

UE6 - Structure et fonctions de la cellule eucaryote

Fiche de cours

La composition des membranes cellulaires (plasmique et endomembranes)



Notion tombée 1 fois au concours



Notion tombée 2 fois au concours



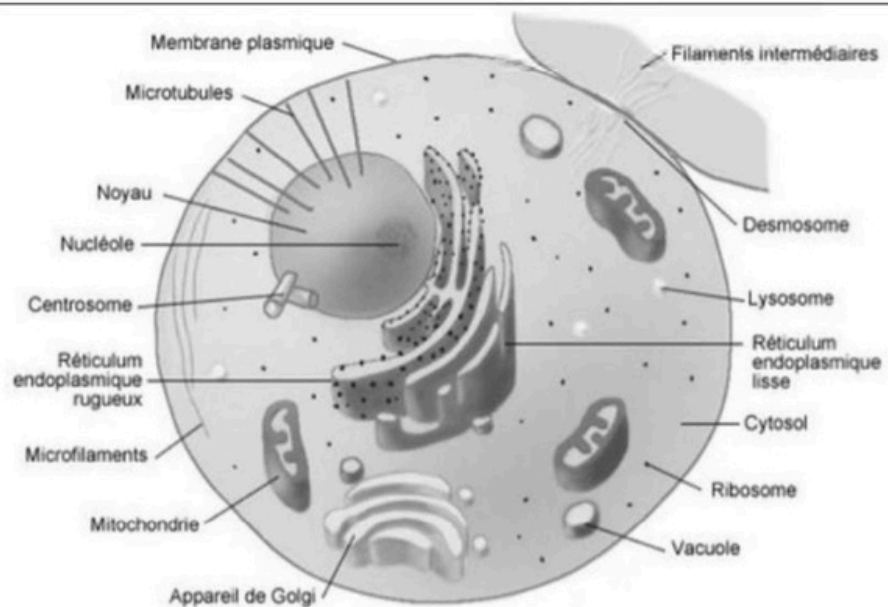
Notion tombée 3 fois ou plus au concours

PLACE DES MEMBRANES DANS LA CELLULE COMPARTIMENTATION CELLULAIRE

Séparés par des membranes

- Une cellule eucaryote est subdivisée en divers **compartiments fonctionnels**
- Les compartiments intra-cellulaires sont séparés du compartiment extra-cellulaire par la **membrane plasmique**
- L'intérieur de la cellule est composé :
 - du **cytoplasme**, composé du hyaloplasme (ou cytosol) et du cytosquelette
 - des **organites**, délimités par des **membranes**, dont certains par des **endomembranes**
 - **Réticulum Endoplasmique Granuleux**
 - **Appareil de Golgi**
 - **Endosomes**
 - **Lysosomes**

Schéma d'une cellule



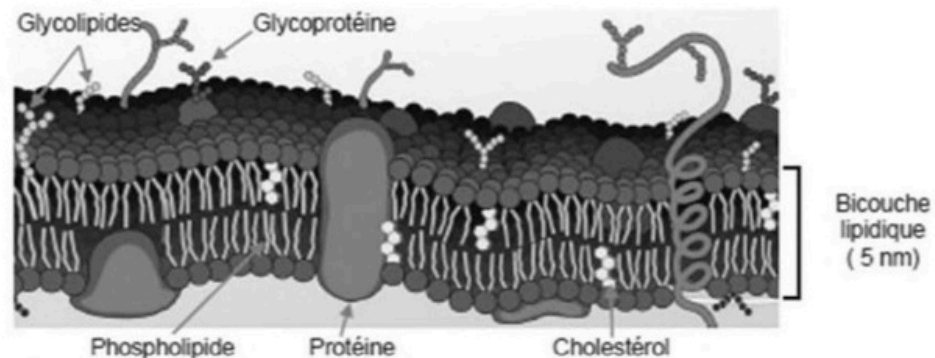
PLACE DES MEMBRANES DANS LA CELLULE FONCTIONS DES MEMBRANES

Maintien des différences entre compartiments	▪ La membrane plasmique entoure la cellule, délimite ses frontières et maintient les différences essentielles entre le cytosol et le milieu extracellulaire ▪ À l'intérieur des cellules, les membranes du noyau, du réticulum endoplasmique, de l'appareil de Golgi, des mitochondries et des lysosomes et autres endomembranes maintiennent les différences caractéristiques entre les contenus de chaque type d'organites et celui du cytosol ▪ Ces membranes maintiennent les gradients ioniques, établis par l'activité de protéines spécialisées des différentes membranes, qui pourront être utilisés pour : ○ la synthèse d'ATP ○ générer les transports sélectifs de solutés à travers les membranes ○ dans les cellules nerveuses et musculaires, pour produire et transmettre des signaux électriques ▪ Elles permettent aussi une compartimentation qui isole du reste de la cellule certains métabolites qui pourraient être délétères à la cellule
Captation / détection de signaux	▪ Pour tous les différents types de cellules, la membrane plasmique comporte aussi certaines protéines qui agissent comme « capteurs / détecteurs » de signaux extérieurs, permettant à la cellule concernée de changer de comportement en réponse à ces signaux, certains provenant d'autres cellules ▪ Ces « capteurs / détecteurs », appelés récepteurs, véhiculent et transfèrent une information, plutôt que des molécules, à travers la membrane plasmique

STRUCTURE ET PROPRIETES DES MEMBRANES CELLULAIRES

Structure générale

- En dépit de leurs fonctions différentes, toutes les membranes biologiques ont une **structure générale commune**
- Chacune est constituée d'un **très fin film lipidique** renfermant des **protéines**, maintenues ensemble par des **interactions non covalentes*****



- Les membranes cellulaires sont des structures **dynamiques*****, **fluides**, et la plupart des molécules **se déplacent** dans le plan des membranes

Lipides membranaires

- Les lipides sont organisés sous forme d'une **bicouche** continue d'environ 5 nm d'épaisseur
- Cette bicouche lipidique fournit la **structure de base fluide** aux membranes biologiques et forme une **barrière quasi-imperméable** empêchant le passage de la plupart des molécules **hydrosolubles**

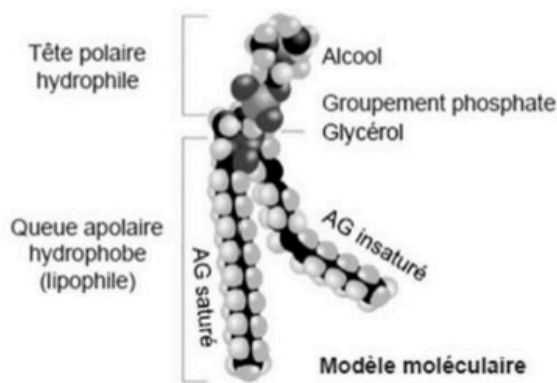
Protéines membranaires

- La plupart des **protéines membranaires traversent la bicouche lipidique** et assurent pratiquement toutes les autres fonctions des membranes, incluant
 - Le **transport transmembranaire** de molécules spécifiques
 - La **catalyse de réactions** telles que la synthèse d'ATP etc...
- Au niveau de la membrane plasmique
 - Certaines protéines transmembranaires servent de **lien structurel** qui connectent des protéines de la **matrice extra-cellulaire** ou d'une **cellule** adjacente au **cytosquelette** intra-cytoplasmique
 - D'autres, servent de **récepteurs pour transduire des signaux** chimiques provenant de l'environnement cellulaire.
- On estime que, pour qu'une cellule animale puisse fonctionner et interagir avec son environnement, environ **30% des protéines** codées par son génome sont des **protéines membranaires**

LA BICOUCHE PHOSPHOLIPIDIQUE

Structure et composition	▪ La bicouche phospholipidique ☼☼ forme la structure de base de toutes les membranes cellulaires ▪ Elle est visible en microscopie électronique ☼ : aspect trilamellaire ☼ ▪ Sa structure est liée aux propriétés spéciales des molécules qui la constituent et qui s'assemblent spontanément en bicouche même dans des conditions expérimentales simples ▪ Elle renferme du cholestérol ☼ et des protéines ☼ ayant divers rôles structuraux et fonctionnels ▪ La composition en lipides et protéines est variable en fonction ○ du type de membrane cellulaire (plasmique, organites...) ○ du type cellulaire (cellules nerveuses...)
Rapport lipides / protéines	▪ En moyenne, les lipides constituent environ 50% de la masse de la plupart des membranes des cellules animales ▪ Les protéines constituent les 50% restants ☼ ▪ La masse moléculaire étant en moyenne 30 fois moindre pour les lipides que pour les protéines, il y a donc environ 30 fois plus de molécules lipidiques que de molécules protéiques dans ces membranes
Lipides membranaires	▪ Tous les lipides des membranes cellulaires sont amphiphiles ☼☼☼ et présentent ○ Une extrémité hydrophile ☼☼☼ (ayant une affinité pour l'eau) ou polaire ○ Une extrémité hydrophobe ☼☼☼ -ou lipophile- (n'ayant pas d'affinité pour l'eau) ou apolaire ▪ Les lipides membranaires les plus abondants sont les phospholipides, mais de nombreuses membranes contiennent aussi des glycolipides et du cholestérol ▪ Les phospholipides à phosphatidylcholine, phosphatidyléthanolamine, phosphatidylsérine et sphingomyéline représentent plus de la moitié de la masse lipidique de la plupart des membranes de cellules mammifères

PHOSPHOLIPIDES DES MEMBRANES CELLULAIRES PHOSPHO-GLYCERIDES⊕⊗

Abondance	▪ Ce sont les principaux phospholipides des cellules animales
Structure	▪ Ils sont construits sur une ossature glycérol à 3 carbones sur laquelle sont fixés ○ Deux longues chaines d'AG⊕ liées par des liaisons ester à deux carbones adjacents du glycérol ○ Le 3^{ème} carbone du glycérol est lié à un groupement phosphate ○ Le groupement phosphate est lui-même lié à un des possibles alcools 
Différents phosphoglycérides	▪ En combinant différents types d'AG et groupements de tête, les cellules produisent différents phosphoglycérides : ○ La phosphatidylcholine⊕ (alcool = choline) ○ La phosphatidylsérine⊕ (alcool = sérine) ○ La phosphatidyléthanolamine (alcool = éthanolamine), qui sont les trois principaux ○ Il existe aussi des phosphatidylinositols (alcool = inositol)
Polarité	▪ Leur tête polaire comporte le groupement phosphate et alcool⊕⊗ ▪ L'extrémité hydrophobe est constituée de deux queues hydrocarbonées hydrophobes⊕ (acides gras, généralement 14 à 24 atomes de Carbone) ○ Une des queues présente typiquement une ou plusieurs double-liaisons = acide gras insaturé ○ l'autre queue non = acide gras saturé ▪ Ces double-liaisons créent des coudes dans les queues hydrophobes
Impact sur la fluidité	▪ Les variations de longueur et de nombre d'insaturations des acides gras modulent les interactions des phospholipides les uns avec les autres, et affectent ainsi la fluidité membranaire

PHOSPHOLIPIDES DES MEMBRANES CELLULAIRES SPHINGOLIPIDES ☆☆☆	
Structure	- Ils sont construits sur une ossature de sphingosine (et non glycérol) - La sphingosine est constituée - d'une longue chaîne hydrocarbonée ☆ - avec un groupement aminé (NH₂) - et deux groupement hydroxyles (OH) à une extrémité : alcool aminé ☆
Sphingomyéline ☆	- Le plus commun des sphingolipides - La queue d'AG est attachée au groupement aminé - Un groupe phosphatidylcholine est attaché au groupement hydroxyle terminal

AUTRES LIPIDES DES MEMBRANES CELLULAIRES	
Glycolipides	- Les glycolipides ressemblent aux sphingolipides - Au lieu d'un groupe de tête associé à un phosphate, des groupements glucidiques sont attachées aux longues chaines d'AG
Cholestérol	- Les membranes plasmiques des cellules eucaryotes comportent aussi des quantités particulièrement importantes de cholestérol, jusqu'à une pour chaque molécule de phospholipide - Le cholestérol est un stérol ☆☆☆ qui comporte : - Une structure rigide en anneau à laquelle est attachée - un seul groupement hydroxyle (OH) - et une courte chaîne hydrocarbonée apolaire - Les molécules de cholestérol s'orientent dans la bicouche avec leur groupement hydroxyle proche de la tête polaire des molécules de phospholipides

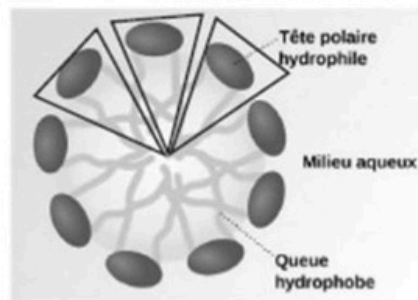
ASSEMBLAGE DES PHOSPHOLIPIDES

Comportement des molécules amphiphiles dans l'eau

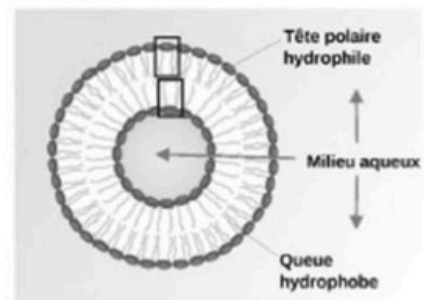
- La forme et la nature amphiphile des phospholipides entraîne leur **association spontanée en bicouche dans un environnement aqueux**
- Les **molécules hydrophiles** se **dissolvent aisément dans l'eau** du fait de leurs groupements polaires, chargés ou non, qui forment soit des ponts hydrogènes, soit des liaisons électrostatiques stables avec les molécules d'eau
- Les molécules **hydrophobes** sont **insolubles dans l'eau** car tous ou majorité de leurs atomes ne sont pas chargés et sont apolaires et ne peuvent donc pas former de liaisons thermodynamiquement stables avec les molécules d'eau
- Dispersées dans l'eau, elles entraînent la **réorganisation des molécules d'eau** adjacentes en cages de type cristaux de glace (molécules d'H₂O liées deux à deux par liaisons H-O) qui entourent la molécule hydrophobe
- Ces structures étant plus ordonnées que l'eau avoisinante, leur formation augmente l'énergie libre
- Cette énergie libre est toutefois minimisée si les molécules hydrophobes (ou les portions hydrophobes des molécules amphiphiles) s'associent ensemble afin qu'un nombre minimal de molécules d'H₂O soient affectées

Formation spontanée de structures

- Ainsi, les molécules amphiphiles en milieu aqueux s'agrègent pour enfouir leurs **portions hydrophobes vers l'intérieur** afin de les isoler des molécules d'H₂O, et exposent à celles-ci leurs têtes hydrophiles
- En fonction de leur forme ces molécules amphiphiles peuvent s'organiser de deux façons :
 - **En micelles** avec leur queue hydrophobe vers l'intérieur si les molécules sont **coniques**
 - **En bicouches** avec leurs queues hydrophobes en sandwich entre leurs têtes hydrophiles si les molécules sont **cylindriques**
 - ces bicouches se referment spontanément en sphères, les extrémités libres étant instables sur le plan énergétique
 - propriétés utilisées aussi en vectorisation = **liposomes**



Micelle



Bicouche

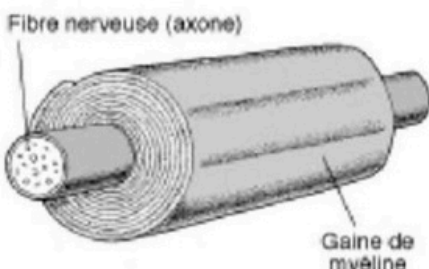
FLUIDITE DE LA BICOUCHE PHOSPHOLIPIDIQUE

Mise en évidence de la diffusion latérale des lipides	▪ Depuis les années 1970, des recherches ont pu montrer, par différentes stratégies, telles que le marquage des phospholipides par le branchement de molécules fluorescentes au niveau de leurs têtes hydrophiles, que les molécules lipidiques diffusent latéralement dans les membranes☺ ▪ La diffusion peut ainsi être estimée par observation des cellules au microscope à fluorescence ▪ On peut aussi modifier la tête des phospholipides afin qu'ils portent un marqueur de spin comme un groupe nitroxyde (=N-O) portant un électron non apparié dont la rotation crée un signal paramagnétique qui peut être détecté par spectroscopie de résonance de rotation électronique (ESR), dont le principe est similaire à la résonance magnétique nucléaire (RMN).
Vitesses relatives des mouvements lipidiques	▪ Ces études montrent que les molécules de phospholipides migrent très rarement d'une monocouche (feuillet) à l'autre☹ . ○ Ce processus de flip-flop se produit sur une échelle de temps de plusieurs heures pour n'importe quelle molécule individuelle ○ sauf pour le cholestérol qui peut basculer rapidement ▪ Au contraire, la diffusion latérale des lipides membranaires est très rapide☺☺ : ○ 10^7 fois/ sec ○ ce qui donne un coefficient de diffusion d'environ 10^{-8} cm²/sec ○ donc en moyenne une molécule lipidique se déplace de 2 µm/sec
Passage des phospholipides d'un feuillet à l'autre	▪ Bien que diffusant librement latéralement, les phospholipides sont normalement confinés au sein d'un des deux feuillets de la bicouche ▪ Ce confinement crée un problème pour leur synthèse car les phospholipides ne sont synthétisés que dans un des feuillets, principalement le feuillet cytosolique des membranes du réticulum endoplasmique ▪ Si aucun de ces phospholipides néosynthétisés ne pouvait migrer raisonnablement et promptement vers le feuillet non cytosolique, de nouvelles bicouches lipidiques ne pourraient pas être générées ▪ Ce problème est résolu par une catégorie spéciale de protéines membranaires, translocateurs de phospholipides ou flippases ○ Elles catalysent le flip-flop rapide des phospholipides d'un feuillet vers l'autre de la bicouche☺

CONSEQUENCES DE LA FLUIDITE DE LA BICOUCHE PHOSPHOLIPIDIQUE

Conséquences sur la fusion des vésicules	▪ En dépit de la fluidité de la bicouche lipidique, les liposomes en suspension dans l'eau ne fusionnent pas spontanément les uns avec les autres ▪ La fusion n'opère pas car les groupes polaires des phospholipides lient des molécules d'H₂O qui doivent être déplacées pour que les bicouches de liposomes différents fusionnent ▪ La « coque » d'hydratation qui maintient les liposomes à part les uns des autres isole aussi les nombreuses membranes internes des cellules eucaryotes, évitant les fusions incontrôlées, maintenant ainsi l'intégrité des organites clos ▪ Tous les événements de fusion des membranes cellulaires sont catalysés par des protéines qui sont étroitement contrôlés et forcent les membranes à se positionner en étroite proximité, expulsant la « coque » d'hydratation qui maintient les bicouches lipidiques à distance
Conséquences sur la formation de structures membranaires	▪ Cette fluidité de la membrane permet l'assemblage de certaines protéines au niveau des membranes pour donner des structures spécialisées (jonctions, complexes canaux, enzymatiques, synaptiques...) ▪ De nombreux composants membranaires se déplacent afin d'assurer des processus cellulaires fondamentaux (motilité, croissance, division, endocytose)

VARIATIONS DES PROPORTIONS RELATIVES DE LIPIDES ET DE PROTEINES DANS LES MEMBRANES

Gaine de myéline	▪ Présente dans les cellules nerveuses avec axones myélinisés ▪ Épaisse couche lipidique à haute résistance ▪ Très riche en lipides, teneur minimale en protéines ▪ Constitue un isolant électrique pour l'axone qu'elle entoure ○ Isole les axones et permet d'accroître la vitesse de l'influx nerveux le long de ces axones	
Mitochondries	▪ La majorité des membranes cellulaires ont une proportion en volume de lipides et de protéines à 50% / 50% ▪ Les protéines occupent 80% du volume de la membrane interne de l'enveloppe des mitochondries***, les 20% restant étant occupés par les lipides. ▪ La masse moléculaire étant en moyenne 30 fois moindre pour les lipides que pour les protéines, il y a toutefois environ 6 fois plus (30 x 20%) de molécules lipidiques que de molécules protéiques dans ces membranes	

VARIATIONS DES PROPORTIONS RELATIVES DE LIPIDES ET DE PROTEINES DANS LES MEMBRANES

L'ENVELOPPE NUCLEAIRE

Organisation	▪ Frontière nucléaire en fait constituée de deux membranes de 6 nm, dérivant du réticulum endoplasmique granuleux et en continuité avec celui-ci pour la membrane externe ▪ Ces deux membranes sont séparées par un espace inter-membranaire de 20 à 50 nm : l'enveloppe nucléaire ▪ Cette enveloppe est percée de pores permettant une communication bidirectionnelle entre le noyau et le cytoplasme
Pores nucléaires	▪ Structures permettant les échanges à travers l'enveloppe nucléaire ▪ En moyenne, plusieurs milliers par noyau (jusqu'à 1/3 de la surface de l'enveloppe nucléaire) ▪ Assemblage complexe et volumineux (100 KDa), environ 100 protéines ▪ Peuvent être séparés (méthodes physico-chimiques)

EFFET DE LA COMPOSITION DE LA MEMBRANE SUR SA FLUIDITE

Phospho-glycérolipides	▪ Les phosphoglycérolipides portant des queues hydrocarbonées insaturées (avec des doubles liaisons) ne peuvent pas s'entasser autant que les queues hydrocarbonées saturées. ○ L'espace créé entre les queues hydrocarbonées insaturées diminue les interactions hydrophobes ○ Leur présence en nombre important rend la membrane plus fluide☺☺☺
Cholestérol	▪ Il agit comme "tampon thermique" de la membrane☺☺ ▪ Ses cycles aplatis, rigides et hydrophobes interfèrent avec les mouvements des queues des AG ▪ A température physiologiques (37°C), il limite partiellement le mouvement des phosphoglycérides☺ et diminue donc la fluidité membranaire☺☺☺ ▪ A basse température, il empêche l'entassement des phospholipides et augmente ainsi la fluidité membranaire. Sa présence permet à la membrane de rester fluide même à de basses températures☺☺
Protéines	▪ A l'opposé des phospholipides, les protéines diminuent la fluidité des membranes ▪ Leur présence en proportion plus importante rend des membranes (ou domaines) plus rigides ○ Ex : Membrane interne de l'enveloppe mitochondriale ○ Ex : Radeaux lipidiques (domaines de membranes à forte concentration en protéines et lipides)

EFFET DE LA COMPOSITION DE LA MEMBRANE SUR SA FLUIDITE

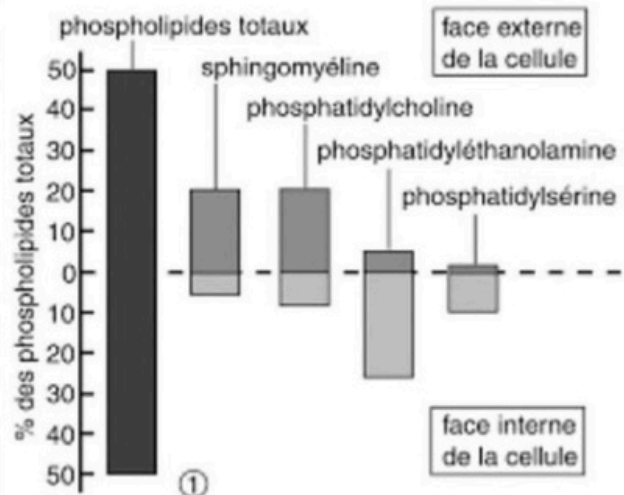
RADEAUX LIPIDIQUES INTRAMEMBRANAIRES

Composition	▪ Dans la bicouche lipidique, ils existent des endroits où les lipides et les protéines ne se distribuent pas au hasard ▪ Il s'agit de micro-domaines lipidiques individualisés☼ appelés radeaux lipidiques ou lipid rafts
Variation de fluidité	▪ En fonction de leur composition phospholipidique☼ ▪ Ceux enrichis en phosphatidylcholine sont plus fluides que ceux enrichis en sphingolipides et cholestérol☼☼ ▪ Pas d'observations directes ○ Trop petits (10-200 nm), trop nombreux, hétérogènes et très dynamiques

POLYMORPHISME MEMBRANAIRE

ASYMETRIE DE LA COMPOSITION DES 2 FEUILLETS MEMBRANAIRES

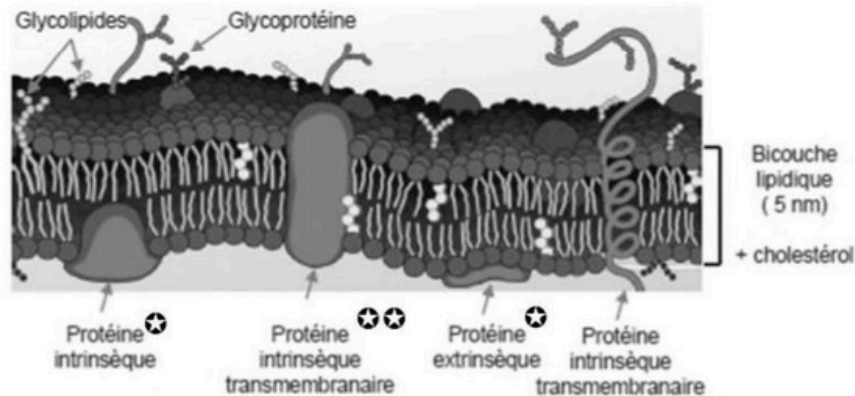
Conséquences	▪ Composition lipidique différente des deux feuillets (hémimembranes) de la bicouche phospholipidique ▪ L'asymétrie au niveau de la bicouche lipidique contribue à créer des propriétés physiques et chimiques différentes
Lipides majoritaires dans le feuillet externe	▪ Tous les glycolipides se trouvent dans le feuillet externe☼☼☼ ○ Ils servent de récepteurs pour des ligands extracellulaires
Lipides majoritaires dans le feuillet interne	▪ La phosphatidylsérine est concentrée dans le feuillet interne☼☼. ○ Son apparition à la surface externe des lymphocytes âgés identifie les cellules destinées à être détruites par les macrophages ▪ Le phosphatidylinositol est concentré dans le feuillet interne ○ Il joue un rôle clé dans le transfert des stimulus de la membrane plasmique au cytosol☼



POLYMORPHISME MEMBRANAIRE		
VARIABILITE DE LA TENEUR EN LIPIDES DE DIFFERENTS TYPES DE MEMBRANES CELLULAIRES		
Proportion glycérophospholipides / sphingolipides / cholestérol variable	▪ Membrane d'hématie	▪ Glycérophospholipides > sphingolipides ≈ cholestérol
	▪ Enveloppe mitochondriale	▪ absence de sphingolipides, très peu de cholestérol
	▪ Gaine de myéline	▪ proportion importante de sphingolipides
	▪ Membrane d'E .Coli	▪ absence de sphingolipides et de cholestérol☹
Conséquence	▪ Une plus forte proportion de phospholipides rend la membrane plus fluide	

PROTEINES MEMBRANAIRES	
Classification	▪ Il existe différentes catégories de protéines membranaires qui participent de manière fondamentale aux fonctions des divers types de membranes cellulaires
Exemples de classes fonctionnelles	▪ De structure ▪ D'adhérence (ou d'adhésion) ○ Adhérence intercellulaire (jonction) ○ Adhérence à la matrice extracellulaire et fixation au cytosquelette ▪ De reconnaissance (e.g. reconnaissance intercellulaire par glycoprotéines, adressage vésiculaire) ▪ De transport ▪ Récepteurs ○ Canaux ou couplés à des canaux ○ Enzymes ou couplées à des enzymes (e.g. kinases, adénylate cyclase) ○ Couplés à des protéines de signalisation☹ ▪ Complexes enzymatiques (e.g. ATP synthase)

PROTEINES MEMBRANAIRES MODES D'ASSOCIATION AUX MEMBRANES



Protéines extrinsèques ou périphériques	▪ S'associent aux membranes sans s'encastrent dedans ○ Indirectement, à travers des interactions avec d'autres protéines membranaires ○ Via des interactions électrostatiques avec les têtes hydrophiles phospholipides ○ Par l'intermédiaire des séquences lipidiques ajoutées aux protéines après la traduction (séquence isoprénylée, myristoylée, ancre glycosylphosphatidylinositol -GPI-)
Protéines intrinsèques, intégrales, ou intramembranaires	▪ S'encastrent dans un ou les deux feuillets des membranes par des interactions hydrophobes ○ Organisation en hélice α ou en feuillet β plissé hydrophobe ▪ Peuvent être transmembranaires et traverser une ou plusieurs fois la membrane ▪ Partie(s) transmembranaire(s) unique ou multiples, le plus souvent sous forme d'hélice α ▪ Ex. Récepteurs à activité tyrosine kinase (1 traversée) ou récepteurs couplés aux protéines G (7 domaines transmembranaires reliés par des boucles extracellulaires et cytoplasmiques)

TRANSPORTS MEMBRANAIRES

Perméabilité sélective de la membrane plasmique	- La perméabilité sélective des membranes repose sur les propriétés chimiques de la bicouche phospholipidique et l'existence de protéines de transport spécifiques - Les substances ne traversent pas la membrane à la même vitesse - Les molécules hydrophobes (non polaires), comme les hydrocarbures, le CO₂, O₂ se dissolvent dans la bicouche lipidique de la membrane et la traversent sans l'aide de protéines - Les molécules polaires et les ions ont besoin de protéines de transport pour pouvoir traverser la membrane
Modalités de passage des substances via des protéines membranaires de transport	Uniport Symport Antiport Co-transport dans même direction Transport simultané dans directions opposées

DIFFERENTS TYPES DE TRANSPORT MEMBRANAIRE

Transport passif	Sans consommation d'énergie Dans le sens du gradient de concentration : du plus concentré vers le moins concentré - Il comprend : - La diffusion simple : pour substances hydrophobes/lipophiles à travers la bicouche lipidique - Le transport facilité : pour substances hydrophiles, à travers des protéines-canaux (aquaporines, ionophores) ou des perméases
Transport actif	Nécessite une consommation d'énergie, dont ATP Contre le gradient de concentration : du moins concentré vers le plus concentré - Il concerne les substances hydrophiles - Transport actif primaire (pompe Na/K) - Transport actif secondaire (cotransport)
Transport des macromolécules	Exocytose Endocytose

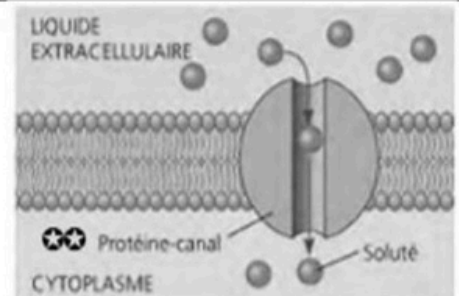
TRANSPORT FACILITE

Aquaporines ☆

- Ce sont des **protéines-canaux** qui réalisent un **transport facilité** de la molécule d'eau H_2O
- Il en existe 13 chez l'humain, qui facilitent la **diffusion massive** de l'eau☆☆☆
- Ce sont des protéines constituées de **plusieurs hélices α** s'insérant dans la bicouche lipidique
- Chaque aquaporine permet le passage de $> 3 \times 10^9$ molécules d' H_2O /sec
- Certaines cellules comme les **cellules rénales** possèdent un grand nombre de molécules d'aquaporines (réabsorption de l'eau)
- Elles sont déficientes dans certaines pathologies (diabète insipide, cataracte)

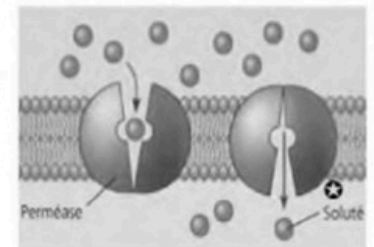
Ionophores

- Ce sont des **protéines-canaux** qui réalisent un **transport facilité** des ions
- Parmi eux, les **canaux ioniques**☆☆ s'ouvrent ou se ferment en réponse à un **signal** de nature **électrique, chimique ou mécanique**
- Exemple du **récepteur de l'acétylcholine (ACh)** : récepteur au voisinage d'un ionophore
 - La fixation de l'ACh va modifier la conformation du canal ionique
 - Augmente le passage du K^+/Na^+ (au niveau jonction neuromusculaire)
- Ce récepteur est dit ionophore **endogène**☆☆ par opposition aux **ionophores exogènes**☆☆☆ comme certains antibiotiques☆☆

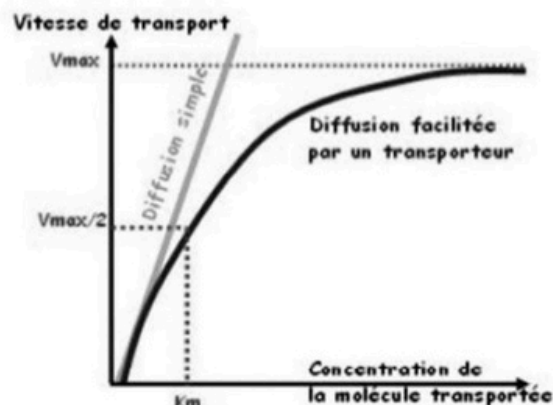


Perméases

- Ce sont des **protéines-canaux** qui réalisent un **transport facilité** des substances hydrophiles
- Ce sont des **protéines transporteurs** qui se lient à leurs passagers spécifiques et **changent de conformation** pour les faire passer d'un côté à l'autre côté de la membrane.
- Ex. du transport du glucose☆☆☆



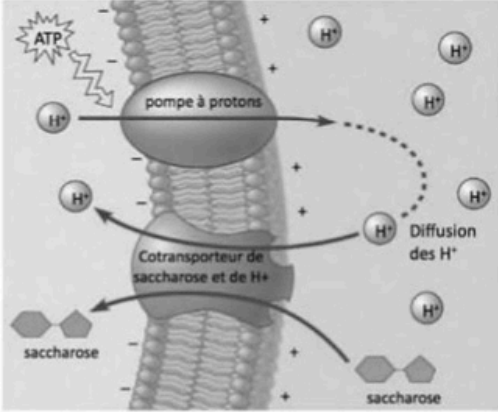
Comparaison du passage des molécules avec la diffusion simple



La **diffusion simple** pour substances hydrophobes/lipophiles, à travers la bicouche lipidique est **non**

Le **transport facilité**, pour substances hydrophiles (Protéines-canaux et Perméases) est un phénomène **saturable**☆☆☆, à cause du

TRANSPORT ACTIF

Transport actif primaire	- Il nécessite une consommation d'énergie, et se réalise contre le gradient de concentration - Il permet aux cellules de maintenir des gradients de concentration - Les pompes ioniques participent au maintien du potentiel de membrane = différence de potentiel électrique existant de part et d'autre d'une membrane (varie de -50 à -200 mV) - Ce potentiel de membrane est établi par - Les protons H^+ et les macromolécules intracellulaires, dont les protéines, portant une charge (-) - Les protéines membranaires de transport ioniques (électrogènes) comme la pompe à Na^+ et K^+ qui fait sortir 3 Na^+ pour 2 K^+ qui entrent
Transport actif secondaire ou cotransport	- Il s'agit d'un cas particulier de transport actif - Il est constitué d'un transport actif primaire + transport actif secondaire - Une pompe alimentée par l'ATP transporte activement un soluté (e.g. H^+) contre son gradient - Ce transport actif peut amorcer indirectement le transport d'un autre soluté (e.g. saccharose) à l'aide d'une perméase distincte de la pompe 
Exemple du transport du glucose	- Le transport du glucose est facilité par la Na^+ / K^+ ATPase au niveau des cellules intestinales - Le gradient Na^+ (faible $[Na^+]$ cytosolique) est créé par cette pompe = réserve d'énergie, qui peut être utilisée pour le cotransport de glucose par un système de symport $Na^+ / glucose$ localisé au pôle apical - Ensuite le glucose intracellulaire diffuse vers le pôle basal où le système de transport facilité du glucose le conduit en dehors de la cellule et dans le flux sanguin 