

# Compartiments liquidiens et milieu intérieur

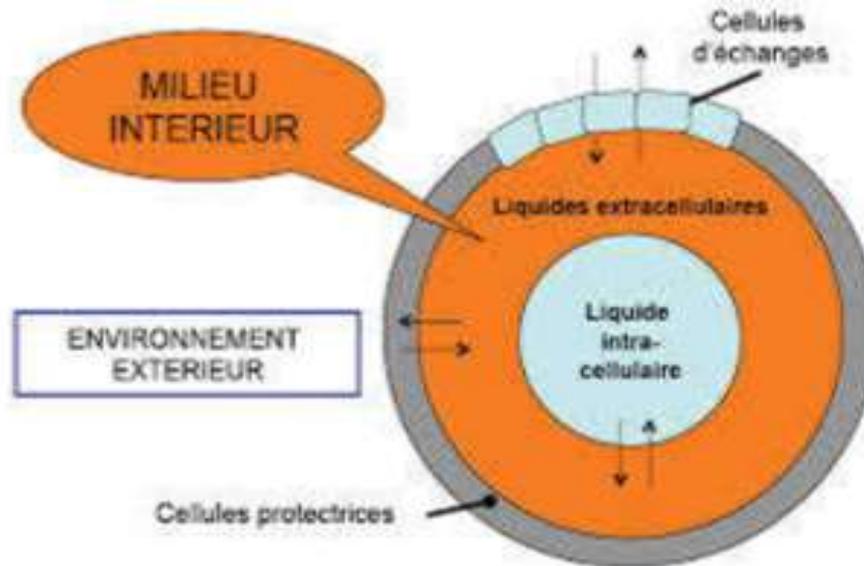
Dr H.Noui

Service de physiologie clinique et explorations  
fonctionnelles

CHU Annaba

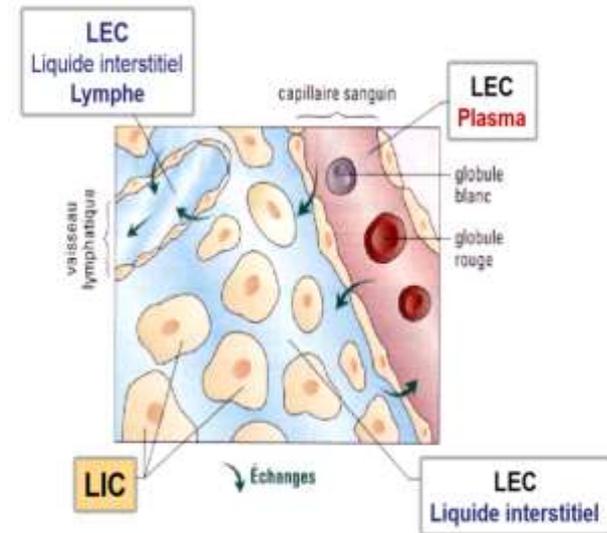
# I. Introduction/Définition

- Liquide où baignent et vivent les cellules de l'organisme, il représente **1/3 de volume total de l'eau corporelle**.



# I. Introduction/Définition

- Milieu intérieur = le liquide extracellulaire (**LEC**) et qui est composé:
  - Plasma
  - liquide interstitiel
  - lymphe

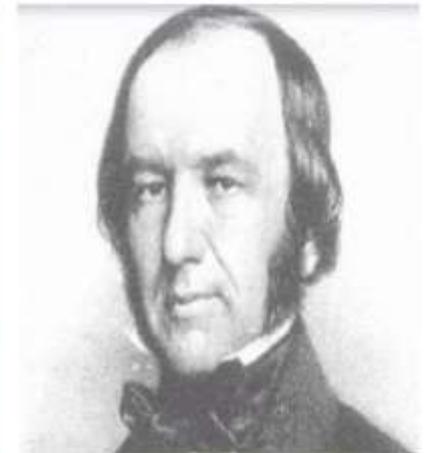


# Selon Claude Bernard

- "La fixité du milieu intérieur est la condition d'une vie libre et indépendante".



- C'est un milieu constant et équilibré
- Cet équilibre est assuré par des organes spécialisés: c'est l'homéostasie du milieu intérieur



- **Rôle du rein** : maintenir la stabilité du milieu extracellulaire pour préserver le fonctionnement cellulaire
- Stabilité du volume et de la composition du LIC essentielle au fonctionnement cellulaire : dépend de celle du LEC (le milieu intérieur) maintenue dans des limites très étroites

– **Natrémie normal = 140 mOsm/L**

Hyponatrémie sévère ( $< 120$  mOsm/L) : le plasma devient **hypotonique** et l'eau se déplace vers les cellules. **Gonflement cellulaire** avec des conséquences graves au niveau **cérébral** (douleur, confusion, coma, mort).

– **Kaliémie normal = 4,5 mOsm/L**

Hyperkaliémie sévère ( $> 5$  mOsm/L) : dépolarisation des cellules et augmentation de l'excitabilité nerveuse et cardiaque (risque d'arythmies graves et mortelles)

## II. Composition des liquides corporels

# A) L'eau:

- Principal solvant de tous les liquides corporels.
- Chez un jeune adulte en bonne santé représente **plus de la moitié de la masse corporelle.**

- La quantité totale d'eau corporelle varie d'un individu à l'autre en fonction de
  - la masse corporelle
  - l'âge
  - Le sexe
  - la proportion de la graisse corporelle.

**L'eau totale = 2/3 du poids  
Corporel (50-70%)**

## Selon l'âge :

- **Nourrisson** : 75% (faible masse graisseuse et osseuse).
- Après l'enfance la quantité d'eau corporelle **diminue** tous au long de la vie pour atteindre **45%** du poids corporels chez **la personne âgé**

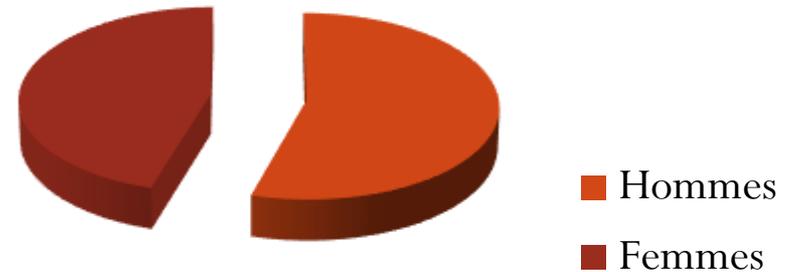
## Selon l'âge



### Selon le sexe :

- Homme : **60%**
- Femme : **50%** (contenu plus du tissu graisseux et moins du muscle que celui de l'homme).

### Selon le sexe



# Teneur en eau dans l'organisme



Nourrisson



Jeune



Homme

Âge



Femme



Graisse

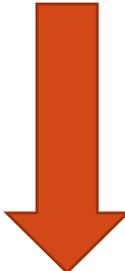


Autres tissus

# 1) Les compartiments liquidiens de l'organisme :

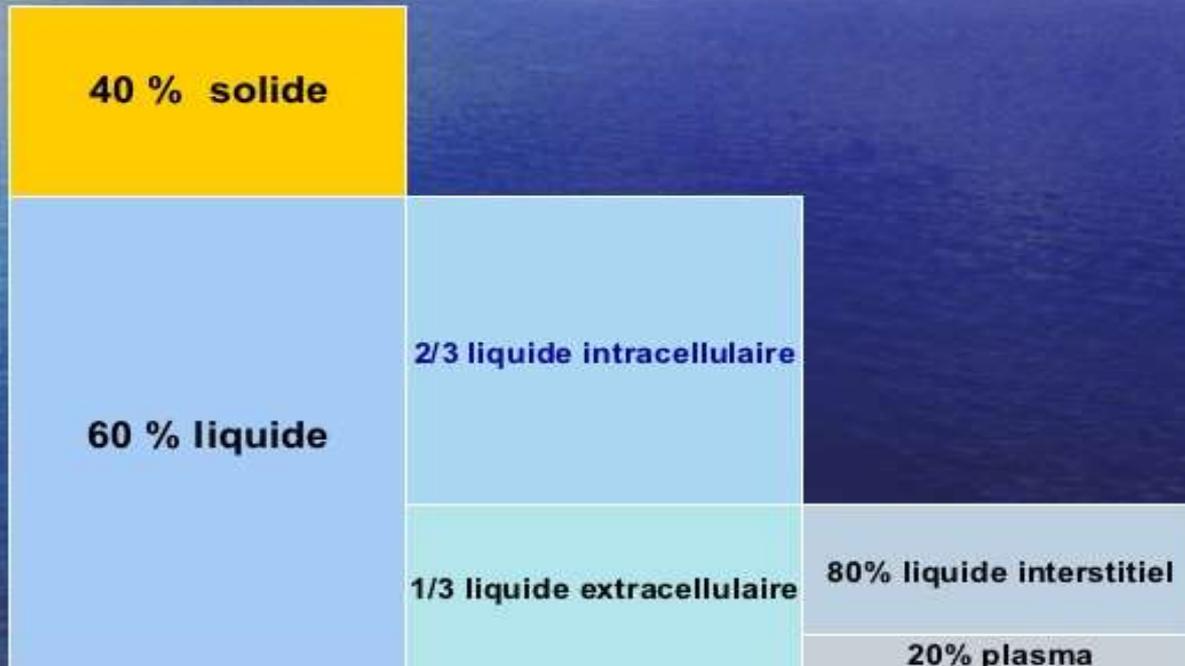
Compartiment intracellulaire  
**(CIC) 2/3 de EC**

liquide extracellulaire  
**(LEC) 1/3 de EC**

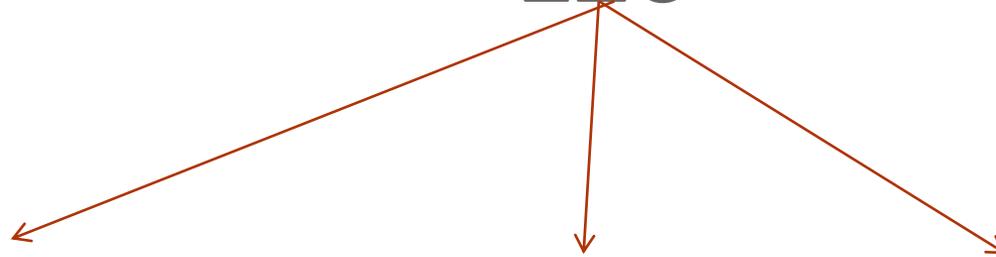


**Milieu intérieur de  
Claude Bernard.**

# LES COMPARTIMENTS LIQUIDIENS



# LEC



**Plasma**

**Liquide interstitiel**

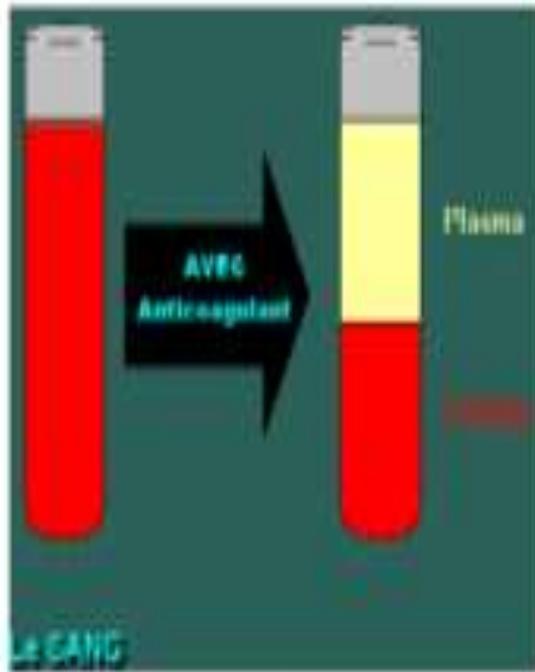
**autres:**

- lymphe
- humeur aqueuse  
de l'œil
- liquides cérébraux  
spinaux
- sécrétions gastro-  
intestinales.

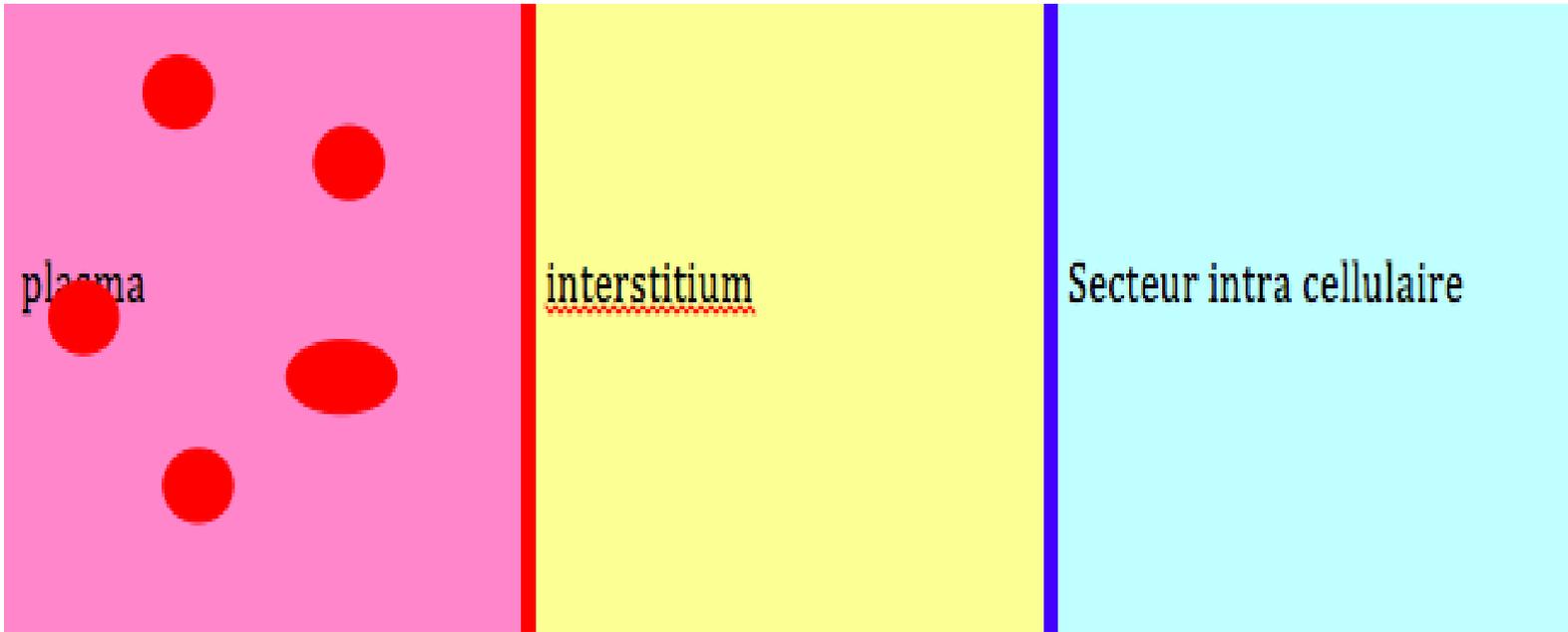
# LEC

## ❖ Plasma ou secteur vasculaire:

- Sang=plasma +éléments figurés



- ❖ **SECTEUR INTERSTITIEL:**  
milieu dans lequel vivent les cellules
- Claire et liquide
- Composition proche du plasma sanguin situé entre le capillaire sanguin et les cellules
- le surplus de ce liquide est drainé par les cap lymphatiques le canal thoracique (lymphe),



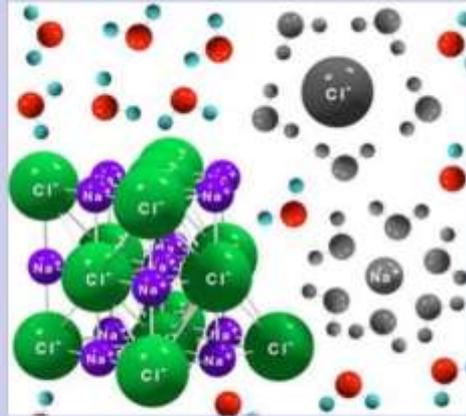
Membrane capillaire  
sanguin

Membrane cellulaire

## 2) Classification des différents compartiments liquidiens :

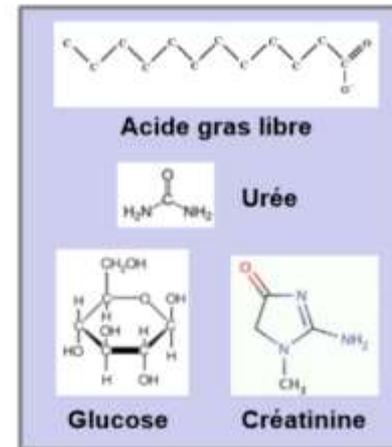
<b>Compartiments</b>	<b>Volume (L)</b>	<b>% du liquide Total</b>	<b>% du poids corporels</b>
Liquides totaux (eau totale)	42	100	60
LIC	28	67	40
LEC	14	33	20
1-Plasma	2,4 (1/5)	6,6 (20% du LEC)	4
2-Liquide interstitiel	11,2	26,4 (80% du LEC)	16
3-Lymphe et liquide transcellulaire	minime		

# B) Les solutés des liquides corporels



- **Cations** :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{H}^+$
- **Anions** :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , protéines, anions organiques,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$

**ELECTROLYTES**  
**95% des solutés**



**NON-ELECTROLYTES**

# Composition ionique du LEC

# liquide extracellulaire(LEC)

```
graph TD; A[liquide extracellulaire(LEC)] --> B[Secteur interstitiel]; A --> C[Secteur vasculaire];
```

## **Secteur interstitiel**

( 16% eau total)

+lymphe (2% eau total)

## Secteur vasculaire

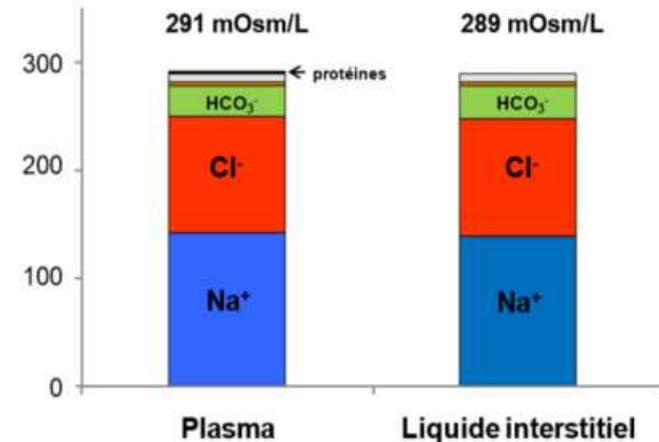
hématies + **plasma**

(4% eau total)

- Ces 2 secteurs sont séparés par le **capillaire sanguin**

# Plasma et liquide interstitiel

- $\text{Na}^+$  et anions associés : surtout  $\text{Cl}^-$  et  $\text{HCO}_3^-$
- **Composition et osmolarité (mOsm/L) presque identiques :** paroi capillaire très perméable à tous les solutés sauf aux **protéines**



	Plasma	Liquide interstitiel
Protéines	2	0
Na <sup>+</sup>	142	139
Cl <sup>-</sup>	108	110
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	28	30

# Osmolarité plasmatique

- $\text{Na}^+$  : 95% des cations du LEC  
(140 mmol/L)

**Natrémie : principal déterminant de l'osmolarité du LEC**

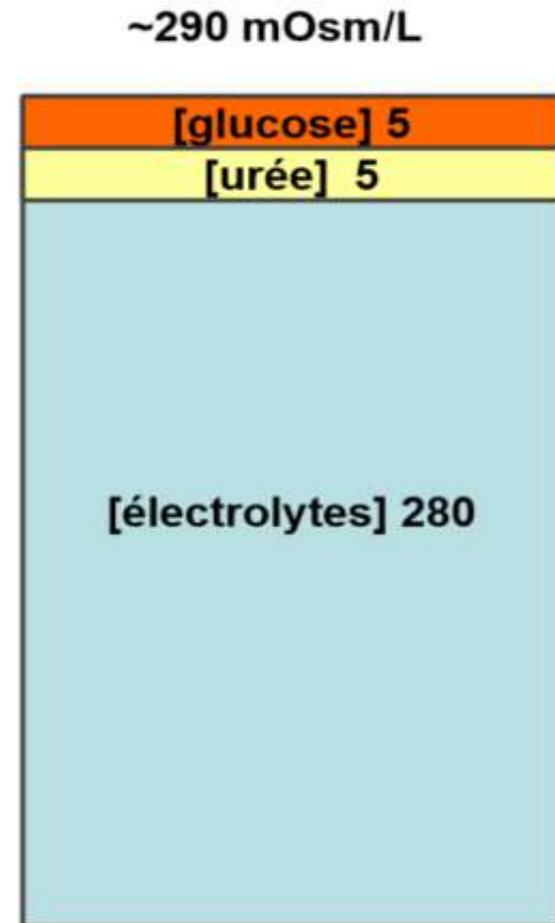
- Osmolarité plasmatique

Calcul rapide :

$$2 \times \text{natrémie} = 280 \text{ mOsm/L}$$

- Si on tient compte des non-électrolytes (glucose, urée) :  
5 mOsm/L chacun

$$2[\text{Na}^+] + [\text{glucose}] + [\text{urée}] = 290 \text{ mOsm/L}$$



- Différences entre l'osmolarité du plasma et liquide interstitiel liée à:

## **l'équilibre de Gibbs-Donnan**

# L'équilibre de Gibbs-Donnan

- La concentration des électrolytes dans le liquide interstitiel est différente de celle du plasma en raison de la présence de **protéines** considéré comme **ions non diffusible**.
- Donc on a une **redistribution des ions**.

 Selon L'équilibre de Gibbs- Donnan

# l'équilibre de Gibbs-Donnan

On considère un système à 2 compartiments séparés par une membrane librement

- Perméable : à l'eau et aux ions de faible PM.
- Imperméable : aux macromolécules (Pr-).

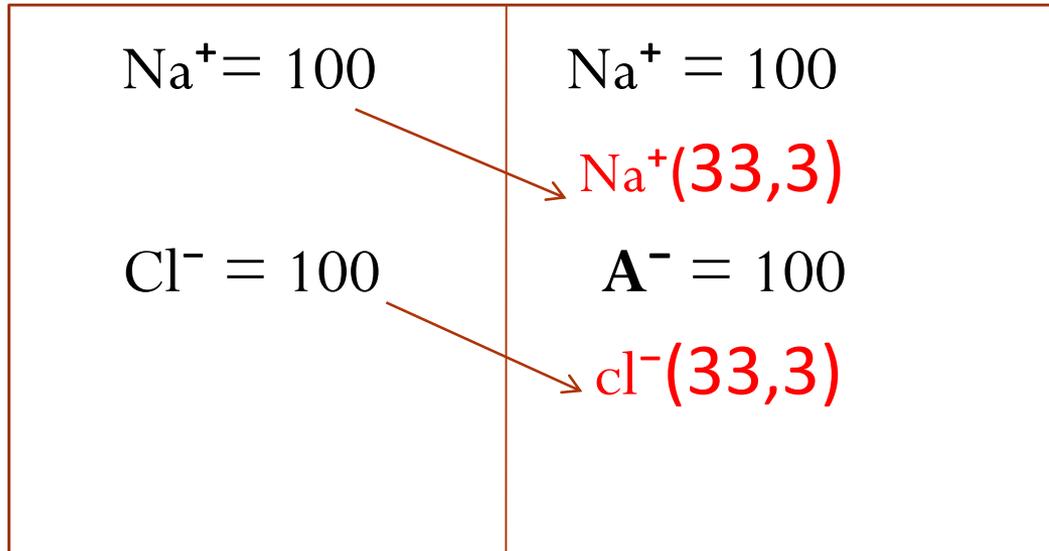
# l'équilibre de Gibbs-Donnan

$\text{Na}^+ = 100$	$\text{Na}^+ = 100$
$\text{Cl}^- = 100$	$\text{A}^- = 100$

(1)

(2)

# l'équilibre de Gibbs-Donnan



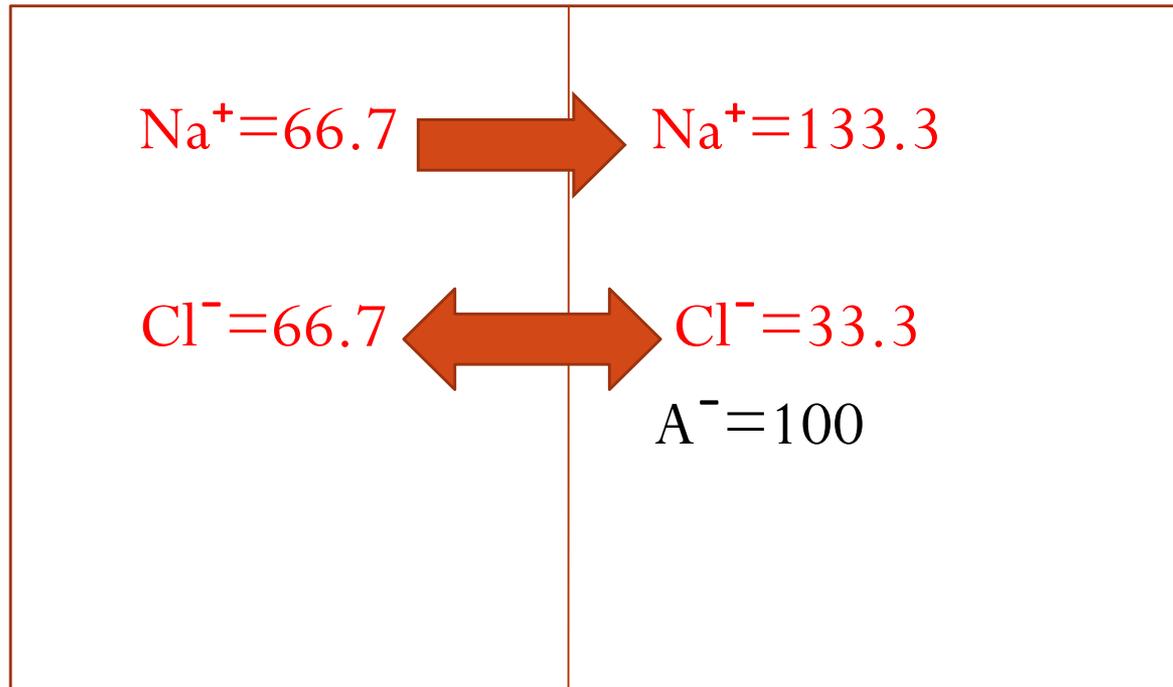
(1)

(2)

# l'équilibre de Gibbs-Donnan

- Le  $\text{Cl}^-$  va diffuser du (1) vers (2) selon un **gradient de concentration** .
- Le  $\text{A}^-$  ne diffuse pas  $\longrightarrow$  **un excès de charges négatives**  $\longrightarrow$  DDP électrique (la membrane est plus négative du compartiment (2))  $\longrightarrow$  **un appel de  $\text{Na}^+$**

# l'équilibre de Gibbs-Donnan



(1)

(2)

# l'équilibre de Gibbs-Donnan

À la fin les deux forces électrique et chimiques s'annulent ,et l'équilibre s'établit.

# La loi de gibbs donnans:

- 1) **L'électroneutralité** : respectée de chaque côté des compartiments.

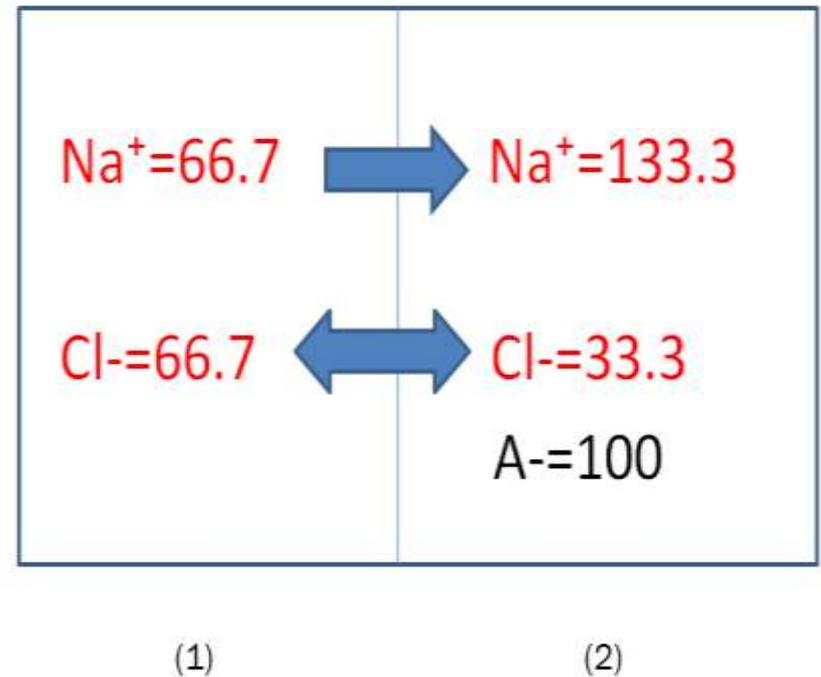
$$\text{Na}^+(1) = \text{Cl}^-(1) \quad \text{Na}^+(2) = \text{Cl}^-(2) + \text{A}^-$$

- 2) **Le produit des ions diffusibles** est **identique** de chaque côté :

$$\text{Na}^+(1) \times \text{Cl}^-(1) = \text{Na}^+(2) \times \text{Cl}^-(2)$$

- 3) la somme des ions diffusibles est **plus élevée** dans le compartiment où se trouve **l'ion non diffusible**:

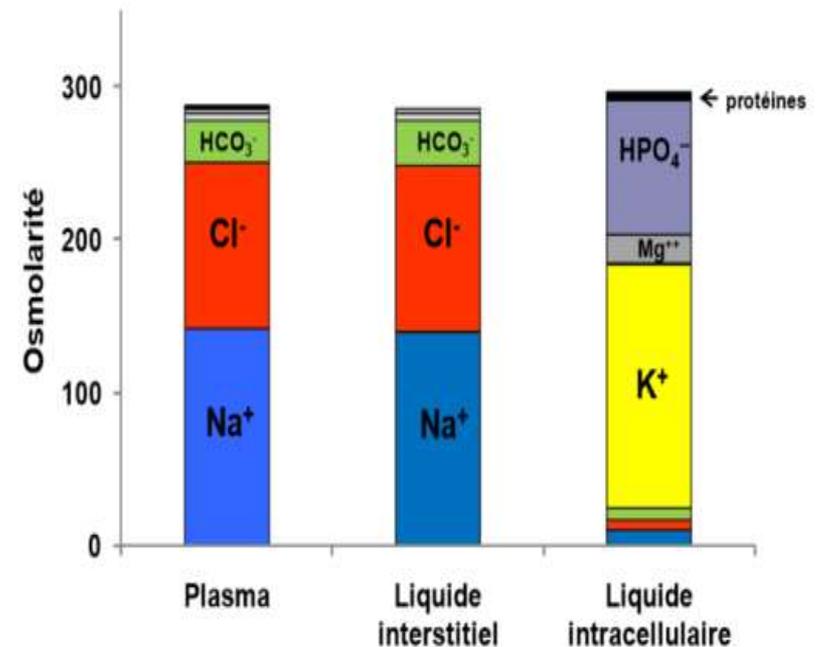
$$\text{Na}^+(2) + \text{Cl}^-(2) > \text{Na}^+(1) + \text{Cl}^-(1)$$



# Composition ionique du LIC

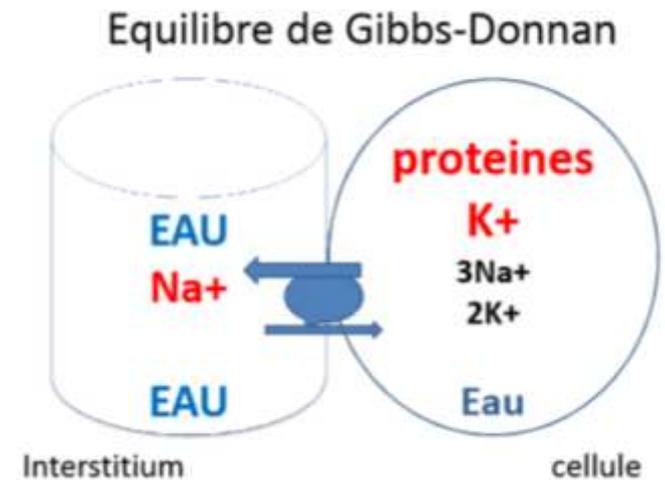
# Composition ionique du LIC

- **Osmolarité du LIC**  
surtout due aux **sels de potassium ( $K^+$ )**
- **Légèrement  $>$  à celle du LEC** à cause de la concentration élevée des **protéines intracellulaires**



La loi de Gibbs Donnan conditionne les concentrations et la répartition ionique dans les différents compartiments de l'organisme :

- $[\text{Pr}^-]$  du  $\frac{1}{2}$  interstitiel  $<$   $[\text{Pr}^-]$  plasmatique
- $[\text{Na}^+]$  et  $[\text{Cl}^-]$  LEC  $>$   $[\text{Na}^+] \times [\text{Cl}^-]$  LIC.
- $[\text{K}^+]$  LIC  $>$   $[\text{K}^+]$  LEC.



# Les solutés non électrolytes

# Les solutés non électrolytes

- ont des liaisons en général covalentes, qui les empêchent de se dissocier lorsqu'en solution et donne digérer des molécules chargés électriquement.
- C'est le cas des **molécules organiques** comme le **glucose, le lipide, la créatinine, l'urée.**
- Malgré l'importance physiologique de certaines de ces substances comme le glucose, Certains acides aminés et l'urée. Ces particules ne constituent qu'une toute petite fraction des particules dissoutes à activité osmotique.

# III. Mesure des volumes liquidiens de l'organisme

## **A. Méthode de dilution de traceur :**

- Méthode de référence
- Traceur ou indicateur est une substance injectée dans un compartiment liquidien et qui permet de mesurer le volume de ce compartiment en estimant l'importance de dilution après qu'elle diffuse uniformément.

- **Propriétés du traceur :**

- Non toxique.
- Mesurable de façon précise, rapide et reproductible.
- Ne diffuse pas en dehors de l'espace à mesurer.
- Ne modifie pas le fonctionnement et le métabolisme des tissus.
- Faiblement éliminé et /ou métabolisé.

## B. Principe de dilution :

- Injection d'une **masse M** du traceur dans l'organisme (IV).
- Après dilution et diffusion complète et homogène.
- La **concentration C** du compartiment atteint par le traceur .

$$M = C \times V$$



$$V = M / C$$

V : volume du compartiment.

- Le choix de la substance dépend du compartiment hydrique corporel à mesurer

**Tableau:** Marqueurs utilisés pour mesurer les différents compartiments liquidiens

Eau corporelle totale	Volume extracellulaire	Volume plasmatique
Tritium( <sup>3</sup> H)	Saccharides non métabolisés(inuline par exemple), sulfocyanate, bromure	Bleu Evans
Deutérium( <sup>2</sup> H)	Sodium , chlore ou brome radioactifs	Albumine marquée
Antipyrine	Sulfate	I 125ou I131

- Les autres compartiments peuvent être déduits

par soustraction:

$$\_ V^3 \text{ IC} = V^3 \text{ EC totale} - V^3 \text{ EC}$$

$$\_ V^3 \text{ d'eau interstitielle} = V^3 \text{ EC} - V^3 \text{ plasmatisque}$$

- Les proportions relatives des solutés et des solvants sont exprimées en:
  - gramme/l
  - moles/l
  - Equivalents/l
  - Osmoles /l (ou /Kg de solvant)
- Du fait de faibles concentrations des substances les unités utilisées en pratique médicale, sont exprimées en milli ... (mole – gramme – équivalent - osmole)

## **IV. Echanges entre les différents compartiments liquidiens**

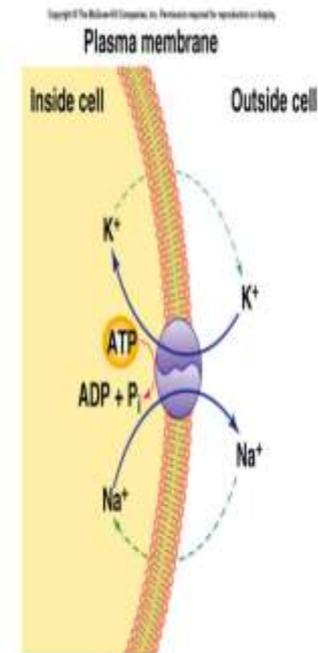
# **1) Echanges entre compartiment extracellulaire et compartiment intracellulaire**

- Se font à travers **la membrane cellulaire** qui est **semi-perméable**.
- Le passage de différentes molécules à travers la membrane cellulaire se fait selon plusieurs modalités de transport:

A. Transport actif :

- se fait **contre** un gradient (de concentration, et électrochimique), consomme de l'énergie et prépare le terrain pour le transport passif,
- Exemple : **la pompe  $\text{Na}^+ / \text{K}^+$  ATP ase.**

La pompe à  $\text{Na}^+ / \text{K}^+$



B. Transport passif : dans **le sens** d'un gradient et sans consommation d'énergie.

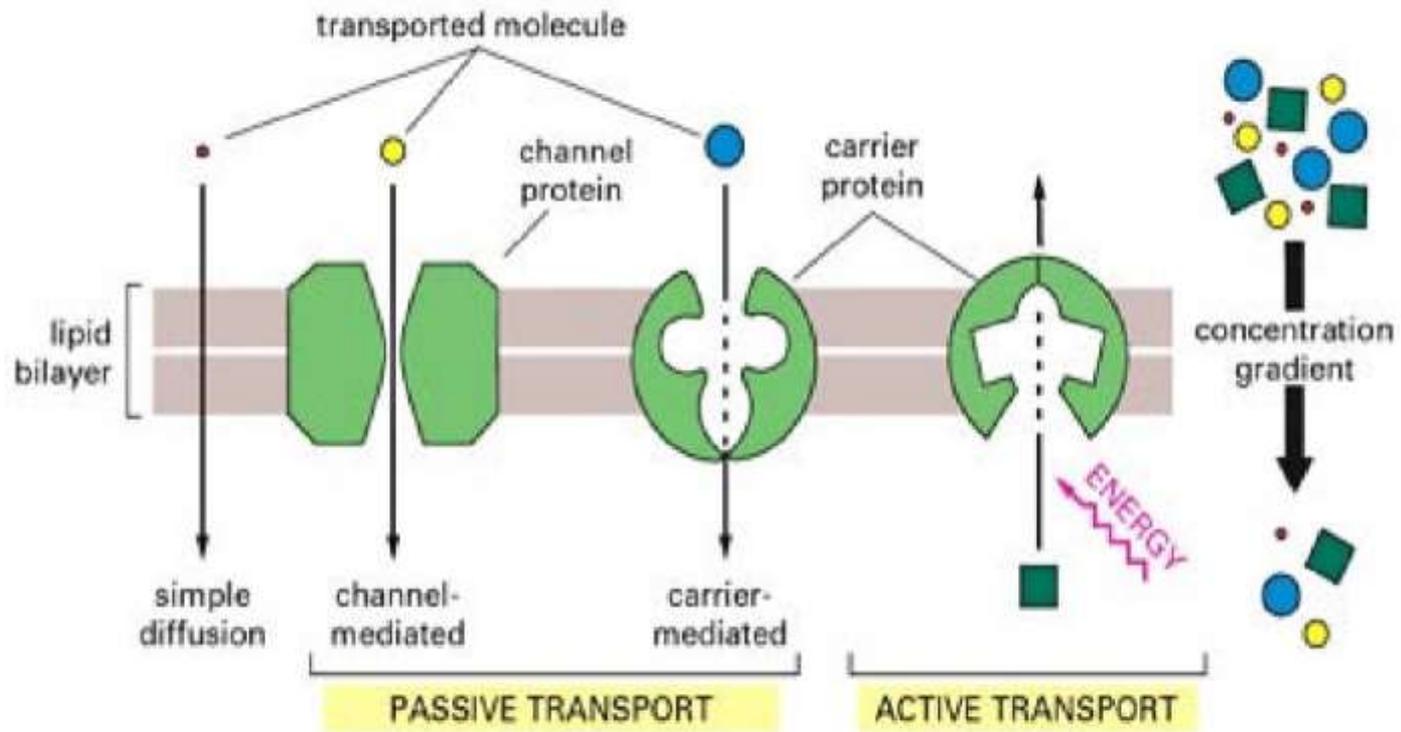
- **Diffusion simple ou libre** : substances liposolubles. La vitesse de diffusion dépend uniquement de **la différence de concentration**.

Exemple : O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, vitamines liposolubles, l'alcool.

- **Diffusion à travers les canaux protéiques** qui sont ouverts en permanence canaux calciques.

- **Diffusion facilitées** : \* molécules hydrosolubles.
  - \* **un transport spécifique.**
  - \* rapide et saturable.

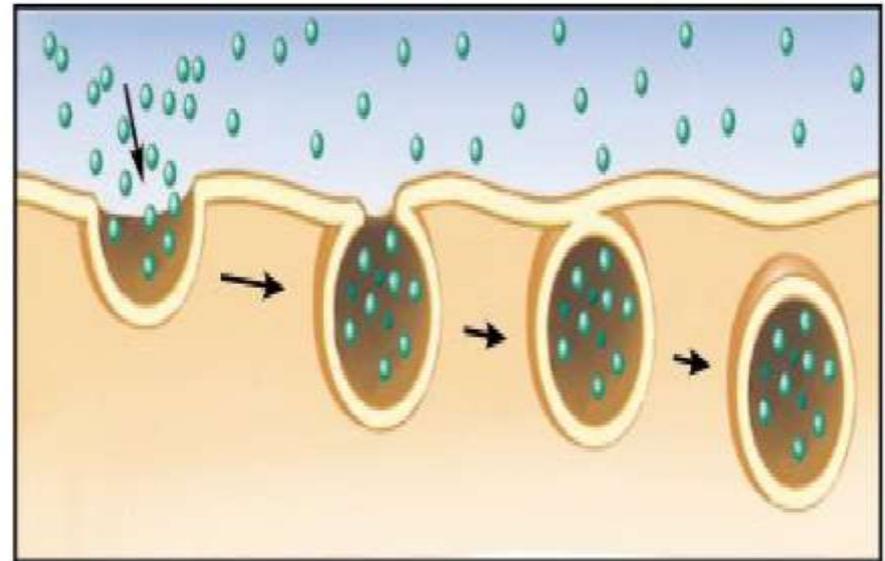
Exemple : glucose, AA.



### C. Pinocytose :

- exocytose, endocytose (par formation de vésicules).
- Exemple : hormones thyroïdiennes

i.



Vésicule pinocytaire

**Osmose** : la diffusion d'un solvant

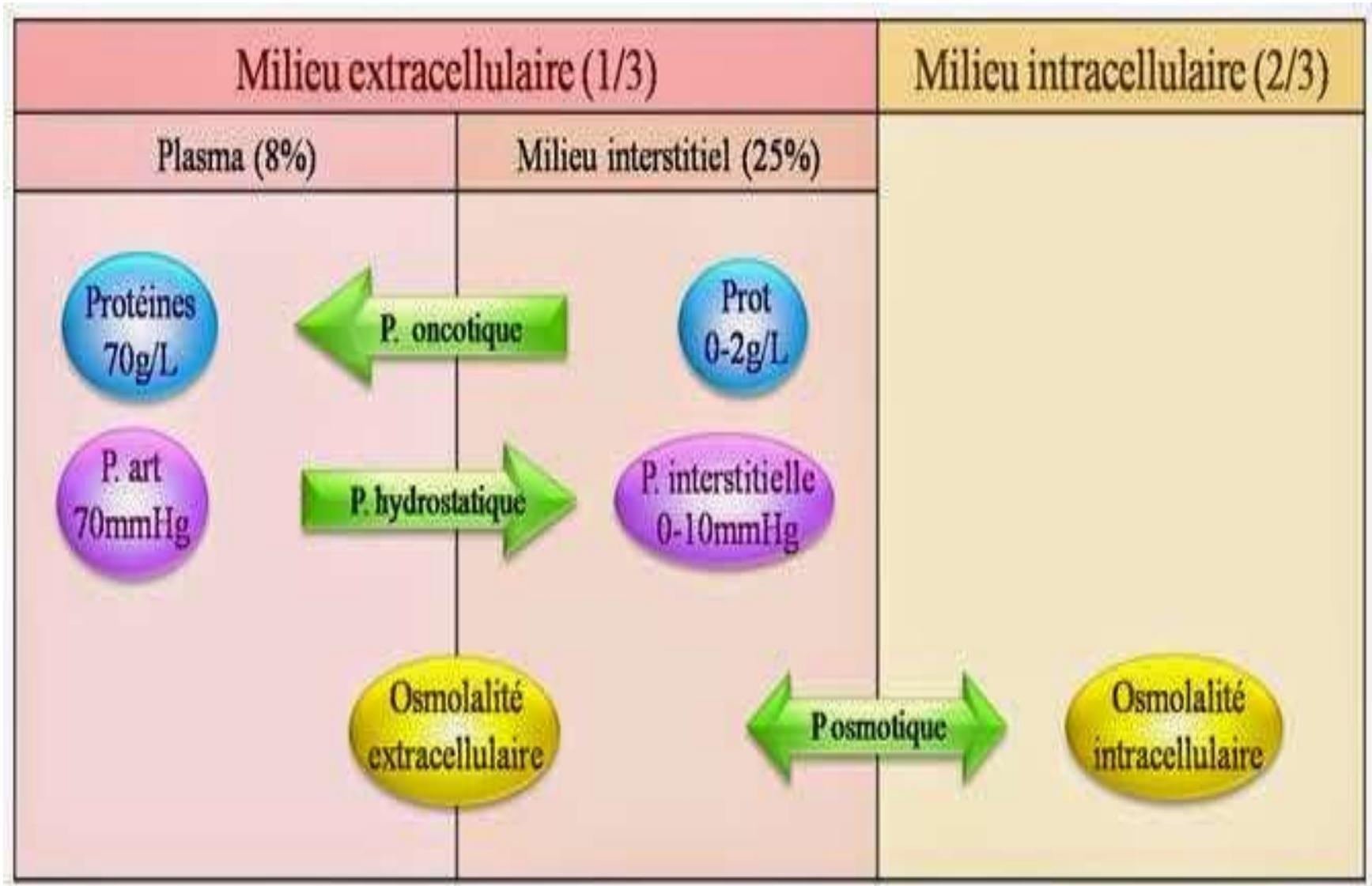
par exemple : l'eau à travers une membrane à perméabilité sélective du milieu riche en eau vers un milieu pauvre en eau, ces transferts par osmose sont régis par **les gradients de pression osmotique** qui est l'ensemble de forces s'opposant aux mouvements d'eau ( $\Sigma$  des pressions osmotiques des différentes substances dissoutes osmotiquement actives).

## **2) Echanges entre le plasma et le liquide interstitiel**

- Se font selon **le schéma de Starling**.
- Se fait à travers **une couche endothéliale discontinue**, l'écoulement de l'eau se fait en fonction de la différence de pression.
- Entre l'interstitiel et le plasma : le moteur majeur des échanges représenté par la **pression oncotique** générée par les protéines (présence de protéines presque exclusivement dans le plasma et négligeable dans l'interstitiel donc :  $P_{\text{oncotique plasma}} > P_{\text{oncotique interstitiel}}$ ).
- **Pression hydrostatique** : Pression de sang générée par le travail cardiaque.

Quand le cœur gauche propulse le sang dans les gros vaisseaux.

La pression hydrostatique de l'interstitiel est négative.



## Equation de Starling:

$$PF = K [(PHC - PHI) - (POC - POI)]$$

PF : Pression de filtration (flux d'eau).

K : coefficient de filtration.

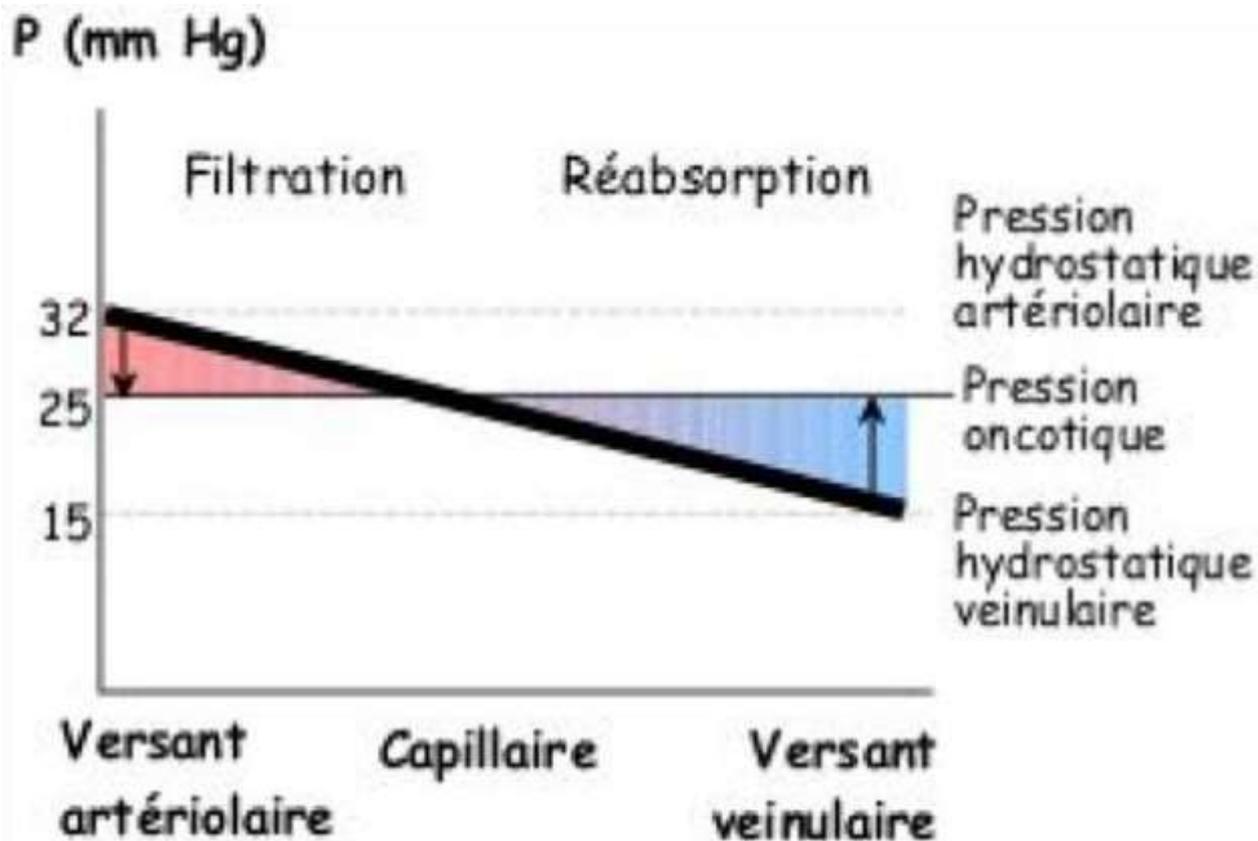
PHC: pression hydrostatique capillaire

PHI: pression hydrostatique interstitielle

POC: pression oncotique capillaire

POI: pression oncotique interstitielle

# MECANISME DE STARLING



Les échanges qui s'effectuent le long du capillaire sont variable :

**Au début du capillaire** : Différence de PH > différence de P oncotique.

$$PH_c = 40\text{mmHg}, PH_i = 2\text{mmHg}, PO_c = 25\text{mmHg}, PO_i = 3\text{mmHg}.$$

$$\text{Donc la pression de filtration selon la formule est } = (40 - 2) - (25 - 3) \\ = +10\text{mmHg}.$$

Cette différence est **positive** : l'eau passe du plasma vers l'interstitiel.

**A la fin du capillaire** : Différence de PH diminue progressivement jusqu'à devenir inférieure à la différence de PO interstitiel

$$PH = 15\text{mmHg} ; PO_{\text{plasmatique}} = 28 ; PO_{\text{int}} = 3 \longrightarrow Pf = -10\text{mmHg}$$

Donc la différence est **négative** : l'eau passe de l'interstitiel vers le plasma.

Les échanges sont bien expliqués par le schéma de Starling.

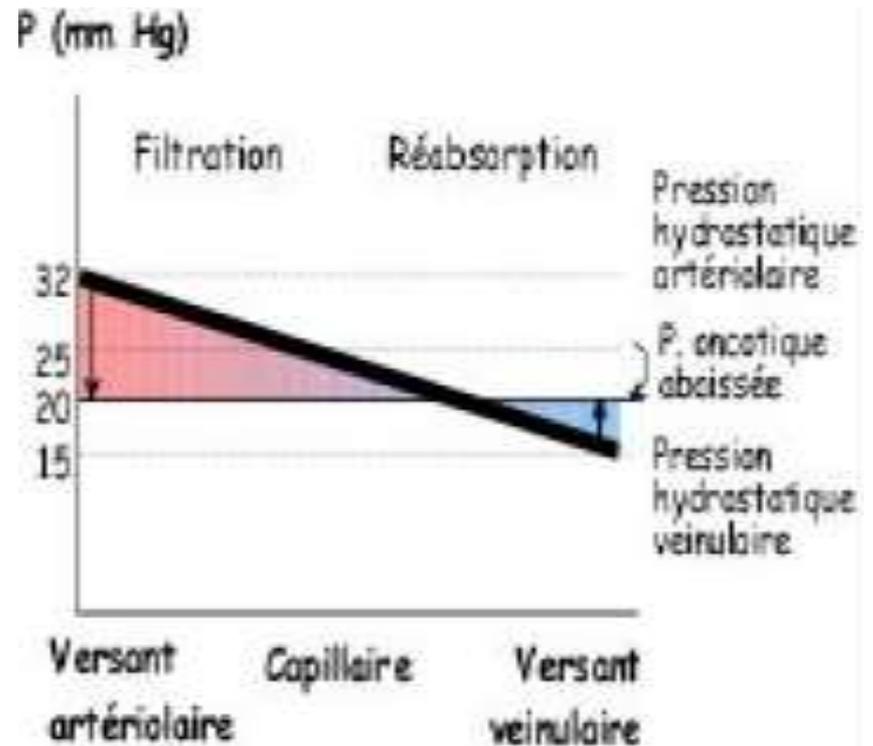
- La somme des flux tout au long du capillaire résulte en un faible flux net de filtration du capillaire vers le liquide interstitiel
- Le volume de fluide interstitiel ainsi générée est redigé vers la circulation générale via les canaux lymphatiques



- En cas d'insuffisance cardiaque congestive ou syndrome néphrotique

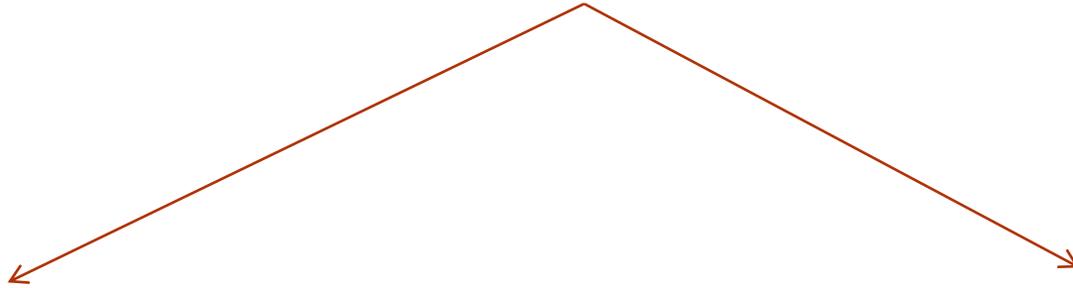
➔ formation d'oedèmes

➔ altération des forces de starling (hyperpression hydrostatique et/ou baisse de pression oncotique)



# V. Bilan hydrique

60% du poids corporel



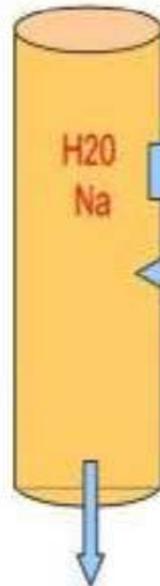
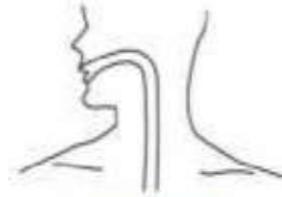
CIC (2/3)

28L

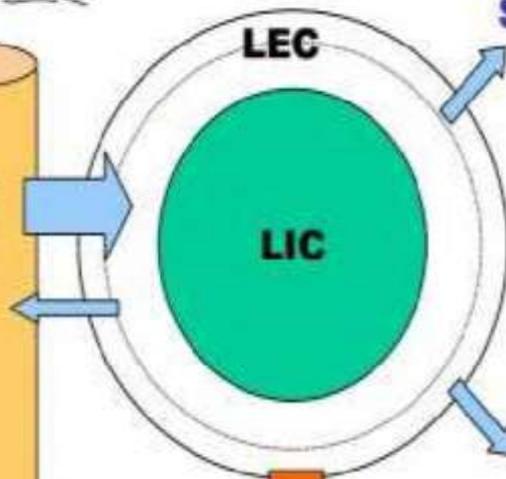
CEC (1/3)

14L

Entrées H<sub>2</sub>O et Na



Selles

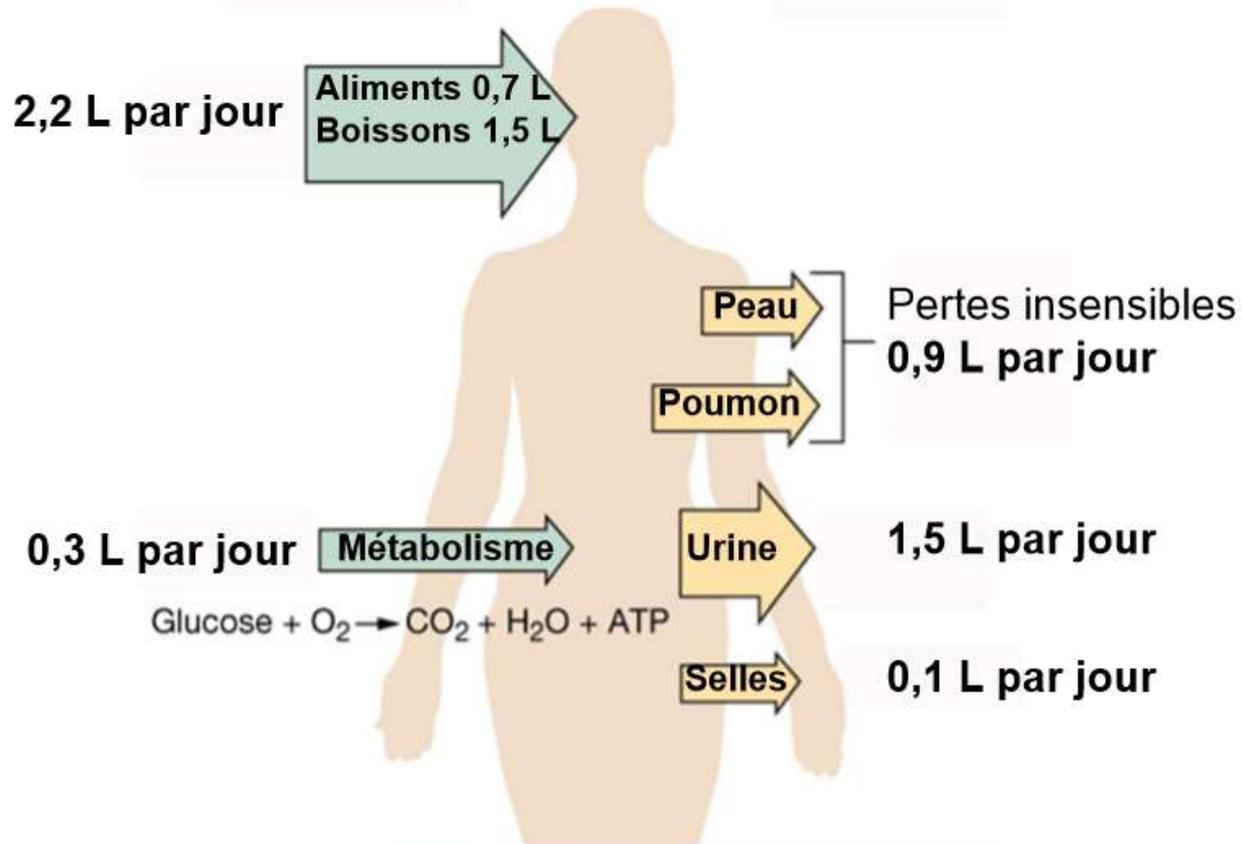


Sueur

Respiration

Rein

# L'équilibre hydrique



$$\begin{array}{|c|} \hline \text{Apports} \\ \hline 2,2 \text{ L} \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{Production} \\ \hline 0,3 \text{ L} \\ \hline \end{array} - \begin{array}{|c|} \hline \text{Sorties} \\ \hline 0,9 + 1,5 + 0,1 \text{ L} \\ \hline \end{array} = 0$$

**2,5 L par jour**

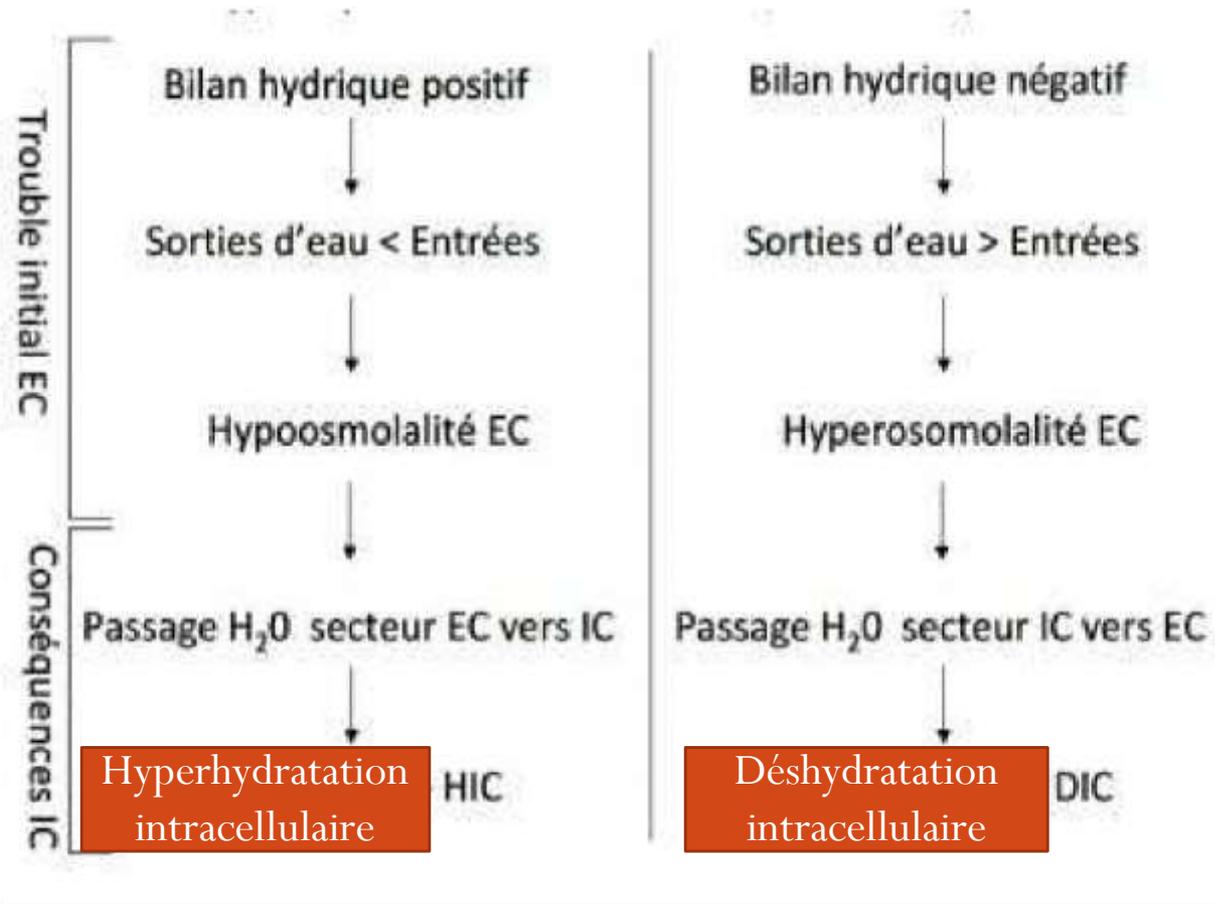
# Notion d'osmolarité

- Solutés = Osmoles
- Osmoles du CIC  $\neq$  Osmoles du CEC  
Protéines +  $[K^+]$   $\neq$   $[Na^+]$
- ➔ Osmoles IC  $>$  Osmoles EC
- ➔ Volume IC  $>$  Volume EC
  
- Osmolarité = quantité d'osmoles/L de plasma
- Osmolalité = quantité d'osmoles/kg de plasma
- Osmolarité plasmatique = Osmolarité extracellulaire
- ➔ Osmolarité intracellulaire

# Maintien de la balance hydrique



Osmolarité plasmatique maintenue entre **280 - 285 mOsm/L**



Au final, les troubles du bilan de l'eau sont initiés dans le secteur extracellulaire mais conduisent à des troubles du secteur intracellulaire uniquement

- Bilan hydrique (+)

**Adaptation:** osmolarité urinaire  $<$  osmolarité plasmatique

$\implies$   volume des urines

- Bilan hydrique(-)

**Adaptation:** osmolarité urinaire  $>$  osmolarité plasmatique

$\implies$   volume des urines