

Les échanges membranaires

I. Les transports passifs et actifs

Le transport membranaire est le passage d'une molécule ou d'un ion à travers une membrane plasmique. Il implique un déplacement entre deux compartiments séparés par une membrane, dont les propriétés et la composition influenceront sur ce transport. Il existe deux modes de transport transmembranaire : Un transport passif qui nécessite pas l'énergie et se fait dans le sens du gradient de concentration et un transport actif qui exige de l'énergie.

I.1. Le transport passif

Il peut se faire sous forme de diffusion ou d'osmose.

I.1.1. La diffusion

La diffusion est le mouvement des molécules d'une zone où elles sont en concentration élevée vers une zone où elles sont en faible concentration (le sens du gradient de concentration).

a. La diffusion simple

Ce type de passage n'est possible que si la molécule est « soluble » dans la membrane phospholipidique, c'est-à-dire qu'elle peut traverser directement la bicouche de phospholipides. La molécule doit donc être hydrophobe (apolaire) ou, si elle est hydrophile (polaire), être suffisamment petite. Les bicouches lipidiques sont totalement imperméables aux ions minéraux, malgré leur petite taille. La diffusion est rapide d'autant plus que la molécule est petite et hydrophobe.

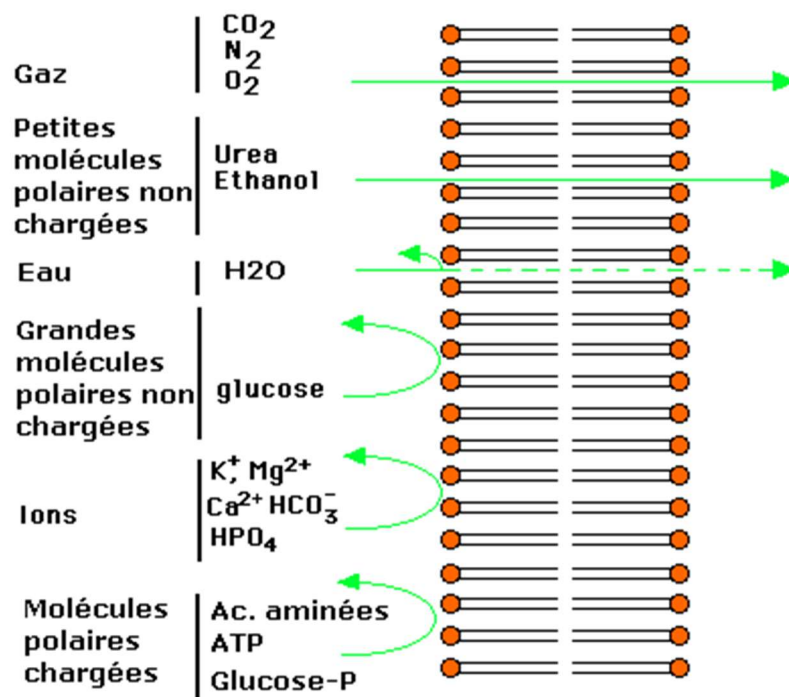


Figure II.1. Diffusion simple.

b. La diffusion facilitée

Comme la diffusion libre, la différence de concentration est le moteur du transport. Cependant, la molécule ne traverse pas directement la membrane, elle doit utiliser une protéine porteuses ou des protéines de canal (canaux ioniques).

• **Transports passifs par protéines porteuses**

C'est un mode de transport passif sans dépense d'énergie, dans lequel interviennent des protéines porteuses (perméase, translocase).

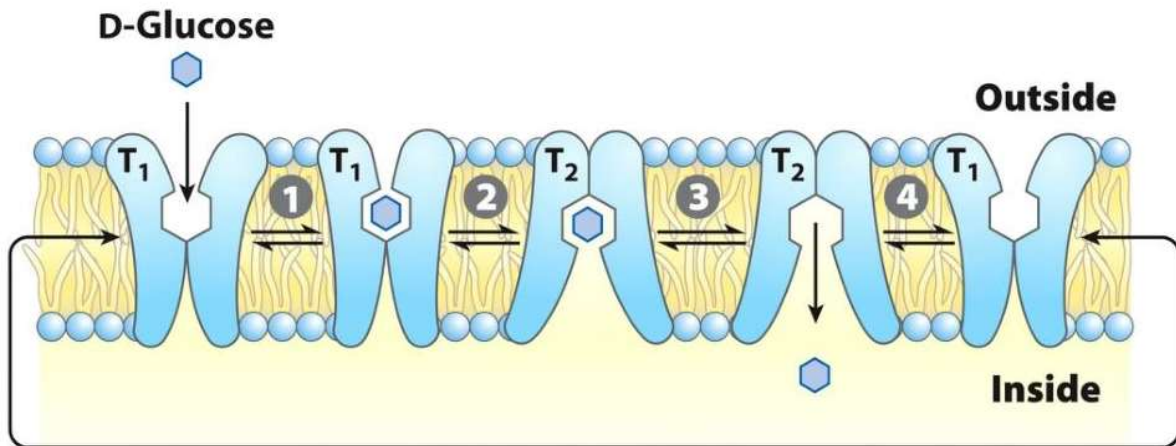


Figure II.2. Transport facilité du glucose

• **Différents types de protéines transporteuses**

-**Uniport** : il concerne le transport d'une seule substance.

-**Co-transporteur Symport** : le transfert d'un soluté dépend du transfert d'un second soluté dans le même sens. Ex : le glucose et le sodium.

-**Co-transporteur Antiport** : il concerne le transport simultané de deux substances en sens opposé.

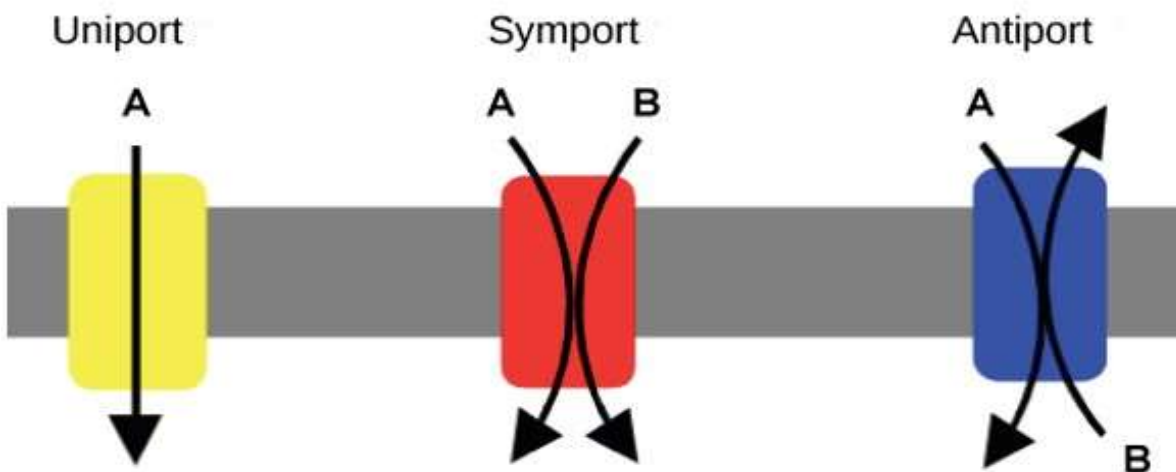


Figure II.3. Différents types de transporteurs.

- **Les canaux ioniques**

Ce sont des canaux protéiques transmembranaires spécifiques et sélectifs des ions. Ils existent des canaux protéiques qui normalement sont fermés. Ils ne s'ouvrent que de manière provisoire dans des conditions particulières. En s'ouvrant, ils laissent passer un ion ou un groupe d'ions particuliers (spécificité). On en distingue deux types :

-**Canaux ioniques à ouverture contrôlée par le ligand** : ne permettant le passage des ions dans le sens du gradient de concentration qu'après la fixation du ligand.

-**Canaux ioniques à ouverture contrôlée par la tension** : ne permettant le passage des ions dans le sens du gradient de concentration qu'après une petite variation de la ddp membranaire.

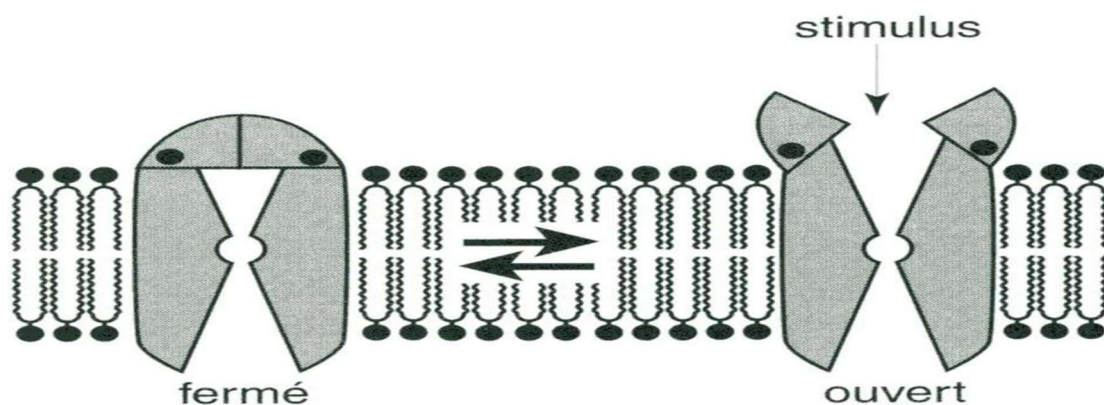


Figure II.4. Canal ionique à ouverture contrôlée.

c. Avantages du transport passif

- Pas de consommation d'énergie ;
- Processus rapide pour les petites molécules.

d. Limites

- Dépend entièrement du gradient de concentration ;
- Ne permet pas de transporter des molécules contre leur gradient.

I.1.2. Le phénomène de l'osmose

L'eau se déplace du compartiment où les solutés sont les moins concentrés (osmolarité basse) vers le compartiment où les solutés sont les plus concentrés (osmolarité élevée), tendant à rétablir l'équilibre des concentrations entre les deux compartiments. L'eau se déplace à la fois par diffusion simple, au sein de la bicouche lipidique et par diffusion facilitée, au sein de canaux particuliers hydriques qu'on nomme aquaporines.

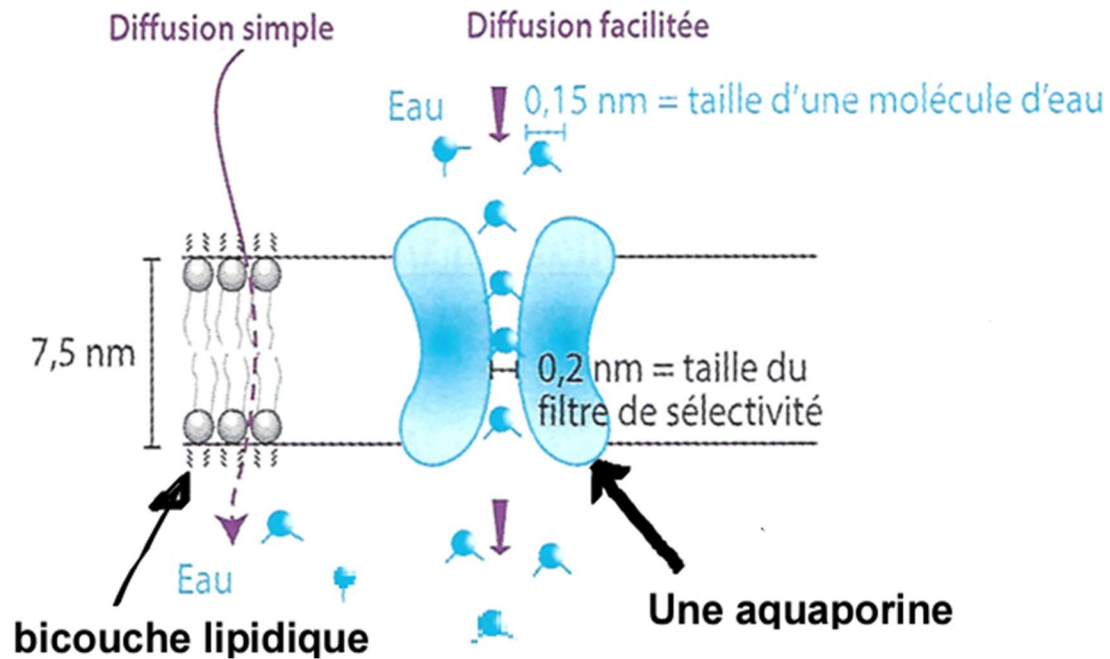


Figure II.5. Diffusion de l'eau par le phénomène de l'osmose.

I.2. Le transport actif

I.2.1. Définition

Le transport actif est un mécanisme cellulaire qui permet de déplacer des molécules ou des ions contre leur gradient de concentration, c'est-à-dire du côté où leur concentration est plus faible vers le côté où leur concentration est plus élevée. Ce processus nécessite l'apport d'énergie métabolique, généralement sous forme d'ATP, pour permettre aux molécules de transporter contre leur gradient de concentration.

I.2.2. Importance du transport actif dans les cellules

Le transport actif joue un rôle crucial dans la régulation des processus cellulaires et dans le maintien de l'homéostasie cellulaire. Il permet aux cellules de contrôler leur environnement interne, de réguler les concentrations ioniques et de maintenir les gradients de concentration nécessaires à leur fonctionnalité. Sans transport actif, les cellules ne pourraient pas survivre et fonctionner correctement. De plus, le transport actif est impliqué dans de nombreux processus physiologiques, tels que la transmission nerveuse, la contraction musculaire et la sécrétion hormonale. Les anomalies du transport actif ont été impliquées dans de nombreuses maladies, comme les troubles neurologiques et les déficits immunitaires.

I.2.3. Énergie métabolique et ATPases

L'énergie métabolique est nécessaire pour maintenir le transport actif, qui contrebalance le mouvement spontané des molécules. Cette énergie est fournie sous forme d'adénosine triphosphate (ATP), molécule énergétique universelle des cellules.

Les ATPases, enzymes spécifiques, hydrolysent l'ATP en adénosine diphosphate (ADP) et phosphate inorganique, libérant de l'énergie qui est utilisée pour pomper les ions ou les molécules contre leur gradient de concentration. Cette hydrolyse de l'ATP permet ainsi de maintenir le transport actif et de réguler la composition ionique et moléculaire des compartiments cellulaires.

I.2.4. Transport membranaire et protéines membranaires

Le transport membranaire désigne le mouvement de molécules à travers la membrane plasmique, qui sépare l'intérieur de la cellule de son environnement extérieur. Les protéines membranaires sont des éléments clés de ce processus, car elles facilitent le passage de molécules à travers la membrane. Ces protéines peuvent être soit des canaux ioniques, soit des transporteurs de molécules, comme les pompes à sodium-potassium. Elles peuvent également être des récepteurs pour les hormones et les neurotransmetteurs. Les protéines membranaires sont capables de modifier leur conformation pour s'adapter aux changements de concentration des molécules à transporter, ce qui leur permet de jouer un rôle essentiel dans le maintien de l'homéostasie cellulaire.

I.2.5. Avantages et limites du transport actif

- **Avantages**
 - Permet le déplacement de molécules contre leur gradient de concentration ;
 - Essentiel pour maintenir les gradients ioniques cruciaux à la survie cellulaire.
- **Limites**
 - Consommation d'énergie élevée ;
 - Plus lent que certains processus passifs.

I.2.6. Les type de transport actif

a. Transport actif primaire

Le transport actif primaire est un mécanisme qui utilise directement l'énergie de l'hydrolyse de l'ATP pour pomper des ions ou des molécules contre leur gradient de concentration. Le transport actif primaire est un processus qui permet aux cellules de déplacer des molécules ou des ions contre leur gradient de concentration, en utilisant directement l'énergie de l'hydrolyse

de l'ATP. Ce mécanisme implique l'action d'enzymes appelées ATPases, qui catalysent l'hydrolyse de l'ATP en ADP et phosphate, libérant ainsi de l'énergie. Cette énergie est ensuite utilisée pour modifier la conformation de protéines membranaires, permettant ainsi le déplacement des molécules ou des ions contre leur gradient de concentration.

- **Exemples de transport actif primaire : pompe à sodium-potassium**

La pompe à sodium-potassium est un exemple classique de transport actif primaire. Cette pompe est une ATPase qui utilise l'énergie de l'hydrolyse de l'ATP pour expulser trois ions sodium (Na^+) hors de la cellule et faire entrer deux ions potassium (K^+) à l'intérieur. Ce processus permet de maintenir le gradient de concentration entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule, essentiel pour la régulation du potentiel de membrane et du fonctionnement des canaux ioniques. La pompe à sodium-potassium est présente dans toutes les cellules animales et joue un rôle crucial dans la régulation de la pression artérielle, du rythme cardiaque et de la transmission nerveuse.

Tableau II.1. Valeurs normales des concentrations en Na^+ et K^+ dans le milieu intra et extracellulaire chez les mammifères

Conditions de la vie cell	Hématie	Plasma
Concentration en Sodium (mmol/l)	12	145
Concentration en Potassium (mmol/l)	140	5

La pompe Na^+/K^+ ATPase existe sous deux formes, selon son orientation vers l'intérieur ou l'extérieur de la cellule et son affinité pour les ions sodium ou potassium. Le processus comporte les six étapes suivantes :

1. L'enzyme étant orientée vers l'intérieur de la cellule, le transporteur a une affinité élevée pour les ions sodium. Trois ions se lient à la protéine.
2. Le transporteur protéique hydrolyse l'ATP et un groupe phosphate de faible énergie s'y rattache.
3. Par conséquent, le support change de forme et se réoriente vers l'extérieur de la membrane. L'affinité de la protéine pour le sodium diminue et les trois ions sodium quittent le support.
4. Le changement de forme augmente l'affinité du porteur pour les ions potassium, et deux de ces ions se fixent à la protéine. Par la suite, le groupe phosphate de faible énergie se détache du support.

5. Lorsque le groupe phosphate est éliminé et que les ions potassium sont attachés, la protéine porteuse se repositionne vers l'intérieur de la cellule.
6. La protéine porteuse, dans sa nouvelle configuration, a une affinité réduite pour le potassium, et les deux ions se déplacent dans le cytoplasme. La protéine a maintenant une affinité plus élevée pour les ions sodium, et le processus recommence.

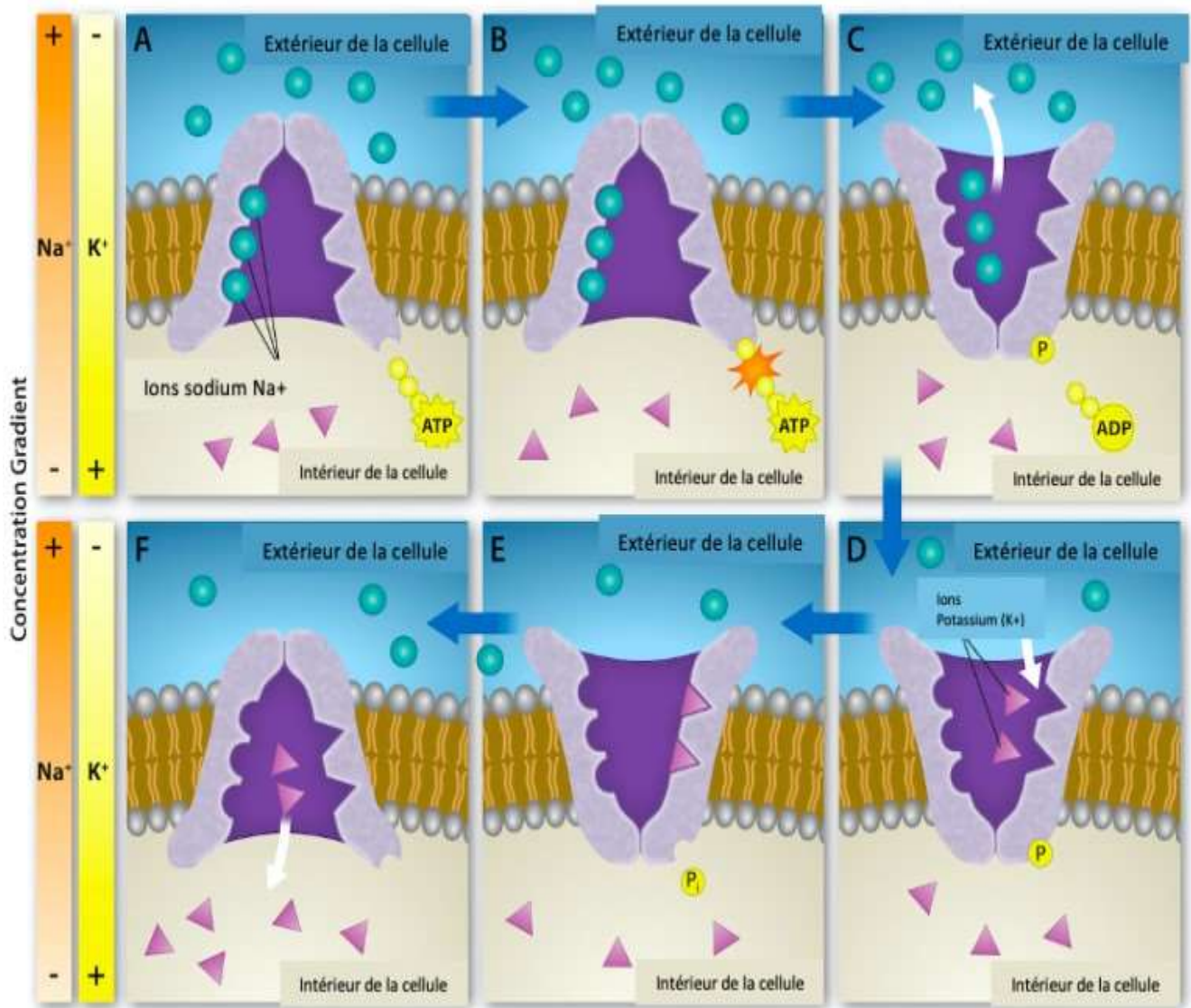


Figure II. 6. La pompe sodium-potassium [1].

Exemple de transport actif primaire qui déplace des ions, en l'occurrence des ions sodium et potassium, à travers une membrane contre leurs gradients de concentration. L'énergie est fournie par l'hydrolyse de l'ATP. Trois ions sodium sortent de la cellule pour deux ions potassium qui y entrent. Cela crée un gradient électrochimique qui est crucial pour les cellules vivantes.

b. Transport actif secondaire

Le transport actif secondaire est un processus qui utilise l'énergie stockée dans les gradients de concentration pour transporter des molécules contre leur gradient de concentration. Il n'utilise pas l'hydrolyse de l'ATP comme source directe d'énergie. Ce système impliquant nécessairement un cotransport, la protéine responsable doit posséder deux sites de reconnaissance : l'un pour l'ion moteur et l'autre pour le soluté à transporter.

La source d'énergie des pompes de transport actif secondaire est le gradient de concentration d'un ion établi par les pompes d'énergie primaires. Par conséquent, les substances de transfert sont toujours associées à des ions de transfert responsables de la force motrice. Dans la plupart des cellules animales, la force motrice du transport actif secondaire est le gradient de concentration de Na^+ / K^+ . Le transport actif secondaire se produit par deux mécanismes appelés Antiport (diffusion d'échange) et Symport (Cotransport).

- **Exemples de transport actif secondaire : cotransport ionique**

Le cotransporteur sodium-glucose dans les entérocytes intestinaux permet l'absorption du glucose dans le sang. Il transporte le glucose dans la cellule contre son gradient de concentration en utilisant l'énergie stockée dans le gradient de concentration du sodium. De même, le cotransporteur potassium-chlorure transporte le potassium hors de la cellule contre son gradient de concentration en utilisant l'énergie stockée dans le gradient de concentration du chlorure. Ces mécanismes sont cruciaux pour maintenir la fonctionnalité cellulaire normale.

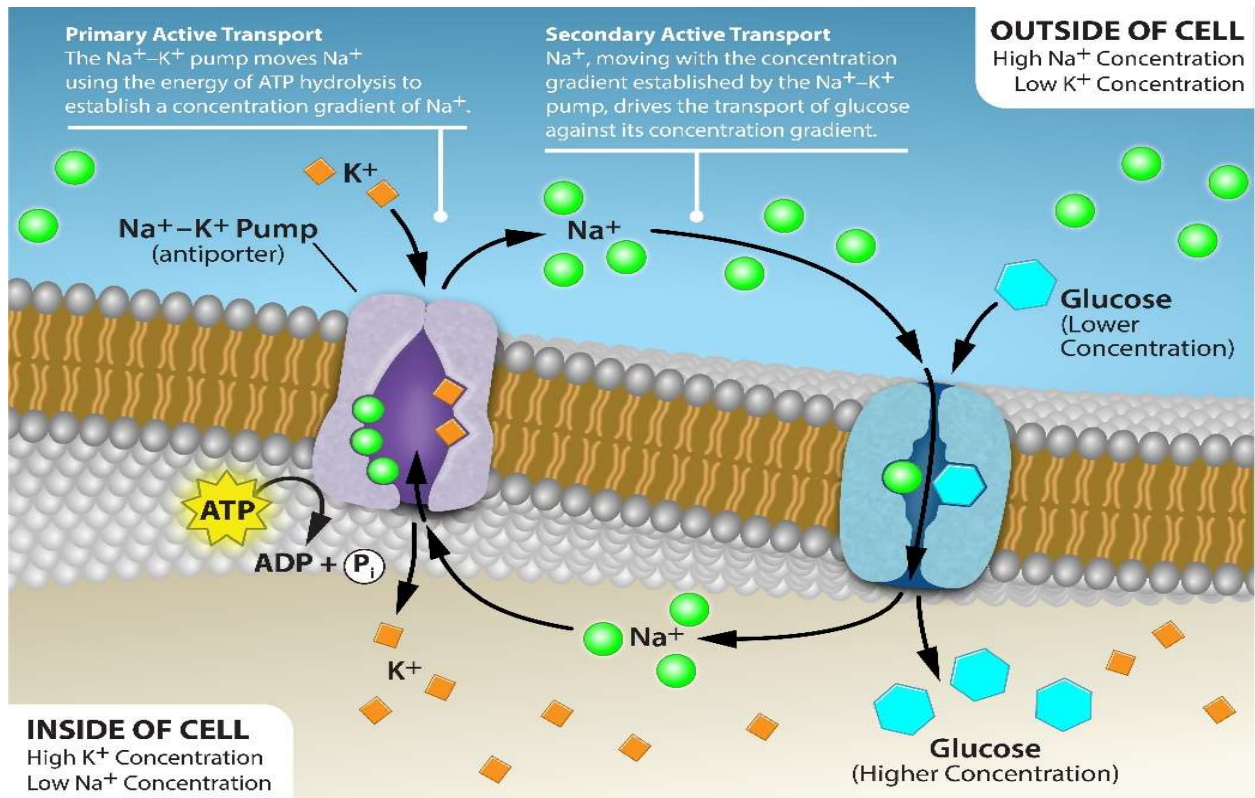


Figure II. 7. Un gradient électrochimique (concentration en Na^+ - vert) est généré par le transport actif primaire. L'énergie stockée dans le gradient en Na^+ fournit l'énergie nécessaire au déplacement d'autres substances contre leurs gradients de concentration (glucose - bleu), un processus appelé co-transport ou transport actif secondaire [1].

c. La différence entre le transport actif primaire et secondaire

- Dans le transport actif primaire, les protéines hydrolysent l'ATP pour alimenter directement le transport tandis que, dans le transport actif secondaire, l'hydrolyse de l'ATP est effectuée indirectement pour alimenter le transport.
- Contrairement aux protéines impliquées dans le transport actif primaire, les protéines de transport impliquées dans le transport actif secondaire ne cassent pas les molécules d'ATP.
- La force motrice des pompes actives secondaires est obtenue à partir des pompes ioniques résultant des pompes de transport actif primaires.
- Des ions tels que H^+ , Ca^{2+} , Na^+ et K^+ sont transportés à travers la membrane par des pompes actives primaires, tandis que le glucose, les acides aminés et les ions comme le bicarbonate et le chlorure sont transportés par transport actif secondaire.

II. Le transport particulaire

La plupart des cellules eucaryotes sont capables d'absorber ou de sécréter des macromolécules, telles que des protéines ou des polysaccharides. Certaines, même, peuvent ingérer des particules de grande taille, y compris des cellules guère plus petites qu'elles. Suivant le sens du mouvement, on distingue deux grands types de processus : l'endocytose, qui recouvre les événements d'intériorisation (pénétration) de matériel, et l'exocytose, qui concerne au contraire ceux associés à la sécrétion de composés dans le milieu extérieur. Ces phénomènes sont contrôlés par les mécanismes et fusion membranaire.

II.1. Endocytose

Phénomène actif de captation de matériel extracellulaire (bactéries, poussière, lipoprotéines, liquides, solutés etc.). Mécanismes rencontrés dans tous les types cellulaires, sauf les érythrocytes. Permet aux cellules de se nourrir, se défendre, maintenir leur homéostasie. Il existe trois types d'endocytose :

II.1.1. La phagocytose

La phagocytose est un type d'endocytose dans lequel la cellule englutit de grosses molécules solides à l'extérieur de la cellule, en particulier des bactéries, pour la réponse immunitaire de la cellule. Des prolongements dans le cytoplasme appelés pseudopodes s'étendent à partir du cytoplasme et piègent la particule à l'intérieur d'une vésicule cellulaire. Après avoir englouti la particule, la vésicule qui la contient se détache de la membrane cellulaire. Cette vésicule s'attache alors aux lysosomes. Les lysosomes sont des organites de la cellule qui digèrent ou décomposent les molécules englouties. Les micro-organismes, les cellules apoptotiques et les autres molécules dont le diamètre est supérieur à 0,5 μm sont éliminés par phagocytose.

II.1.2. Pinocytose

La pinocytose est un type d'endocytose dans lequel les cellules absorbent le liquide contenant des substances dissoutes appelé liquide extracellulaire. Les substances dissoutes comprennent généralement des nutriments tels que des hormones, des enzymes et des ions. Ensuite, une membrane cellulaire contenant le liquide extracellulaire s'invagine (se plie de manière à créer une cavité ou une poche) et forme ce que l'on appelle un pinosome.

II.1.3. Endocytose médiée par les récepteurs

L'endocytose médiée par les récepteurs est un type d'endocytose dans lequel les cellules absorbent des molécules spécifiques liées à des récepteurs situés sur la surface extérieure de la

cellule. Par exemple, l'endocytose médiée par les récepteurs est utilisée par les cellules humaines pour ingérer du cholestérol afin de créer des stéroïdes.

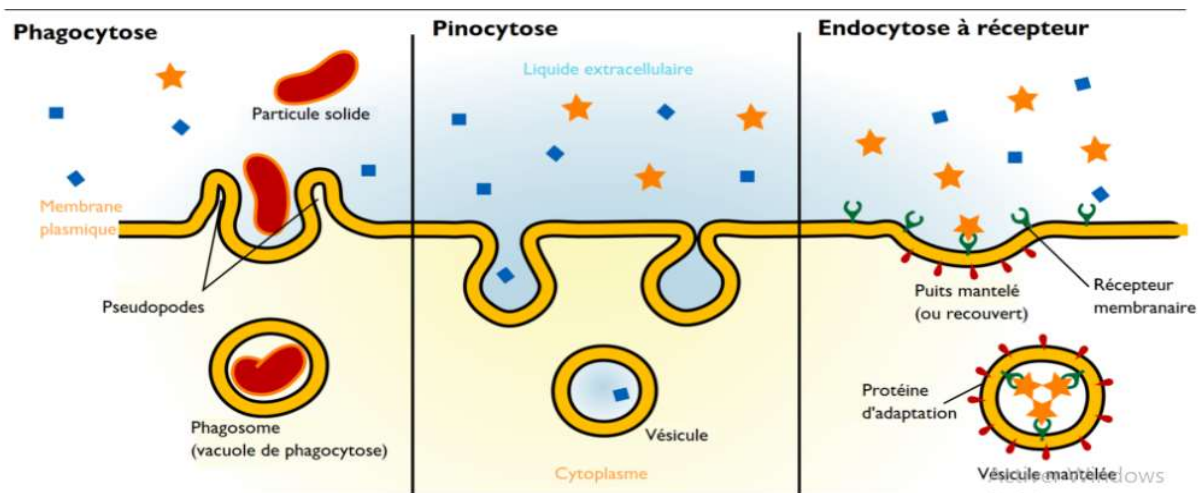


Figure II.8. Les trois types d'endocytose. De gauche à droite : la phagocytose ou l'alimentation de la cellule (pour les grosses particules) ; la pinocytose ou boisson de la cellule, pour les liquides et particules plus petites ; l'endocytose à récepteur qui intègre des molécules particulières grâce à la présence de récepteurs [2].

II.2. Exocytose

Une vésicule d'exocytose est une vésicule de sécrétion spécialisée, capable de fusionner avec la membrane plasmique, de s'ouvrir sur le milieu extracellulaire et de libérer son contenu. Au cours de l'exocytose, une vacuole contenant du matériel à excréter de la cellule se déplace vers la membrane plasmique et fusionne avec elle. La membrane vacuolaire devient une partie de la membrane plasmique et le contenu de la vacuole d'exocytose est libéré à l'extérieur.

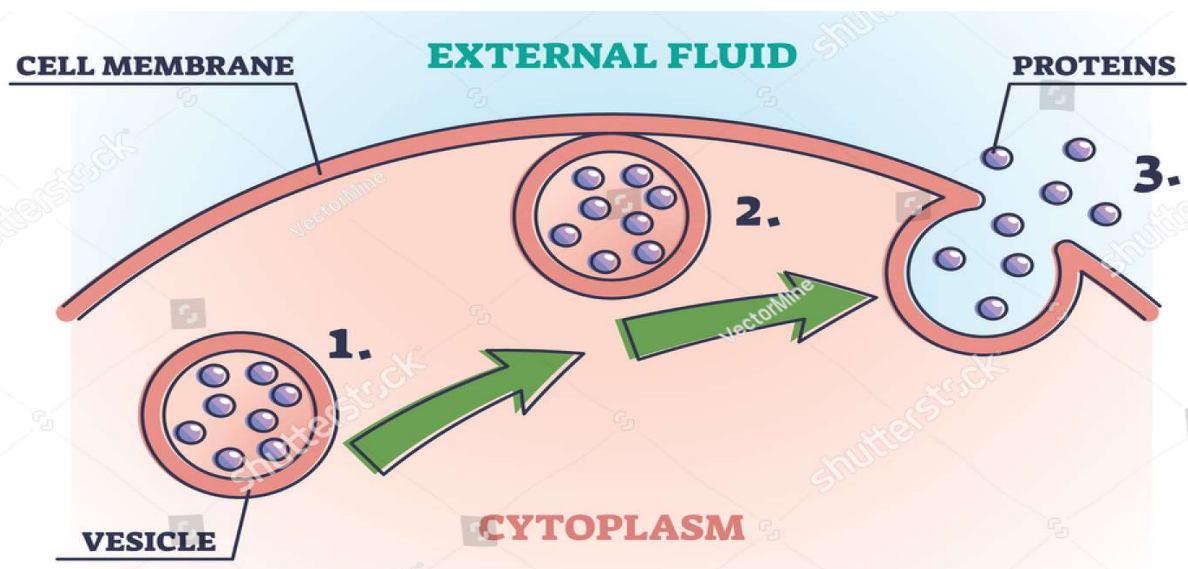


Figure II.9. Vacuole d'exocytose

Importance de l'endocytose

- Absorber les nutriments nécessaires à la croissance et à la réparation des cellules (par exemple, absorber les nutriments à travers les villosités intestinales de l'intestin grêle).
- Engloutir les agents pathogènes étrangers qui peuvent nuire à la cellule (par exemple, les cellules immunitaires qui engloutissent les bactéries).
- Se débarrasser des vieilles cellules et des cellules apoptotiques (cellules qui subissent une mort programmée).

Importance de l'exocytose

- L'élimination des déchets à l'intérieur de la cellule comme le dioxyde de carbone et l'eau pendant la respiration aérobie.
- La libération de signaux comme les hormones et les neurotransmetteurs pour la communication cellulaire.
- Le transport des protéines et des lipides qui sont essentiels à l'entretien et à la réparation de la membrane cellulaire.