

Chapitre 4

PHYSIOLOGIE DE LA MEMBRANE PLASMIQUE

Objectifs principaux

1. Lister les caractéristiques des transports perméatifs.
2. Donner les caractéristiques des transports perméatifs passifs.
3. Caractériser la diffusion simple et donner quelques exemples de molécules diffusibles.
4. Donner les caractéristiques de la diffusion facilitée et citer des exemples de molécules transportées.
5. Indiquer les caractéristiques des transports perméatifs actifs et décrire leurs mécanismes.
6. Citer les caractéristiques des transports cytotiques
7. identifier leurs variétés et décrire leurs mécanismes respectifs.

1. Transports à travers les bicouches artificielles

L'analyse de la perméabilité des bicouches lipidiques artificielles de composition connue a permis de calculer les valeurs des coefficients de perméabilité de diverses molécules et ions.

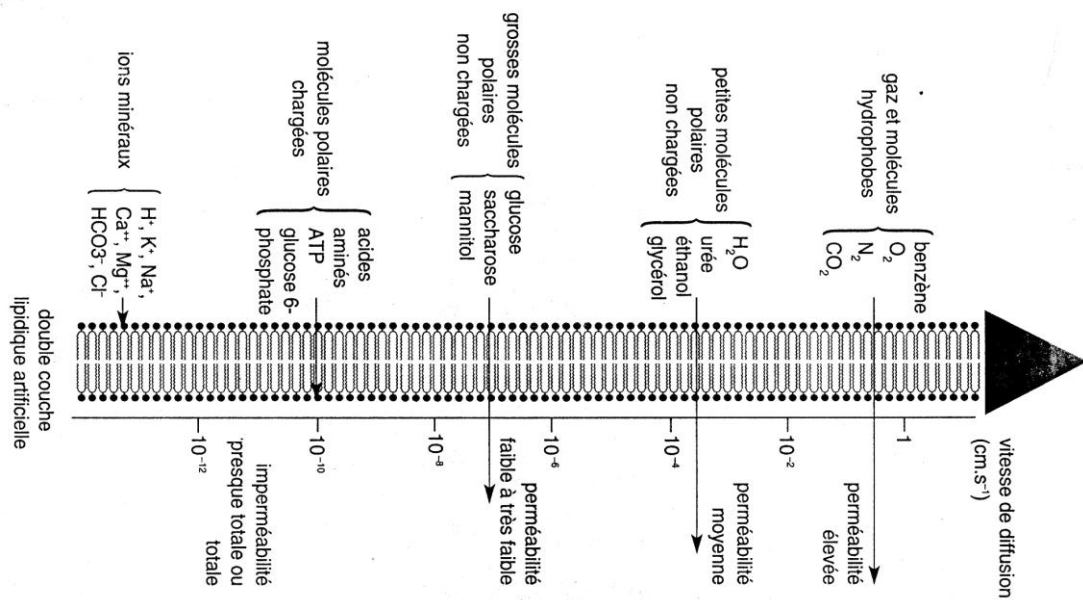


Figure 1. Diagramme montrant l'étendue des valeurs des coefficients de perméabilité (cm.S^{-1}) pour le passage de diverses catégories de molécules et d'ions à travers les bicouches lipidiques artificielles.

Quelques règles de base relatives à la diffusion à travers les bicouches lipidiques peuvent donc être énoncées :

- Plus une molécule est **petite** et **hydrophobe**, plus elle diffuse rapidement ;
- Pour des molécules **polaires non chargées**, seules celles de **petite taille** diffusent avec une vitesse significative. Les plus grosses d'entre elles, même biologiquement importantes, sont pratiquement exclues ;
- L'eau, de façon assez étonnante, traverse aisément les bicouches, son coefficient P est voisin de

10^{-1}cm.S^{-1} . Ces résultats soulignent le fait que perméation rapide de composés hydrophiles de grande taille (ex : les sucres) doit impliquer des mécanismes autres que la simple diffusion.

Rappel : quand les électrons de 2 atomes interagissent, ils peuvent échanger leurs électrons de façon égale, formant une **liaison covalente électriquement neutre**. Par ailleurs, un des atomes peut complètement capter un électron d'un autre atome, formant 2 ions grâce à une **liaison ionique**. Entre ces 2 extrêmes, on trouve des liaisons dans lesquelles les électrons ne sont pas partagés également entre les 2 atomes, mais se localisent préférentiellement sur un des 2 atomes. Cet atome acquiert donc une charge légèrement négative, alors que l'autre, qui a perdu en partie un électron, devient légèrement positif. Ces liaisons sont appelées **liaisons covalentes polaires**, car les atomes des 2 extrémités de la liaison portent des charges électriques opposées. (ex : dans un groupement hydroxyle OH, la liaison entre H et O est une liaison covalente polaire dans laquelle O est légèrement négatif et H légèrement positif.

Les phénomènes de transport à travers la MP peuvent être divisés en 2 grands groupes :

- ❖ **Les transports perméatifs** qui ne nécessitent pas de mouvements membranaires : ils se déroulent à l'échelle moléculaire (Figure 2) ;
- ❖ **Les transports cytotiques** qui nécessitent des mouvements membranaires, observables au microscope ; ils se déroulent à l'échelle cellulaire ; ce sont les phénomènes d'endo / exocytose (Figure 3).

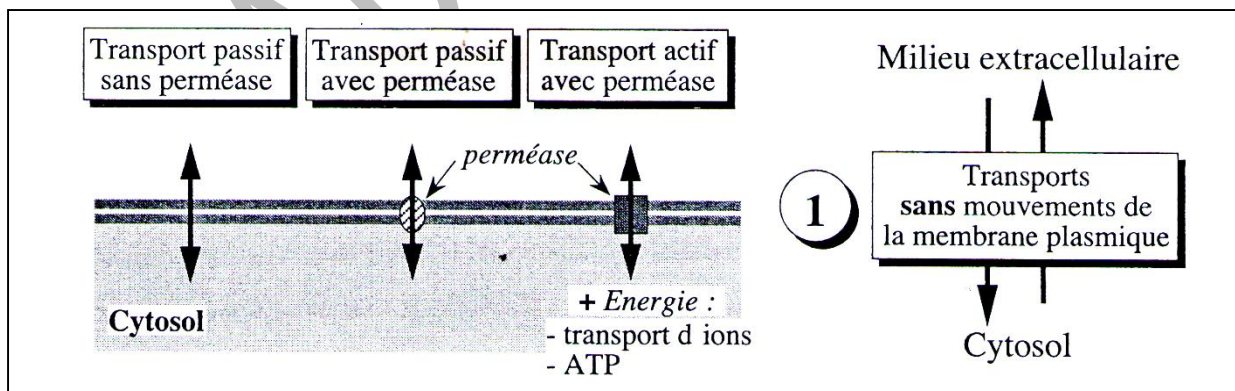


Figure 2. Les transports perméatifs sans mouvements de la MP.

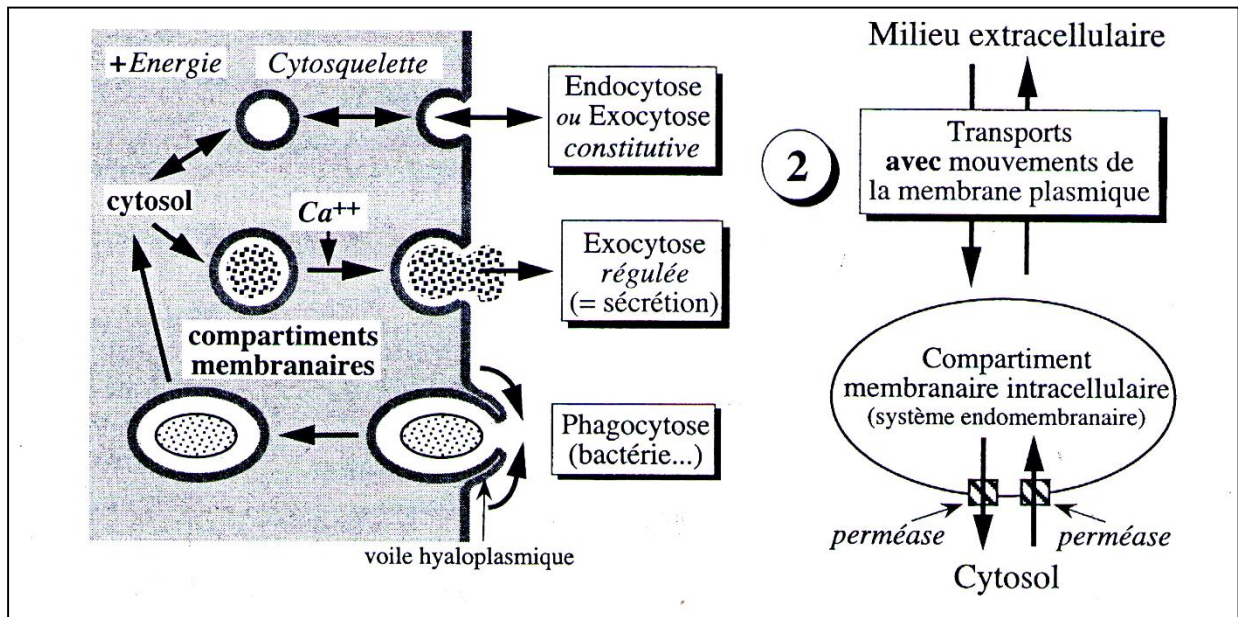


Figure 3. Les transports cytotiques avec mouvements de la MP.

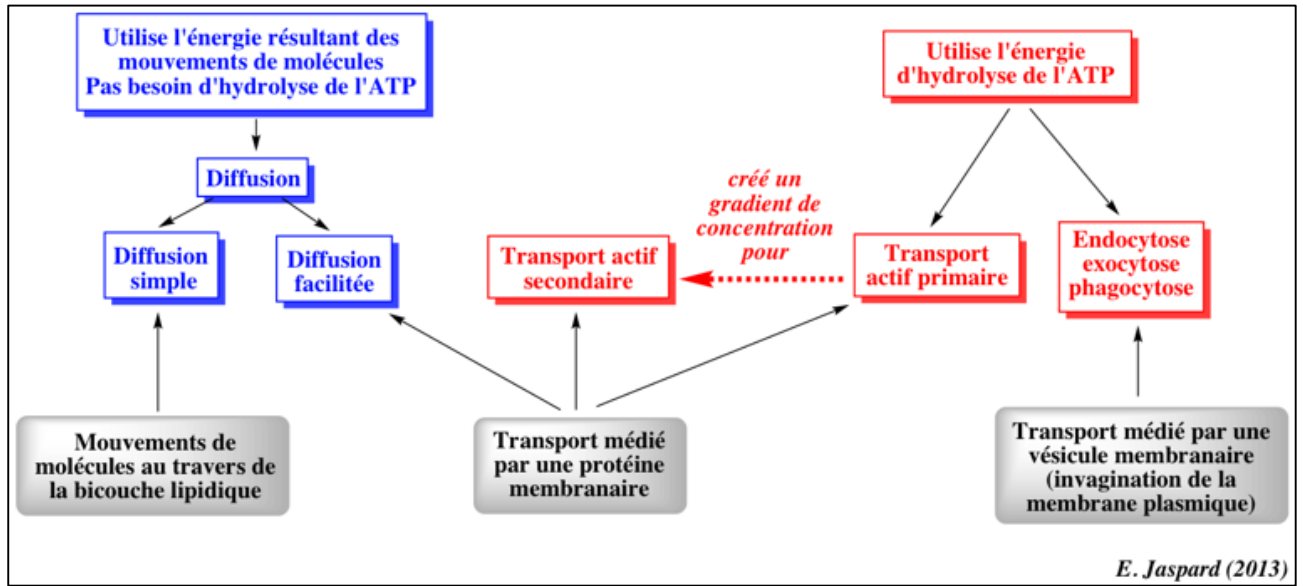
2. Les transports perméatifs à travers la membrane plasmique

Ce sont des transports transmembranaires, ils :

- n'impliquent pas de modifications morphologiques de la MP ;
- se déroulent sans intervention du cytosquelette ;
- concernent les molécules de faible poids moléculaire ou celles qui nécessitent l'intervention de protéines transporteuses intra-membranaire spécifiques ;

Ils se divisent en :

- ❖ **Transports passifs** qui ne consomment pas de l'énergie ;
- ❖ **Transports actifs** qui consomment de l'énergie sous forme d'ATP.



E. Jaspard (2013)

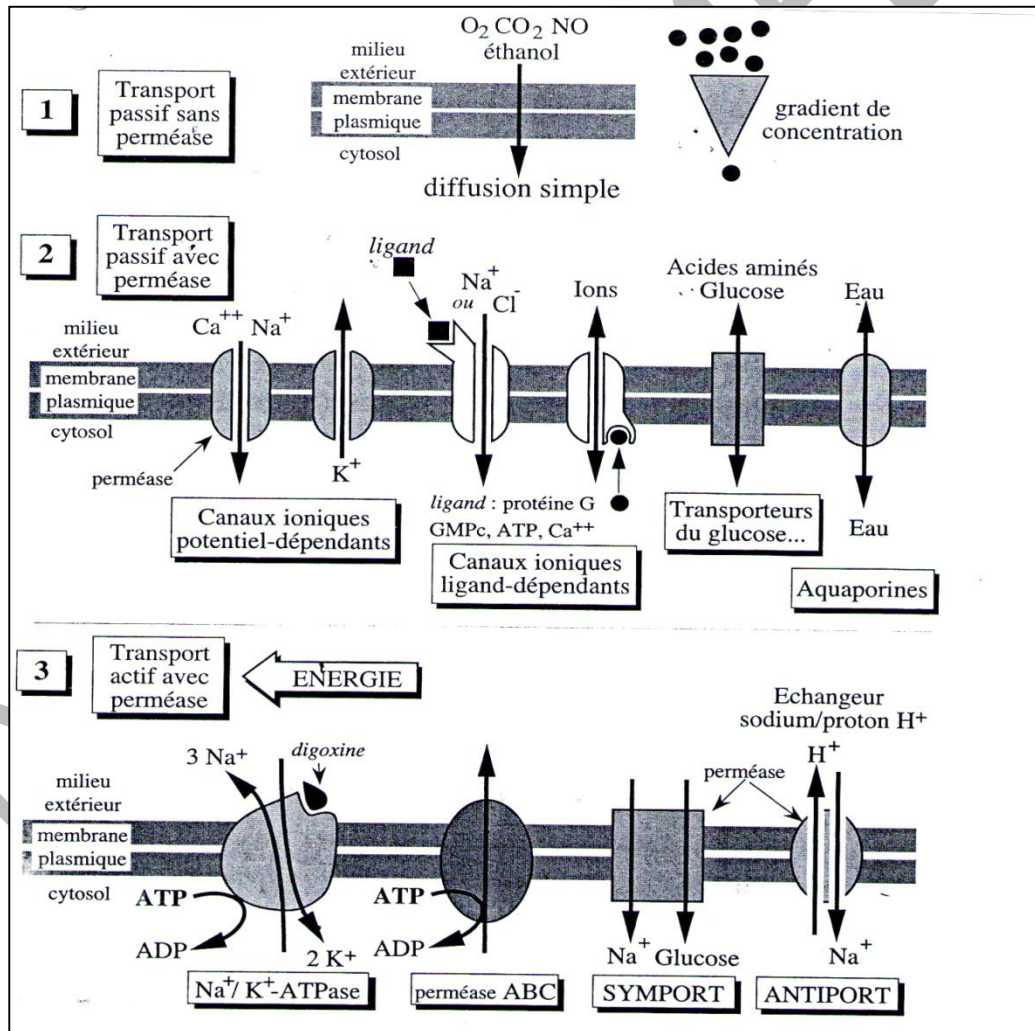


Figure 4. Les différents modes de transports perméatifs sans mouvements de la MP.

2.1. Les transports passifs : ce sont des transports transmembranaires qui ne consomment pas d'énergie. Ils regroupent :

- **Le transport passif sans perméase ou diffusion simple.**
- **Le transport passif avec perméase ou diffusion facilitée.**

2.1.1. La diffusion simple : elle intéresse un petit nombre de molécules : O_2 , CO_2 , NO , éthanol, urée. Toutes ces molécules traversent la bicouche lipidique sans intervention de protéines transmembranaires.

Le mouvement des molécules par diffusion simple à travers la membrane est conditionné par :

- La petite taille des molécules ;
- L'absence de charge ;
- La solubilité dans les lipides ;
- Le déplacement selon le gradient de concentration.

2.1.2. La diffusion facilitée : elle se déroule

- sans intervention d'énergie,
- dans le sens du gradient de concentration
- nécessite l'intervention de protéines transmembranaires transporteuses spécifiques appelées **perméases**.

Quelques exemples de perméases (figure 4).

- **Les transporteurs de glucose** : les GLUTs sont des perméases qui transportent le glucose.
- **Les aquaporines** : (ou AQP) sont des perméases qui assurent le transport transmembranaire des molécules d'eau d'une manière spécifique. Les AQP transportent sélectivement l'eau : l'eau passe librement à travers elles alors que les ions ou les protons ne passent pas.
- **Les canaux ioniques** : transportent des ions d'une manière sélective et spécifique.

L'étude comparée des concentrations ioniques dans le cytosol et le milieu extracellulaire montre que la concentration du K^+ est plus élevée dans la cellule, tandis que celles du Ca^{++} , du Mg^{++} , du Na^+ et de HCO^- sont plus élevées dans le milieu extracellulaire. Le maintien de ces concentrations ioniques dépend du fonctionnement des canaux ioniques. On distingue :

- a. **Les canaux ioniques voltage-dépendants ou potentiels dépendants** : exemple : le canal calcique

Les canaux ioniques voltage-dépendants (canaux Na^+ , K^+ , Ca^{++} et Cl^-) sont des canaux dont l'ouverture dépend du potentiel de membrane. Il faut noter que leur localisation n'est pas seulement limitée à la MP.

b. **Les canaux ioniques ligand dépendants** : ce sont des canaux protéiques dont l'ouverture dépend de la fixation d'un ligand sur un ou plusieurs sites de fixation spécifiques. Ces canaux existent dans toutes les cellules. Les canaux ioniques ligand dépendants des neurones en sont un exemple.

2.2. Les transports actifs avec perméase : ils présentent les caractéristiques suivantes :

- a. Le transport est couplé à un mécanisme produisant de l'énergie consommée pour le transport ;
 - b. Le transport fonctionne donc contre le gradient de concentration de l'élément transporté.
 - c. Ils dépendent d'une perméase.
 - d. On les classe en deux groupes selon la source d'énergie utilisée :
- **Le transport actif primaire** dans lequel il y a consommation directe d'ATP : la perméase est une enzyme de type **ATPase**, souvent appelée **pompe** ;
 - **Le transport actif secondaire** : nécessite l'utilisation d'une différence de concentration ionique de part et d'autre d'une membrane pour entraîner le processus.

2.2.1. Le transport actif primaire : l'hydrolyse de l'ATP par un transporteur fournit l'énergie pour le transport actif primaire. Le transporteur est habituellement une enzyme appelée ATPase qui catalyse la dégradation de l'ATP et se phosphoryle au cours de cette réaction. Les principales protéines de transport actif primaire retrouvées dans la plupart des cellules sont :

1. La Na^+/K^+ ATPase : on retrouve cette pompe dans toutes les membranes plasmiques. L'activité de pompage de cette protéine aboutit à la répartition caractéristique de la forte concentration intracellulaire de potassium et de faible concentration intracellulaire de sodium, par rapport à leurs concentrations extracellulaires respectives. Pour chaque molécule d'ATP hydrolysée, ce transporteur déplace 3 ions sodium hors de la cellule (il y a donc un transfert net de charges positives hors de la cellule) et fait pénétrer dans la cellule 2 ions potassium ; ainsi, ce processus de transport n'est pas électriquement neutre (Figure 5). L'ATPase Na^+/K^+ consomme environ 25% de l'ATP produit par la mitochondrie (soit environ 8000 ATP/minute).
2. La Ca^{++} ATPase : retrouvée dans la MP et plusieurs membranes biologiques (réticulum endoplasmique). Dans la MP, le transport actif du calcium se fait du cytosol vers le milieu

extracellulaire. Dans les organites, le transport actif de calcium se fait du cytosol vers la lumière des organites.

3. L'H⁺ ATPase : retrouvée dans la MP et plusieurs membranes biologiques (membrane mitochondriale interne et membrane lysosomiale). Dans la MP, cette pompe expulse des ions hydrogène hors de la cellule.
4. La H⁺/K⁺ ATPase : retrouvée dans la membrane des cellules sécrétrices d'acide de l'estomac et des reins, où elle pompe un ion hydrogène hors de la cellule et un ion potassium dans la cellule pour chaque molécule d'ATP hydrolysée (Figure 6).

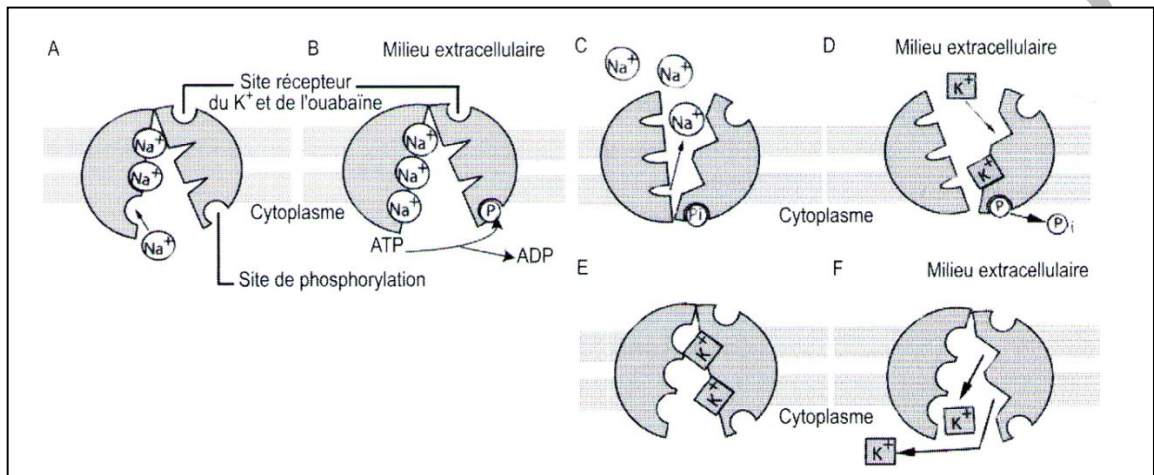


Figure 5. Fonctionnement de la pompe à sodium.

A. La fixation de 3 ions Na⁺ sur leurs sites récepteurs localisés sur la face cytosolique de l'ATPase Na⁺/K⁺ dépendante déclenche la phosphorylation de la pompe. **B.** La phosphorylation modifie la forme de l'ATPase ce qui expose les 3 ions Na⁺ à la face externe. **C.** La modification conformationnelle de l'ATPase libère les 3 ions Na⁺ dans le milieu extracellulaire et autorise la liaison de 2 K⁺. **D.** La fixation des 2 K⁺ déclenche la libération du groupement phosphate. **E.** L'ATPase reprend sa conformation spatiale après libération des ions K⁺. **F.** Les sites de fixation des ions Na⁺ sont à nouveau réceptifs, un nouveau cycle peut recommencer.

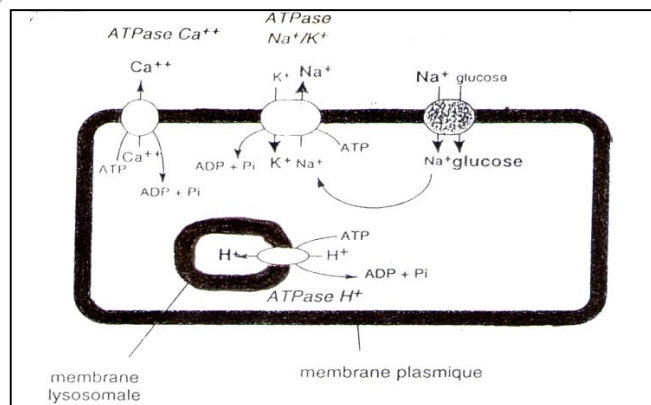


Figure 6. Autres exemples de transports actifs

Le transport du glucose est qualifié de transport actif secondaire puisqu'il entraîne des ions Na^+ dans le cytoplasme et que de l'énergie est consommée pour faire sortir ces ions dans le milieu extracellulaire. L'utilisation des caractères gras correspond à une concentration élevée d'un soluté dans un compartiment.

2.2.2/- Le transport actif secondaire : il se distingue du transport actif primaire par le fait que la source d'énergie est un gradient de concentration ionique de part et d'autre d'une membrane. Le flux d'ions d'un milieu concentré (niveau d'énergie élevé) vers un milieu qui l'est moins (niveau d'énergie plus faible) procure l'énergie pour le déplacement contre le gradient de concentration de la substance activement transportée.

De nombreuses maladies génétiques se caractérisent par des anomalies des diverses protéines qui constituent les canaux ioniques et des protéines de transport. Ces mutations peuvent altérer les propriétés électriques des cellules musculaires et nerveuses, ainsi que les propriétés d'absorption et de sécrétion des cellules épithéliales tapissant l'intestin, les reins et les voies aériennes pulmonaires.

La mucoviscidose est due à une anomalie d'un canal membranaire traversé par les ions chlore pour passer des cellules vers le liquide extracellulaire. Cette impossibilité d'excréter des quantités adéquates d'ions chlore diminue le volume de liquide sécrété par les cellules épithéliales, ce liquide étant nécessaire pour empêcher l'accumulation de mucus, celui-ci s'épaissit et finit par obstruer les voies respiratoires et pancréatiques.

3. Les transports cytotiques

Ce sont des transports qui :

- s'appliquent aux particules et aux substances de haut poids moléculaire ;
- se caractérisent par les modifications morphologiques de la MP et formation de vésicules ;
- dépensent de l'énergie ;
- font intervenir les éléments du cytosquelette.

On distingue deux types de transports cytotiques :

- ❖ **l'endocytose**
- ❖ **l'exocytose**

3.1. Notion d'endocytose : c'est l'ensemble des mécanismes responsables de l'internalisation de substances ou de microorganismes d'origine extracellulaire : la formation d'invaginations de la MP, grâce à des mouvements de petite amplitude, aboutit à la formation de vacuoles ou de vésicules contenant le matériel à importer. L'endocytose regroupe :

- ❖ la pinocytose
- ❖ la phagocytose

3.1.1. La pinocytose (Figure 7)

C'est la capture, par la cellule, de macromolécules et de solutés dans de petites vésicules qui se forment par bourgeonnement de la MP en direction du cytoplasme. Il existe 4 types distincts de pinocytose en fonction

- ✓ de la taille des vésicules ;
- ✓ de la nature éventuelle de leur revêtement ;
- ✓ du déroulement du phénomène.

Ce sont :

1. la pinocytose à vésicules lisses d'une phase liquide
2. la pinocytose induite par un récepteur
3. la potocytose
4. la macropinocytose

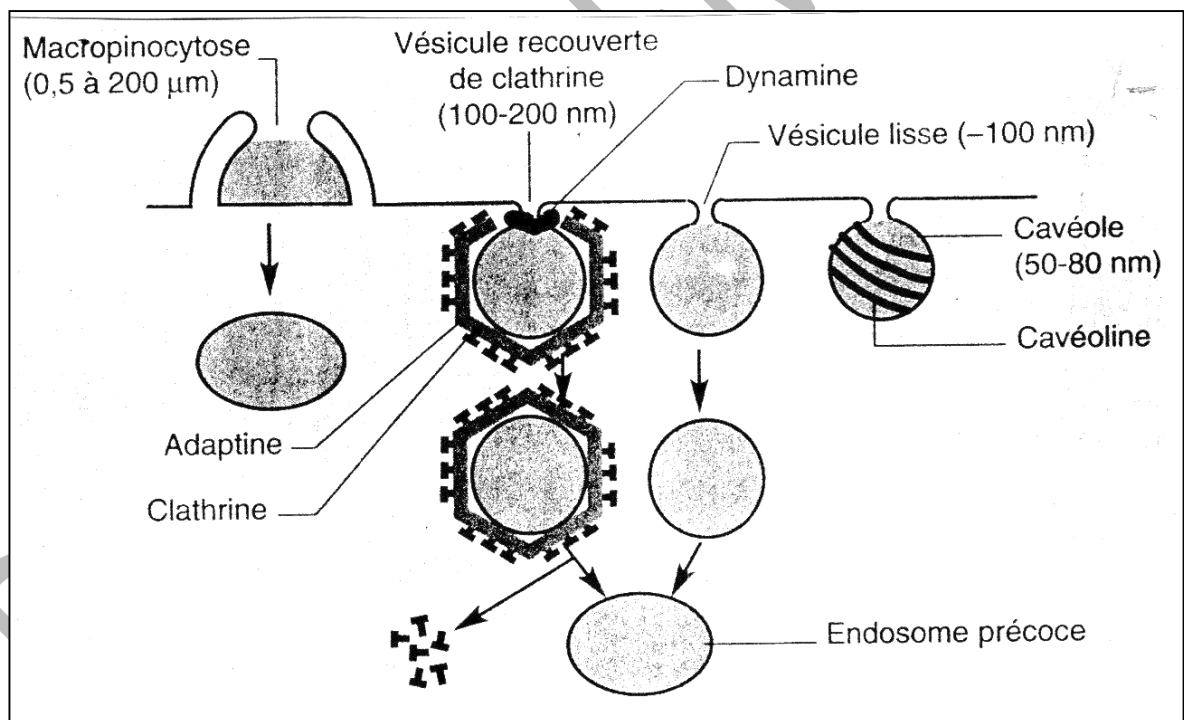


Figure 7. Les diverses formes de pinocytose

3.1.1.1. La pinocytose à vésicules lisses : la MP s'invagine en une vésicule de 150 nm de diamètre, partiellement ouverte sur le milieu extracellulaire. La substance liquide pénètre dans la vésicule qui se referme, au niveau du col, par étranglement. Ces vésicules lisses, non recouvertes, caractérisent l'endocytose non spécifique : elles assurent un transport en vrac.

Les vésicules fusionnent, forment un et livrent leur contenu à la cellule. La pinocytose devrait provoquer une diminution de la surface membranaire, mais celle-ci reste constante : l'apport des membranes des grains de sécrétion au cours de l'exocytose compense, en effet, la perte occasionnée par la pinocytose.

3.1.1.2. La pinocytose à vésicules à manteau de clathrine : c'est un type d'endocytose hautement spécifique qui correspond à la formation de vésicules à manteau grâce à un processus d'internalisation d'un domaine de la MP, recouvert sur sa face interne par des molécules de **clathrine** contenant des récepteurs **adaptine-dépendants**. Ces vésicules sont sélectives. Exemple : transport du cholestérol, l'insuline,...

Le processus d'internalisation suit les étapes suivantes :

1. Les récepteurs adaptine-dépendants spécifiques de la substance à internaliser fixent le ligand et forment des dépressions de la MP appelées « **puits recouverts** ».
2. La membrane des puits recouverts s'invagine et s'internalise,
3. l'invagination se ferme et forme une vésicule d'endocytose recouverte par le réseau hexagonal du complexe clathrine/adaptine.
4. fermeture des vésicules à clathrine par la dynamine (la dynamine est une GTPase qui se lie au GTP et se dispose autour du col et provoque l'étranglement de la vésicule puis sa séparation de la MP)
5. le déplacement des vésicules recouvertes dans le cytoplasme dépend des microtubules (voir cours « cytosquelette »).
6. Les vésicules se débarrassent des molécules de clathrine et d'adaptine grâce à une ATPase et en présence d'ATP
7. Les vésicules devenues lisses fusionnent pour former un endosome précoce
8. Les **endosomes précoces** fusionnent avec les lysosomes primaires et leur contenu est digéré par les enzymes hydrolytiques lysosomiales, il se forme alors des **endosomes tardifs** (voir cours « les lysosomes »)
9. Les récepteurs ne sont pas digérés mais recyclés vers la MP.

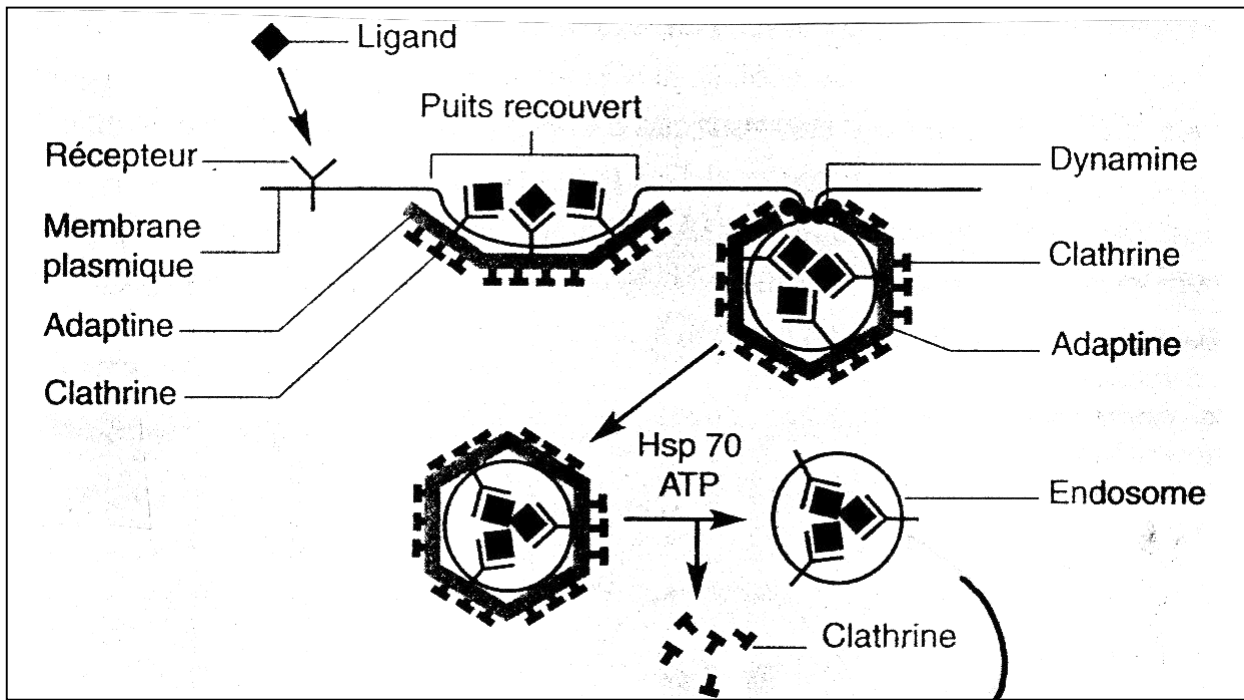


Figure 8. Endocytose induite par un récepteur

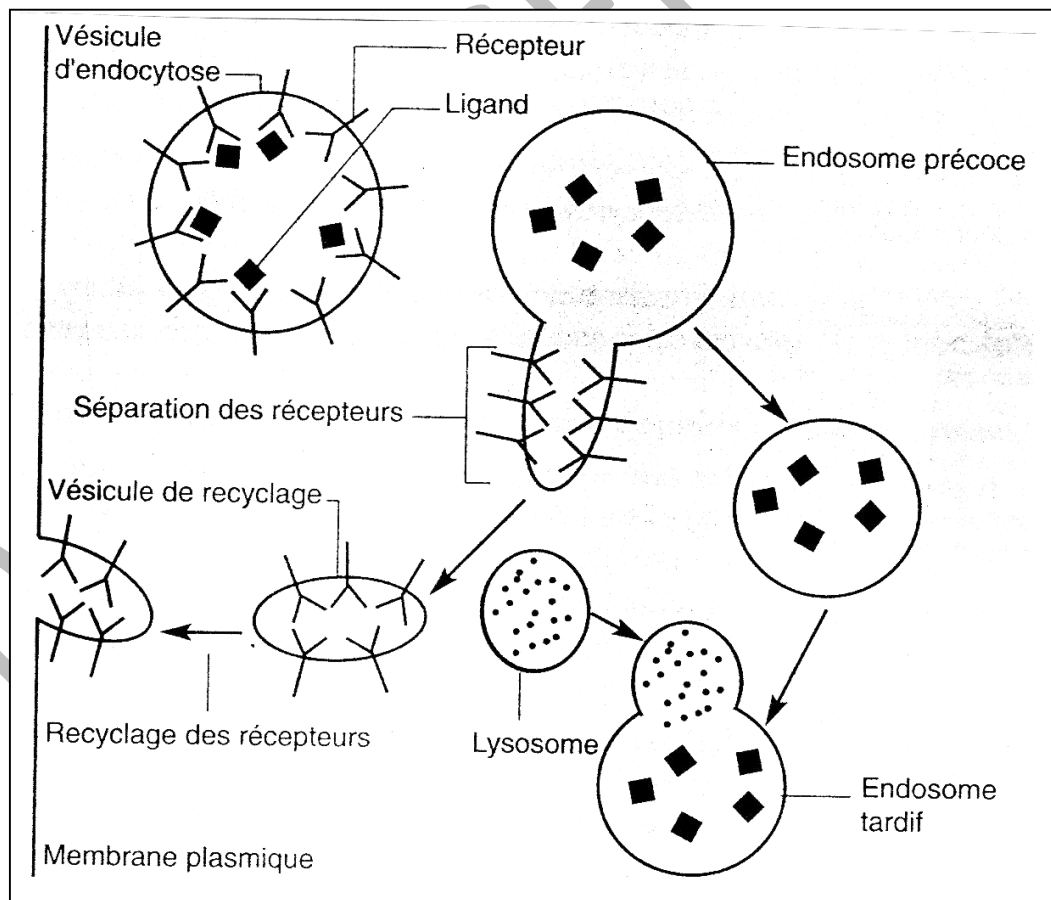


Figure 9. Evolution d'une vésicule d'endocytose induite

3.1.1.3. La potocytose : c'est un mode d'endocytose provoquée par la fixation d'un ligand sur des récepteurs membranaires aboutissant à la formation de **cavéoles** qui restent attachées à la MP ou qui se déplacent vers l'appareil de Golgi. Les cavéoles, d'un diamètre inférieur à celui des vésicules lisses, (50 à 80 nm) possèdent un revêtement disposé en spirale constitué de cavéoline.

- ✓ Les cavéoles contiennent, concentrent et internalisent de nombreuses molécules connues comme intervenant dans la transmission de signaux mécaniques et hormonaux.
- ✓ Les cavéoles peuvent se fermer, rester liées à la face interne de la MP puis s'ouvrir à nouveau. Cette fermeture est ATP dépendante.
- ✓ Les cavéoles peuvent s'isoler comme des vacuoles d'endocytose et être transportées vers l'appareil de Golgi.
- ✓ Elles peuvent déverser leur contenu dans le réticulum endoplasmique granuleux.

3.1.1.4. La macropinocytose : c'est une endocytose de solutés (molécules en solution) qui aboutit à la formation des **macropinosomes**, vacuoles non revêtues de clathrine, d'un diamètre compris entre 0,5 et 200 µm.

Les macropinosomes se forment en réponse à des facteurs de croissance et à des esters de phorbols (agents chimiques cancérigènes).

Les macropinosomes ne délivrent qu'une partie de leur contenu aux **endosomes précoces** ou **tardifs**.

3.1.2. La phagocytose : c'est l'ensemble des phénomènes qui aboutit à la formation de **phagosomes**, vacuoles de grande taille contenant des particules solides (exemple : bactéries) ou des débris cellulaires de grande taille. La phagocytose est un processus actif qui consomme une quantité importante d'énergie délivrée par l'hydrolyse de l'ATP.

Le mécanisme de défense de l'organisme dépend de cellules phagocytaires spécialisées comme les granulocytes et les macrophages (un macrophage peut phagocyter environ un millier d'hématies mortes par jour).

La phagocytose se déroule en 4 étapes (Figure 10):

1. **Oponisation** : immédiatement après leur pénétration dans l'organisme, les bactéries sont oponisées, les anticorps ou immunoglobulines G (Ig G) recouvrent les bactéries ;
2. **Migration des macrophages par chimiotactisme** : les granulocytes migrent vers les lieux occupés par les bactéries, attirés par une substance chimique dont on ignore encore la nature ; ils migrent à la vitesse de 0,7 à 1 µm / minute

3. **Contact** : animés de mouvements incessants, les macrophages forment des pseudopodes qui entrent en contact avec la bactérie. Le contact précède une phase essentielle, l'adhérence
4. **Adhérence** : des CAMs (molécules d'adhésion cellulaire) et des SAMs (molécules d'adhésion au substrat) assurent l'adhérence des macrophages à la bactérie.
5. **Phase rhéologique** : destruction des macrophages après lyse de la bactérie.

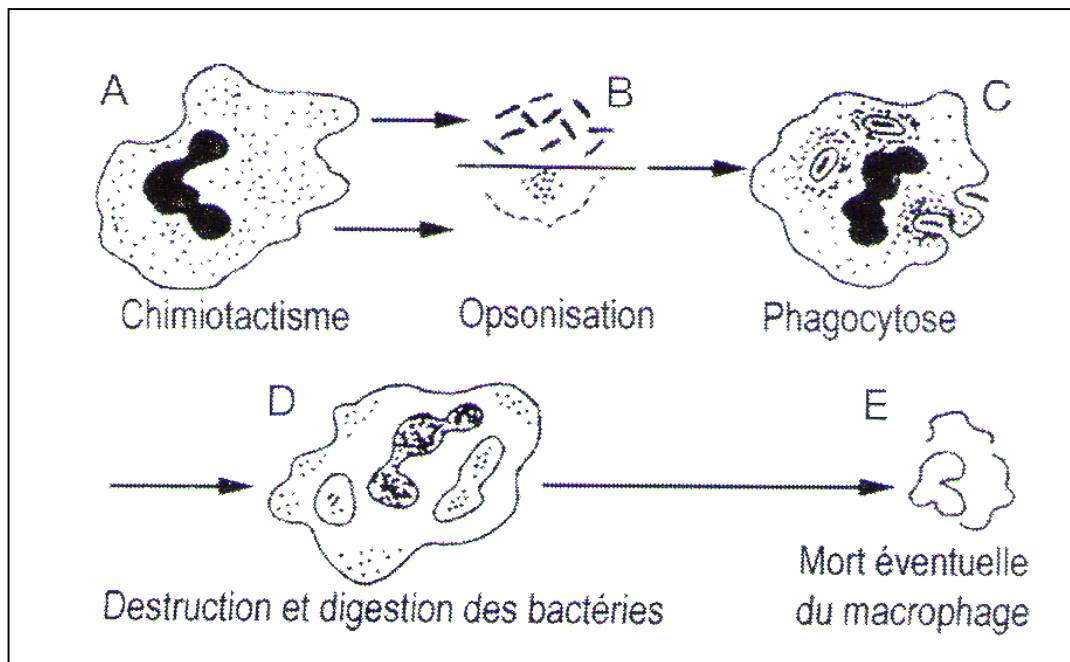


Figure 10. Phagocytose d'une bactérie par un macrophage ou un polynucléaire neutrophile

3.1. Notion d'exocytose : c'est le processus inverse de l'endocytose. Au cours de l'exocytose, la cellule excrète ses produits. Les membranes des **vésicules de sécrétion** fusionnent avec la MP et libèrent leur contenu dans le milieu extracellulaire.

Il faut signaler l'existence d'une exocytose dite « exocytose par bourgeonnement » ou **apocrinie**, relativement rare : les produits excrétés sont entourés par une partie de la MP. C'est le cas de la sécrétion lactée par les glandes mammaires et pour certains virus qui sortent de la cellule par un grain de sécrétion.

Les produits excrétés sont transportés dans des vésicules. Toutes les cellules eucaryotes, à l'exception des hématies, contiennent des vésicules renfermant des produits élaborés par le réticulum endoplasmique. Des vésicules de transport les conduisent à l'appareil de Golgi où ils subissent des modifications structurales. Des vésicules formées par vésiculation des citernes

trans, transportent ces molécules modifiées depuis l'appareil de Golgi jusqu'à la MP. L'exocytose compense quantitativement l'endocytose.

Les molécules de la membrane des vésicules d'exocytose s'intègrent à la MP tandis que le contenu vésiculaire est excrété :

- Dans le sang : sécrétion endocrine d'hormones, de nutriments,
- Dans le liquide interstitiel qui baigne ces cellules excrétrices : sécrétion endocrine de nutriments pour d'autres cellules
- Dans les cavités de l'organisme : sécrétion exocrine des cellules sécrétrices des glandes salivaires.

L'exocytose revêt 2 formes (Figure 11) :

- ❖ L'exocytose continue constitutive
- ❖ L'exocytose discontinue contrôlée

3.1.1. Exocytose continue constitutive : c'est l'étape terminale du flux vectoriel membranaire et permanent, qui achemine des constituants destinés à la MP, comme les glycoprotéines extrinsèques de la face externe de la MP ou des substances solubles pour la matrice extracellulaire.

3.1.2. Exocytose contrôlée discontinue : elle n'intéresse que les produits de sécrétion. Cette excrétion est contrôlée par un signal qui peut provenir de la cellule elle-même : une baisse du potentiel d'action dans les cellules nerveuses induit la libération d'un neurotransmetteur à l'extrémité synaptique, par exemple l'acétylcholine.

Il peut aussi avoir une origine extracellulaire, lorsque la concentration sanguine du glucose augmente, des ligands spécifiques se fixent sur les sites récepteurs membranaires des cellules β de Langherans, qui libèrent alors l'insuline, une hormone hypoglycémisante. L'exocytose se déroule uniquement dans la région de la MP qui contient des sites récepteurs stimulés par les ligands. La migration des vésicules d'exocytose dépend de la concentration en ions Ca^{++} . Ces ions, contenus soit dans le réticulum endoplasmique lisse (REL), soit dans le milieu extracellulaire, pénètrent dans le cytoplasme par des canaux ioniques voltage-dépendants.

L'augmentation de la concentration en calcium joue un rôle essentiel dans la migration des vésicules en direction de la MP et provoque la fusion de la membrane vésiculaire avec la MP ; De nombreuses cellules à sécrétion excrètent leur produit dans de telles conditions (glandes salivaires, acini pancréatiques, médullo-surrénales, etc.).

Les produits transportés sont soit des grains de sécrétion, soit des produits exogènes. Parmi les produits endogènes (grains de sécrétion), on peut citer le mucigène (précurseur du mucus), des enzymes, des hormones,... Les produits exogènes ont été capturés par endocytose et sont rejetés après avoir traversé la cellule, en ayant subi ou non une lyse enzymatique (voir cours « système endomembranaire »).

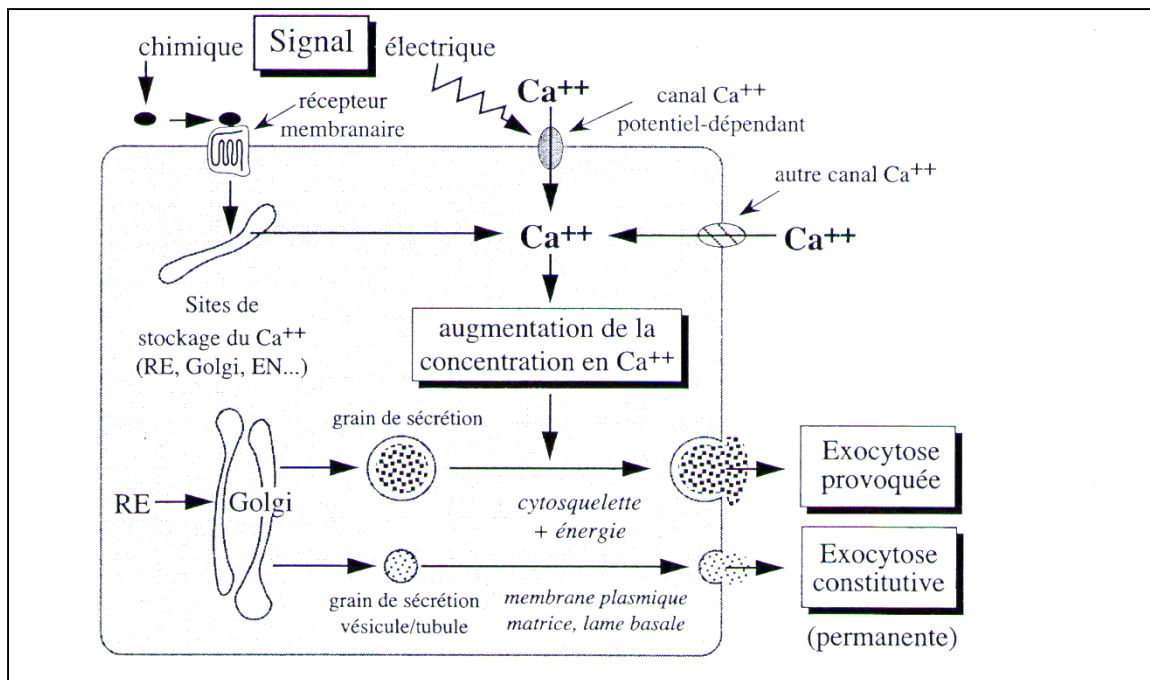


Figure 11. Les deux types d'exocytose constitutive et contrôlée

4. La MP et le transfert de l'information : il existe, chez les animaux supérieurs, 2 mécanismes fondamentaux de transmission de l'information : la transmission nerveuse et la transmission hormonale (ou humorale) ; dans les 2 cas, la MP joue un rôle fondamental.

4.1. La transmission hormonale : Certaines protéines transmembranaires sont des récepteurs spécifiques d'hormones ou de facteurs de croissance. Ce sont généralement des glycoprotéines et leur partie glycosylée est située à la surface externe de la MP (Figure 12).

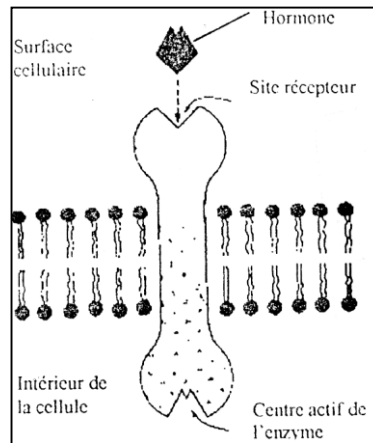


Figure 12. Protéine transmembranaire portant un site spécifique d'une hormone du côté extracellulaire et un site enzymatique du côté interne de la MP.

❖ **Les divers types de signaux hormonaux**(Figure 13).

a. **Le signal endocrine** : la cellule « émettrice » de l'information, distante de la cellule « réceptrice », émet un signal dont la transmission se fait par l'intermédiaire d'une hormone acheminée par le sang

b. **Le signal paracrine** : la cellule réceptrice, voisine de la cellule émettrice, reçoit le signal émis par cette dernière ; les informations se transmettent alors :

- Par voie nerveuse (neurale), entre 2 cellules nerveuses ou entre une cellule nerveuse et une cellule glandulaire
- Par voie de jonctions communicantes unissant 2 cellules nerveuses

c. **Le signal autocrine** : pendant le développement embryonnaire, chaque cellule en cours de différenciation envoie des signaux capables de renforcer cette différenciation en se fixant sur ses propres récepteurs. Cette transmission autocrine existe aussi chez l'adulte. Ces signaux sont des médiateurs chimiques locaux qui comprennent l'histamine, la sérotonine sécrétée par les mastocytes, des facteurs de croissance et les eicosanoïdes (prostaglandines, prostacyclines).

d. **Transmission contact - dépendante** : une cellule possède un ligand qui se fixe directement sur le site récepteur d'une autre cellule.

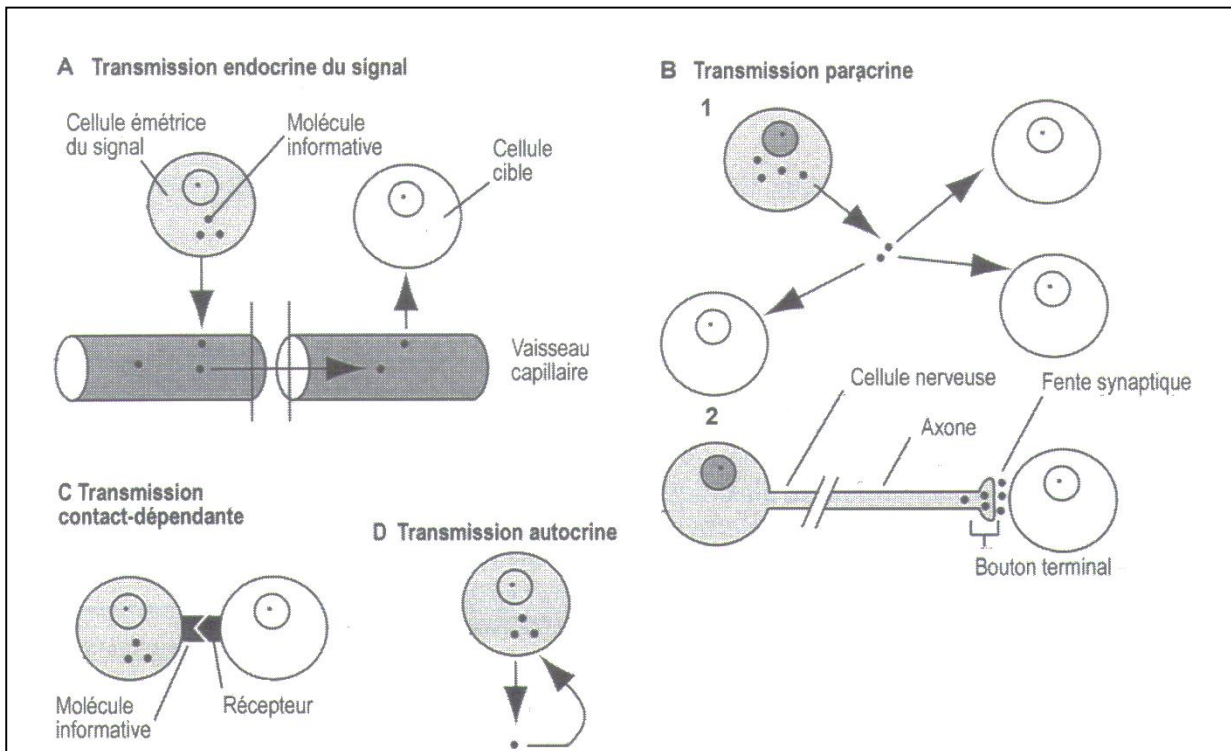


Figure 13. Les divers modes de communications intercellulaires

4.2. La transmission nerveuse : elle est assurée par le système nerveux, dont l'unité fonctionnelle est le neurone ou cellule nerveuse (Figure 14).

Les informations sont transmises dans le système nerveux sous forme de signaux électriques ou potentiels d'action qui résultent uniquement du comportement caractéristique de la MP du neurone. En effet, la membrane de l'axone est polarisée : au repos, elle est plus perméable aux ions K^+ qu'aux ions Na^+ , et son potentiel transmembranaire est de $-70mV$, l'intérieur étant négatif par rapport à l'extérieur. Sous l'effet d'un stimulus, la perméabilité au Na^+ s'élève et la portion activée de l'axone se trouve chargée positivement. Ces différences de potentiel entre zones déjà activées et zones au repos sont à l'origine des courants locaux qui dépolarisent la membrane en aval de la zone déjà excitée.

La transmission des informations entre 2 cellules s'effectue au niveau de zones de contact fonctionnelles appelées « synapses ».

Remarque : Il est à noter que la transmission nerveuse se fait dans un seul sens.

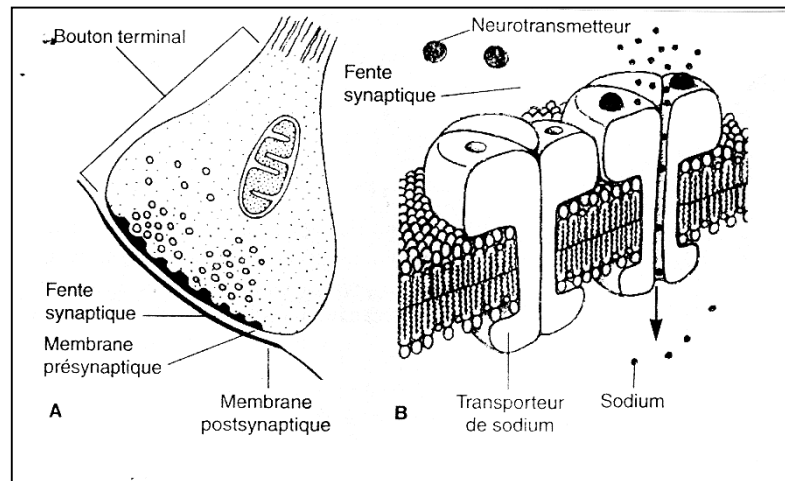


Figure 14. Transmission de l'information entre 2 cellules nerveuses

A : bouton terminal B : récepteur du neurotransmetteur (acétylcholine).

Dr ABDESSEMED.S