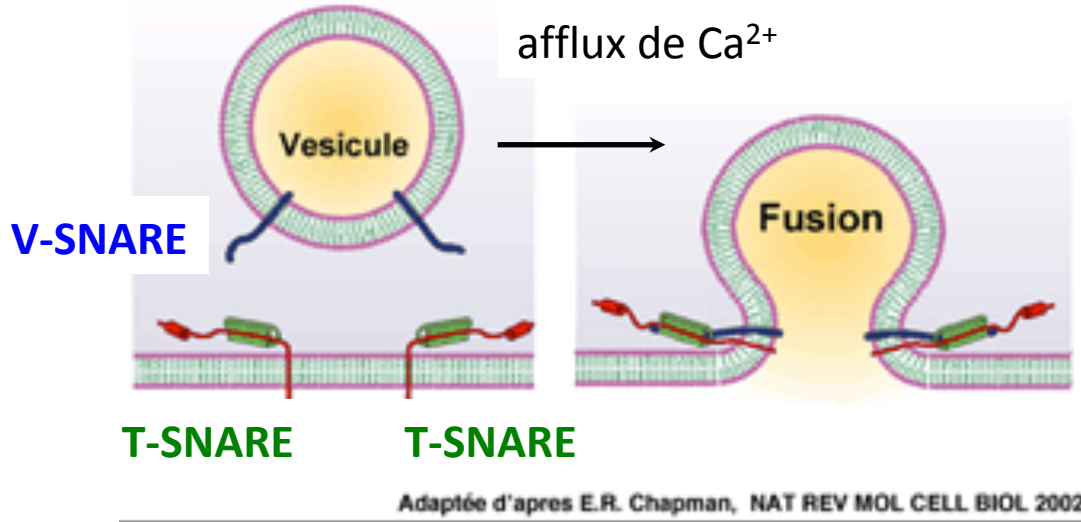
1) Observation



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 Ca^{2+} .

Un arrimage et une fusion forcée par Ca^{2+}

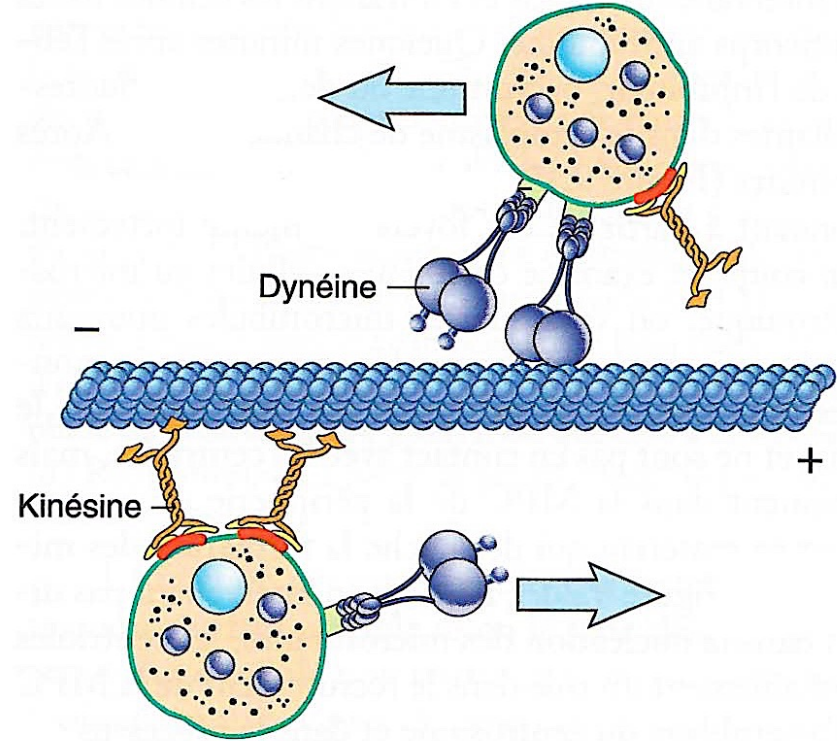
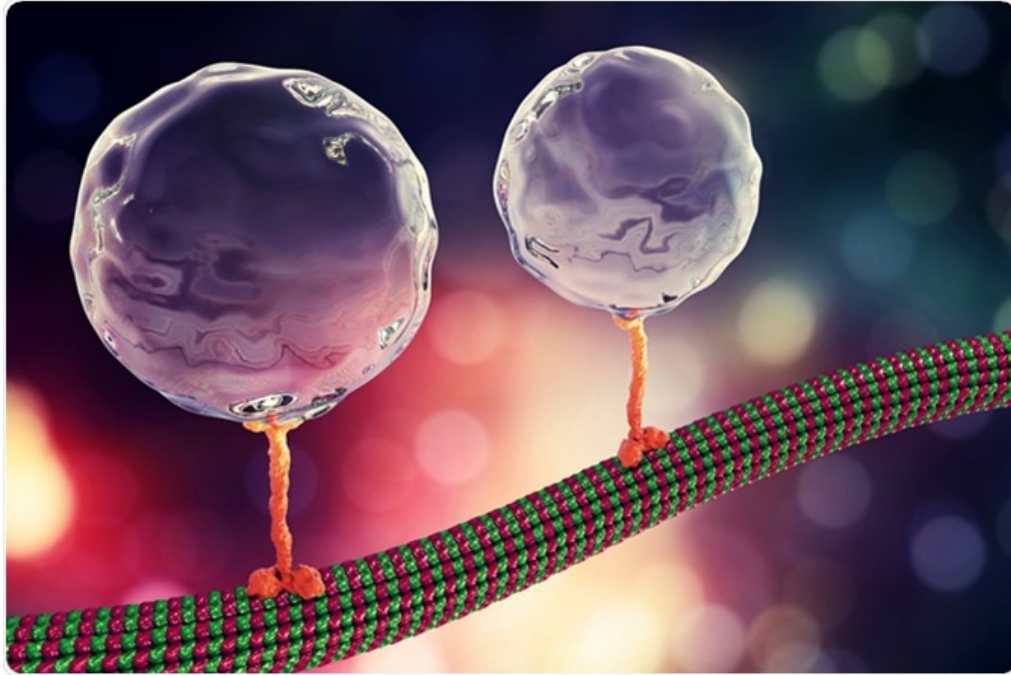


Exocytose constitutive ou régulée (signal augmentant le taux de Ca^{2+})

3. La déformation des membranes et le transfert de matière

3.4. Le déplacement des vésicules

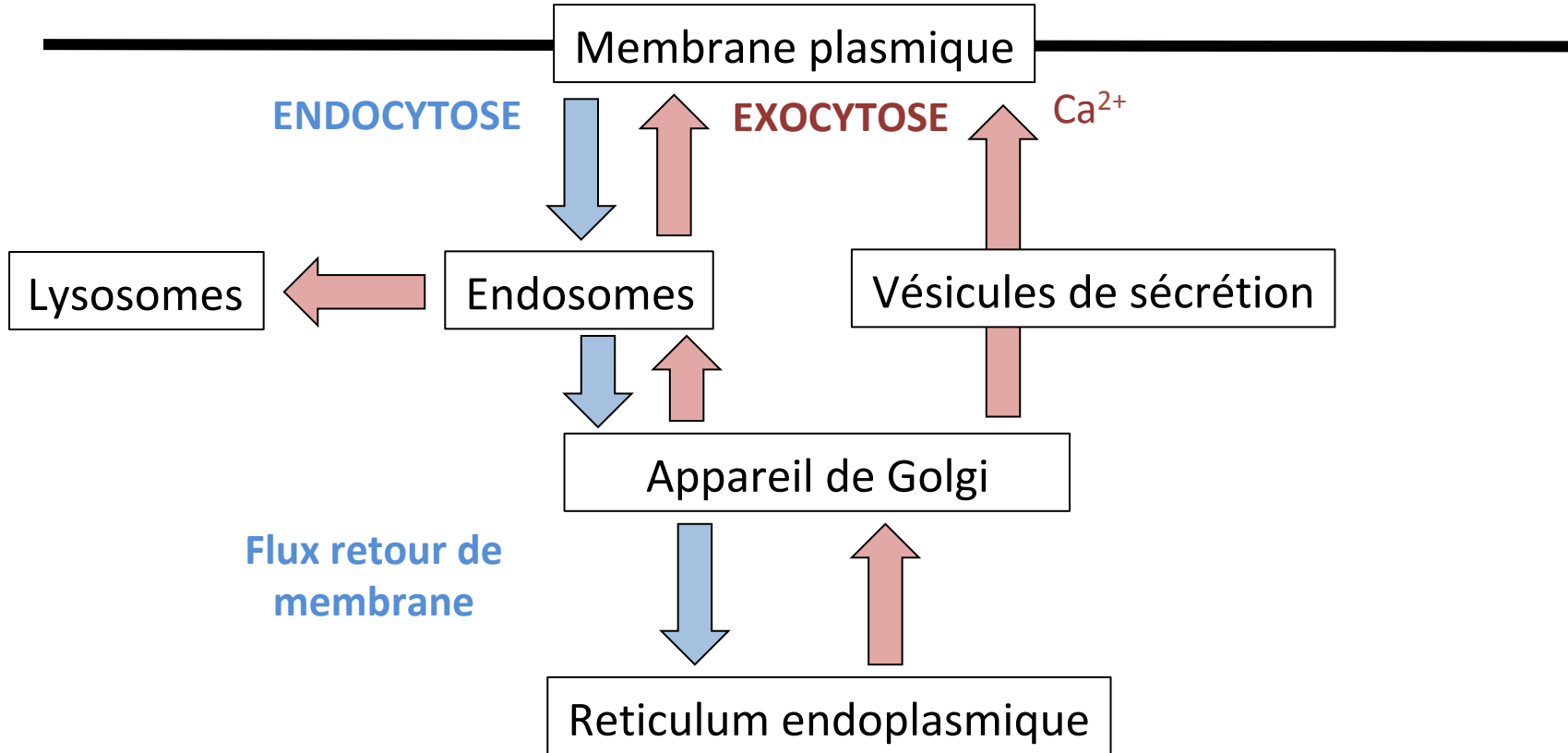
Le déplacement des vésicules



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...