

Chapitre 3 : La membrane plasmique

A la surface de la cellule, existe une couche cytoplasmique de très faible épaisseur (75Å), formant une enveloppe continue appelée «**membrane plasmique** ou **plasmalemme**».

La membrane plasmique est une structure **organisée, complexe, asymétrique** indispensable à la vie de la cellule.

Elle désigne un assemblage de molécules sous forme d'une couche séparant la cellule de son environnement et délimitant les organites à l'intérieur de celle-ci. Elle constitue une enveloppe continue qui sépare le milieu intracellulaire et le milieu extracellulaire «**c'est une membrane biologique de séparation**».

1. Structure de la membrane plasmique

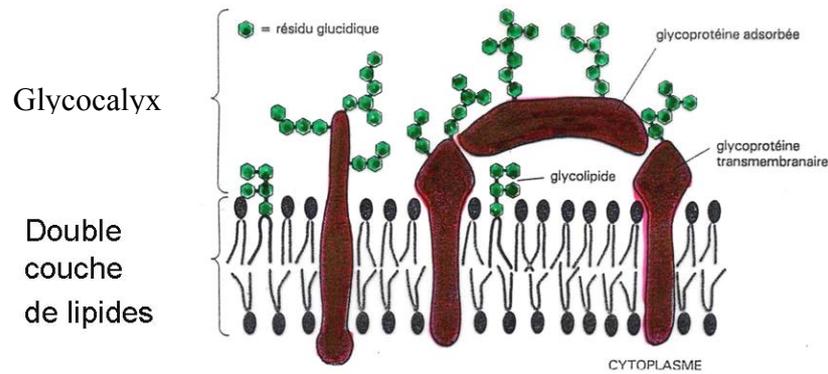
- La structure de la membrane plasmique est indétectable au microscope optique. Elle n'est observable qu'au microscope électronique.
- La membrane plasmique est tri-stratifiée, c'est-à-dire formée de trois feuillets superposés.



- **Deux feuillets denses hydrophiles** : l'un interne et l'autre externe, d'environ 20 à 25Å d'épaisseur ;
 - **Un feuillet clair hydrophobe** : d'une épaisseur moyenne de 35Å.
- L'épaisseur moyenne de la membrane est de 75Å, mais elle varie entre 70 et 100Å selon les types cellulaires.
 - Le feuillet externe (tourné vers le milieu extracellulaire) est souvent plus épais que le feuillet dense interne.

Toutes les membranes biologiques, y compris la membrane plasmique et les membranes internes des cellules eucaryotes (animales et végétales), ont une structure globale commune.

- L'aspect tri-stratifié est retrouvé dans tous les systèmes membranaires au sein d'une même cellule, elle est appelée **membrane unitaire, membrane biologique** ou **cytomembrane**.
- Au niveau de la membrane plasmique, le feuillet dense externe apparaît garni d'un mince film de **matériel glycoprotéique**, c'est le **revêtement fibreux** ou le **cell coat** ou encore le **glycocalyx** ou **glycolemme**.



2. Composition chimique

La membrane plasmique est composée très majoritairement de protéines (environ 60%) et de lipides (environ 40%). Les glucides sont aussi des composants importants de certaines membranes.

2.1. Les lipides

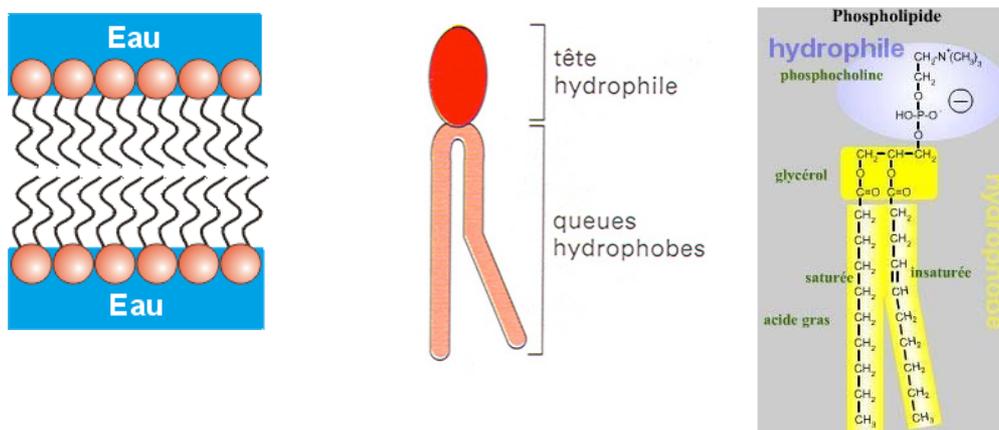
Ce sont des molécules **amphiphiles** formées d'une tête **polaire hydrophile** (contenant les groupements COOH ayant une forte affinité pour l'eau) et une queue **apolaire hydrophobe** qui n'établit pas de relation avec l'eau.

Cette propriété physico-chimique est à la base de l'organisation des lipides en bicouche lorsqu'ils sont placés dans un milieu aqueux.

Ils comprennent trois variétés : les **phospholipides**, le **cholestérol** et les **glycolipides**.

a. Les phospholipides

Les phospholipides sont à la base de la structure principale des membranes. Ils constituent 55% des lipides membranaires. Ils présentent tous une tête hydrophile (phosphate et groupement spécialisé) et une queue hydrophobe (glycérol et acides gras). On distingue deux types de phospholipides (ils dérivent soit du glycérol, soit de la sphingosine).



- Phosphoglycérides (glycérophospholipides)

- Représente la classe majeure des lipides de la bicouche de la membrane plasmique.
- Correspondent à l'association de glycérol, de deux acides gras, d'un acide phosphorique et d'alcools ou d'acides aminés.
- Les alcools ou les acides aminés donnent l'identité et la caractéristique du glycérophospholipide.

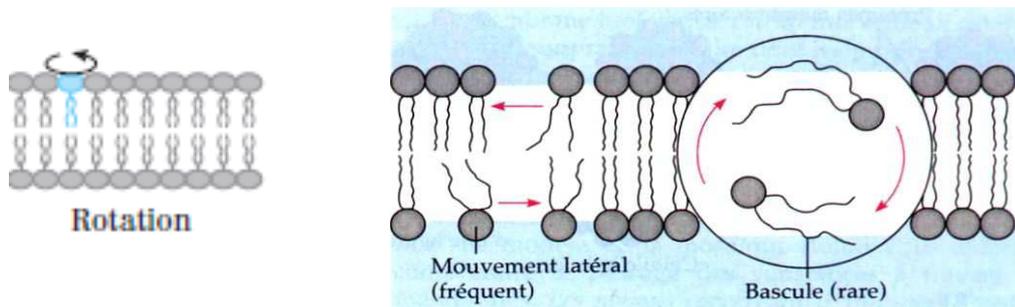
- Sphingolipides (sphingophospholipides)

- Forment une catégorie de lipide membranaire moins fréquente.
- Correspondent à l'association de la sphingosine, d'acide gras, d'acide phosphorique et d'alcool ou d'acides aminés.
- Ils représentent la plupart des lipides qui contiennent des glucides (glycosphingolipides : « les glycolipides »).

Mouvements des lipides membranaires

Trois types de mouvements sont possibles pour les lipides :

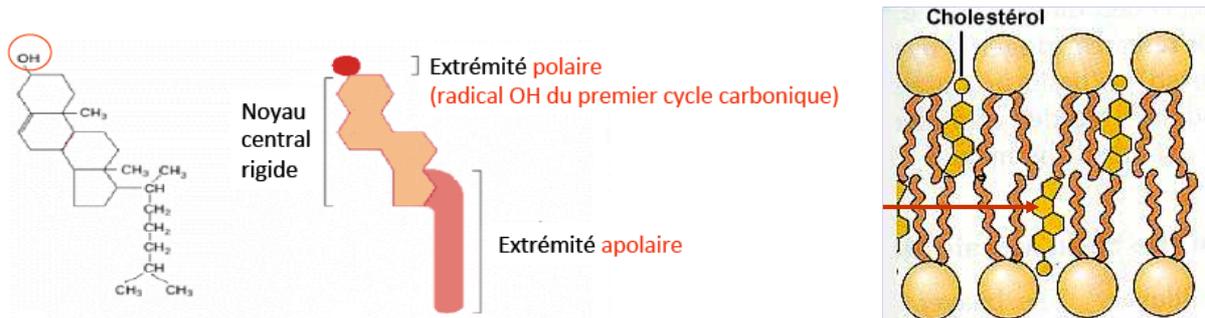
- **rotation** sur eux-mêmes
- mouvement latéral : déplacement **dans un même feuillet**
- changement de feuillet : mouvement de **bascule** ou **flip-flop** (nécessite de l'énergie sous forme d'ATP).



b. Le cholestérol

La teneur en cholestérol de la membrane plasmique peut atteindre le quart (25%) de la totalité des lipides membranaires. Il s'insère dans la bicouche des phospholipides.

Le cholestérol possède une fonction hydroxyle et un noyau tétracyclique rigide. Il est **amphiphile**, très hydrophobe à l'exception du groupe **OH** qui est **hydrophile**.



- Chez les animaux, le cholestérol est le seul stérol constitutif de la membrane plasmique.
- Il est absent chez les végétaux supérieurs et les champignons dont la membrane plasmique contient d'autres types de stérols.
- Le cholestérol **maintient la stabilité** mécanique de la membrane (rigidité), **diminue sa fluidité** et sa **perméabilité** aux petites molécules.

c. Les glycolipides

- Les glycolipides, dépourvus de phosphate, sont pourvus d'un résidu de sucre ou d'un oligosaccharide.
- Ils sont exclusivement présents du côté exoplasmique (extracellulaire) de la bicouche lipidique, c'est l'asymétrie structurale.
- Ils constituent environ 18% des lipides membranaires, cependant leur quantité varie d'une espèce à une autre mais aussi d'un tissu à un autre.
- Ils sont particulièrement abondants dans les cellules nerveuses.

Les glycolipides sont de deux types, on trouve les **glycéroglycolipides** et les **sphingoglycolipides**.

2.2. Les protéines membranaires

Les protéines jouent un rôle dans les fonctions spécifiques de la membrane cellulaire. On distingue trois types :

a. Les protéines ancrées dans des acides gras

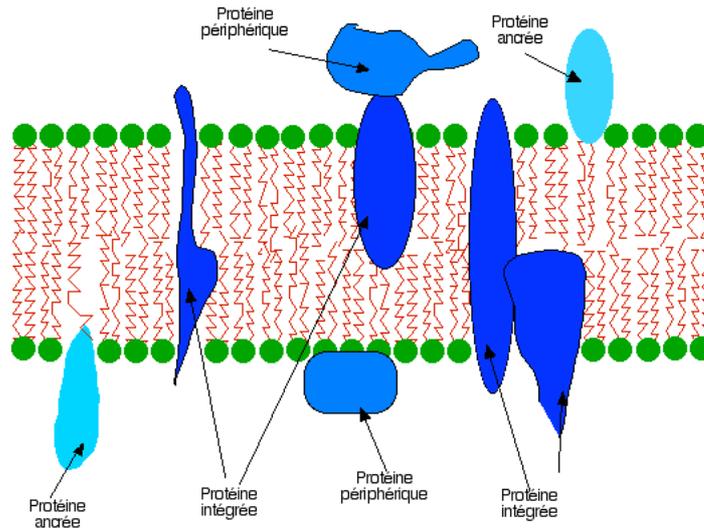
Les protéines sont ancrées à la membrane par l'intermédiaire d'acide gras.

b. Les protéines transmembranaires (intégrales)

Les protéines transmembranaires traversent les deux feuillets de la membrane.

c. Les protéines périphériques

Elles sont hydrophiles et ne pénètrent pas dans l'intérieur hydrophobe de la bicouche lipidique. Les protéines situées sur le versant extracellulaire sont souvent des glycoprotéines.



2.3. Les glucides

La grande majorité des glucides membranaires sont sous forme associée avec des protéines (glycoprotéines) ou des lipides (glycolipides). Ils sont liés aux protéines par des **liaisons N-glycosidiques** (plus fréquent) ou par **liaisons O-glycosidiques**, sous forme de petites glycoprotéines ou de protéoglycanes.

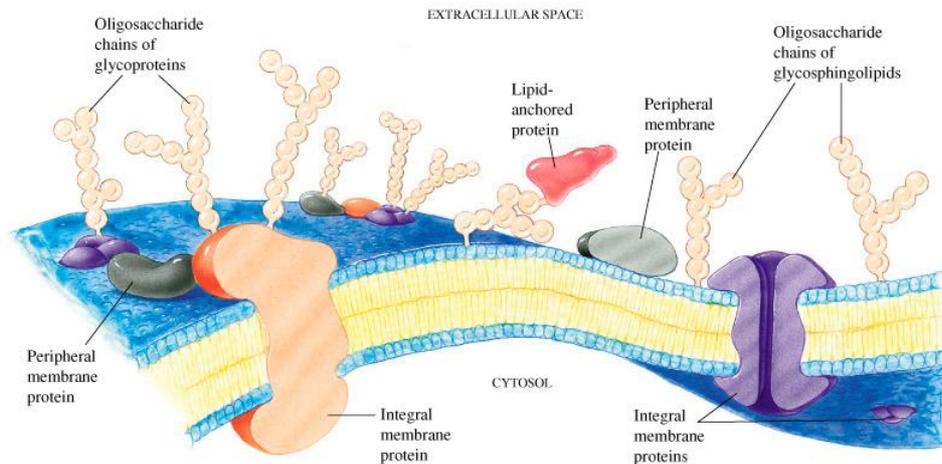
- Les **glycoprotéines** contiennent des polysaccharides courts, souvent ramifiés et n'excédant pas 50% du poids moléculaire de la glycoprotéine.
- Les **protéoglycanes** contiennent des polysaccharides à chaîne longue composée d'unités disaccharidiques répétées à l'infini, représentant jusqu'à 90% du poids moléculaire globale.

3. L'architecture moléculaire

- Les molécules de lipides sont disposées en deux couches biomoléculaire ou leurs extrémités hydrophobes sont disposées en regard et au contact les unes des autres, leurs extrémités hydrophiles étant dirigées, les unes vers le milieu extérieur les autres vers le hyaloplasme.
- Les protéines intrinsèques traversent la membrane, elles possèdent deux extrémités hydrophiles et un corps hydrophobe situé entre les molécules de lipides, les protéines extrinsèques, liées aux molécules de lipides et aux protéines intrinsèques, sont disposées sur les deux faces de la membrane.
- Le glycocalyx ou glycolemme est formé des groupements glucidiques, des glycoprotéines, des glycolipides et des protéoglycanes intra membranaires.

La membrane plasmique est **asymétrique**. En raison d'une inégale répartition des molécules lipidiques et protéiques au niveau de chacun des feuillets.

En étudiant les membranes artificielles de composition bien définie et plus simple que celle de la membrane plasmique. **Singer & Nicholson** ont proposé en 1972 un modèle d'architecture moléculaire définissant la membrane plasmique comme une **mosaïque fluide** et **asymétrique**.



4. Perméabilité membranaire

La membrane marque la frontière entre l'**hyaloplasme cellulaire** et le **milieu extérieur**. Une des stratégies importantes pour la cellule est de pouvoir contrôler les passages à travers sa membrane, celle-ci forme une barrière à **perméabilité sélective ou différentielle**, c'est-à-dire qu'elle ne laisse passer que certaines substances, comme les nutriments, en excluant de nombreux produits indésirables et le passage des ions de façon à maintenir une concentration ionique optimale. Simultanément, elle retient les précieuses protéines cellulaires et d'autres molécules tout en laissant sortir les déchets.

Les mouvements des substances à travers la membrane plasmique peuvent se produire de deux façons, activement ou passivement. Dans les **mécanismes passifs**, les molécules traversent la membrane sans que la cellule fournisse d'énergie ; alors que dans les **mécanismes actifs**, la cellule dépense une énergie métabolique (ATP) pour transporter les substances en questions à travers la membrane.

4.1. Mécanismes passifs (perméabilité passive)

Le transport passif est un transport qui se fait :

- Sans consommation d'énergie ;
- Le long du gradient de concentration.

Il permet, de faire passer une substance à travers une membrane d'un milieu **très concentré** en cette substance vers le milieu le **moins concentré**.

a. La diffusion

La diffusion est un processus de **transport passif** qui joue un rôle important dans toutes les cellules de l'organisme.

La **vitesse de la diffusion** dépend de leur **taille** (plus elles sont petites, plus elles diffusent vite) et de leur **température** (plus celle-ci est élevée, plus la diffusion est rapide).

Cependant, la diffusion passive d'une molécule à travers la membrane plasmique est possible si la molécule répond à l'une des conditions suivantes :

- Elle est **liposoluble** ;
- Elle est assez **petite** pour passer dans les **pores de la membrane** ;
- Elle est **aidée** par une **molécule porteuse**.

La diffusion non assistée des particules liposolubles ou de très petite taille est appelée **diffusion simple**. Dans le cas particulier de la diffusion non assistée de l'eau, on parle d'**osmose** (osmose = pousser). La diffusion assistée est appelée **diffusion facilitée**.

✚ L'osmose

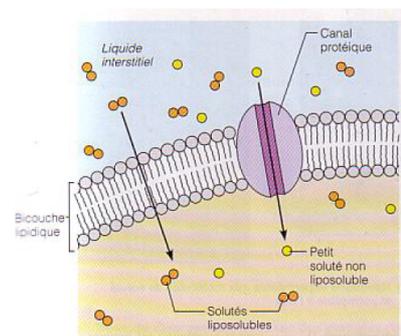
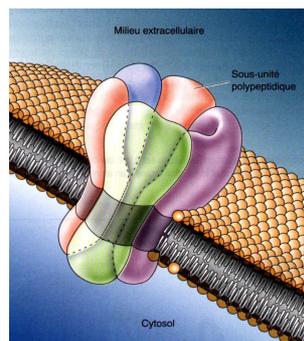
La diffusion d'un solvant, par exemple l'eau, à travers une membrane à **perméabilité sélective**, par exemple la membrane plasmique, est appelée **osmose**.

L'osmose est un phénomène physique **passif** qui a lieu seulement si les solutions sont séparées par une **membrane semi-perméable**. Seules les molécules d'eau traversent la membrane de la solution **hypotonique** (la plus diluée) vers la solution **hypertonique** (solution la plus concentrée) jusqu'à ce que les solutions soient **isotoniques** (de même concentrations).

A priori, **l'eau n'étant pas soluble dans les lipides**, il est pratiquement **impossible qu'elle puisse traverser directement la couche phospholipidique** de la membrane cytoplasmique.

Le **libre passage de l'eau** se fait par l'intermédiaire de **protéines intégrées** qui traversent complètement la double couche lipidique : on parle de "**pores membranaires**".

Ces **protéines ou pores** ressemblent à de **petits canaux** dont la forme évoque celle d'un **tunnel** placé verticalement à travers la membrane cytoplasmique et, par conséquent, de façon à ce que l'orifice central permette à **l'eau** et, à l'occasion, à **certaines petites molécules dissoutes** dans l'eau de **diffuser librement** de part et d'autre de la membrane cytoplasmique.



Diffusion simple

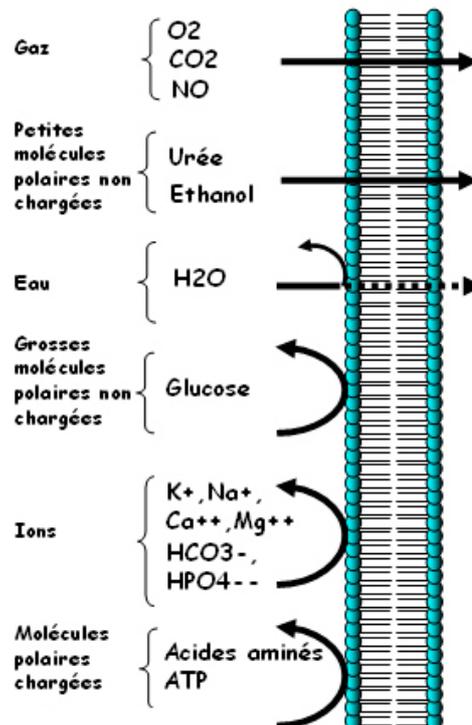
- La plupart des **substances hydrosolubles ne peuvent pas diffuser** à travers la bicouche lipidique ;
- Les substances **liposolubles diffusent directement** à travers la bicouche lipidique ;
- Les particules **polaires ou chargées peuvent diffuser** à travers la membrane si elles sont **assez petites** pour passer dans les **pores d'eau** constitués par les **canaux protéiques**.

Le diamètre des pores est variable, mais on estime qu'ils ne dépassent pas 0,8 nm ; par ailleurs les **canaux** tendent à être **sélectifs**, c'est-à-dire qu'ils ne laissent passer que des **substances précises**.

La membrane plasmique **est sélective** : certains composants pourront la franchir, d'autres non. La **nature biochimique** du **composé** devant la traverser est donc **essentielle** :

Conditions nécessaires à la diffusion simple

- **Faible masse et volume moléculaire** : seuls les petites molécules de faible masse moléculaire peuvent traverser la membrane.
- **L'absence de polarité** : la molécule doit donc être hydrophobe (apolaire ou lipophile) comme les stéroïdes, les gaz (oxygène, dioxyde de carbone, oxyde d'azote), si elle est hydrophile (polaire), être suffisamment petite (en pratique : éthanol, méthanol, urée...).
- **L'absence de charge** : une molécule chargée, même de très petite dimension, ne pénètre pas la bicouche lipidique.
- **Gradient de concentration** : le déplacement de la molécule repose sur la différence de concentration d'une part et d'autre de la membrane.



b. Diffusion facilitée

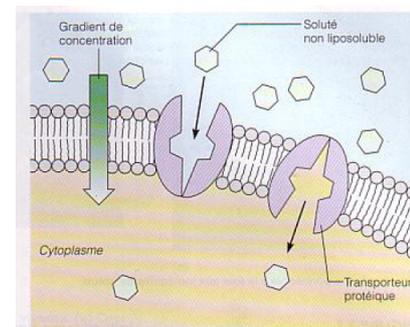
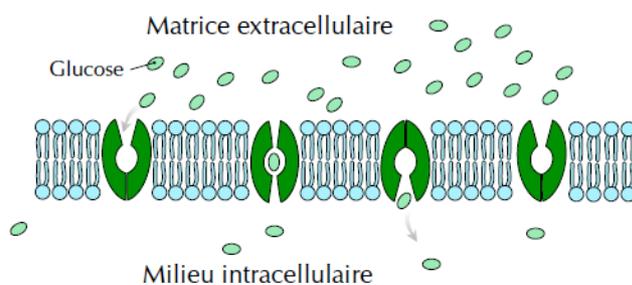
- La diffusion facilitée est le passage transmembranaire de molécules, dans le **sens du gradient de concentration**, **sans dépense d'énergie**, grâce à des **transporteurs membranaires spécifiques**.
- Les **ions** et les **petites molécules polaires** sont transportés à travers la membrane par un complexe de protéines qui forme des **canaux ioniques**.
- Les molécules de taille plus importante (**oses, acides aminés, certaines vitamines...**) traversent la membrane grâce à des **transporteurs protéiques (protéines porteuses ou perméases)**.

b1. Les perméases

Les **perméases** sont des protéines transmembranaires qui assurent la **diffusion facilitée**. La protéine subit des **changements de conformation** qui lui permettent d'envelopper, puis de relâcher la substance à transporter en l'isolant de l'effet des régions non polaires de la membrane.

Propriétés :

- elles sont **spécifiques** aux molécules transportées ;
- elles sont très **sélectives**
- elles sont saturables, ils ne peuvent assurer le passage que d'un nombre donné de molécules par seconde ;
- elles fonctionnent **sans dépense d'énergie** ;
- elles transportent les molécules dans un sens ou dans l'autre en **fonction du gradient de concentration**.

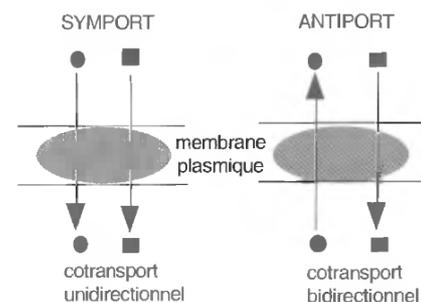


Selon le **nombre** et le **sens** de la substance à transporter et également le **mode de fonctionnement de la perméase**, on distingue :

- Le mode uniport

Transporte une seule substance de part et d'autre de la membrane (dans une seule direction).

- Le mode symport (sym = même)



**Cotransport de deux substances :
symport et antiport**

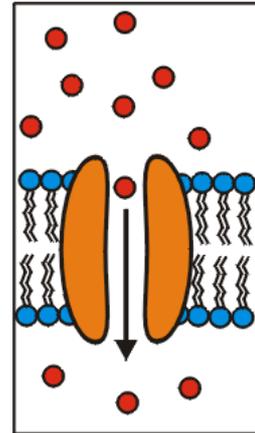
C'est un mode qui fait passer deux substances de nature différentes dans le même sens selon leurs gradients de concentration.

- **Le mode antiport** (anti = opposé).

Il s'agit ici, de faire traverser deux substances de nature différentes à travers la membrane dans deux sens différents.

b2. Les canaux ioniques

À l'inverse des protéines transporteuses, les **canaux ioniques** forment un pore au travers la membrane qui, lors de son ouverture (contrôlée), permet, de manière **sélective**, aux **ions** ayant une **taille** et une **charge appropriée** de **traverser librement la bicouche lipidique**. Le canal est une **protéine transmembranaire** constituée d'un ensemble de sous-unités.



4.2. Mécanismes actifs

Dans tous les cas où la cellule consomme l'énergie (sous forme d'ATP) pour faire passer des substances à travers la membrane, on parle de mécanisme **actif**.

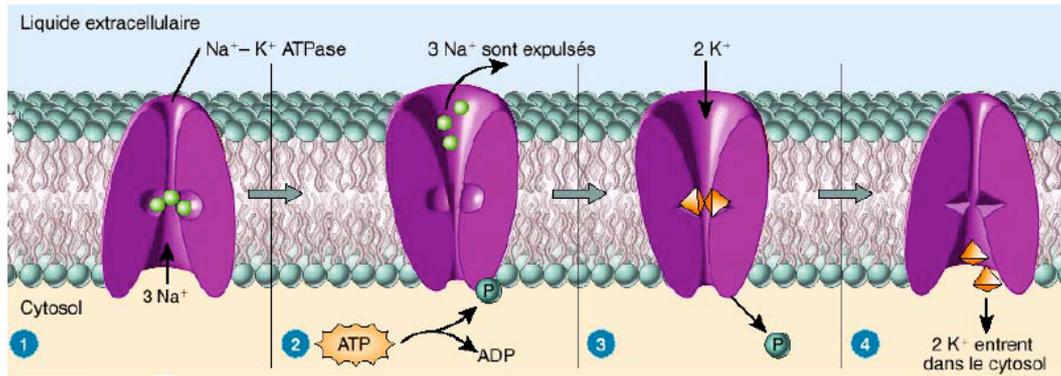
Normalement, si une substance traverse la membrane plasmique par un mécanisme actif, c'est parce qu'aucun des processus de diffusion passive ne lui permet de passer dans la direction voulue. Il se peut que les molécules :

- soient **trop grosses** pour passer dans les pores ;
- ne puissent pas **se dissoudre** dans la bicouche lipidique ;
- leur déplacement doit se faire **contre un gradient de concentration**.

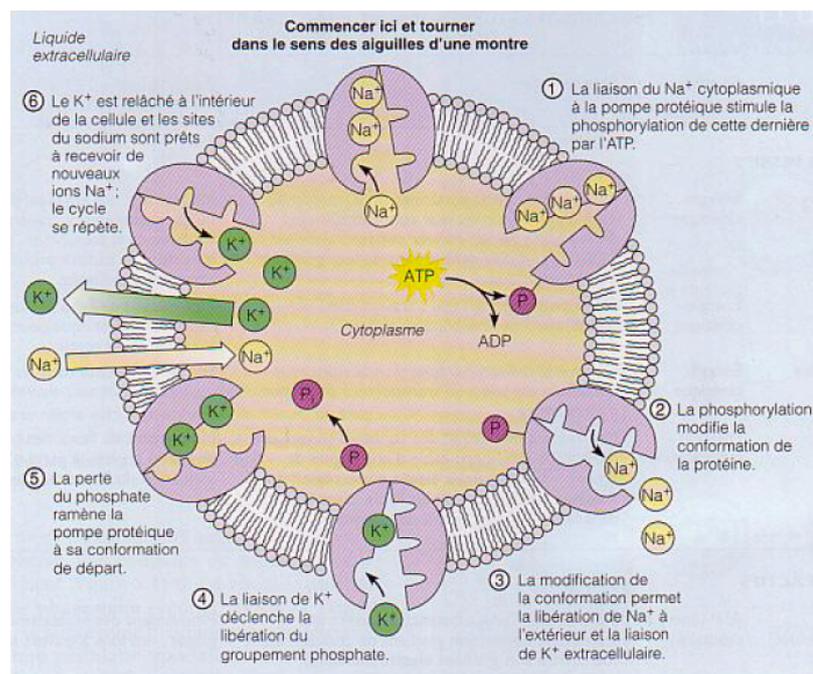
a. Transport actif

C'est le transport qui s'effectue à contre courant des forces normales de diffusion, à l'opposé du gradient de concentration. Ce transport doit être couplé à une source d'énergie métabolique sous forme d'**ATP**.

On parle alors de **pompes moléculaires (pompes à solutés, transporteurs protéiques qui ressemblent à des enzymes)**. Un modèle de pompe moléculaire dont le fonctionnement est bien connu est la **pompe sodium/potassium**.



De nombreux systèmes de transport actif sont des systèmes couplés, c'est-à-dire qu'ils déplacent plus d'une substance à la fois. Si les substances sont transportées dans la même direction, il s'agit d'un **système symport** (sym = même). Si les substances se croisent, c'est-à-dire qu'elles traversent la membrane dans des directions opposées, on parle de **système antiport** (anti = opposé).



4.3. Perméabilité des macromolécules

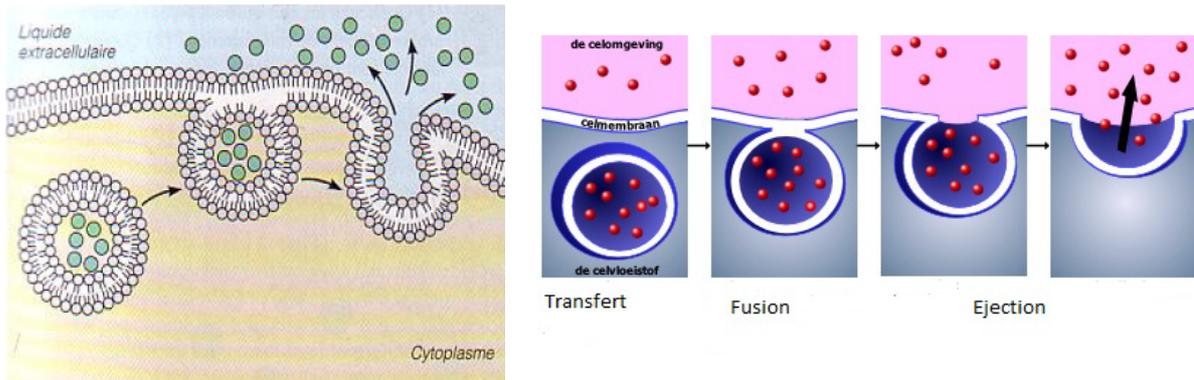
Les grosses particules et les **macromolécules** traversent la membrane grâce au **transport vésiculaire** ou en **vrac**. Les deux principaux modes de transport vésiculaire sont l'**exocytose** (sortie, vers l'extérieur de la cellule) et l'**endocytose** (entrée, vers l'intérieur de la cellule).

a. Exocytose

Est un mécanisme qui assure le passage de certaines substances de l'**intérieur de la cellule** vers l'**espace extracellulaire**.

Lors de l'exocytose, la substance ou le produit cellulaire devant être libéré est d'abord enfermé dans un sac membraneux appelé **vésicule**. La **vésicule migre** en direction de la membrane plasmique, elle **fusionne** avec elle et déverse son contenu à l'extérieur de la cellule.

Les protéines membranaires des vésicules reconnaissent certaines protéines présentes sur la membrane plasmique et se lient avec elles, ce qui rapproche assez les deux membranes pour leur permettre de **fusionner**. Les matériaux qui s'ajoutent à la membrane lors de l'exocytose en sont retirés pendant l'endocytose, qui est le processus inverse.



b. Endocytose

Permet à de grosses particules ou à des macromolécules d'entrer dans la cellule. La substance qui doit pénétrer dans la cellule est graduellement entourée par **une invagination de la membrane plasmique**. Lorsque la vésicule est formée, elle se détache de la membrane plasmique et entre dans le cytoplasme, où son contenu est ensuite digéré.

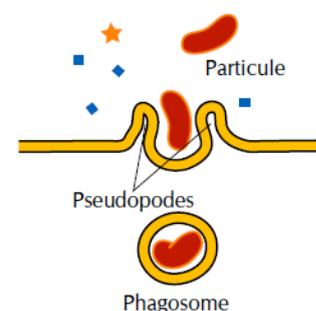
Lors de l'endocytose, des morceaux de la membrane plasmique se détachent de celle-ci au moment de l'absorption des vésicules. Ces mêmes morceaux de membrane s'ajoutent lors de l'exocytose, dont la surface reste remarquablement constante.

On connaît trois formes d'endocytose : la **phagocytose**, la **pinocytose** et l'**endocytose par récepteurs interposés**.

✚ Phagocytose

Lors de la phagocytose (grec *phagein*, manger), des portions de la membrane plasmique et du cytoplasme s'étendent pour entourer un objet relativement gros ou solide, tel un amas de **bactéries** ou de **débris cellulaires**, des **polluants** ou encore des **allergènes**, et l'englobent.

Les protéines de la membrane plasmique reconnaissent ces particules ou bactéries qui deviennent ainsi fixés en surface par des liaisons labiles.



Déroulement de la phagocytose

- **Adhésion** : adhésion de la particule à la membrane plasmique grâce à des récepteurs spécifiques : région fonctionnelle.
 - **Ingestion** :
 - # formation de pseudopodes, entourant la particule phagocytée, par déformation du cytosquelette ;
 - # séquestration de la particule et formation du **phagosome** ou **vacuole de phagocytose** ;
 - **Digestion** : la digestion est consécutive à la fusion des lysosomes avec la membrane du **phagosome** constituant ainsi un **phagolysosome**.
- Remarque : un **lysosome** est une structure cellulaire spécialisée contenant des enzymes digestives.

Chez les *protozoaires*, par exemple les **amibes**, la **phagocytose** est une forme courante **d'alimentation**.

Chez les *métazoaires*, il existe des cellules « professionnelles » pour ingérer des particules de grande taille : c'est le cas des **macrophages**, cellules mobiles présentes dans tous les tissus et le sang ; c'est aussi le cas des globules blancs, par exemple les leucocytes polynucléaires.

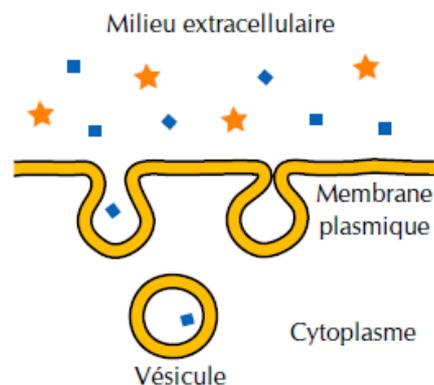
+ Pinocytose

Lors de la pinocytose (grec *pinein* = boire), un petit repli de membrane plasmique englobe une **gouttelette de liquide extracellulaire contenant des molécules dissoutes**. La gouttelette entre dans la cellule à l'intérieur d'une minuscule **vésicule pinocyttaire**.

La pinocytose est très commune chez la plupart des cellules. Elle revêt une importance toute particulière pour les cellules qui assurent **l'absorption des nutriments**, comme celles qui **tapissent les intestins**.

Déroulement de la pinocytose

- piégeage des particules ;
- pincement de la membrane plasmique ;
- formation d'une vésicule lisse : **endosome**.



a. L'endocytose par récepteurs

Hautement **spécifique** et très **sélective**. Les récepteurs sont des protéines de la membrane plasmique qui ne se lient qu'à certaines substances. Les récepteurs et les substances qui y sont fixées entrent ensemble dans la cellule à l'intérieur d'une petite vésicule appelée **vésicule tapissée** ou **vésicule à manteau**.

Elle permet notamment l'absorption au niveau des reins de diverses substances telles que l'insuline, des lipoprotéines de basse densité (comme le cholestérol lié à un transporteur protéique), du fer ou encore de petites protéines. Lorsque la vésicule tapissée se combine avec un lysosome, l'hormone (ou une autre substance) est libérée ; les membranes portant les récepteurs liés se séparent des vésicules et regagnent la membrane plasmique, où elles sont réutilisables à nouveau.

