

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

I- Introduction

En biologie cellulaire, la membrane désigne un assemblage de molécules en un double feuillet séparant la cellule de son environnement et délimitant les organelles à l'intérieur de celle-ci. La membrane est un ensemble complexe de lipides, de protéines et de sucres régulant les échanges de matière entre l'intérieur et l'extérieur de la cellule ou entre deux compartiments cellulaires par des transporteurs, bourgeonnement de vésicules, phagocytose, *etc.* Les composants-clé de la membrane biologique sont les phospholipides. Ils ont la capacité de s'auto organiser en un double feuillet, leurs têtes hydrophiles pointant vers l'extérieur et leurs chaînes hydrophobes pointant vers l'intérieur.

II- Ultrastructure:

Deux techniques sont principalement utilisées en microscopie électronique :

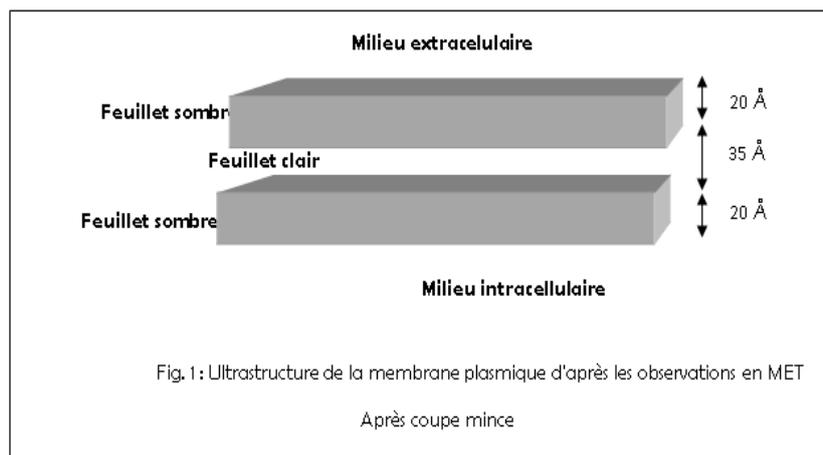
- La technique des coupes minces.
- La technique des répliques.

1-Observation des coupes minces

Après fixation au tétra oxyde d'osmium et contraste, l'observation des coupes minces au MET (microscopie électronique à transmission) montre que :

La membrane plasmique est tri stratifiée (sous forme de 3 strates parallèles) c'est-à-dire deux feuillets sombres de 20 à 25 Å d'épaisseur séparée par un feuillet clair de 35 à 40 Å .

Ainsi l'épaisseur moyenne de la membrane plasmique est de 75 Å soit (7,5nm), mais elle varie entre 70 et 100 Å selon les types cellulaires (Fig.1) . Cette structure est identique chez toutes les cellules animales et végétales



2-Observation des répliques :

La technique de réplique après cryofracture (Cryo décapage) montre la présence de particules globulaires (inter membranaires) enchâssées dans les feuillets. (fig.2)

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

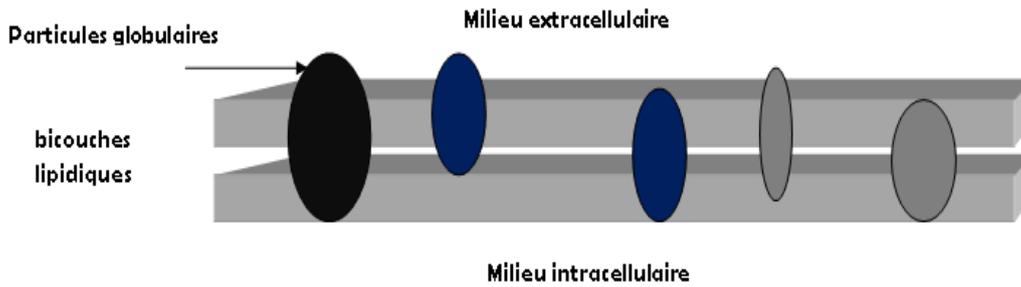


Figure 2 : observation des répliques de membrane plasmique après cryodécopage

III- Analyse chimique : La membrane plasmique est composée de :

1- Lipides (52 %)

2- Protéines (40%)

3- Glucides. (8%)

Cette composition chimique varie d'un type cellulaire à un autre.

III1- Les lipides :

Une membrane est composée d'une bicouche de lipides ils représentent environ la moitié de la masse membranaire (des phospholipides dans la plupart des cas)

Chaque lipide ayant sa tête hydrophile (phosphates chargés négativement) orientée vers l'extérieur de la membrane (qui aime l'eau) et sa queue hydrophobe (chaîne grasse) orientée vers l'intérieur (qui repousse l'eau) (fig. 3 4).

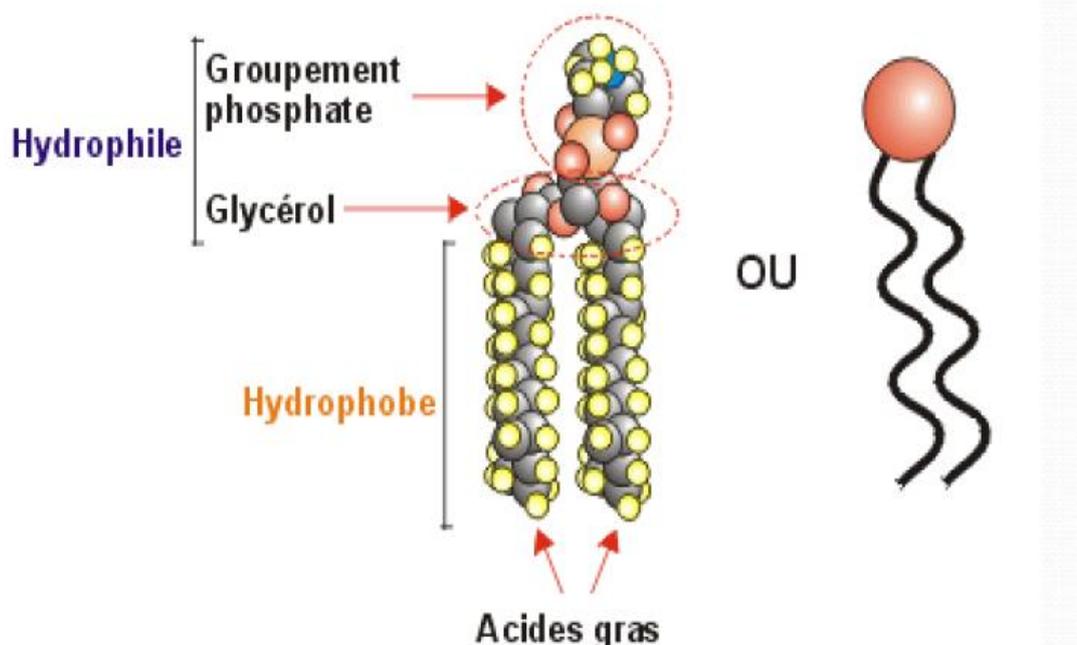


Figure 3 : Schéma montre la structure d'un phospholipide (tête hydrophile et queue hydrophobe)

Les principaux lipides membranaires comprennent :

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

1-1 les phospholipides :

- Ils constituent 55% des lipides membranaires;
- Ils sont disposés en bicouche;
- Leur répartition est asymétrique (fig. 5) dans la membrane (le phosphatidyl-choline, sphingomyéline sont du côté exo plasmique; le phosphatidyléthanol-amine et le phosphatidyl-sérine sont du côté protoplasmique).

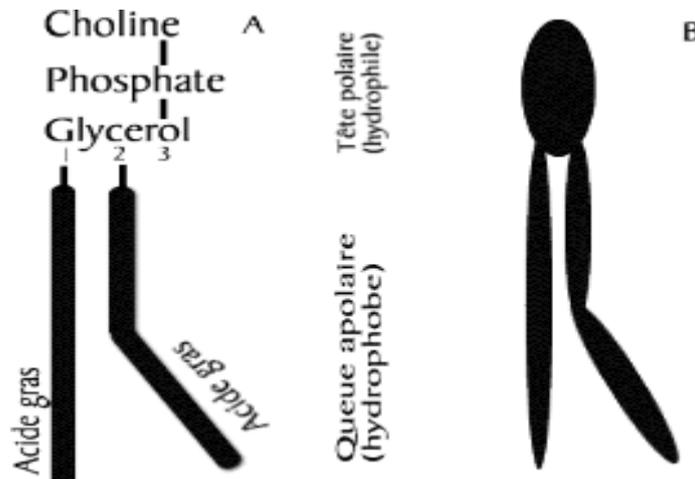


Figure 4 : Représentation schématique (à gauche) et le modèle compact (à droite) des différentes parties de la molécule phospholipide.

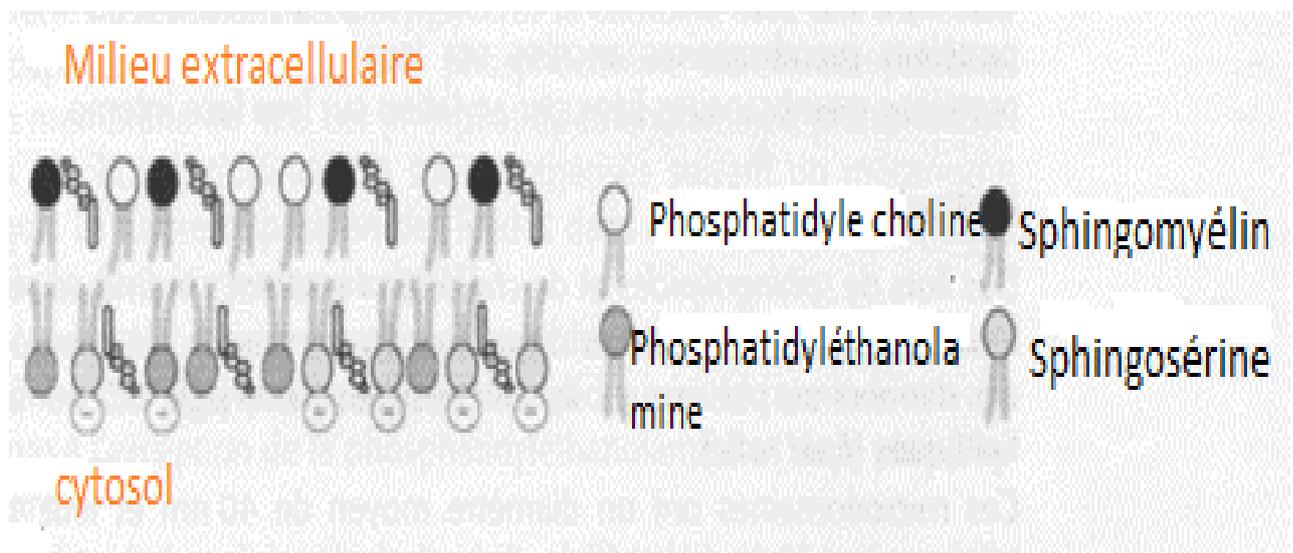


Figure 5: Repartition asymétrique des lipdes dans la membrane plasmique
 Les phosphatidyle cholines et les sphingomyéline sont disposés dans le feuillet externe,
 Les phosphatidyl éthanolamines et les sphingo sérines dans le Feuillet interne;

1-2- Cholestérol :

- Ils constituent 25% des lipides membranaires;

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

- Il est présent dans les deux feuillets membranaires et peut basculer entre eux; c'est un lipide complexe formé d'un (groupement hydroxyle polaire, de noyaux stéroïdes, et d'une chaîne carbonée).
- Il maintient la stabilité mécanique de la membrane, diminue sa fluidité (plus rigide) et sa perméabilité aux petites molécules. (*Fig. 6*)

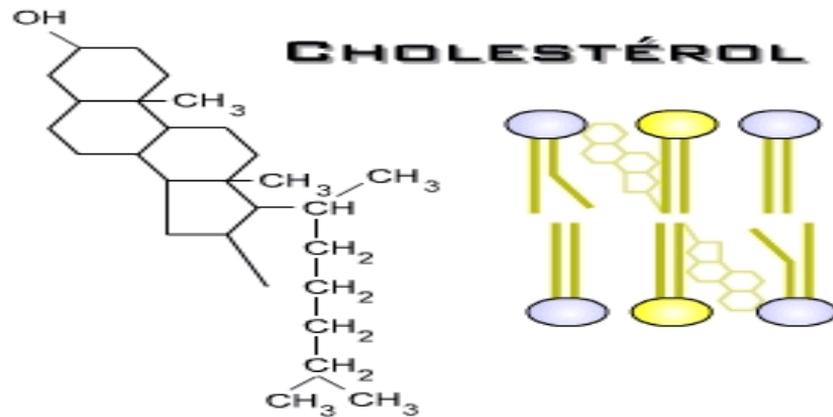


Figure6 : La structure chimique de cholestérol (A) et leur disposition dans les bicouches lipidiques (B).

1-3 - Les glycolipides

- Ils constituent 18% des lipides membranaires, cependant leur quantité varie d'une espèce à une autre mais aussi d'un tissu à un autre dans une même espèce;
- Ils sont exclusivement présents du côté exo plasmique de la bicouche lipidique c'est (l'asymétrie structurale);
- Ils sont formés de chaînes d'acides gras auxquelles se fixent des glycosylées.

III.2) Les protéines

- Elles représentent le premier constituant sur le plan quantitatif (environ 50% du poids sec de membrane plasmiques) et fonctionnel;
- Elles possèdent une **extrémité aminoterminal** (-NH₂) extracellulaires, une Extrémité carboxyle (-COOH) intracellulaires (hyaloplasmique) ;
- Selon leur disposition dans la membrane, elles sont réparties en deux classes :
 - ❑ **les protéines extrinsèques (périphériques).**
 - ❑ **les protéines intrinsèques**
- *Les protéines extrinsèques (périphériques)* : sont des protéines possèdent deux pôles hydrophiles et sont situées du côté extracellulaires que du côté hyaloplasmique. La fibronectine et la laminine sont externes alors que la spectrine et l'ankyrine sont internes.
- *Les protéines intrinsèques* : elles peuvent subdiviser en deux catégories :
 - ❖ *transmembranaires.*
 - ❖ *intégrées.*

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

• Molécules présentent un pôle hydrophile et un pôle hydrophobe, elles traversent la bicouche lipidique. Ex : **la glycophorine** du globule rouge. Peuvent subdiviser en deux catégories : (fig.7)

- protéine membranaire traversée unique.
- protéine membranaire traversée multiple.

•Hydrophobe et traversent l'une ou l'autre des monocouches lipidique EX: *l'adenyle cyclase, les protéines kinases, la protéine G.*

Peuvent se subdiviser en deux catégories

1-Protéines liées par un **acide gras** au feuillet **interne**.

2-Protéines liées par un **glucide (oligosaccharide)** au feuillet **externe** (glycoprotéines).

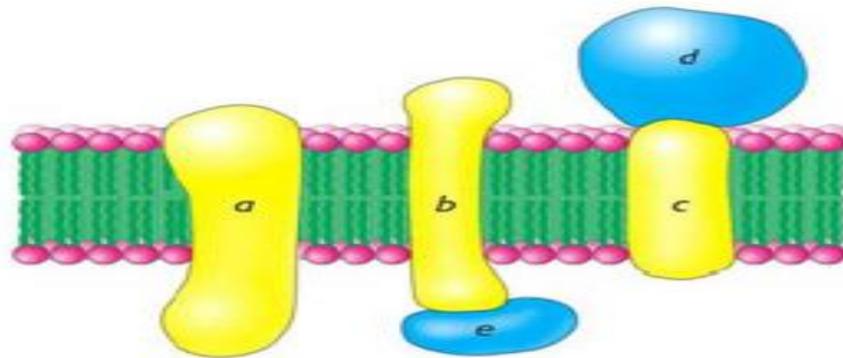
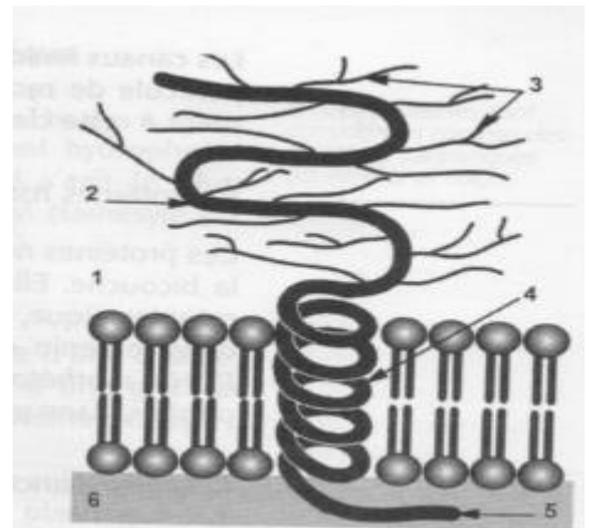


Figure 7: les types des protéines membranaires: Périphérique ou extrinsèque (**d, e**) -Intégrales ou intrinsèques (**a, b et c**) Dont certaines sont transmembranaires et en interaction avec des protéines de cytosol (**b**)

Figure 8 : La glycophorine une protéine bi topique :

- 1 milieu extracellulaire
- 2 domaines extracellulaires
- 3 chaînes oligosaccharidiques
- 4 hélice α transmembranaire
- 5 domaines intracellulaires
- 6 cytosol



CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

Figure 9 : protéine polytopique ex protéine bande 3

Redessiner d'après cooper

- 1 milieu extracellulaire
- 2 Chaîne polysaccharidique
- 3 domaines extracellulaires
- 4 hélices alpha transmembranaire
- 5 domaines intracellulaires
- 6 ankyrine
- 7 spectrine
- 8 cytoplasme

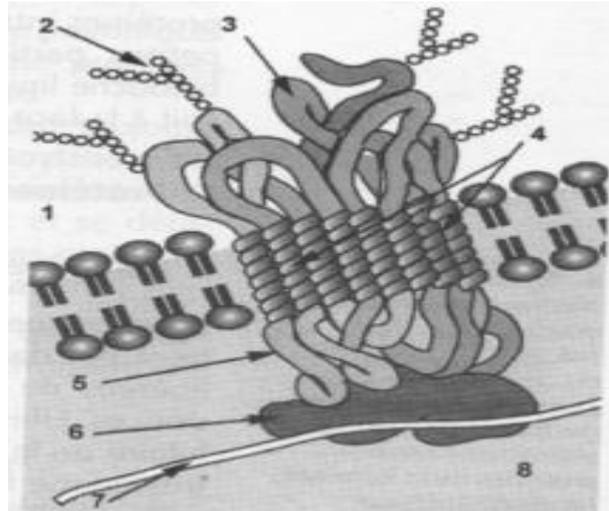
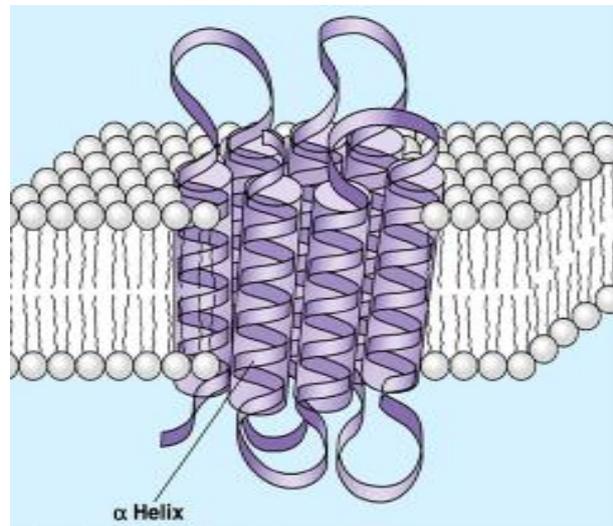


Figure 10 : protéine membranaires intrinsèque :

structure en hélice alpha (Une protéine transmembranaire peut traverser la membrane une ou plusieurs fois)



III-3) Les glucides :

- Ils sont présents en faible quantité (5 à 10% du poids sec des membranes plasmiques).
- Ils sont représentés par des chaînes glucidiques linéaires ou ramifiées
- Ils sont portés sur la face extérieure de la membrane (coté extracellulaire).
- certains glucides membranaires s'unissent aux lipides (glycolipides) par des liaisons covalentes, la plupart se lient à des protéines (glycoprotéines)
- Ils forment le revêtement fibreux d'épaisseur variable (le glycocalyx ou le cell-coat) (Fig.10)
- faible dans le globule rouge et pouvant atteindre 200nm dans les cellules absorbantes (entérocytes fig.11).
- Ils retrouvent au niveau des autres membranes cellulaires (Réticulum endoplasmique, Appareil de Golgi, Lysosomes ...).

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

Figure 10 : Organisation de cell coat

1. Glycolipide -
2. Protéoglycane transmembranaire
3. Glycoprotéine absorbée
4. Glycoprotéine transmembranaire
5. cellcoat
6. Cytoplasme

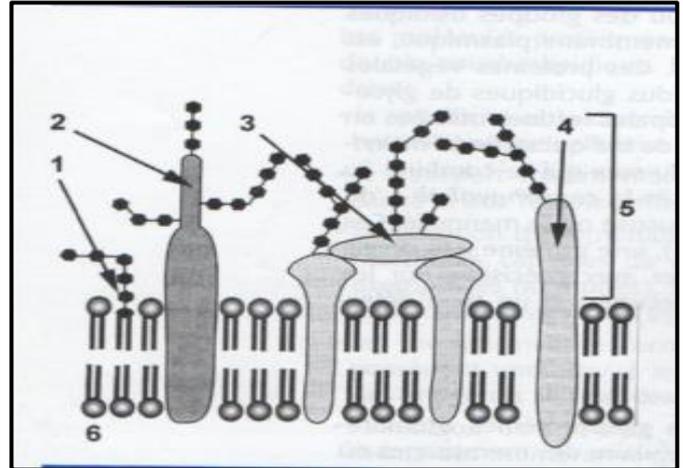
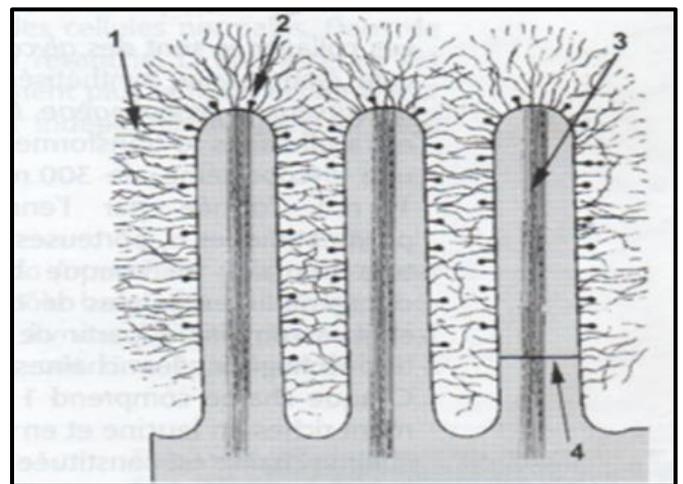


Figure 11 : exemple d'un cellcoat d'une cellule intestinale

- 1 ; Cellcoat
- 2 ; Maltase
- 3 ; Fuseau d'actine
- 4 ; Microvillosité



III.3.1.Fonctions du cell coat (glycocalyx):

- *Protection de la membrane plasmique (résistants aux enzymes mucolytiques ou protéolytiques tel que: hyaluronidase, neuraminidase)
- *Participe à la charge cellulaire sur la surface (les glucides donnent aux cellules une enveloppe anionique fortement polarisée (une couche de charge négative)
EX: Le cell Coat des myocytes cardiaques, en piégeant une grande quantité des Ca⁺⁺ (la charge négative facilite la pénétration de ces ions)
- * Phénomène de reconnaissance (propriétés antigénique, elles permettent à l'organisme de reconnaître ses propre cellule et distinguer les cellules étrangères)
- * Activités enzymatique (maltose, peptidase)
- * Adhésivité (adhésion des cellules entre elles, et avec la matrice extracellulaire)

IV - Propriétés physico-chimiques

IV 1 - propriétés des lipides

A Propriétés d'auto-organisation

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

A1-Propriétés d'auto- assemblage: à cause de leur caractère amphiphile, les phospholipides tendent à former spontanément des doubles couches en milieu aqueux.

A2-Propriétés d'auto -fermeture : Les doubles couches ont tendance à se refermer sur elles-mêmes pour former des micelles (Sphère limitée par une couche de lipide (tête reste en contact avec l'eau, queue se dirige vers le centre) ou des liposomes (Sphère limitées par une double couche lipidique Les groupement polaire (têtes) sont tournés vers L'extérieur et l'intérieur de la sphère et les queues occupent la partie centrale). (Fig. 11)

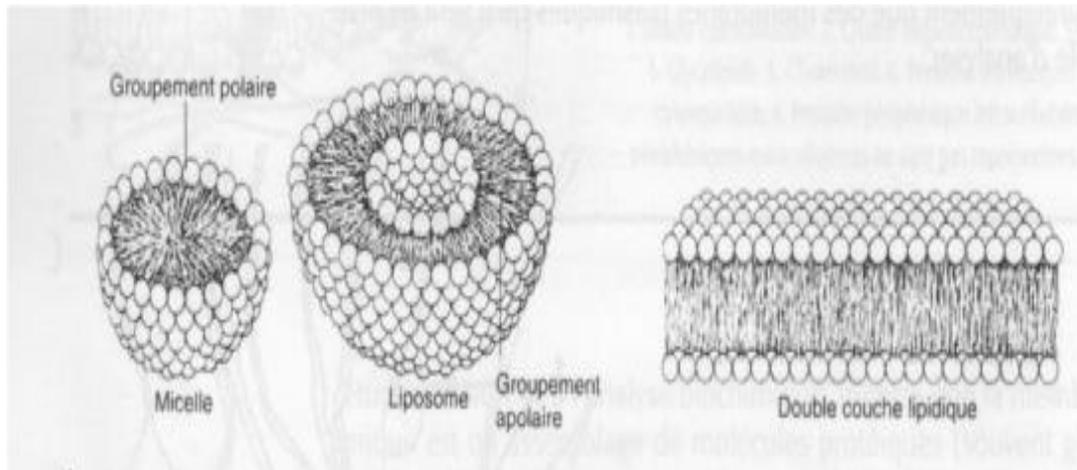


Figure 11 : Schéma représentant comment les molécules de phospholipides forment spontanément une micelle et liposome ou une double couche de phospholipides lorsqu'elles sont mises dans l'eau

B-Propriétés de fluidité

Dans la membrane plasmique, les phospholipides présentent quatre types de mouvements (fig.12):

***Déplacements latéraux :** les molécules de phospholipides change facilement de place avec leurs voisins à l'intérieur d'une monocouche. Ce mouvement est très rapide (1 μ m/s).

***Rotation sur place :** les phospholipides tourne autour de son axe.

***Mouvement de bascule (flip-flop) :** il permet au phospholipide de passer d'une monocouche à une l'autre.

***Flexion :** les chaînes hydrocarbonées sont flexibles en raison des doubles liaisons

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

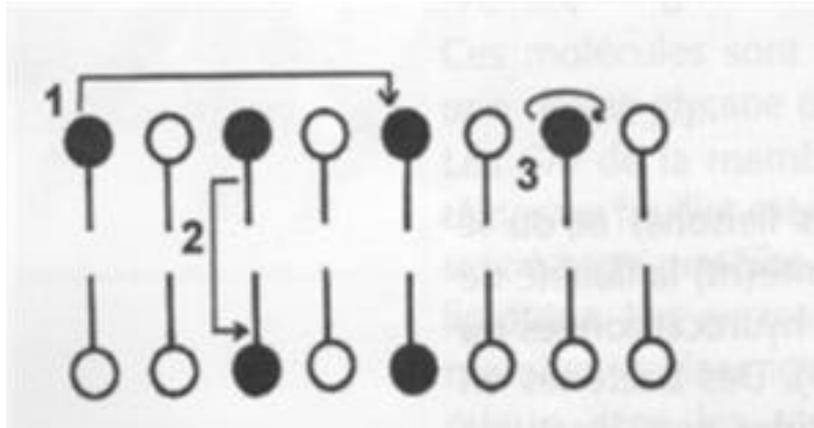


Figure 12 : mouvement des molécules lipidique dans la membrane plasmique

(1-movement de diffusion latérale ; 2-movement de flip- flop ; 3-mouvement de rotation)

2 - Propriétés des protéines

Les protéines présentent 2 types de mouvements :

- **Rotation sur place**, comparable à celle des lipides.
- **Diffusion latérale** de certaines protéines.

Cette fluidité a été mise évidence par plusieurs techniques dont l'expérience de Ferry – Edidien en 1970.

3 - propriétés des glucides

Les chaînes glucidiques attachées aux protéines et aux lipides participent à la *charge négative* de la membrane grâce à l'acide sialique,

V- ARCHITECTEUR DES MEMEBRANES

1- Le modèle de la mosaïque fluide (schéma 13)

Le terme de mosaïque fluide, dû à Singer et Nicholson(1971) est souvent employé pour décrire à la fois la composition et le comportement dynamique des membranes biologiques :

- **Mosaïque** : car la composition de la membrane est très hétérogène à la fois dans l'espace et le temps. Ainsi, l'existence de protéines intégrales (membranaires), de lipides différents (une différence de composition entre le feuillet interne et externe est aussi observée), de sucres complexes, existant 'presque' indépendamment les uns des autres, explique la dénomination de mosaïque.
- **Fluide** : car les phospholipides et les protéines membranaires peuvent se mouvoir dans le plan de la membrane. De plus, la membrane est un corps parfaitement déformable dans les 3 directions de l'espace. Par exemple, la membrane peut onduler.

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

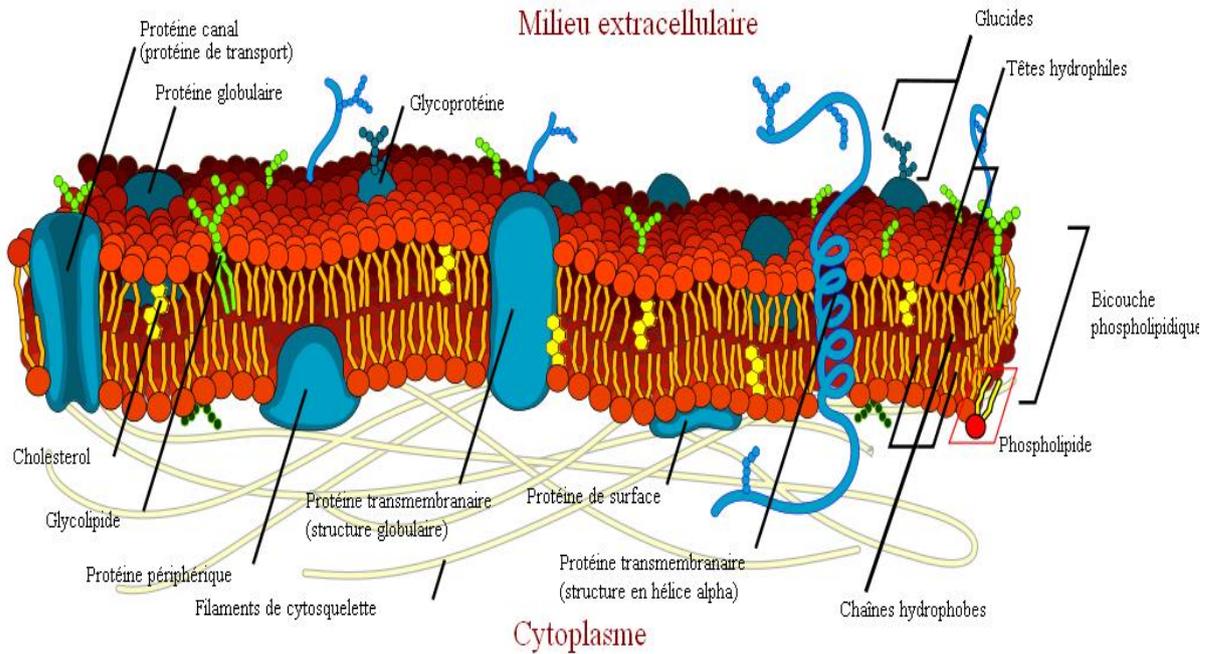


Figure13 : Ultrastructure de la membrane plasmique

2-LA PERMEABILITE MEMBRANAIRE

- La membrane plasmique est une frontière physique qui sépare le milieu intracellulaire de l'environnement externe. Elle joue un rôle dans la pénétration de substance et le rejet de déchets.
 - Elle assure une perméabilité sélective pour les petites molécules.
 - La pénétration de macromolécules est assurée par le transport cytotique (endocytose et exocytose).
- Elle joue un rôle essentiel dans la réception d'information d'origine extracellulaire et dans leurs transmissions au milieu intracellulaire (communication intracellulaire).

Perméabilité sélective (Figure 5)

En premier lieu, les membranes biologiques constituent une barrière sélective entre l'intérieur et l'extérieur d'une cellule ou d'un compartiment cellulaire (organite). Elles présentent donc la propriété de *** perméabilité sélective, qui permet de contrôler l'entrée et la sortie des différentes molécules et ions entre le milieu extérieur et celui intérieur.

- Les petites molécules non polaires, diffusent rapidement à Travers une bicouche lipidique et la vitesse de leur passage est proportionnelle à leur taille (O₂, N₂, Co₂). Ainsi les substances liposolubles (glycérol, éthanol, stéroïdes.(...

- Les petites molécules polaires non chargées, capables de traverser une bicouche lipidique (urée. Éthanol....)

-Les grandes molécules polaires non chargées sont incapables de traverser une bicouche lipidique (glucose)

- Les petites molécules chargées électriquement (ions ou électrolytes) sont incapables de traverser une bicouche lipidique quelle que soit leur taille (H⁺, Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Cl⁻..) ainsi les molécules polaire chargées (acides aminées, glucose 6-p, ATP...).

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

- Mais la membrane plasmique est perméable aux molécules chargées électriquement, et la vitesse de diffusion n'est plus proportionnelle à la taille de molécule (acides aminée, métabolites, des oses ...)
- Donc ce différences de perméabilité présentés par la membrane plasmique ne peuvent être expliqués qu'à la présence des support à de nombreuses protéines transmembranaires ayant pour rôle de réguler les échanges transmembranaires (ex: canaux ioniques pour les transferts d'ions, aquaporines pour le transfert d'eau par osmose, ...).

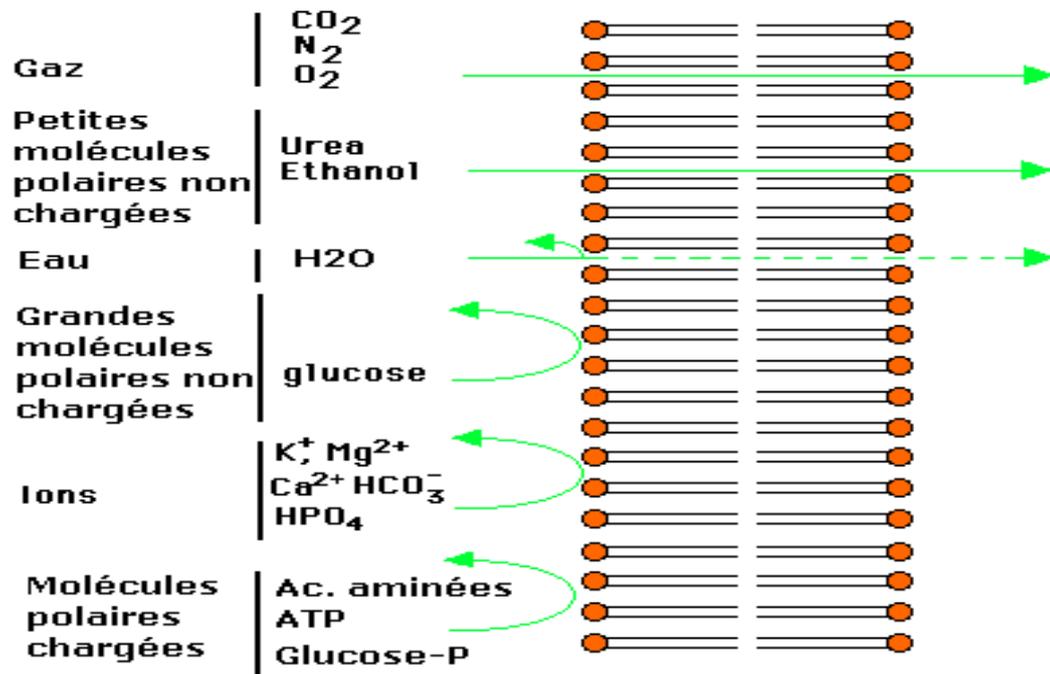


Figure 14 : Perméabilité d'une double couche lipidique

Généralement les transports à travers la membrane plasmique sont classés en 4 catégories :

- 1-Transports passifs.
- 2-Transports actifs.
- 3-Transport cytotique.
 - L'endocytose
 - L'exocytose
- 4-L'osmose.

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

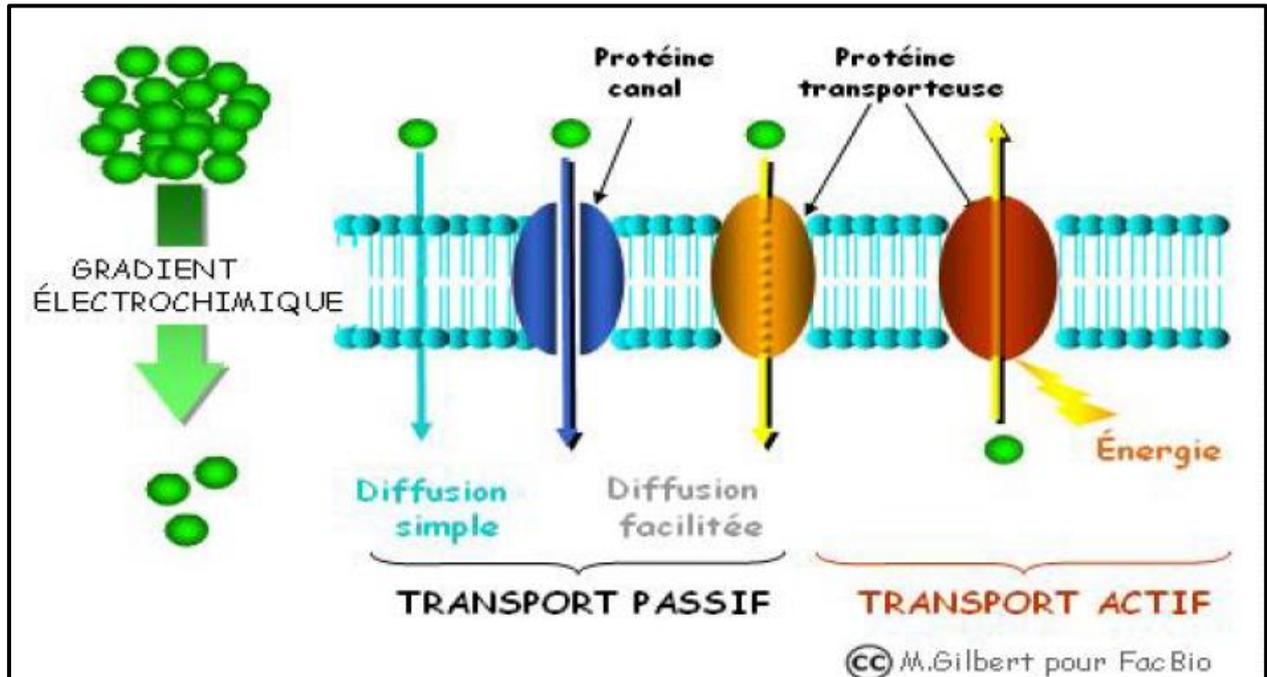


Figure 15: Les 4types de transports membranaire

1-Transport passif:

Les molécules peuvent traverser la double couche par un mouvement spontané vers l'équilibre sans apport d'énergie, dans le sens du gradient de concentration. Trois formes :

- Diffusion simple
- Diffusion facilité
- Osmose

2-Transport actif: exige de l'énergie et l'intervention de protéines.

3-Autres types d'échange

- L'endocytose
- L'exocytose

4-osmose : déplacement de l'eau de le + concentré vers – le concentré

1-*Transports passifs (diffusion)

Ils se déroulent sans dépense d'énergie conformément aux gradients de concentration c.à.d du milieu le plus concentré vers le milieu le moins concentré. Ces transports peuvent être divisés en deux catégories :

- A -Transport passif sans perméases (diffusion simple).
- B -Transport passif avec perméases (diffusion facilité).

A *Transport passif sans perméases (diffusion simple).

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

*Il intéresse les petites molécules non polaires (O_2 , N_2 , CO_2) ou polaires non chargées électriquement (urée, Éthanol...).

*Toutes ces molécules traversent librement la bicouche lipidique sans l'intervention d'une perméase (transporteur)

A-2 -Facteurs régulant la diffusion simple:

• La taille des molécules :

Les molécules dont la masse moléculaire est supérieure à 150 Da, ne peuvent traverser la bicouche lipidique. Cette règle, ne s'applique qu'aux molécules de petite dimension.

• L'absence de polarité : Une molécule polarisée ne traverse pas la membrane par diffusion simple.

• L'absence de charge : Une molécule chargée, même de très petite dimension, ne pénètre pas la bicouche lipidique ;

• Le coefficient de partition : C'est le rapport solubilité dans les lipides/solubilité dans l'eau ; plus ce rapport s'élève, plus la facilité de passage transmembranaire de la substance augmente, les molécules solubles dans les lipides (alcools, aldéhydes, cétones, glycérols...) traversent très rapidement la membrane plasmique

Le gradient de concentration :

Pour une molécule capable de se mouvoir librement à travers la membrane, la vitesse de progression repose sur sa différence de concentration de part et d'autre de la membrane ;

B*Transport passif avec perméases (Diffusion facilité)

- Il peut se faire grâce à une glycoprotéine transmembranaire (transporteur passif) ou d'un complexe macromoléculaire formé de plusieurs glycoprotéines intrinsèques (canal ionique) qui assurent la diffusion facilité.

***** Propriétés :**

- Les transporteurs sont spécifiques des molécules transportées
- Ils sont saturables,
- Ils fonctionnent sans dépense d'énergie fournie par la cellule
- Ils fonctionnent conformément au gradient de concentration

2-1- Transport actif primaire

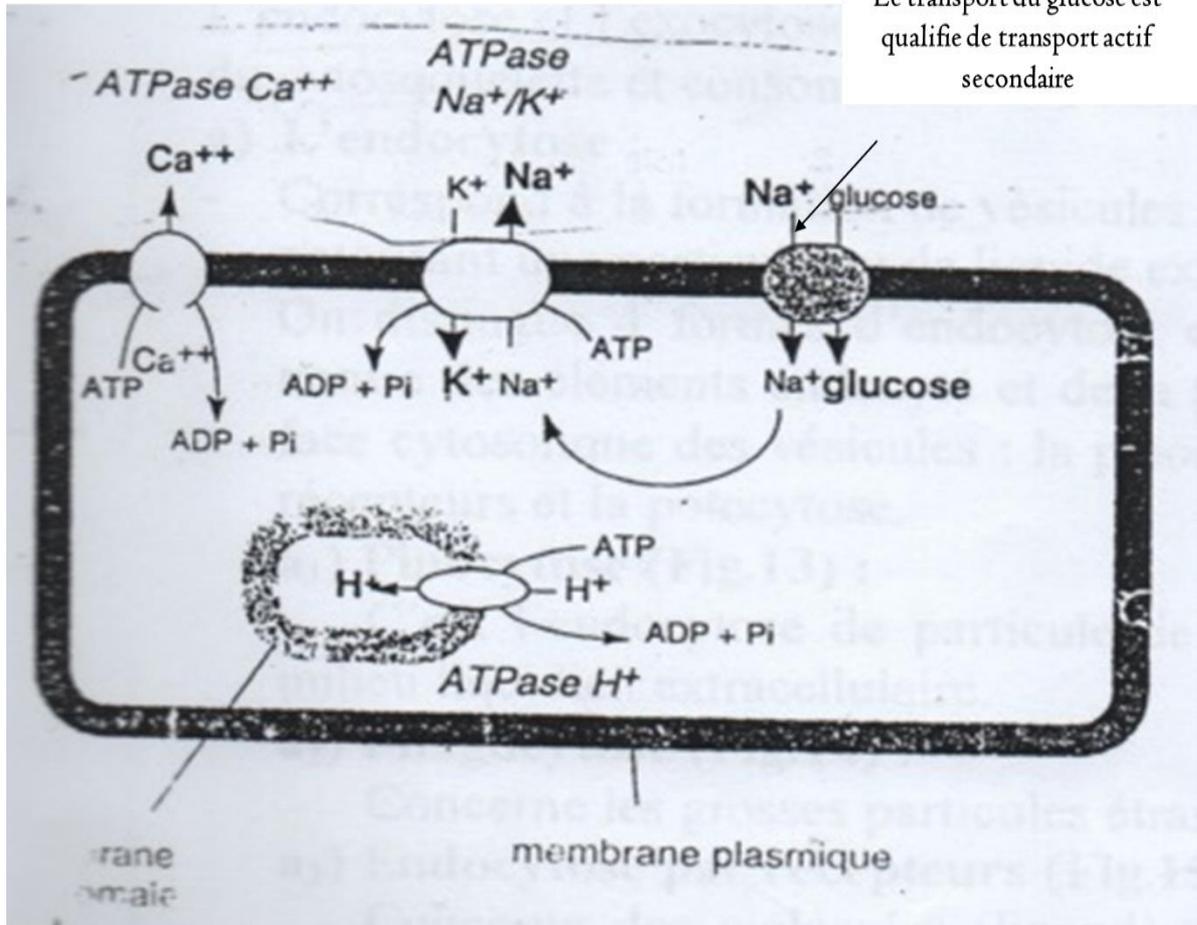
- Le transport du glucose est qualifié de transport actif secondaire
- Dans ce type de transport, le transporteur utilise directement l'énergie fournie par une réaction le plus souvent l'hydrolyse de l'ATP. C'est le cas par exemple de la pompe Na^+/K^+ ATPase, la pompe Ca^{++} , la pompe proton motrice H^+ .

2-2-Transport actif secondair

Dans ce type de transport, le déplacement contre le gradient de concentration de la molécule est réalisé par la dissipation d'un autre gradient, lui même construit par un transport actif primaire.

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

C'est le cas par exemple du transport du glucose (fig16.) dans certains types cellulaires (entérocytes) 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 .



LE TRANSPORT SECONDAIRE DE GLUCOSE FIGURE 16

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

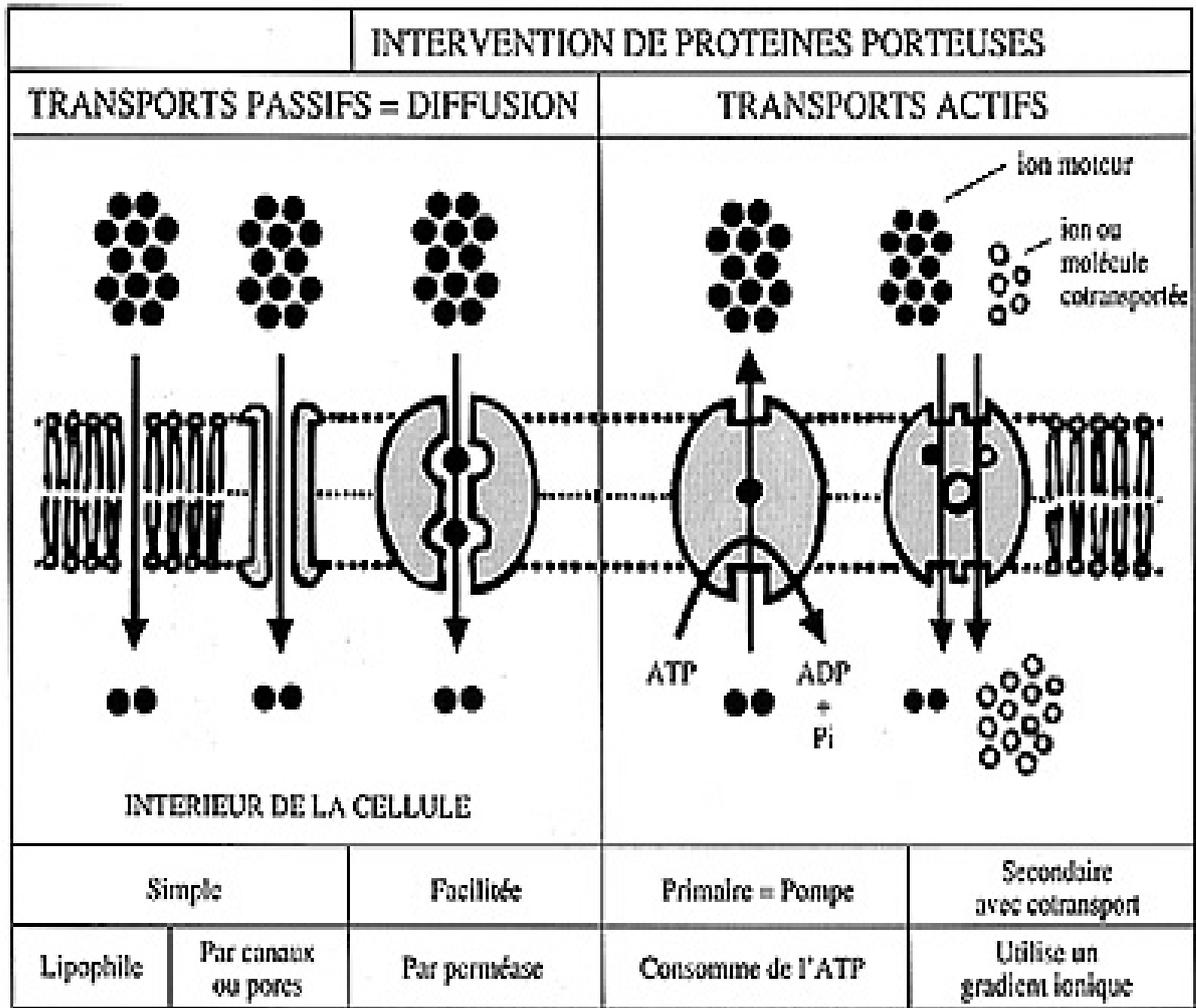


Figure 17 : Différents types de transports à travers la membrane plasmique

3 - Transport cytotique :

- Les macromolécules comme les protéines, les particules comme les bactéries ou les débris cellulaires ne peuvent pas traverser la membrane plasmique, mais elles sont emballées dans des vésicules.
- Le transport vers le cytoplasme de la cellule est appelé endocytose alors que le transport vers le milieu extracellulaire est appelé l'exocytose.
- L'endocytose et l'exocytose nécessitent l'intervention du système endomembranaire, du cytosquelette et consomment de l'énergie.

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

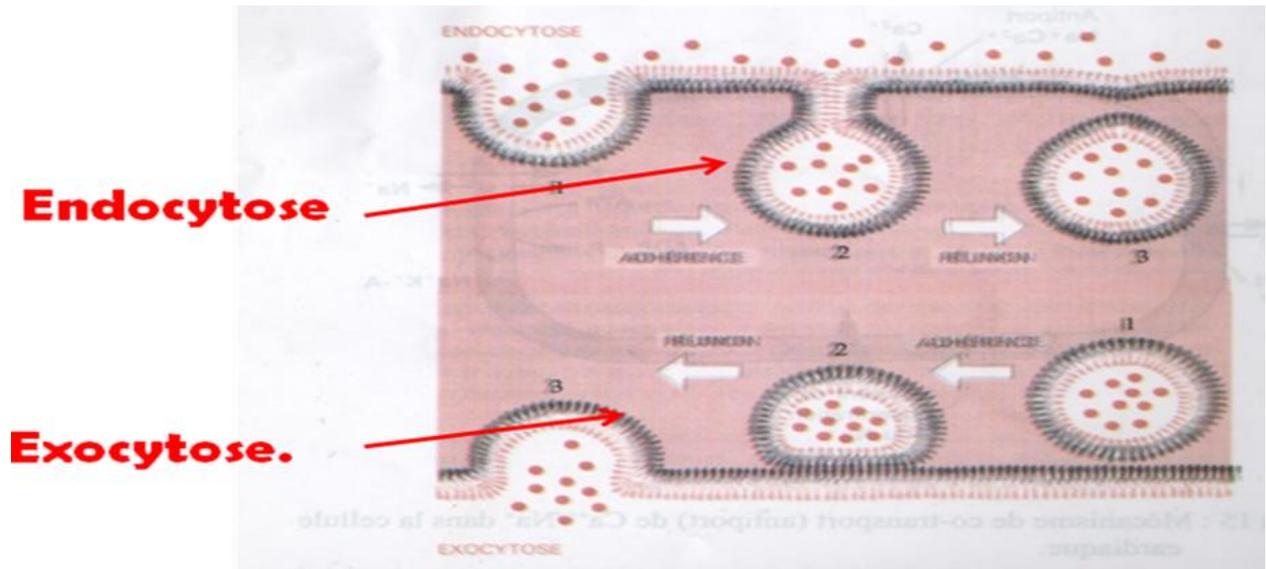


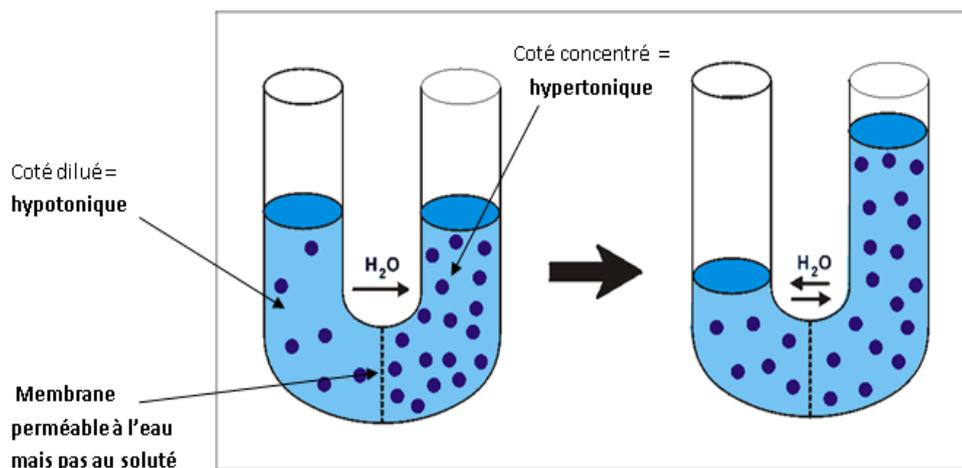
Figure 18 : Endocytose : mécanisme de l'adsorption du glucose (symport) par la cellule intestinale
 Exocytose : mécanisme de fusion membranaire

4 - L'osmose

La diffusion de l'eau à travers la membrane, il y a osmose si deux zones de concentration différentes sont séparées l'une de l'autre par une membrane perméable à l'eau (L'eau se déplace alors de la zone la moins concentrée en soluté à la zone la plus concentrée en soluté).

Lorsqu'on compare les concentrations de deux solutions :

- La solution la plus concentrée en soluté est dite hypertonique,
- La solution la moins concentrée en soluté est dite hypotonique,
- Si les deux solutions ont la même concentration, On les dit isotonique,



CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction**3- Différenciations (Spécialisations de la membrane plasmique :**

Les spécialisations de la membrane plasmique sont des différenciations de cette membrane et des cytoplasmes superficiels, qui permettent à la cellule d'assurer une ou plusieurs fonctions précises.

Ces différenciations comprennent :

- A – augmentation de la surface d'échange :

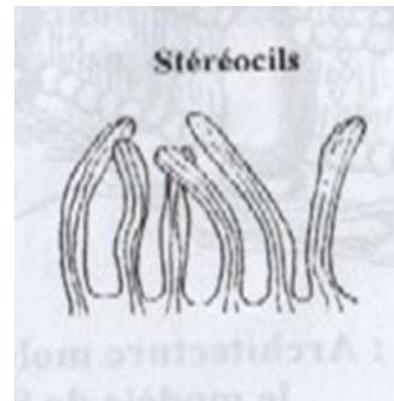
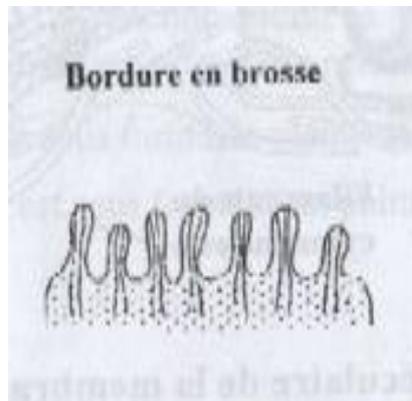
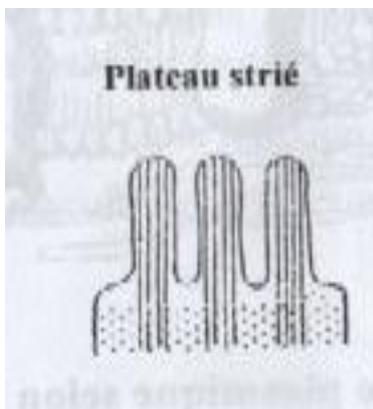
A1 : microvillosités (différenciations apicales) :

Ce sont des expansions cytoplasmiques cylindriques sous forme en doigts de gant (d'environ 1µm de longueur et de 1µm de diamètre), limitées par la membrane plasmique apicale, occupées en leur centre par un faisceau de microfilament (MF). Elles magnifient considérablement la surface de la membrane plasmique, selon l'identité de forme de longueur (la taille) on distingue :

a- Le plateau strié : ce type de microvillosités est de mêmes tailles, courtes et régulièrement espacées (cellules intestinales entérocytes)

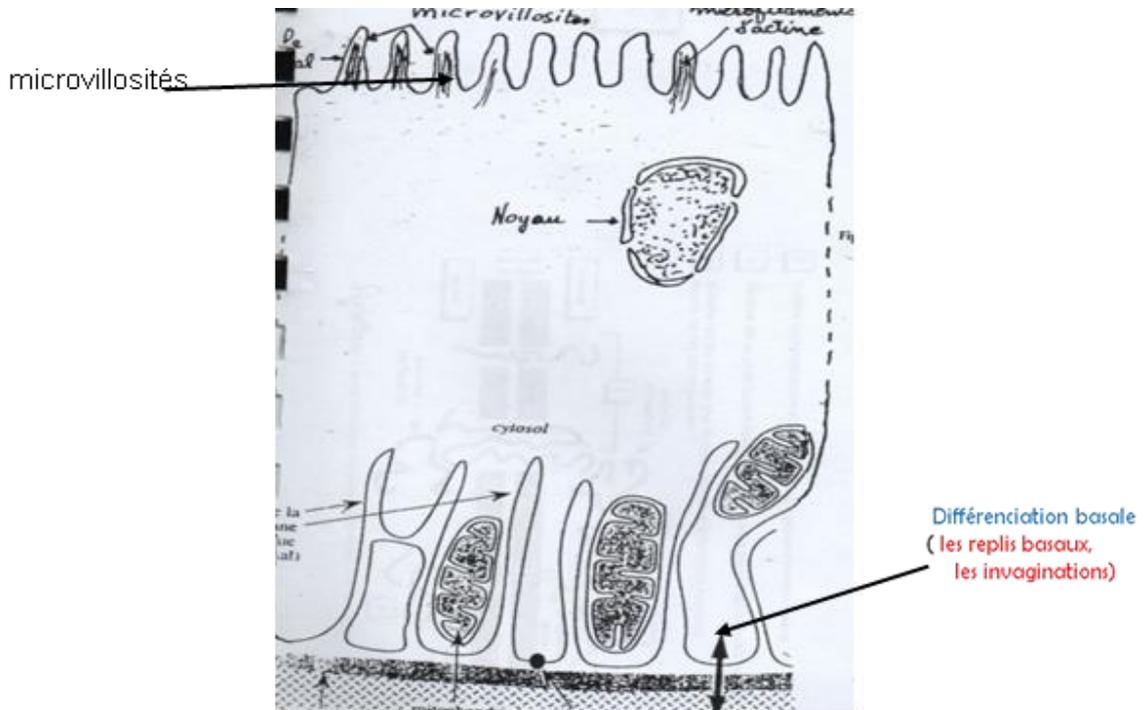
b-Bordure en brosse : les microvillosités sont de taille différente et irrégulièrement espacées (cellules rénales).

c- Les stéréocils : sont d'expansions cytoplasmiques immobiles dépourvues de microfilament d'actine, ils se rencontrent dans les voies génitales de l'homme (épididyme) et certains épithélium sensoriels

**A2 : Les replis basaux (différenciations basales)**

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction

Ils sont retrouvés dans les cellules qui interviennent dans les échanges hydrominéraux (tubule rénal, canal excréteur des glandes salivaires), entre les replis de la membrane sont logées des mitochondries allongées qui fournissent l'énergie nécessaire aux échanges.



• **B- La liaison des cellules entre elles**

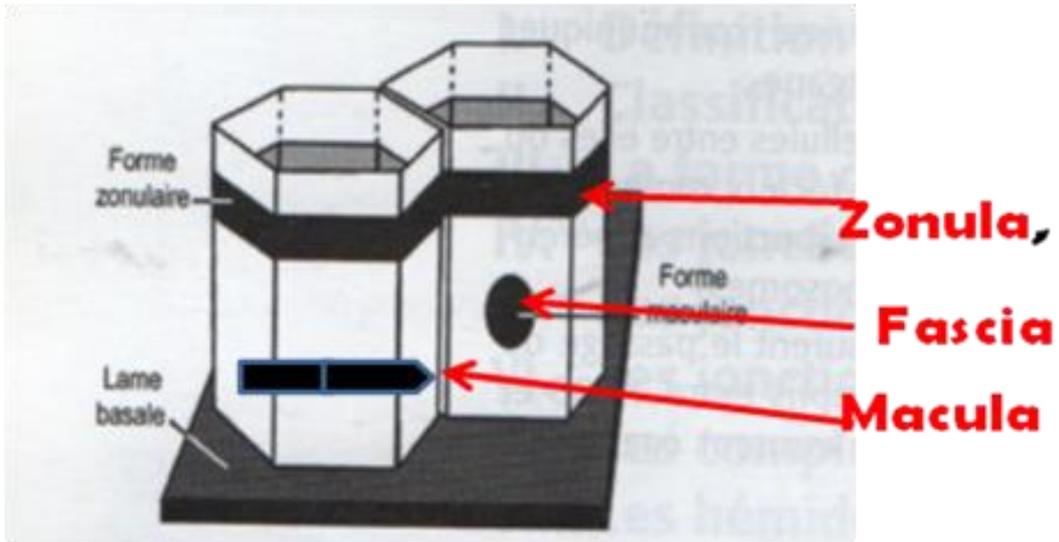
(JONCTION CELLULAIRE) (Différenciations baso latérales :

Ce sont des zones de différenciations de la membrane plasmique permettant l'adhésion des cellules entre elles, on distingue selon leur :

1 - Configuration (forme) :

- **Zonula** (En forme de bande continue autour des cellules)
- **Fascia** (En forme de tache grossièrement arrondi)
- **Macula** ((En forme de bande incomplète)

CHAPITRE III: La membrane plasmique et structure et fonction



2- L'espace intercellulaire :

- **Occludens** (l'espace est nul)
- **Adherens** (l'espace est large)
- **Gap** (l'espace est réduit)

