

Chapitre3. Structure et fonctions de la membrane plasmique ou plasmalemmme

بنية و وظيفة الغشاء السيتوبلازمي

البنية La structure

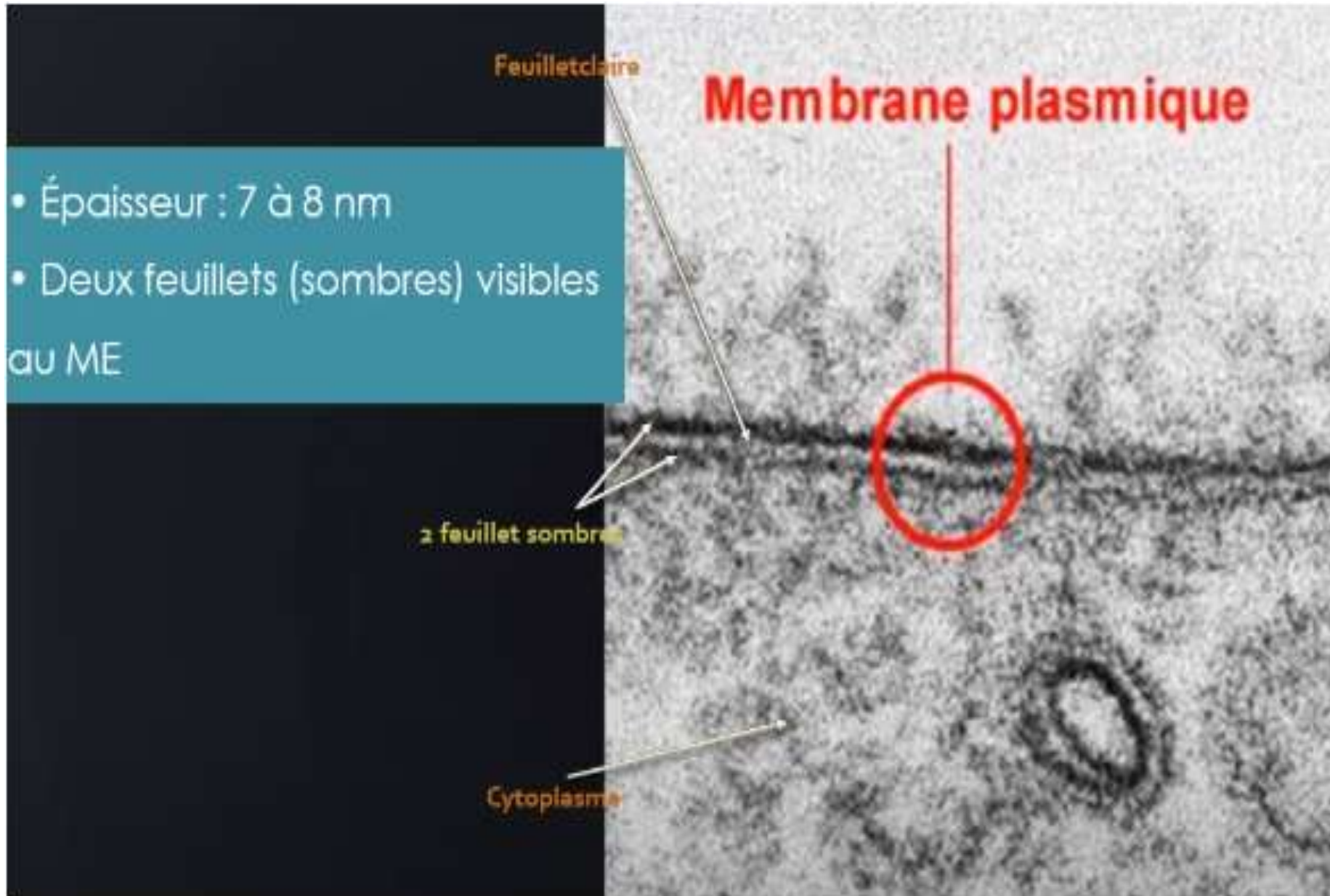
Introduction

- ❑ En **biologie cellulaire**, la membrane 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 est indétectable au microscope optique.

❑ في علم الأحياء الخلوي، يُشير الغشاء إلى مجموعة من الجزيئات تُشكّل طبقةً تفصل الخلية عن محيطها وتُحدّد العضيات داخلها. لا يمكن مشاهدته تحت المجهر الضوئي. بالمجهر الإلكتروني **Oxyde d'Osmium** ، يظهر الغشاء كفيلم مستمر يتكون من ورقتين داكنتين يبلغ سمك كل منهما حوالي 2 نانومتر، ويفصل بينهما ورقة فاتحة يبلغ سمكها حوالي 3 نانومتر.

- ❑ Au microscope électronique avec **Oxyde d'Osmium** , la membrane apparaît sous forme d'une pellicule continue composée de **2 feuillets sombre** d'environ **02 nm** chacun séparés par **1 feuillet clair** d'environ **03 nm**.

Sous le microscope électronique



Sous le microscope électronique

3 feuillets

2 feuillets sombres

طبقتان داكنتان اللون

2,5nm x 2

1 feuillet claire

طبقة فاتحة 3nm

Lipides

Phospholipides 55%

Cholestérol 25%

Structure de la
membrane

Protéines
60%

Transmembranaire

De surface

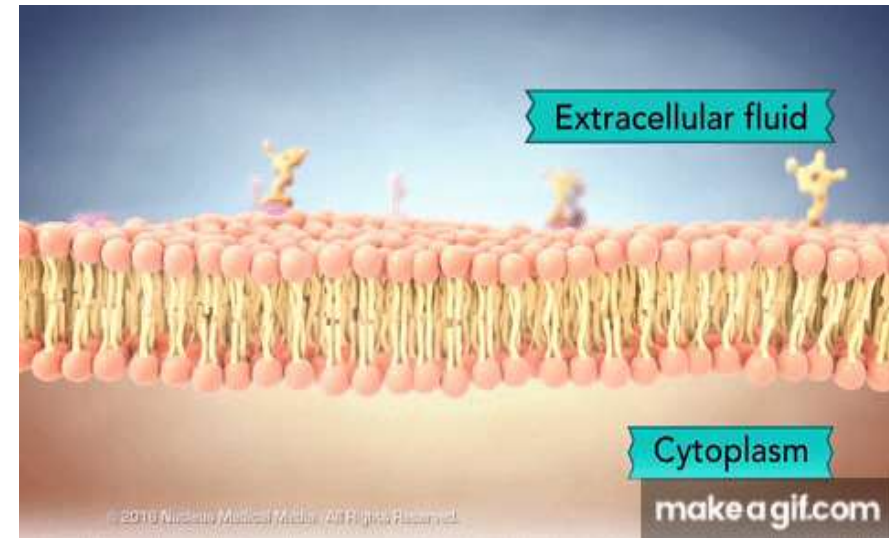
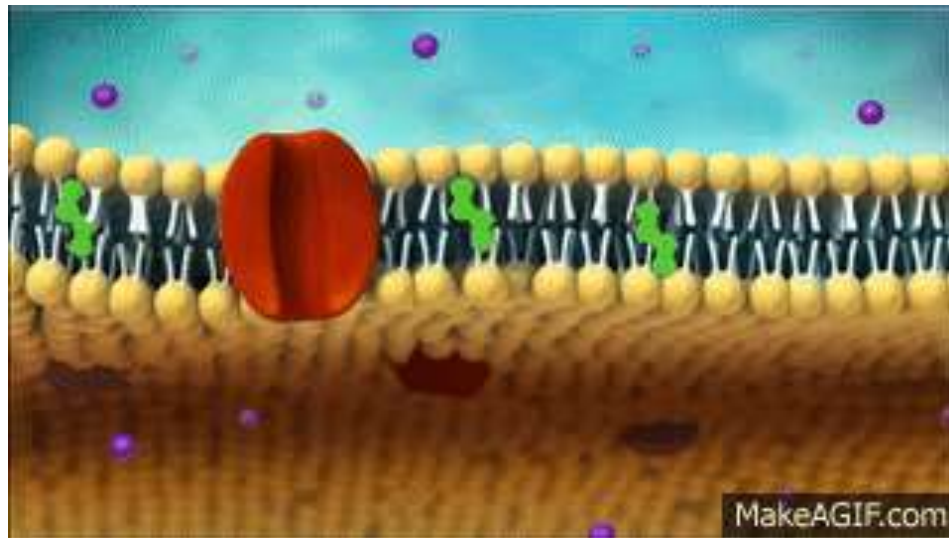
Glucides 2%

Glycoprotéines

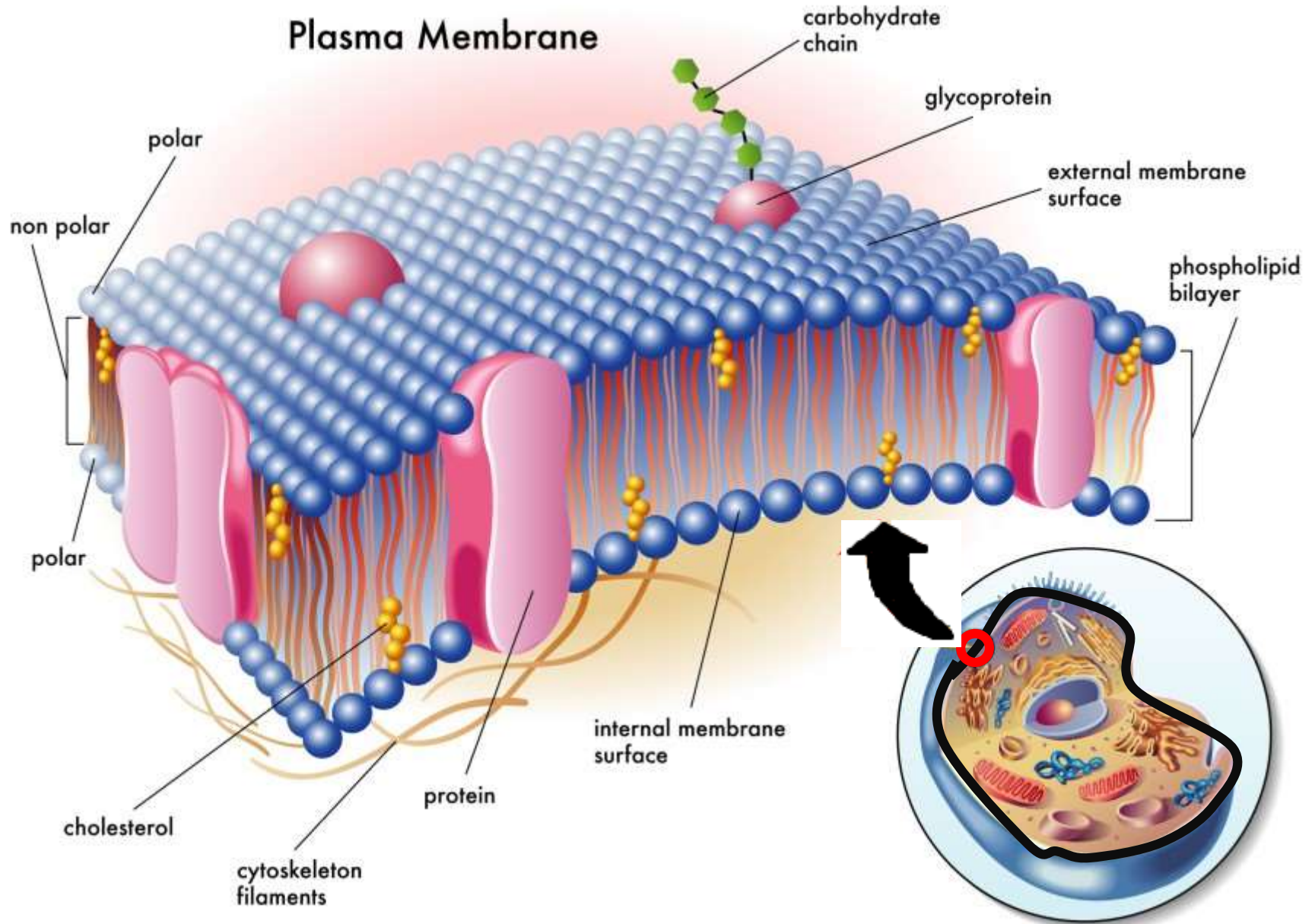
Glycolipides

Le modèle de Nicholson (et Singer) est le modèle de la mosaïque fluide 1972

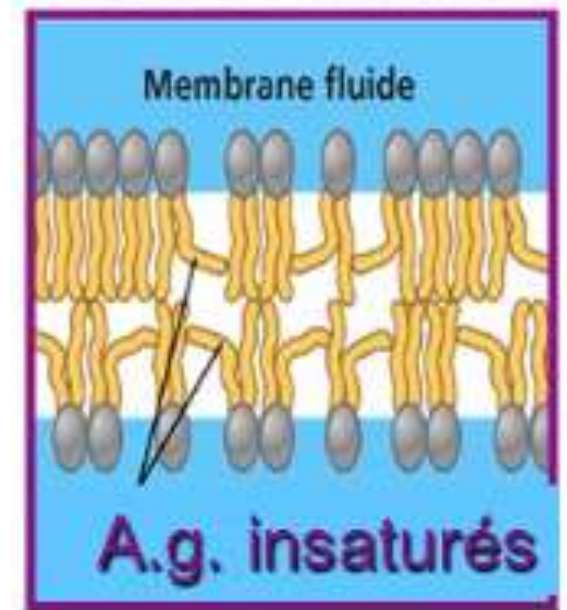
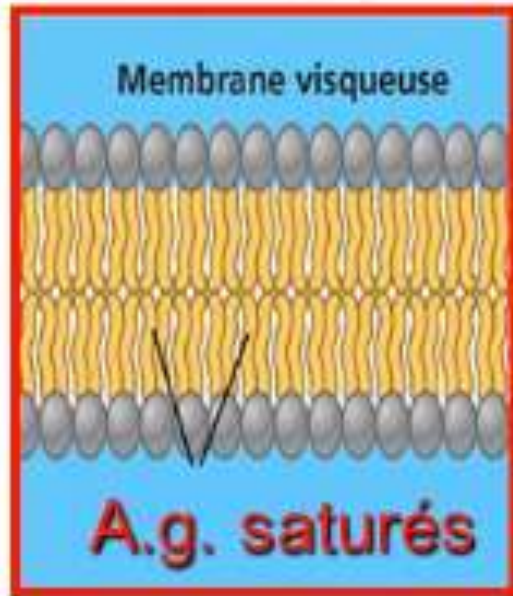
- Décrivant la membrane plasmique comme **une bicouche lipidique fluide**, une sorte de "mer" de phospholipides avec des protéines (intégrales et périphériques) et des glucides (sur la face externe) dispersés comme des "îlots", pouvant se déplacer librement, assurant ainsi la dynamique et les fonctions variées de la membrane.
- **نموذج نيكولسان 1972:** وصف الغشاء البلازمي بأنه طبقة ثنائية من الدهون السائلة، مثل "بحر" من الفسفوليبيدات مع البروتينات (الضمنية والمحيطية) والكربوهيدرات (على السطح الخارجي) المنتشرة مثل "الجزر"، القادرة على التحرك بحرية، الشيء الذي يضمن ديناميكيات ووظائف الغشاء المتنوعة.



Modèle de Singer et Nicholson 1972



Facteurs influençant la fluidité

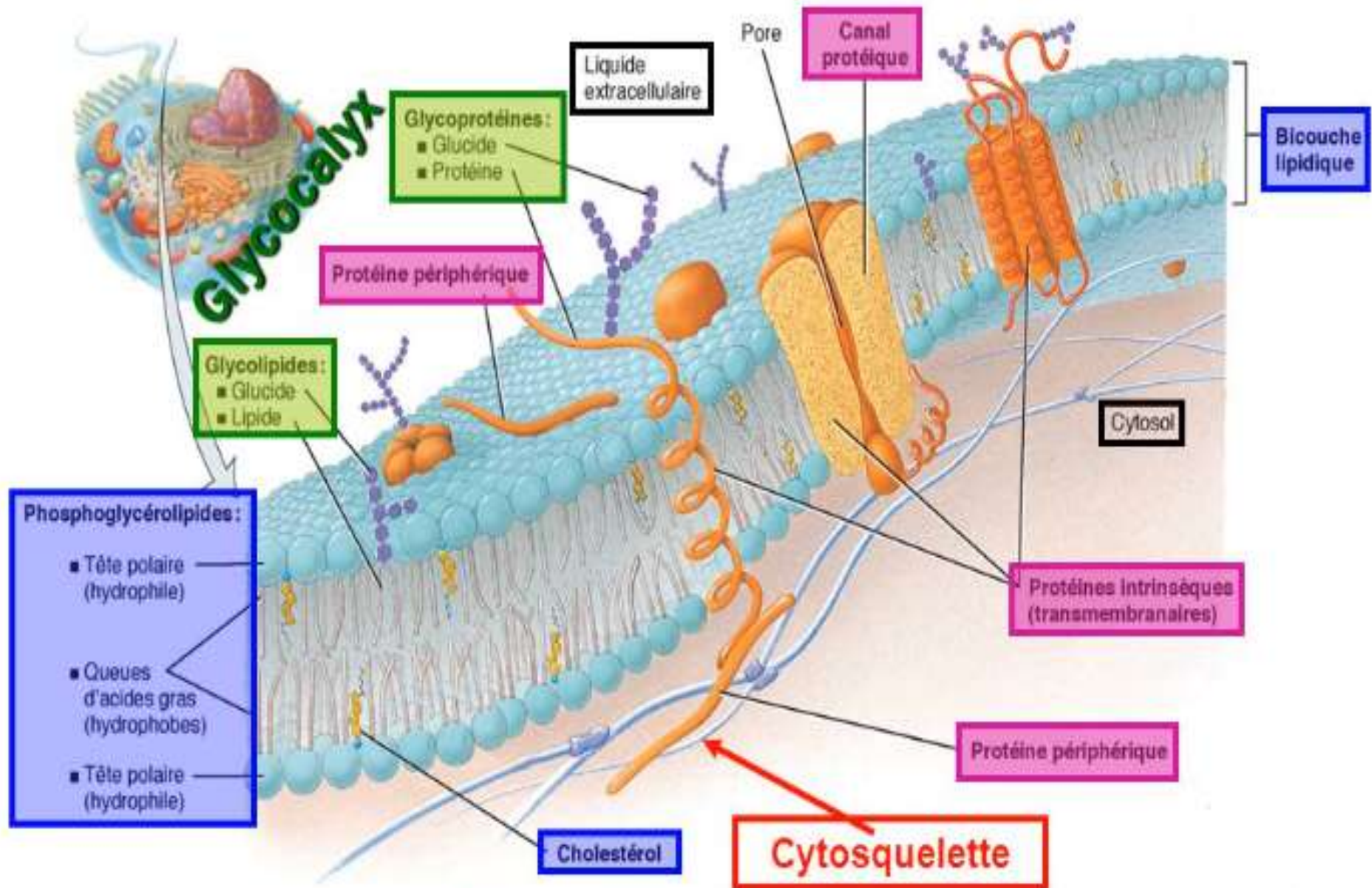


+ il y'a les A.gras insaturés et + la membrane est fluide

les A. gras insaturés s'entasse moins que les A.gras saturés

+ il y'a de l'espace et + c'est fluide

Asymétrie membranaire



يتم توزيع الدهون الغشائية بشكل غير متماثل عبر الوريقتين.

Les lipides membranaires répartis de façon asymétrique sur les 2 feuillets

- ❖ Feuillet externe : Sphingomyéline, Phosphatidylcholine, Glycolipides ;
- ❖ Feuillet interne: Phosphatidyléthanolamine, Phosphatidylsérine, phosphatidylinositol

Outside of cell

Sphingomyelin

Glycolipid

Phosphatidylcholine

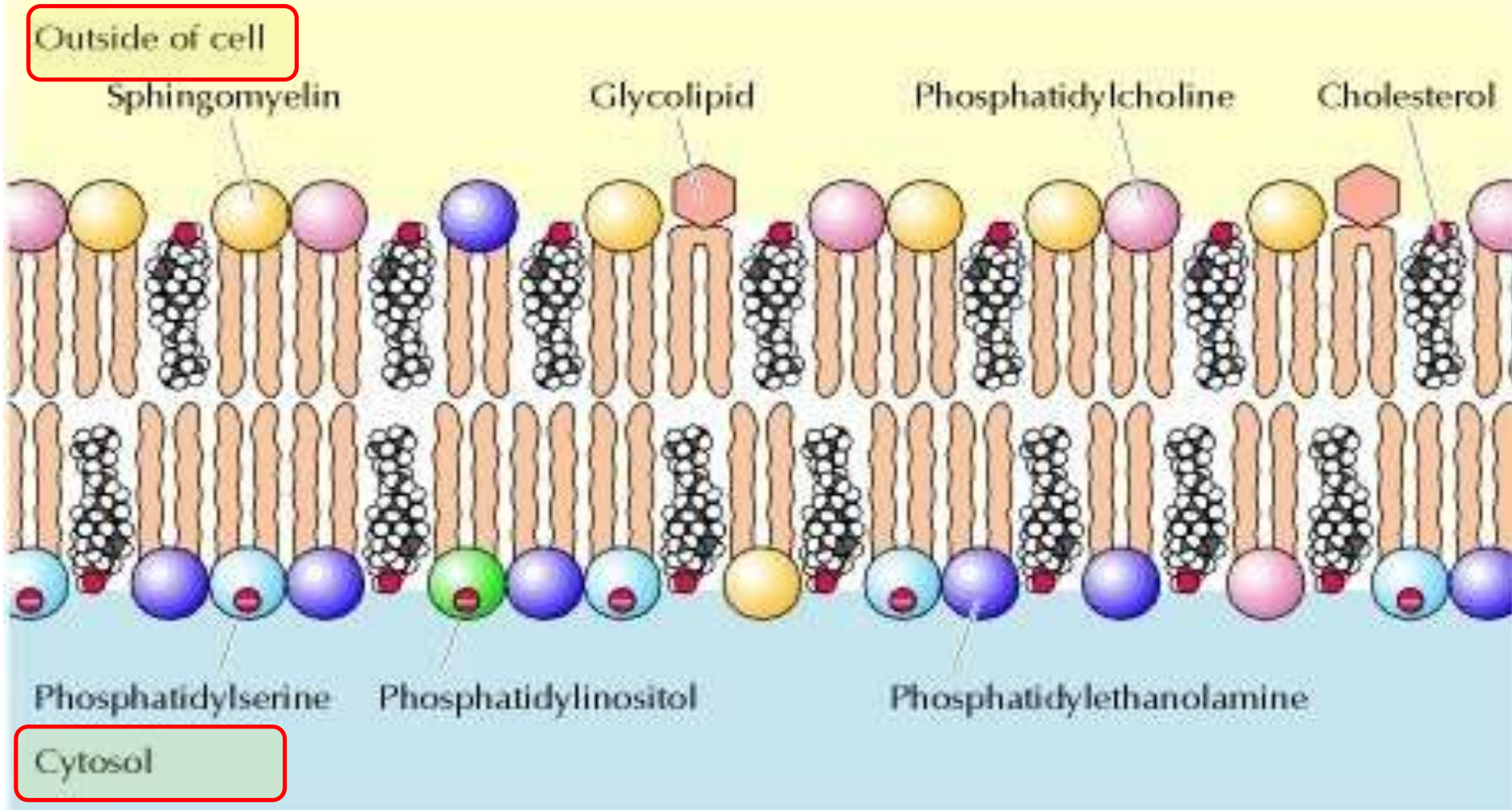
Cholesterol

Phosphatidylserine

Phosphatidylinositol

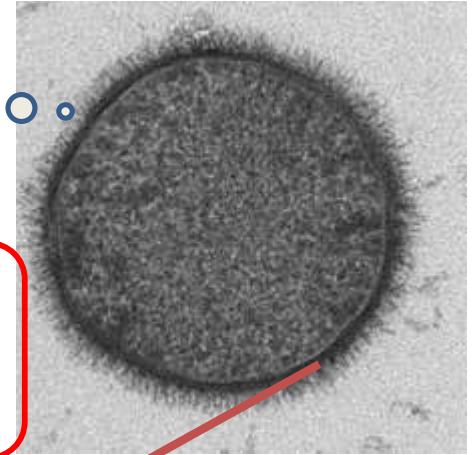
Phosphatidylethanolamine

Cytosol



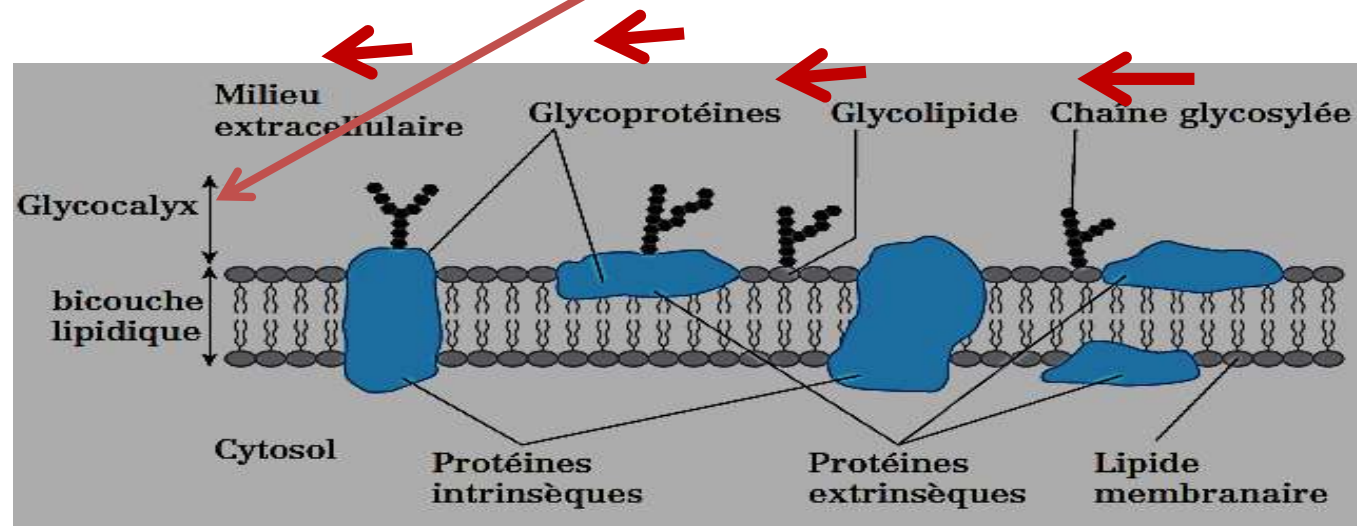
Le cell coat ou (Glycocalyx): une conséquence de l'asymétrie

Glycocalyx de
Bacillus subtilis



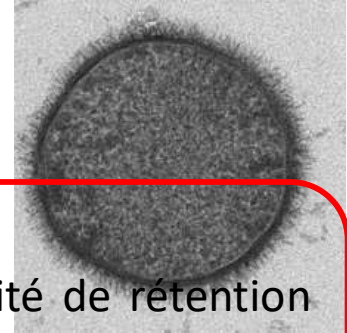
Le glycocalyx est un revêtement fibrillaire appelé cell-coat, il s'agit d'une couche de glucides présente uniquement sur le feuillet externe de la membrane plasmique.

Le glycocalyx est constitué de glycoprotéines; glycolipides, protéoglycanes



Le cell coat ou (Glycocalyx):une conséquence de l'asymétrie

Glycocalyx de
Bacillus subtilis



Les protéoglycanes:

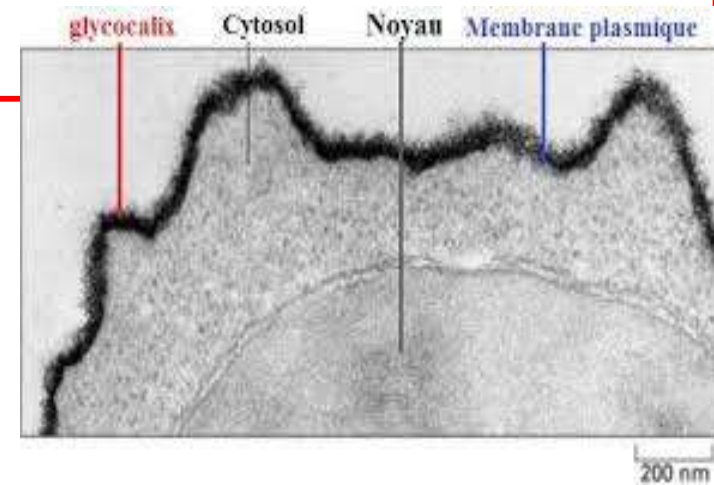
Hydratation et protection de la surface cellulaire grâce à leur forte capacité de rétention d'eau.

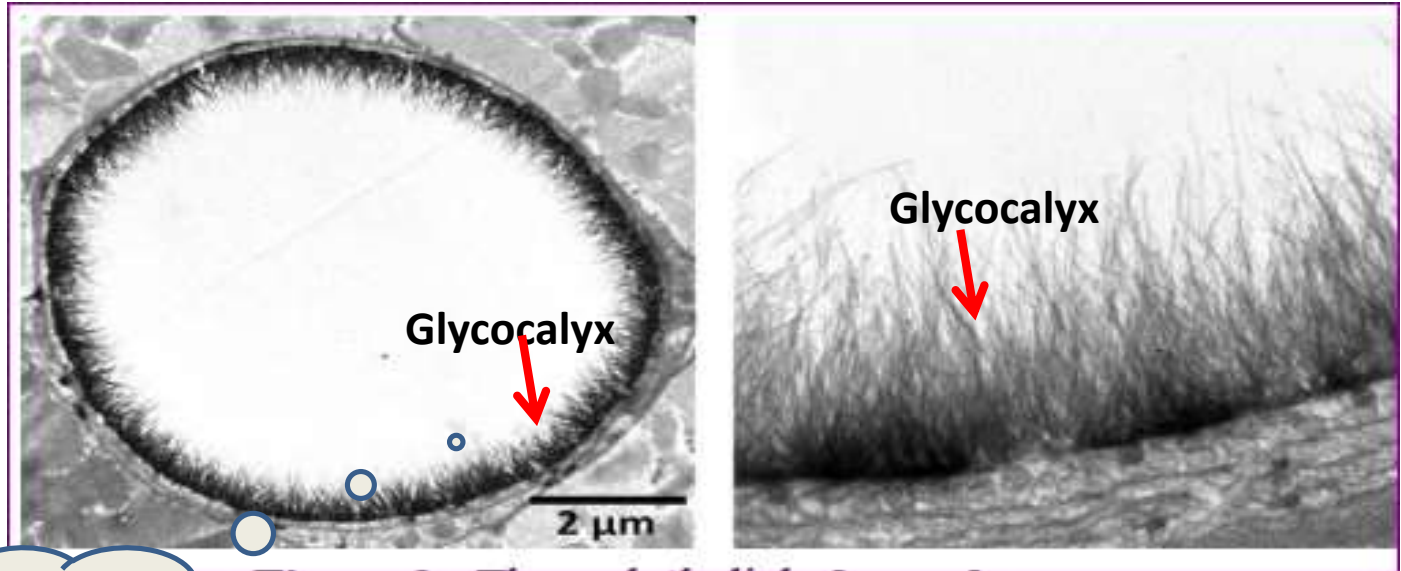
Reconnaissance et adhésion cellulaire en interagissant avec d'autres molécules.

Régulation des interactions cellulaires via des récepteurs membranaires.

Rôles de l'asymétrie:

- ☐ **Maintien de la polarité cellulaire**
- ☐ **Signalisation cellulaire** (ex. : l'exposition de la **phosphatidylsérine** sur le feuillet externe peut signaler l'apoptose) **eat me** !
- ☐ **Interaction avec l'environnement extracellulaire**





The endothelial
glycocalyx

يعتبر تدهور **الغليكوكاليكس البطاني** مرحلة مبكرة في تطور جميع المضاعفات الوعائية المزمنة.

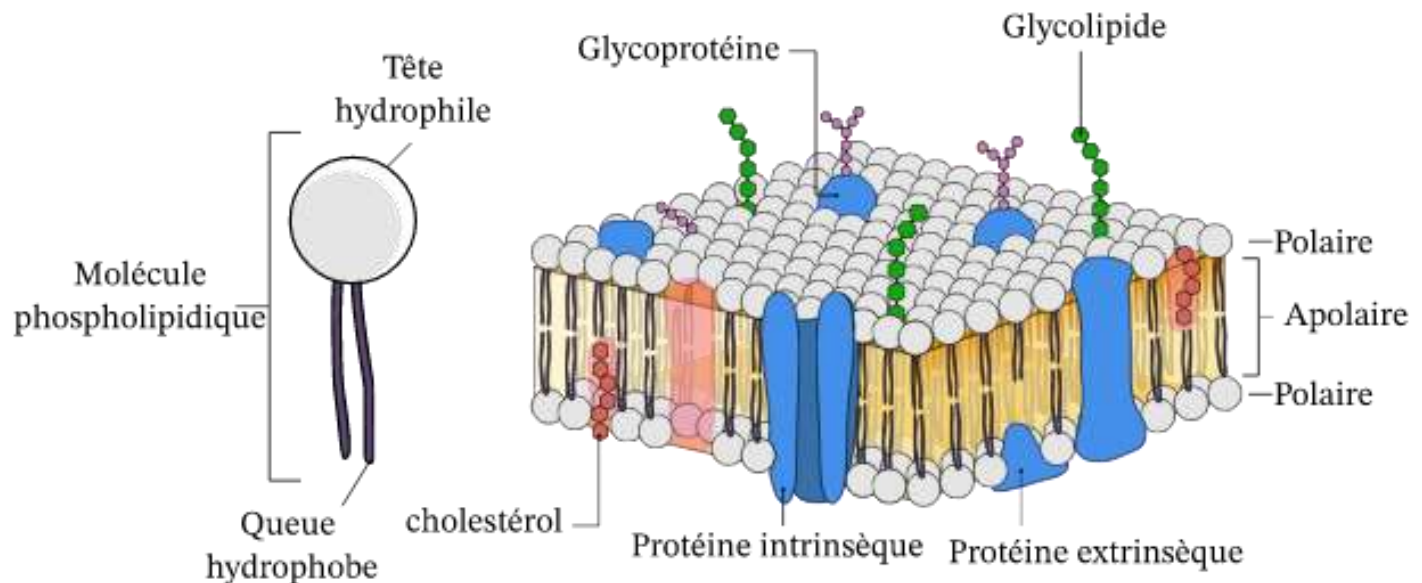
La détérioration du **glycocalyx endothélial** est considérée comme une étape précoce dans l'apparition de toutes les complications vasculaires chroniques

Phospholipides

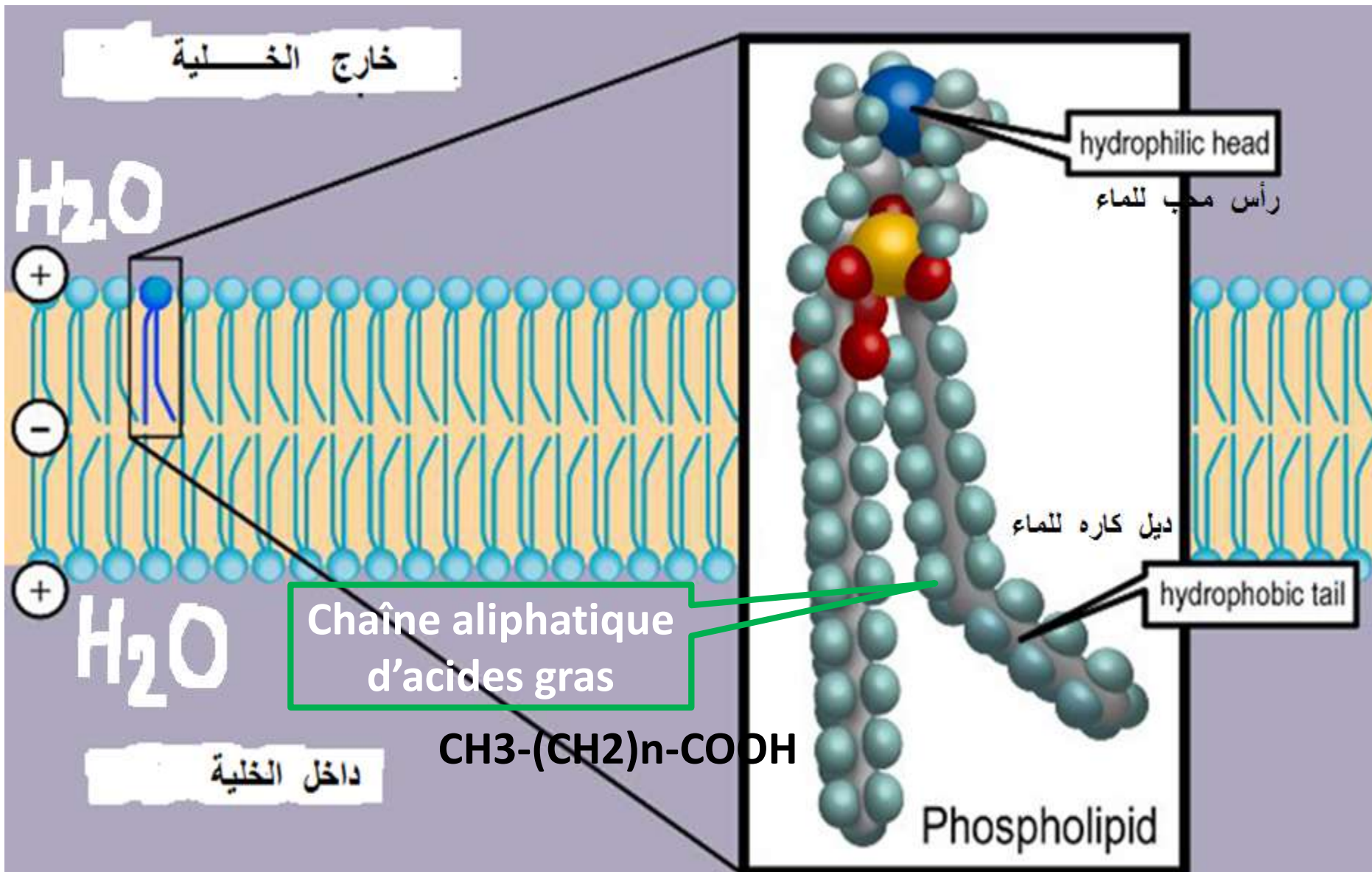
hydrophobe

hydrophile

Les **phospholipides** sont les constituants essentiels des **membranes cellulaires**, avec des molécules de **cholestérol**, ils s'organisent en **bicouche lipidique** dans laquelle les queues **hydrophobes** sont orientées vers l'intérieur de la structure tandis que les têtes polaires **hydrophiles** forment les deux surfaces de la bicouche,

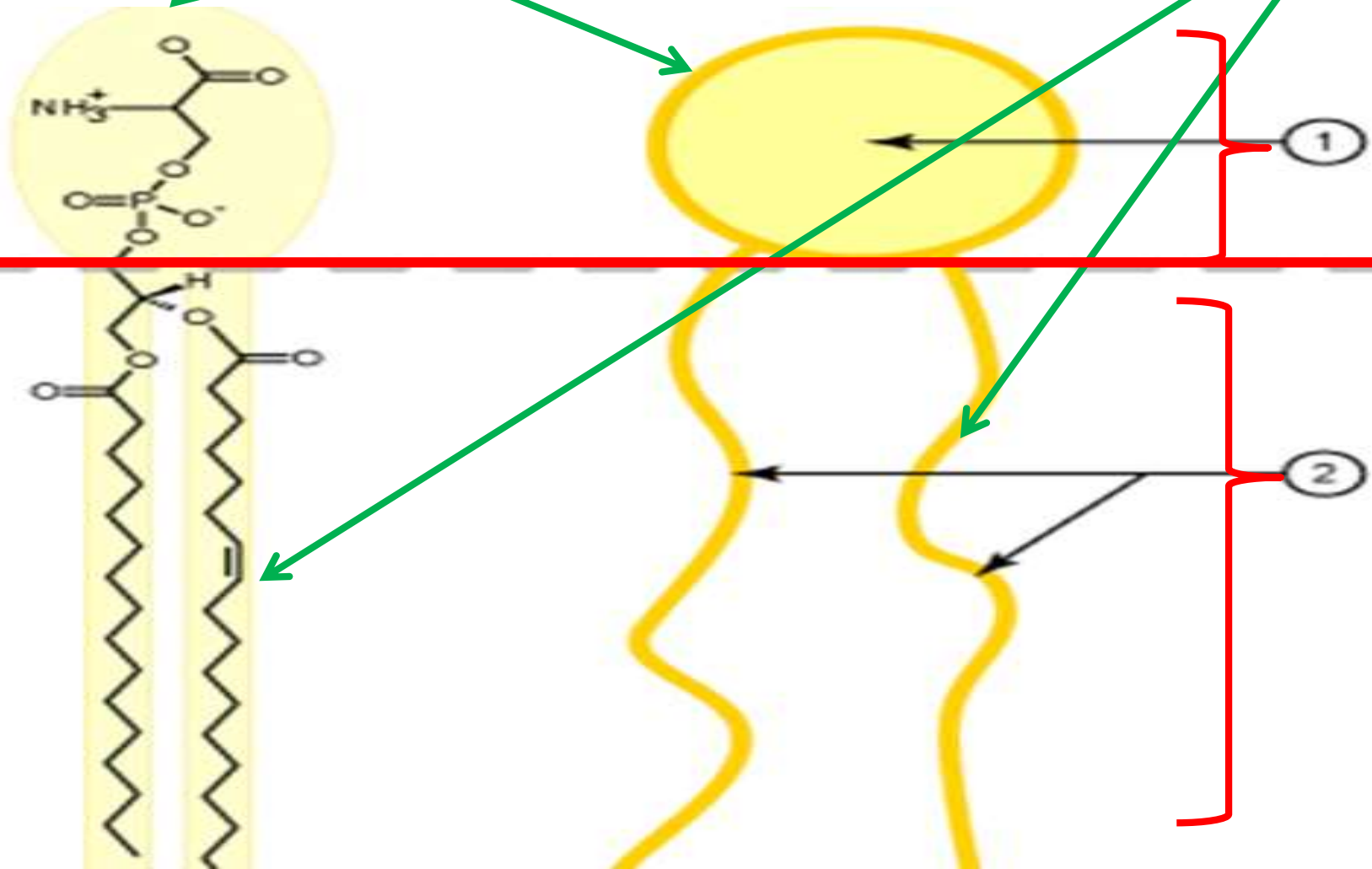


Structure des phospholipides

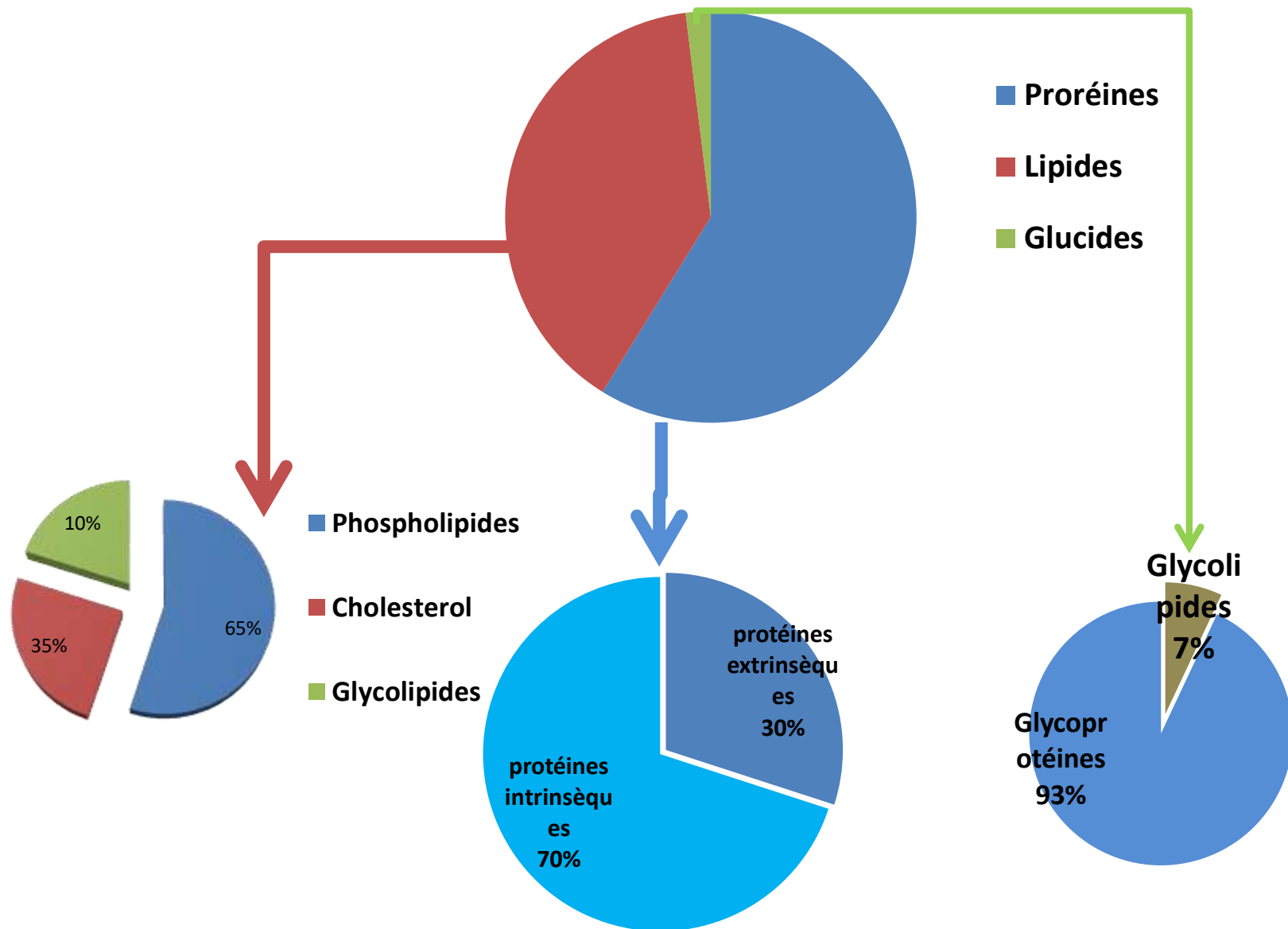


Représentation schématique de quelques **phosphoglycérides**

Ce sont des lipides **amphiphiles** constitués d'une tête polaire hydrophile (1) et de deux queues aliphatiques hydrophobes (2)



2. Composition biochimique



2.1. Lipides membranaires

```
graph TD; A[2.1. Lipides membranaires] --- B[2.1.1. Phospholipides]; A --- C[2.1.2. Cholestérol]; A --- D[2.1.3. Glycolipides]; B --- E[a. Phosphoglycérides]; B --- F[b. Sphingolipides];
```

2.1.1. Phospholipides

a. Phosphoglycérides

b. Sphingolipides

2.1.2. Cholestérol

2.1.3. Glycolipides

Lipides membranaires

Il existe 2 types de phospholipides

a) Phosphoglycérides

structure de base constituée d'une tête de glycérol liée à deux acides gras et à un groupe phosphate

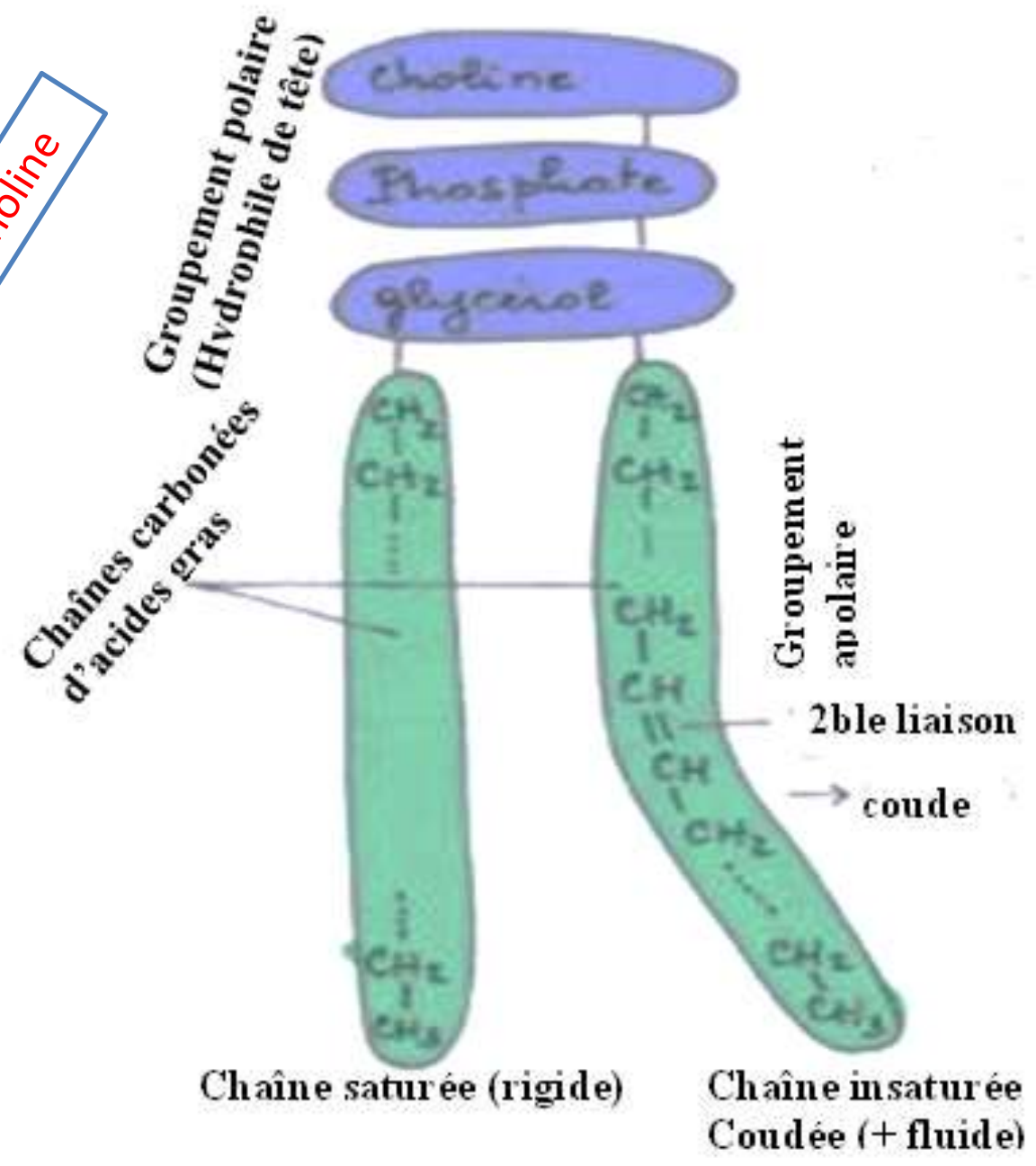
Ex.: Phosphatidylcholine, phosphatidyléthanolamine, phosphatidylsérine et la phosphatidylinositol

b) Sphingolipides

structure de base composée d'une sphingosine (un acide aminé modifié) liée à un acide gras et à un groupe phosphate.

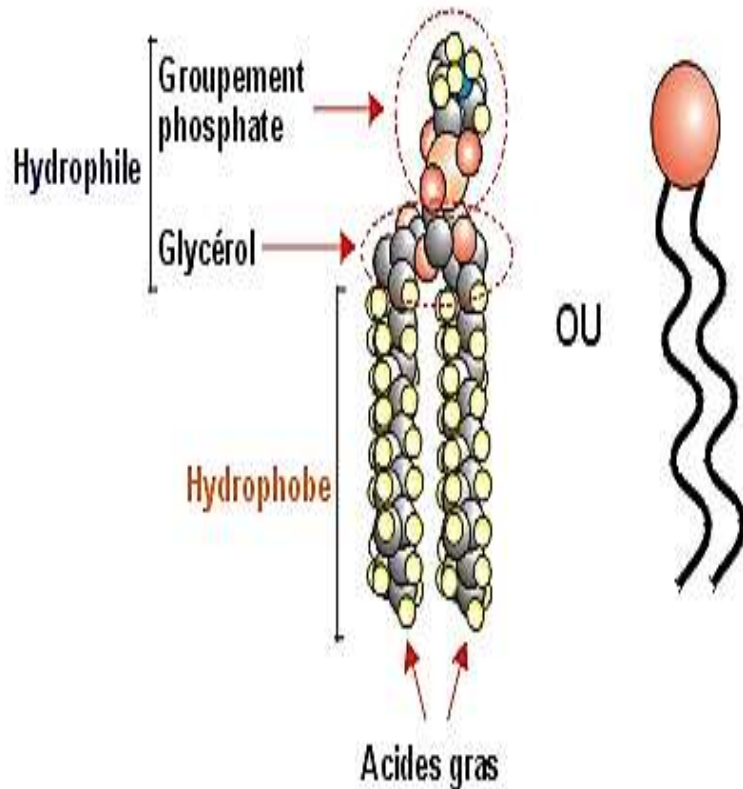
Ex: La sphingomyéline est un exemple courant de sphingolipide

Phosphatidyl**choline**

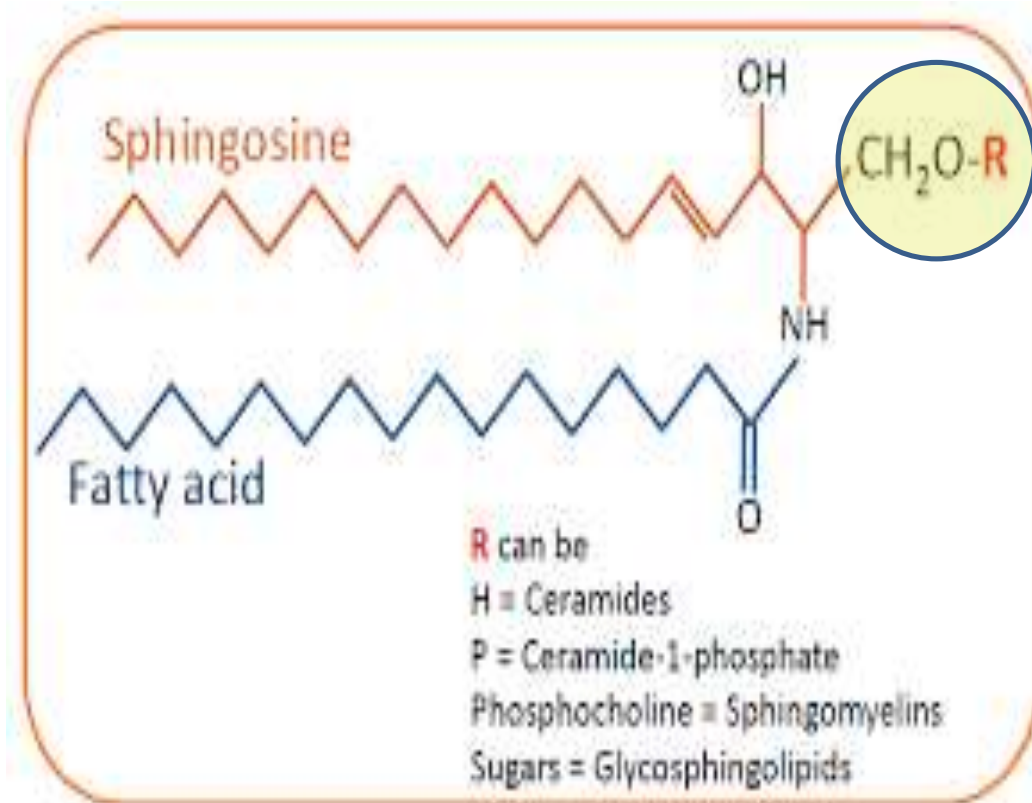


Les phospholipides

a. Les phosphoglycérides



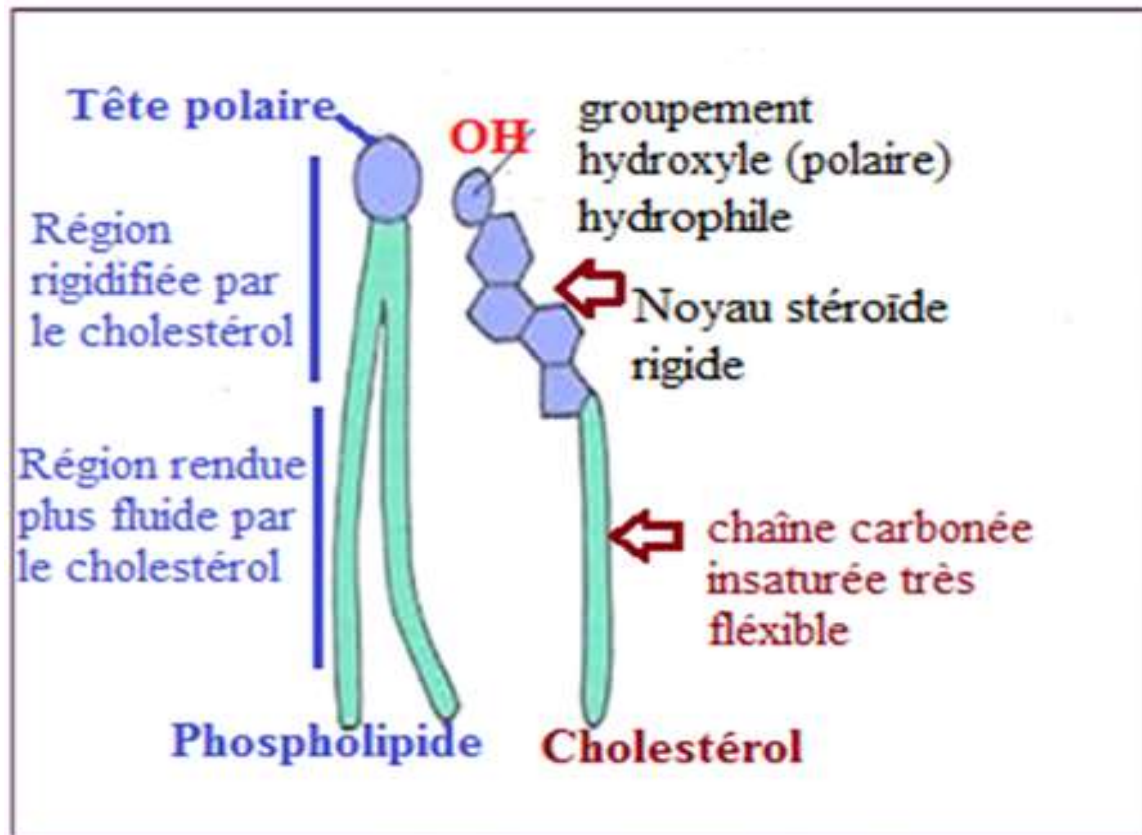
b. Les sphingolipides



الخصائص ثنائية القطب والمحبة للدهون الغشائية

Propriétés bipolaires et amphiphiles des lipides membranaires

Propriétés bipolaires et amphiphiles = une région hydrophobe, et une région hydrophile, capable d'interagir avec l'eau

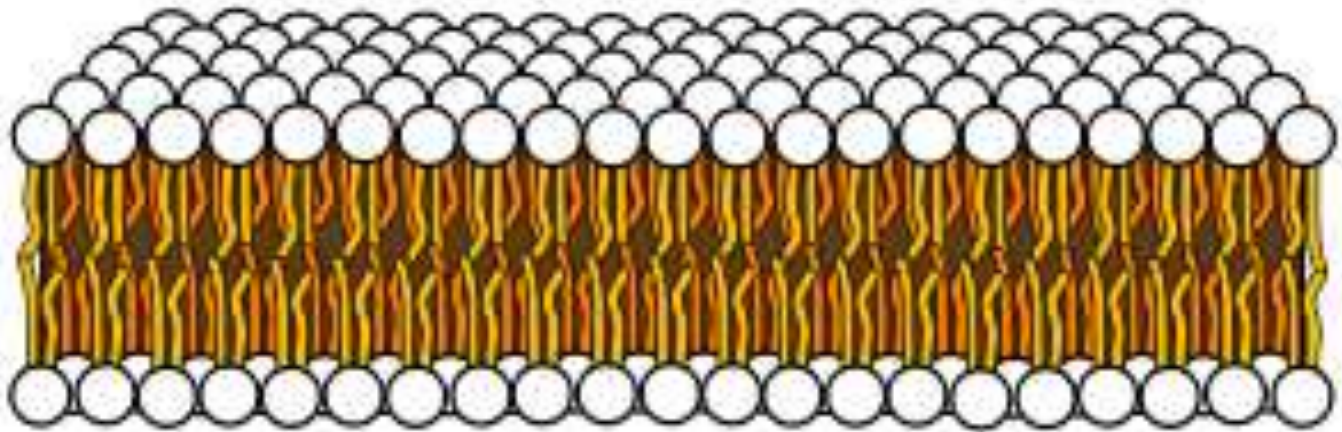


التجميع الذاتي للدهون

Autoassemblage des lipides

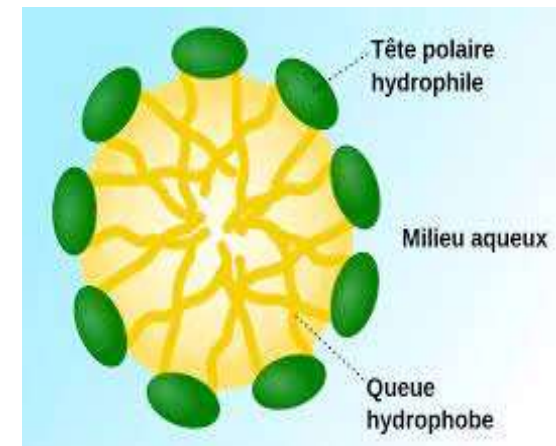
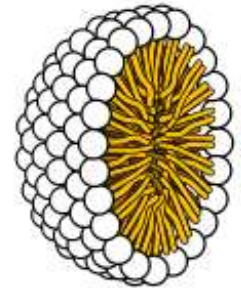
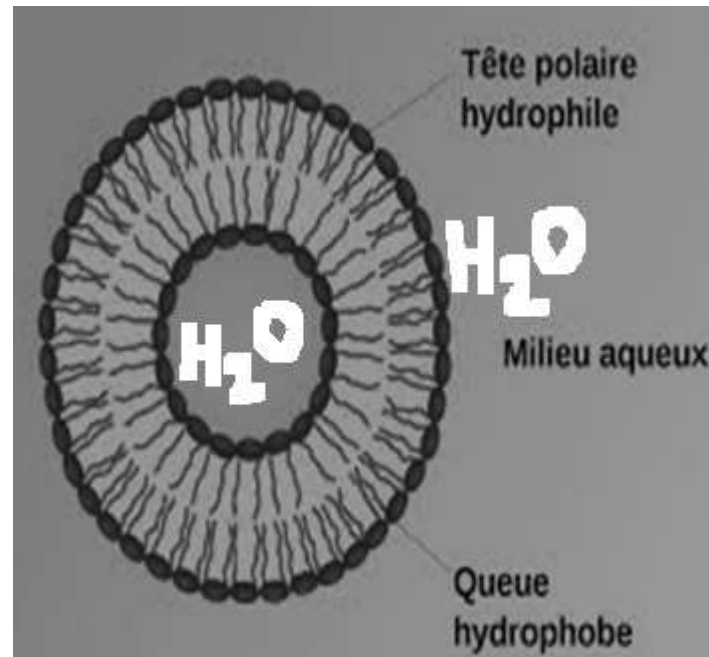
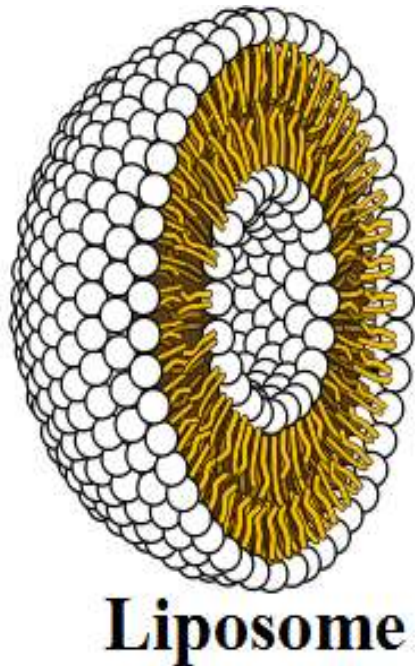
تتمتع الدهون بالقدرة على تجميع نفسها لتشكل طبقة ثنائية الدهون، وهي الأساس البنيوي للأغشية البيولوجية.

Les lipides ont la capacité de s'autoassembler pour former une **bicouche lipidique**, la base structurelle des membranes biologiques.



Bicouche lipidique

Certains lipides, comme les phospholipides, peuvent s'autofermer pour former des vésicules, des structures fermées sphériques, en raison de leur nature **amphipathique**.



Mouvement des lipides dans la bicouche

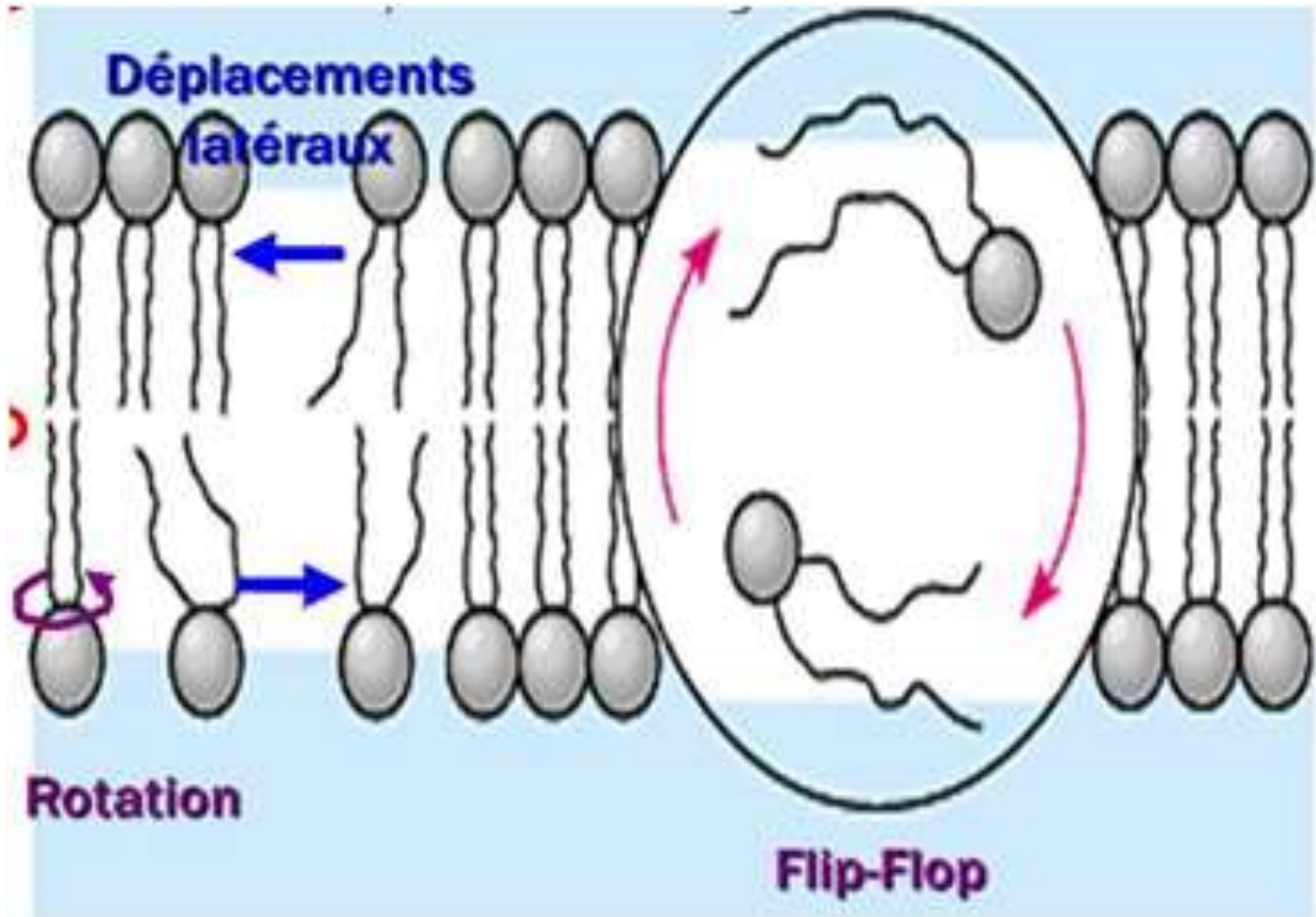
Les lipides se déplacent dans la double couche lipidique par 3 types de MVTs

1) Diffusion latérale : les MVTs de déplacement latéraux sont rapides ($1\mu\text{m/s}$ à 37°C , soit $\approx 10^{-8}\text{ cm/s}$).

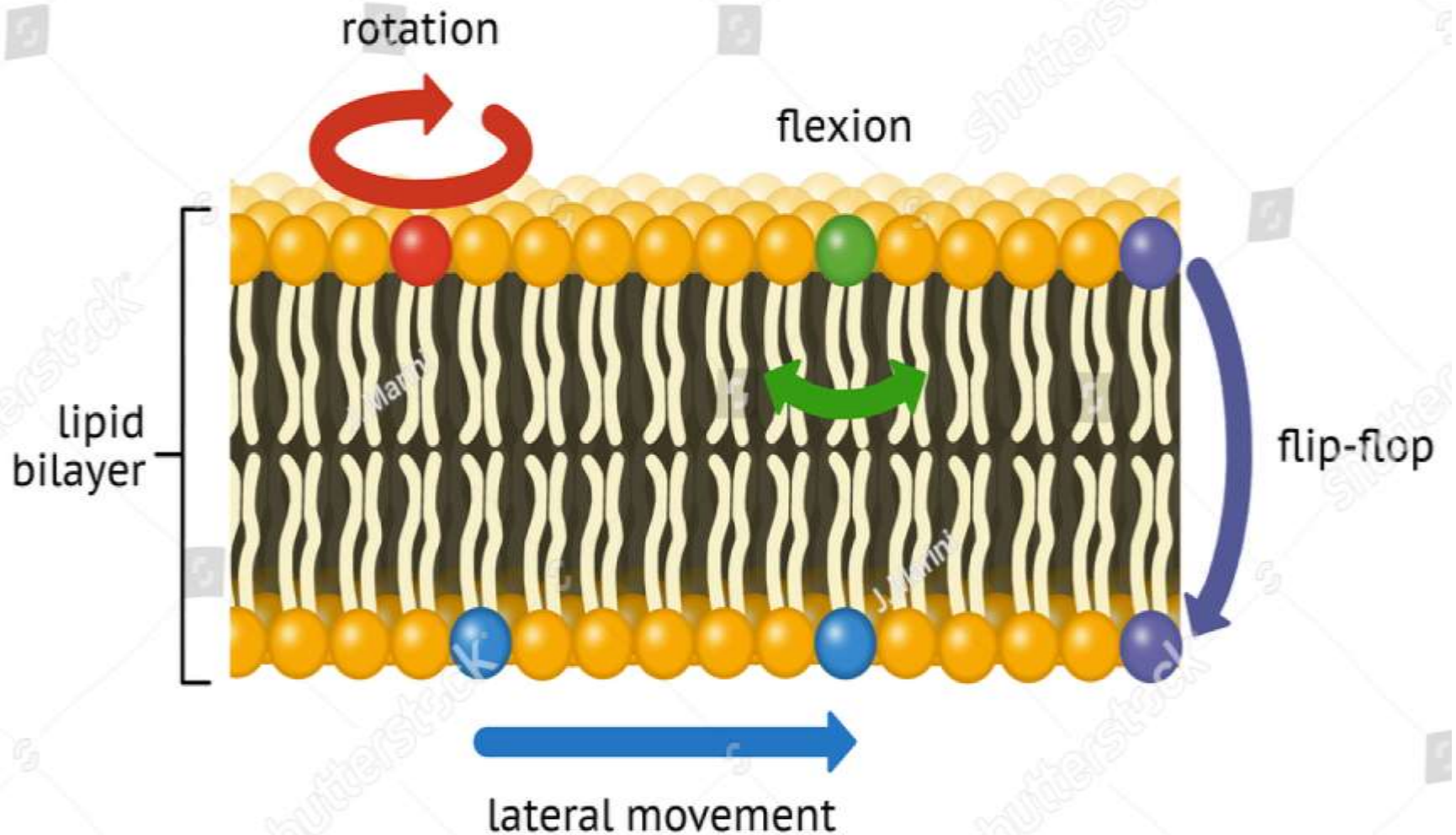
2) MVTs de rotation : les lipides tournent fréquemment sur eux-mêmes autour de leur axe longitudinal.

3) MVTs de bascule (ou *flip-flop*): les lipides peuvent passer d'une bicouche à l'autre par 1 MVT de bascule. MVT lent : la tête polaire du lipide doit traverser le cœur hydrophobe de la bicouche.

Fluidité d'une membrane



MOVEMENT OF PHOSPHOLIPIDS



Deux grands types de protéines membranaires :

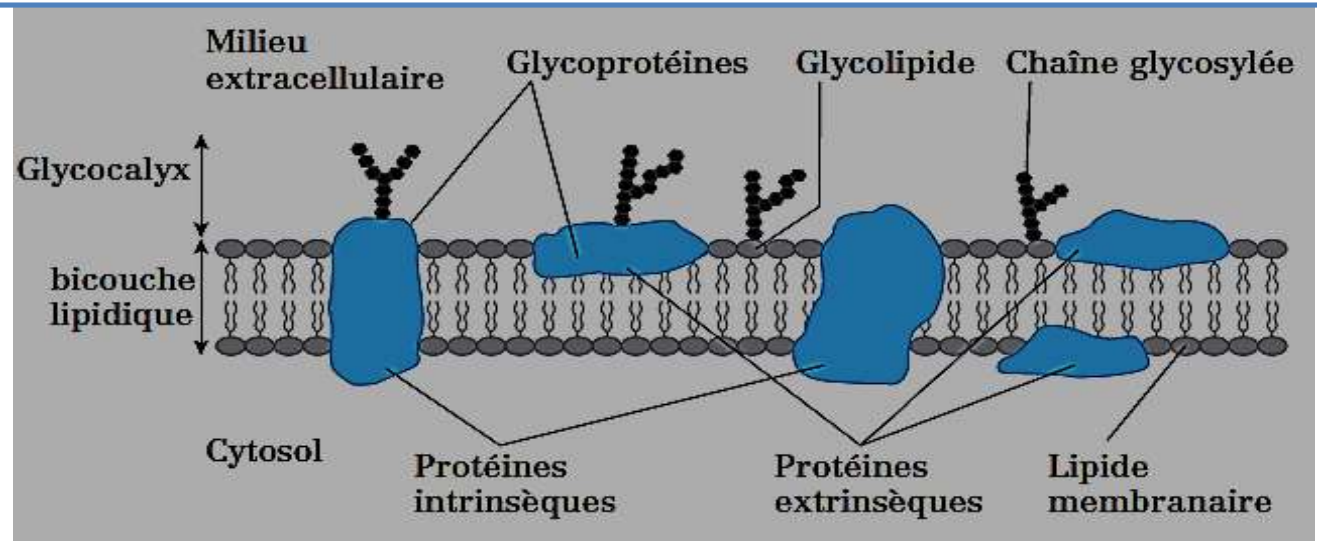
نوعان رئيسيان من البروتينات الغشائية :

1) البروتينات الطرفية أو الخارجية (extra et intra cellulaire), غير مدمجة في الطبقة الدهنية الثنائية وغالبًا ما تكون مرتبطة بالبروتينات الجوهريّة

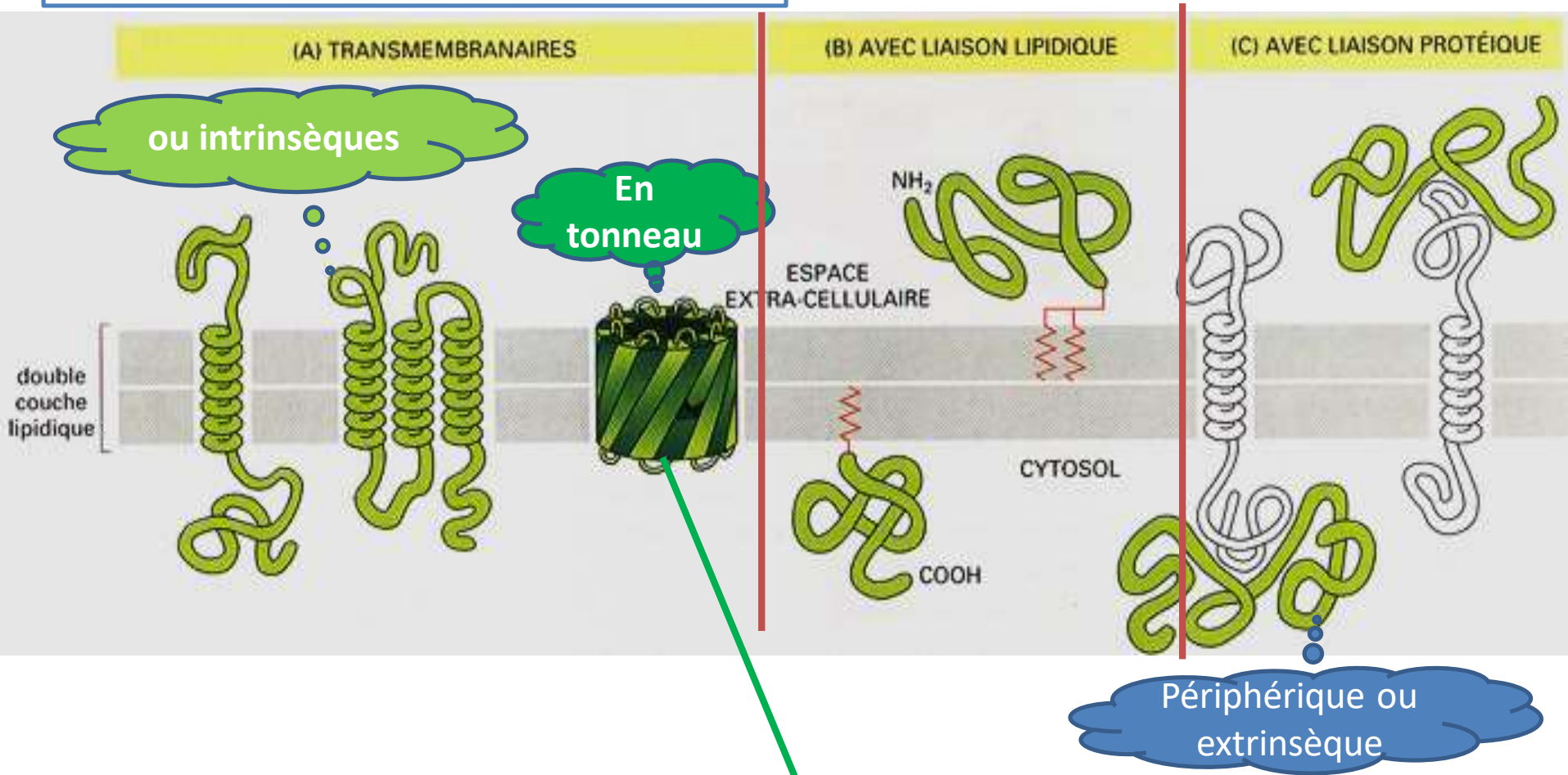
1) Les protéines périphériques ne sont pas intégrées à la bicouche lipidique.

2) البروتينات الجوهريّة أو (عبر الغشائية) أو الضمنية التي تخترق النواة الكارهة للماء في الطبقة الدهنية الثنائية.

2) Protéines intrinsèques, transmembranaires ou intégrées qui pénètrent dans la couche hydrophobe de la bicouche lipidique



Protéines membranaires



- ❑ Les protéines membranaires **en tonneau β برمیل** (ou **β -barrel**) se trouvent principalement dans les membranes externes **des bactéries à Gram négatif**;
- ❑ Membrane externe **des mitochondries** et **chloroplaste** (transport passif)

شرح تفصيلي مبسط

- **تكوين البروتين:** تحتوي البروتينات المتكاملة التي تخترق الغشاء على مناطق محبة للماء وأخرى كارهة للماء.
- **آلية الاختراق:** عندما يخترق البروتين الطبقة الدهنية الثنائية، فإن الجزء الملامس للغشاء يكون كارهًا للماء (غير قطبي)، مما يسمح له بالارتباط مع الذيل الكاره للماء لدهون الغشاء.
- **المناطق المحبة للماء:** تكون المناطق المحبة للماء (القطبية) من البروتين معرضة للخارج أو الداخل للخلية، في بيئة مائية، حيث تتفاعل مع جزيئات الماء.
- **أمثلة على البروتينات عبر الغشائية:** تشمل هذه البروتينات قنوات الأيونات، والناقلات، والمستقبلات، بالإضافة إلى بروتينات ذات وظائف إنزيمية.

- **Mécanisme de pénétration :** Lorsqu'une protéine traverse la bicouche lipidique, sa portion liée à la membrane est hydrophobe (non polaire), ce qui lui permet de se lier à la queue hydrophobe du lipide membranaire.
- **Régions hydrophiles :** Les régions hydrophiles (polaires) de la protéine sont exposées à l'extérieur ou à l'intérieur de la cellule, dans un milieu aqueux, où elles interagissent avec les molécules d'eau.
- **Exemples de protéines transmembranaires :** Il s'agit notamment des canaux ioniques, des transporteurs et des récepteurs, ainsi que des protéines à fonction enzymatique.

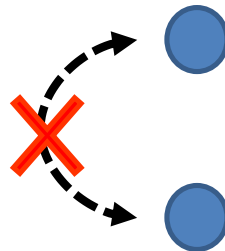
حركة البروتينات Mobilité des protéines

□ 2 types de Mvmts possibles pour les protéines :

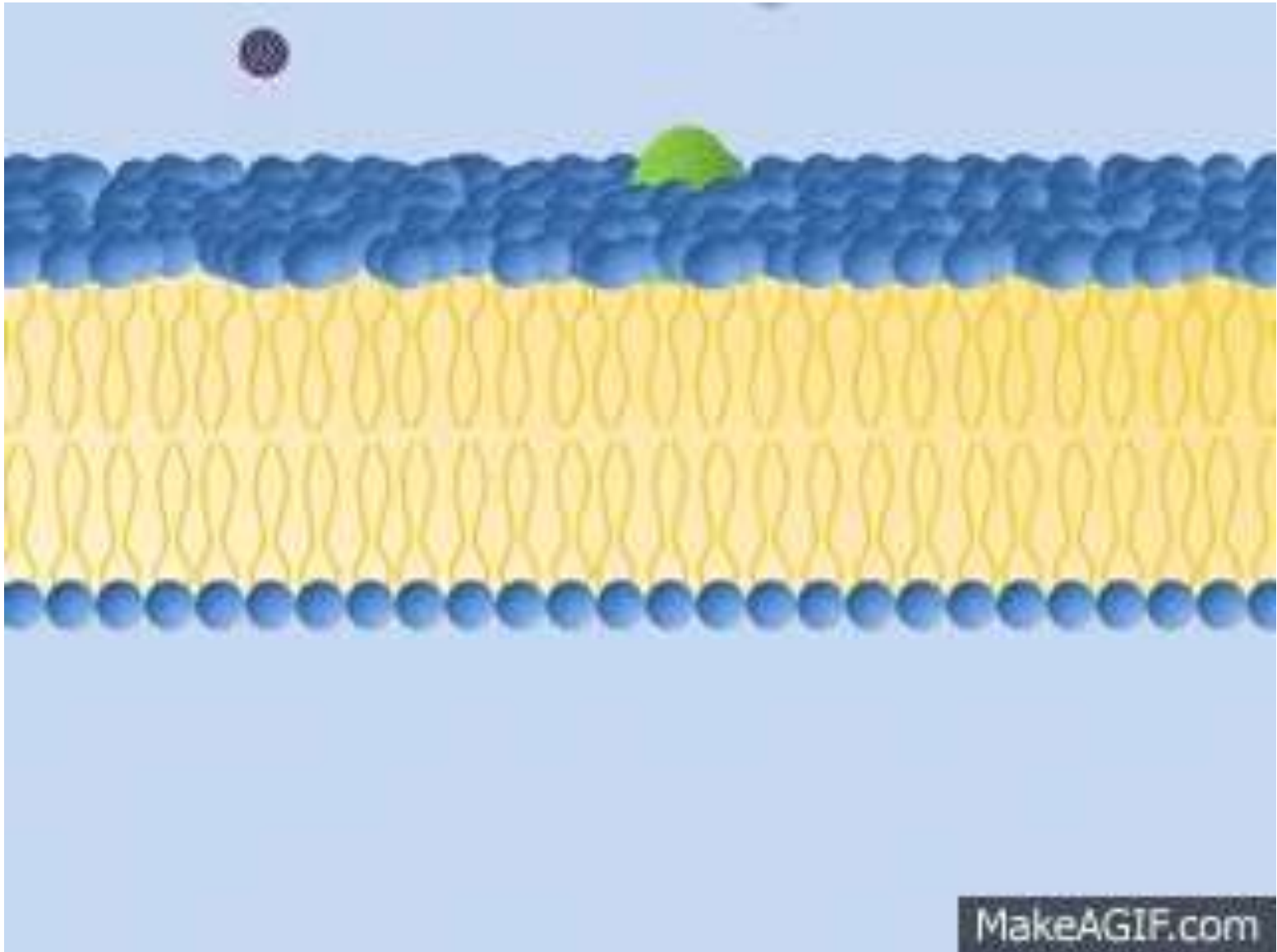
1) Mouvement de rotation  الحركة الدائرية

2) Diffusion latérale  الحركة الجانبية

- Pas de *flip-flop*



Mouvement des protéines



خصائص الغشاء **Propriétés des protéines membranaires**

a) الميوعة Fluidité: تعتمد ميوعة البروتينات الغشائية على بنيتها ثلاثية الأبعاد وتفاعلها مع الدهون المحيطة.

b) التثبيت Ancrage : يمكن تثبيت بروتينات الغشاء على الغشاء عن طريق بروتينات GPI الكارهة للماء أو حلزونات ألفا أو المجالات عبر الغشاء الكارهة للماء

GlycosylPhosphatidylinositol : Le (GPI) هو مرساة دهنية تسمح بتثبيت بروتينات معينة على الغشاء البلازمي للخلايا

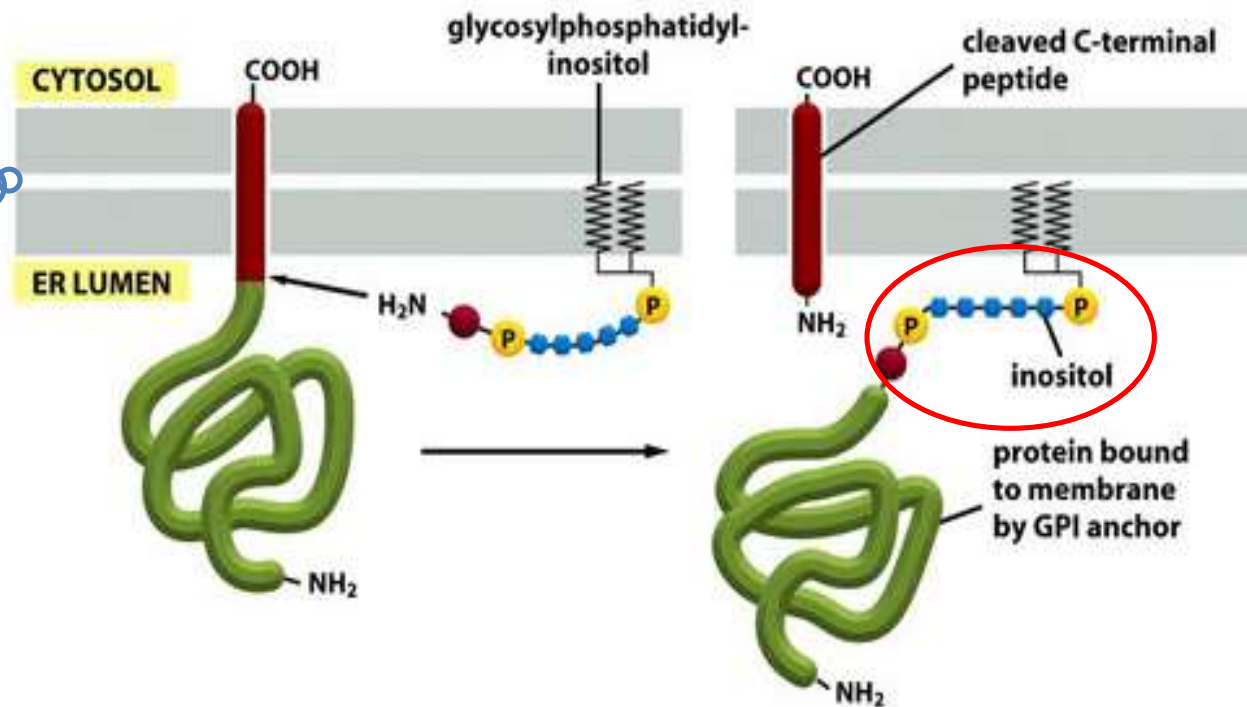
Le GPI est composé de plusieurs éléments :

- 1. Un phosphatidylinositol** → Un lipide ancré dans la membrane.
- 2. Un motif glycanique (oligosaccharide)** → Souvent constitué de **mannose** et de **glucosamine**.
- 3. Un pont phosphoéthanolamine** → Qui relie le GPI à la protéine.

- ❑ Présent principalement sur la **face externe de la MP** des cellules eucaryotes.
- ❑ Permet l'ancrage de protéines membranaires sans passer par une région **transmembranaire**.
- ❑ Impliqué dans la **signalisation cellulaire**, l'adhésion et la reconnaissance cellulaire.

❑ يتواجد بشكل أساسي على السطح الخارجي للغشاء البلازمي للخلايا حقيقية النواة. يسمح بتنشيط بروتينات الغشاء دون المرور عبر الغشاء. يشارك في إشارات الخلايا، والالتصاق، والتعرف على الخلايا..

Covalent attachment of a GPI-Aps within the lumen ER



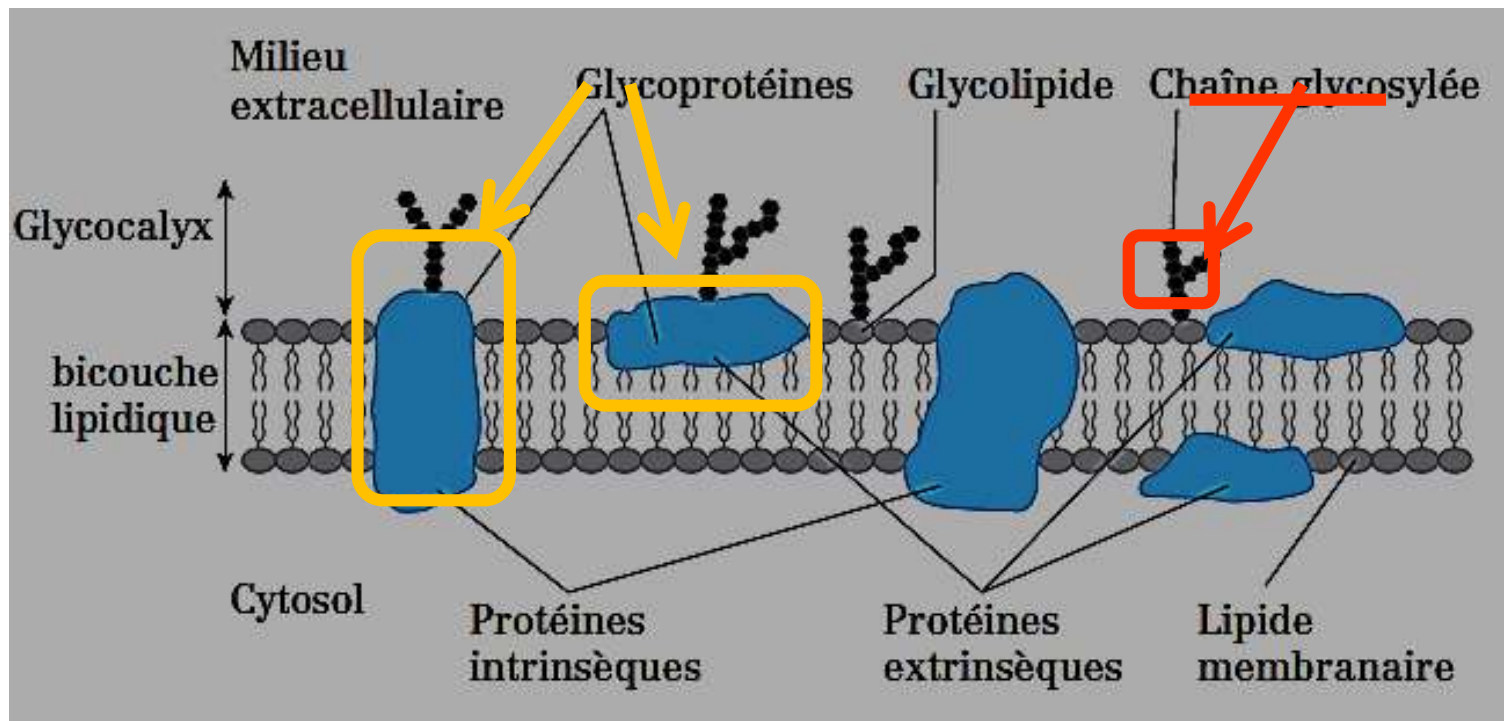
Pathologie associées

- ❑ Certaines enzymes, récepteurs et protéines d'adhésion utilisent cette ancre (ex : protéines du système immunitaire comme CD55 et CD59)
- ❑ L'acétylcholinestérase (enzyme qui dégrade l'acétylcholine dans la synapse) est une protéine ancrée à la membrane via une ancre GPI.
- ❑ Les défauts dans l'ancrage GPI peuvent causer des maladies, comme l'hémoglobinurie paroxystique nocturne (HPN), due à un défaut de fixation de protéines régulatrices du complément. Comme CD55 et CD59,
- ❑ L'HPN est une maladie grave caractérisée par une destruction excessive des globules rouges due à une mutation acquise du gène PIGA. Elle se manifeste par une hémoglobinurie matinale, une anémie, et un risque élevé de thromboses.

❑ الهيموغلوبين النقيوي الليلي (PNH) مرض خطير يتميز بتدمير مفرط لخلايا الدم الحمراء نتيجة طفرة مكتسبة في جين PIGA. يتجلى هذا المرض بسبب فقر دم، وارتفاع خطر الإصابة بالجلطات.

Les glucides membranaires sont liés soit

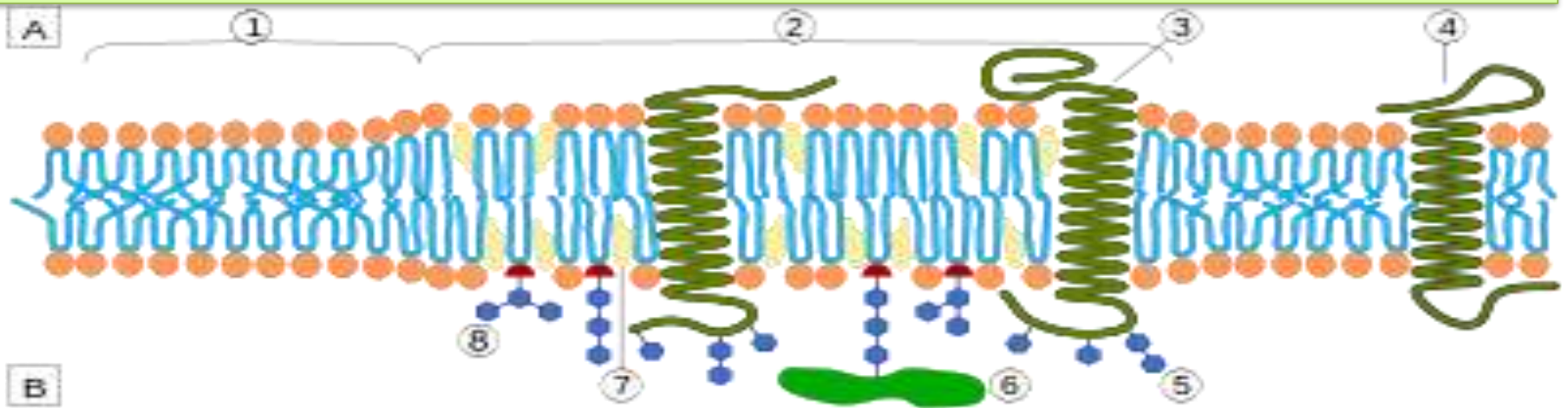
- ❑ À des lipidiques : **glycolipides**
- ❑ Ou à des protéines : **glycoprotéines et protéoglycanes**



Microdomaine membranaire= Radeau lipidique (lipid rafts)
الطوافة الدهنية

• إنه مجال صغير من غشاء الخلية غني بالسفينجوليبيدات والكوليسترول وبعض البروتينات المحددة

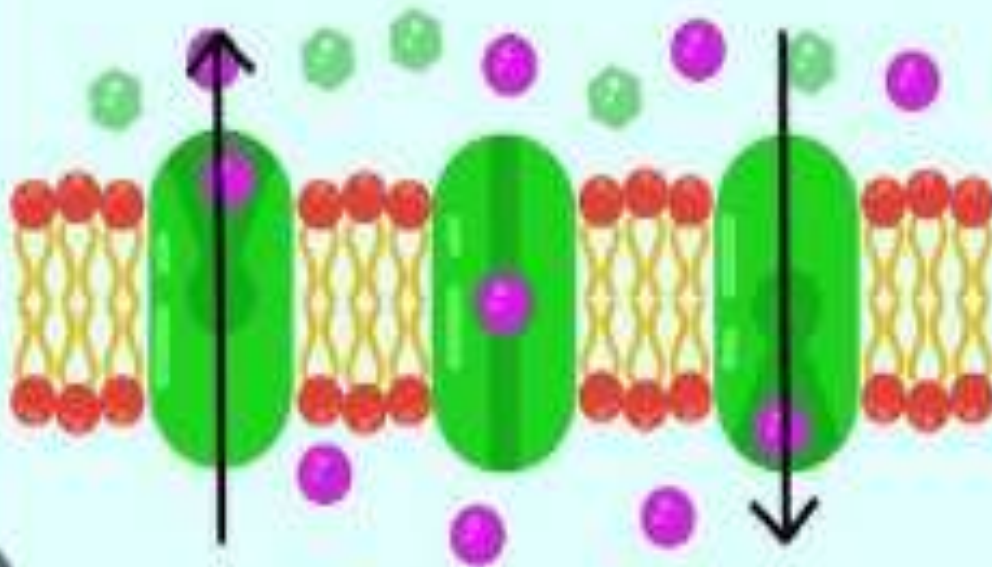
- C'est un microdomaine de la membrane cellulaire riches en sphingolipides, en cholestérol et en certaines protéines spécifiques



1. Membrane cellulaire sans radeau lipidique,
 2. Radeau lipidique
 3. Radeau lipidique associé à des protéines transmembranaires,
 4. Protéines transmembranaires,
 5. Modification post-traductionnelle glycosylation (glycoprotéines et glycolipides),
 6. GPI-anchored protein,
 7. Cholestérol,
 8. Glycolipide.
- A?, B?

نفاذية الغشاء La Fonction de Perméabilité cellulaire

Comment la cellule fait-elle circuler ses matériaux ?



Mécanismes de transport cellulaire



Notion de base

- Soluté, solvant et Solution

Solvant + Soluté
= Solution

Principe de la diffusion
(simple et facilitée)

Transport passif

Principe de l'Osmose

- Transport membranaire

Transport actif

Primaire
(pompe)

Secondaire
(Cotransport)

Transport vésiculaire (bulk
transport) ou Cytotique

Exo et Endocytose

مفاهيم قاعدية

• Soluté, solvant et Solution

المذيب + المذاب =
المحلول

مبدأ الانتشار (البسيط
والميسر)

النقل الميسر

مبدأ
التناضح Osmose

• النقل الغشائي

النقل النشط

الابتدائي
(مضخة)

الثانوي
(المشترك)

النقل الحويصلي (bulk transport) ou Cytotique

الإخراج الخلوي والبلعمة الخلوية

Perméabilité sélective de la membrane plasmique: certaines molécules passent **facilement**, d'autres **difficilement** et **pas du tout** pour d'autres.

Le Transport Membranaire

↪ Deux types de transport

❖ TRANSPORT PASSIF

- ✓ Diffusion simple
- ✓ Diffusion facilitée

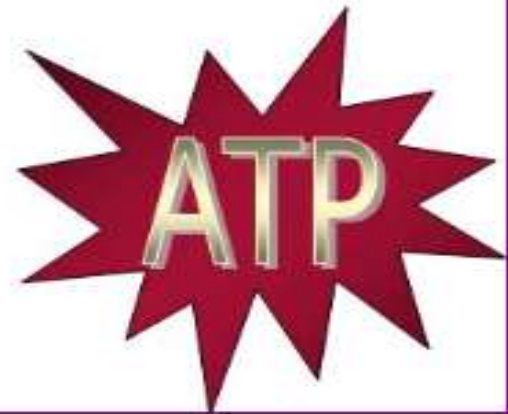
Sans ATP



❖ TRANSPORT ACTIF

- ✓ Primaire (pompes)
 - ✓ Secondaire (cotransport)
 - ✓ Endocytose
 - ✓ Exocytose
- } Transport vésiculaire

Avec ATP



Diffusion simple par bicouche lipidique

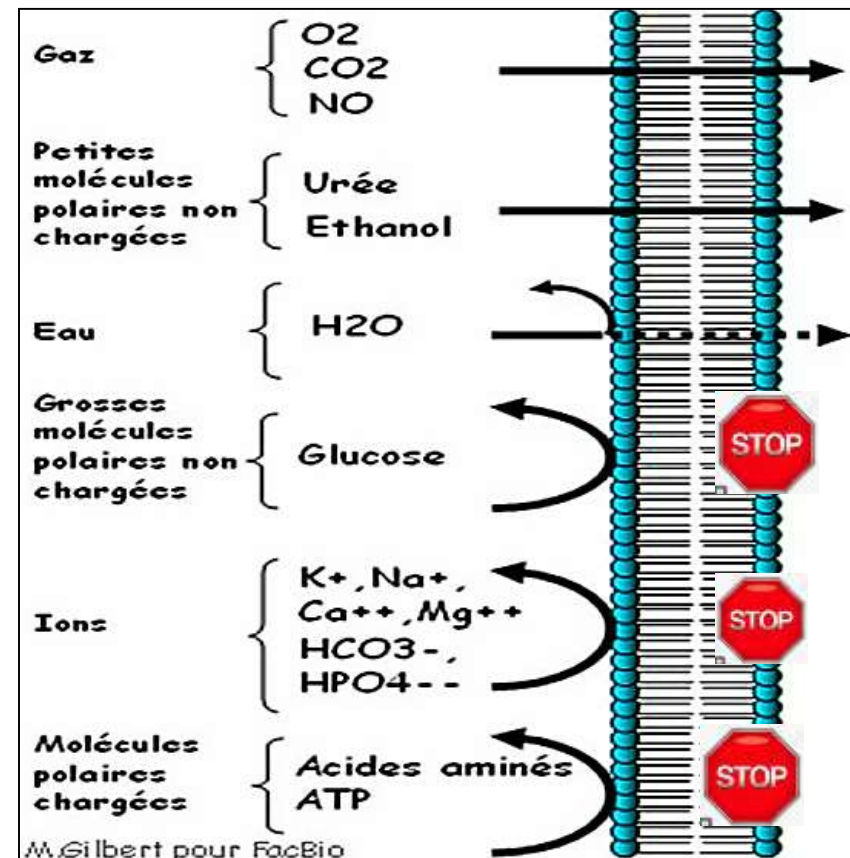
الانتشار البسيط عبر الطبقة الدهنية الثنائية

مرور الجزيئات عبر الغشاء حسب تدرج التركيز، دون استهلاك الطاقة

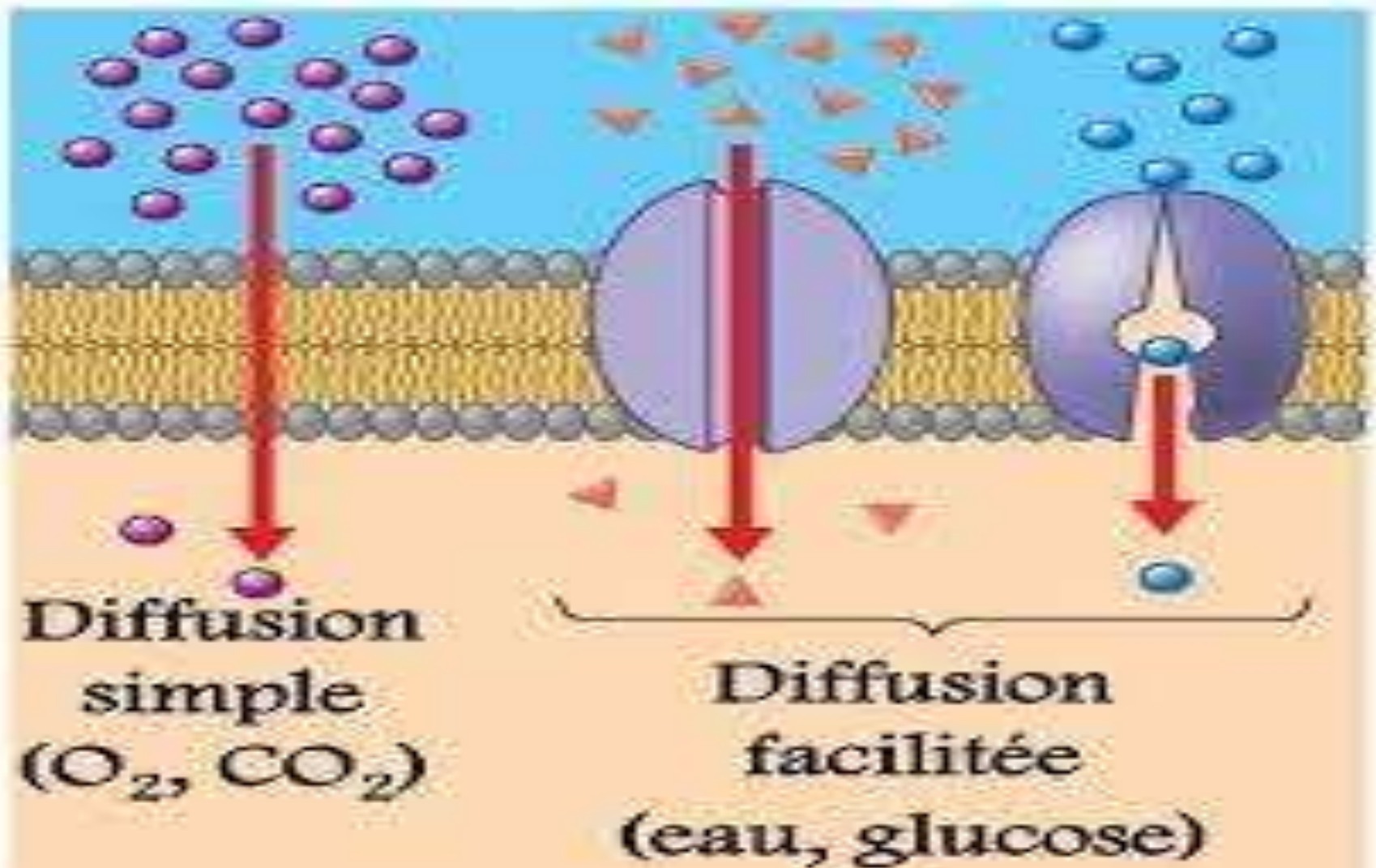
La Vitesse de diffusion d'une substance croît de manière linéaire en Fonct° de la ΔC de cette substance entre le $\frac{1}{2}$ extra-cellulaire et le $\frac{1}{2}$ cytosolique.

Passage facile par diffusion passive: Les gazes (O_2 et CO_2) et les petites molécules polaires non chargées (urée, éthanol), les vitamines liposolubles (A, D, E). Il s'agit d'un mécanisme relativement lent.

Passage difficile ou impossible: Molécules hydrophiles (Eau et grosses molécules : Glucose, AA, et les ions Na^+ , K^+ ..)



Diffusion simple et diffusion facilitée



Classification du transport selon la taille des molécules

Microtransports (Molécules simples)

النقل السلبي

النشر البسيط

النشر البسيط بواسطة بروتين كنال

النشر الميسر

النشر النشط الابتدائي

النشر النشط الثانوي

Translocation en groupe

النقل النشط

Endocytose

الادخال

Phagocytose

البلعمة

Pinocytose

الاحتساء

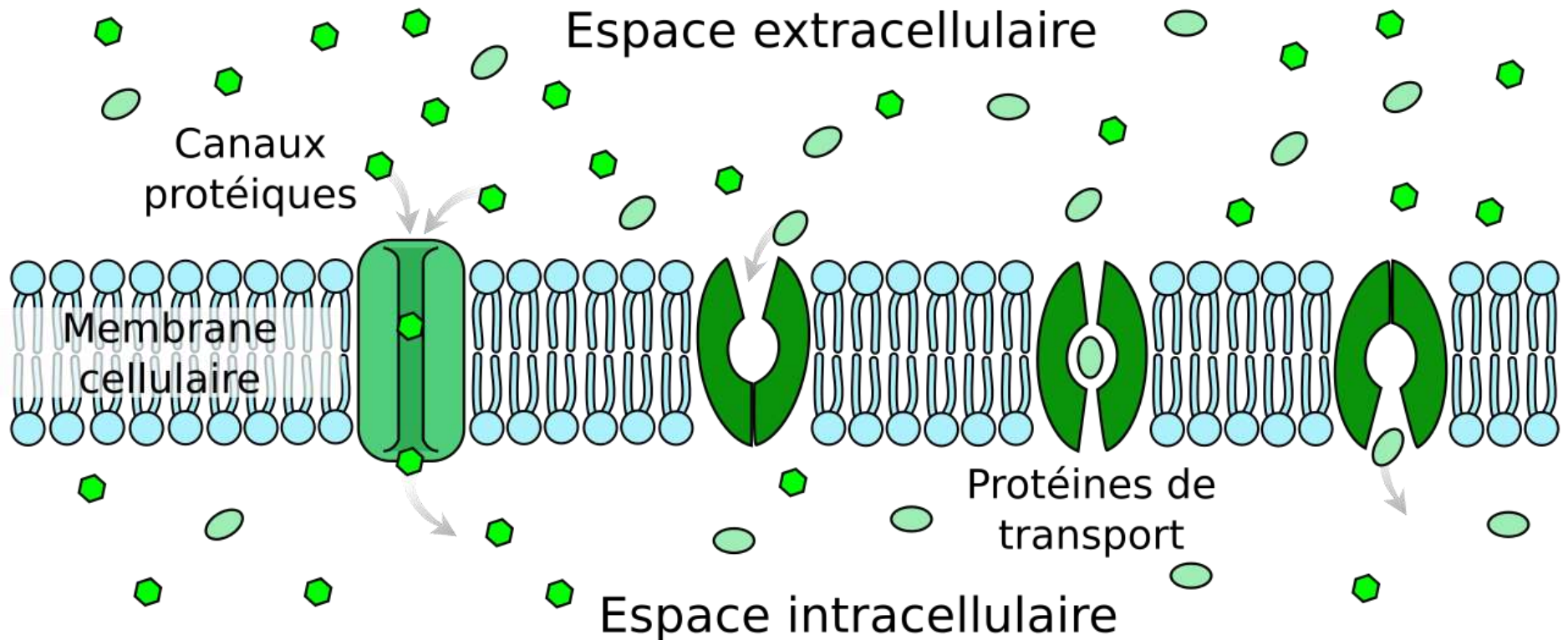
Exocytose

الإخراج الخلوي

Macrotransferts
(pour Macromolécules)

الانتشار الميسر la diffusion facilitée

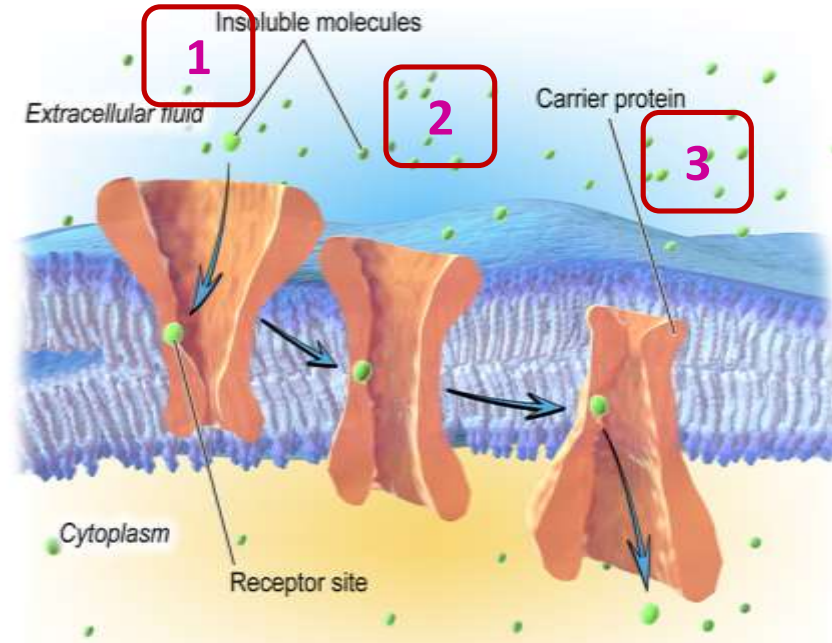
- الانتشار الميسر هو آلية نقل سلبية تسمح للجزيئات بالمرور عبر الغشاء البلازمي عبر بروتينات النقل (القنوات أو الناقلات) دون استهلاك ATP. يُسرّع هذا النوع من الانتشار نقل الجزيئات التي لا تستطيع عبور الغشاء بحرية بسبب حجمها أو شحنتها.



Caractéristiques de la diffusion facilitée خصائص النشر الميسر

- ☐ استخدام بروتينات النقل عكس الانتشار البسيط, النشر الميسر يتطلب قنوات أيونية أو نواقل مختصة .
- ☐ في اتجاه تدرج التركيز من الوسط الأعلى تركيز إلى الأقل
- ☐ التخصص كل ناقل خاص بجزيء أو نوع من الجزيئات.

1. Transporteur fermé
2. Fixation de la molécule sur le site récepteur
3. Ouverture et passage de la molécule

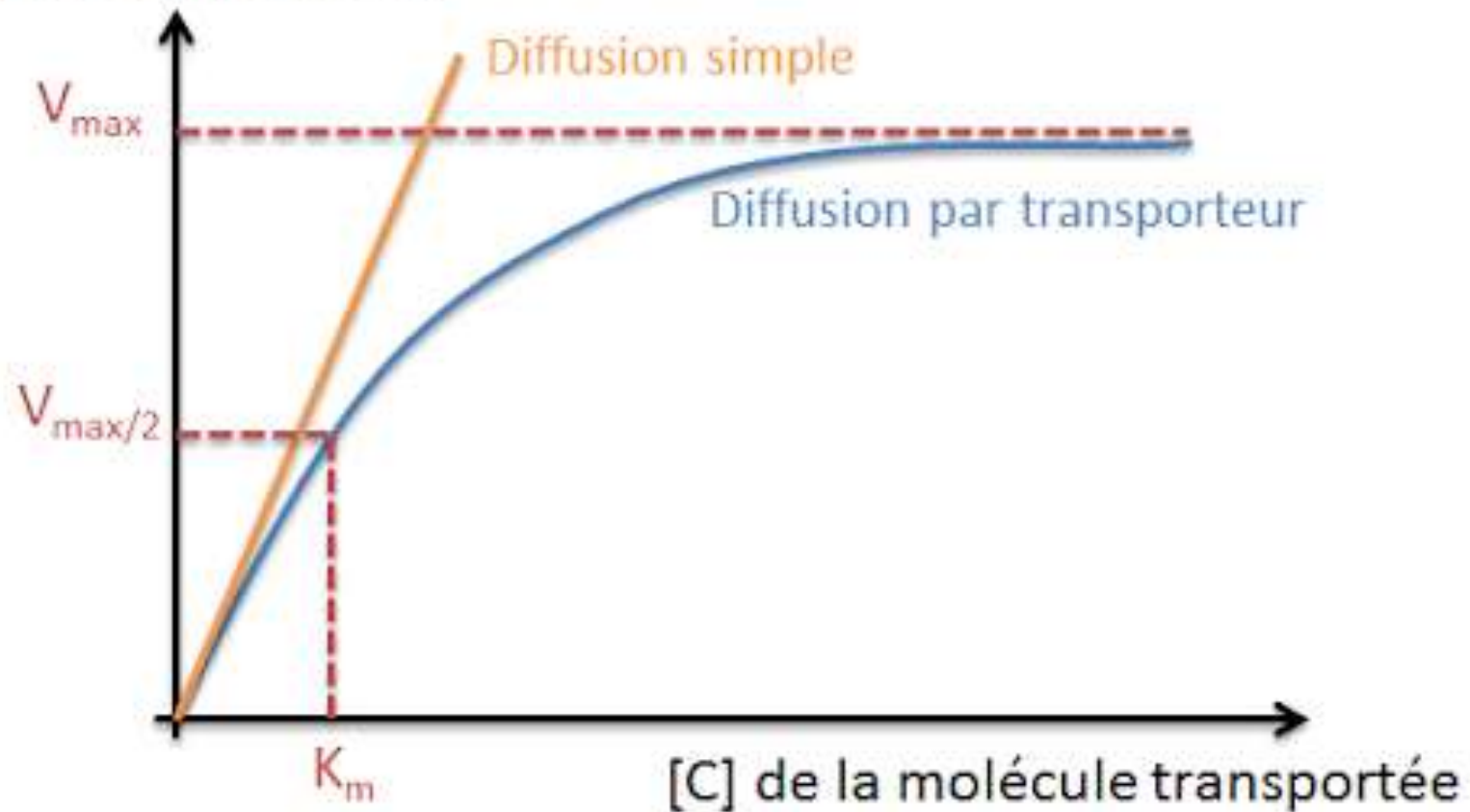


Facilitated Diffusion

D'autres Caractéristiques de la diffusion facilitée ميزات أخرى للانتشار الميسر

□ التشبع المحتمل → عندما يكون الناقل عند أقصى سعته، تصل سرعة النقل إلى حد معين (على عكس الانتشار البسيط).
Saturation des transporteurs

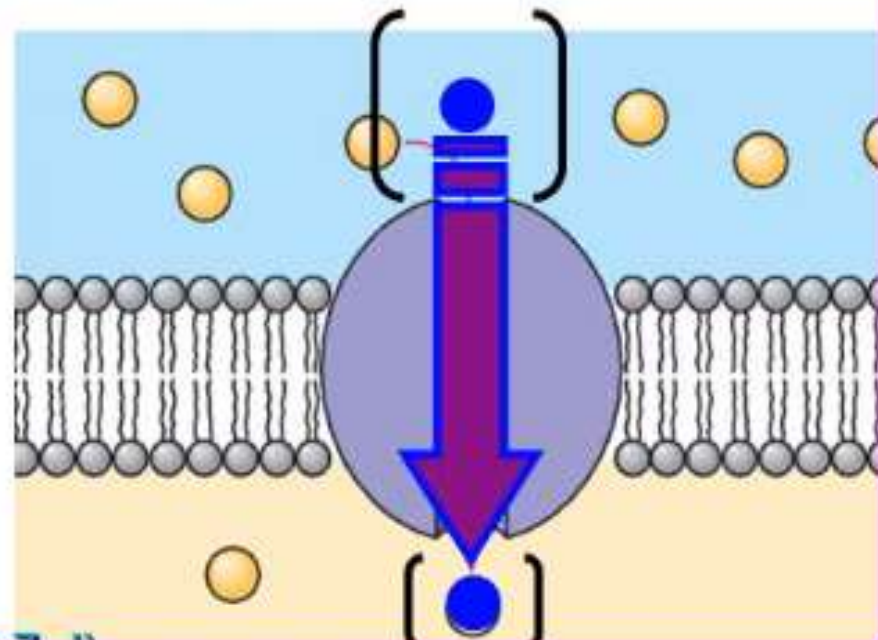
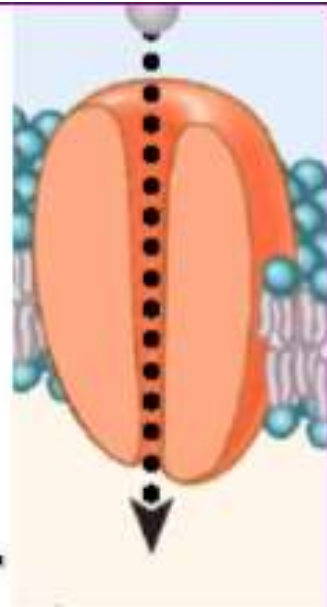
Vitesse de transport



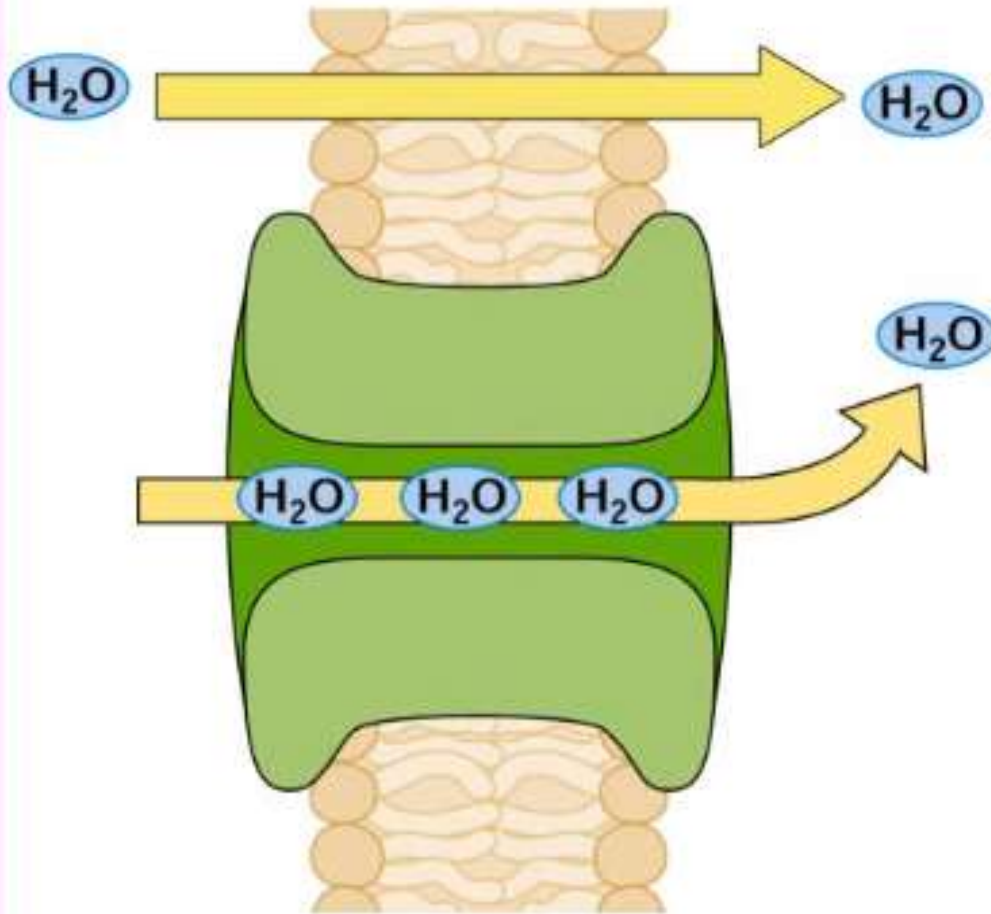
Diffusion facilitée par les aquaporines

Aquaporines :

- ❖ Protéines de transport
- ❖ Spécifiques à **l'EAU**
- ❖ L'eau diffuse suivant son [gradient].
- ❖ **Osmose**



Diffusion de l'eau par les aquaporines



Lentement:

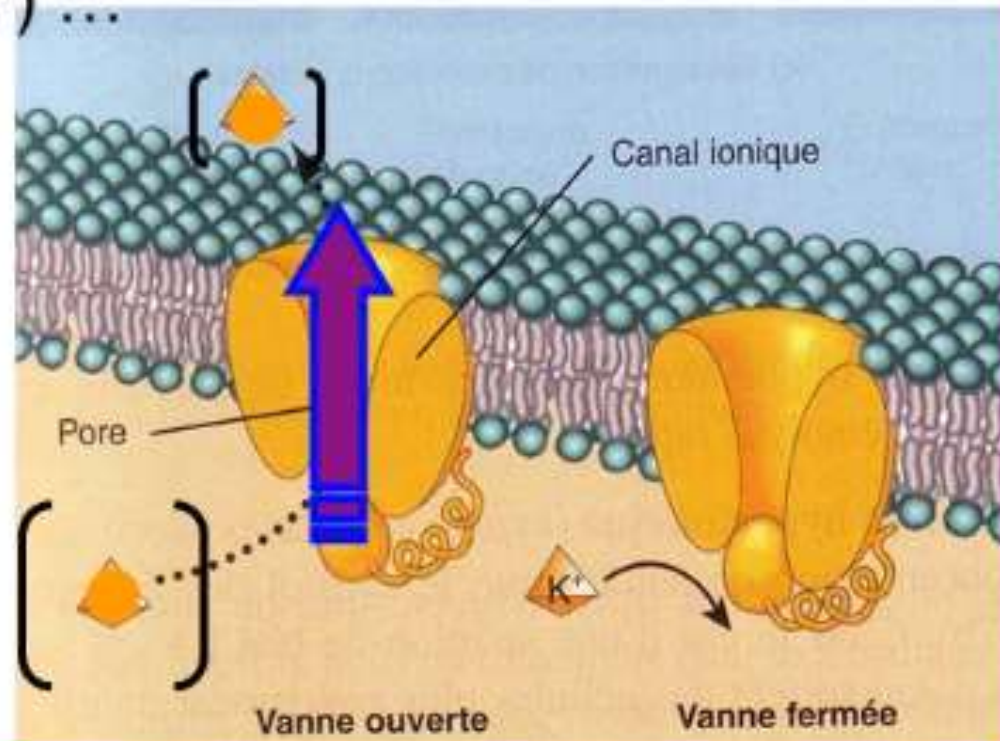
↪ Par diffusion à travers la membrane

Rapidement:

↪ **Aquaporines** peuvent contrôler le débit d'eau.

↪ Canaux ioniques :

- ❖ Protéines de transport
- ❖ Transportent des **ions spécifiques**
 - ✓ Canaux calciques (Ca^{2+}), sodiques (Na^{+}), potassiques (K^{+}) ...
- ❖ Ouverture et fermeture sont **contrôlées** :
 - ✓ Mécanique
 - ✓ Chimique
 - ✓ Électrique



□ أنواع النقل على مستوى الغشاء

□ يُطلق على بروتين النقل الذي لا يسمح بمرور جزيء واحد اسم ناقل موحد Uniport

□ البروتين الناقل الذي يسمح بمرور جزيئين في نفس الاتجاه يسمى

□ Co-transporteurs Symport.

□ البروتين الناقل الذي يسمح بمرور جزيئين في اتجاهين متعاكسين

□ co-transporteur Antiport.

□ بصفة اجمالية يصنف النقل على مستوى الغشاء حسب الحاجة للطاقة او دون ذلك

❑ 1 - نواقل سلبية : (بدون طاقة) – Passive Transport تنتقل الجزيئات مع تدرّج التركيز من العالي إلى المنخفض).

❑ أهم الأنواع: قنوات أيونية (Ion Channels)، قنوات بسيطة تسمح بمرور Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Cl^- تعمل مثل “بوابة” تفتح وتغلق.

❑ و النواقل المسهّلة : (Transporteurs de diffusion facilitée) تنتقل الجزيئات مثل الجلوكوز عبر بروتياز ناقلة (GLUT).

❑ 2 - نواقل فعالة او النشطة (تحتاج طاقة) Transport actif تنتقل الجزيئات عكس تدرّج التركيز.

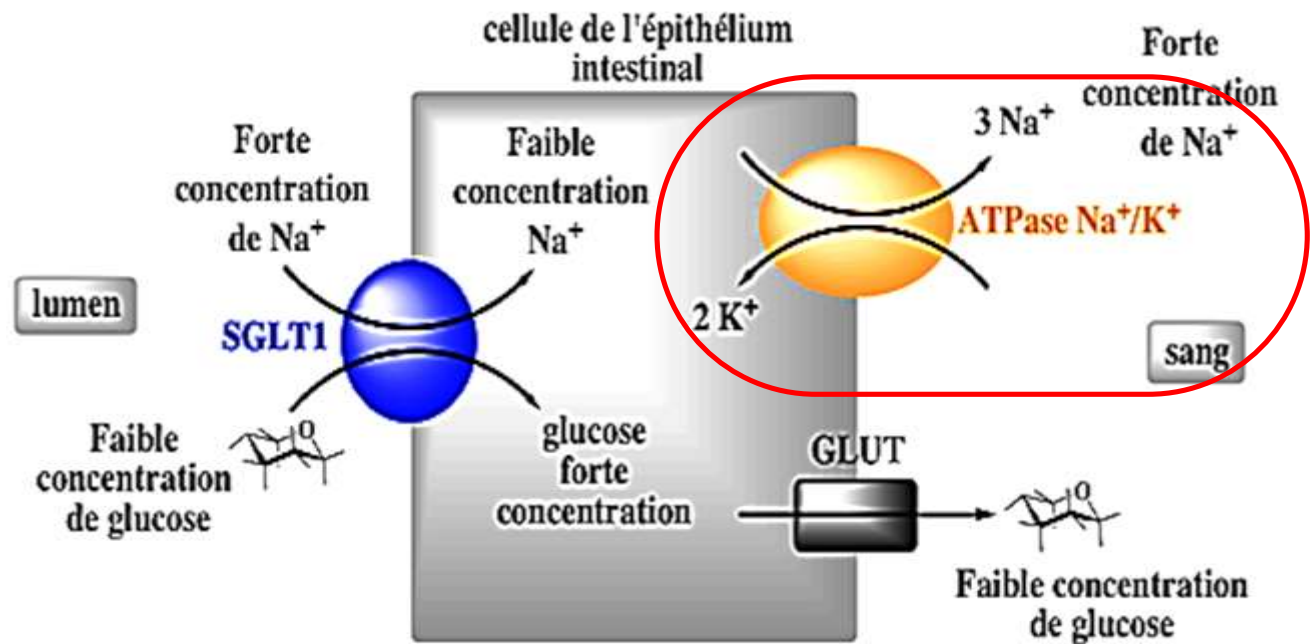
❑ أهم الأنواع: مضخات (Pumps) تستخدم ATP مباشرة. مثل: مضخة الصوديوم/البوتاسيوم ($\text{ATPase_Na}^+/\text{K}^+$)

❑ مضخة الكالسيوم Ca^{2+} -ATPase و مضخة البروتون H^+ ATPase

النقل النشط Les transports actifs

La pompe à sodium / potassium

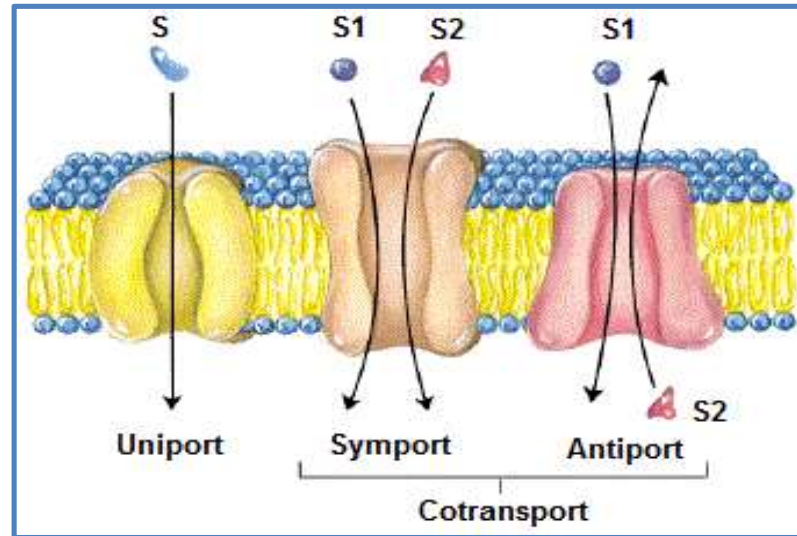
يتكون البروتين الأنزيمي عبر الغشاء من وحدتين صغيرتين α و β . يستمر النقل النشط للصوديوم والبوتاسيوم في جميع أنحاء الجسم. تعمل هذه المضخة على إخراج 3 أيونات Na^+ من الصفائح وتخترق 2 أيونات K^+ في داخلها.



مختلف أنواع النواقل الغشائية (membrane transporters) وتصنيفها إلى مجموعات

- **المساندات** (Secondary Active Transporters) لا تستعمل ATP مباشرة، بل طاقة تدرّج الأيونات.
- وتنقسم إلى: (**Symport** ناقل مشترك) : ينقل جزيئتين في نفس الاتجاه . مثال: $\text{Na}^+ / \text{Glucose}$ symporter
- (**Antiport** ناقل مضاد) : تبادل جزيئين في اتجاهين مختلفين. مثال $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$ exchanger

Classification du transport selon le mode: Uniport; Symport , Antiport



Systèmes de transport couplé ou Co-transports / et diffusion facilitée

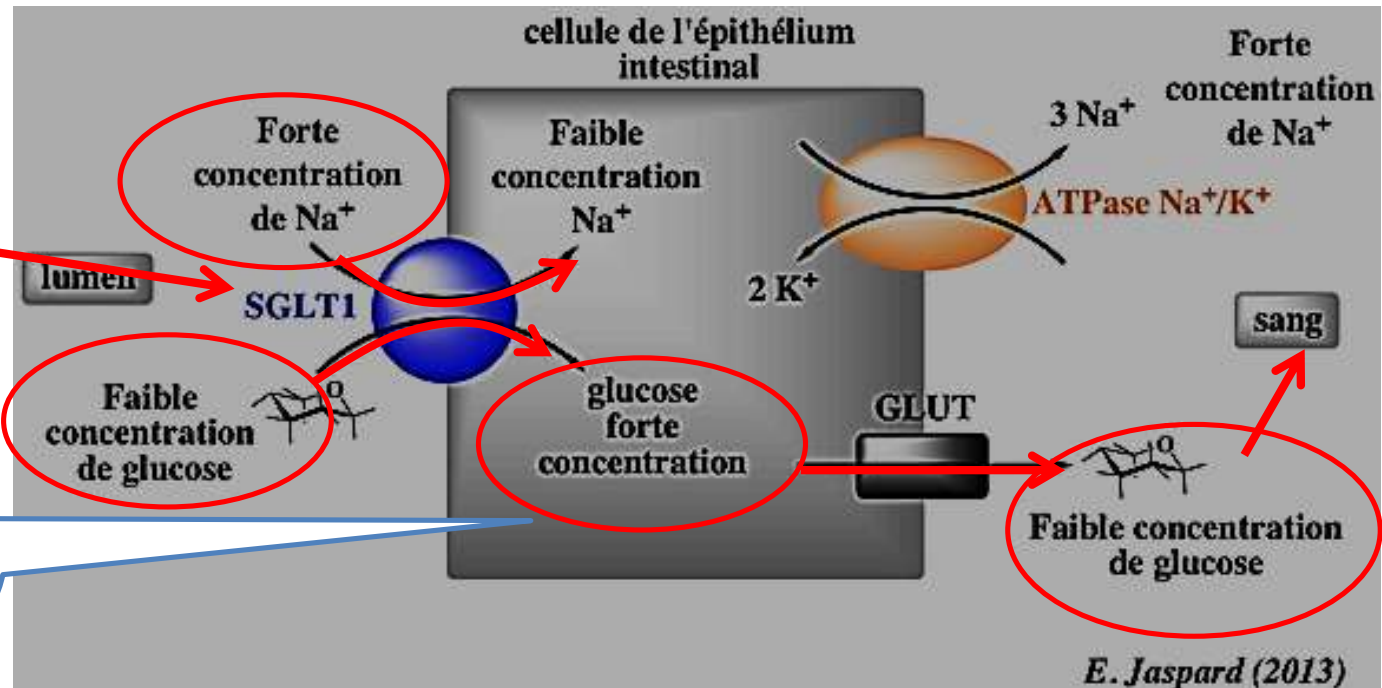
Systèmes de Co-transports: Un système de co-transport (symports ou antiports) est formé par l'association d'1 transport **actif** couplé à 1 **transport passif**.

☐ **Symports** : les perméases assurent le transport de 2 substances de nature différente dans la même direction.

Ex: le transport du **glucose/Na⁺** par le transporteur **perméase SGLT**. Ces transporteurs utilisent le gradient des ions comme 1 source d'énergie, la translocation d'1 ion selon son gradient de [] entraine le transport d'1 autre ion ou soluté contre son gradient de [concentration] (transport du glucose/ Na⁺).

Co-transport / symport
du glucose et de sodium
(SGLT)

Diffusion facilitée du
glucose depuis le
milieu intracellulaire
vers le sang



Mobilisation des GLUT4 suite à la liaison d'insuline aux récepteurs

① Insulin binds to receptor

④ Glucose entry permitted

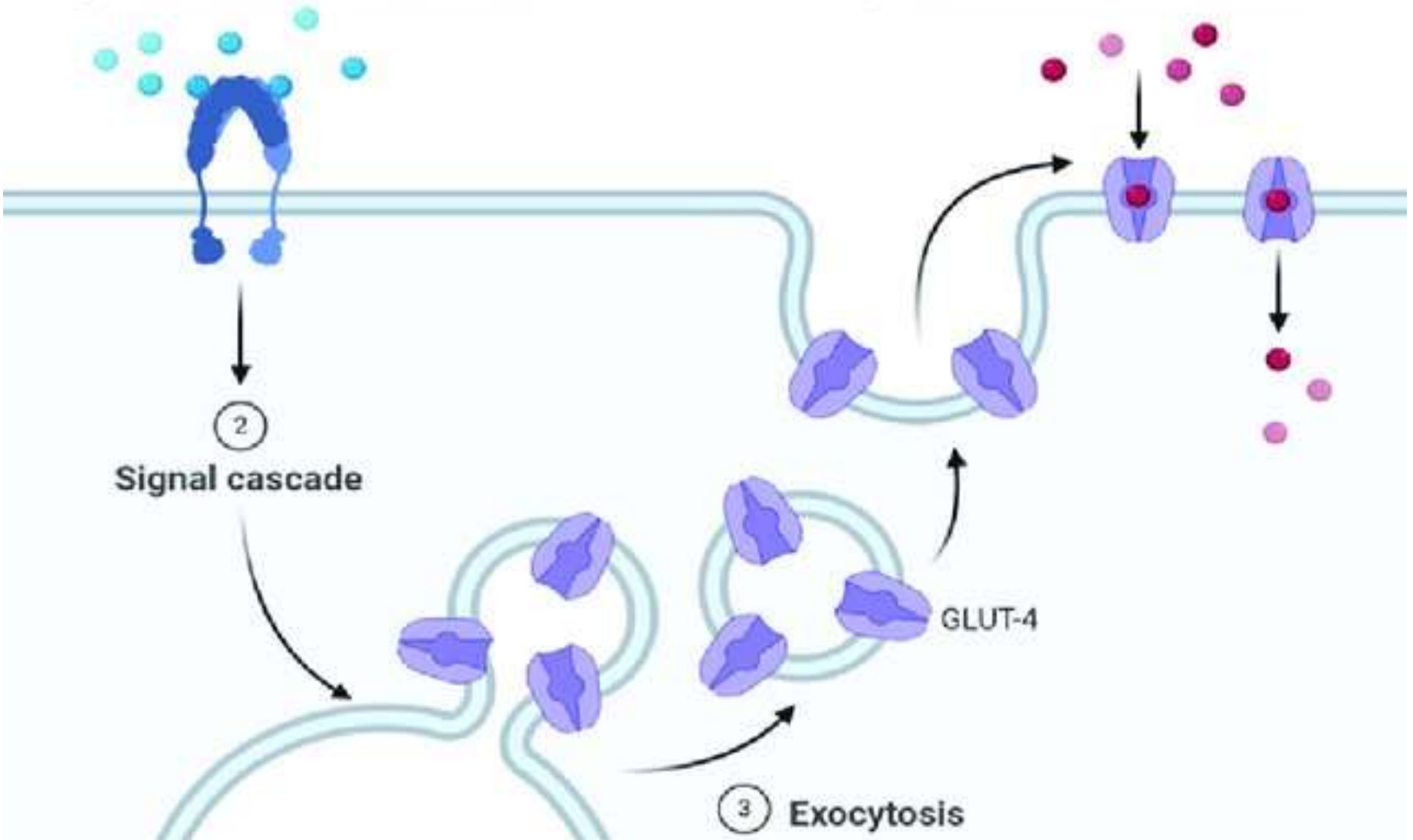
②

Signal cascade

GLUT-4

③

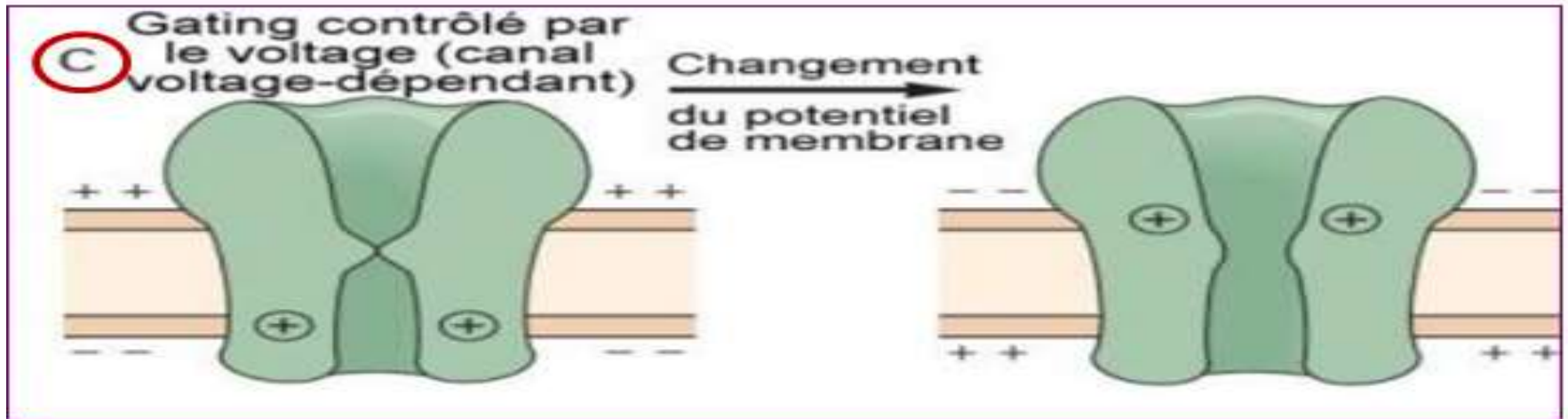
Exocytosis



مختلف أنواع النواقل الغشائية (membrane transporters) وتصنيفها إلى مجموعات

□ ثانيا : حسب النوع البنيوي للناقل

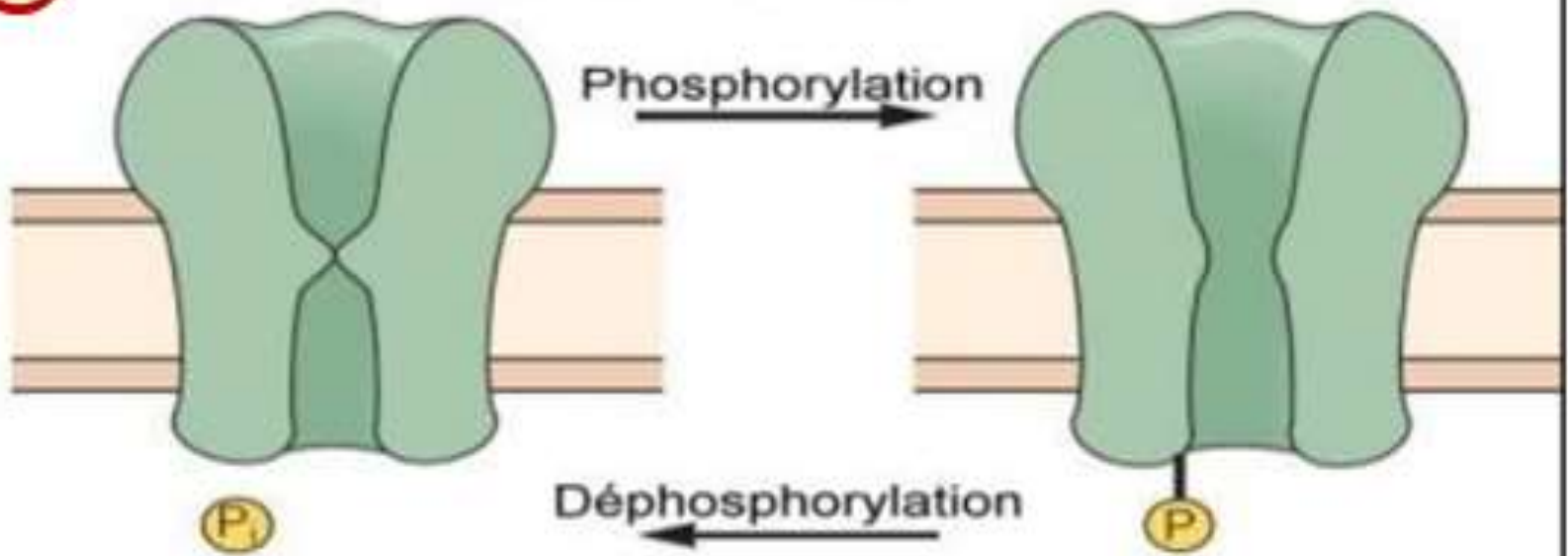
- **3 - قنوات غشائية** : بوابة تسمح بمرور الأيونات بسرعة كبيرة، غالبًا منظمة بإشارات: جهد - Channels voltage-gated) أو مادة رابطة. (ligand-gated)
- **4 - حاملات** : Carriers / Transporters) ترتبط بالجزيء ثم تغيّر شكلها لتنقله عبر الغشاء. أبطأ من القنوات.



- L'ouverture des canaux peut aussi résulter d'un changement dans le **potentiel membranaire** et ils sont alors appelés **canaux voltage-dépendants**.

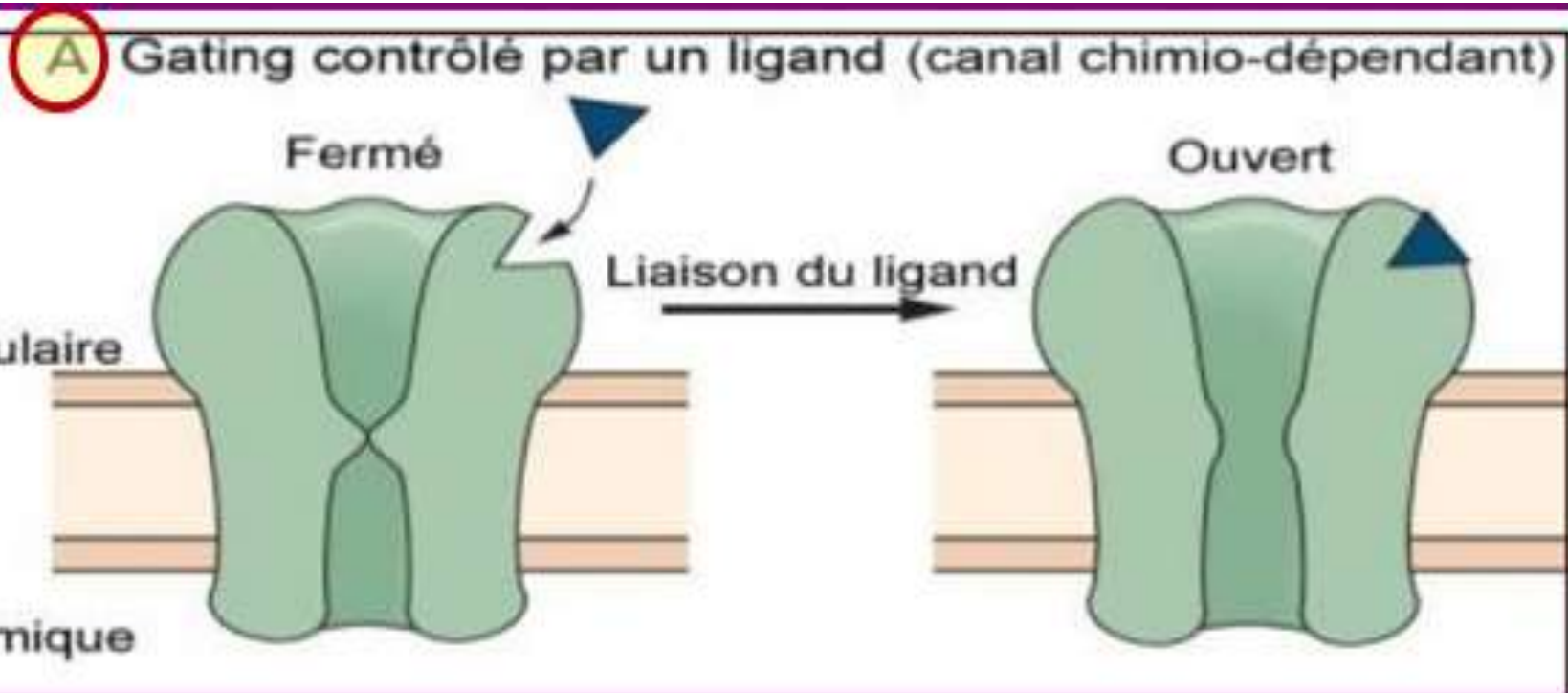
B

Gating contrôlé par phosphorylation



- **B**: l'ouverture se fait suite à une interaction avec un composant intracellulaire (**AMPc**) ils sont appelés canaux **chimio-dépendants** (ligand-dépendant).

Les modalités d'ouverture des canaux ioniques.

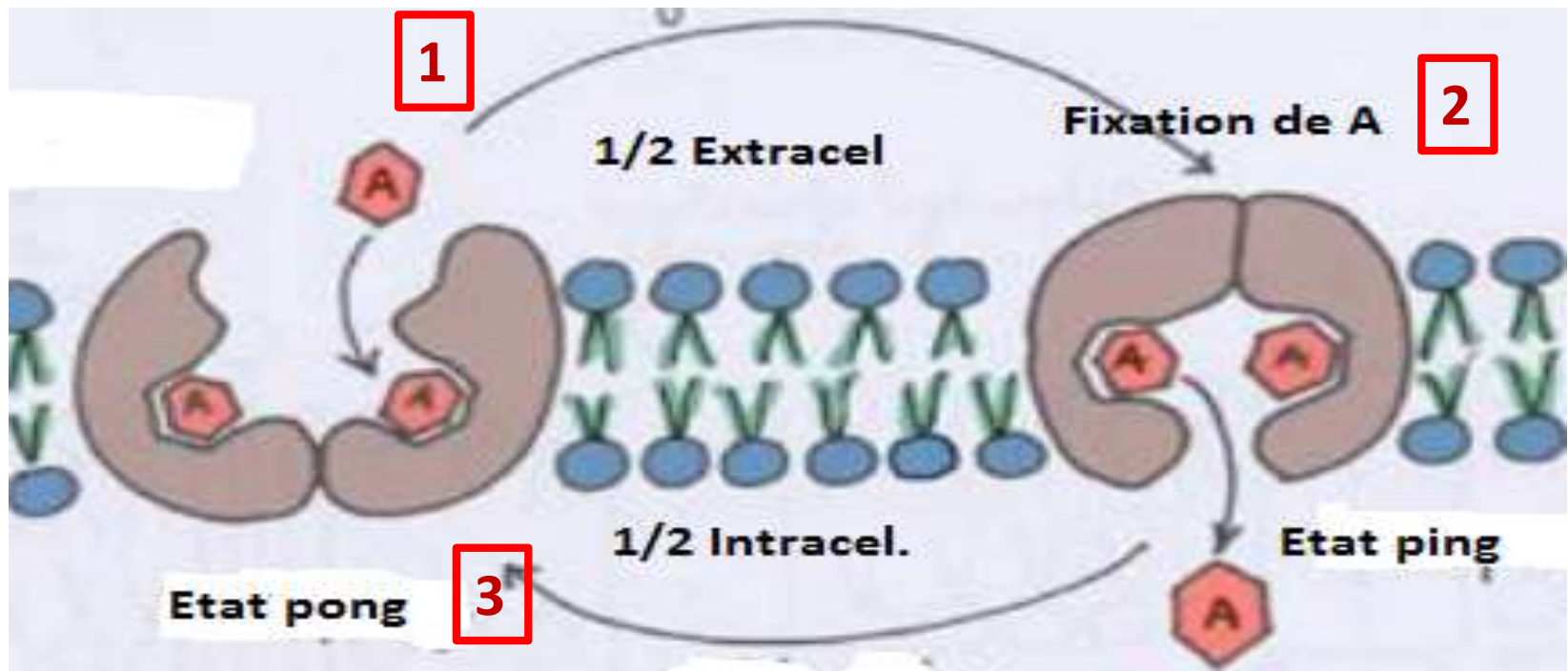


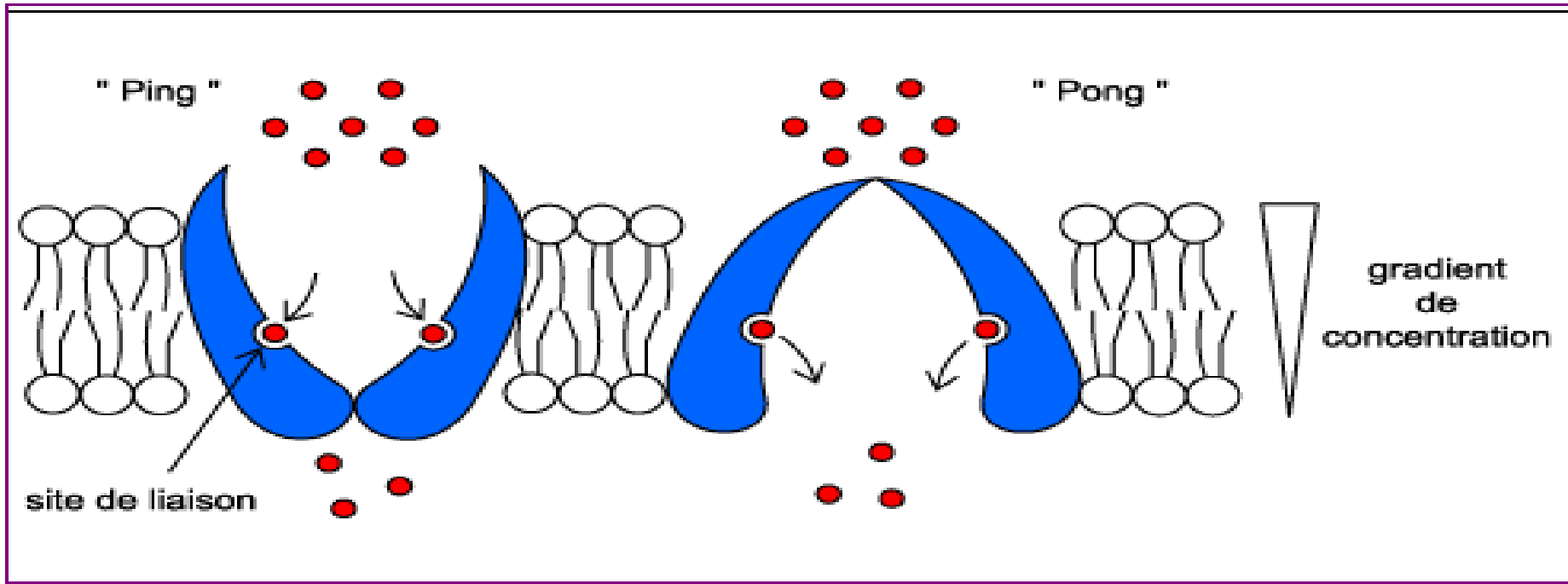
- **Canaux chimio-dépendants (ligand-dépendant):** L'ouverture des canaux ioniques peut se produire sous l'action d'une **fixation de ligand** (neurotransmetteur), Un exemple classique le **récepteur nicotinique de l'acétylcholine** (nAChR) (jonctions neuromusculaires).

Protéines porteuses (Perméase):

possèdent un site de fixation qui permet, La formation du complexe **transporteur-ligand** induit un changement de forme du transporteur, afin que la molécule puisse intégrer le cytoplasme. Ce changement de forme permet la translocation du complexe à travers la membrane, ce type de transport est saturable (le glucose , les A.A, et les ions traversent la membrane par ce type de transport).

- ❑ État pingla molécule est **in**
- ❑ État pong la molécule est **out**





□ ثالثا : نواقل خاصة

- **5 - مستقبلات مقترنة بنقل** (Receptor-mediated transport): مثل: نقل الحديد عبر مستقبل Transferrin receptor، إدخال LDL عبر LDL receptor
- **6 - البروتينات الناقلة من عائلة ABC Transporters**: تستعمل ATP مثال: CFTR النقل المعطل في مرض التليف الكيسي (Mucoviscidose)

Schéma représente : Phagocytose de bactérie; Endocytose recouverte de clathrine (LDL = pinocytose)

