

## I/ Potentiel chimique des molécules

### A) Diffusion

**Diffusion** : propriété des molécules en solution de se déplacer selon leur potentiel chimique (moteur : agitation thermique)

Un rassemblement de molécules en solution possède un potentiel de diffusion ou potentiel chimique.

**Potentiel chimique** : quantité de la molécule en un point, proportionnel à la concentration et au coefficient de diffusion (loi de Fick).

Le coefficient de diffusion dépend de la **température** (constante dans le corps, agitation thermique non déterminante) et de la **mobilité mécanique** de la molécule dans son milieu.

Loi de Fick :

$$J_D(x) = -D \frac{dc}{dx}$$

$x$  = distance entre 2 points

$J_D$  = flux par diffusion (sur la distance  $x$ )

$D$  = coefficient de diffusion

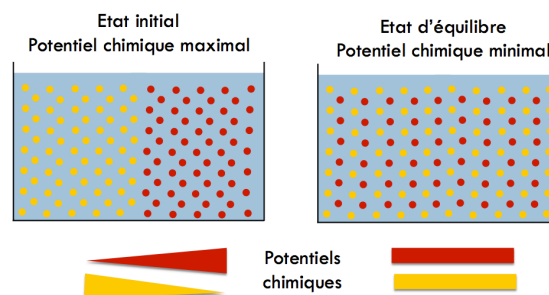
$dc$  = différence de concentration entre A et B

$dx$  = distance entre 2 points très voisins A et B

$dc/dx$  = gradient de concentration entre A et B

Signe négatif = le flux va en sens inverse de celui du gradient  
(le sens du gradient est orienté par convention du - vers le +).

Potentiel chimique  
de la molécule



Etat initial :  
potentiels  
chimiques maximums

Etat d'équilibre : potentiels  
chimiques nuls

### B) Pression osmotique

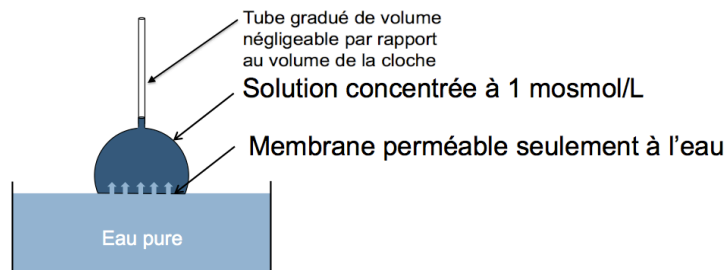
**Osmole** : molécule dissoute, incapables de sédimenter

**Pression osmotique** : pression responsable des mouvements moléculaires dans un milieu liquide, à travers une membrane. Proportionnelle à la concentration de molécules.

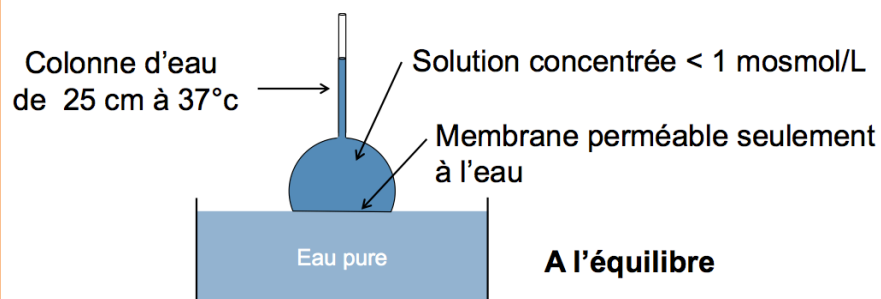
Dans un mélange gazeux : on substitue la notion de pression osmotique à celle de pression partielle ; les mouvements moléculaires proviennent des différences de **pression partielle**.

➤ Osmomètre de Dutrochet

On met en contact 2 solutions de concentrations différentes séparées par une membrane sélective, perméable seulement à l'eau.



L'eau diffuse selon son propre potentiel chimique c'est-à-dire du secteur le plus concentré en eau au moins concentré.

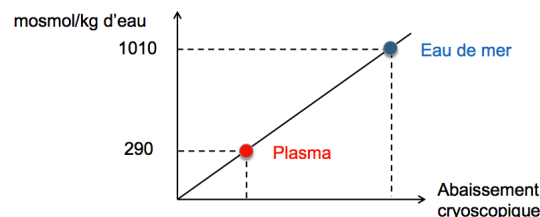


### C) Abaissement cryoscopique

À  $T=0^{\circ}\text{C}$  : la glace et l'eau liquide pure sont en équilibre.

À cause des osmoles à  $0^{\circ}\text{C}$ , la glace décongèle plus vite qu'elle ne congèle : l'équilibre entre congélation et décongélation sera atteinte pour une température  $< 0^{\circ}\text{C}$ .

**Abaissement cryoscopique** : différence entre la température de congélation de l'eau pure et celle de la solution, proportionnel à l'osmolalité (concentration de l'osmole)  
Relation linéaire entre osmolalité et abaissement cryoscopique



### D) Mesure de l'osmolalité

2 méthodes :

- mesure de la pression osmotique (osmomètre de Dutrochet)
- mesure de l'abaissement cryoscopique

Mais en pratique, on n'utilise que l'abaissement cryoscopique.

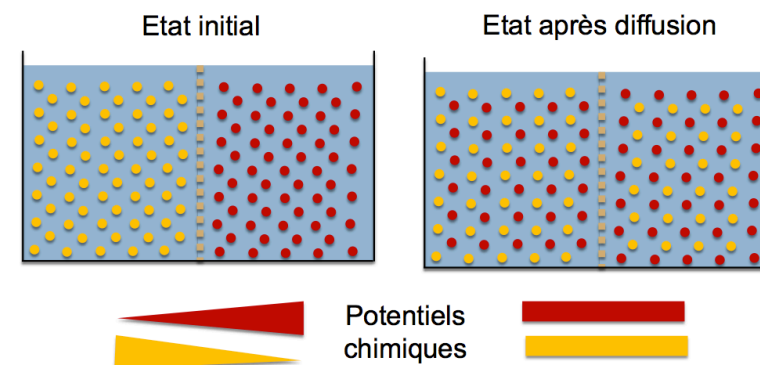
Pourquoi n'utilise-t-on pas l'osmomètre de Dutrochet ?

Il n'existe pas de membrane perméable seulement à l'eau

Pour 1 mosmol/L, il faut une colonne d'eau de 25 cm donc pour une concentration de 300 mosmol/L (plasma), il faudrait une colonne d'eau de 75m.

## II/ Séparation de molécules à travers une membrane (dialyse)

### A) Diffusion



Spontanément, on atteint un état d'équilibre car la membrane est perméable aux osmoles rouges et jaunes.

Interface air-sang :

Le flux de gaz air → liquide (ou liquide → air) est proportionnel au gradient de pression partielle et au coefficient de diffusion.

## B) Convection

**Convection** : propriété des molécules de se déplacer selon la pression hydrostatique qu'elles subissent (utile à la circulation sanguine)

$$\text{Débit}(x) = -L_H \frac{dp}{dx}$$

$x$  = distance entre 2 points

Débit = flux par convection (sur la distance  $x$ )

$L_H$  = coefficient de mobilité mécanique dans le milieu

$dp$  = différence de pression hydrostatique entre A et B

$dx$  = distance entre 2 points très voisins A et B

$dp/dx$  = gradient de pression entre A et B

Signe négatif = le flux va en sens inverse de celui du gradient  
(le sens du gradient est orienté par convention du - vers le +).

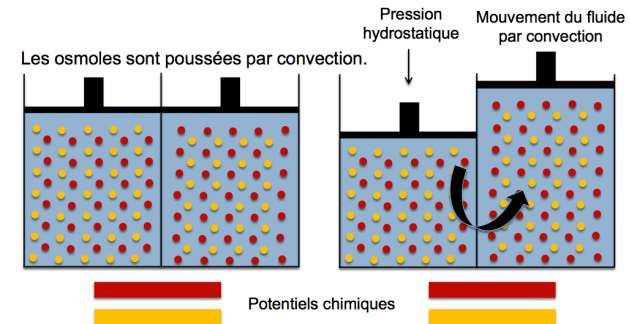
**Pression hydrostatique** : résultante de la pression atmosphérique et de la pression de certains muscles (cœur + muscles de la paroi thoracique). Varie en fonction de l'élasticité des tissus, de la force musculaire et de la gravité.

L'écoulement des fluides est considéré comme laminaire :

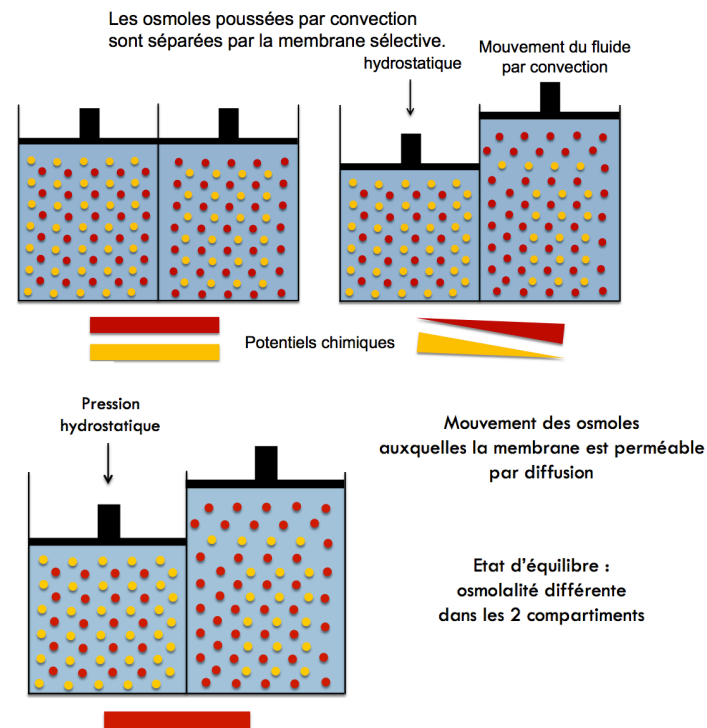
$$\text{Débit de fluide} = \frac{\text{différence de pression}}{\text{résistance}}$$

La pression hydrostatique mobilise le sang et l'air pulmonaire.

➤ Membrane non sélective :



➤ Membrane sélective :

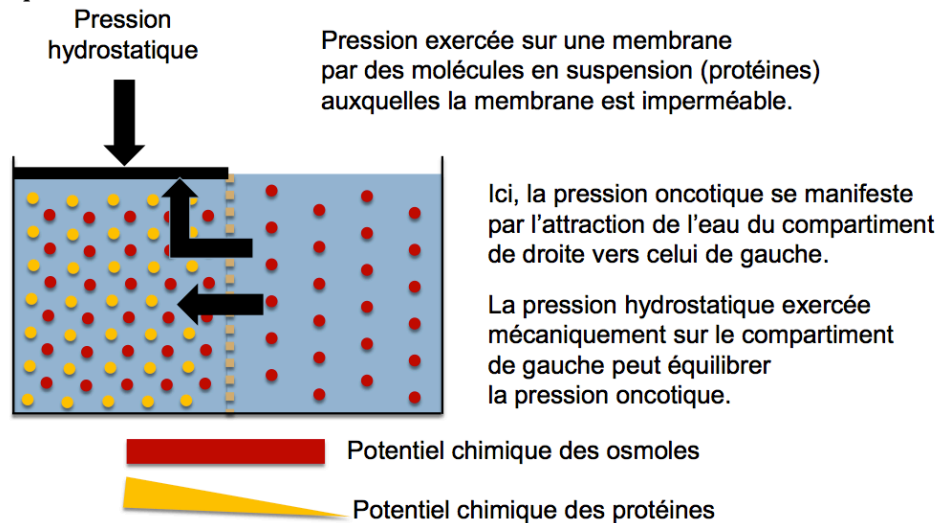


### C) Pression oncotique

**Pression oncotique :** pression exercée sur une membrane par des molécules en suspension (protéines) auxquelles la membrane est imperméable, proportionnelle à la concentration de ces molécules

Pas de conséquence sur l'abaissement cryoscopique.

Cette pression est importante dans les échanges entre le plasma et le liquide interstitiel.



### D) Filtration et ultrafiltration

**Filtration :** passage d'eau et de molécules en solution à travers une membrane non sélective

**Ultrafiltration :** passage d'eau et de molécules en solution à travers une membrane sélective

Les forces motrices sont les pressions hydrostatique, osmotique et oncotique.

## III/ Membrane des capillaires sanguins

### A) Relation de Starling : modélisation d'ultrafiltration

Capillaires sanguins : perméables à l'eau et aux osmoles, imperméables aux protéines.  $P^o$  hydrostatique positive et forte  $P^o$  oncotique

Interstitium :  $P^o$  hydrostatique légèrement négative et faible  $P^o$  oncotique

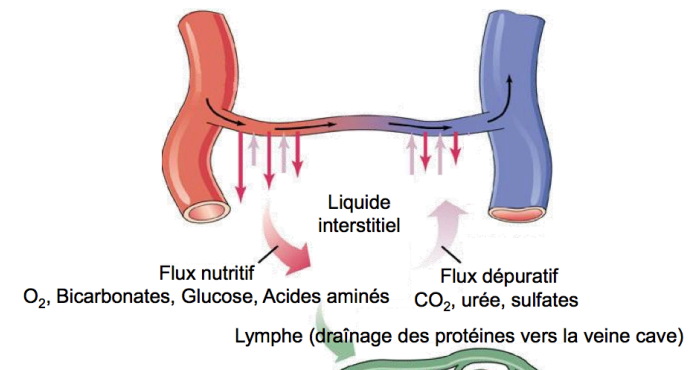
Gradient de pression hydrostatique

Gradient de pression oncotique

$$\text{Débit d'ultrafiltration} = [(P_c - P_i) - (\pi_c - \pi_i)]$$

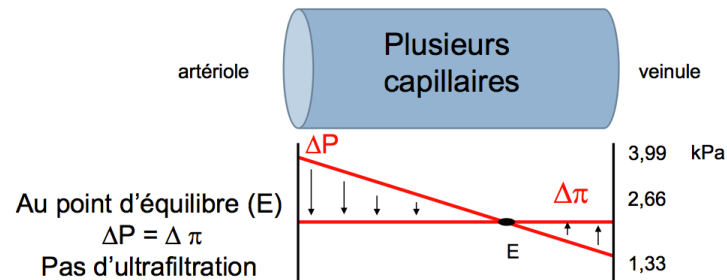
Avec c : capillaire, i : interstitium, P :  $P^o$  hydrostatique,  $\pi$  :  $P^o$  oncotique

➤ Capillaire standard



Lymphhe : réseau de suppléance de captation des protéines car leur membrane est perméable aux protéines

$\Delta P$  = différence de pression hydrostatique  
 $\Delta \pi$  = différence de pression oncotique



P° hydrostatique :  $\Delta P$  diminue car la force de poussée du cœur diminue

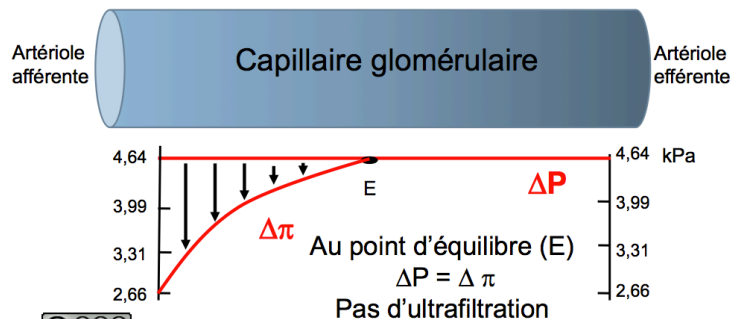
P° oncotique :  $\Delta \pi$  reste stable car la concentration en protéines est la même dans tous les capillaires standards

Milieu artériel :  $\Delta P > \Delta \pi \rightarrow$  ultrafiltration vers le milieu interstitiel

Milieu veineux :  $\Delta \pi > \Delta P \rightarrow$  réabsorption de liquide de l'interstitium vers les capillaires

#### ➤ Capillaire rénal : entre 2 artérioles

$\Delta P$  = différence de pression hydrostatique  
 $\Delta \pi$  = différence de pression oncotique



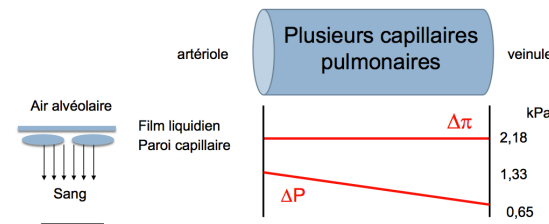
P° hydrostatique :  $\Delta P$  ne change pas puisqu'on reste dans le secteur artériel

P° oncotique :  $\Delta \pi$  augmente jusqu'à un point d'équilibre car on filtre le liquide donc les protéines se concentrent (il n'y a pas de protéines dans l'urine primitive)

Ultrafiltration seule du plasma vers l'urine primitive

#### ➤ Capillaire alvéolaire pulmonaire

$\Delta P$  = différence de pression hydrostatique  
 $\Delta \pi$  = différence de pression oncotique



P° hydrostatique :  $\Delta P < \Delta \pi \rightarrow$  pas de filtration vers l'extérieur mais toujours une réabsorption entraînant une tendance du film alvéolo-capillaire à venir vers le plasma

P° oncotique :  $\Delta \pi$  reste stable (concentration protéique du plasma)

#### Applications en médecine :

$$\text{Débit d'ultrafiltration} = K [(P_c - P_i) - \sigma (\pi_c - \pi_i)]$$

avec K : coefficient de perméabilité hydraulique et  $\sigma$  : coefficient de réflexion protéique

Augmentation de  $\Delta P$ : Insuffisance cardiaque

Diminution de  $\Delta \pi$  (perte d'albumine): Cirrhose, syndrome néphrotique

Augmentation de K : syndrome Néphrotique

Diminution de  $\sigma$  : Infection sévère, inflammation

## B) Épanchement et œdème

**Œdème :** accumulation de liquide extra-cellulaire dans le tissu sous cutané (signe du godet) ou dans les alvéoles pulmonaires (dyspnées et expectorations mousseuses et rosées)

**Épanchement :** accumulation de liquide extra-cellulaire dans les cavités virtuelles

Plèvre → pleurésie (matité à la percussion du thorax)

Péricarde → péricardite (frottements à l'auscultation)

Péritoine → ascite (propagation des vibrations déclenchées)

### Insuffisance cardiaque :

Le cœur gauche n'arrive plus à pomper → accumulation de liquide en amont → augmentation  $\Delta P$  qui devient  $> \Delta \pi$  → ultrafiltration vers l'extérieur → œdème pulmonaire

### Rôle du réseau lymphatique :

Si  $\Delta P$  augmente à partir d'un certain seuil, on a une augmentation brutale du débit du réseau lymphatique (stabilisation) puis quand ce système est dépassé on a un œdème.

## C) Diffusion des gaz entre l'air et le sang

Membrane alvéolo-capillaire (de l'extérieur vers l'intérieur) : film liquidien → pneumocytes → milieu interstitiel → cellules endothéliales

Le flux de gaz entre l'air et le sang est égal à :

**Flux =  $\frac{\text{surface d'échange} \times \text{coeff de solubilité} \times \Delta \text{pression partielle}}{\text{épaisseur de la membrane}}$**

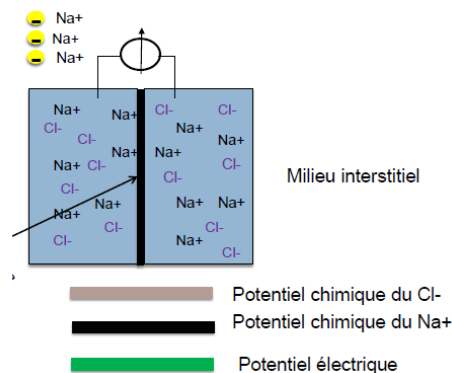
### Applications :

Augmentation de l'épaisseur de la membrane alvéolo-capillaire (ex : œdème pulmonaire) : dyspnée

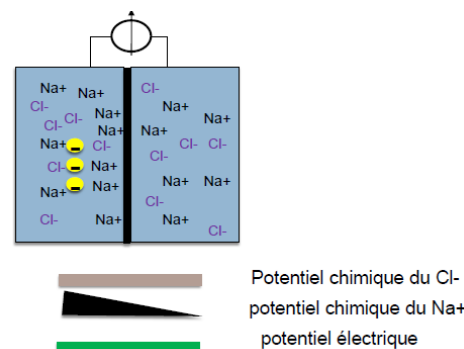
Diminution de la différence de pression partielle entre le sang et l'alvéole en altitude : dyspnée

## D) Effet Donan

Il y a une asymétrie de composition en protéines (chargées -) entre le plasma et le liquide interstitiel. Le plasma contient plus de protéines donc on a une charge légèrement supérieure dans le liquide interstitiel.



Etat normal : 2 compartiments séparés par une membrane sélective (capillaire) perméable à l'eau, au  $\text{Na}^+$  et au  $\text{Cl}^-$  mais imperméable aux protéines. Pas de différence de potentiel électrique car égalité des potentiels chimiques



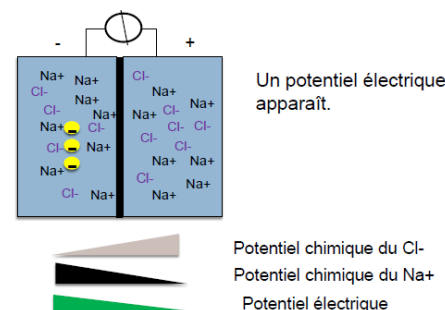
Introduction de protéines (chargées -) associées à du  $\text{Na}^+$ . Dissociation partielle entre les protéines et  $\text{Na}^+$

$\text{Na}^+$  diffuse selon son potentiel chimique

$\text{Cl}^-$  diffuse alors selon son potentiel électrique

Les charges positives passent de gauche à droite donc le potentiel membranaire du côté gauche est rendu négatif.

Le chlore fuit le côté gauche et s'accumule du côté droit, selon un potentiel électrique, et engendre un potentiel chimique pour le chlore.





Mais globalement on reste neutre car on a autant de Na<sup>+</sup> que de Cl<sup>-</sup> !  
Les solutions sont électroneutres et les charges électriques restent asymétriques.

L'effet Donan explique la différence de composition en Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> entre le plasma et le liquide interstitiel par l'asymétrie de répartition des protéines et par l'imperméabilité de la membrane aux protéines.

$$J_E(x) = -u_m \frac{dV}{dx}$$

$x$  = distance entre 2 points

$J_E$  = flux par migration électrique (sur la distance  $x$ )

$u_m$  = coefficient de mobilité électrique dans le milieu

$dV$  = différence de charges électriques entre A et B

$dx$  = distance entre 2 points très voisins A et B

$dV/dx$  = gradient de charges entre A et B

Signe négatif = le flux va en sens inverse de celui du gradient  
 (le sens du gradient est orienté par convention du - vers le +).

Potentiel électrique  
de la molécule

### Migration électrique :

propriété des molécules électriquement chargées de se déplacer selon la différence de potentiel électrique du milieu, en allant vers les charges de signe opposé.

#### ➤ Conclusion sur la membrane capillaire

Autant de cations et d'anions des deux côtés de la membrane

→ électroneutralité

Asymétrie de concentration des charges quantitativement négligeable mais qualitativement importante

Charge dans le milieu interstitiel légèrement supérieure au plasma

## IV. Membrane plasmique

Membrane = bicouche lipidique (phospholipides)

C'est un cristal (cohérence des éléments structuraux) liquide (mobilité des éléments structuraux).

## A/ Equilibre osmotique de l'eau

2 types de diffusion à travers la membrane :

- diffusion simple (sans transporteur moléculaire, pour l'O<sub>2</sub>, le CO<sub>2</sub>)
- facilitée (avec des transporteurs membranaires, pour l'eau et les osmoles)

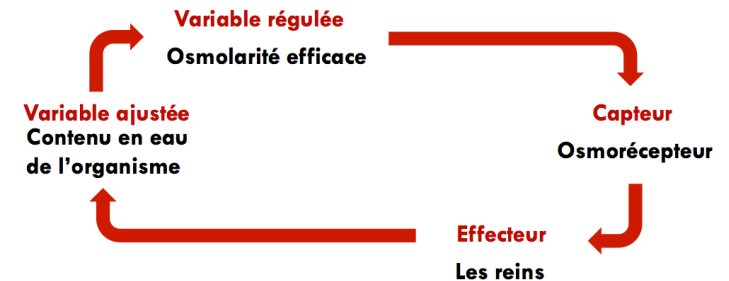
L'eau traverse la membrane grâce à des **aquaporines**.

**Osmose** : diffusion de l'eau du compartiment le moins concentré au plus concentré en osmoles.

Le milieu cellulaire est en équilibre osmotique avec le milieu extracellulaire.

### Régulation :

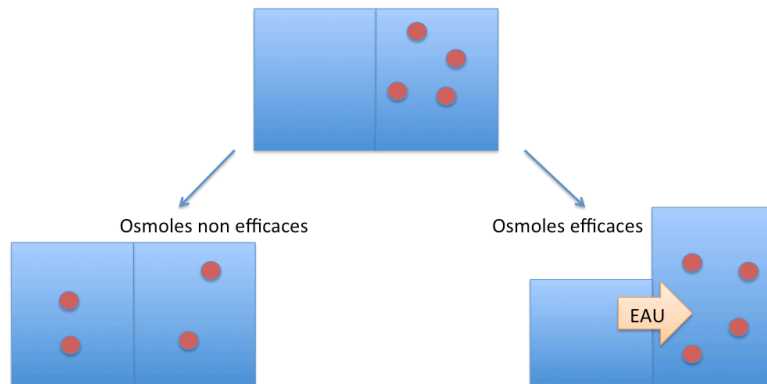
L'organisme a un contenu précis en eau, il faut donc qu'il y ait une régulation.



## B) Osmole efficace

**Osmolarité efficace (=tonicité)** : force qui attire l'eau d'un côté ou de l'autre de la membrane cellulaire

Une osmole efficace entraîne des transferts d'eau et modifie le volume des cellules.



Une osmole efficace doit :

- être incapable de traverser la membrane (ou agir comme si elle ne pouvait pas) : répartition contrôlée de manière active
- être circulante et détectable
- ne pas avoir de conséquence sur les principales fonctions cellulaires si sa concentration plasmatique varie

→ Le sodium est la seule osmole efficace de l'organisme.

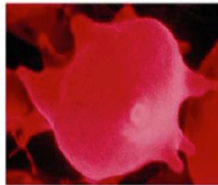
L'osmolarité est la somme des fractions molaires d'une solution

L'isotonie est définie par rapport à la natrémie normale.

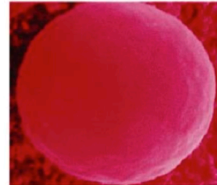
Osmolarité efficace du plasma (mosmol/L) =  $[Na^+] \times 2 = 280 \pm 10$



Entrée = sortie d'eau  
Milieu ISOTONIQUE



Entrée < sortie d'eau  
Milieu HYPERTONIQUE



Entrée > sortie d'eau  
Milieu HYPOTONIQUE

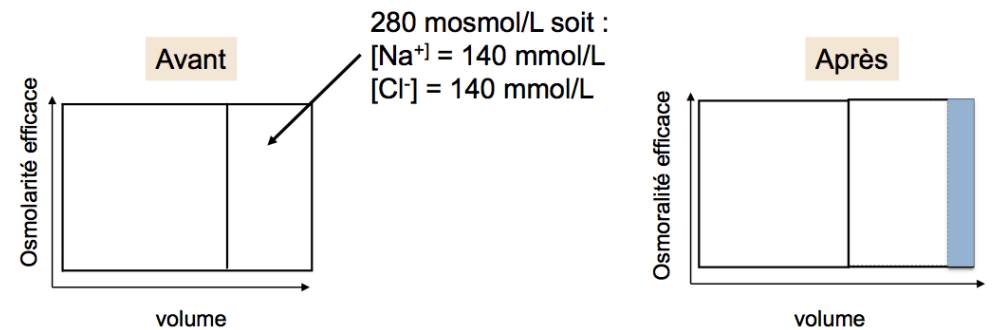
Variation de la natrémie → modification du volume cellulaire

Hypernatrémie → baisse du volume cellulaire

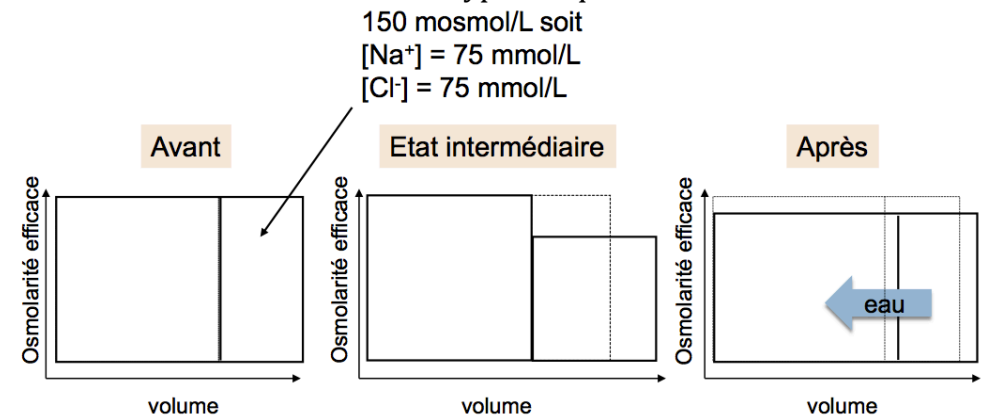
Hyponatrémie → augmentation du volume cellulaire

### C) Perfusion de soluté

➤ Perfusion d'une solution isotonique :

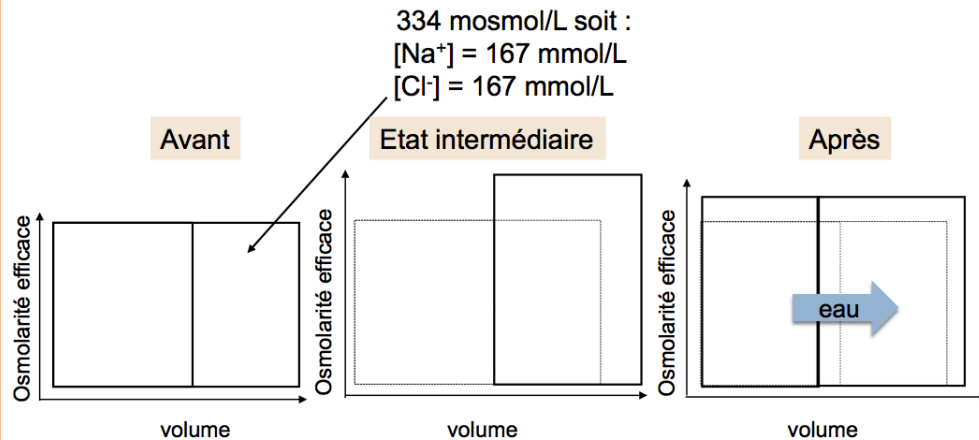


➤ Perfusion d'une solution hypotonique :

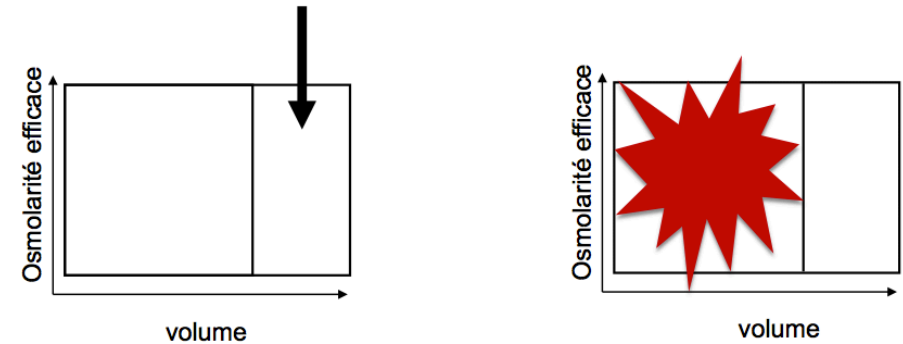




## ➤ Perfusion d'une solution hypertonique :



## ➤ Perfusion d'eau pure :



Choc osmotique ou hémolyse dans le cas des globules rouges

**Jamais de perfusion d'eau pure**

## ➤ Perfusion d'une solution iso-osmotique :

