

## Les membranes biologiques : structures et fonctions

### مقدمة

• الأغشية البيولوجية Membranes biologiques عبارة عن طبقات مزدوجة من الفسفوليبيد Phospholipides تندرج بروتينات فيها بشكل غير متناظر وغير متجانس. يُطلق على الغشاء الذي يحد الخلية اسم غشاء الهبيولي أو البلازمي ويُطلق على أغشية العضيات باسم العضية المعنية (الغشاء النووي ، غشاء الميتوكوندريا ، إلخ).

• الغشاء البلازمي:

1. يفصل بين الوسط الداخلي للخلية و الوسط خارجي للخلية
2. يتحكم في التبادلات بين الوسط داخل الخلايا والوسط خارج الخلية
3. يسمح بالتعارف الخلوي المتخصص ونقل المعلومات إلى الوسط الخارج الخلوي

## الأغشية البيولوجية

### Les membranes cellulaires

- Les membranes sont indispensables à la vie
- Frontière l'intérieur et l'extérieur de la cellule
- Elles permettent aux cellules de maintenir un milieu interne différent du milieu extracellulaire
- Elles possèdent une perméabilité très sélective
- Les constituants principales sont les lipides et les protéines

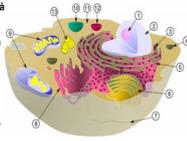


Schéma d'une cellule et de ses membranes  
1. Membrane nucléaire; 2. Vésicule; 3. Réticulum endoplasmique rugueux; 4. Appareil de Golgi; 5. Réticulum endoplasmique lisse; 6. Mitochondrie; 7. Vacuole; 8. Cytoplasme; 9. Lysosome

### الأغشية البيولوجية

- الأغشية ضرورية للحياة
- الحدود الفاصلة بين المحتوى الداخلي للخلية وخارجها
- تسمح للخلايا بالحفاظ على اختلاف الوسط الداخلي عن الوسط الخارجي
- تملك نفاذية جد اختيارية
- المركبات الرئيسية تتمثل في دهون وبروتينات

### وظائف الأغشية البيولوجية

#### Fonctions des membranes biologiques

- La compartimentation (séparation de l'extérieur et l'intérieur de la cellule).
- Les échanges d'information avec d'autres cellules (récepteurs hormonaux, jonctions gap).
- La régulation du transport des ions, protéines, sucres gras, etc..
- Les mouvements cellulaires (pseudopodes, endocytose-exocytose).
- Les phénomènes de reconnaissance (antigène de surface)
- La régulation du métabolisme (transduction intracellulaire des signaux extracellulaires)
- Procure un site pour les réactions chimiques ne pouvant pas se produire dans un environnement aqueux

- التجزئة (الفصل بين الوسط الخارجي عن اللداخلي للخلية)
- تبادل المعلومات مع الخلايا الاخرى (المستقبلات الهرمونية، تقاطعات الفجوة)
- تنظيم النقل ل : الأيونات ، البروتينات، السكريات، الدهون ، الخ)
- الحركية الخلوية (الارجل الكاذبة، الاطراح داخل-خارج خلوي)
- ظاهرة التعرف (المولدات ضد المتواجدة على السطح)
- تنظيم الاستقلاب (تحولات جينية داخل خلوية الى اشارات خارج خلوية)
- يوفر موقعًا للتفاعلات الكيميائية التي لا يمكن أن تحدث في بيئة مائية

## Structure de la membrane plasmique

### بنية الغشاء البلازمي

En *microscopie optique* la membrane plasmique apparaît comme une limite fine entre milieu intra-cellulaire et milieu extracellulaire.

بالجھري الضوئي ، يظهر غشاء البلازما كحدود دقيقة بين الوسط الخلوي والوسط خارج الخلية.

En *microscopie électronique à transmission* (coloration positive) on observe une tri-lamination de la membrane :

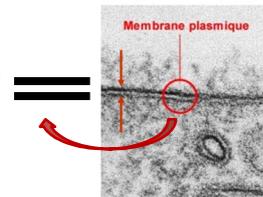
بالجھر الإلكتروني النافذ (تلوين إيجابي) ، لوحظ تصفيح ثلاثي للغشاء :

- un feuillet clair de 3 nm
- entouré par 2 feuillets sombres de 2,5 nm chacun ;
- l'épaisseur totale est donc d'environ 8 nm.

- ورقة 3 نانومتر نيرة واضحة  
- محاطة بطبقتين داكنتين سمك كل منهما 2.5 نانومتر ؛  
وبالتالي فإن السماكة الكلية حوالي 8 نانومتر .

Ceci a permis de mettre en évidence la structure en bicouche phospholipidique de la membrane plasmique.

- Épaisseur : 7 à 8 nm
- Deux feuillets visibles au microscope électronique



### COMPOSITION BIOCHIMIQUE DE LA MEMBRANE PLASMIQUE

### التركيب البيوكيميائي للغشاء البلازمي

La membrane est constituée de lipides, de protéines et de glucides. En effet dans la bicouche phospholipidique sont intégrées des protéines qui peuvent être glycolysées (présence de chaînes sucrées). Certaines protéines (non intégrées dans membrane) sont qualifiées de protéines périphériques ayant un lien chimique avec la membrane.

يتكون الغشاء من الدهون والبروتينات والكربوهيدرات. في الواقع، في طبقة ثنائية الفوسفوليبيد توجد بروتينات متكاملة يمكن أن تتكامل (وجود سلاسل سكرية). تسمى بعض البروتينات (غير مدمجة في الغشاء) بروتينات محيطية لها رابطة كيميائية تكافئية مع الغشاء.

تتكون الأغشية (الوزن الجاف للغشاء) من:

Les membranes sont constituées (en poids sec de membrane) d'environ:

- Lipides (Phospholipides et cholestérol) (~49%)  
- Forment le squelette des membrane
- Protéines (récepteurs, transporteurs, enzymes) (~43%)  
- Attachées plus au moins aux phospholipides
- Glucides (glycophospholipides et glycoprotéines) (~8%)

• دهون (فوسفوليبيدات وكوليستيرول) (~49%)

تشكل هيكل الغشاء

• بروتينات (مستقبلات، نواقل، إنزيمات) (~43%)

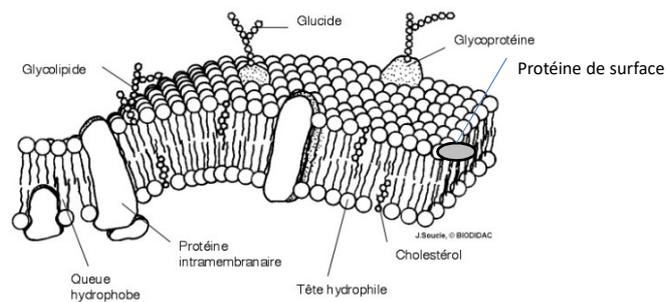
في غالب ترتبط بالفوسفوليبيدات

• غلوسيدات (سكريات فوسفوليبيدية و بروتينات سكرية) (~8%)

### Modèle de la mosaïque fluide modèle de « Singer et Nicholson » (1970)

### نموذج الـ "الفيسفاساني المائع" نموذج "Singer & Nicolson" (1970)

- Deux couches de phospholipides
- Protéines à la surface et à travers
- Polysaccharides attachés aux lipides ou aux protéines
- Cholestérol entre les phospholipides

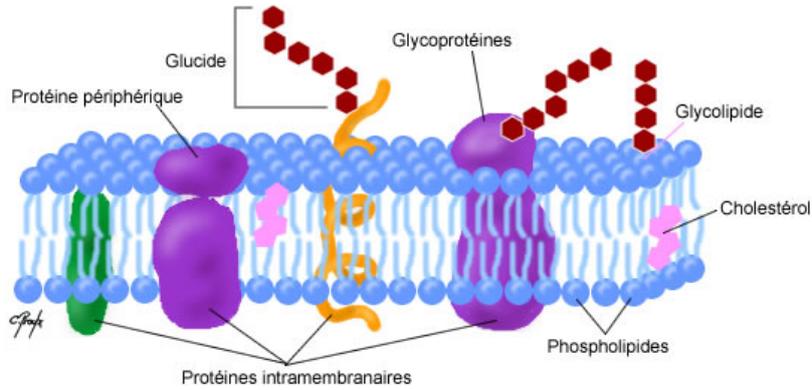


يوصف الغشاء بأنه "فيسفاساني مائع" (Singer & Nicolson, 1970)، فيسيفسائي بسبب التركيب غير المتجانس والمائع لأن مكوناته تتحرك باستمرار (لذلك فهو هيكل ديناميكي).

La membrane est décrite comme une «mosaïque fluide» (Singer & Nicolson, 1970), mosaïque car de composition hétérogène et fluide car ses constituants se déplacent constamment (donc c'est une structure dynamique).

## Composition des membranes

## تكوين الأغشية



### 1) Diversités des lipides membranaires

### (1) تنوع الدهون الغشائية

Les lipides de la membrane sont **amphiphiles** c'est-à-dire qu'ils possèdent un pôle hydro-phobe (orienté à l'intérieur de la bicouche) et un pôle hydrophiles (orienté soit vers le milieu aqueux extracellulaire, soit vers le milieu aqueux intracellulaire).

Parmi les lipides membranaires il y a : les **phospholipides**, le **cholestérol** et les **glycolipides**.

Ces lipides ont une **répartition asymétrique** au sein de la membrane, sont **mobiles** et déterminent la **fluidité membranaire**.

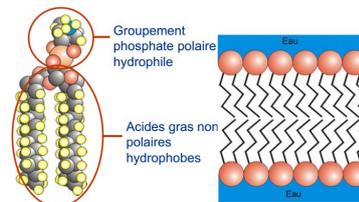
الدهون الغشائية هي ثنائية القطب بالنسبة للماء **amphiphiles**، أي لها قطب كاره للماء (موجه داخل الطبقة الثنائية) وقطب محب للماء (موجه إما نحو الوسط المائي خارج الخلية، أو نحو الوسط مائي داخل الخلايا).

من بين الدهون الغشائية هناك:

الفسفوليبيدات  
والكوليسترول  
والجليكوليبيدات

هذه الدهون لها توزيع غير متناظر (غير متماثل) داخل الغشاء، وهي متحركة وتحدد ميوعة الغشاء.

الدهون الغشائية هي جزيئات ثنائية القطب



**a) Phospholipides****(أ) الفوسفوليبيدات**

Les phospholipides présentent tous une tête hydrophile (phosphate et groupement spécialisé) et une queue hydrophobe (chaîne d'acides gras).

تحتوي جميع الدهون الفوسفورية على رأس محب للماء (فوسفات ومجموعة متخصصة) وذيل كاره للماء (سلسلة الأحماض الدهنية).

هناك نوعان من الدهون الفوسفورية:

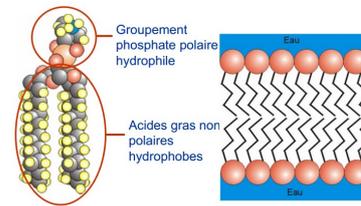
On distingue 2 types de phospholipides :

1. الفوسفوليبيدات الجليسيرية **Glycerophospholipids** هي مزيج من الجلسرول ، و 2 أحماض دهنية ، وحمض الفوسفوريك وكحول أو أحماض أمينية.

1. Les **glycérophospholipides** correspondent à l'association de **glycérol**, de **deux acides gras**, d'**un acide phosphorique** et d'**alcool ou d'acide aminé**.

2. **Sphingophospholipids** هي مزيج من السفينغوزين والأحماض الدهنية وحمض الفوسفوريك والكحول أو الأحماض الأمينية ؛ وهكذا نحصل على السفينغوميلين

2. Les **sphingophospholipides** correspondent à l'association de **sphingosine**, d'**acide gras** , d'**acide phosphorique** et d'**alcool ou d'acides aminés** ; on obtient ainsi la sphingomyéline

**b) Glycolipides (lipide liés à des sucres)****(ب) الجليكوليبيدات (الدهون المرتبطة بالسكريات)**

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

الجليكوليبيدات من نوعين ، نجد الجلسرولجليكوليبيدات والسفينجولجليكوليبيدات.

**c) Cholestérol****(ج) الكوليسترول**

Le cholestérol est uniquement présent dans les membranes des cellules animales, en effet, il est absent des cellules végétales et des bactéries.

الكوليسترول موجود فقط في أغشية الخلايا الحيوانية ، في الواقع ، إنه غائب عن الخلايا النباتية والبكتيرية. يتكون الكوليسترول من نواة ستيرويد كارهة للماء وذيل كاره للماء ووظيفة كحولية محبة للماء.

Le cholestérol est composé d'un noyau stéroïde hydrophobe, d'une queue hydrophobe et d'une fonction alcool hydrophile.

لذلك ، يكون الجزيء ثنائي القطب بالنسبة للماء

La molécule est donc amphiphile, représente environ un quart des lipides membranaires et **influence la fluidité membranaire**.

**amphiphile**، ويمثل حوالي ربع دهون الغشاء **ويؤثر على ميوعة الغشاء**.

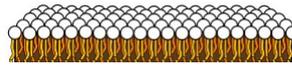
## Propriétés des membranes

## خصائص الغشاء

### 1) Auto-assemblage des lipides

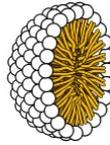
Les phospholipides, dus à leurs propriétés physico-chimiques, s'assemblent de manière automatique en différentes sortes de structures suivant l'environnement :

Les **monocouches**



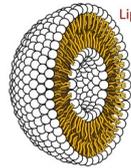
أحادي الطبقات

Les **micelles**



ميسيل

Les **bicouches phospholipidiques** permettent la formation de vésicules sphériques appelées **liposomes**.



تسمح طبقات الفسفوليبيد الثنائية بتكوين حويصلات كروية تسمى **الجسيمات الشحمية**.

## 2) Asymétrie membranaire

## (2) عدم تماثل (تناظر) الغشاء

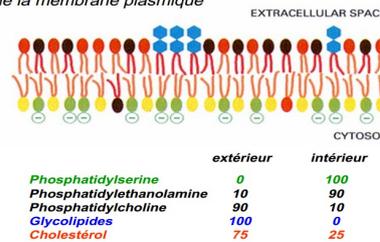
Toutes les membranes biologiques sont constituées de feuillet dont les compositions lipi-diques sont différentes, sauf le cholestérol qui se trouve en quantité équivalente dans l'un ou l'autre des feuillets, pouvant basculer facilement de l'un à l'autre.

تتكون جميع الأغشية البيولوجية من صفائح ذات تركيبات دهنية مختلفة، باستثناء الكوليسترول، الذي يوجد بكمية مكافئة في إحدى الوريقة أو الأخرى، والتي يمكن أن تنتقل بسهولة من واحدة إلى أخرى.

توزع الدهون غير متناظر وغير متماثل على وريقتي

نفس الغشاء

exemple de la membrane plasmique



Le **feuillet interne** est caractérisé par les **phosphatidyl-sérine**, **phosphatidyl-éthanolamine** et **phosphatidyl-inositol**.

Le **feuillet externe** est caractérisé par : les **sphingolipides**, **phosphatidyl-choline** et les **glycolipides**.

تتميز الوريقة الداخلية بـ :  
**phosphatidyl-sérine**,  
**phosphatidyl-éthanolamine**  
و  
**phosphatidyl-inositol**.

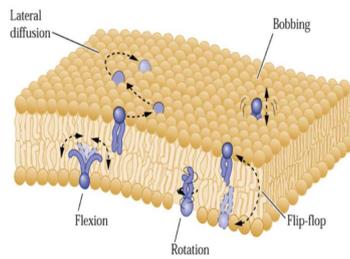
تتميز الوريقة الخارجية بما يلي :  
**sphingolipides**,  
**phosphatidyl-choline**  
و  
**glycolipides**.

### 3- Fluidité membranaire et la mobilité des lipides

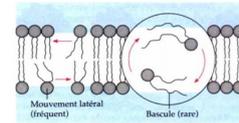
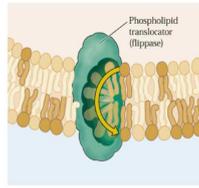
La mobilité des lipides est nécessaire pour l'activité cellulaire. Ils peuvent se mouvoir de différentes manières au sein de la membrane :

1. par **rotation rapide** autour de leur axe.
2. par **diffusion latérale** au sein d'un même feuillet (mouvement très **fréquent et rapide**)
3. par **diffusion transversale** (flip flop : passage d'un feuillet à l'autre) qui est **rare et lente**.
4. par **flexion** des chaînes d'acide gras des lipides.

La fluidité membranaire intervient dans différentes fonctions cellulaires : absorption, sécrétion, protection, adhérence, communication, interaction avec la matrice, etc.



تساهم ميوعة الغشاء في وظائف مختلفة للخلية : الامتصاص ، والإفراز ، والحماية ، والاتصال ، والتواصل ، والتبادل مع الحشوة ، إلخ .



### 3- ميوعة الغشاء وحركية الدهون

حركة الدهون ضرورية للنشاط الخلوي. يمكنهم التحرك بطرق مختلفة داخل الغشاء:

1. عن طريق الدوران السريع حول محورها.
2. عن طريق الانتشار الجانبي داخل نفس الورقة (حركة جدد متكررة وسريعة)
3. عن طريق الانتشار المستعرض (الوجه بالتحيط: المرور من ورقة إلى أخرى) وهو نادر وبطيء.
4. عن طريق ثني سلاسل الأحماض الدهنية للدهون.

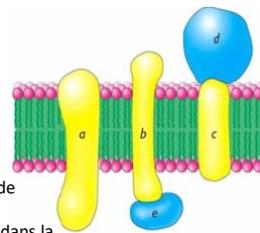
## 2) Les protéines membranaires

Les protéines membranaires ont des rôles bien spécifiques au sein de la double couche phospholipidique : récepteurs, transporteurs, adhérence cellulaire, catalyse enzymatique, transducteurs de signaux, etc.

Les protéines sont ancrées de différentes manières dans la membrane :

1. **Périphérique ou extrinsèque (d,e)**  
Sont localisées en dehors de la bicouche phospholipidique  
Sont accolées à la membrane

1. **protéine intégrées:** Intégrales ou intrinsèques  
(a,b et c) dont certaines sont transmembranaires et en interaction avec des protéines de cytosol (b)  
(ce dernier type de protéine est impliqué dans la transmission de signal (hormone ..))



2. بروتينات متداخلة او متكاملة: لا يتجزأ أو جوهري  
(a,b et c) وبعضها عبر الغشاء ويتفاعل مع بروتينات العصارة الخلوية (b) (هذا النوع الأخير من البروتين يدخل في نقل الإشارات (هرمون ..))

Quelques exemples de protéine transmembranaires : canaux ioniques, pompes ioniques, les récepteurs aux hormones et neurotransmetteurs, protéines d'adhésion.

بعض الأمثلة على بروتينات الغشاء: القنوات الأيونية ، ومضخات الأيونات ، ومستقبلات الهرمونات والناقلات العصبية ، وبروتينات الاتصال.

## (2) البروتينات الغشائية

بروتينات الغشاء لها أدوار محددة للغاية داخل الطبقة المزدوجة للفوسفوليبيد: المستقبلات ، النواقل ، التصاق الخلية ، التحفيز الإنزيمي ، محولات الإشارة ، إلخ .

يتم تثبيت (رسو) البروتينات في الغشاء بطرق مختلفة:

1. بروتينات محيطية أو خارجية (d,e): تقع خارج طبقة ثنائية الفوسفوليبيد . ومتصلة بالغشاء

2. بروتينات متداخلة او متكاملة: لا يتجزأ أو جوهري  
(a,b et c) وبعضها عبر الغشاء ويتفاعل مع بروتينات العصارة الخلوية (b) (هذا النوع الأخير من البروتين يدخل في نقل الإشارات (هرمون ..))

### 3) Les glucides membranaires

La grande majorité des glucides membranaires sont sous forme de glycoprotéines et une petite partie sous forme de glycolipides.

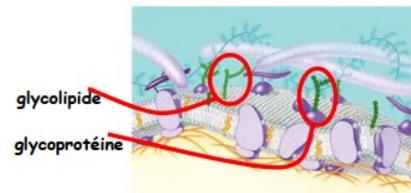
Au niveau de la membrane les glucides n'existent pas à l'état libre,

➤ ils sont liés à des protéines ou à des lipides:

- Les **glycoprotéines**
- Les **glycolipides**

➤ ils sont **Exposés** à l'extérieur de la cellule

➤ Le **glycocalyx** est le cell coat appelé encore glycoleme : il s'agit d'un revêtement fibrillaire visible en microscopie électronique situé à la face externe de la membrane plasmique.



### Le transport membrane

Les membranes cellulaires ont une **perméabilité sélective** qui leur permet de contrôler l'entrée et la sortie des différentes molécules et ions entre le cytoplasme et le milieu extérieur.

- Les membranes ne sont perméables en fait qu'aux petites molécules hydrophobes ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ , glycérol, ether, etc.).
- Le passage des autres molécules nécessite des protéines transmembranaires (perméases et canaux ioniques).

Le **passage de substances** à travers la membrane peut se faire:

- I- Par transport passif (sans dépense d'énergie)
- II- Par transport actif (avec dépense d'énergie)

**Nb** : La membrane plasmique contient aussi des récepteurs de surface pour différents ligands hydrosolubles (exemples : hormones, neurotransmetteurs)

### النفذية الغشائية

تتمتع أغشية الخلايا بنفاذية انتقائية تسمح لها بالتحكم في دخول وخروج الجزيئات والأيونات المختلفة بين السيتوبلازم والوسط الخارجي.

- الأغشية في الواقع غير نفوذة إلا للجزيئات الصغيرة الكارهة للماء فقط ( $O_2$ ،  $N_2$ ،  $CO_2$ ، الجلسرين، الأثير، إلخ).

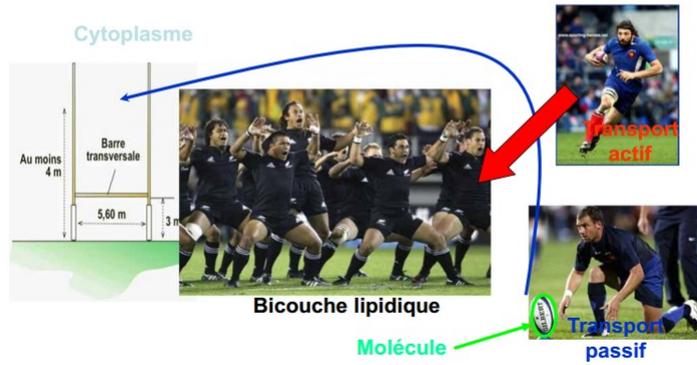
- يتطلب مرور الجزيئات الأخرى بروتينات عبر الغشاء (بيرميز والقنوات الأيونية).

يمكن مرور المواد عبر الغشاء وفق:

- I. النقل السلبي غير الفعّال (بدون استهلاك طاقة)
- II. النقل النشط الفعّال (باستهلاك الطاقة)

**ملاحظة:** يحتوي أيضا الغشاء الهولي على مستقبلات سطحية لمختلف الروابط ligands القابلة للذوبان في الماء (مثل الرمونات، والناقلات العصبية)

## Transport actif / Transport passif



## مفاهيم

### Quelques concepts

- **Solvant** : Partie la plus importante du mélange (eau)
- **Soluté** : Partie dissoute dans la solution (sucre, café, oxygène, etc.)
- **Diffusion** : Tendance du soluté à prendre tout l'espace disponible.
- **Solution** : mélange **homogène** (ne formant qu'une seule phase)

- **Concentration** : Rapport soluté / solvant ou soluté / volume  
– Ex : ml/L; %/V; V/V; g/g
- **Gradient de concentration**  
– Existe lorsque deux zones de concentrations différentes communiquent.  
Exemple : cellules et le milieu environnant.

**المذيب**: الجزء الاهم في المزيج (ماء)  
**المذاب**: الجزء المنحل في المحلول (سكر، قهوة، أكسيجين، الخ.)  
**الانتشار**: إتجاه وتوسع المذاب لشغل كل الفراغات المتاحة.

**المحلول**: مزيج متجانس

**التركيز**: نسبة المذاب/المذيب  
او  
المذاب/الحجم

**التدرج في التركيز**:  
يكون عندما تتواصل منطقتان بتركيزات مختلفة.  
مثل : خلية ووسط يحيطها

### I- Les transports passifs

Transports qui se font dans le sens du gradient chimique ou électrochimique. Dans ce cas il n'y a pas besoin d'énergie.

On distingue 3 types de transport : I-1. diffusion simple ; انتشار بسيط  
I-2. Diffusion facilitée; انتشار مسهل  
I-3. Osmose الحلول أو الاسموز

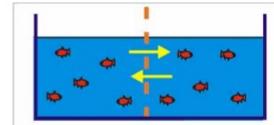
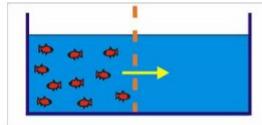
#### I-1. diffusion simple (sans transporteur protéique)

C'est le mode de transport pour les substances liposolubles (hydrophobes):

solvants des lipides (éther, chloroforme) ; les molécules polaires non chargées: éthanol, urée, les gaz (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>).

Il se fait dans le sens du gradient de concentration jusqu'à l'atteinte d'un équilibre.

Ce transport est lent et ne nécessite pas de perméase (pas de transporteur protéique).



Une substance diffuse suivant son **gradient de concentration** : de la zone la plus **concentrée** à la zone qui l'est moins.

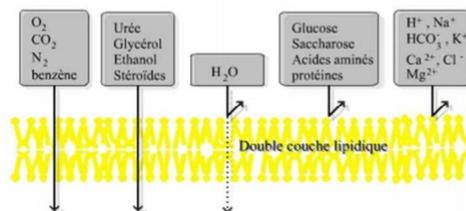
**Gradient = différence**

Le gradient de concentration entre deux milieux c'est la **différence de concentration** entre les deux milieux.

...mais il n'y a que quelques molécules qui traversent les membranes par simple diffusion

La membrane est perméable aux :

- Petites molécules
- Molécules hydrophobes (liposolubles)



La vitesse de diffusion d'une molécule est proportionnelle

- Gradient
- Hydrophobicité

La vitesse de diffusion d'une molécule est inversement proportionnelle à sa Taille

### I-2. diffusion facilitée (avec transporteur protéique membranaire)

Pour les molécules de : - Grosse taille; - Non liposoluble; - Ex: Les sucres, les ions (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> ..), ..

Ce transport se fait dans le sens du gradient de concentration mais nécessite un transporteur.

Ce transporteur peut être:

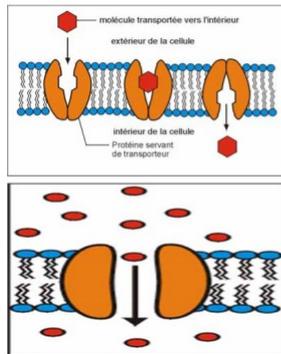
Les **protéines porteuses** ou perméases

Ou les **protéines tunnels** ou conductrines ( un canal ionique).

Dans le cas des protéines tunnels (canal ionique) le transport n'est pas saturable.

Dans le cas d'une perméase, le transport est **saturable** puisque lorsque toutes les protéines de transport sont occupées

la vitesse de transport ne peut plus augmenter.



#### Protéines porteuses (transporteurs)

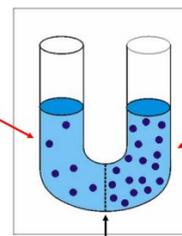
- s'associent aux molécules à transporter et les déplacent dans la membrane

#### Protéines tunnels (canaux)

- Forment des pores à travers la membrane

### I-3. Osmose (passage de l'eau)

Coté dilué =  
hypotonique



Coté plus concentré  
= hypertonique

Membrane semi-perméable : perméable à l'eau mais pas au soluté

#### Comment l'eau traverse la membrane des cellules

- Passage lent à travers les phospholipides membranaires
- Passage rapide à travers des canaux membranaires spécifiques aux molécules d'eau, les **aquaporines**

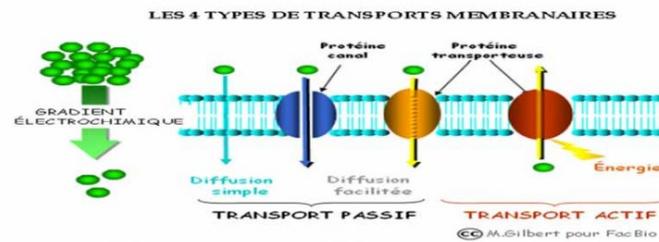
Les aquaporines (on en connaît plus de 200 sortes différentes dans la règne végétale qu'animale) permettent le passage de l'eau de part et d'autre de la membrane tout en empêchant les ions de pénétrer dans la cellule



Peter Agre s'est mérité le Nobel de chimie 2003 pour sa découverte des aquaporines en 1988

## II-Transport actif

- Ressemble à la diffusion facilitée (nécessite la présence d'un **transporteur** membranaire) mais
  - Transport à l'encontre du gradient de concentration (du milieu moins concentré vers le milieu le plus concentré)
  - ... donc besoin d'une source d'énergie (par exemple, la scission de l'ATP, la lumière, les réactions d'oxydo-réductions) qui entraîne le transport des molécules dans le sens défavorable au point de vue thermodynamique

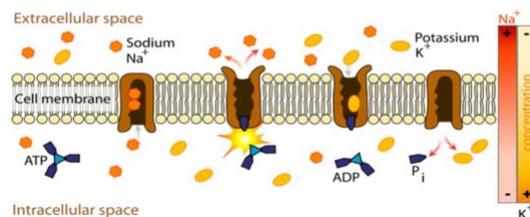


### II- Transport actif

#### 1-Transport actif primaires

- Les pompes ioniques qui utilisent l'ATP (activité ATP hydrolase) sont qualifiées de **transporteurs primaires**.
- Leur fonctionnement permet de maintenir un gradient ionique.
- **Exemple** : la pompe Na/K qui expulse le sodium contre l'entrée de potassium dans la cellule est essentielle pour maintenir le gradient sodium.
- **Autres exemples** : pompe H<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>, pompe calcique.

Maintient les concentration cytosoliques faible de Na<sup>+</sup> et élevée de K<sup>+</sup>



## II- Transport actif

### 2- Transport actif secondaires

- Les transports qui utilisent un gradient ionique (souvent le sodium) pour déplacer un autre ion (ou une molécule) contre son gradient sont qualifiés de transporteurs secondaires.
- ils utilisent le gradient ionique créé par un transport actif primaire.
- Lorsque l'ion (ou molécule) est déplacé dans le même sens que l'ion moteur (souvent le  $\text{Na}^+$ ) alors on parle de **SYMPORT**

Exemple: le **symport glucose/ $\text{Na}^+$**  utilise le gradient sodium pour faire rentrer le glucose dans la cellule.

- Lorsque l'ion (ou molécule) est déplacé dans le sens inverse alors on parle d' **ANTIORT**

exemple : l'**échangeur sodium/calcium** utilise le gradient sodium pour faire sortir du calcium de la cellule.

## Transport actif secondaire

Transport actif mû par un gradient d'ions : les Co-transporteurs

- Correspond au transport de 2 solutés différents de manière simultanée soit
  - Dans la même direction : c'est le symport
  - Dans des directions opposés c'est l'antiport
- Le transport de B (énergétiquement défavorable) utilise l'énergie de transport d'une autre molécule (A) (énergétiquement favorable)

