
Physiologie membranaire

1. les protéines membranaires

Les protéines membranaires selon le schéma de classification fonctionnelle reconnaissent quatre types de protéines membranaires :

- 1- les protéines de structure
- 2- les enzymes
- 3- les récepteurs
- 4- les transporteurs

1.1. Les protéines de structure

Les protéines de structure ont trois fonctions principales, la première consiste à;

- *Connecter* la membrane au cytosquelette pour maintenir la forme de la cellule.
- Créer des *jonctions cellulaires* qui maintiennent les tissus ensemble (jonctions serrées et communicantes).
- *Attacher* les cellules à la MEC en reliant les fibres du cytosquelette au collagène extracellulaire et d'autres fibres protéiques.

1.2. Les enzymes

Les enzymes membranaires catalysent les réactions chimiques qui ont lieu soit à la surface externe de la cellule, soit du côté interne de la cellule, par exemple, les enzymes de la surface externe des cellules tapissant l'intestin grêle sont responsables de la digestion des peptides et des hydrates de carbone.

Les enzymes présentes à la surface intracellulaire de nombreuses membranes jouent un rôle important dans le transfert du signal de l'environnement extracellulaire vers le cytoplasme.

1.3. Les récepteurs

Les récepteurs protéiques membranaires font partie du *système de signalisation chimique* de l'organisme, la liaison d'un récepteur avec son ligand entraîne souvent un autre événement au niveau de la membrane.

1.4. Les transporteurs

Ils transportent les molécules au travers des membranes, on peut encore diviser les protéines de transport en deux catégories ; les canaux protéiques et les protéines porteuses:

Les canaux protéiques forment des pores aqueux qui relient directement les compartiments intra et extracellulaires.

Les protéines porteuses se lient au substrat qu'elles transportent mais ne forment jamais de connexions directes entre le liquide extra et intracellulaire.

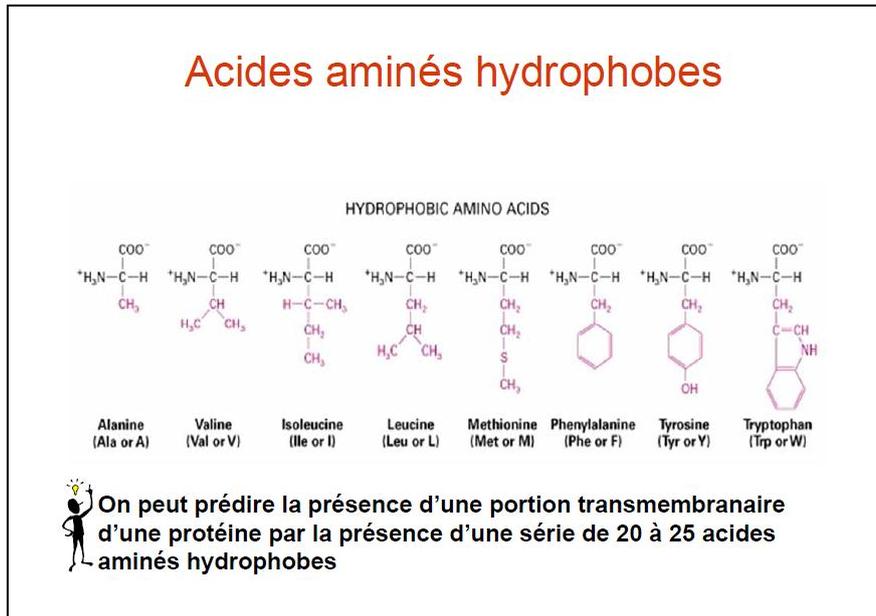
Contrairement aux canaux protéiques, les protéines porteuses sont ouvertes d'un côté ou de l'autre

de la membrane, mais jamais des deux cotées en même temps.

Les cellules ont besoin de 2 types de protéines de transport, du fait de leurs propriétés différentes, les canaux protéiques permettent des transports plus rapides au travers des membranes mais ne sont pas sélectifs vis-à-vis de ce qu'ils transportent.

Les protéines porteuses, plus lentes permettent quant à elle de faire la différence entre des molécules proches, de plus, les protéines porteuses peuvent transporter des molécules plus grosses que celle transportées par les canaux protéiques.

2. Comment les protéines membranaires peuvent s'insérer dans la bicouche lipidique ?



3. Rôle et principales fonctions de la membrane plasmique

- Protection de la cellule du ½ extérieur
- Entoure les cellules, formant des compartiments fermés en séparant les cellules, les unes des autres et permettent ainsi leurs individualité,
- Échange entre la cellule et le ½ extérieur, elle contrôle ainsi l'entrée des substances nutritives et le rejet des déchets,
- Reconnaissance de certains produits par le biais de récepteurs, elle est donc une sorte de capteur de signaux externes permettant à la cellule de s'adapter en réponse aux modifications de l'environnement,
- identification de la cellule par la présence de molécules spécifiques telles que les protéines du système HLA, des groupes sanguin et rhésus.

4. Les transport membranaires, pourquoi des échanges à travers les membranes cellulaires?

- La bicouche lipidique est hydrophobe; ne permet pas le passage de molécules polaires
- Nécessite de régler les concentrations ioniques intracellulaires.
- La cellule est vivante et se nourrit donc en puisant dans le milieu extracellulaire les

nutriments nécessaires au maintien de son activité et de sa croissance.

- Elle rejette dans le $\frac{1}{2}$ extracellulaire les produits de dégradation inutiles ou toxiques.
- C'est travers la membrane plasmique ou à l'aide de celle-ci que vont s'effectuer les échanges.

Les échanges d'ions et de molécules de toutes tailles entre cellules et milieu environnant est indispensable. Les mécanismes de ces échanges sont variables et complexes, ce qui amène à les classer pour faciliter leur approche.

A un premier niveau, on distingue :

1) **les transports perméatifs** qui concerne les ions et les substances de faible poids moléculaire dont le passage n'implique pas de déformation de la membrane cellulaire (visible en microscopie électronique).

2) **les transports cytotiques** s'appliquant aux substances de plus haut poids moléculaire dont le passage provoque une déformation de la membrane cellulaire aboutissant à la formation d'une vacuole (endocytose, exocytose).

5. Perméabilité de la membrane cellulaire

Les membranes cellulaires sont sélectivement perméables, car leur composition en lipides et en protéines détermine quelles molécules peuvent entrer et sortir de la cellule, la capacité d'une substance à entrer dans une cellule va dépendre de ses propriétés et de celle de la membrane cellulaire, si cette dernière permet à une molécule de la traverser est dite perméable à cette substance.

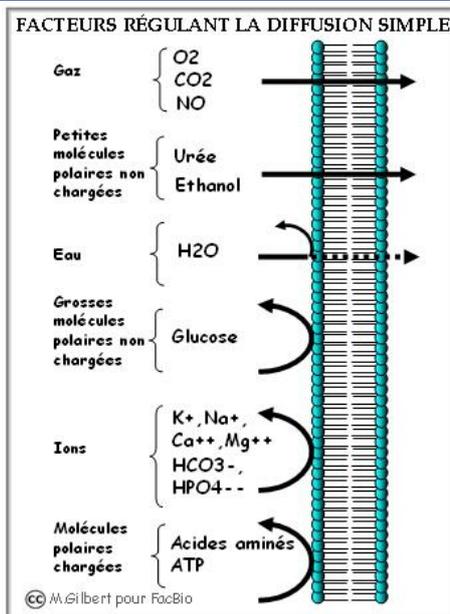
Perméable (permeare = passer à travers).

La perméabilité membranaire est variable et peut être changée en modifiant les protéines ou les lipides de la membrane.

Quelques molécules, l'O₂, le CO₂ et les lipides traversent facilement la plupart des membranes cellulaires, par contre les ions, la plupart des molécules polaires et très grosses entrent dans la cellule avec plus de difficulté ou peuvent ne pas rentrer du tout.

Le mouvement d'une molécule au travers la membrane dépend de deux de ces propriétés;

- Sa taille (dont la masse moléculaire est > 150 D).
- Sa solubilité dans les lipides.



La **diffusion simple** au travers des membranes est limitée donc aux **molécules lipophiles**

Les molécules plus grosses ou les moins liposolubles ne peuvent pas traverser la bicouche à moins que la cellule possède un mécanisme spécifique pour les transporter au travers de la bicouche.

Le transport de ces molécules passe par les protéines membranaires, tandis que les grosses molécules lipophobes doivent entrer et sortir des cellules dans des vésicules.

Il existe deux classifications pour le passage des molécules au travers des membranes:

1 selon les besoins physiques.

2 selon les **besoins énergétiques**.

6. Les différents types de transport membranaires

Transport passif: les molécules peuvent traverser la double couche par un mouvement spontané vers l'équilibre sans apport d'énergie, dans le gradient de concentration.

Trois formes:

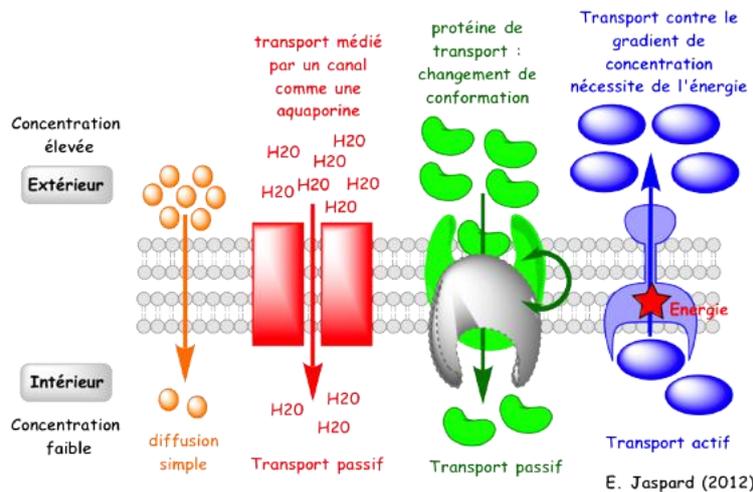
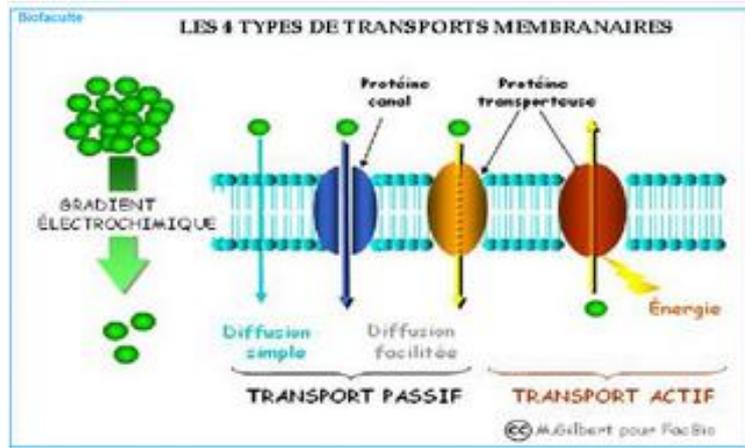
- Diffusion simple.
- Diffusion facilitée.
- Osmose.

Transport actif:

Exige de l'énergie (ATP) et l'intervention de protéines

Autres types d'échange:

- l'endocytose.
- L'exocytose.



6.1. La diffusion utilise uniquement l'énergie du mouvement moléculaire

Le transport passif au travers des membranes utilise l'énergie cinétique inhérente aux molécules, les molécules gazeuses et en solution se déplacent constamment d'un endroit à l'autre jusqu'à ce qu'elles se distribuent de manière homogène dans tous l'espace disponible ➡ **Diffusion**

La diffusion peut être définie comme le mouvement de de molécules d'une zone de plus forte concentration vers la zone de plus faible [].

Exemple: Si vous laissez une bouteille d'eau de Cologne ouverte dans la pièce, que ce passe il?

6.1.1. La diffusion possède sept propriétés

- La diffusion est un phénomène passif qui n'a pas besoin d'apport d'énergie de source extérieure (E cinétique que toutes les molécules possèdent).
- Les molécules se déplacent d'une zone de plus forte [] vers une zone de plus faible [] {selon le gradient de concentration}.
- Le mouvement de molécules s'effectue jusqu'à ce que la [] soit identique partout.
- La diffusion est rapide sur de courtes distances mais beaucoup moins lente sur de longue distances.
- Elle est directement reliée à la température; les molécules se déplacent plus vite à de hautes températures (les changements de T n'affectent pas de manière significative les taux de

diffusion chez l'homme, du fait d'une T corporelle relativement constante).

- La vitesse de diffusion est inversement corrélée à la taille des molécules.
- Elle peut avoir lieu dans un système ouvert ou au travers d'une cloison qui sépare deux systèmes.

6.1.2. Mécanisme de la diffusion simple

Au cours de la diffusion simple, une molécule se dissout dans la **bicouche lipidique** et y diffuse pour ensuite se dissoudre dans le milieu aqueux face opposée.

Aucune protéine membranaire n'est impliquée dans ce processus et le flux net de molécules à travers la membrane s'effectue toujours dans le sens du **gradient de concentration**, c'est à dire du compartiment où la concentration est la plus élevée vers le compartiment où la concentration est la plus faible.

La diffusion simple est un processus **non sélectif** puisque toute molécule qui se dissout dans la membrane plasmique (ou toute membrane biologique) est capable de la traverser et de s'équilibrer entre le milieu extracellulaire et intracellulaire.

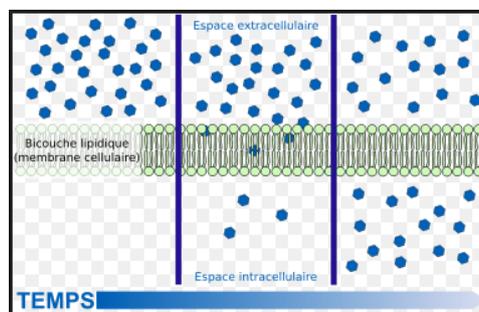
6.1.3. La diffusion simple au travers d'une membrane cellulaire

La vitesse de diffusion au travers d'une membrane est plus grande si;

- La surface de la membrane est plus grande
- La membrane est plus fine é
- La différence de [] est plus grande
- La membrane est plus perméable à la molécule

La perméabilité membranaire à une molécule dépend de;

- La solubilité de la molécule dans les lipides
- La taille de la molécule
- La composition en lipides de la membrane cellulaire.



6.2. Diffusion facilitée

La grande majorité des soluté traversent les membranes grâce à des protéines membranaires, un processus appelé transport dépendant des protéines, si le transport dépendant des protéines est passif et induit un déplacement des molécules dans le sens de leur différence de concentrations, et si le transport ne s'arrête que lorsque les []s sont égales des deux côtés de la membrane, le processus s'appelle diffusion facilitée.

Elle s'applique au transport membranaire de diverses **molécules polaires** (oses, nucléosides) et certains **ions**.

Dans ce cas la molécule ou l'ion sont pris en charge par une **protéine transporteuse** (= transporteurs) ce qui évite le contact avec la bicouche lipidique lors de son transfert vers l'autre face de la membrane.

Le flux net est dicté par le **gradient de concentration**, comme dans le cas de la diffusion simple, et aussi par le **potentiel électrique** au travers la membrane pour les molécules électriquement chargées (ions).

La diffusion facilitée est un mécanisme **saturable**, contrairement à la diffusion simple. La vitesse de transport atteint un maximum (V_{max}) lorsque le transporteur est saturé.

La diffusion facilitée est assurée par des **transporteurs** et des **protéines canal** (= canaux).

Le système de diffusion facilitée est saturable, il atteint une valeur maximale qui demeure une valeur constante

Elle se caractérise par la spécificité du vis-à-vis de la substance à traverser

La possibilité d'inhibition spécifique : les transport médiats sont souvent inhibés d'une manière compétitive par des substances de structure voisines ou sont bloqués par action de certains réactifs sur un groupement fonctionnel de la protéine de transport

6.2.1. Diffusion facilitée/les protéines canal

A l'inverse des protéines transporteuses, les protéines canal forment un port au travers la membrane qui, lors de son ouverture (contrôlée), permet un libre passage (libre diffusion) de toutes molécules ayant une charge et une taille appropriées.

Il existe plusieurs types de protéines canal:

- Les canaux ioniques
- Les connexines
- Les aquaporines.

a- Les aquaporines

La membrane cellulaire est peu perméable à l'eau, dans les mouvements dépendent des différences d'osmolarité de part et d'autre de la membrane, mais la diffusion est **lente** et de **faible importance**.

Le transfert d'eau se fait essentiellement par des canaux spécifiques appelés **aquaporines**,

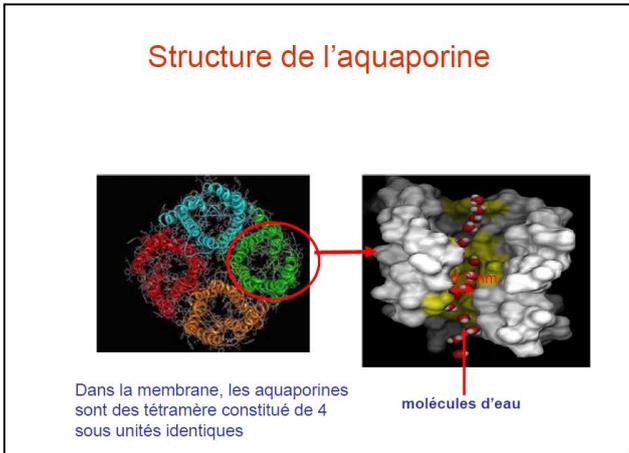
Ils sont des protéines tétramériques transmembranaires.

Comment l'eau traverse la membrane de la cellule ?

Peter Agre s'est mérité le Nobel de chimie 2003 pour sa découverte des aquaporines en 1988



1. Passage lent à travers les phospholipides membranaires.
 2. Passage rapide à travers les canaux membranaires spécifiques aux molécules d'eau, les aquaporines.
- Les aquaporines (on connaît plus de 200 sortes différentes dans le règne végétal qu'animale) permettent le passage de l'eau de part et d'autre de la membrane tout en empêchant les ions de pénétrer dans la cellule.



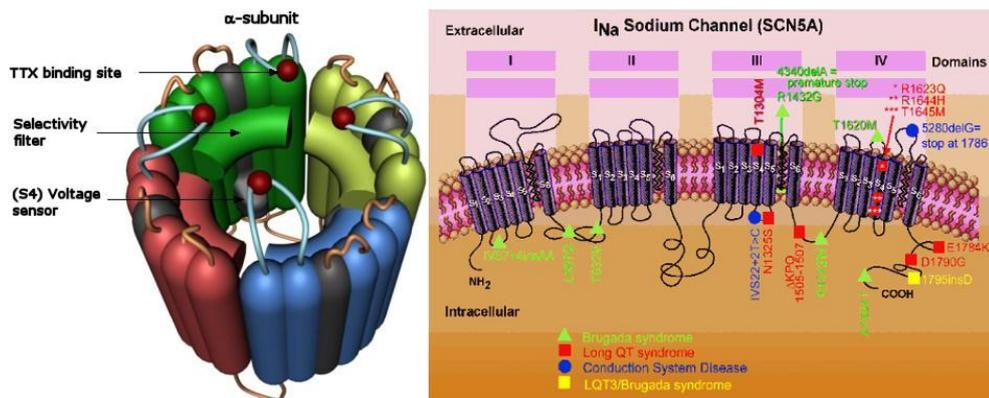
On distingue différentes aquaporines suivant leur localisation cellulaire ;
 AQP0, AQP1; au niveau des membranes des globules rouges et des cellules rénales
 AQP 2; au niveau du tube collecteur du rein
 AQP 4; dans le cerveau
 AQP7/AQP9; dans les adipocytes.

b- Les canaux ioniques

Ce sont des protéines transmembranaires polytopiques (à passage multiples) forment des pores permettent au ions ayant une taille et une charge appropriée de traverser librement.
 Ils sont organisés en sous unités qui forment un pore hydrophile au centre et hydrophobe en périphérie, ils sont sélectifs vis-à-vis de l'ion à transporter
 Il existe des canaux ioniques spécifiques pour le K⁺, le Na⁺, le Ca²⁺ et le Cl⁻ (appelés respectivement canaux potassiques, sodique, calcique et chlorure), ainsi que des canaux non spécifiques pour les cations et les anions.

Canal Na⁺ (voltage dépendants)

- ❑ Un **canal sodium**, ou sodique, est un *canal ionique* spécifique aux *ions sodium*. Il en existe plusieurs types. Le premier à avoir été décrit est le canal sodique du potentiel d'action, responsable entre autres de la dépolarisation du neurone et du myocarde, de la propagation du signal nerveux et de la propagation de l'activation électrique du myocarde.
- ❑ Il faut différencier les canaux sodiums stricts des canaux perméants aux **cations**, c'est-à-dire principalement sodium et **potassium**. À la différence de ces derniers, les canaux sodium sont imperméables aux ions potassium.
- ❑ Formé de 4 sous unités transmembranaires, formée chacune de 6 hélices hydrophobes distinguées S1, S2, S3, S4, S5 et S6.



Structure du canal à Na⁺

Le segment S4 est sensible aux variations du potentiel, la boucle entre les domaines III et IV est impliqué dans l'inactivation du canal.

La variation du potentiel de la membrane entraine l'ouverture du canal et une entrée massive de **Na⁺**

- Canal Ca²⁺ permet l'entrée massive de Ca⁺⁺
- Canal de K⁺ permet la sortie de K⁺

6.2.2. Diffusion facilitée/les transporteurs

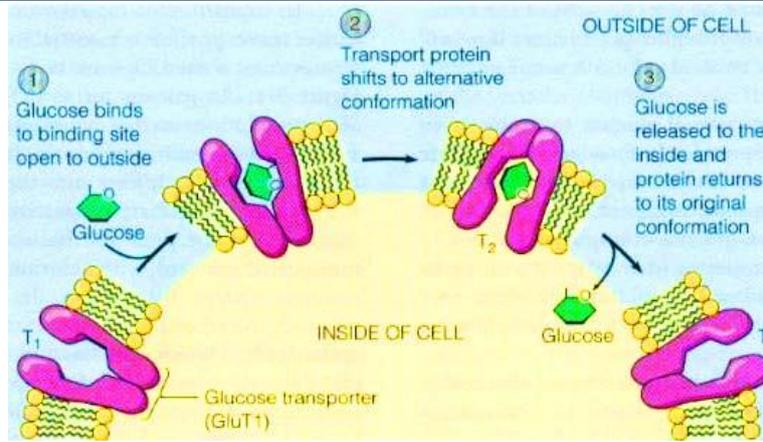
Ces protéines lient de façon **spécifique** les molécules à transporter (sucres, acides aminés, nucléosides).

Puis elles subissent des **changements conformationnels** qui permettent à la molécule de traverser la membrane et d'être libérée sur l'autre face.

Les **transporteurs du glucose** font parti de cette famille.

Transport du glucose

Le premier transporteur du glucose à été isolé en 1977 à partir du globule rouge. C'est un perméase qui transporte le glucose dans le sens de gradient de [], formé de 492 aa répartis en 25 segments; 12 hélices α hydrophobes, et 13 segments baignant dans le 1/2 aqueux extra et intracellulaires.



Le transport du glucose

L'arrangement hélicoïdal des hélices **3, 5, 8** et **11** permet de constituer un cylindre vers le centre auquel sont orientés les radicaux des aa hydrophile.

L'interaction transitoire par des ponts hydrogènes entre ces radicaux et les hydroxyles du glucose permet le transport.

Chez les mammifères, le transport du glucose est assuré, en fonction du type cellulaire, par l'un des transporteur du glucose appelé GLUT (glucose transporter).

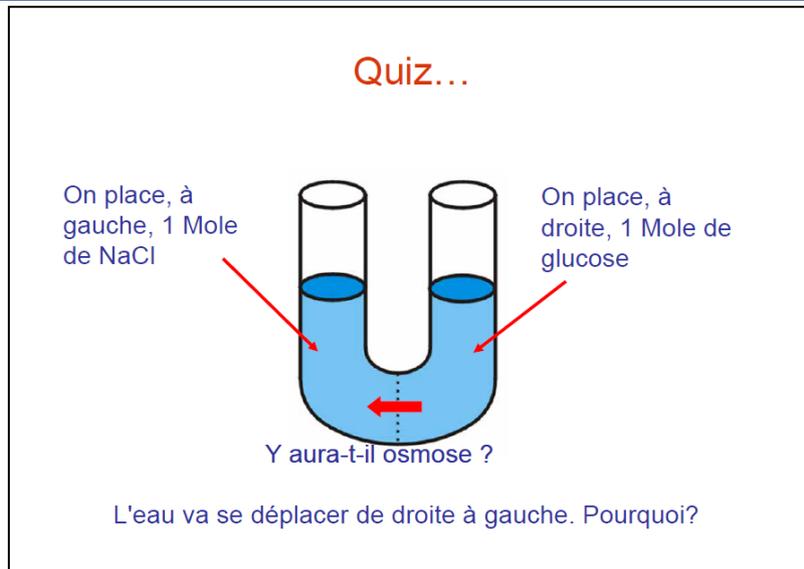
Les GLUT existe sous deux états conformationnels ;

- Ouvert du coté externe de la cellule : pour la fixation
- Ouvert du coté interne (cytoplasme) pour le relâchement de glucose à l'intérieur de la cellule

Diffusion passif vs diffusion facilitée

	Diffusion passif	Diffusion facilitée
Nécessite une protéine spécifique	-	+
Vitesse de diffusion	+/-	+ / +
Influence de l'hydrophobicité	+	-
Spécificité	-	+
Exemples des molécules transportées	O ₂ , CO ₂ , hormones stéroïdes, substances chimiques	Glucose et acides aminés; ions et eau

Mais qu'est ce qui est commun entre les 2 ?

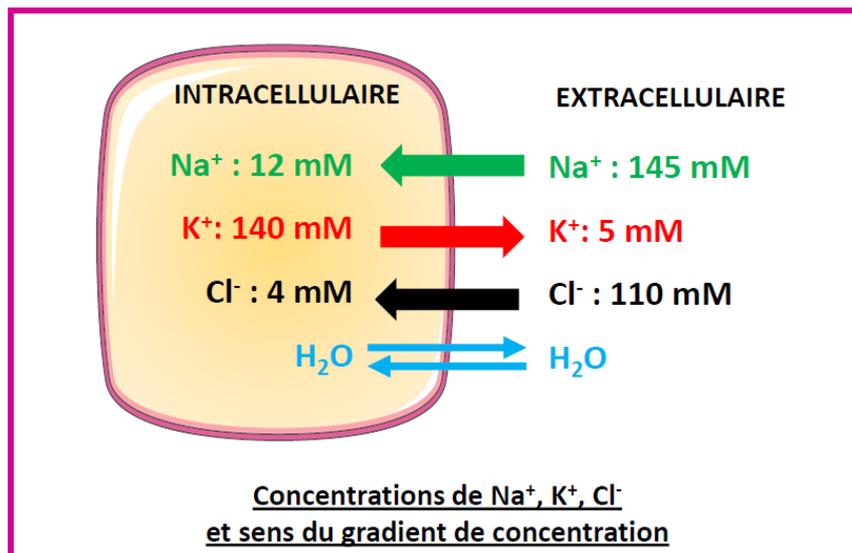


6.3. Transport actif

6.3.1. Transport actif des petites molécules

La composition du milieu extracellulaire est différente de celle du milieu intracellulaire et particulièrement pour les ions Na^+ et K^+ .

Le mécanisme responsable du maintien de la différence de concentration de part et d'autre de la membrane est dû à un transport actif de chacun de ces ions.



Il permet le transport contre un gradient de concentration. Il nécessite de l'énergie.

L'énergie peut être obtenue à partir de :

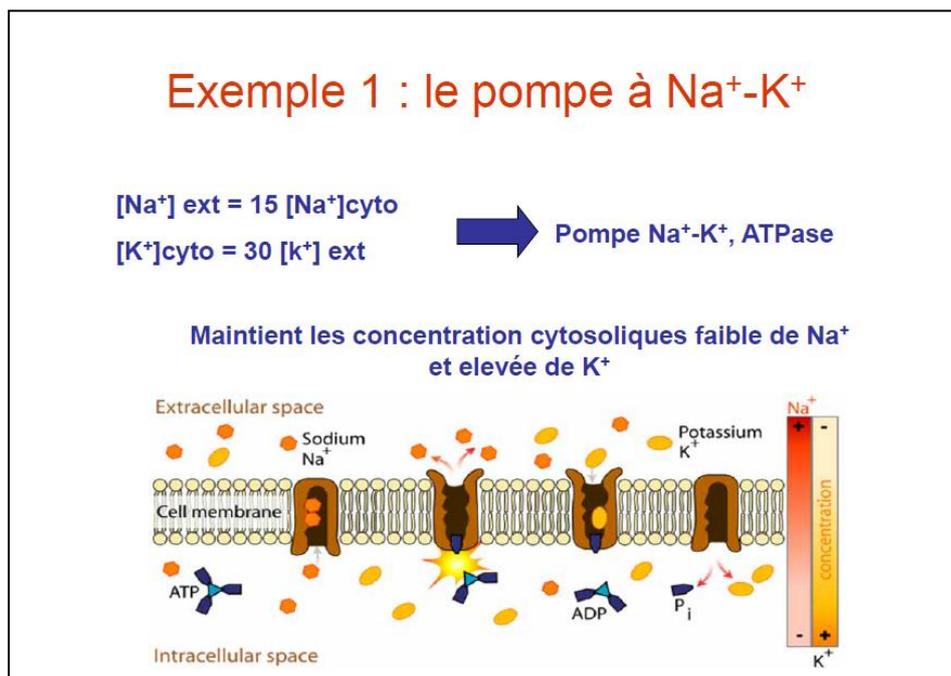
- ❑ l'hydrolyse de l'ATP
- ❑ d'un gradient de concentration

a- Transport actif nécessitant une hydrolyse de l'ATP

- protéines transmembranaires

- possèdent un ou plusieurs sites de liaison pour l'ATP (situé sur la face cytosolique de la membrane.
 - Commonément appelées des ATPases.
 - Utilise l'énergie de l'hydrolyse de l'ATP pour le transport des molécules contre le gradient de leur concentration.
- ❑ Il fait intervenir des perméases de type pompes (ATPase) ou échangeurs. Il s'agit essentiellement des « **pompes ioniques** ».
- ❑ Les « **pompes ioniques** » sont responsables du **maintien des gradients ioniques** au travers la membrane plasmique.
- ❑ La protéine la plus étudiée est **Na⁺/K⁺ ATPase**.

1. Pompe Na⁺/K⁺



1.1. Rôle de la pompe Na⁺/K⁺

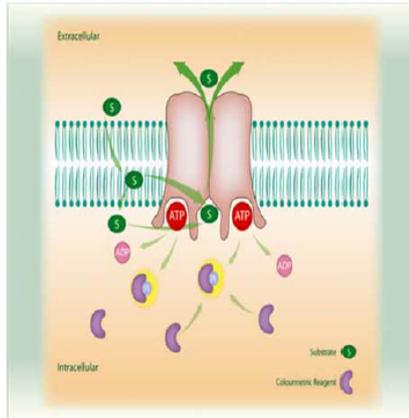
La pompe Na⁺/K⁺ consomme à elle seule 25% de l'ATP cellulaire.

Le maintien des gradients Na⁺/K⁺ ; pour permettre :

- Propagation des signaux électriques dans les nerfs et le muscle
- Transport actif d'autres molécules.
- Ajustement de l'équilibre osmotique (équilibre entre les molécules organiques et le gradient ionique).

2. Les transporteurs

Exemple 2 : Les transporteurs ABC



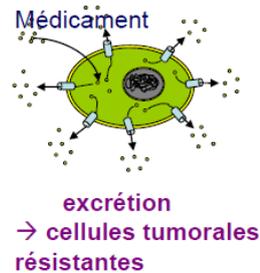
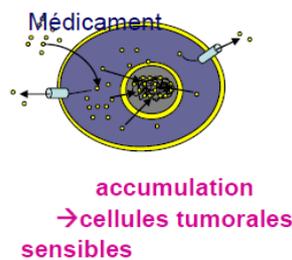
- La plus vaste famille de transporteur membranaire (50)
- 2 domaines hydrophobes : site de reconnaissance de substrat
- 2 domaines de liaisons avec l'ATP
- Import et export d'une grande variété de substrat : ions, xénobiotiques...
- Ils sont abondamment exprimés dans le foie, les intestins et les reins

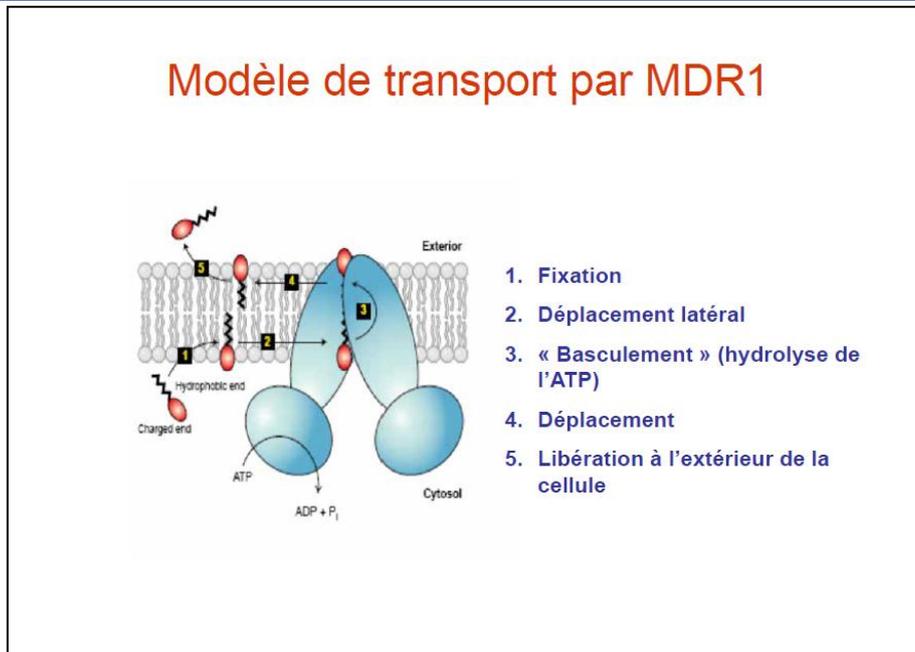
Pourquoi s'intéresse-t-on à cette famille de transporteur ?

- o Plusieurs maladies sont associées à une altération des transporteurs ABC



La chimiorésistance de certaines tumeurs sont due à une surexpression d'un transporteur de la famille ABC (MDR1) qui excrète les xénobiotiques (médicaments)





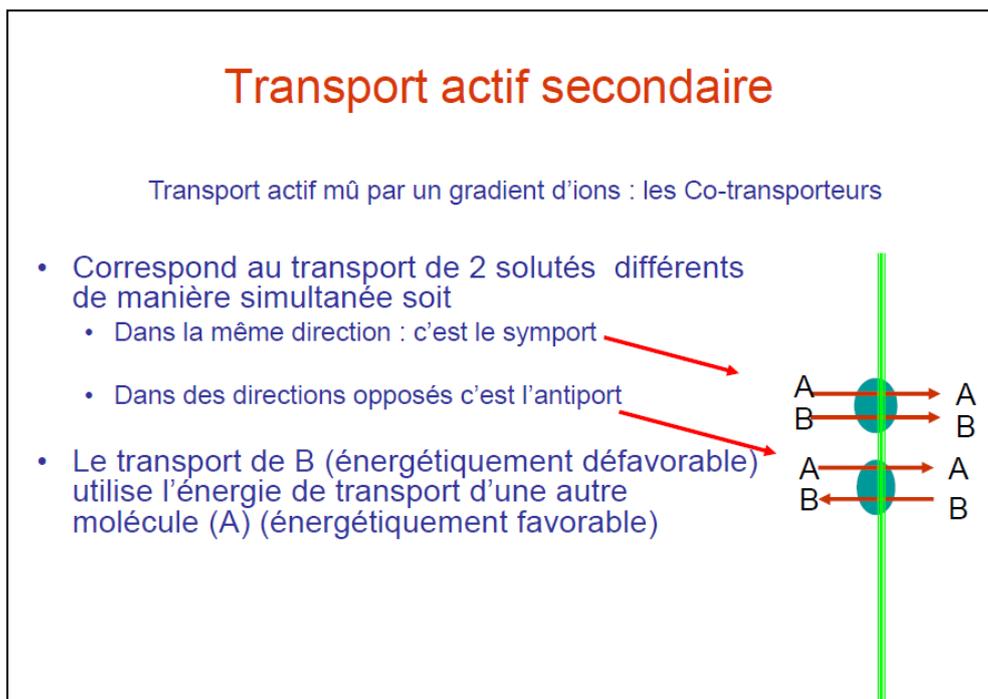
b- Transport actif nécessitant un gradient de concentration

Dans ce type de transport le gradient électrochimique d'un ion donné va fournir l'énergie pour transporter une molécule vers l'autre face de la membrane plasmique. Ce sont des transports couplés appelé co-transport.

Il existe deux types de protéines de co-transport :

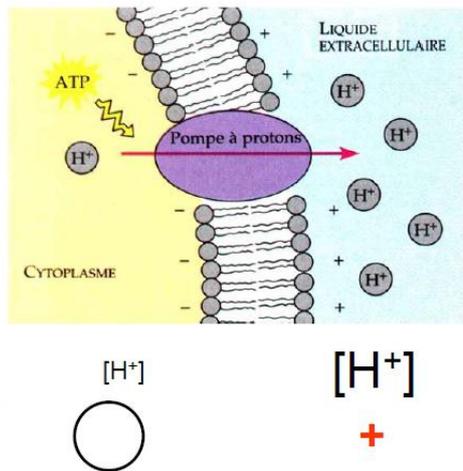
Ø les protéines de type symport : transportent deux substances de nature différentes dans la même direction.

Ø les protéines de type antiport : transportent deux substances de nature différentes dans des directions opposées.



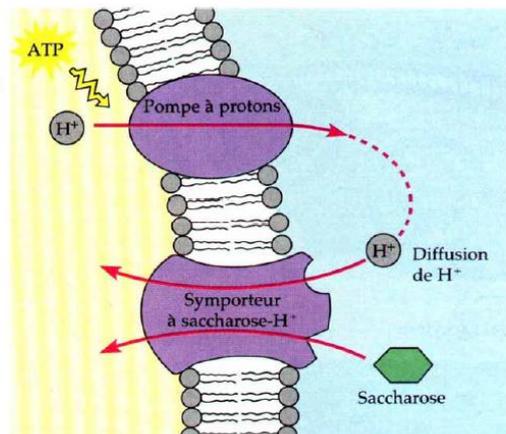
Exemple 1 : le co-transport du H⁺/saccharose

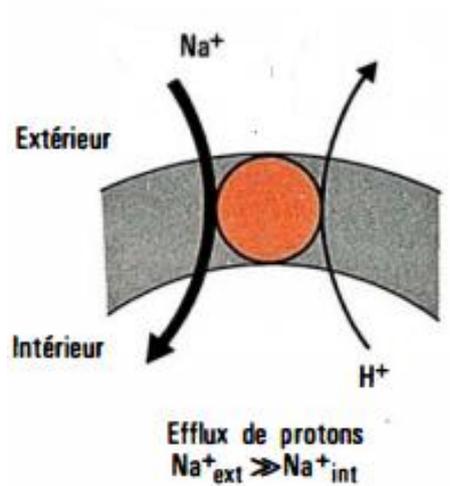
1. Transport actif de H⁺ par la pompe à proton
2. Formation d'un **gradient** (différence) **de concentration** et d'un **gradient électrique** de part et d'autre de la membrane



Exemple 1 : le co-transport du H⁺/saccharose

- 3- Diffusion des ions H⁺ avec le saccharose (symport)





L'échangeur Na⁺/H⁺

Transport actif vs co-transport		
	Transport actif	Co-transport
Nécessite une protéine spécifique	Oui	Oui
Soluté transporté contre son gradient	Oui	Oui
Couplé à une hydrolyse d'ATP	Oui	Non
Permis par le déplacement d'un ion co-transporté dans le sens de son gradient	Non	Oui
Exemples des molécules transportées	Ions, petites molécules hydrophiles, lipides	Glucose, acides aminés et saccharose

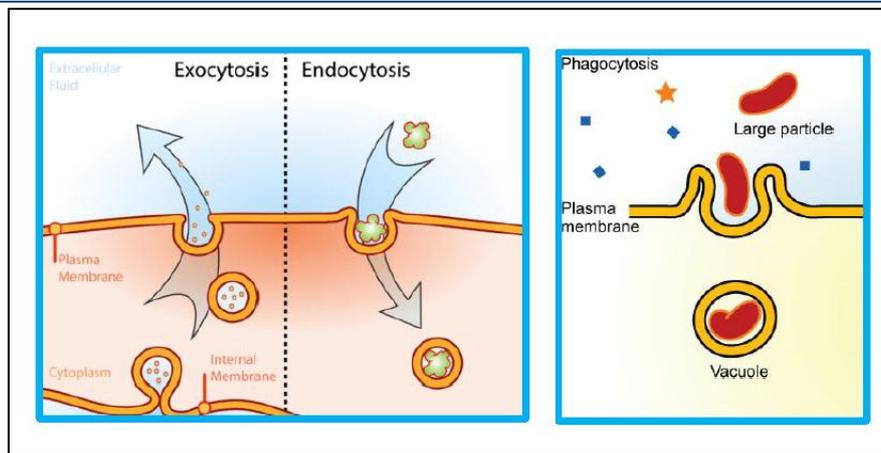
6.3.2. Transport actif des macromolécules et des particules

Les particules et les macromolécules, telles que les **protéines** et les **polysaccharides**, sont transportées au travers la membrane par des processus différents de ceux utilisés pour les petites molécules.

Il existe 2 à 3 formes de transport :

Ø L'exocytose

Ø L'endocytose



1. L'endocytose

L'endocytose (grec endon (dedans) et kutos (cellule)) est le mécanisme de transport des molécules voire des particules (virales, bactériennes, microbiennes) vers l'intérieur de la cellule.

L'endocytose est un phénomène membranaire faisant partie des mécanismes de transport avec mouvement (pseudopode).

La cellule laisse entrer des macromolécules par invagination d'une partie de la membrane plasmique.

Une vésicule se forme et se détache de la membrane en emprisonnant les macromolécules provenant de l'extérieur.

Il existe **trois formes d'endocytose** :

Ø **la pinocytose** : la cellule absorbe des gouttelettes de liquide extracellulaire contenues dans de minuscules vésicules.

Ø **l'endocytose par récepteur interposé** : lorsqu'un ligand se lie à son récepteur, l'ensemble subit le phénomène d'endocytose.

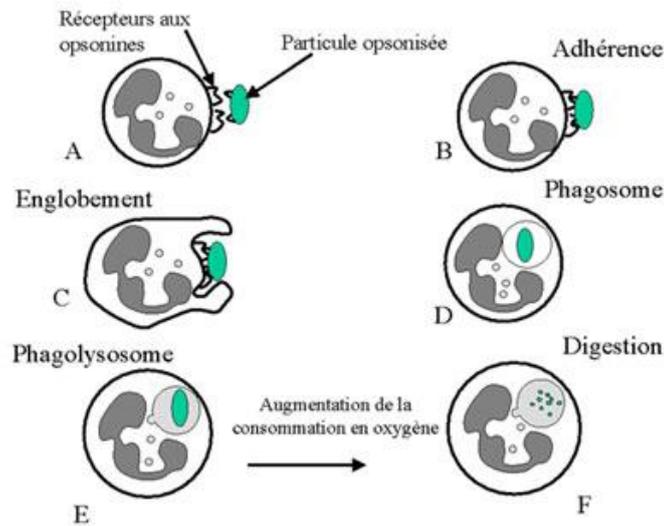
Ø **La phagocytose**

1.1. La phagocytose

mécanisme permettant d'ingérer un corps étranger afin de le digérer (unicellulaires) ou de le détruire (macrophages du système immunitaire ou globules blancs) puis des lysosomes se positionnent autour de la vésicule et déversent leurs enzymes qui vont hydrolyser le corps ainsi ingéré.

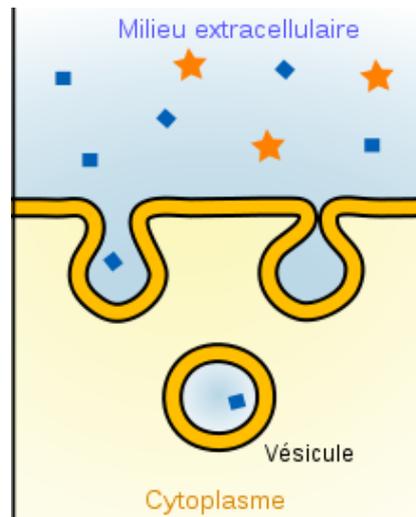
Une particule est encerclée par des pseudopodes qui sont des prolongements cytoplasmiques temporaires. Cela forme une vacuole autour de la particule. La vacuole se fusionnera avec un lysosome rempli d'enzymes hydrolytiques qui pourra digérer la particule.

- Ces particules sont beaucoup plus grosses que les macromolécules destinées à l'endocytose.



1.2. Pinocytose

Pinocytose ou endocytose en phase liquide correspond au prélèvement d'une gouttelette d'un liquide extra cellulaire contenant ou non des petites molécules. L'ingestion se fait par invagination de la membrane plasmique qui se déprime en cupule, puis emprisonne le liquide à ingérer dans une petite vésicule qui sera libérée dans le cytoplasme. Ce phénomène se produit en permanence dans la plupart des cellules eucaryotes.



Pinocytose à vésicules lisses.

1.3. Pinocytose à vésicules recouvertes ou endocytose spécifique

L'observation au microscope électronique montre que les vésicules de pinocytose sont recouvertes d'un feutrage épais de 15 nanomètre environ, côté cytoplasmique. Ces vésicules proviennent d'invaginations de la membrane que l'on nomme « **puits recouverts** » et qui se forment dans des régions déterminées de la membrane où sont regroupés des récepteurs membranaires spécifiques.

Etapas de l'endocytose spécifique

Formation de puits recouverts, ou puits mantelés

Il y a un assemblage spontané sur la face cytoplasmique d'un réseau à mailles hexagonales d'une protéine fibreuse, la clathrine, puis invagination de la membrane en puits recouverts (ou puits mantelés).

Mécanisme moléculaire de la vésiculation

Le morceau de membrane emprisonné dans la cage de **clathrine**, qui se déforme peu à peu, se refermera, aidé par la **dynamine** qui, grâce à l'utilisation de l'énergie d'hydrolyse du **GTP**, va changer de conformation pour s'enrouler autour du col vésiculaire pour permettre la force de contraction nécessaire pour former une vésicule close.

Concentration des composés à internaliser au niveau de ces puits

Fixation de ces composés (appelés les ligands) à leurs récepteurs spécifiques (qui sont des protéines intrinsèques) et diffusion des récepteurs « chargés » jusqu'à un puits recouvert en formation. Les récepteurs se fixent à des protéines d'adaptation (adaptine) elles-mêmes reliées à la clathrine.

Internalisation des composés fixés à leurs récepteurs par formation de vésicule recouverte

La fabrication d'une vésicule à partir d'un puits est très rapide (environ une minute). Dans les cellules en culture, on estime que la surface occupée par les puits recouverts représente 2 % de celle de la membrane cytoplasmique; 2500 vésicules recouvertes environ s'y forment toutes les minutes.

Perte du revêtement et migration intracytoplasmique de la vésicule

Elle perd rapidement son revêtement dont le rôle est d'engendrer une surface sphérique à partir d'une surface plane. Ce déshabillage, qui nécessite de l'ATP, est indispensable pour que la membrane de la vésicule puisse interagir avec le cytosquelette et ses protéines motrices et que la vésicule puisse être transporté dans le cytosol. La Clathrine retourne vers la membrane plasmique.

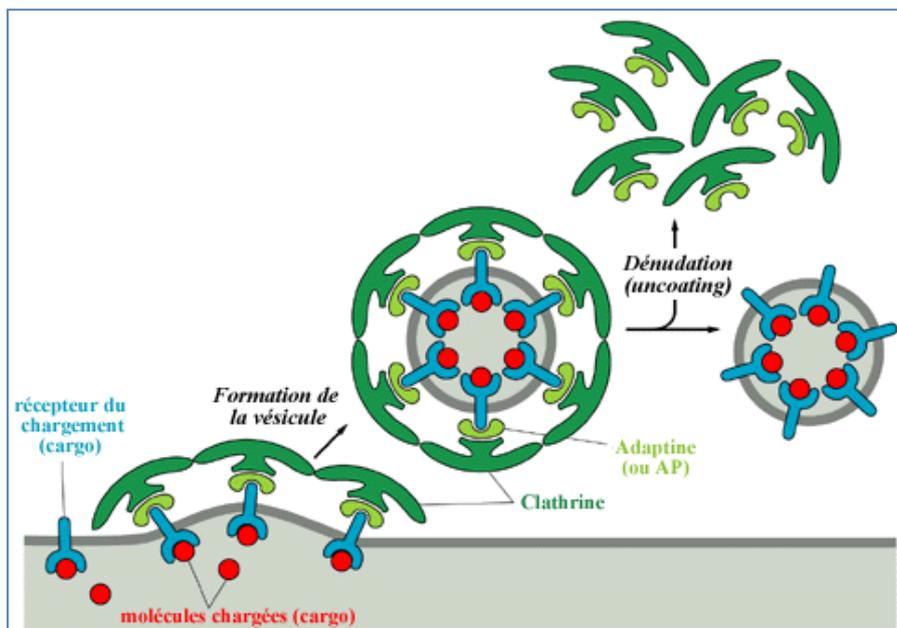
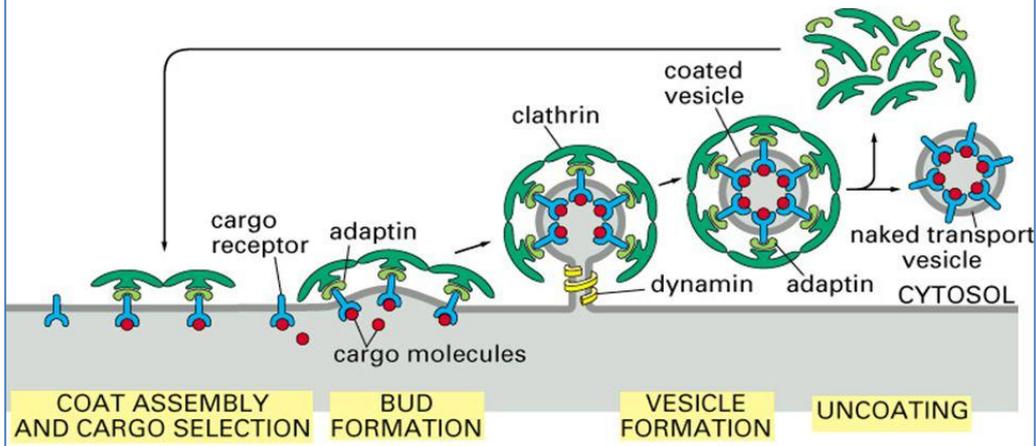
Fusion avec les endosomes et dissociation ligand-récepteur

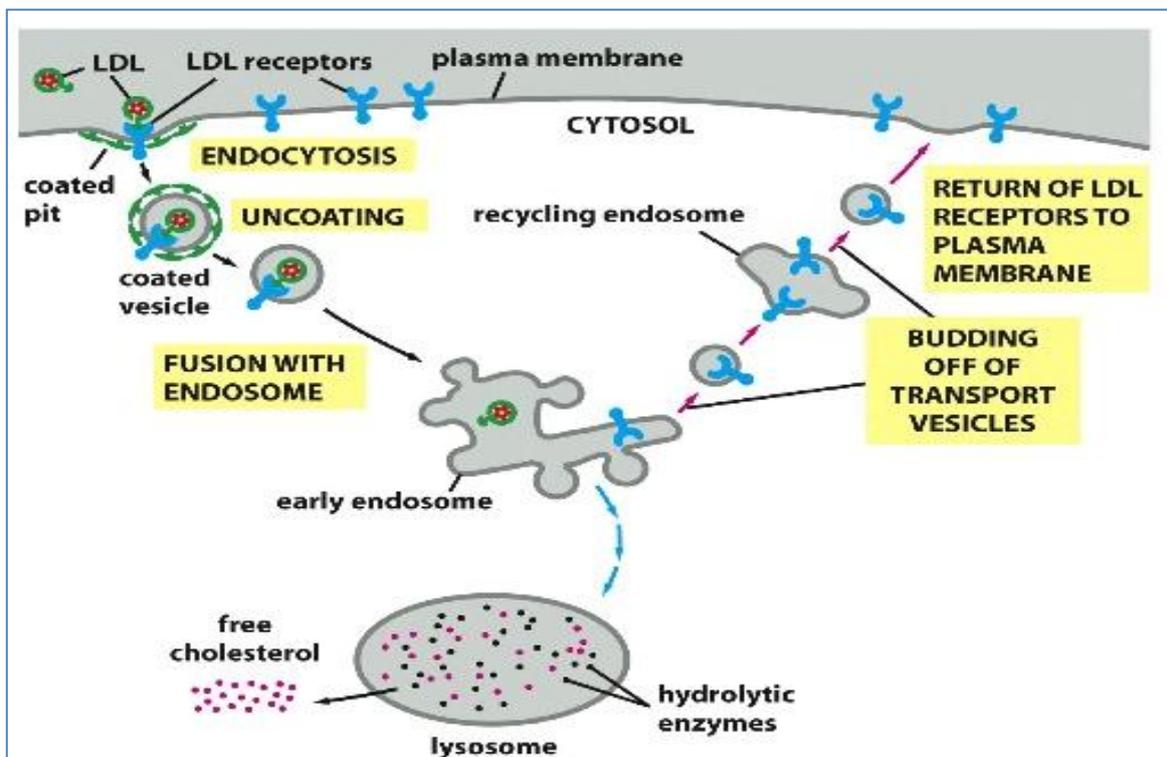
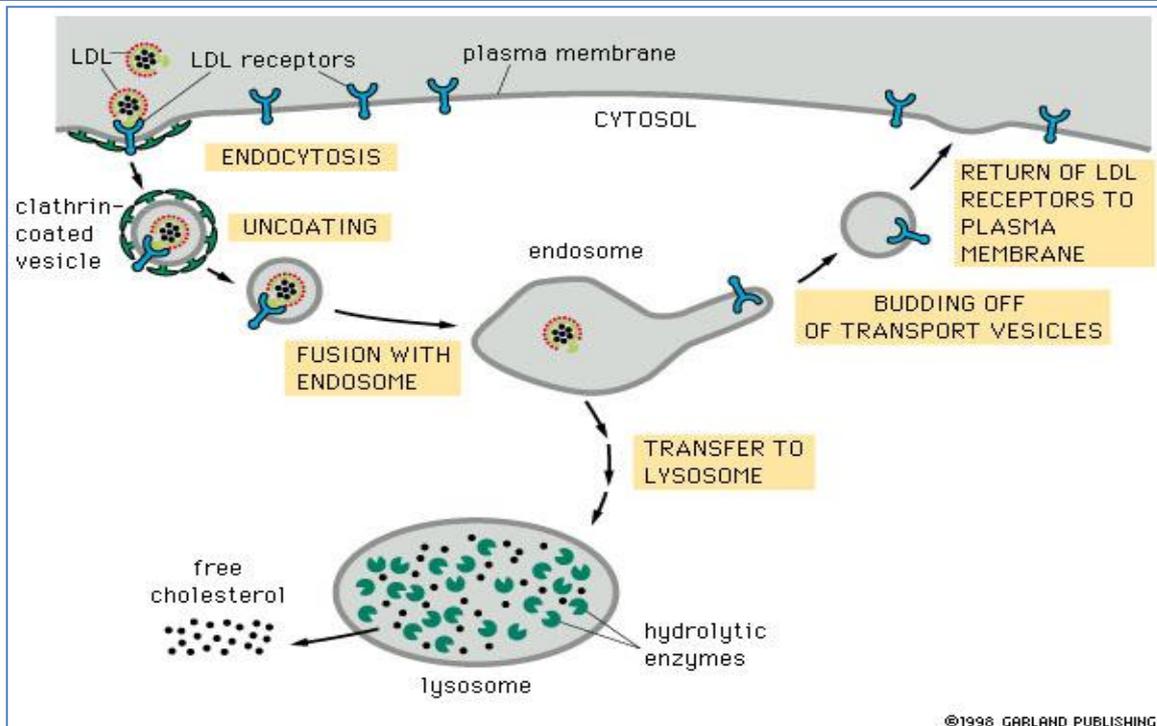
La vésicule d'endocytose fusionne avec un endosome (le résultat de la fusion s'appelle encore endosome). L'acidification du milieu interne par l'intermédiaire de pompes H⁺ ATP dépendante situées dans la membrane de l'endosome provoque la dissociation du complexe récepteur/ligand.

Séparation des récepteurs et des ligands dans les vésicules à destinée différente

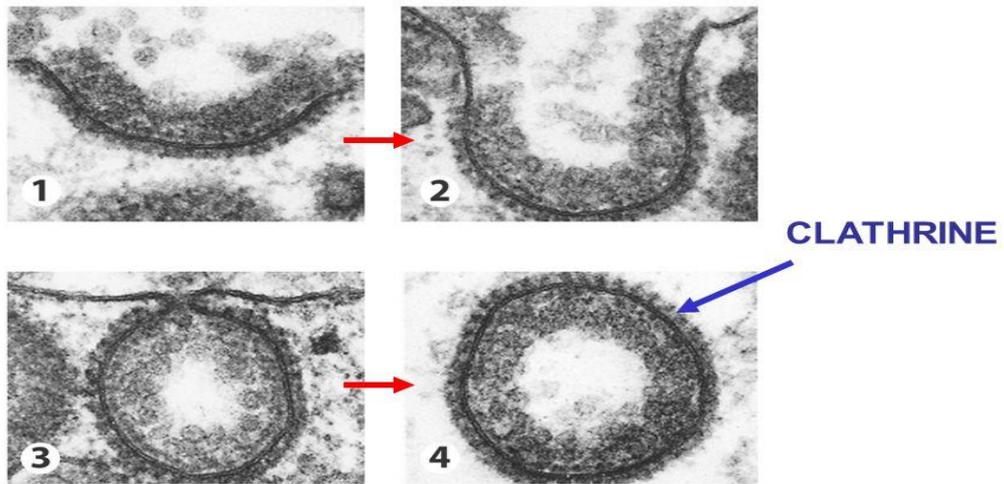
Un tri s'opère: les récepteurs se concentrent en un endroit précis de la membrane de l'endosome, d'où bourgeonnent des vésicules qui fusionnent avec la membrane plasmique = recyclage des récepteurs. Le contenu des endosomes, quant à lui est dirigé via d'autres vésicules, vers les lysosomes où aura lieu la digestion des molécules absorbées.

- Assemblage et désassemblage d'un manteau de clathrine
 - Les adaptines se lient à la clathrine et au complexe cargo/cargo-r
 - Dynamine = GTPase

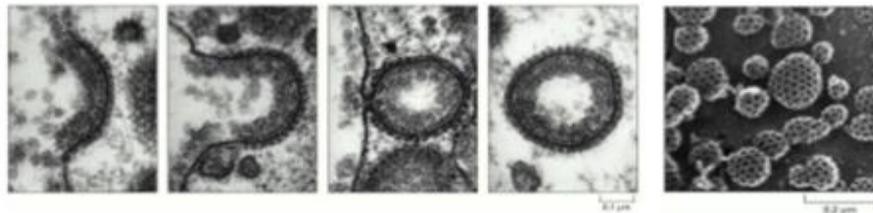




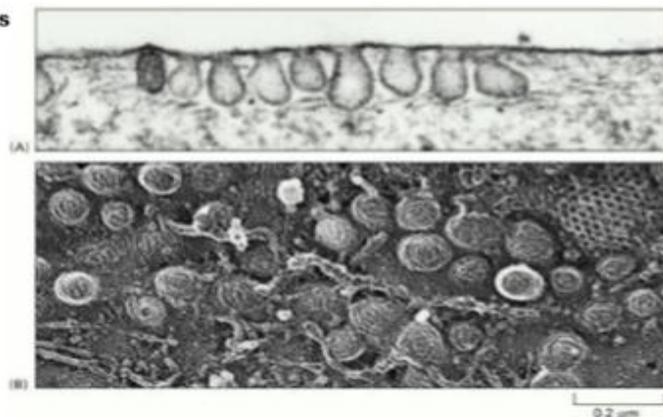
Les vésicules d'endocytose ont une structure dite « recouverte »

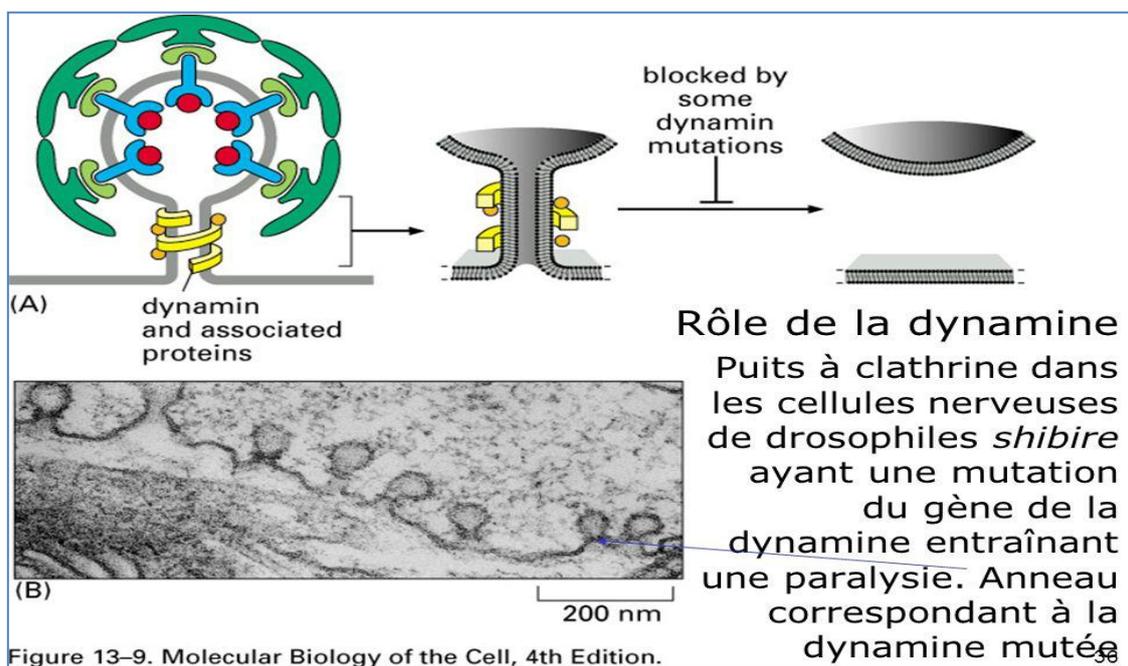
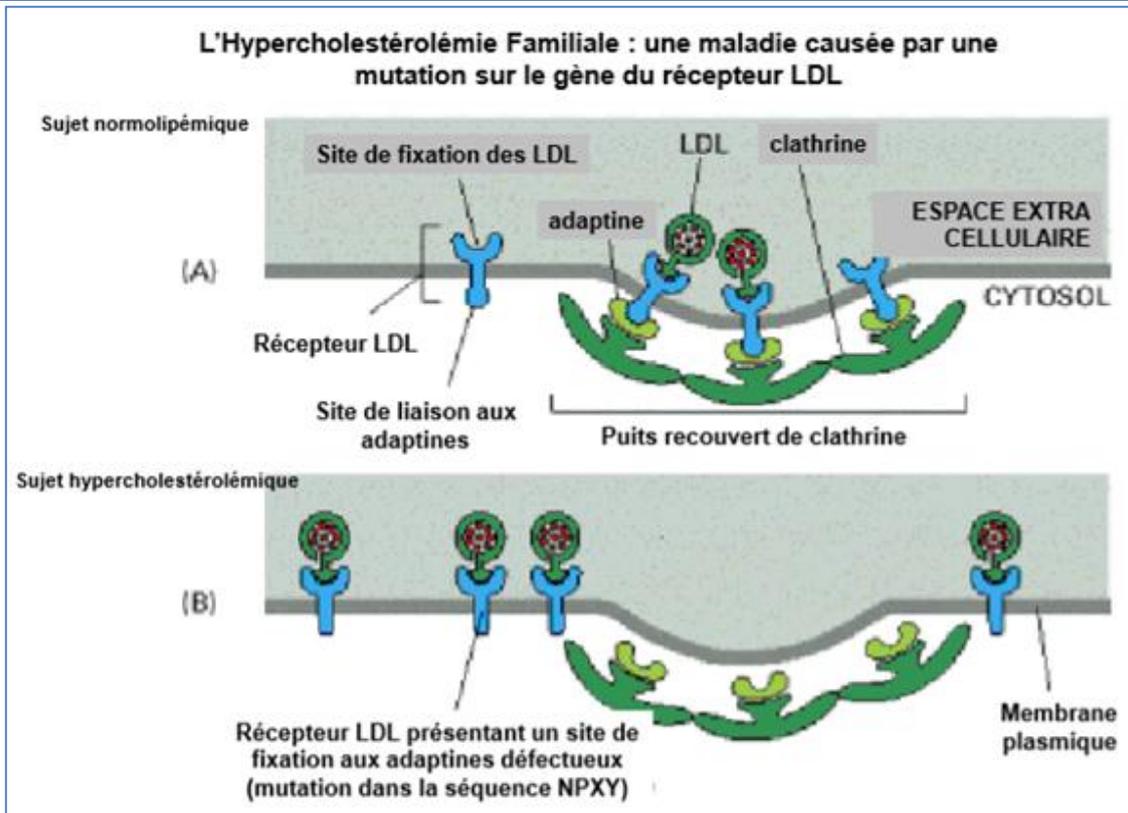


Puits et vésicules recouverts de clathrine



Cavéoles





2. L'exocytose

La cellule **sécrète** des macromolécules par **fusion de vésicules de sécrétion** avec la membrane plasmique.

- Toutes les cellules sécrétrices exportent leurs produits de sécrétion au moyen de l'exocytose...

L'exocytose est l'inverse de l'endocytose. Une vésicule de sécrétion s'est détachée de l'appareil de Golgi et est transporté dans le cytosquelette. Lorsque la membrane de la vésicule et la membrane

plasmique entrent en contact, les molécules de la bicouche de la membrane, se réorganisent. Les membranes fusionnent et deviennent continues ce qui permet de verser le contenu de la vésicule à l'extérieur de la cellule.

Voici quelques exemples de fonctions de l'exocytose.

1. Sécrétions des glandes : Insuline (hormone) relâchée des cellules du pancréas où elle est produite.
2. Rejet de déchets non-digérés.
3. Passage à travers d'une barrière cellulaire.

L'exocytose, l'endocytose et la phagocytose représentent des modes de **transport actif** ; elles **nécessitent donc de l'ATP**.