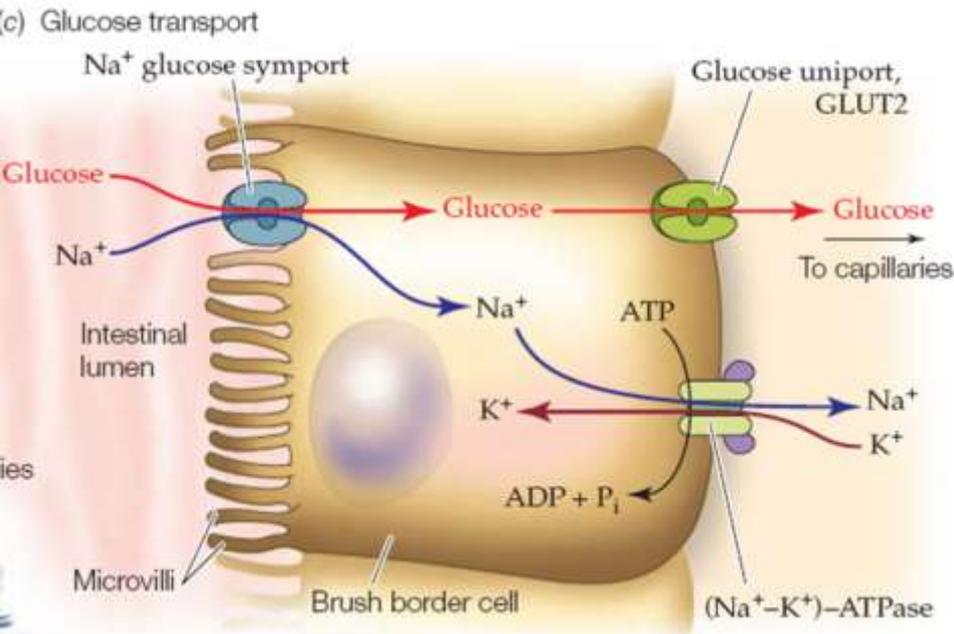
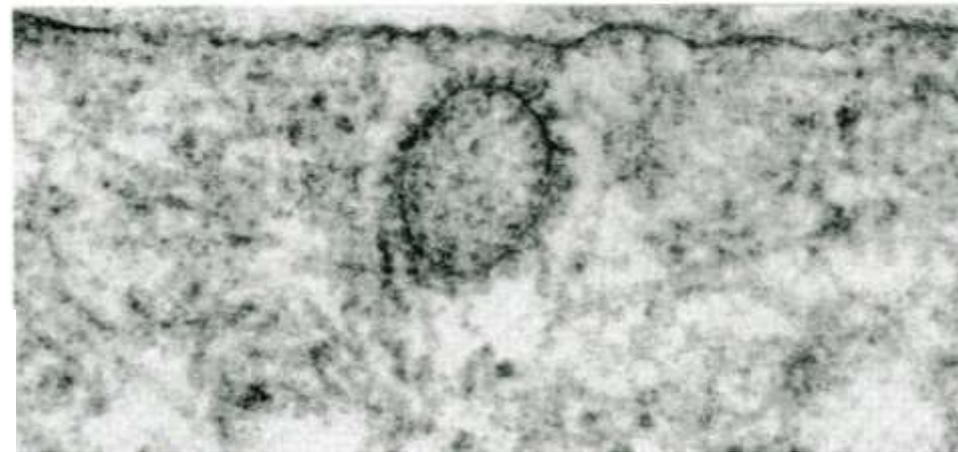
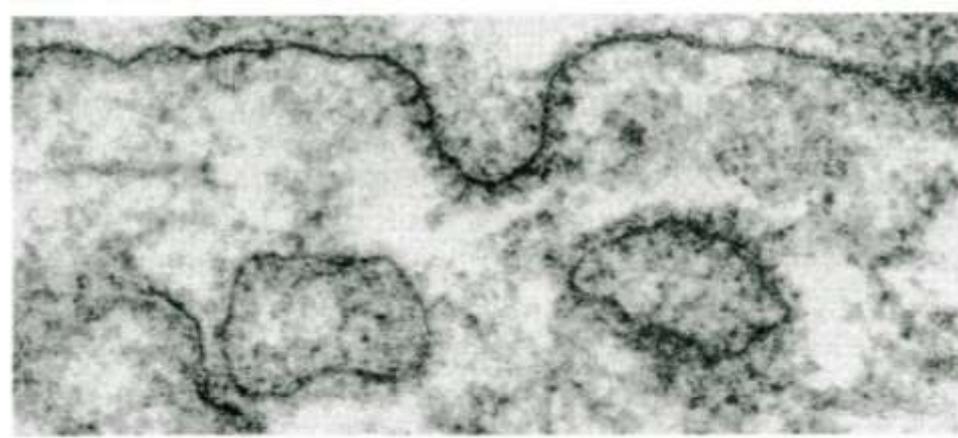


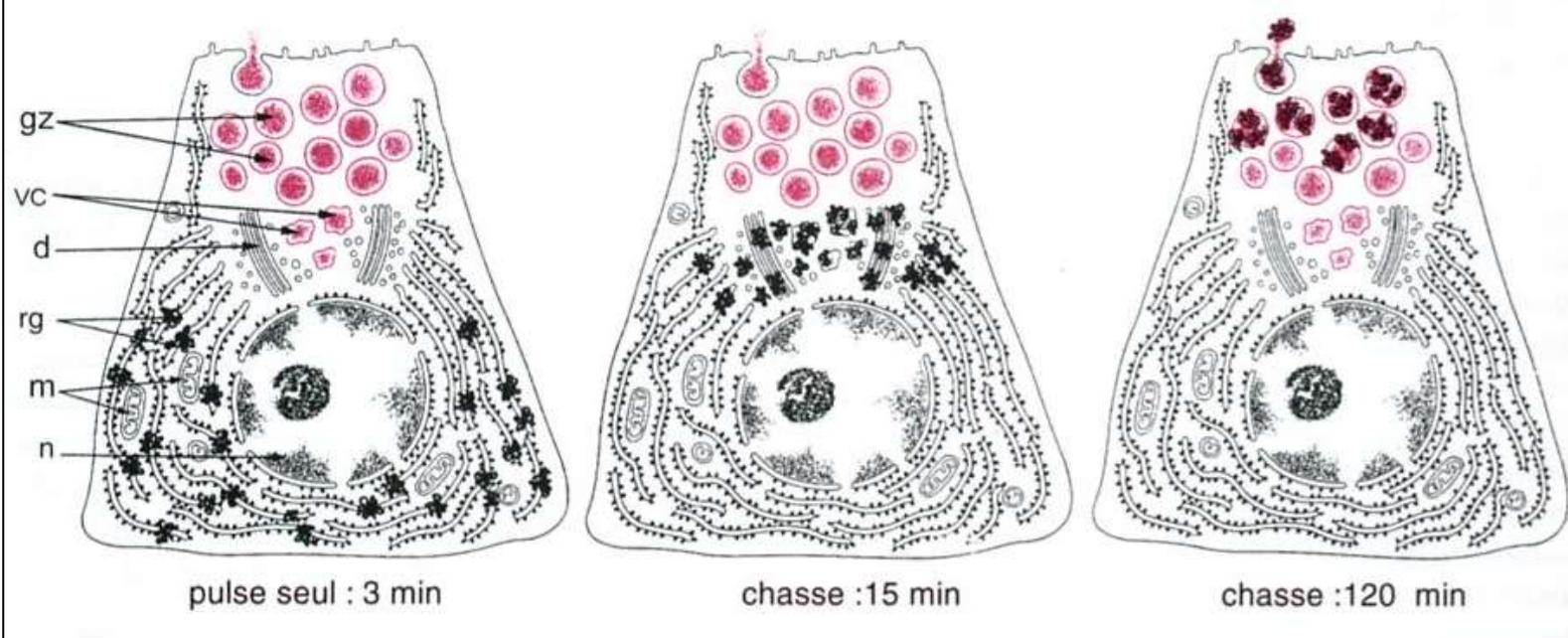
SV – C :

La cellule dans son environnement

Chapitre SV – C – 3 :

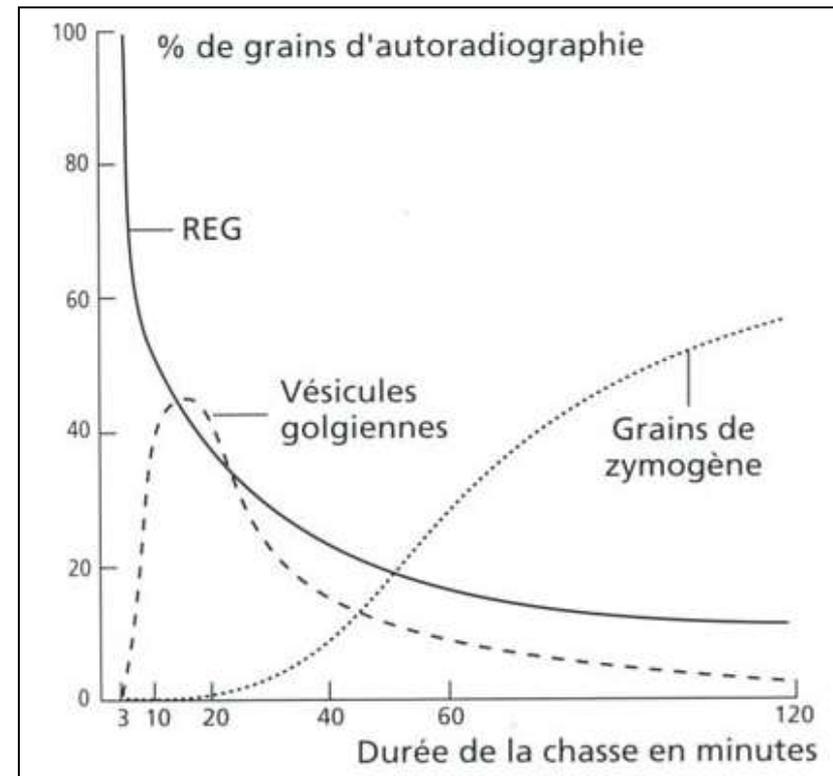
Membranes et échanges membranaires



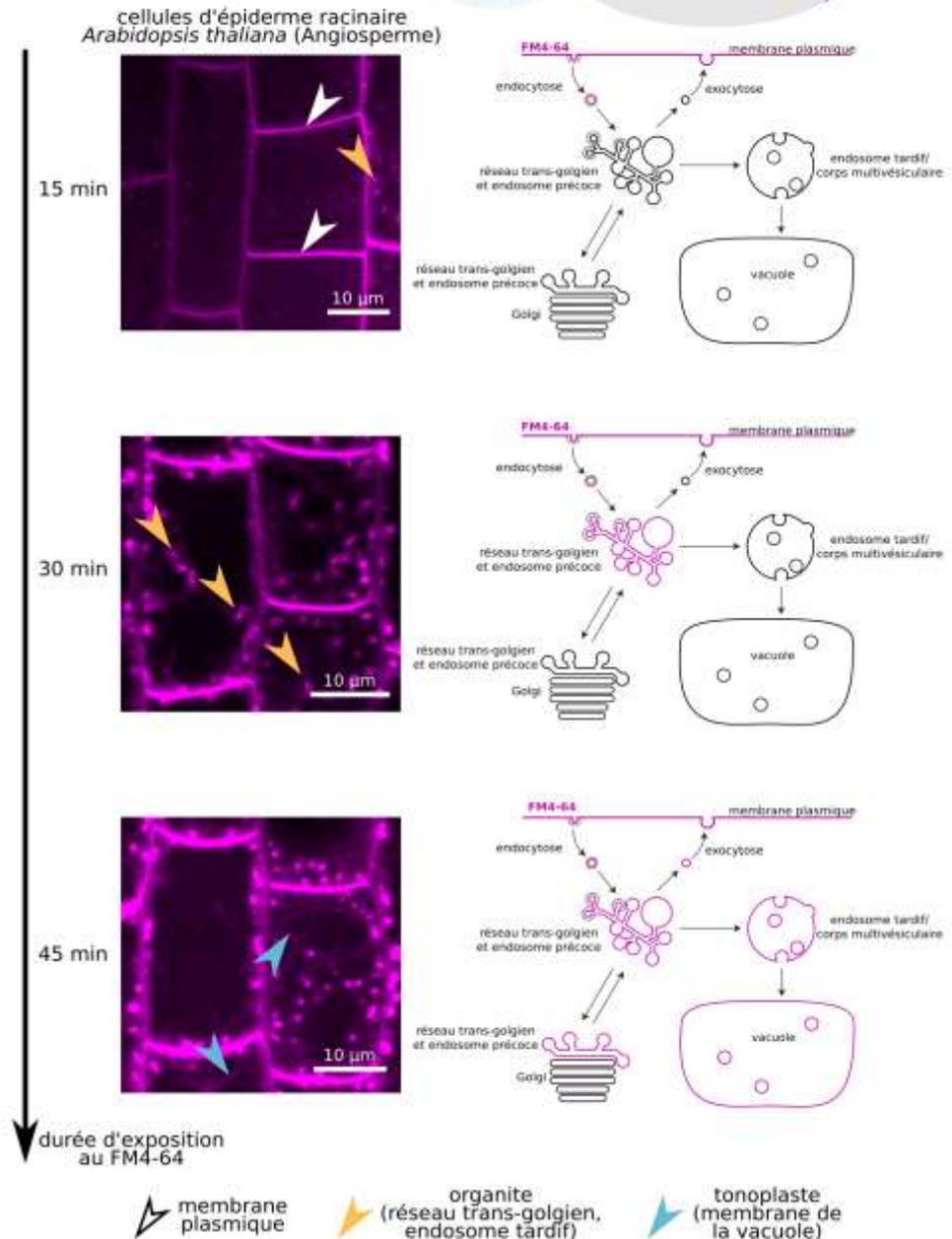
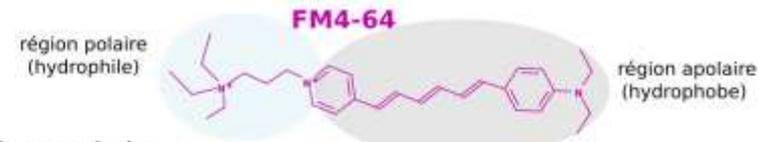


Expérience de Palade : flux de matière et de membrane dans la cellule acineuse pancréatique

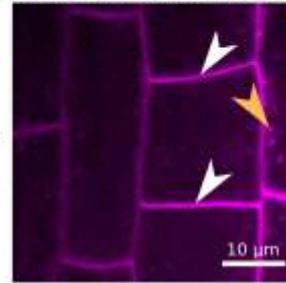
(CALLEN JC, " Biologie cellulaire : des molécules aux organismes ", Dunod Ed., 1999).



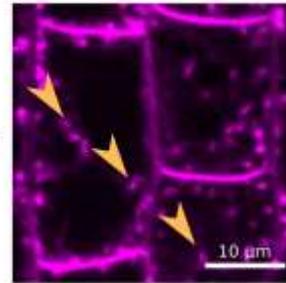
Mise en évidence d'échanges entre membranes dans des cellules d'épiderme racinaire chez *Arabidopsis thaliana*



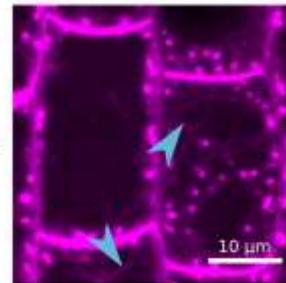
15 min



30 min



45 min



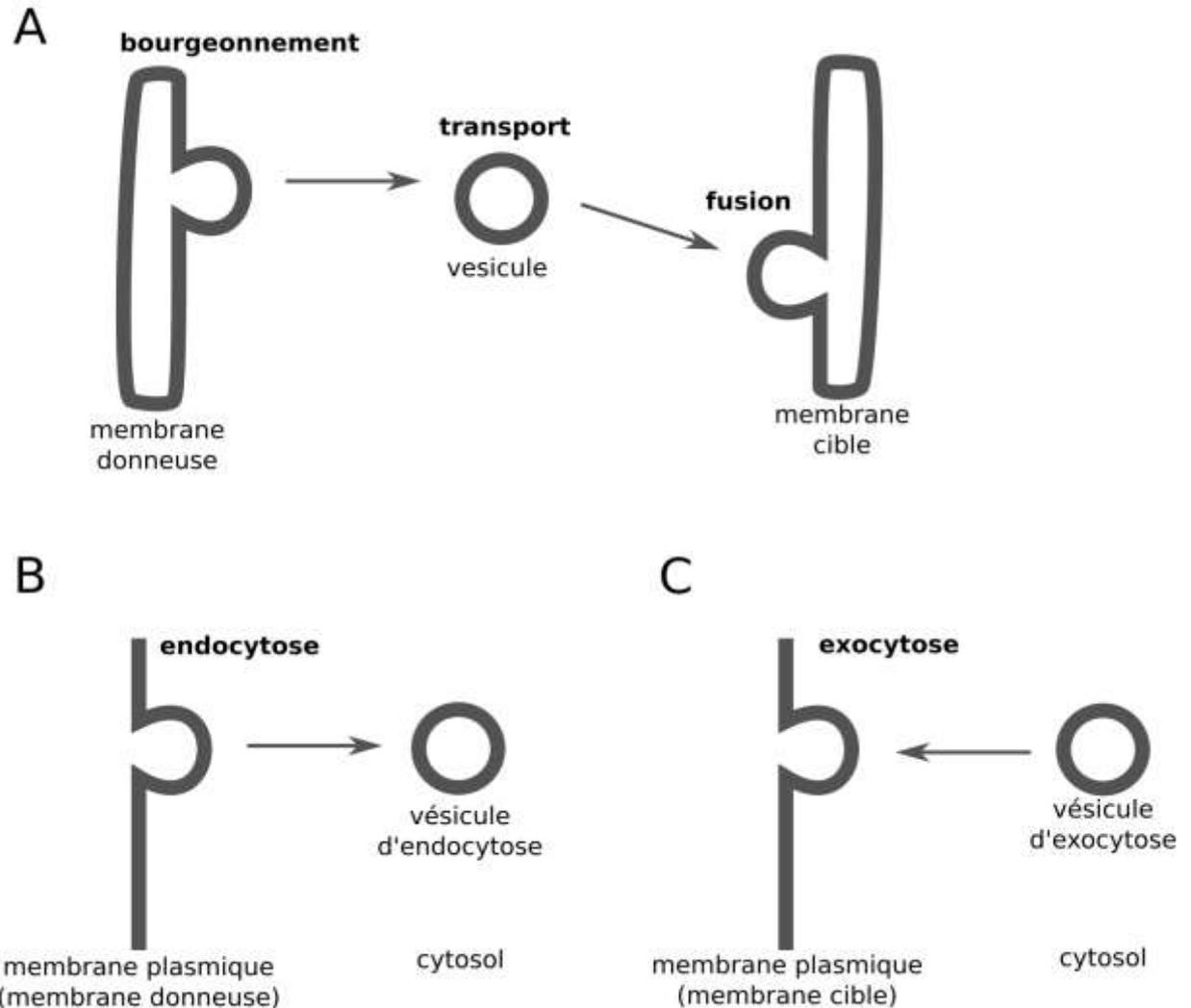
<https://planet-vie.ens.fr/thematiques/cellules-et-molecules/membranes/les-membranes-biologiques-des-structures-dynamiques>

Document 1. Étapes du transport vésiculaire.

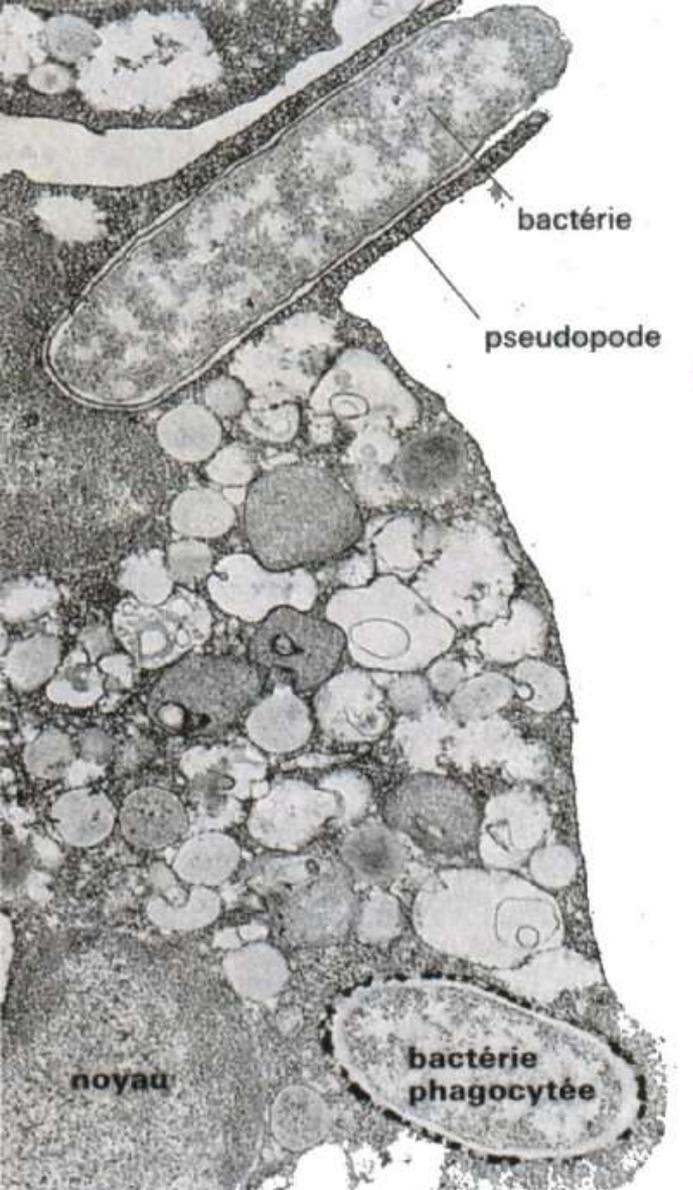
(A) Cas général.

(B) Endocytose :
bourgeonnement de la
membrane plasmique.

(C) Exocytose : fusion
avec la membrane
plasmique.

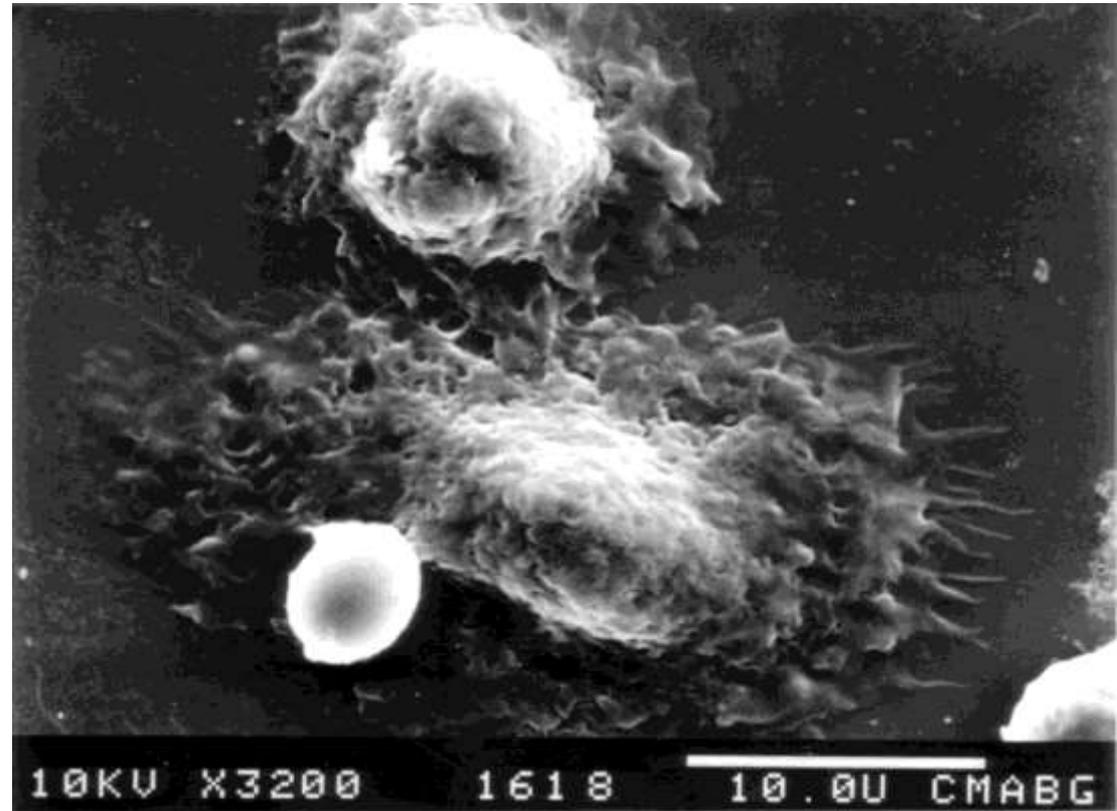


Des cellules spécialisées dans la phagocytose : les macrophages



Macrophage phagocytant une bactérie (MET x 18 000).

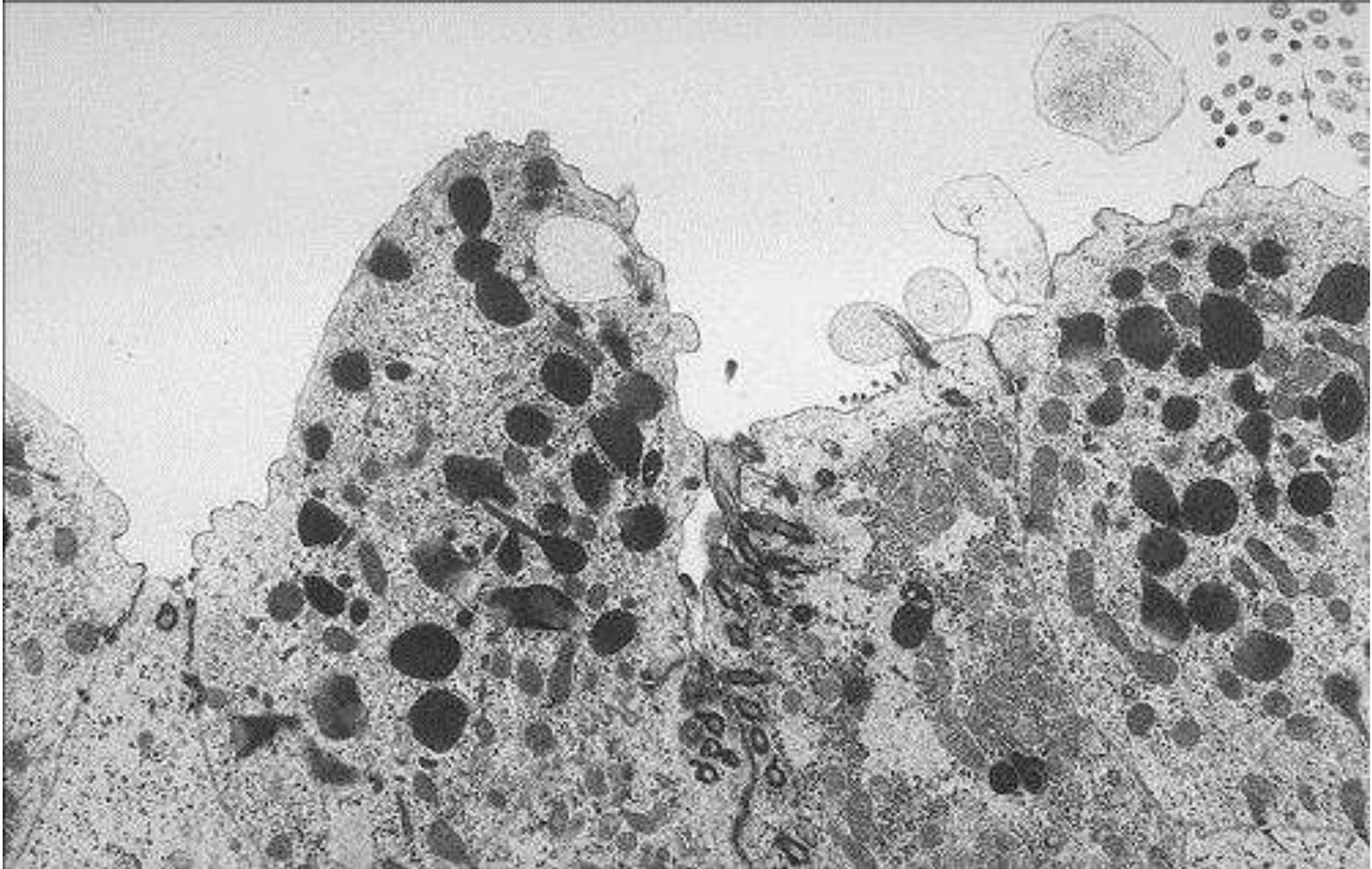
(Biologie Cellulaire - M. Maillet - Ed. Masson - 1981)



Deux macrophages et une levure vus en MEB.

(http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/biologie/photossq1/photos.php?RollID=images&FrameID=macrophage_levures1)

Des cellules qui sécrètent par bourgeonnement

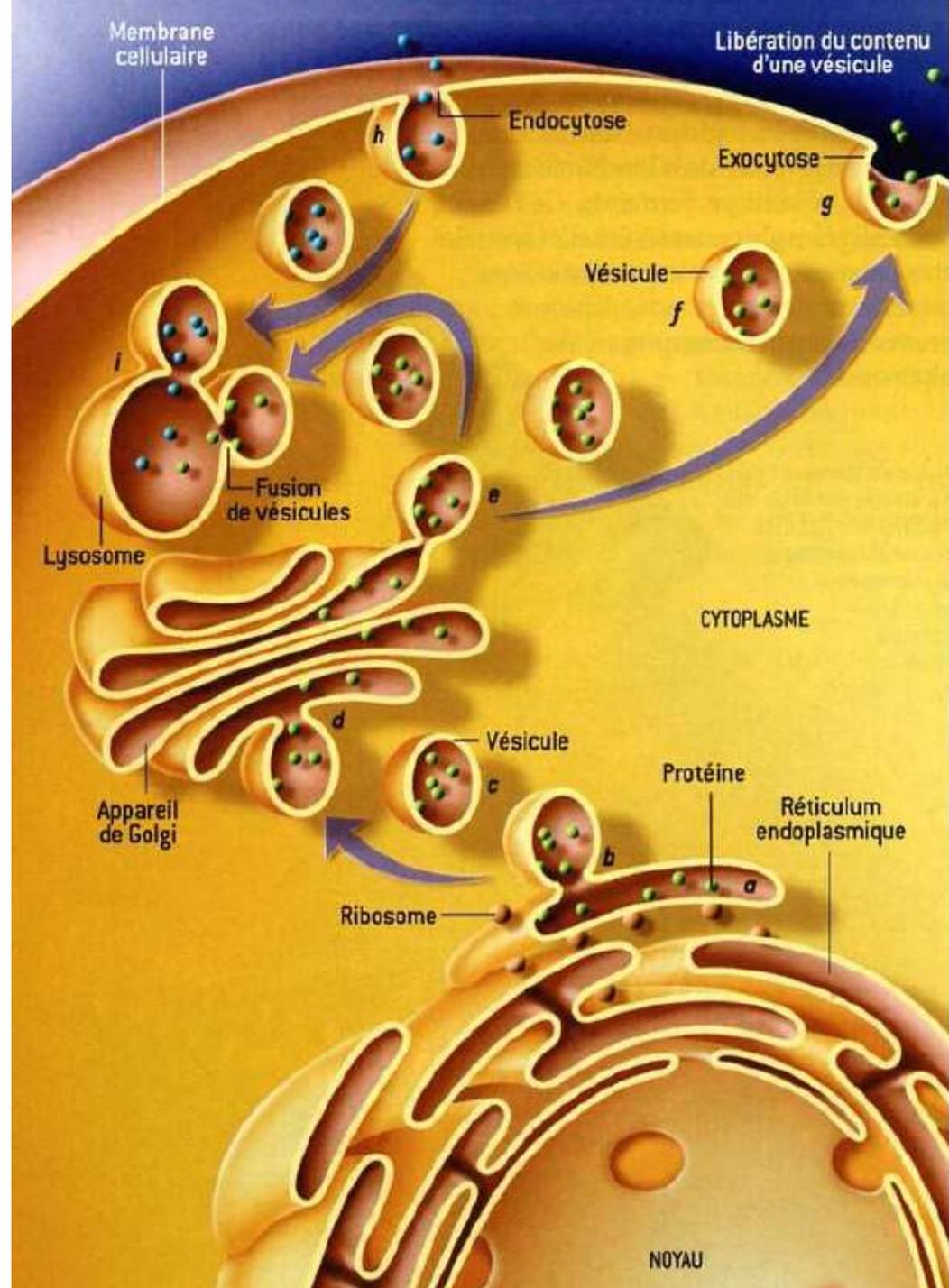


Cellules de la muqueuse respiratoire sécrétant des constituants du surfactant par bourgeonnement (MET).

(<http://www.isto.ucl.ac.be/safe/resp1.htm>)

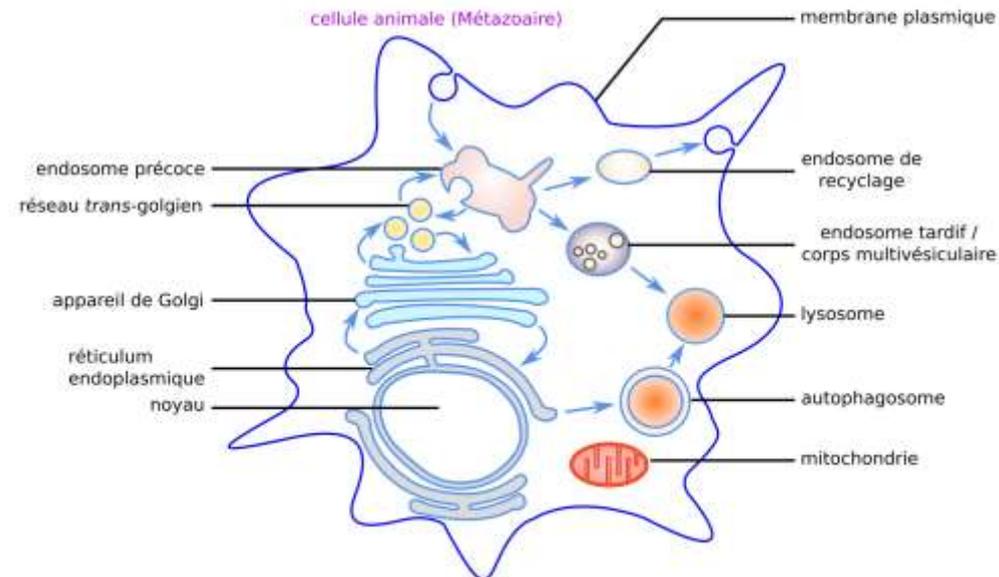
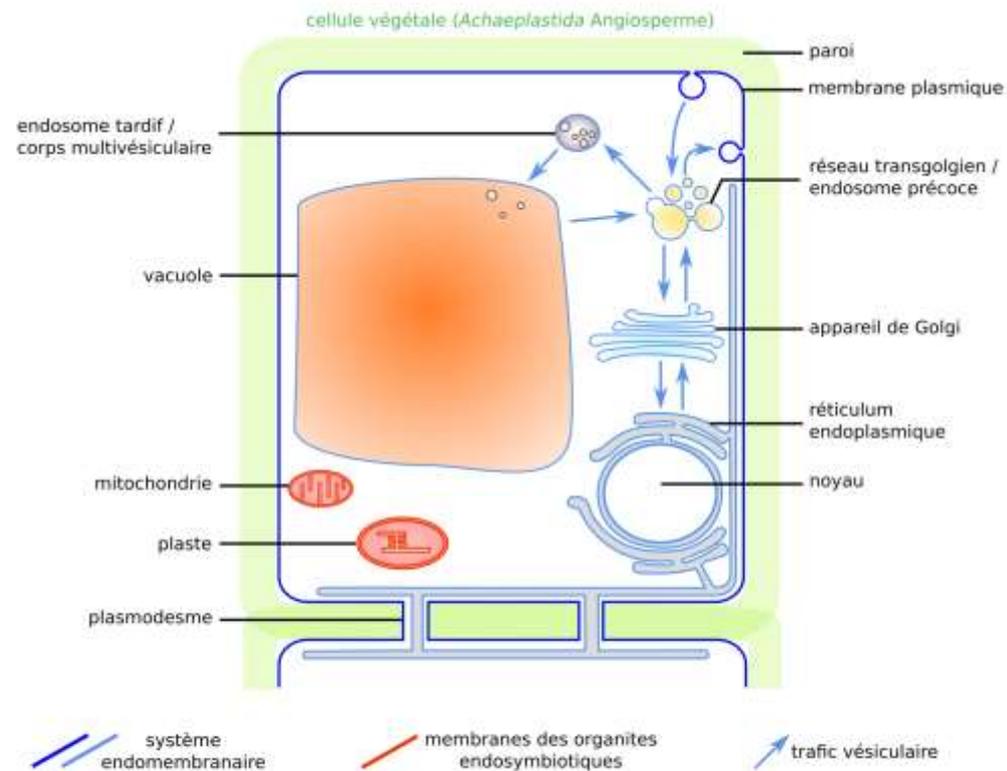
Endocytose et exocytose dans la cellule

PLS n°355 mai 2007



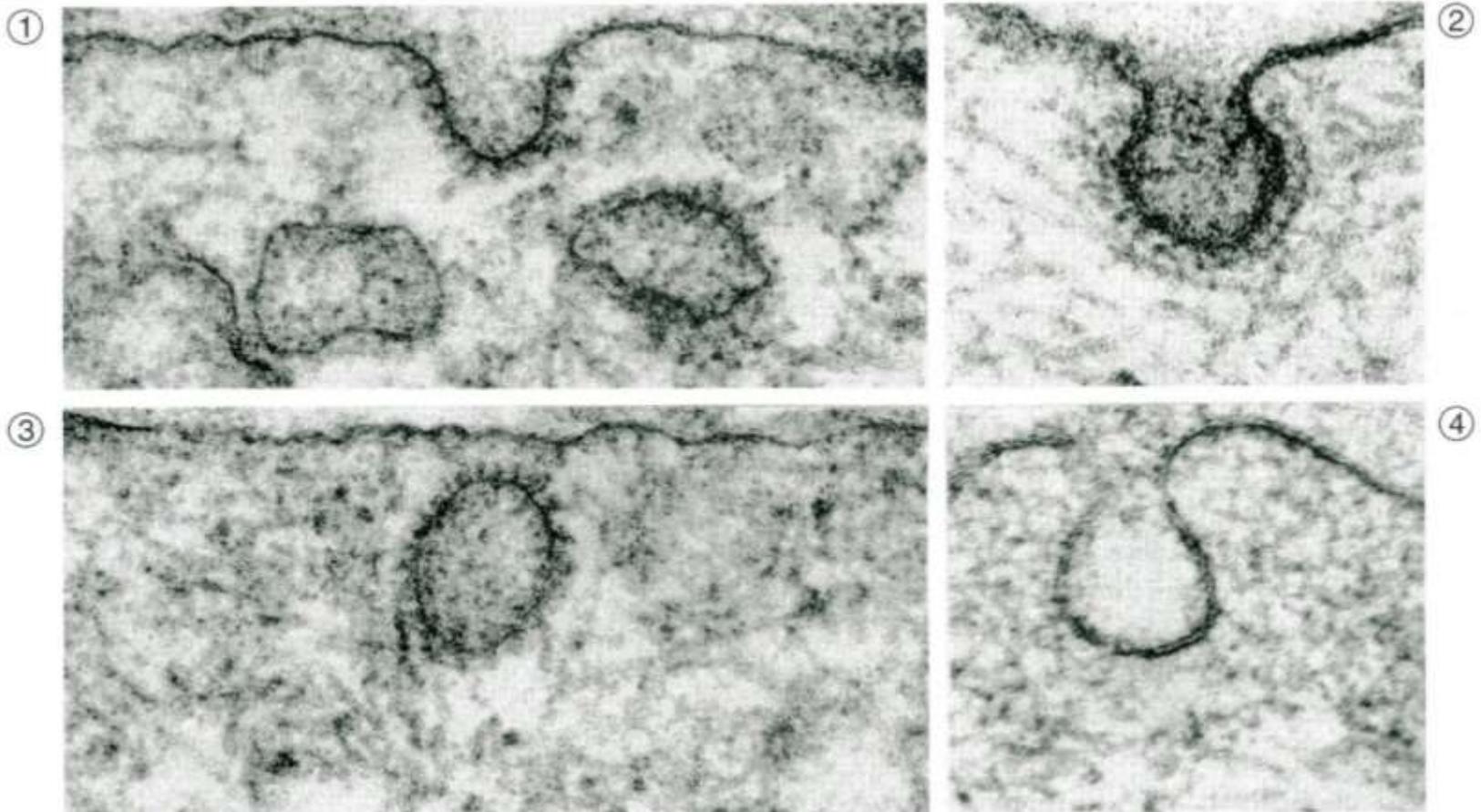
Document 2. Flux de membranes entre compartiments des cellules eucaryotes.

Cellule végétale (haut) et cellule animale (bas)



[Adapté de M. P. Platre and Y. Jaillais, “Guidelines for the Use of Protein Domains in Acidic Phospholipid Imaging.,” *Methods Mol. Biol.*, vol. 1376, pp. 175–94, Jan. 2016, doi: 10.1007/978-1-4939-3170-5_15].

<https://planet-vie.ens.fr/thematiques/cellules-et-molecules/membranes/les-membranes-biologiques-des-structures-dynamiques>



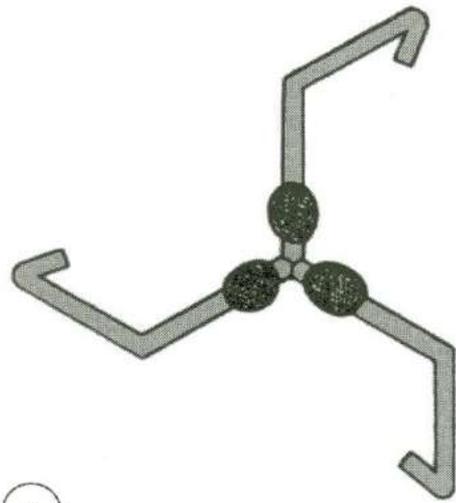
Document 3. M.E. illustrant le phénomène d'endocytose (x 100 000).

1 et 2 : vésicules d'endocytose en cours de pincement, recouvertes d'une enveloppe de clathrine.

3 : vésicule recouverte refermée, sous la membrane plasmique, avant qu'elle ait perdu son feutrage protéique.

4 : vésicule non recouverte de clathrine, à titre de comparaison.

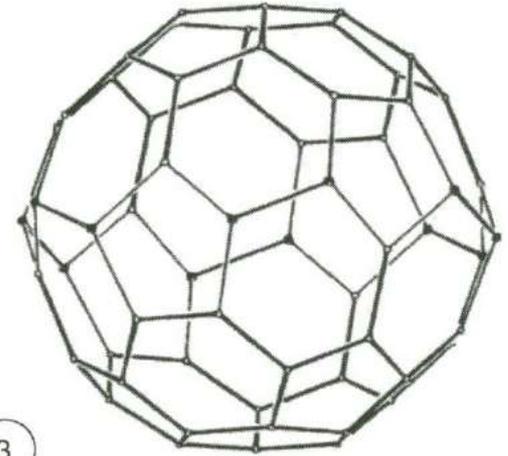
(CALLEN JC., " Biologie cellulaire : des molécules aux organismes " ; Dunod Ed., 1999).



1



2



3

Document 4. Schémas montrant l'organisation et le rôle de la clathrine.

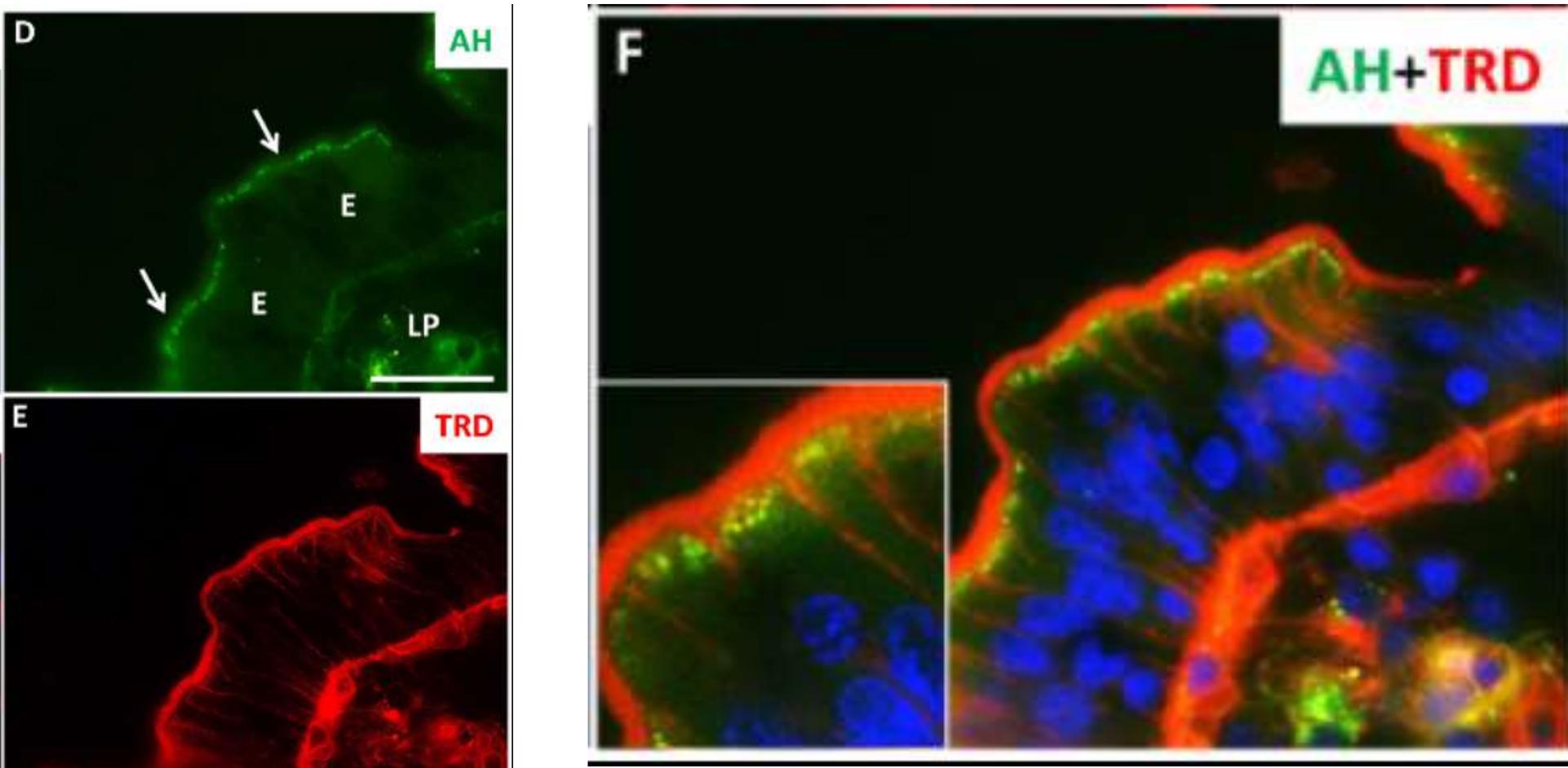
1 : structure tripartite d'une molécule de clathrine, formée de trois chaînes lourdes et de trois chaînes légères (triskélion).

2 : agencement des triskélions de clathrine pour former un réseau hexagonal plan.

3 : organisation d'une cage sphérique formée d'hexagones et de pentagones, comme celles qui englobent les vésicules d'endocytose.

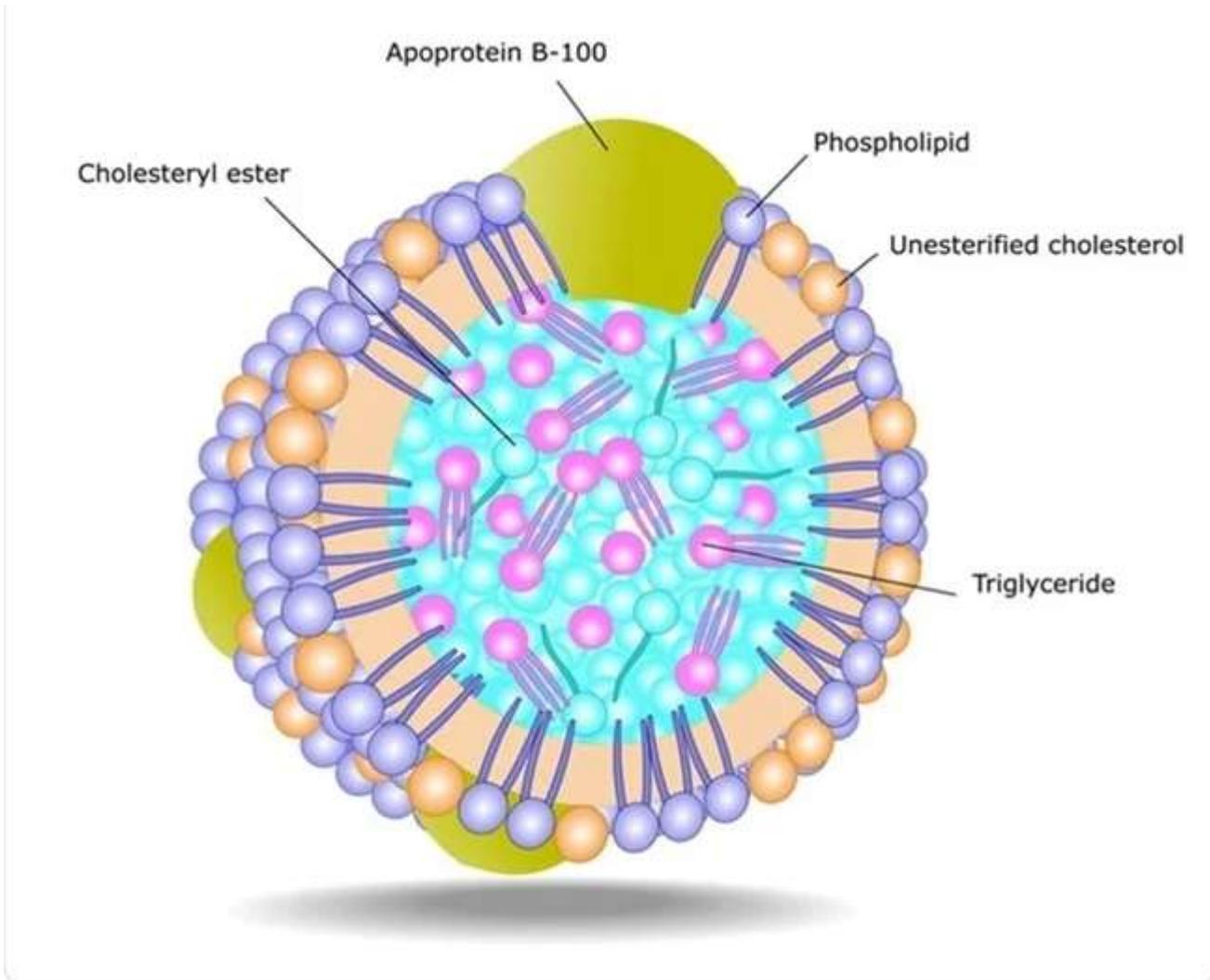
(CALLEN JC., " Biologie cellulaire : des molécules aux organismes " ; Dunod Ed., 1999).

Mise en évidence d'une pinocytose constitutive dans les entérocytes de porcs après sevrage

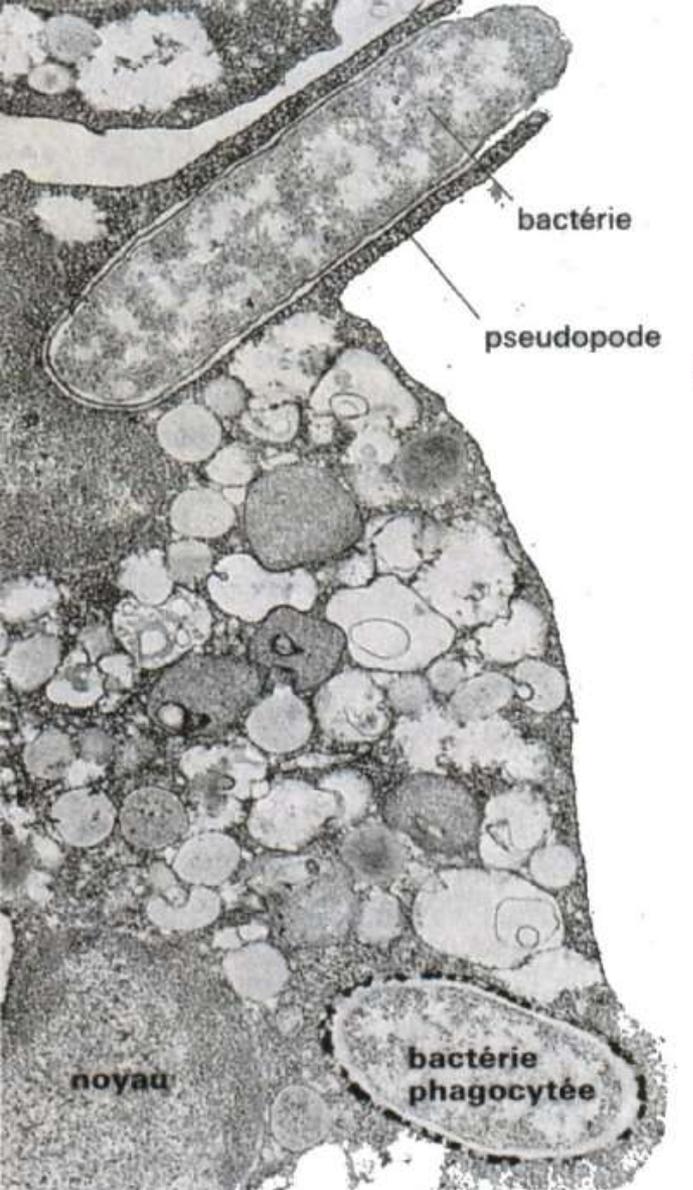


AH et TRD sont des molécules fluorescentes utilisées comme traceurs, respectivement de poids moléculaire 570 et 3000 kDa.

Les LDL, une des formes de transport du cholestérol dans le sang

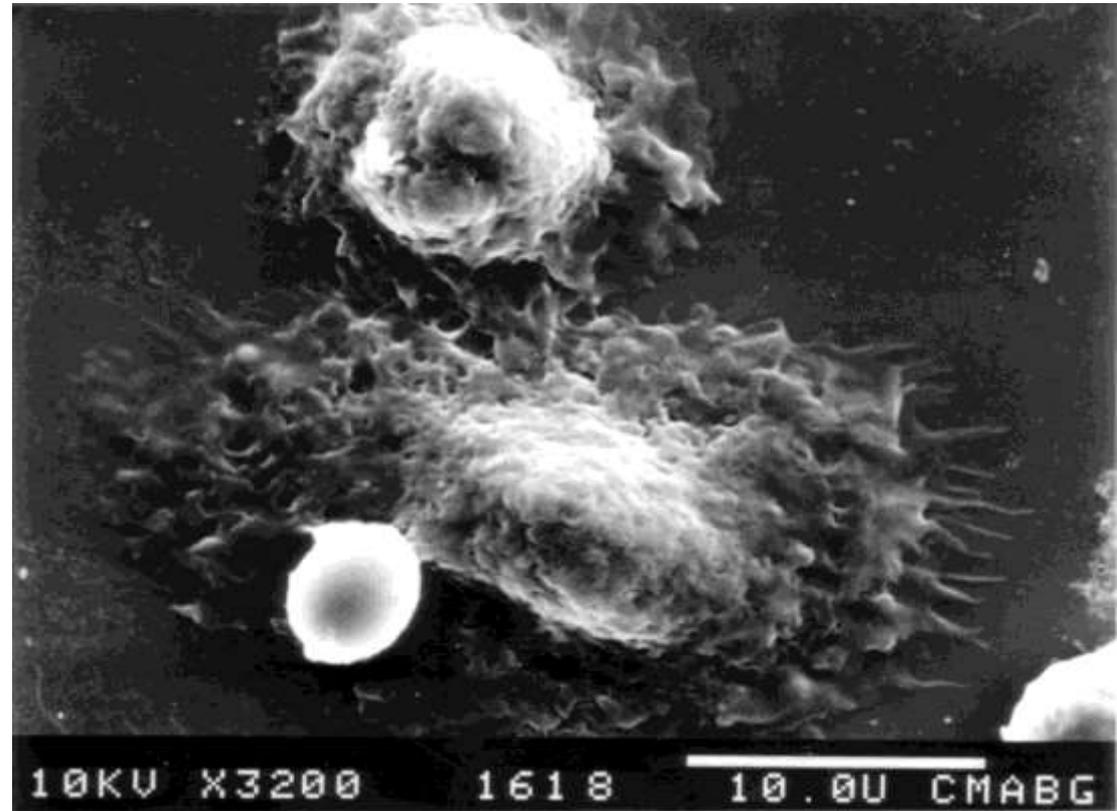


Des cellules spécialisées dans la phagocytose : les macrophages



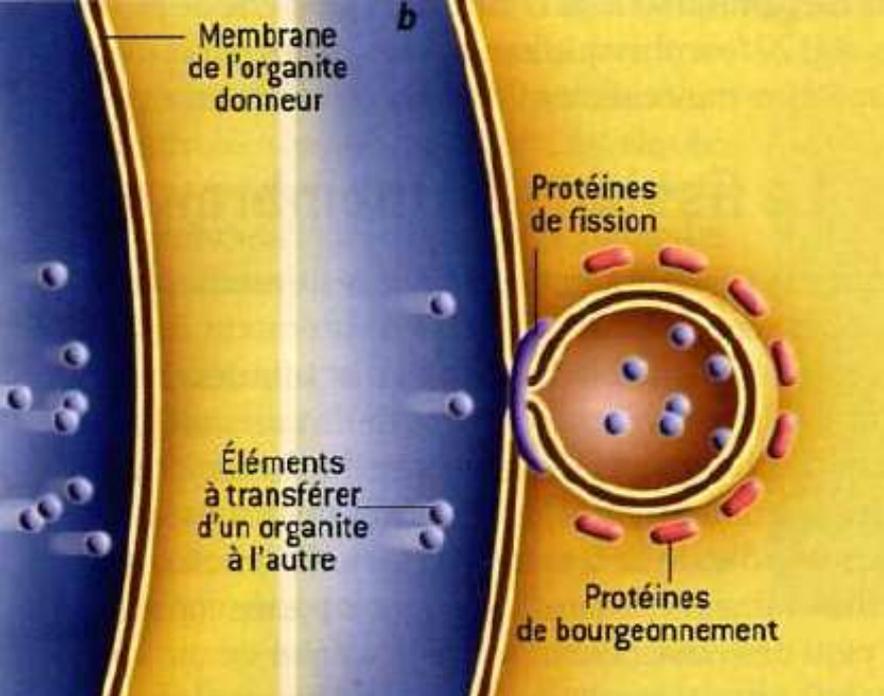
Macrophage phagocytant une bactérie (MET x 18 000).

(Biologie Cellulaire - M. Maillet - Ed. Masson - 1981)



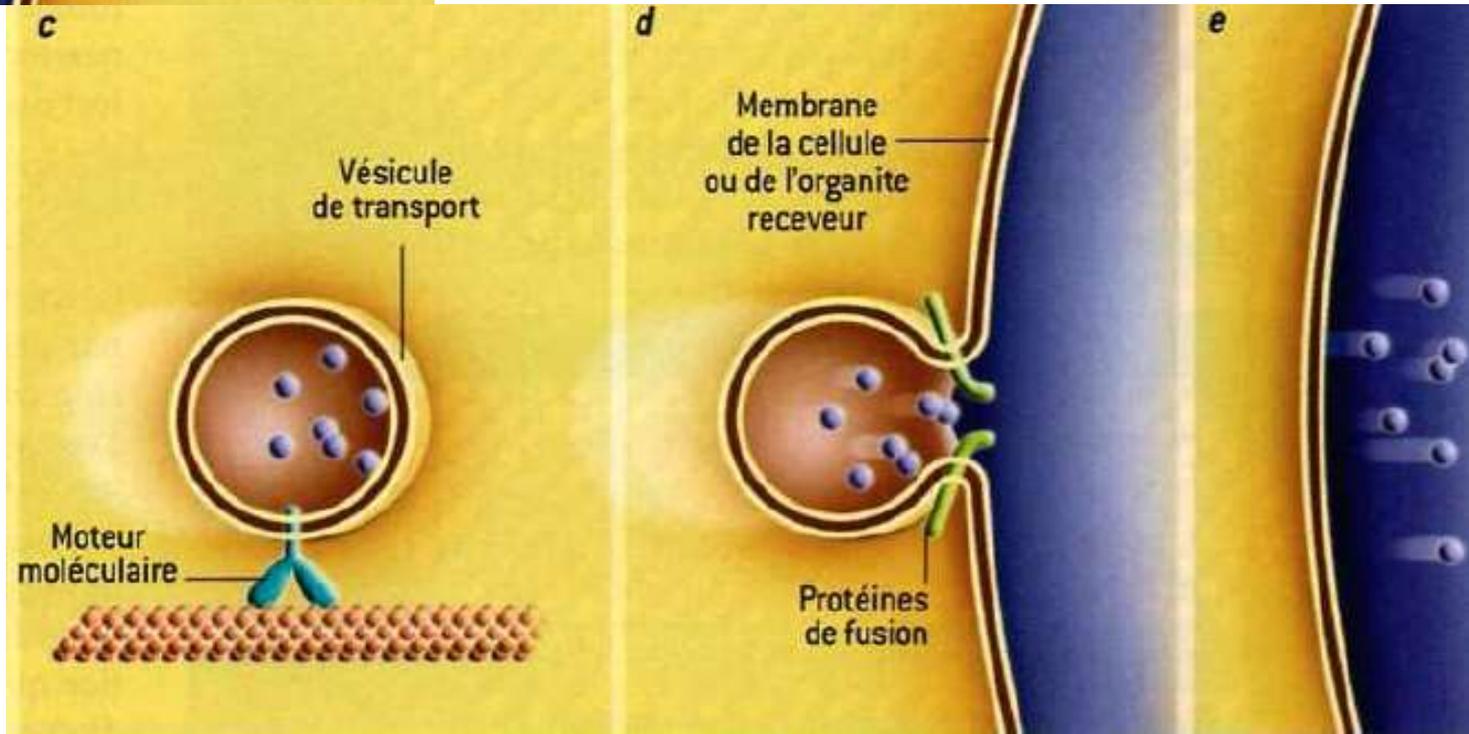
Deux macrophages et une levure vus en MEB.

(http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/biologie/photossq1/photos.php?RollID=images&FrameID=macrophage_levures1)



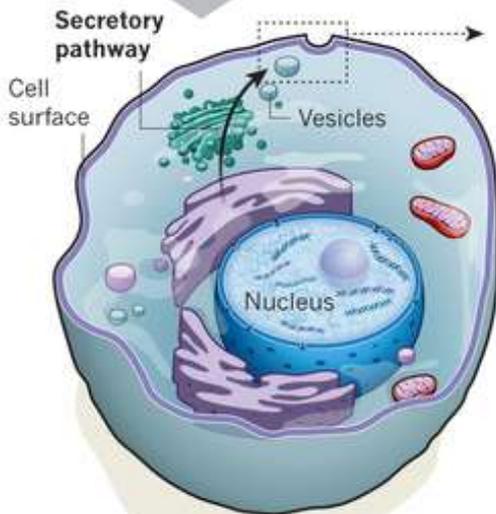
Transfert d'un compartiment à l'autre et exocytose

PLS n°355 mai 2007

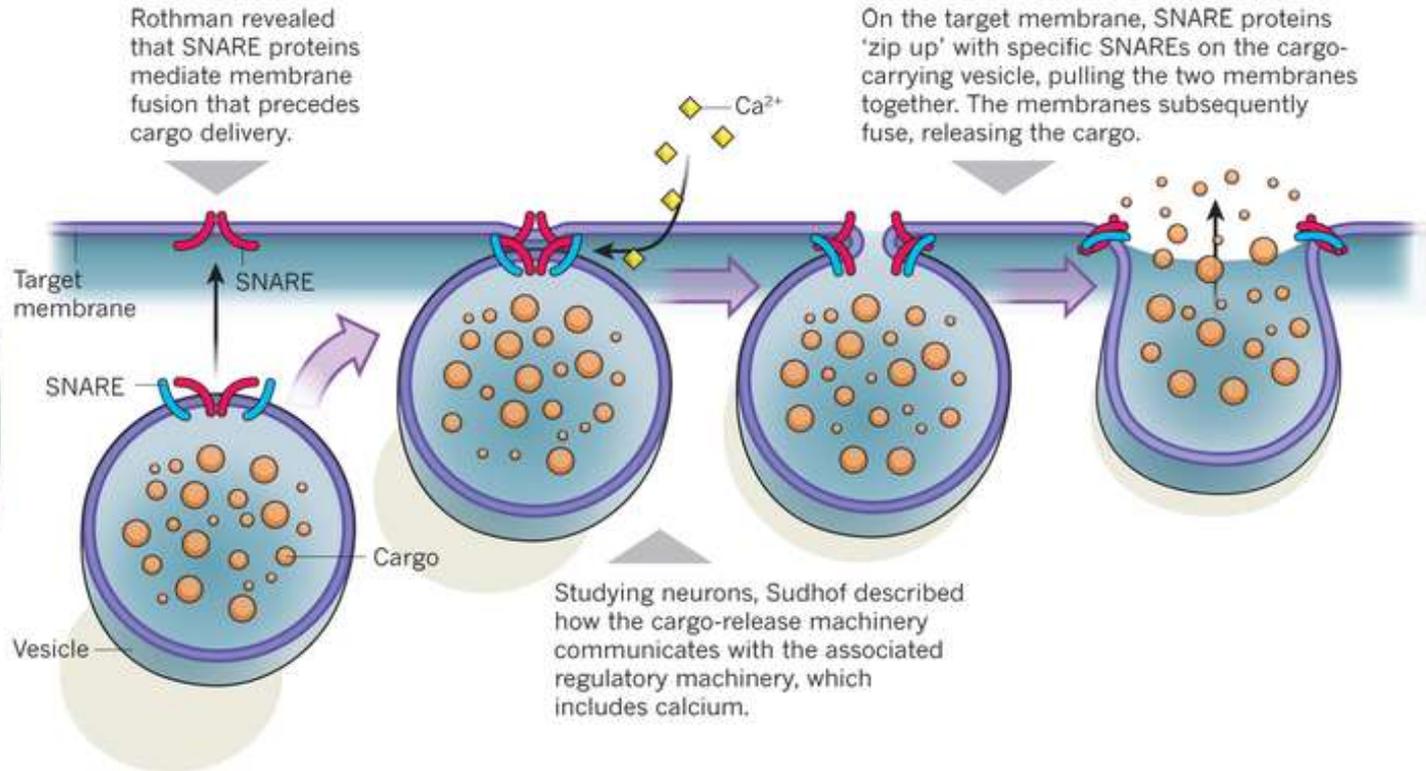


Mécanisme de fusion des membranes : le modèle SNARE

Schekman identified many of the genes that control intracellular transport of the cargo-carrying vesicles along the secretory pathway in yeast cells.



Rothman revealed that SNARE proteins mediate membrane fusion that precedes cargo delivery.

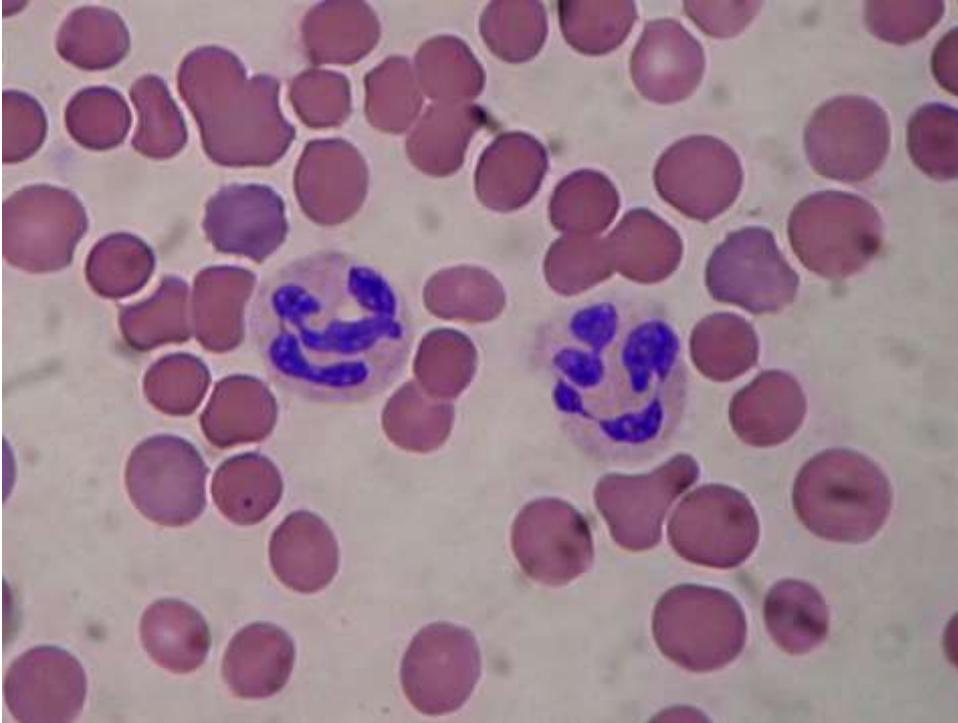


On the target membrane, SNARE proteins 'zip up' with specific SNAREs on the cargo-carrying vesicle, pulling the two membranes together. The membranes subsequently fuse, releasing the cargo.

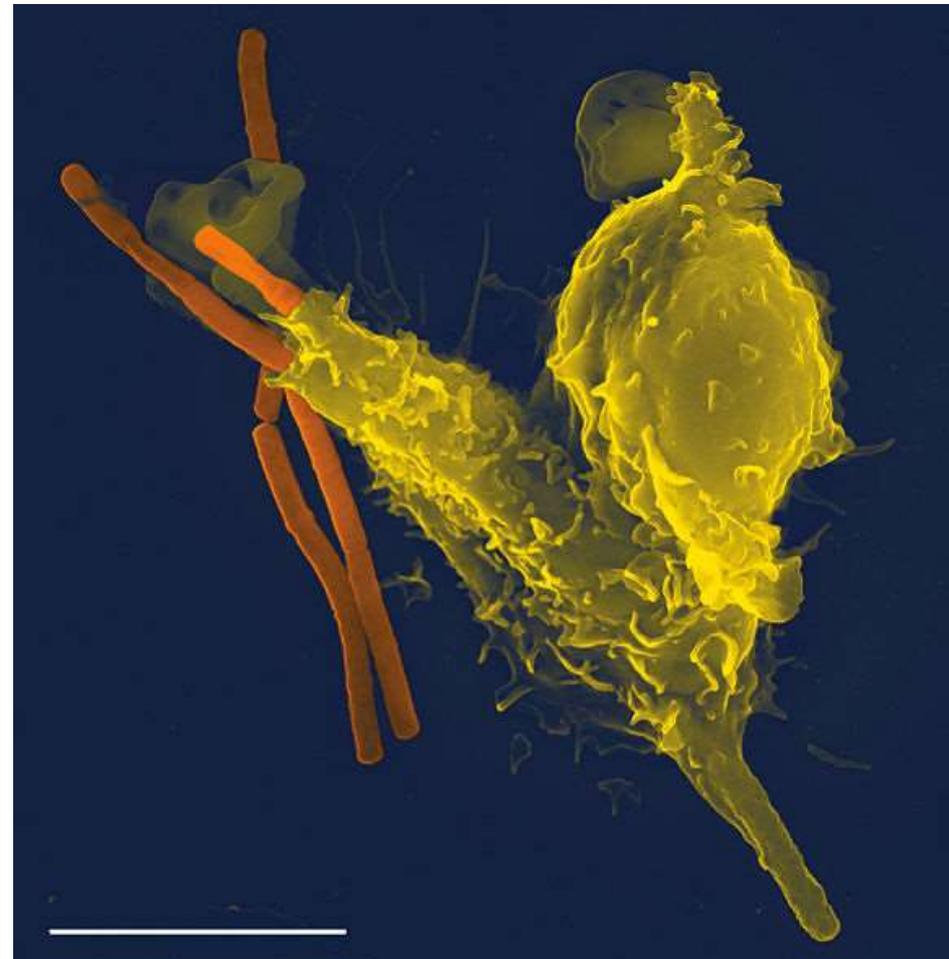
Studying neurons, Südhof described how the cargo-release machinery communicates with the associated regulatory machinery, which includes calcium.

Le Prix Nobel de Physiologie et Médecine 2013 a été attribué à James Rothman, Randy Schekman et Thomas Südhof pour leurs travaux sur le trafic vésiculaire.

**Deux granulocytes
neutrophiles
entourés de nombreux
globules rouges (MO)**

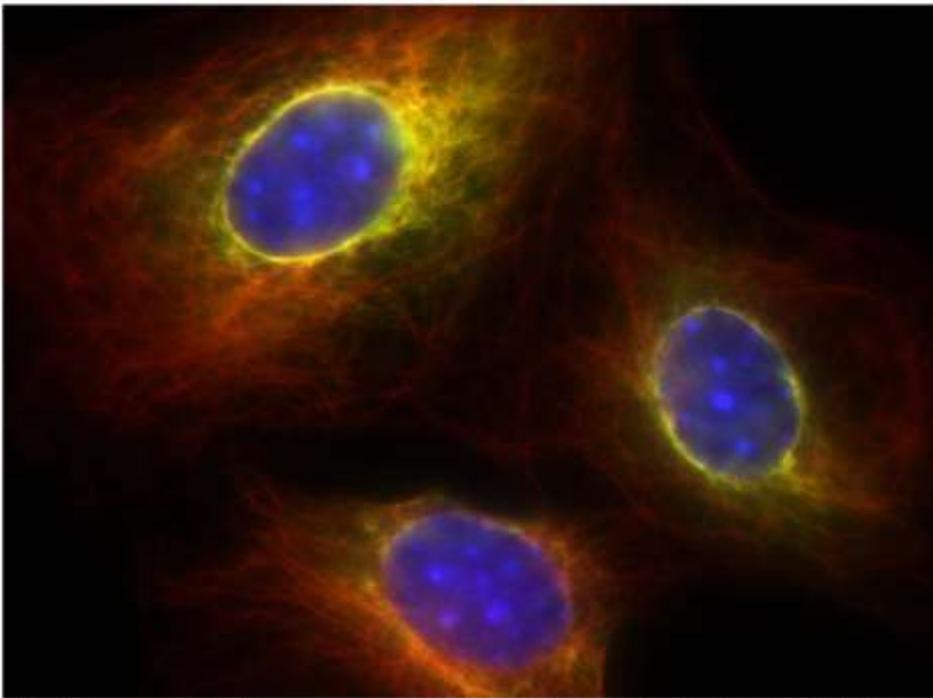


**Granulocyte neutrophile
(en jaune) phagocytant des
bacilles du charbon
(en orange) (MEB colorisé).
Barre d'échelle : 5 μ m**



http://fr.wikipedia.org/wiki/Granulocyte_neutrophile

Rôles du cytosquelette et de l'endocytose / exocytose dans la motilité cellulaire (fibroblastes de Souris)



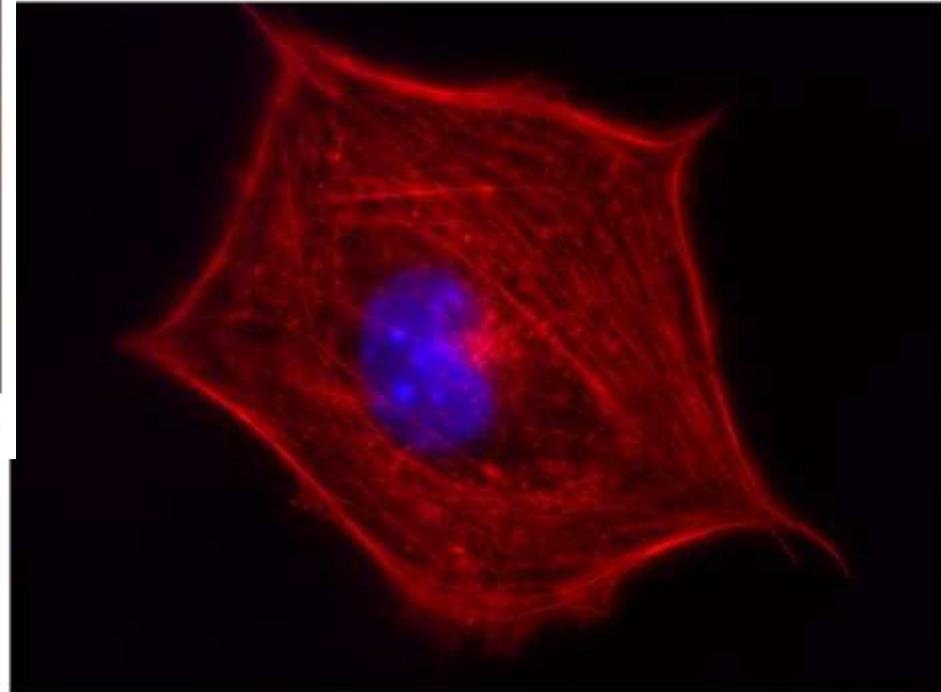
Micro / Macro - Olympus BX41 - Obj. 100x

Immunomarquage Tubuline/Vimentine dans les fibroblastes de souris
Fluorescence - Prép : Glycerol + bleu de Hoechst - Colo : Alexa 488 et Cyantale 3
Kévin Pounot - 26/09/2013

On observe la tubuline en rouge qui forme des microtubules partant du centre de la cellule et qui permettent de maintenir sa forme et qui participe aux transports intra-cellulaires.

La vimentine, verte mais jaune sur la photo à cause de la superposition des couleurs, forme des filaments qui entourent la membrane du noyau et qui maintient sa forme. aux signaux extérieurs.

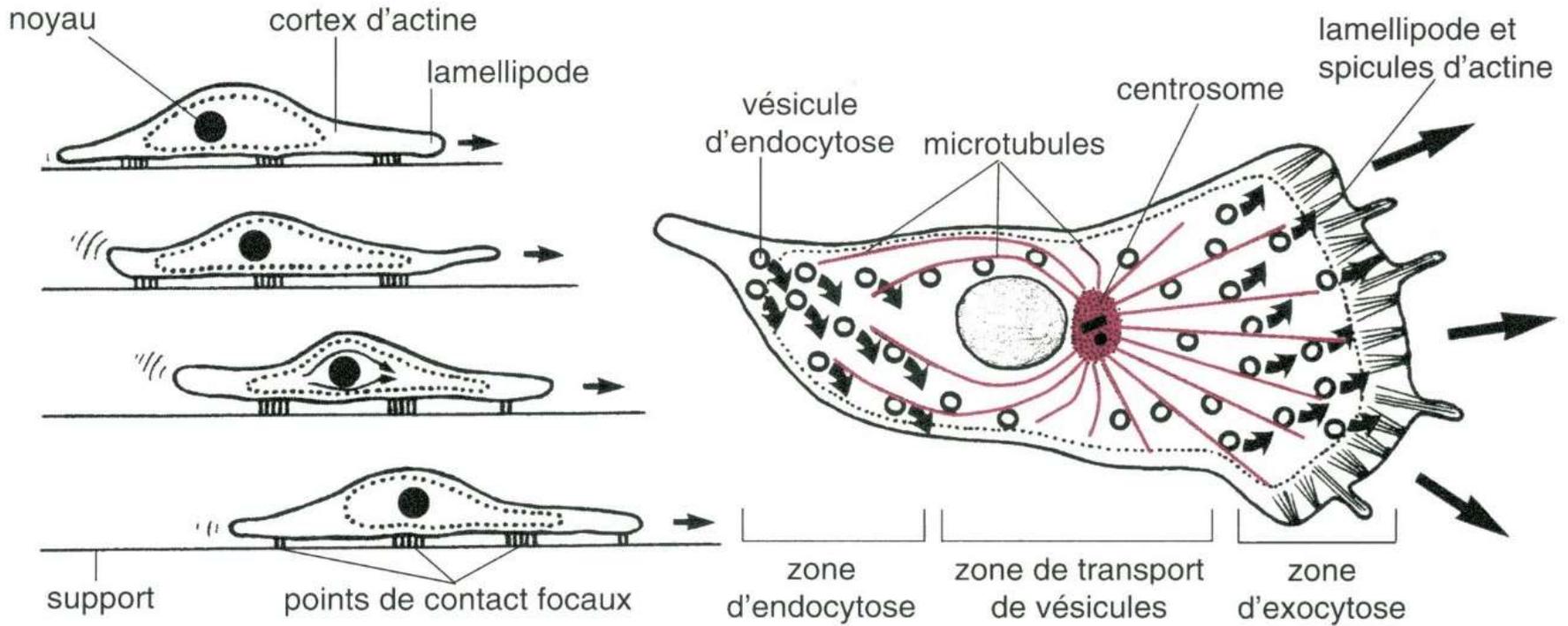
<http://www.lenaturaliste.net/portail/articles-des-membres/5-techniques-diverses/69-marquages-fluorescents-dans-des-fibroblastes-de-souris>



Micro / Macro - Olympus BX41 - Obj. 100x

Marquage Actine dans les fibroblastes de souris
Fluorescence - Prép : Glycerol + bleu de Hoechst - Colo : Phalloïdine-TIRTC
Kévin Pounot - 26/09/2013

L'actine, en rouge, permet à la cellules d'être motile, c'est à dire de se déplacer, de s'étaler et de répondre aux signaux extérieurs.

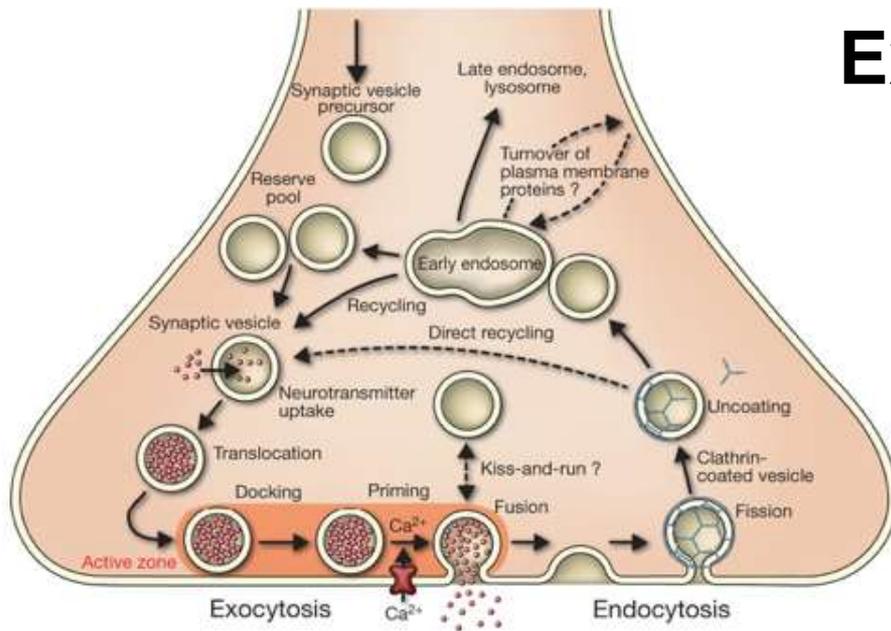


Document 5. Déplacement par reptation d'un fibroblaste en culture.

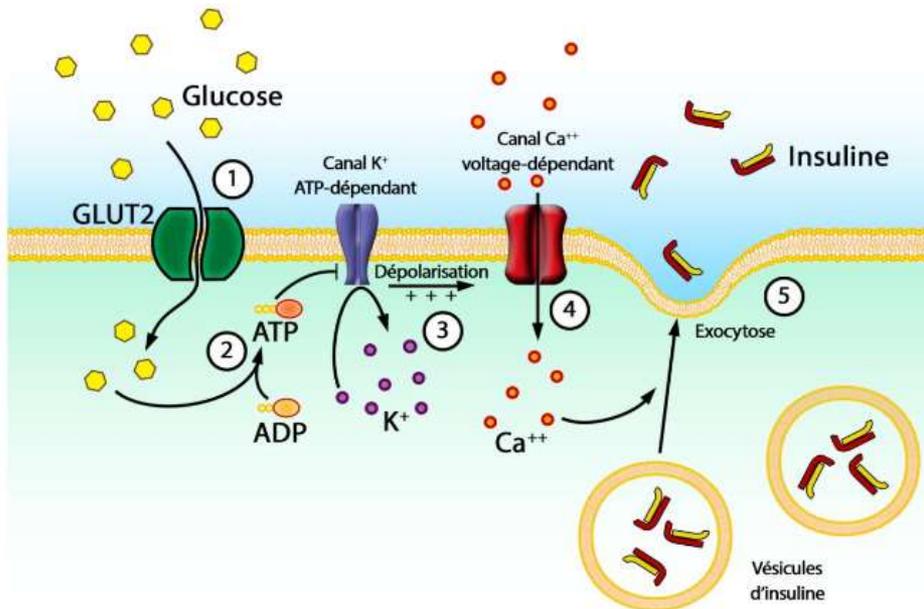
(CALLEN JC., " Biologie cellulaire : des molécules aux organismes " ; Dunod Ed., 1999).

Exocytose et communication intercellulaire

Exocytose de neurotransmetteurs dans la fente synaptique



Libération d'insuline par les cellules β des îlots de Langerhans

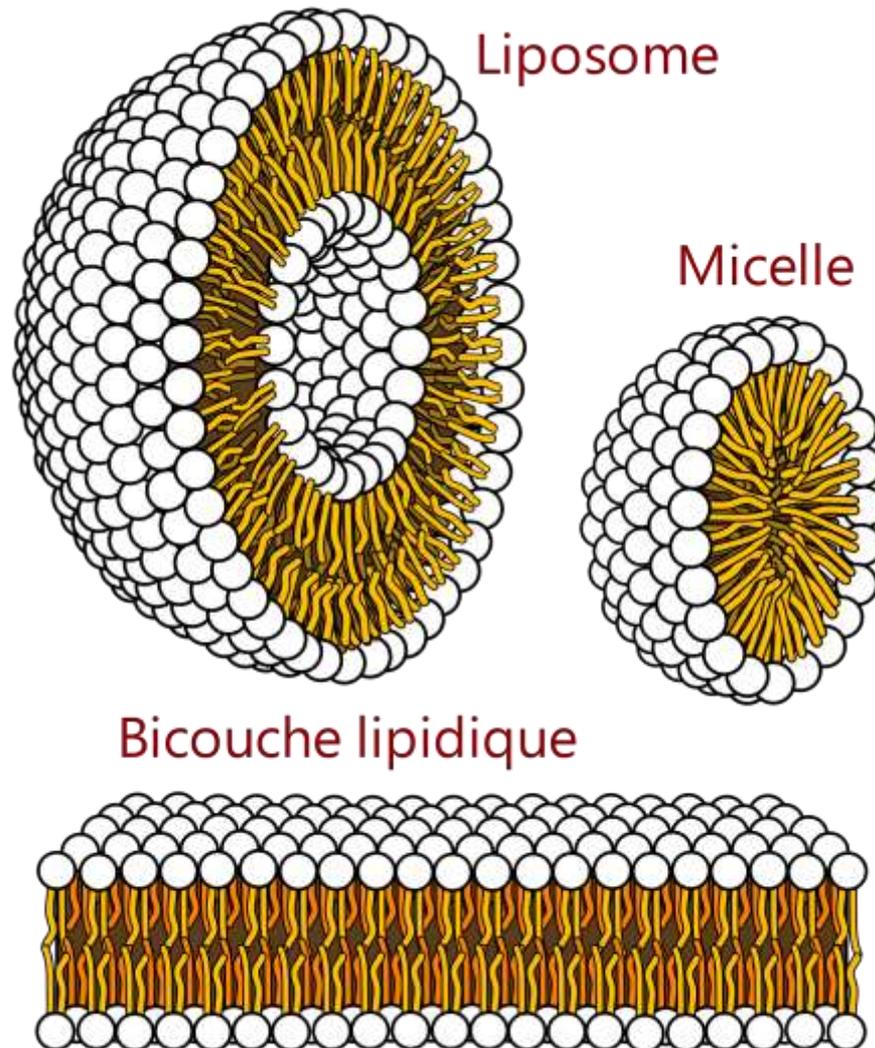


- (1) Entrée du glucose dans les cellules par le transporteur GLUT2.
- (2) Glucose intracellulaire métabolisé \rightarrow production d'ATP.
- (3) Augmentation q ATP \rightarrow fermeture des canaux K^+ \rightarrow accumulation K^+ dans le cytoplasme.
- (4) Dépolarisation membranaire \rightarrow ouverture canal Ca^{2+} voltage-dépendant.
- (5) Entrée Ca^{2+} \rightarrow mouvement des vésicules de sécrétion vers la membrane plasmique et exocytose de l'insuline.

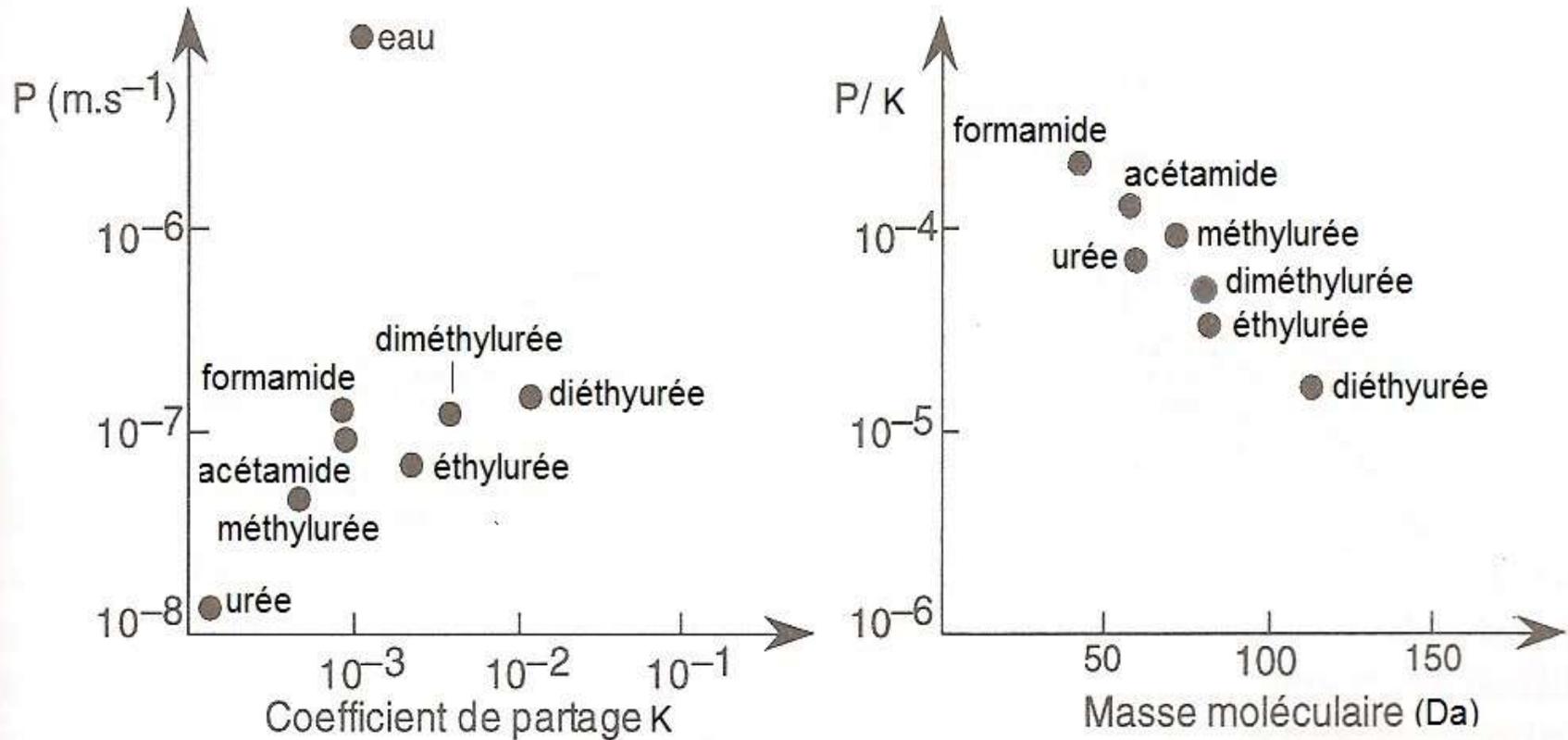
Composition des liquides intracellulaire et interstitiel chez l'Homme.

	Concentration du liquide interstitiel mM	Concentration du liquide intracellulaire mM
Na ⁺	140	15
K ⁺	4	150
Ca ²⁺	1	0.001
Mg ²⁺	1.5	12
Cl ⁻	110	10
HCO ₃ ⁻	30	10
P _i	2	40
Acides aminés	2	8
Glucose	5.6	1
ATP	0	4
Protéine	0.2	4

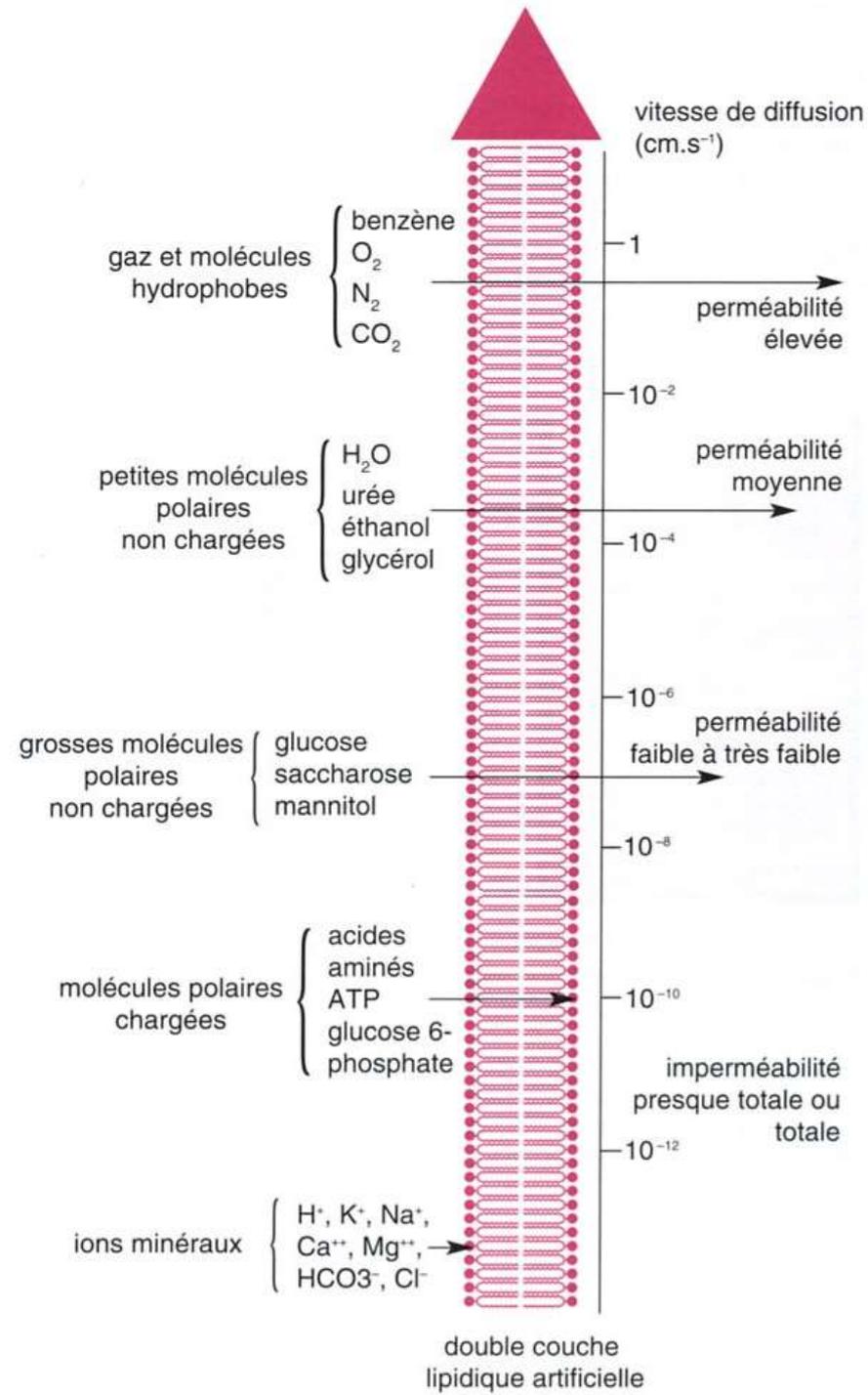
Liposome, micelle, membrane artificielle



Exercice 1 : les paramètres influençant la perméabilité membranaire



Document 6.
Diagramme montrant l'étendue des valeurs des coefficients de perméabilité (cm.s^{-1}) pour le passage de diverses catégories de molécules et d'ions à travers les bicouches lipidiques artificielles.



(CALLEN JC., " Biologie cellulaire : des molécules aux organismes " ; Dunod Ed., 1999).



Adolph FICK

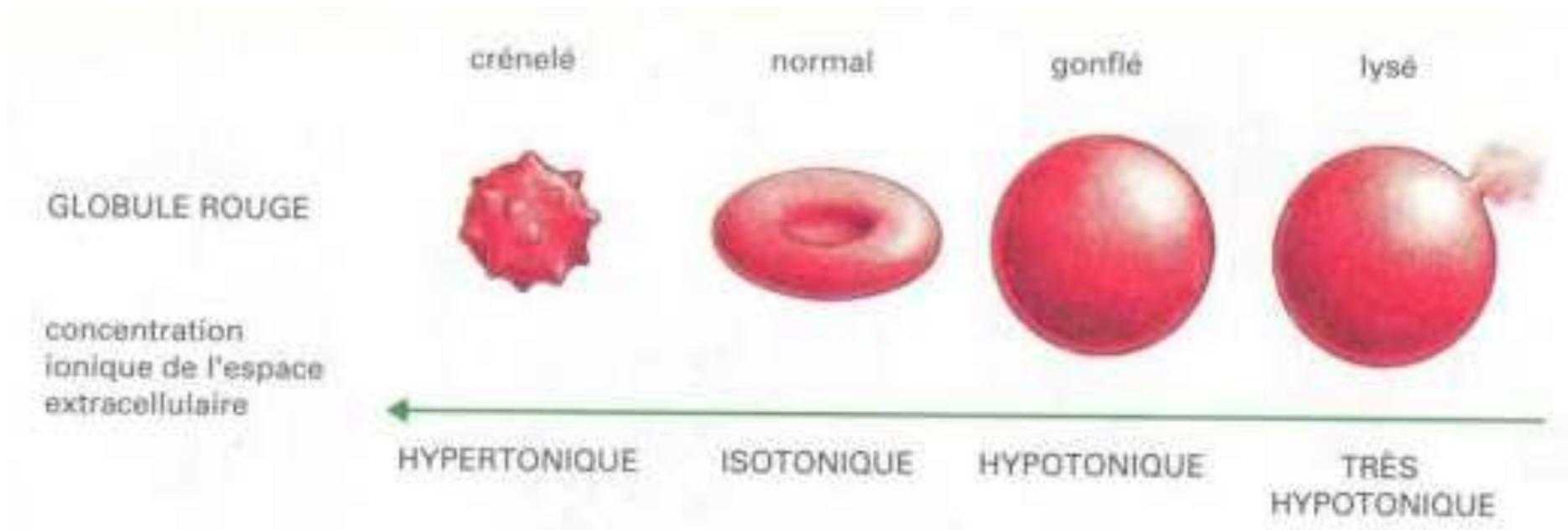
Loi de Fick

$$\Phi = -D \cdot S \frac{\partial C}{\partial x}$$

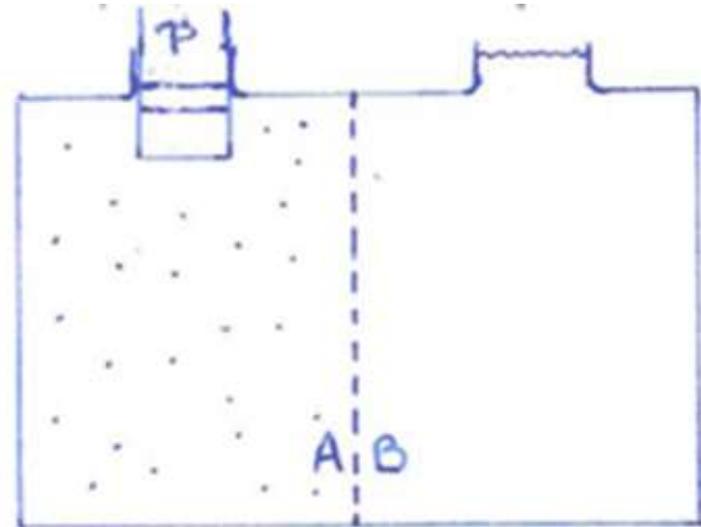
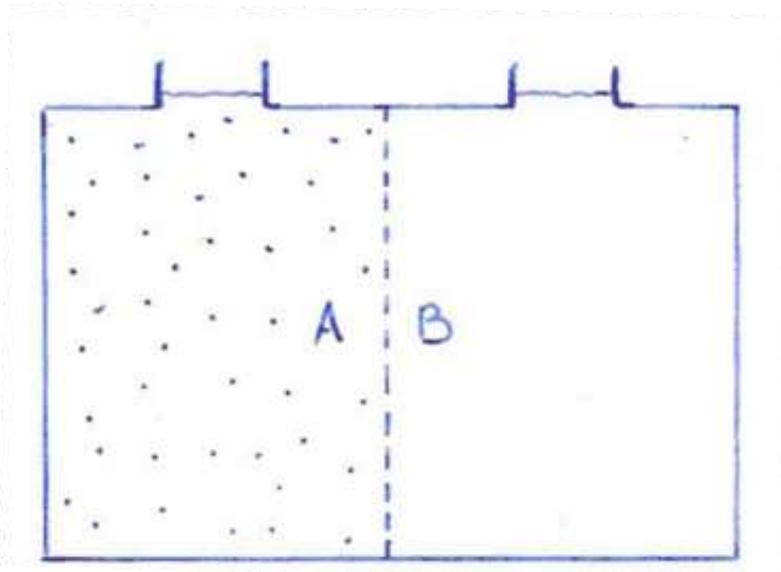
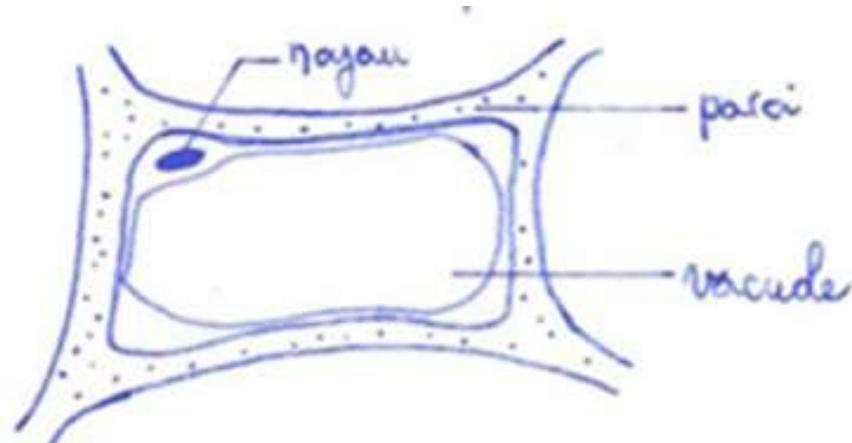
Φ en mole/s

D en m^2/s , S en m^2 , x en m, C en mole/ m^3 :

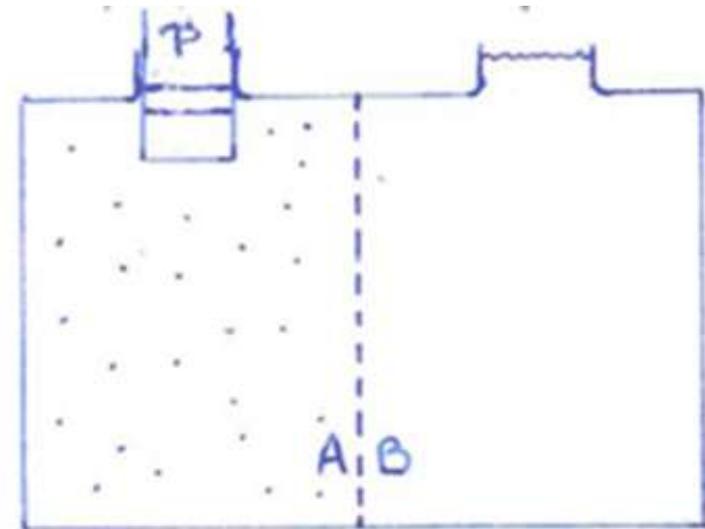
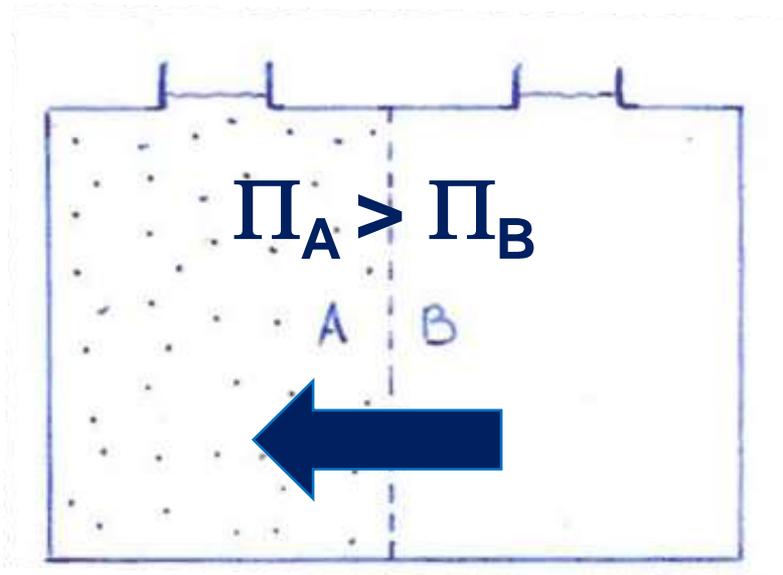
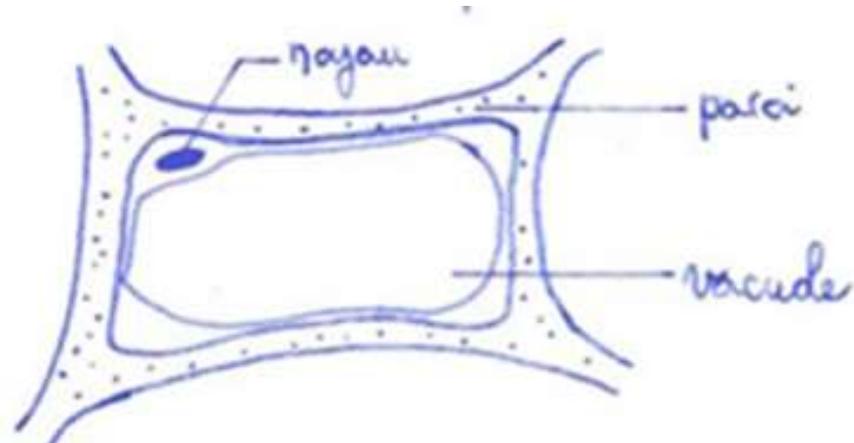
Mise en évidence de mouvements d'eau à travers la membrane plasmique de l'hématie



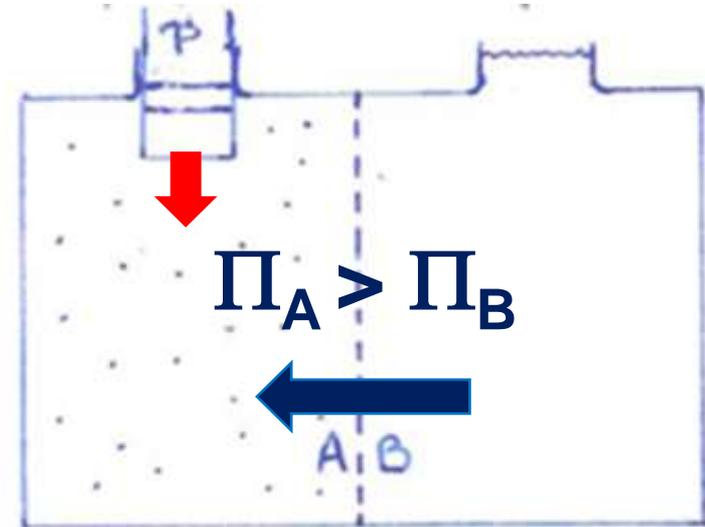
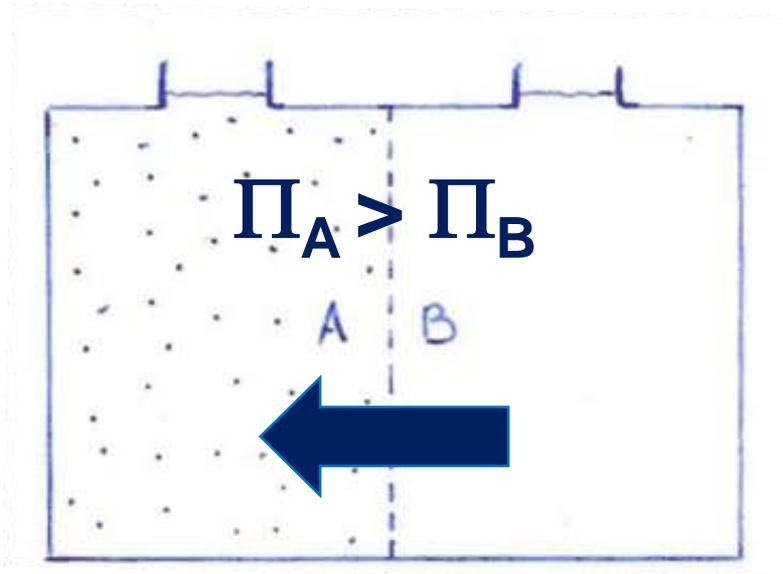
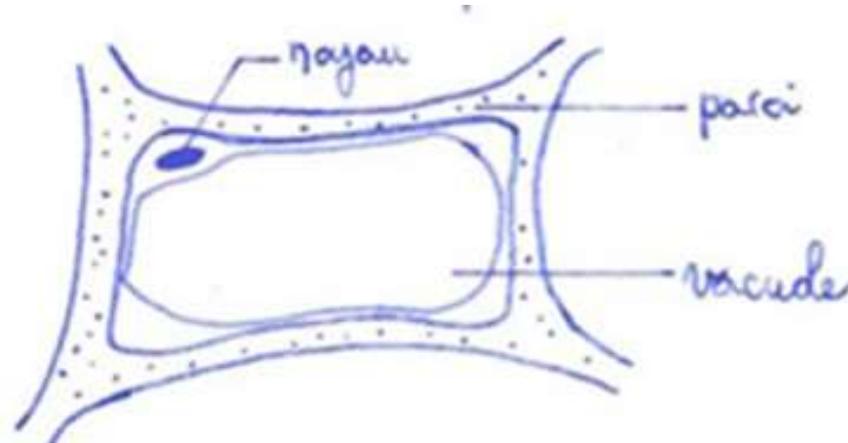
Document 7. Osmose et potentiel hydrique.



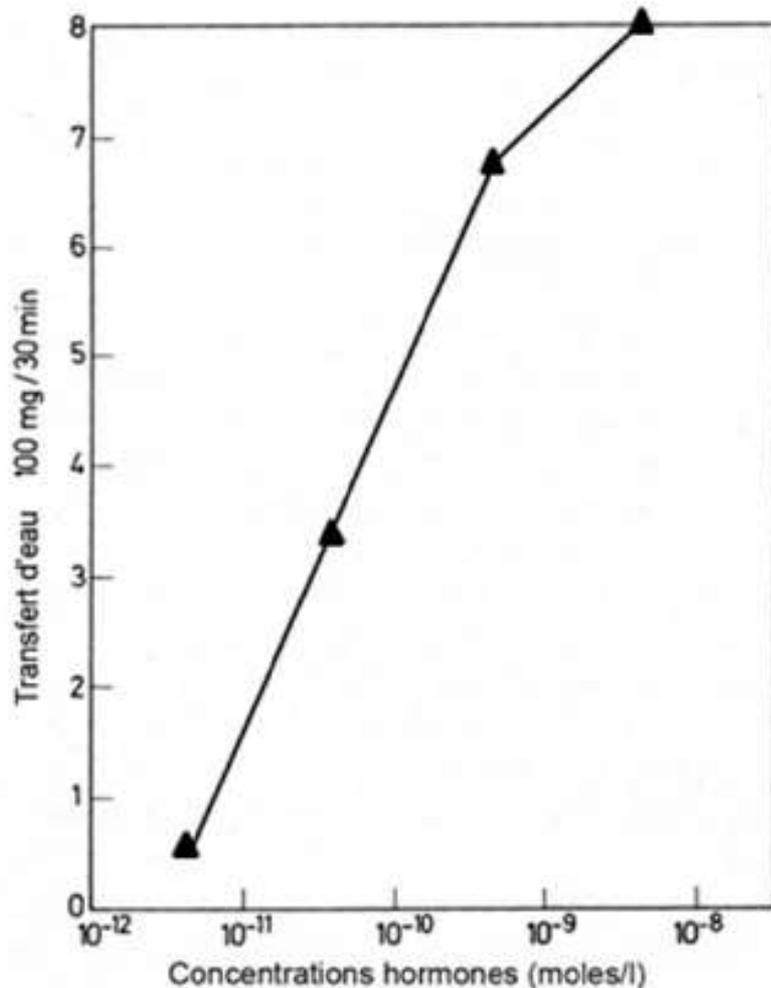
Document 7. Osmose et potentiel hydrique.



Document 7. Osmose et potentiel hydrique.



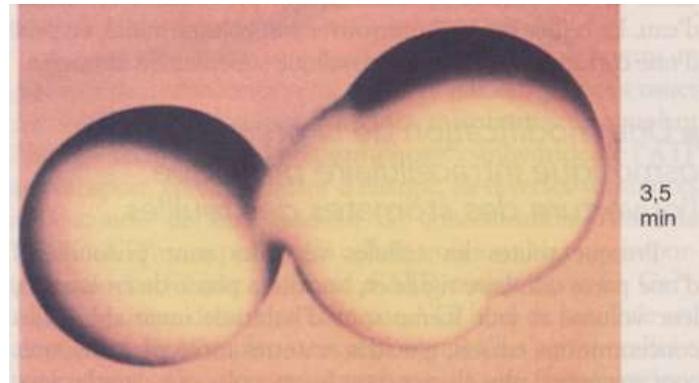
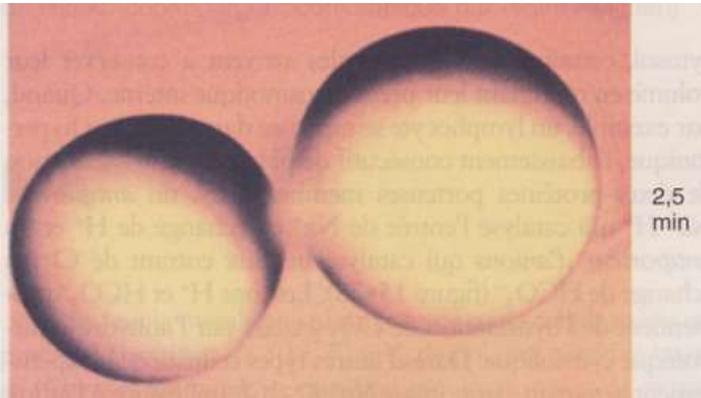
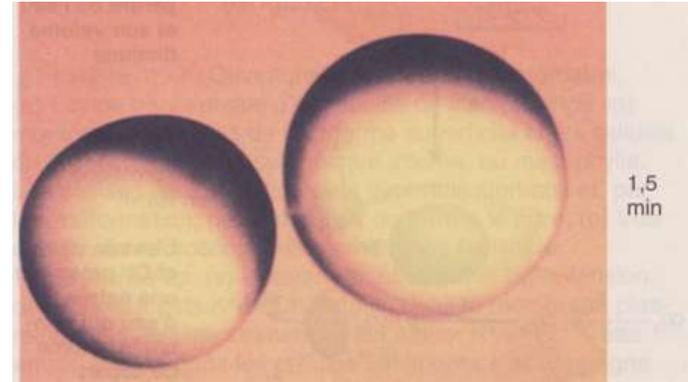
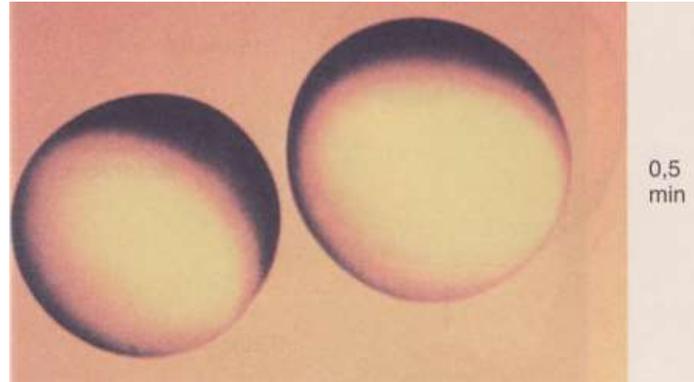
Effet de l'ADH (hormone antidiurétique) sur le transfert de l'eau à travers l'épithélium de la vessie de Grenouille



Interprétation des observations des membranes des cellules épithéliales en MET après cryofracture :

- A gauche : sans ADH.
- A droite : en présence d'ADH, les protéines intrinsèques s'agrègent en complexes qui pourraient représenter des structures en canaux.

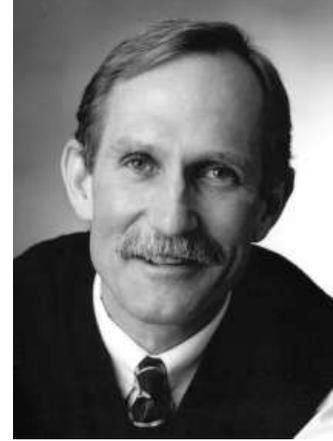
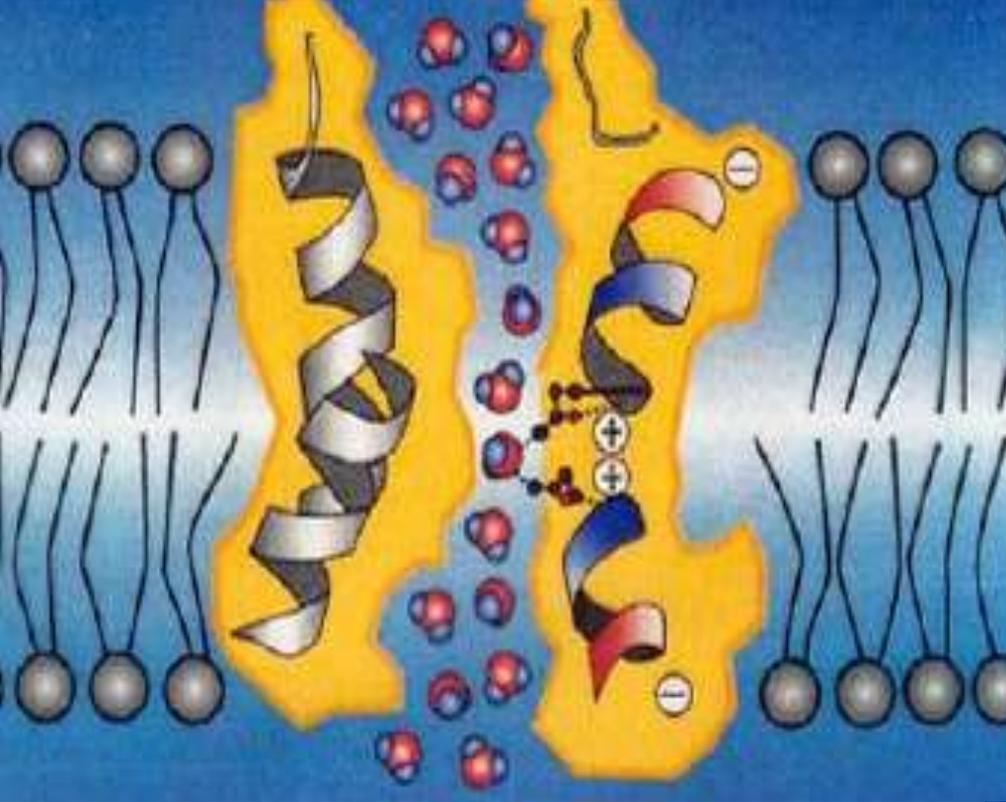
Accroissement de perméabilité à l'eau d'ovocytes de grenouilles exprimant l'aquaporine



À gauche : ovocyte normal.

À droite : ovocyte ayant reçu par microinjection de l'ARNm codant pour une aquaporine.

Les cellules sont transférées au temps 0 dans un milieu hypotonique.



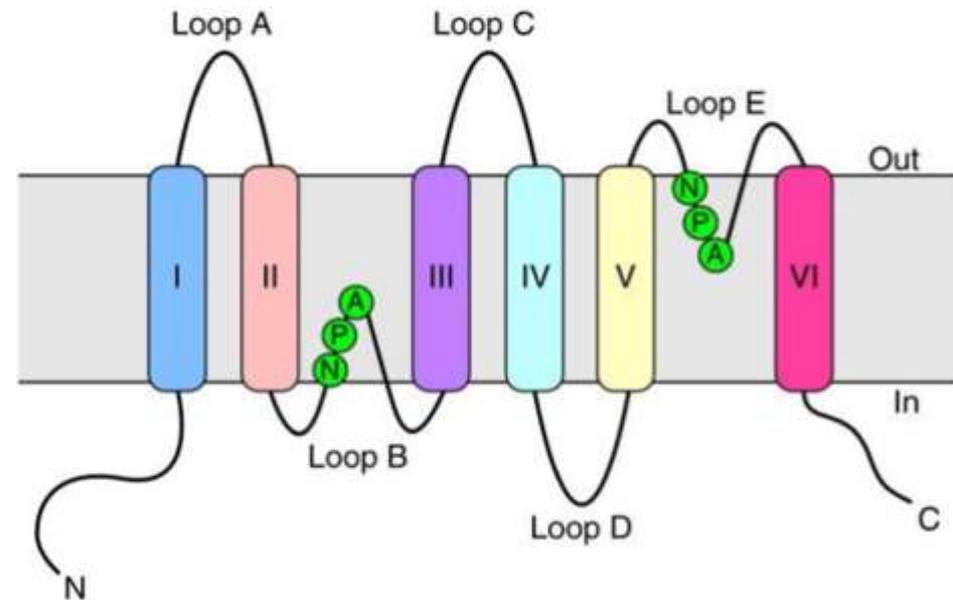
Peter Agre,
prix Nobel de
Chimie 2003

Modèle d'un pore
d'aquaporine constitué
de 4 protéines en forme
de canal.

<http://web.expasy.org/prolune/dossiers/011/>

Document 8. Organisation d'un protomère d'aquaporine.

N = ASN ; P = PRO ; A = ALA



	Diffusion	Transfert facilité	Transport facilité	Electro-diffusion	Transport actif primaire	Transport actif secondaire
Exemple étudié	urée				pompe Na ⁺ -K ⁺ /ATPase	
Aspects énergétiques	passif		passif			
Utilisation de protéines		aquaporine				
Spécificité	non				oui	
Saturation	non					
Fonctions associées	nutrition excrétion métabolisme					
Autres exemples	eau (osmose)					

Document 18. Bilan de la diversité des modalités de franchissement des membranes.

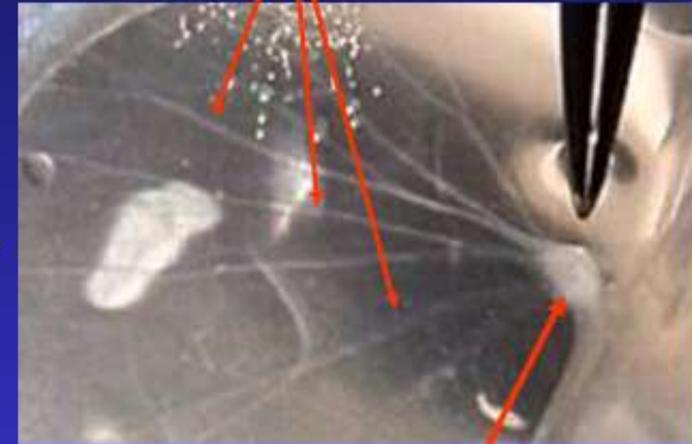
	Diffusion	Transfert facilité	Transport facilité	Electro-diffusion	Transport actif primaire	Transport actif secondaire
Exemple étudié	urée	eau			pompe Na ⁺ -K ⁺ /ATPase	
Aspects énergétiques	passif	passif	passif			
Utilisation de protéines	non	aquaporine				
Spécificité	non	oui			oui	
Saturation	non	non				
Fonctions associées	nutrition excrétion métabolisme	nutrition excrétion métabolisme auxèse				
Autres exemples	eau (osmose) O ₂ , CO ₂ , acides gras	-				

Document 18. Bilan de la diversité des modalités de franchissement des membranes.

Andrew Fielding Huxley (1917)
Alan Hodgkin (1914 - 1998)

Nobel 1963

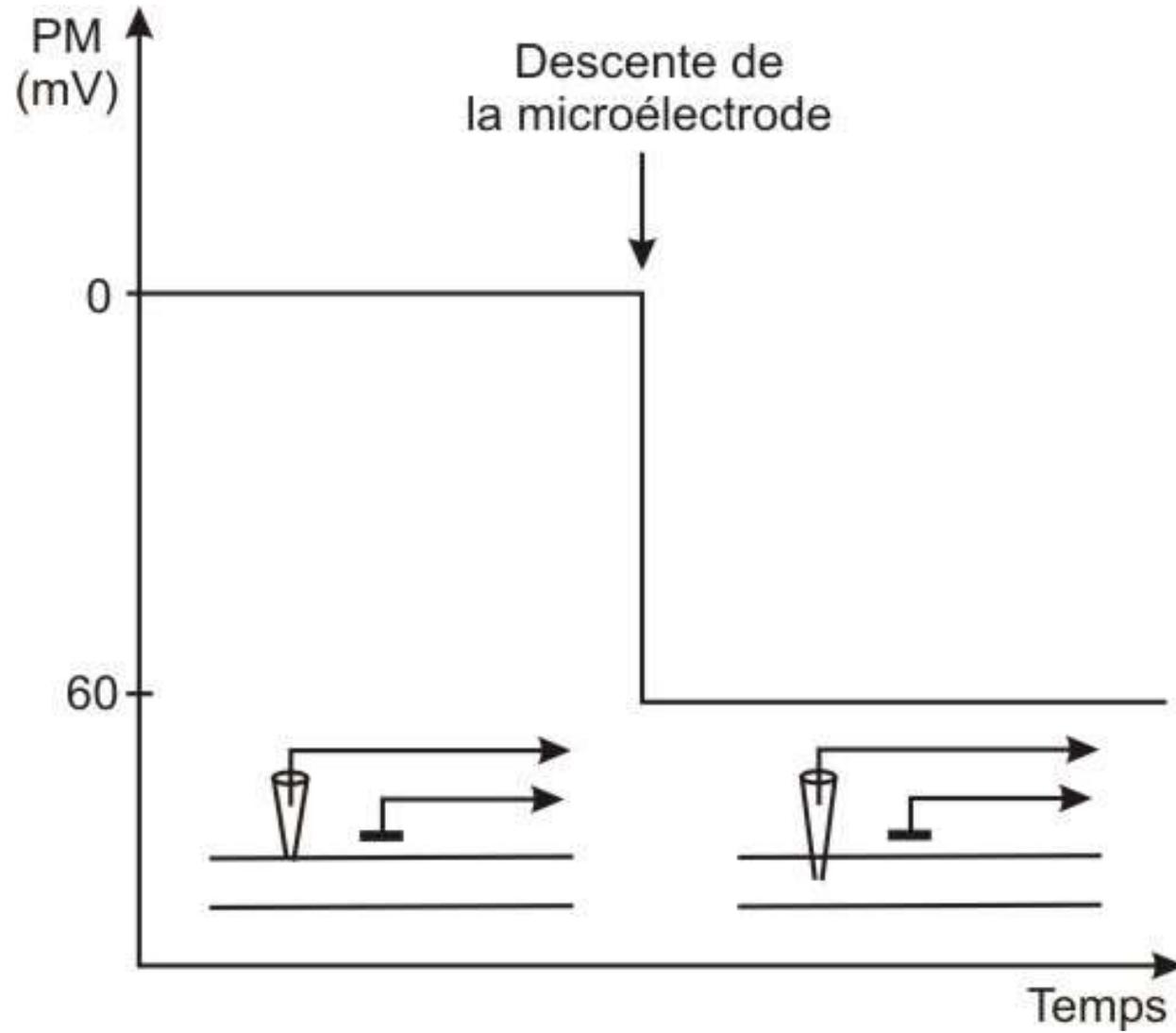
Expériences sur les neurones
géants de calmar à la fin des
années 30 et dans les années 40.



Axones géant de calmar

Ganglion
contenant les
corps cellulaires

Un bon matériel d'étude : l'axone géant de Calmar

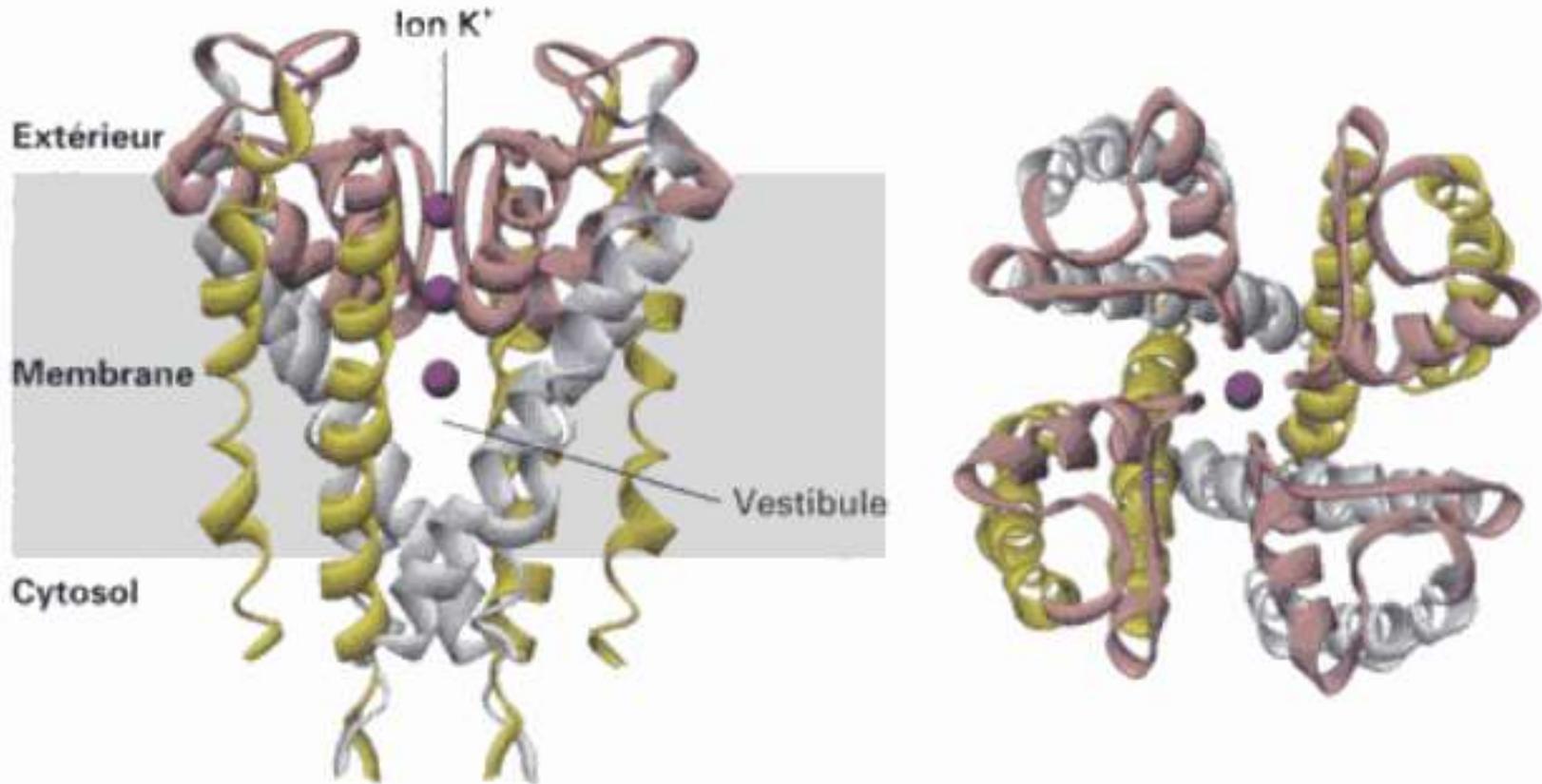


Enregistrement du potentiel de repos dans une fibre nerveuse

Document 9. Concentrations extracellulaire et intracellulaire des principaux ions pour une cellule animale.

ions		Concentration intracellulaire (mM.L ⁻¹ / mEq.L ⁻¹)		Concentration extracellulaire (mM.L ⁻¹ / mEq.L ⁻¹)	
cations	Na ⁺	14	14	140	140
	K ⁺	140	140	5	5
	Ca ²⁺	10 ⁻⁴	2.10 ⁻⁴	1	2
anions	Cl ⁻	14	- 14	147	- 147
	Organiques	126	- 140	0	0

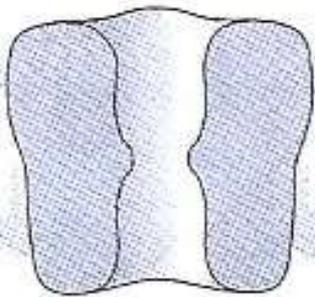
Canaux de fuite à K⁺



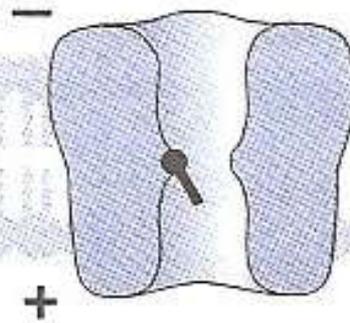
Structure d'un canal de fuite à K⁺
provenant de la bactérie *Streptomyces lividans*.

Tous ces canaux sont des tétramères à 4 sous-unités identiques.
Leur forme en entonnoir contribue à leur sélectivité.

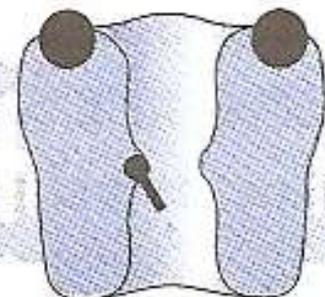
Document 10. Les différents types de canaux ioniques.



Canal à ouverture permanente



Canal à ouverture contrôlée par la tension



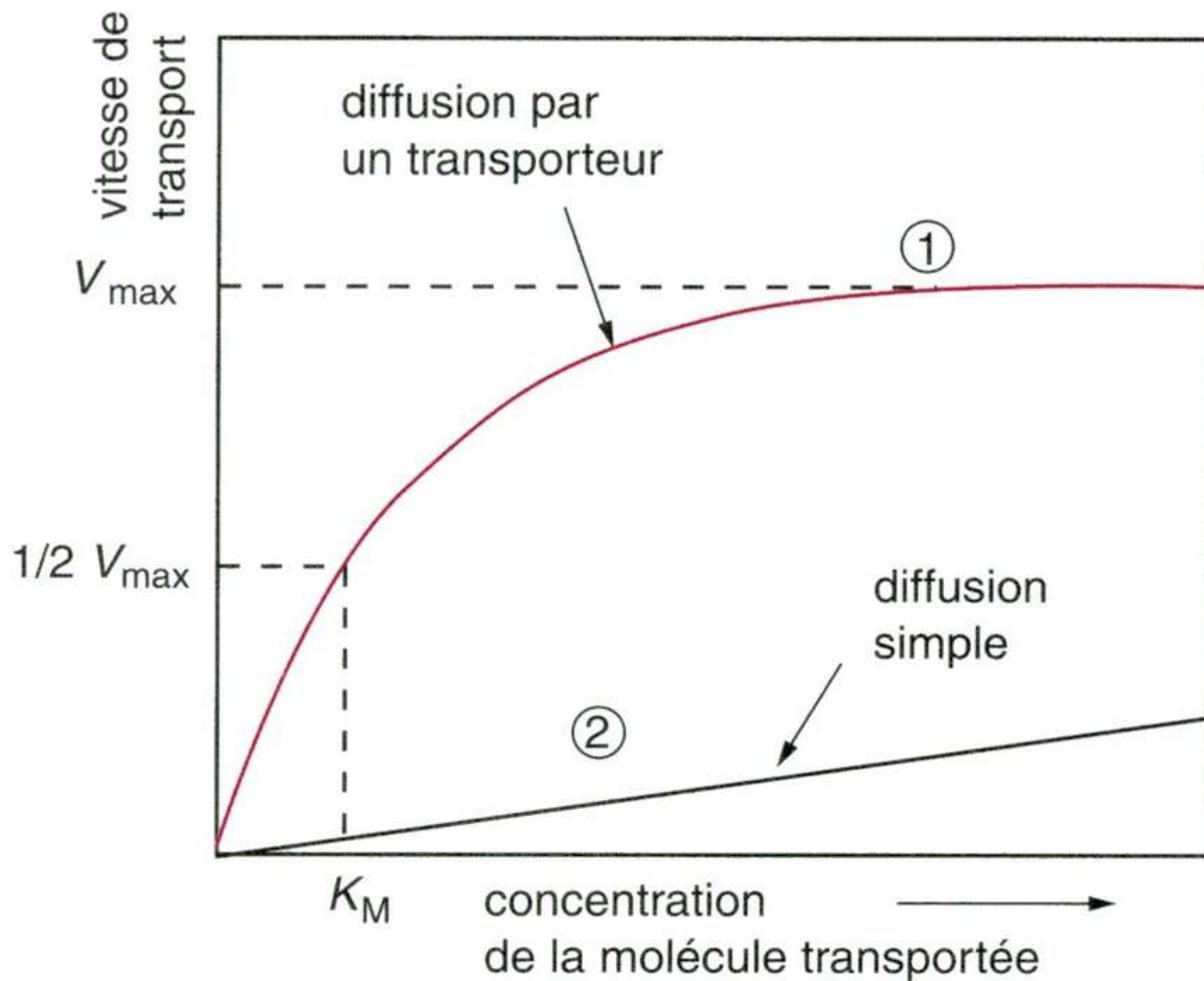
Canal à ouverture contrôlée par un ligand

	Diffusion	Transfert facilité	Transport facilité	Electro-diffusion	Transport actif primaire	Transport actif secondaire
Exemple étudié	urée	eau			pompe Na ⁺ -K ⁺ /ATPase	
Aspects énergétiques	passif	passif	passif			
Utilisation de protéines	non	aquaporine				
Spécificité	non	oui			oui	
Saturation	non	non				
Fonctions associées	nutrition excrétion métabolisme	nutrition excrétion métabolisme auxèse				
Autres exemples	eau (osmose) O ₂ , CO ₂ , acides gras	-				

Document 18. Bilan de la diversité des modalités de franchissement des membranes.

	Diffusion	Transfert facilité	Transport facilité	Electro-diffusion	Transport actif primaire	Transport actif secondaire
Exemple étudié	urée	eau		ions (Na ⁺ , K ⁺ ...)	pompe Na ⁺ -K ⁺ /ATPase	
Aspects énergétiques	passif	passif	passif	passif		
Utilisation de protéines	non	aquaporine		canaux protéiques		
Spécificité	non	oui		oui	oui	
Saturation	non	non		non		
Fonctions associées	nutrition excrétion métabolisme	nutrition excrétion métabolisme auxèse		nutrition (végétaux) excitabilité		
Autres exemples	eau (osmose) O ₂ , CO ₂ , acides gras	-		Ca ²⁺		

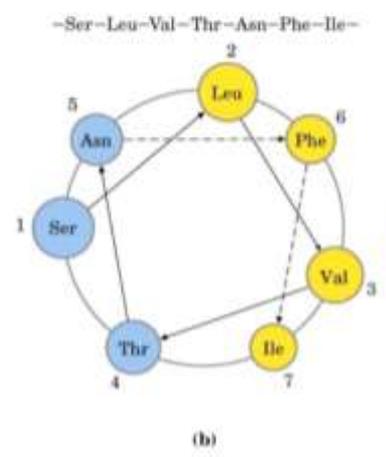
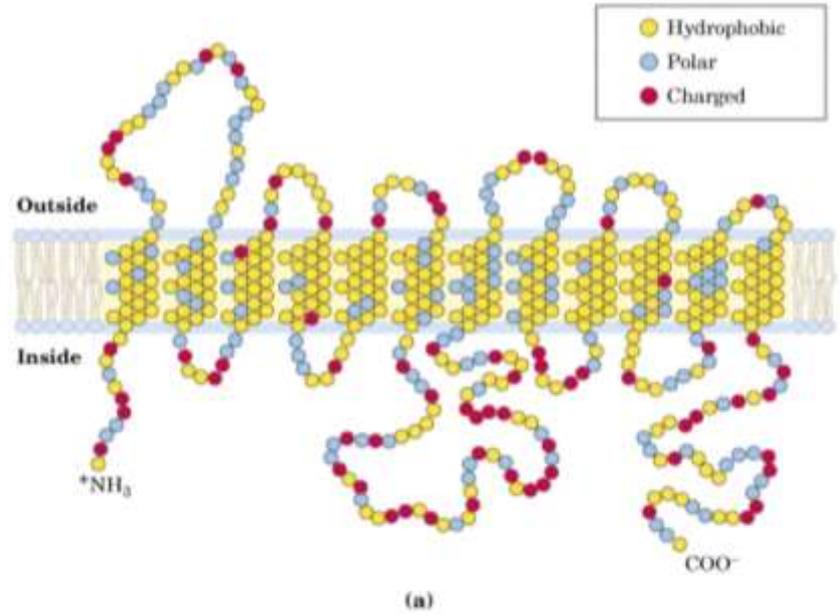
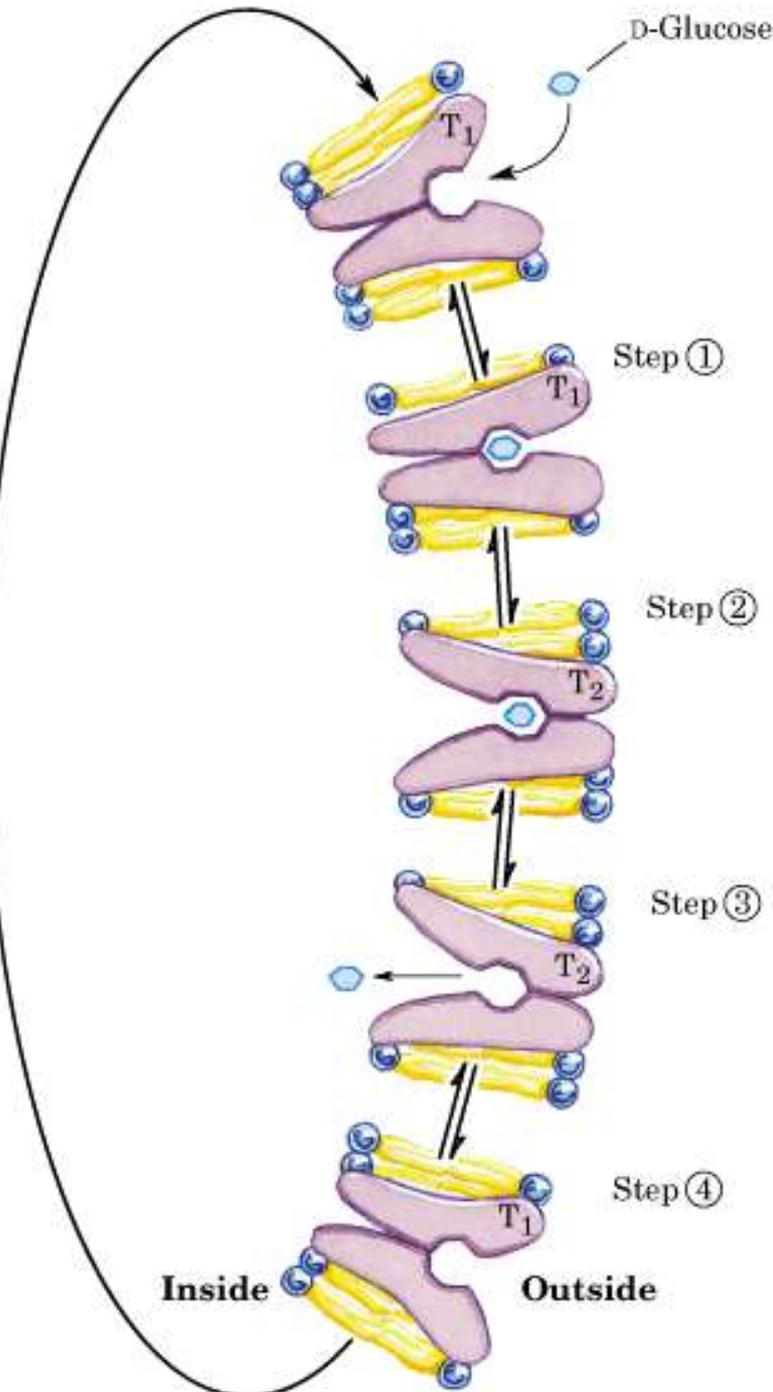
Document 18. Bilan de la diversité des modalités de franchissement des membranes.

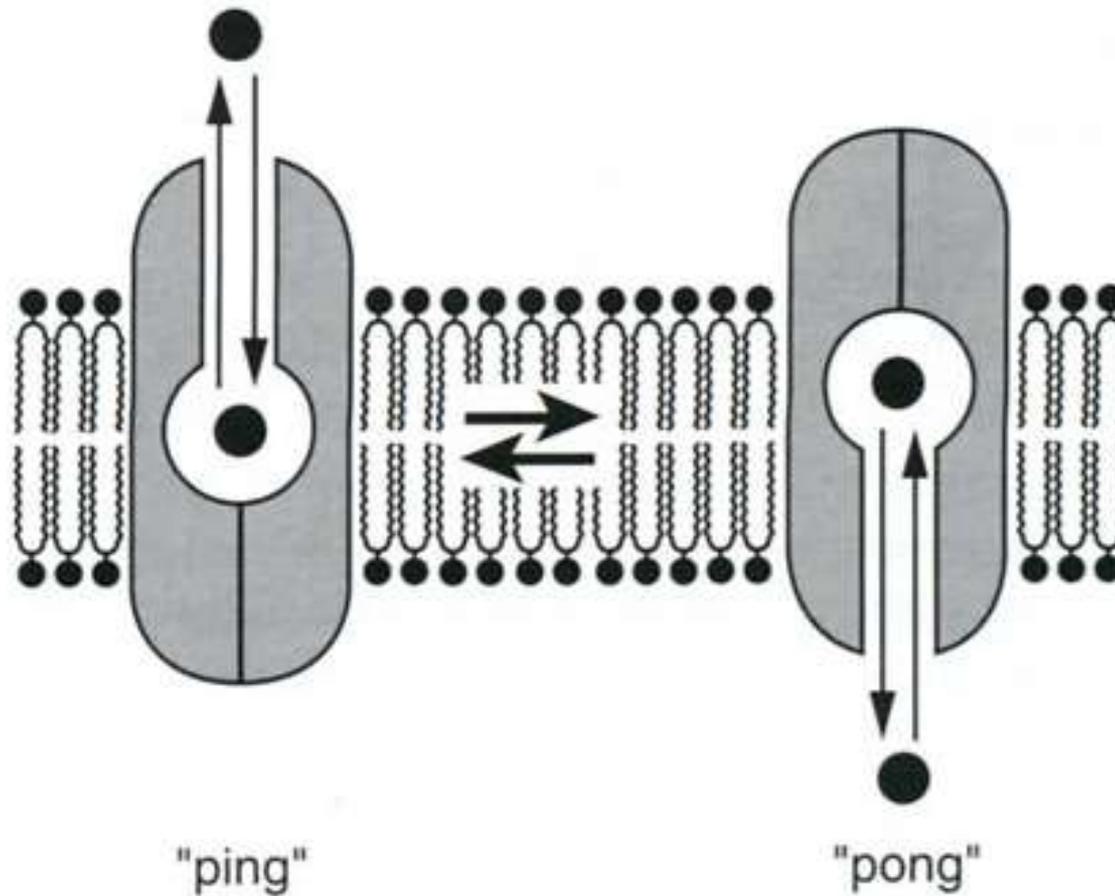


Document 11. Comparaison entre les vitesses de transport observées dans la diffusion facilitée par une perméase et dans la diffusion simple.

(CALLEN JC., " Biologie cellulaire : des molécules aux organismes " ; Dunod Ed., 1999).

Structure et modèle de fonctionnement d'une perméase à glucose : GluT1 (GluT1 est présente dans presque toutes les cellules animales)





Document 12. Modèle schématique illustrant le changement de conformation d'un transporteur de type perméase, et ses deux états alternatifs notés " ping " et " pong ".

(CALLEN JC., " Biologie cellulaire : des molécules aux organismes " ; Dunod Ed., 1999).

Exercice 2 : un contrôle hormonal de la perméabilité au glucose

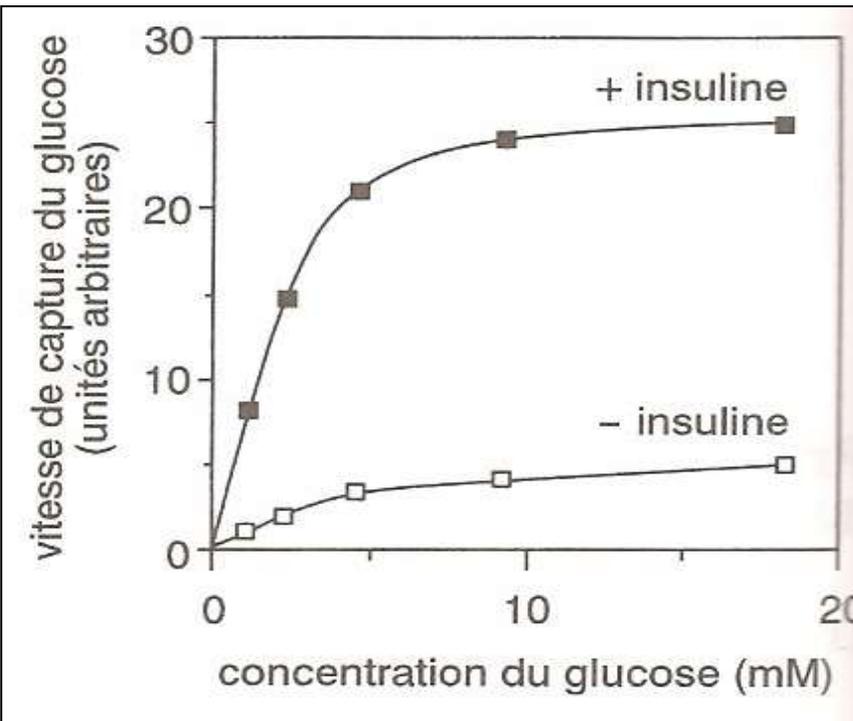


Figure 1. Effets de l'insuline sur la vitesse de « capture » du glucose par des cellules adipeuses.

Figure 2. Taux de transporteurs du glucose sur des membranes traitées ou non par l'insuline.

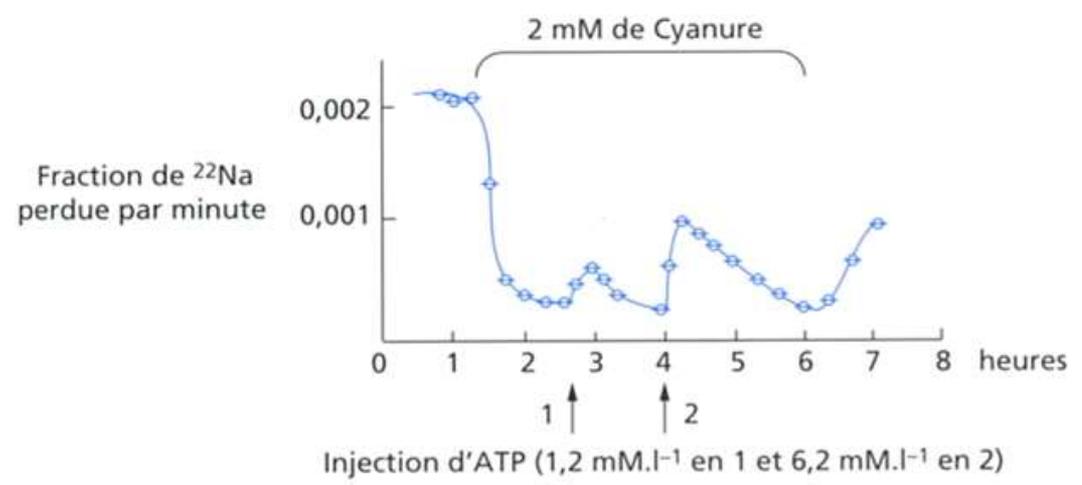
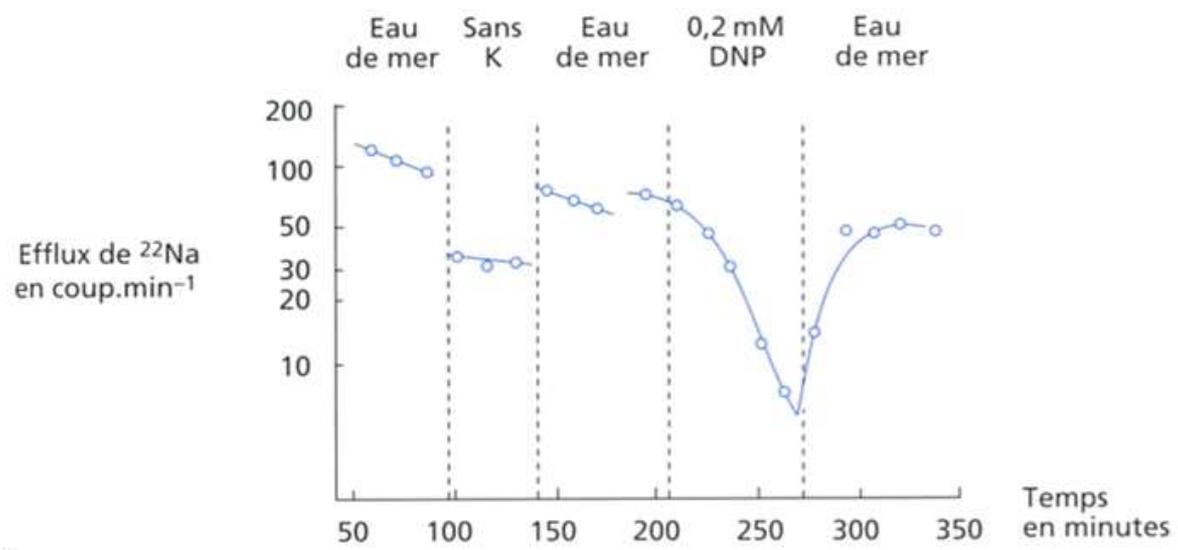
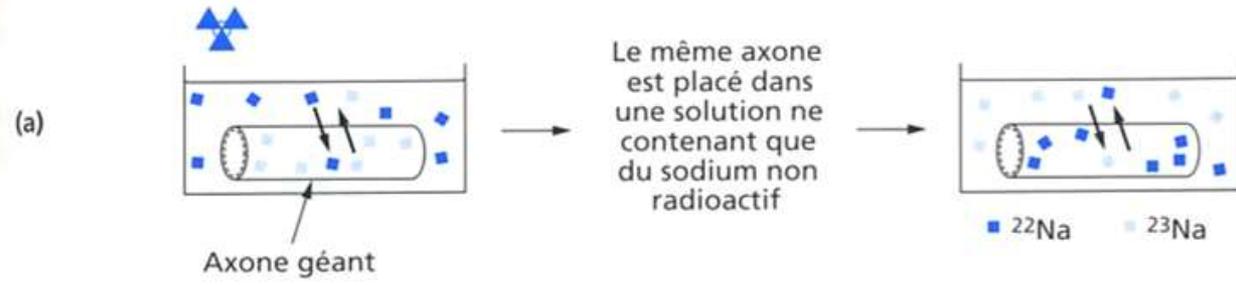
Fraction membranaire	³ H-Cytochalasine B liée (cpm/mg protéine vésicale)	
	Cellules non traitées (- Insuline)	Cellules traitées (+ Insuline)
Membrane plasmique	890	4 480
Endomembranes	4 070	480

	Diffusion	Transfert facilité	Transport facilité	Electro-diffusion	Transport actif primaire	Transport actif secondaire
Exemple étudié	urée	eau		ions (Na ⁺ , K ⁺ ...)	pompe Na ⁺ -K ⁺ /ATPase	
Aspects énergétiques	passif	passif	passif	passif		
Utilisation de protéines	non	aquaporine		canaux protéiques		
Spécificité	non	oui		oui	oui	
Saturation	non	non		non		
Fonctions associées	nutrition excrétion métabolisme	nutrition excrétion métabolisme auxèse		nutrition (végétaux) excitabilité		
Autres exemples	eau (osmose) O ₂ , CO ₂ , acides gras	-		Ca ²⁺		

Document 18. Bilan de la diversité des modalités de franchissement des membranes.

	Diffusion	Transfert facilité	Transport facilité	Electro-diffusion	Transport actif primaire	Transport actif secondaire
Exemple étudié	urée	eau	glucose	ions (Na ⁺ , K ⁺ ...)	pompe Na ⁺ -K ⁺ /ATPase	
Aspects énergétiques	passif	passif	passif	passif		
Utilisation de protéines	non	aquaporine	perméases	canaux protéiques		
Spécificité	non	oui	oui	oui	oui	
Saturation	non	non	oui	non		
Fonctions associées	nutrition excrétion métabolisme	nutrition excrétion métabolisme auxèse	nutrition	nutrition (végétaux) excitabilité		
Autres exemples	eau (osmose) O ₂ , CO ₂ , acides gras	-	petites molécules polaires : acides aminés	Ca ²⁺		

Document 18. Bilan de la diversité des modalités de franchissement des membranes.



Document 13.
Mise en évidence expérimentale du transport actif du sodium et du potassium.
 a. Protocole expérimental.
 b. Résultats expérimentaux : efflux du sodium dans différentes conditions expérimentales.

(PEYCRU P. et coll., " Biologie 1^{ère} année BCPST, Dunod Ed., 2007).

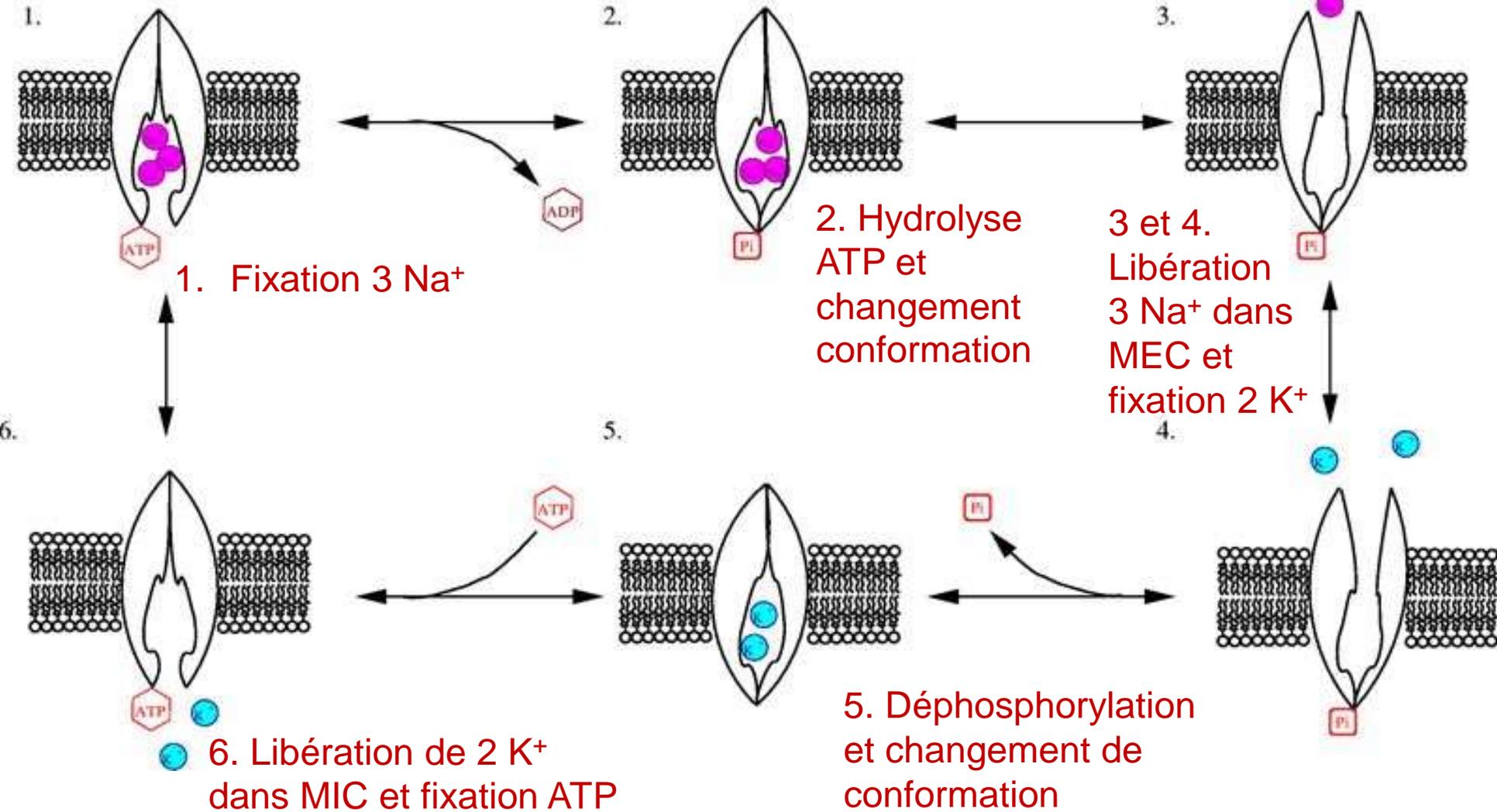
état E1 non phosphorylé :

- Forte affinité pour Na^+ et ATP
- Faible affinité pour K^+

Document 14. Modèle de fonctionnement de la pompe Na^+/K^+ ATP dépendante des cellules animales.

état E2 phosphorylé :

- Faible affinité pour Na^+ et ATP
- Forte affinité pour K^+



Organisation fonctionnelle de la pompe Na^+/K^+

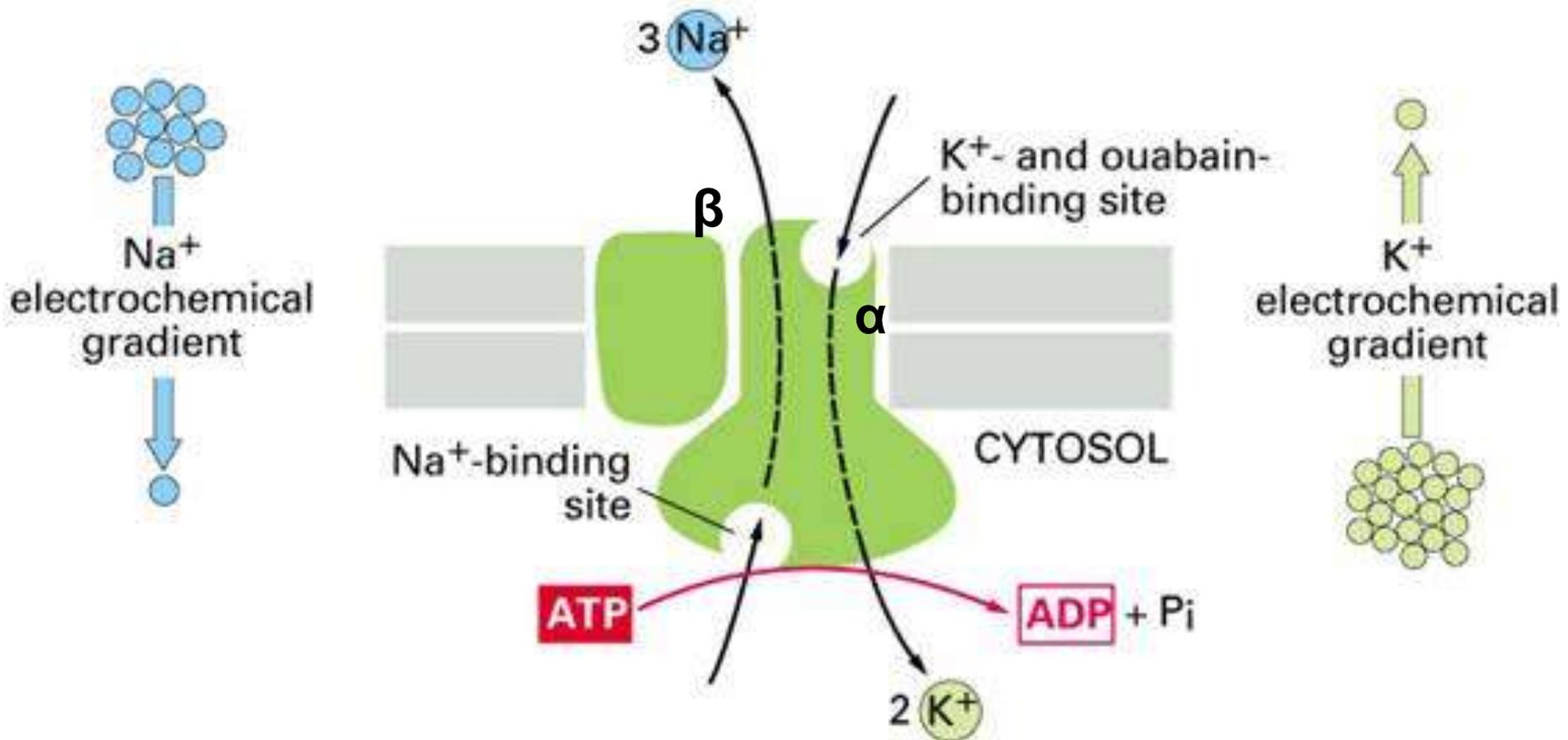
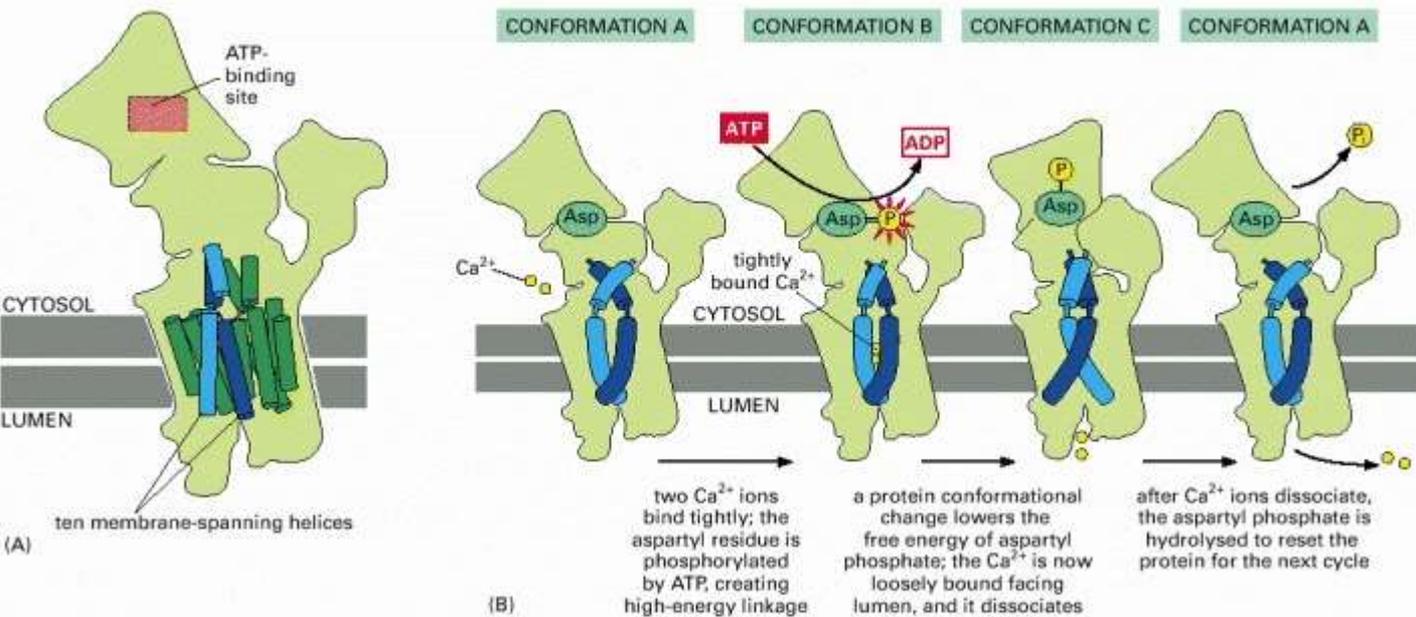


Figure 11-13. Molecular Biology of the Cell, 4th Edition.

Diversité des transports actifs I



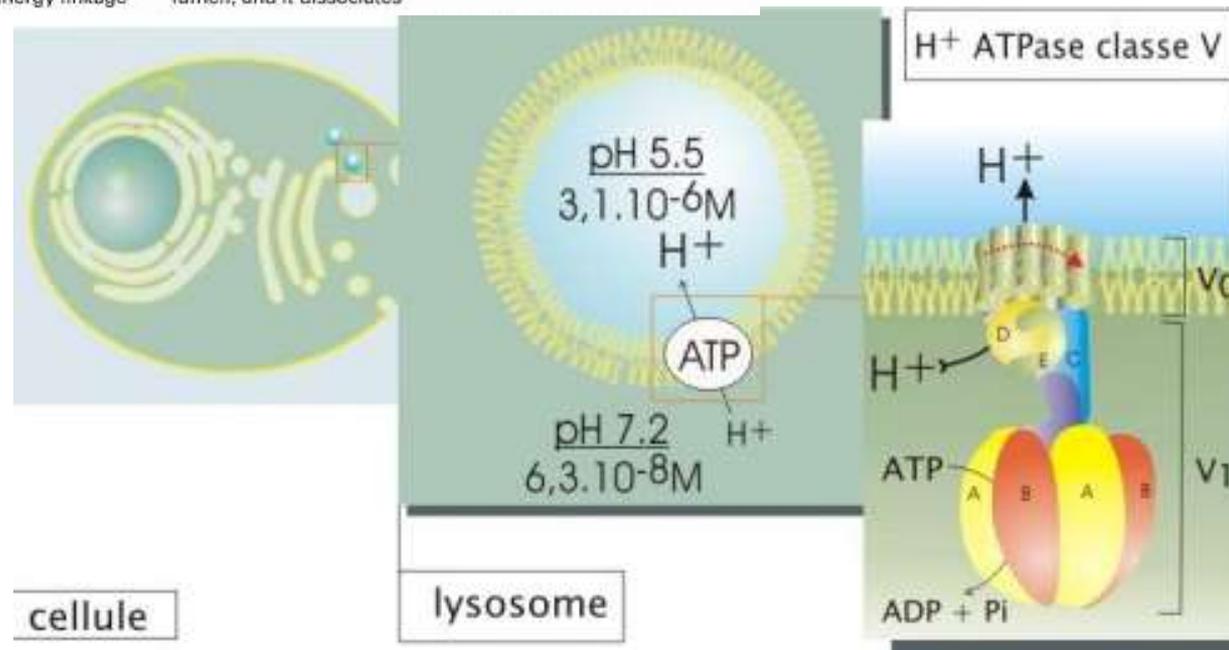
La pompe
Ca²⁺ ATPase

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26911/figure/A404/?report=objectonly>

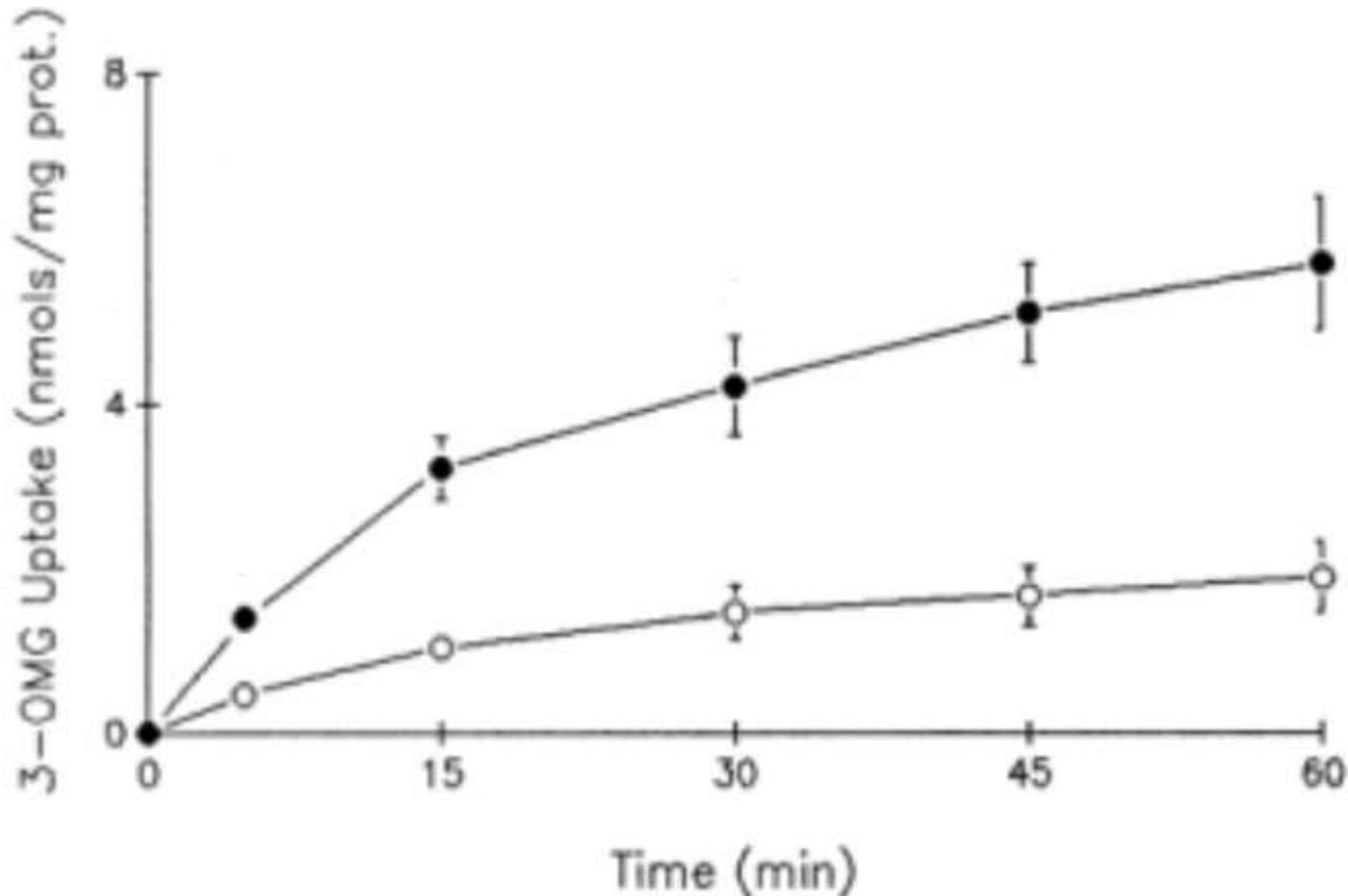
La pompe H⁺
ATPase lysosomale

http://www.ulyse.u-bordeaux.fr/atelier/ikramer/biocell_diffusion/qbb.cel.fa.102.b3/content/access.htm

n/qbb.cel.fa.102.b3/content/access.htm

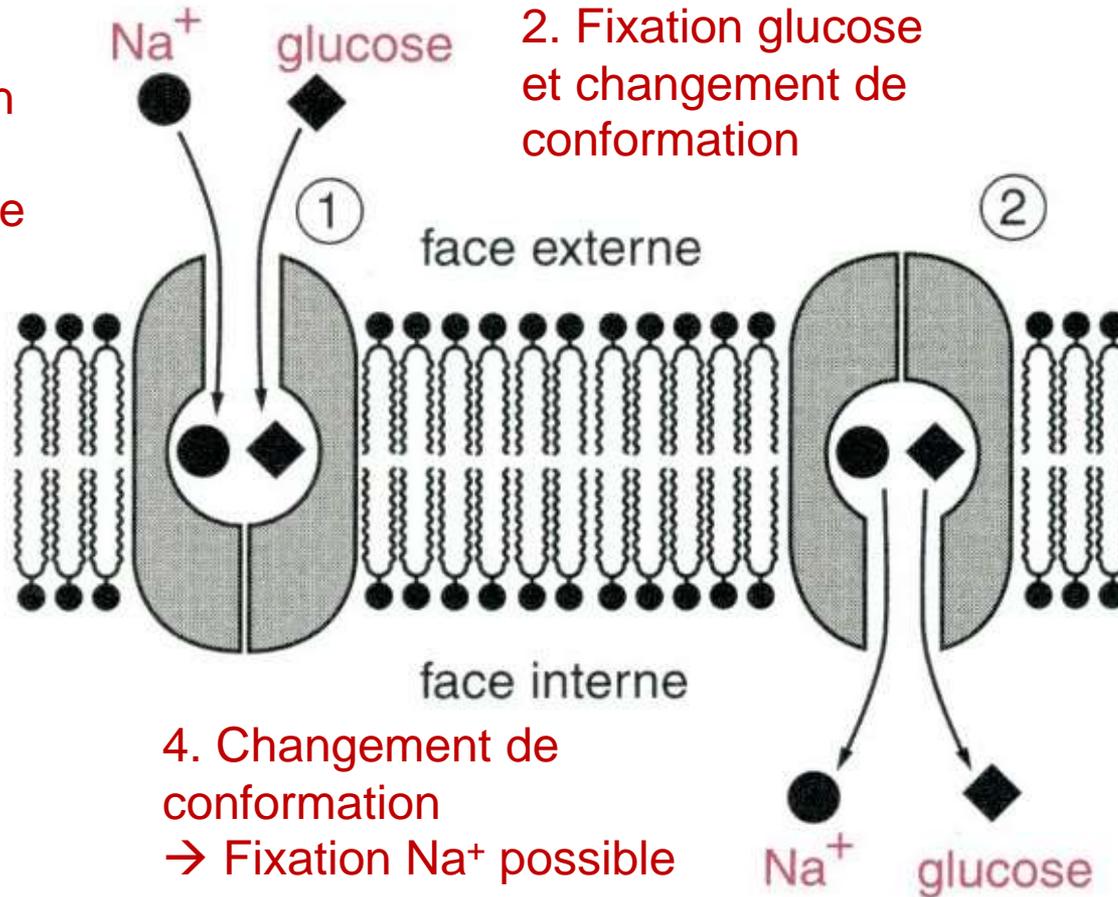


Document 15. Effet de la concentration extracellulaire en Na^+ sur l'absorption de glucose par l'entérocyte.



3 – OMG = 3 – O – méthyl – glucose, analogue du glucose
Cercles pleins : avec Na^+ ; cercle vides : sans Na^+ .

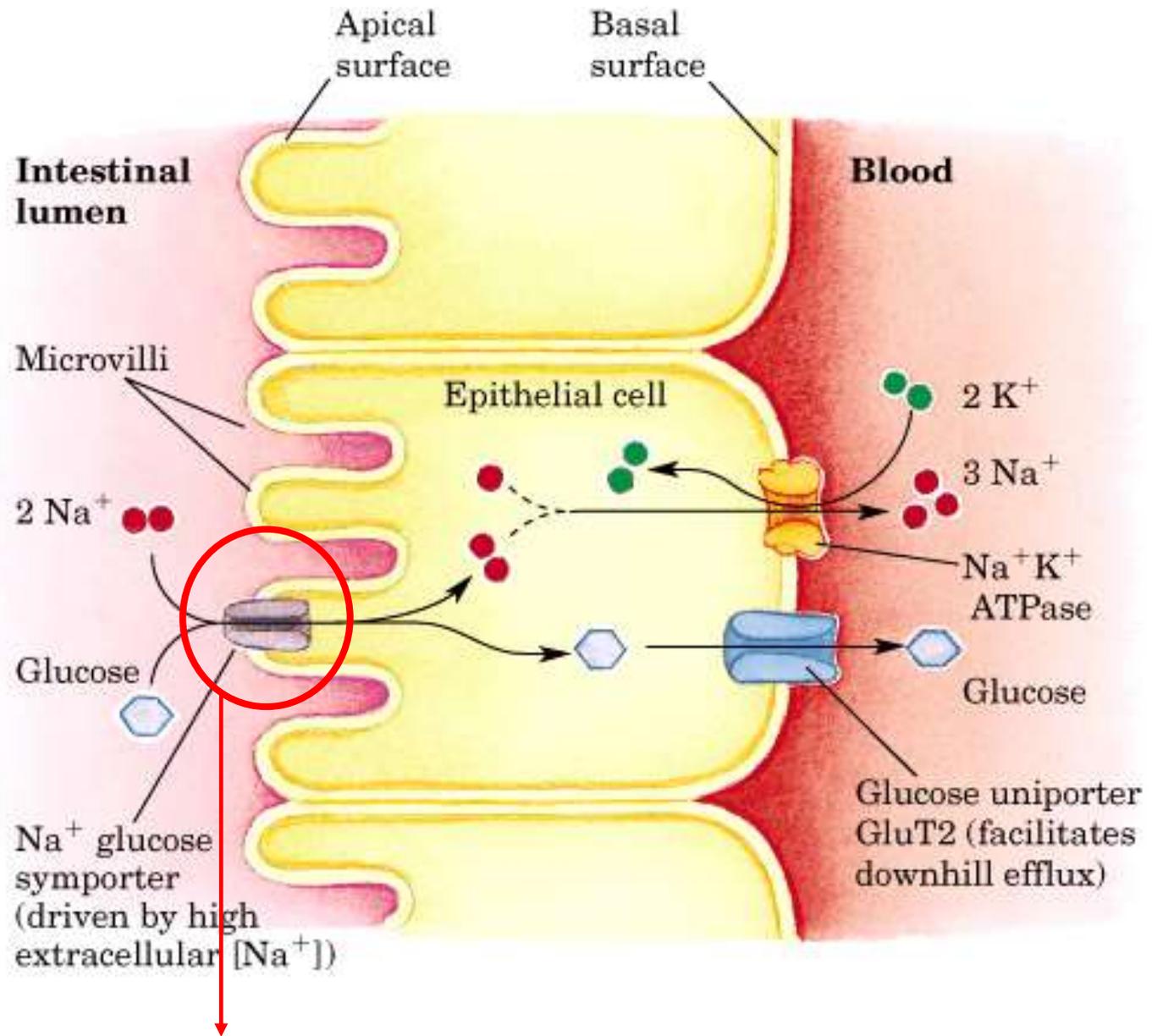
1. Fixation Na^+
et changement
de conformation
→ fixation du
glucose possible



2. Fixation glucose
et changement de
conformation

Document 16. Modèle de fonctionnement d'un transporteur actif secondaire basé sur un gradient d'ions Na^+ .

(CALLEN JC., " Biologie cellulaire : des molécules aux organismes " ; Dunod Ed., 1999).



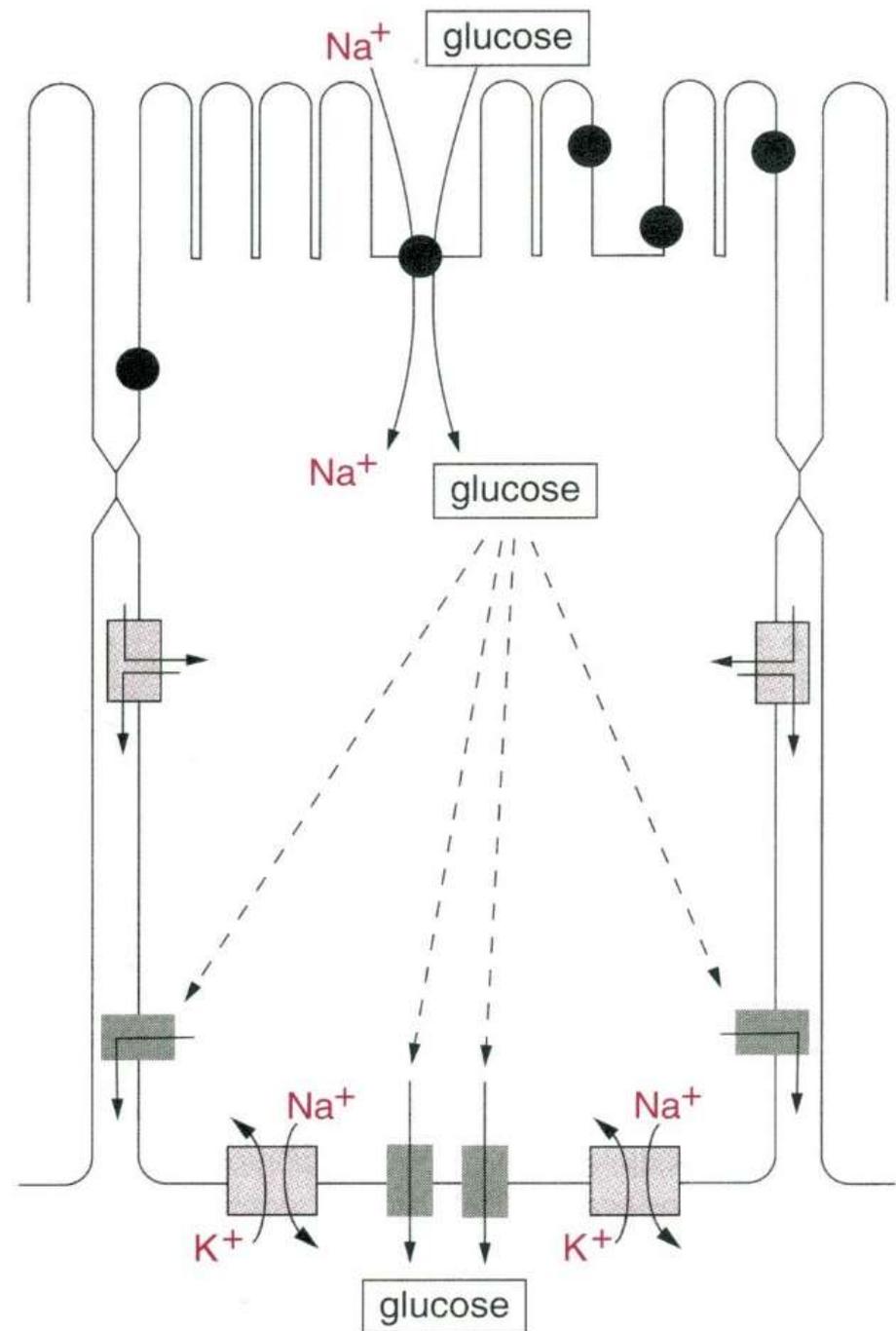
Transport actif secondaire du glucose dans l'entérocyte
 (le symporteur est une pompe, mode de fonctionnement différent de gluT1)

Document 17.

Modalités de transport du glucose intestinal à travers un entérocyte.

Trois molécules porteuses sont en jeu, dont les distributions membranaires sont capitales pour assurer le passage unidirectionnel de ce composé à travers l'épithélium intestinal. Le symport Na^+ / glucose est localisé sur la face apicale absorbante, tandis que la pompe Na^+ / K^+ ATP dépendante et la perméase sont confinées dans la membrane basolatérale.

(CALLEN JC., " Biologie cellulaire : des molécules aux organismes " ; Dunod Ed., 1999).



	Diffusion	Transfert facilité	Transport facilité	Electro-diffusion	Transport actif primaire	Transport actif secondaire
Exemple étudié	urée	eau	glucose	ions (Na ⁺ , K ⁺ ...)	pompe Na ⁺ -K ⁺ /ATPase	
Aspects énergétiques	passif	passif	passif	passif		
Utilisation de protéines	non	aquaporine	perméases	canaux protéiques		
Spécificité	non	oui	oui	oui	oui	
Saturation	non	non	oui	non		
Fonctions associées	nutrition excrétion métabolisme	nutrition excrétion métabolisme auxèse	nutrition	nutrition (végétaux) excitabilité		
Autres exemples	eau (osmose) O ₂ , CO ₂ , acides gras	-	petites molécules polaires : acides aminés	Ca ²⁺		

Document 18. Bilan de la diversité des modalités de franchissement des membranes.

	Diffusion	Transfert facilité	Transport facilité	Electro-diffusion	Transport actif primaire	Transport actif secondaire
Exemple étudié	urée	eau	glucose	ions (Na ⁺ , K ⁺ ...)	pompe Na ⁺ -K ⁺ /ATPase	glucose
Aspects énergétiques	passif	passif	passif	passif	actif (ATP)	actif (gradient ionique)
Utilisation de protéines	non	aquaporine	perméases	canaux protéiques	pompe	symporteur
Spécificité	non	oui	oui	oui	oui	oui
Saturation	non	non	oui	non	oui	oui
Fonctions associées	nutrition excrétion métabolisme	nutrition excrétion métabolisme auxèse	nutrition	nutrition (végétaux) excitabilité	nutrition excrétion excitabilité	nutrition excrétion
Autres exemples	eau (osmose) O ₂ , CO ₂ , acides gras	-	petites molécules polaires : acides aminés	Ca ²⁺	H ⁺ Ca ²⁺	petites molécules polaires (glc a. aminés), ions (NO ₃ ⁻ /H ⁺)

Document 18. Bilan de la diversité des modalités de franchissement des membranes.

	Diffusion	Transfert facilité	Transport facilité	Electro-diffusion	Transport actif primaire	Transport actif secondaire
Exemple étudié	urée	eau	glucose	ions (Na ⁺ , K ⁺ ...)	pompe Na ⁺ -K ⁺ /ATPase	glucose
Aspects énergétiques	passif	passif	passif	passif	actif (ATP)	actif (gradient ionique)
Utilisation de protéines	non	aquaporine	perméases	canaux protéiques	pompe	symporteur
Spécificité	non	oui	oui	oui	oui	oui
Saturation	non	non	oui	non	oui	oui
Fonctions associées	nutrition excrétion métabolisme	nutrition excrétion métabolisme auxèse	nutrition	nutrition (végétaux) excitabilité	nutrition excrétion excitabilité	nutrition excrétion
Autres exemples	eau (osmose) O ₂ , CO ₂ , acides gras	-	petites molécules polaires : acides aminés	Ca ²⁺	H ⁺ Ca ²⁺	petites molécules polaires (glc a. aminés), ions (NO ₃ ⁻ /H ⁺)

Document 18. Bilan de la diversité des modalités de franchissement des membranes.