

---

# DIFFUSION ET PASSAGES TRANSMEMBRANAIRES

---

---

## I. DIFFUSION

---

Toutes les molécules de l'organisme sont en perpétuel mouvement.

Ces mouvements peuvent être dus à :

- **La migration** : par exemple sous l'effet d'un champ électrique pour le mouvement de particules chargées.
- **La convection** : sous l'effet d'une force extérieure, par exemple la force hydrostatique lors de la filtration glomérulaire.
- **La diffusion** : tendance spontanée à la dispersion des molécules liée à leur agitation thermique et à un gradient de concentration. Elle est liée à l'énergie cinétique moyenne.

Un **gradient de concentration** est une variation de concentration dans l'espace, c'est le moteur de la **diffusion**.

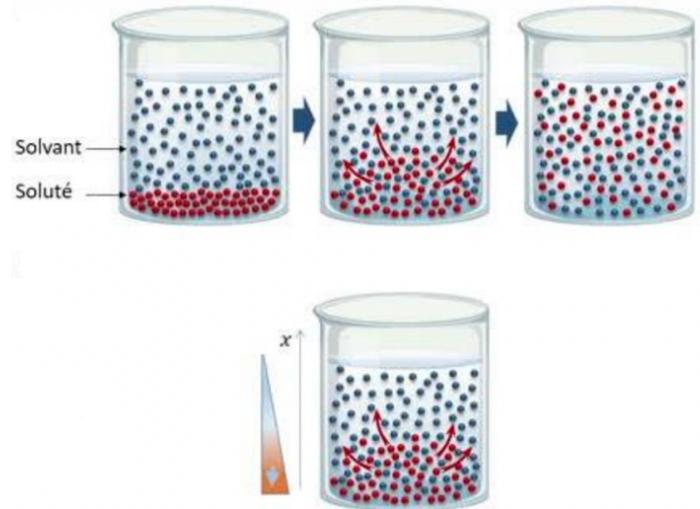
L'énergie cinétique des molécules en solution induit des déplacements constants, c'est ce qu'on appelle la diffusion.

## A. MISE EN EVIDENCE EXPERIMENTALE

Sur le schéma, on voit un récipient dans lequel se trouve un solvant (=l'eau), molécules du dessus (bleues) et au fond du récipient on voit un soluté coloré.

Peu à peu, le soluté va diffuser de manière à ce que la concentration **s'homogénéise**. Le gradient de concentration est dans le sens du **moins concentré au plus concentré** (donc de la surface du récipient jusqu'au fond).

Le gradient de concentration génère un **potentiel chimique** et le but de la diffusion est de rendre uniforme ce potentiel chimique. Il se produit donc un flux de molécules du soluté qui se diffusent pour homogénéiser la concentration. Ce flux est mesuré par le débit molaire diffusif J.



## B. FORMALISATION DE LA DIFFUSION D'UN SOLUTE DANS UNE SOLUTION : LOI DE FICK

Si on a un soluté qui diffuse, on a un **flux molaire diffusif**. Ce que nous dit la **loi de Fick** c'est que ce flux molaire diffusif est égal à :

$$J_d = -D \times S \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

The diagram shows the components of Fick's law:
 

- Flux molaire diffusif** (purple box) points to the  $J_d$  term.
- Surface de diffusion** (green box) points to the  $S$  term.
- Coefficient de diffusion** (orange box) points to the  $D$  term.
- Gradient de concentration** (blue box) points to the  $\frac{\Delta c}{\Delta x}$  term.

Le signe « - » devant le D signifie que la diffusion se fait dans le **sens opposé** du gradient : **du + concentré vers le - concentré**.

Le coefficient de diffusion D dépend des molécules et surtout de leurs tailles. Par exemple, l'hémoglobine qui est une grosse molécule a un coefficient de diffusion plus faible que ne l'est l'O<sub>2</sub> qui est une petite molécule.

### C. DIFFUSION DU SOLVANT

Les molécules de solvant diffusent également car elles sont aussi sujettes à **l'agitation thermique**. Il y a aussi un flux de diffusion molaire des molécules d'eau. L'équation est légèrement différente :

$$J_{\text{eau}} = +D \times S \frac{\Delta c^o}{\Delta x}$$

The diagram illustrates the equation for the molar flux of water,  $J_{\text{eau}} = +D \times S \frac{\Delta c^o}{\Delta x}$ . Four colored boxes are connected to the equation by arrows: a purple box labeled 'Flux molaire diffusif' points to  $J_{\text{eau}}$ ; a green box labeled 'Surface de diffusion' points to  $S$ ; an orange box labeled 'Coefficient de diffusion' points to  $D$ ; and a blue box labeled 'Gradient de concentration osmolale' points to  $\frac{\Delta c^o}{\Delta x}$ .

Le **gradient de concentration osmolale** prend en compte l'ensemble des osmoles de la solution et non pas un seul soluté par exemple.

Il y a un signe « + » au lieu du signe « - », en effet, le flux de diffusion molaire se fait dans le **sens** du gradient de concentration osmolale car l'eau va du – concentré au + concentré. (*l'eau dilue*)

De manière plus générale, il s'agit ici de diffusion de l'eau dans une solution mais lorsqu'on verra la diffusion de l'eau à travers une membrane on parlera **d'osmose**.

### D. DIFFUSION A TRAVERS UNE MEMBRANE SYNTHÉTIQUE

Les membranes synthétiques sont **hémiperméables** c'est-à-dire qu'elles sont **perméables à certaines molécules**. Les membranes ont des pores permettant de faire passer les petites molécules mais qui sont trop petites pour laisser passer les grosses molécules. Ce sont seulement les petites molécules qui vont s'équilibrer. L'équation du flux de diffusion répond à la même forme que la diffusion de Fick  $J_d$ .

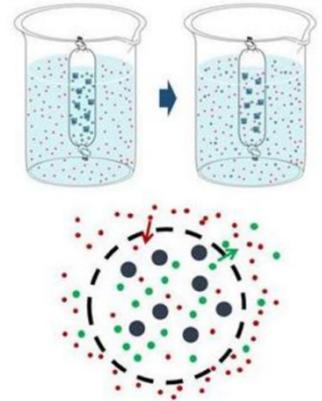
$$J_a = -D \times S' \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

The diagram illustrates the equation for the molar flux through a synthetic membrane,  $J_a = -D \times S' \frac{\Delta c}{\Delta x}$ . Four colored boxes are connected to the equation by arrows: a purple box labeled 'Flux molaire diffusif' points to  $J_a$ ; a green box labeled 'Aire des pores de la membrane' points to  $S'$ ; an orange box labeled 'Coefficient de diffusion' points to  $D$ ; and a blue box labeled 'Gradient de concentration' points to  $\frac{\Delta c}{\Delta x}$ .

La surface  $S'$  correspond à la surface des pores de la membrane qui sont les seuls endroits où la diffusion spontanée peut se faire.

Lorsqu'on a une **solution vraie** (des micromolécules de taille inférieure aux pores), les solutés diffusent. On dit qu'ils **dialysent**. Dialyser= traverser une membrane hémiperméable.

En revanche les molécules ayant une taille supérieure à celle des pores ne diffusent pas. On dit que les molécules des **suspensions ne dialysent pas**.



## II. LES PASSAGES SPONTANÉ À TRAVERS LES MEMBRANES BIOLOGIQUES

---

- Au plan biologique, une membrane est une bicouche lipidique hydrophobe formée (en dehors de cette couche bi lipidique) de protéines qui sont des canaux transmembranaires.
- Au plan biophysique, une membrane est une interface (une limite) entre deux compartiments liquidiens qui sont des solutions de concentration différente. Cette membrane permet des échanges mais évite aussi l'homogénéisation totale entre les deux solutions pour que les deux milieux gardent leurs spécificités → c'est la **résistance** de la membrane.

Les passages transmembranaires peuvent être :

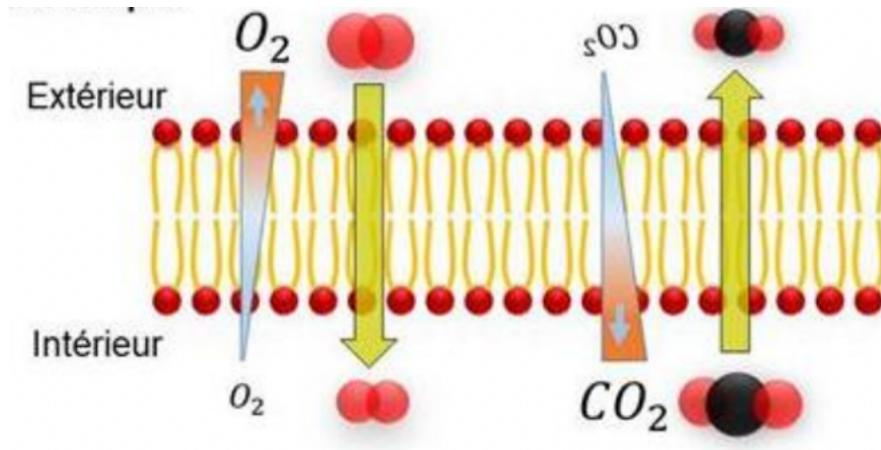
- **Passifs** (= spontanés) liés à la perméabilité de la membrane et à des phénomènes de diffusion à travers elle.
- **Actifs** (=non spontanés) et aller contre la résistance de la membrane.

### A. PASSAGE PASSIF SIMPLE

---

Les passages **passifs simples** concernent les petites molécules hydrophobes non-polaires qui vont diffuser dans le **sens opposé** au gradient de concentration (du + concentré au – concentré). Ce passage est lié à l'agitation thermique et ne nécessite **pas d'énergie**. Il va se dérouler jusqu'à ce qu'il y ait une équilibration des concentrations et donc qu'il n'y ait plus de gradient.

Exemple du schéma : on a une membrane plasmique avec de l'oxygène qui est en forte concentration à l'extérieur et va avoir tendance à diffuser vers l'intérieur à travers la membrane. C'est l'inverse pour le CO<sub>2</sub> qui est en forte concentration intracellulaire et faible extracellulaire et qui va donc diffuser de manière passive et spontanée de l'intérieur vers l'extérieur de la membrane.



## B. FORMALISATION DE LA DIFFUSION À TRAVERS UNE MEMBRANE LIPIDIQUE

---

Tout se passe comme si la membrane était un fluide, la diffusion se fait aussi à l'intérieur de la membrane. Lorsqu'on va de l'extérieur vers l'intérieur de la membrane, il va y avoir d'abord un changement de phase : la molécule va passer de la phase aqueuse à la membrane selon un coefficient de partage  $\beta$ .

C'est un rapport de concentrations entre l'extérieur de la membrane et l'intérieur.

$$\beta = \frac{C'_1}{C_1} = \frac{C'_2}{C_2}$$

Une fois passée dans la membrane, la molécule va diffuser selon la loi de Fick avec un facteur  $D_m$  de diffusion membranaire et une différence de concentration ( $C_2 - C_1$ ) entre la partie intérieure et la partie extérieure de la membrane divisée par l'épaisseur  $\delta$  de la membrane.

Équation de diffusion dans la membrane :  $J_m = -D_m \times S \frac{C'_1 - C'_2}{\delta}$

Une fois que la molécule arrive à la partie intérieure de la membrane, elle va quitter la membrane, être éventuellement hydratée et arrive ainsi à l'intérieur.

La diffusion totale se fait selon l'équation suivante :  $J_{am} = \frac{-D_m S \beta}{\delta} (C_2 - C_1)$

### C. PASSAGE PASSIF FACILITÉ

---

Il est **facilité** par une **protéine canal** ou un **transporteur** qui sont spécifiques et qui permettent à la molécule en question de passer **sans** diffuser à travers la membrane. Le passage passif facilité concerne des **petites molécules hydrophiles polaires = chargées selon une diffusion du + concentré au – concentré**.

Le passage reste **passif** car il s'agit **d'agitation thermique** qui ne nécessite pas d'énergie.

Exemple du schéma : la diffusion facilitée de l'eau se fait par des **canaux spécifiques**, la diffusion du calcium de l'extérieur (+concentré) vers l'intérieur (- concentré) grâce à une protéine canal spécifique.  
Ex : le glucose diffuse par des transporteurs GLUT.

## III. LES PASSAGES NON-SPONTANÉS À TRAVERS LES MEMBRANES LIPIDIQUES

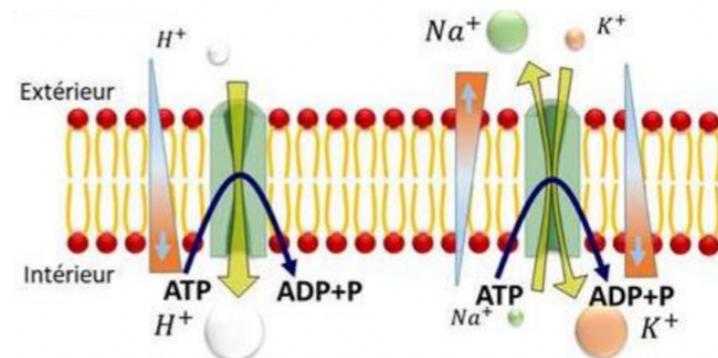
---

---

### A. TRANSPORT ACTIF : ACCUMULATION

---

Ces transferts nécessitent une **protéine pompe** qui va **consommer de l'énergie** pour procéder au transfert du soluté. Il va y avoir une accumulation du **- concentré vers le + concentré** → dans le **sens du gradient** de concentration. Ces transports **actifs** consomment de l'énergie (sous forme d'ATP).



### B. TRANSPORT ACTIF PAR ENDOCYTOSE

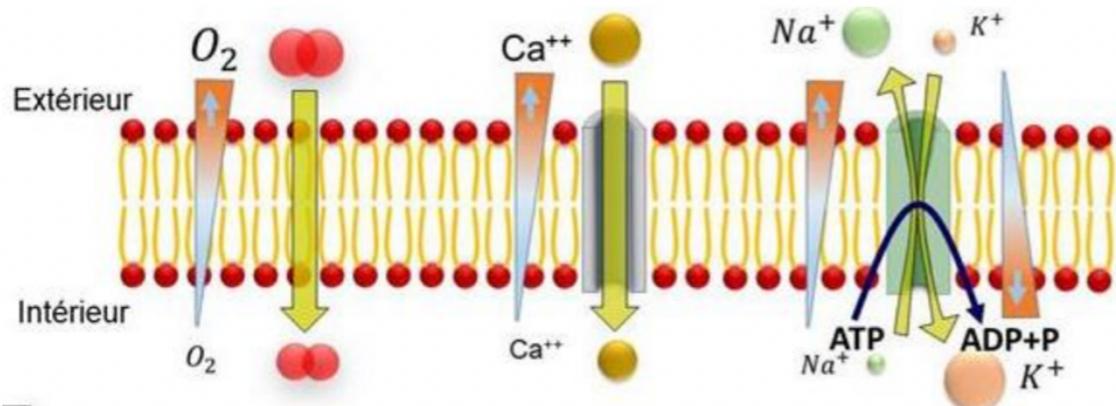
---

Il s'agit de grosses molécules qui vont être « emballées » dans la membrane qui va s'invaginer et les faire pénétrer dans la cellule. C'est un transport **actif** car il faut de **l'énergie** pour que la membrane s'invagine et puisse inclure ces grosses molécules. Il y a également l'intervention d'un **récepteur**.

#### IV. CONCLUSION

---

- ♥ Ces passages transmembranaires sont fondamentaux pour comprendre la physiologie car ils permettent les échanges nécessaires et aussi car ils sont sélectifs et protègent contre l'homogénéisation des compartiments qui perdraient leur sens physiologique s'ils étaient identiques.
- ♥ La diffusion est le moteur des passages spontanés.
- ♥ Les passages non spontanés permettent de maintenir la nature spécifique des différents compartiments. Ils sont fondamentaux en électrophysiologie.



Sur cette image on voit la diffusion passive simple de l' $O_2$ , la diffusion passive facilitée du  $Ca^{2+}$  et le passage actif de la pompe  $Na/K$  ATPase.