

*UE3-2 - Physiologie rénale*

---

Chapitre 2 :

# Les compartiments liquidiens de l'organisme

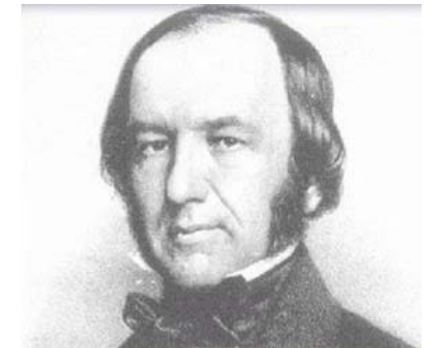
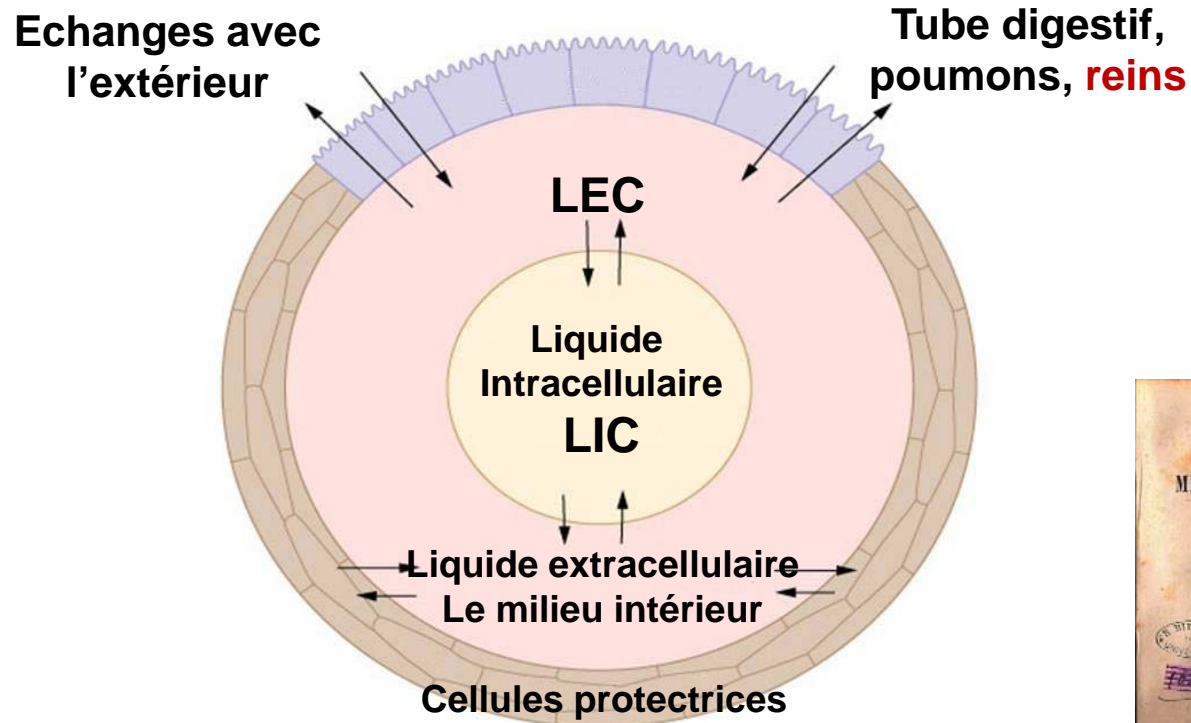
Professeur Diane GODIN-RIBUOT

---

Année universitaire 2011/2012

Université Joseph Fourier de Grenoble - Tous droits réservés.

# Le milieu intérieur



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

*Claude Bernard*

# Rappels

## Unités de mesure des concentrations de solutés

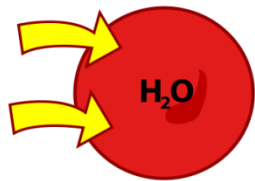
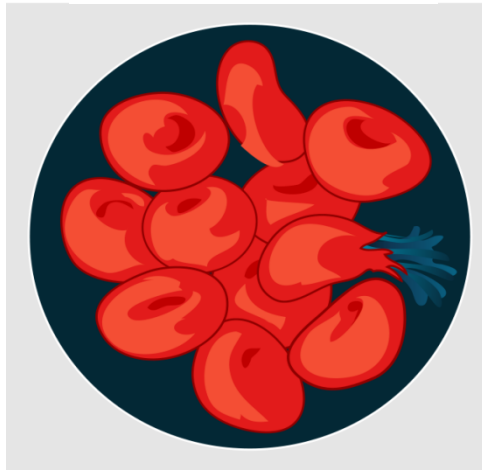
- **Molarité**, en moles/L  
Ex :  $\text{NaCl}$ , P.M. = 23 (Na) + 35,5 (Cl) = 58,5  
 $\text{NaCl}$  1M = 58,5 g/L
- **Osmolarité**, n de particules à activité osmotique/L  
Ex :  $\text{NaCl}$  1M = 2 osmoles/L  
 $\text{CaCl}_2$  1M = 3 osmoles/L  
Glucose 1M = 1 osmole/L  
Protéine 1M = 1 osmole/L
- **Osmolalité**, osmoles/Kg de solvant
- **Equivalents**, charges électriques  
Ex :  $\text{NaCl} = \text{Na}^+ + \text{Cl}^- = 2 \text{ Eq/L}$   
 $\text{CaCl}_2 = \text{Ca}^{2+} + 2\text{Cl}^- = 4 \text{ Eq/L}$   
Glucose (non-électrolyte) = 0 Eq/L

# Osmose et tonicité dans les liquides corporels

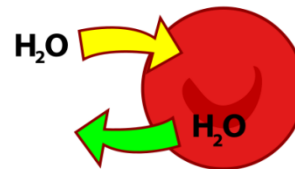
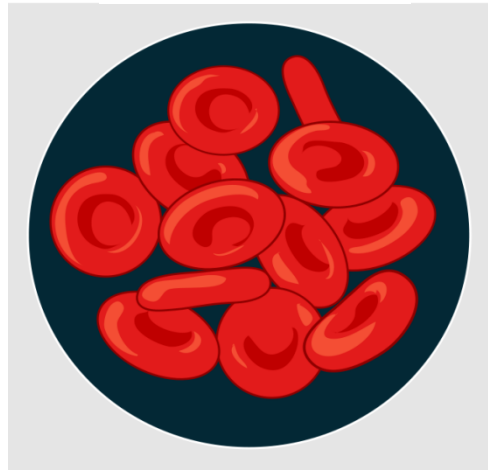
- Solutions très diluées : mmoles, mEquivalents ou mosmoles par litre
- Solvant : eau (densité 1)  
Osmolalité  $\approx$  **osmolarité** = mOsm/L d'eau
- Osmolarité d'une solution par rapport à une autre
  - **Iso-osmotique** : quantité identique de solutés par volume
  - **Hyperosmotique** : plus élevée
  - **Hypo-osmotique** : plus basse

# Osmose et tonicité dans les liquides corporels

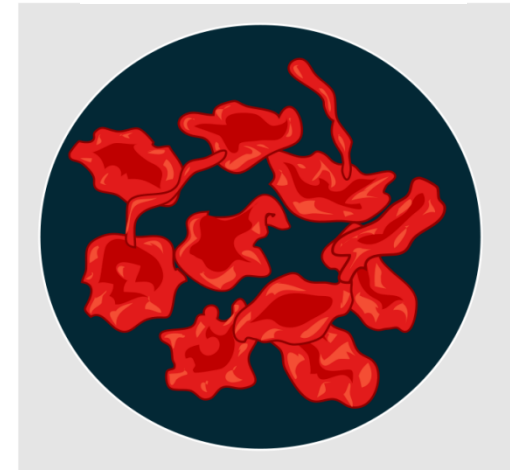
**Hypotonique**



**Isotonique**

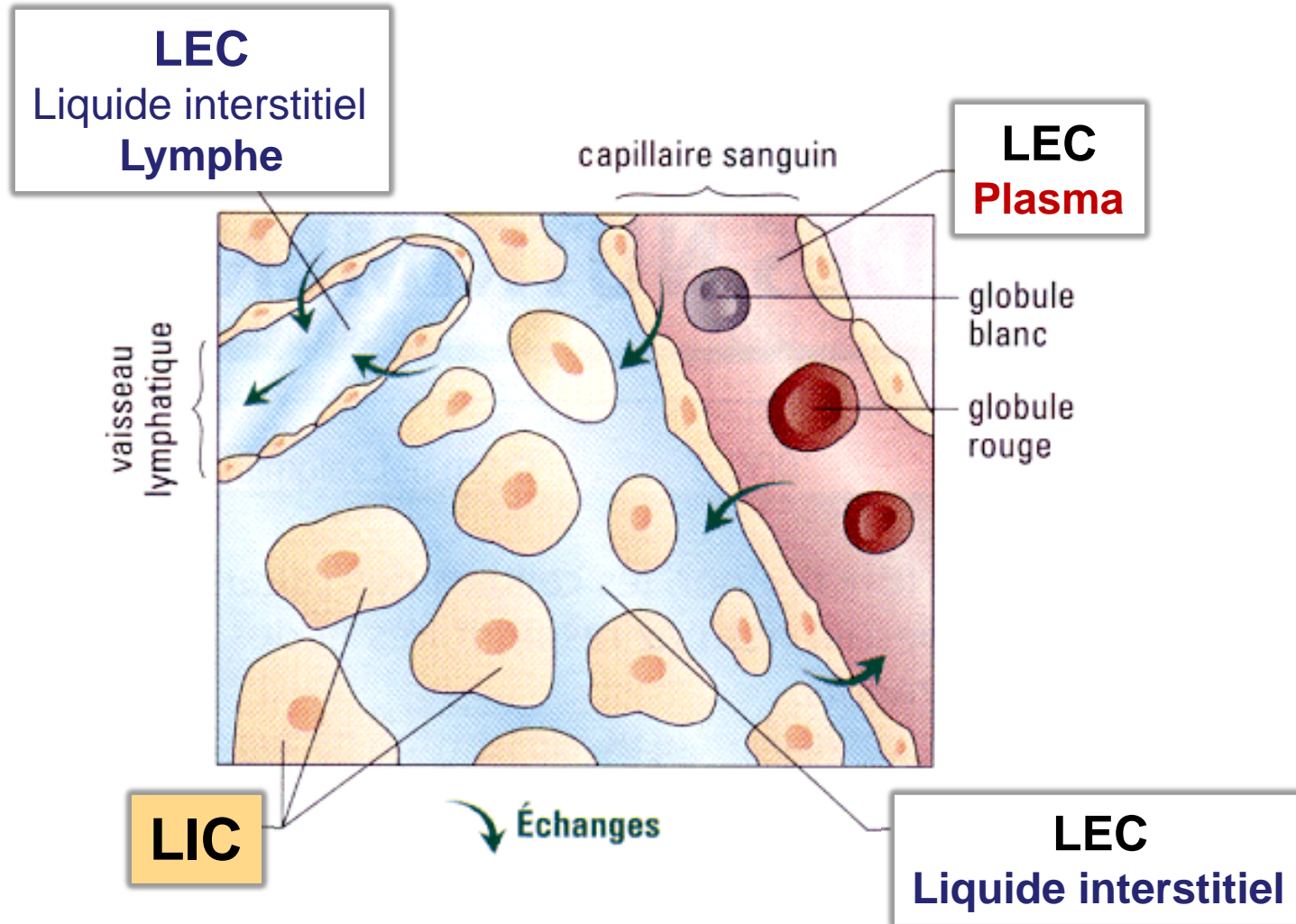


**Hypertonique**



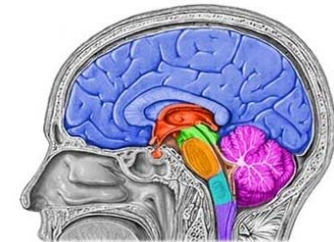
- Tonicité : effet de l'osmolarité d'une solution sur le volume cellulaire
- L'osmolarité est mesurable : nombre d'osmoles par litre (kg) de solution
- La tonicité se définit par rapport à une cellule

# Les liquides corporels



# Importance de la stabilité des liquides corporels

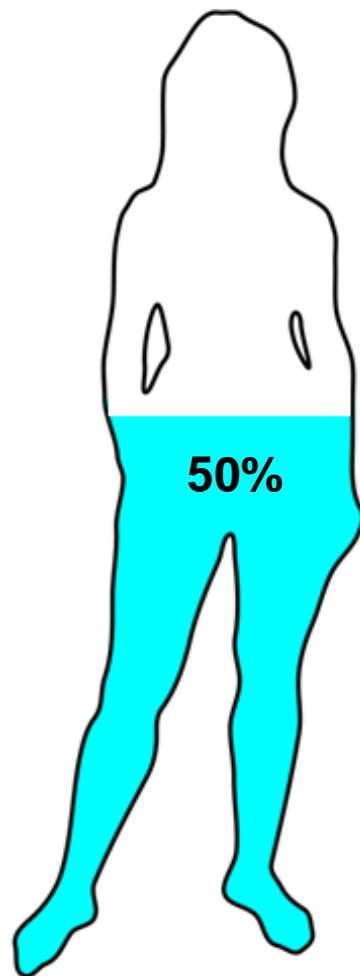
- **Rôle du rein** : maintenir la **stabilité du milieu extracellulaire** pour préserver le fonctionnement cellulaire
- Stabilité du volume et de la composition du LIC essentielle au fonctionnement cellulaire : dépend de celle du LEC (le milieu intérieur) maintenue dans des limites très étroites
  - **Natrémie**, taux de  $\text{Na}^+$  plasmatique 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**, taux de  $\text{K}^+$  plasmatique 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)



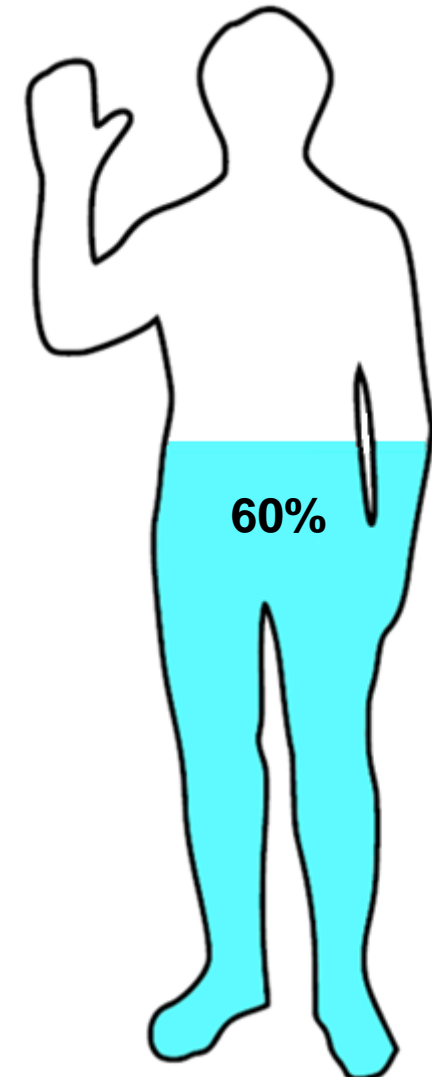
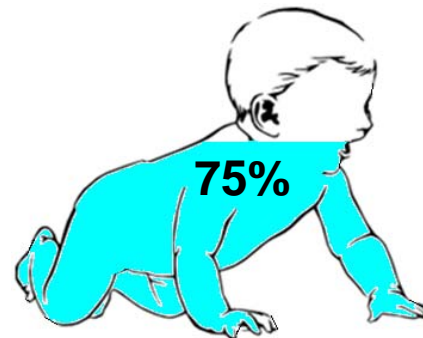


# Composition des liquides corporels

## Contenu corporel en eau



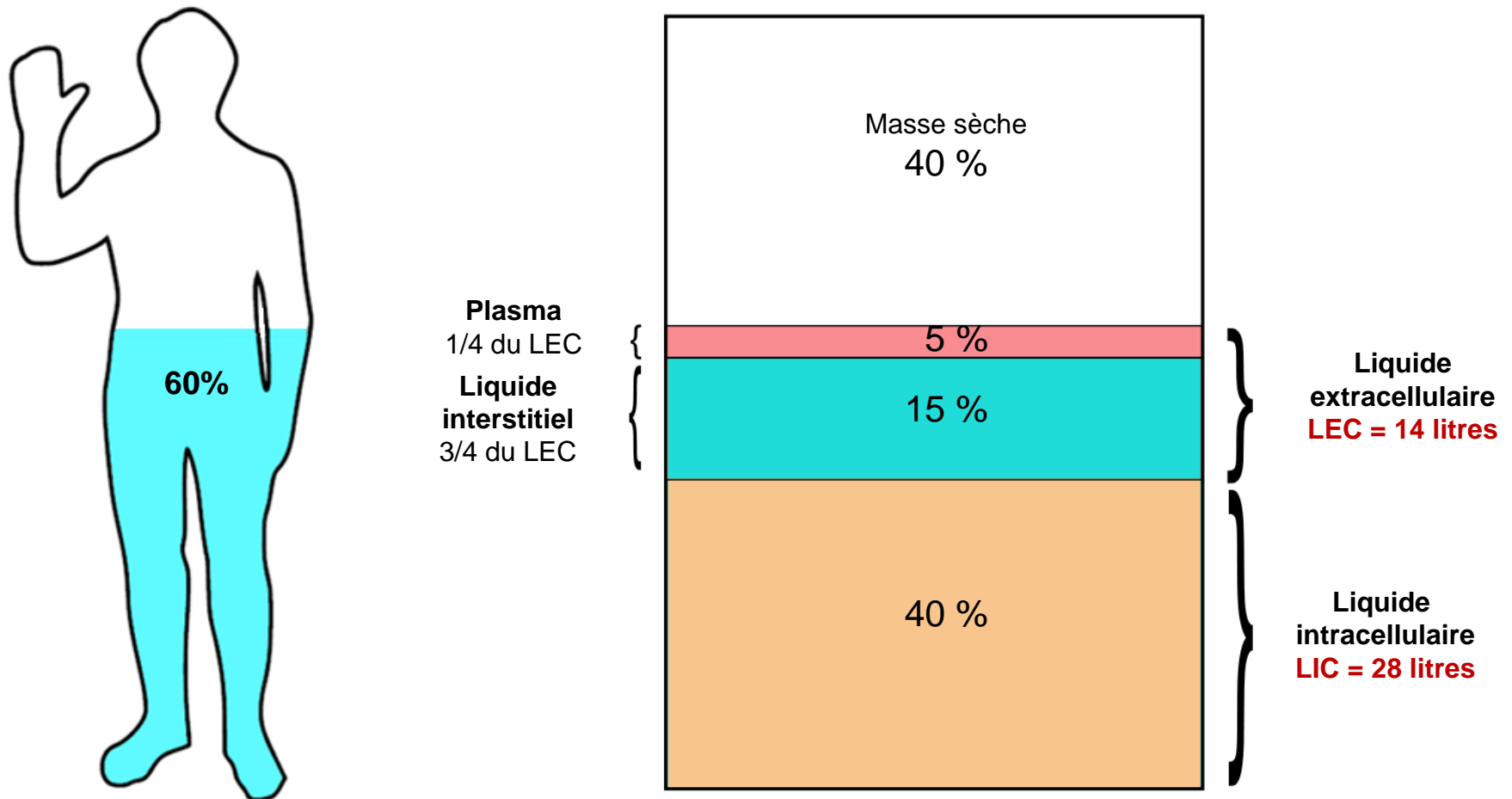
Tranche d'âge		% poids corporel
0 à 6 mois		74
6 mois à 12 ans		60
12 à 18 ans	♀	59
	♂	56
19 à 50 ans	♂	59
	♀	50
+ de 50 ans	♂	56
	♀	47





# Composition des liquides corporels

## Compartiments liquidiens



Eau corporelle totale (60%) = 42 litres


# Mesure des volumes corporels

- Mesure indirecte par la dilution d'une quantité connue d'un marqueur

$$\text{Volume du compartiment} = \frac{\text{Quantité du marqueur}}{\text{Concentration du marqueur}}$$

- Propriétés du marqueur :
  - Distribution homogène dans le compartiment d'intérêt
  - Pas de diffusion dans les autres compartiments
  - Pas de métabolisme ou de synthèse
  - Pas de toxicité
  - Dosage rapide, facile et reproductible

# Mesure des volumes corporels

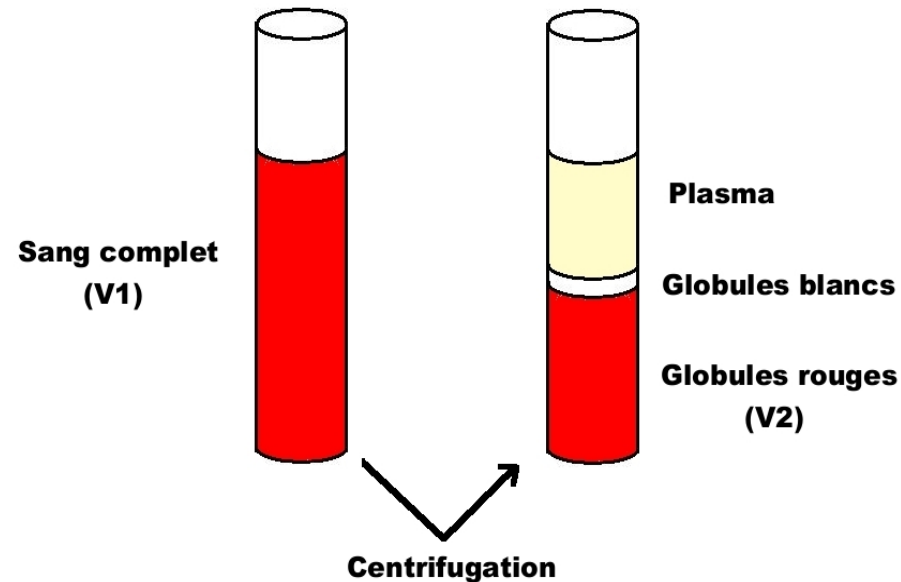
	Compartiments	Marqueurs non isotopiques	Marqueurs isotopiques 
<b>Mesurés</b>	<b>Eau corporelle totale ECT</b>	Ethanol Urée	Eau tritiée $^3\text{HO}$
	<b>Liquide extracellulaire LEC</b>	Inuline Mannitol	Sodium $^{24}$ Chlore $^{36}$
	<b>Liquide plasmatique</b>	Bleu Evans	Albumine marquée $^{125}\text{I}$ ou $^{131}\text{I}$
<b>Calculés</b>	<p style="text-align: center;"><b>Liquide intracellulaire = ECT – LEC</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Liquide interstitiel = LEC – liquide plasmatique</b></p>		

# Mesure du volume sanguin total

- A partir du volume plasmatique et de l'hématocrite (Ht)

$$\text{Ht} = \frac{V_2}{V_1} \times 100$$

- Valeurs moyennes :
  - Volume plasmatique ~ 3L
  - Ht :40%
  - Volume sanguin total ~ 5L



$$\text{Volume sanguin total} = \frac{\text{Volume plasmatique}}{1 - \text{Ht}}$$



## Contrôlez vos connaissances

Monsieur L., 30 ans, 70 kg, reçoit une injection de 10 ml d'une solution de 1% (poids/volume) de bleu d'Evans. Dans un échantillon sanguin prélevé 10 minutes plus tard, l'hématocrite est de 45% et la concentration de colorant dans le surnageant est de 0,037 mg/mL.

Quels sont les volumes plasmatique et sanguin de Monsieur L. ? Ces valeurs sont-elles normales ?



# Réponse

Monsieur L., 30 ans, 70 kg, reçoit une injection de 10 ml d'une solution de 1% (poids/volume) de bleu d'Evans. Dans un échantillon sanguin prélevé 10 minutes plus tard, l'hématocrite est de 45% et la concentration de colorant dans le surnageant est de 0,037 mg/mL.

Quels sont les volumes plasmatique et sanguin de Monsieur L. ? Ces valeurs sont-elles normales ?

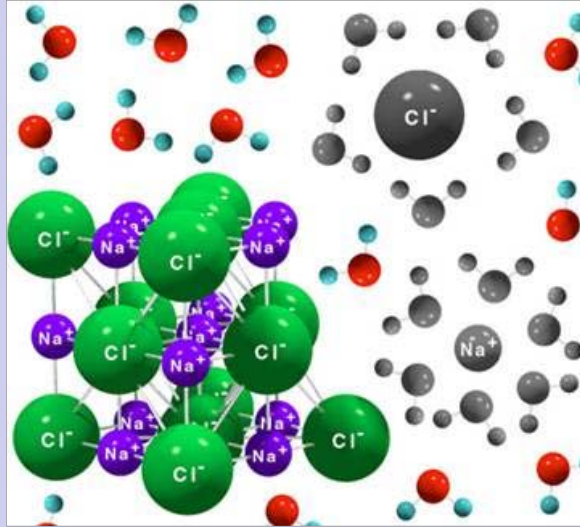
**Volume du compartiment = quantité de marqueur / concentration du marqueur**

- Quantité injectée = 10 ml d'une solution à 1 g pour 100 ml = 100 mg
- Concentration plasmatique du marqueur = 0,037 mg/mL
- Volume plasmatique =  $100/0,037 = 2700$  ml ou 2,7 L

**Volume sanguin = volume plasmatique / (1-Ht)**

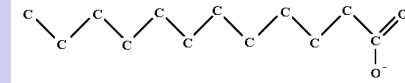
- Volume sanguin =  $2,7/0,55 = 4,9$  L

# Les solutés des liquides corporels

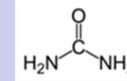


- **Cations** :  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{H}^+$
- **Anions** :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , protéines, anions organiques,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$

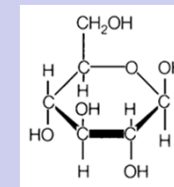
**ELECTROLYTES**  
**95% des solutés**



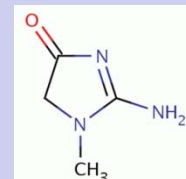
**Acide gras libre**



**Urée**



**Glucose**



**Créatinine**

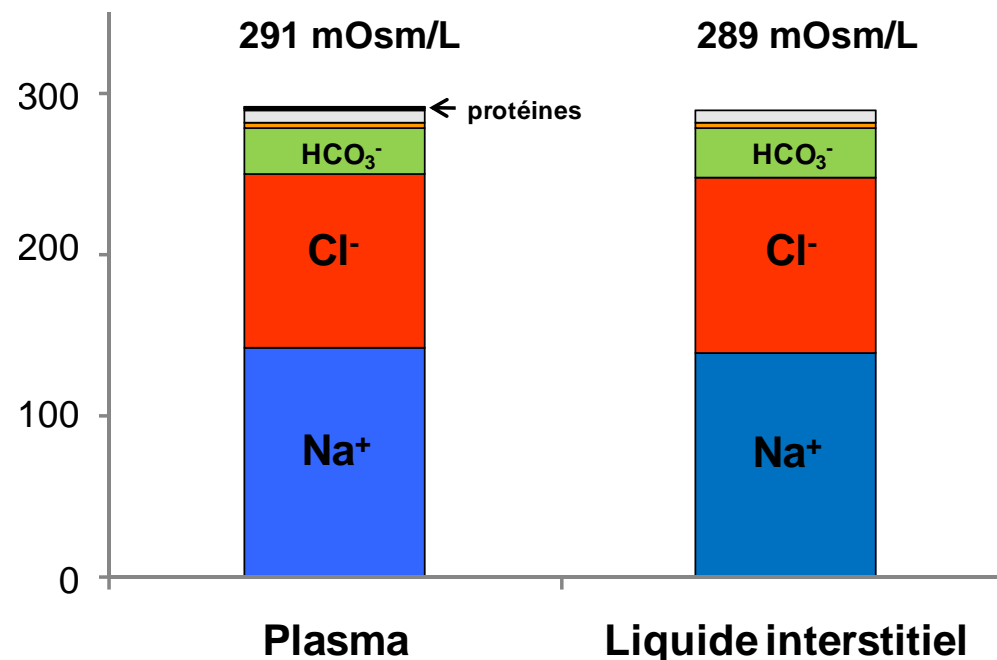
**NON-ELECTROLYTES**



# Composition ionique du LEC

## Plasma et liquide interstitiel

- **Na<sup>+</sup>** et anions associés : surtout **Cl<sup>-</sup>** et **HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>**
- **Composition et osmolarité** (mOsm/L) **presque identiques** : paroi capillaire très perméable à tous les solutés sauf aux protéines
- Différences liée à **l'équilibre de Gibbs-Donnan**
  - **Distribution des ions**
  - Plus de particules osmotiquement actives dans le plasma : osmolarité plus élevée de 1 à 2 mOsm/L
  - **Pression oncotique : 25 mmHg**

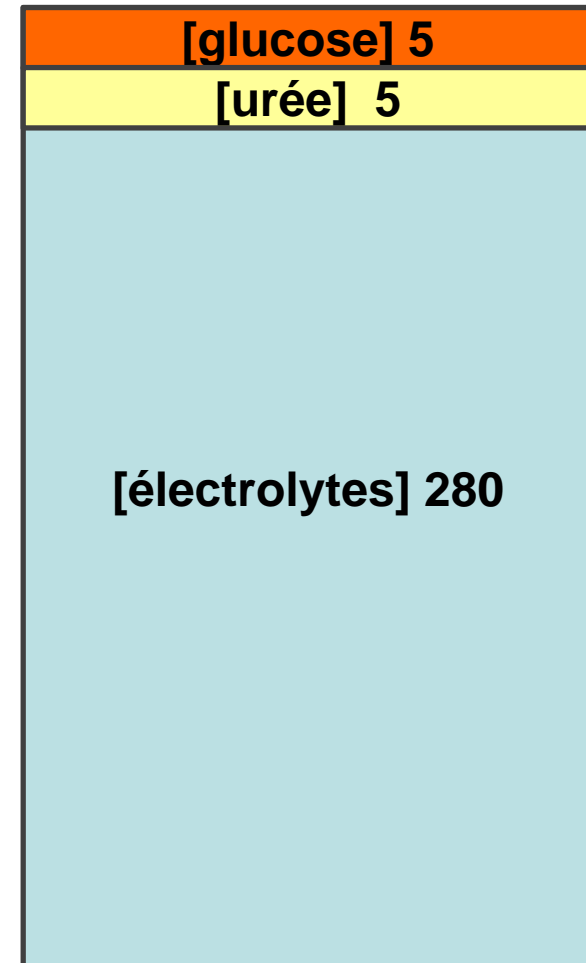


	Plasma	Liquide interstitiel
<b>Protéines</b>	2	0
<b>Na<sup>+</sup></b>	142	139
<b>Cl<sup>-</sup></b>	108	110
<b>HCO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	28	30

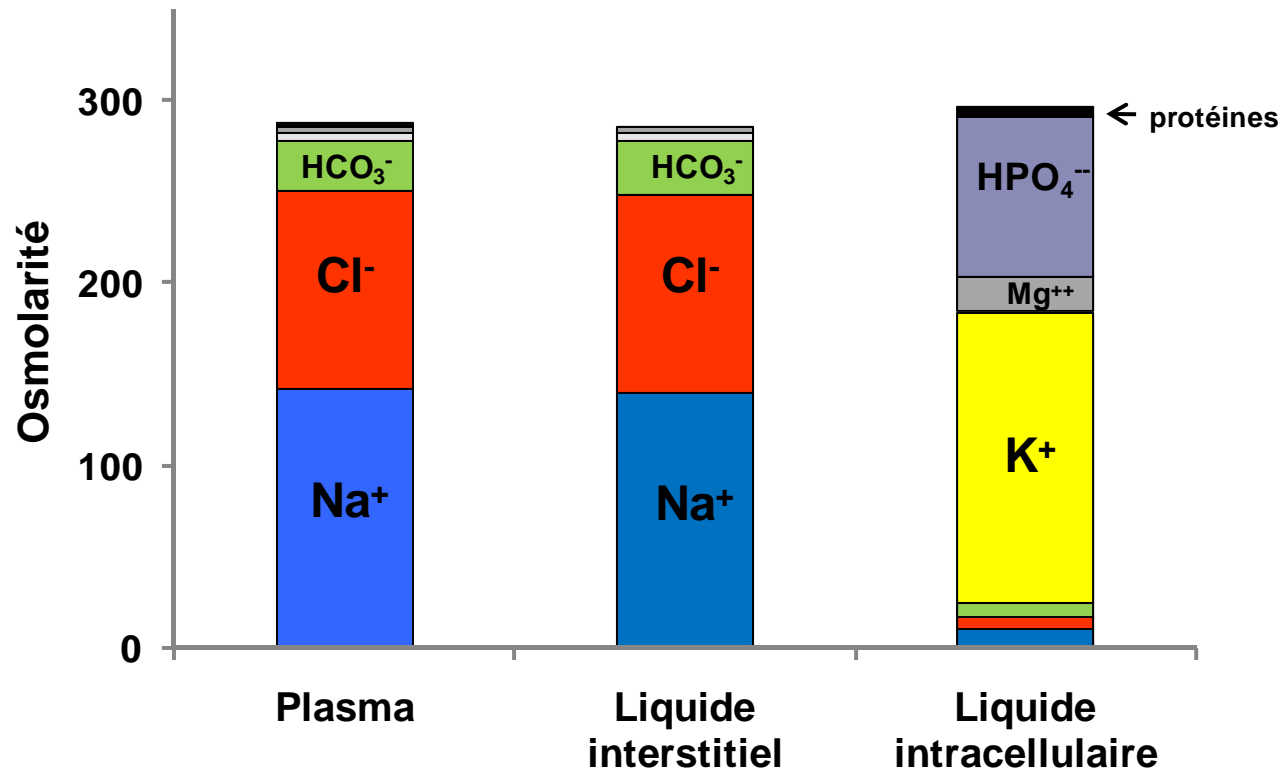
# Osmolarité plasmatique

- Electroneutralité des liquides :  
**Quantité des anions = quantité des cations**
- $\text{Na}^+$  : 95% des cations du LEC (140 mmol/L)  
**Natrémie : principal déterminant de l'osmolarité du LEC**
- **Osmolarité plasmatique**  $\sim [\text{Na}^+] + [\text{anions associés}]$   
Calcul rapide : **2X natrémie = 280 mOsm/L**
- Si on tient compte des non-électrolytes (glucose, urée) : 5mOsm/L chacun  
 **$2[\text{Na}^+] + [\text{glucose}] + [\text{urée}] = 290 \text{ mOsm/L}$**

**~290 mOsm/L**



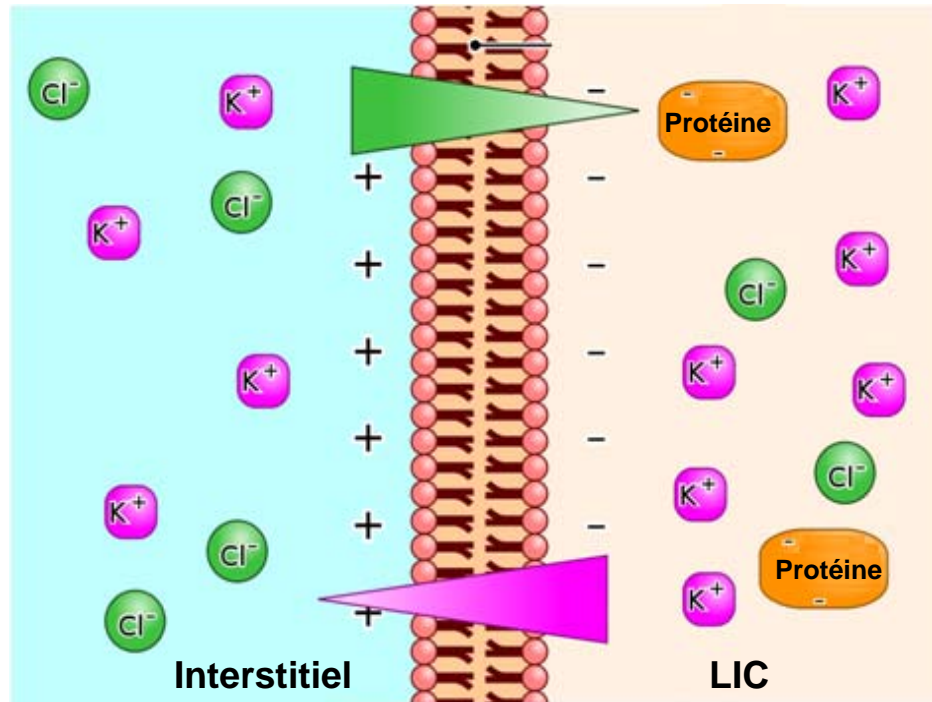
# Composition ionique du liquide intracellulaire



Osmolarité du LIC surtout due aux **sels de potassium**  
**Légèrement > à celle du LEC**

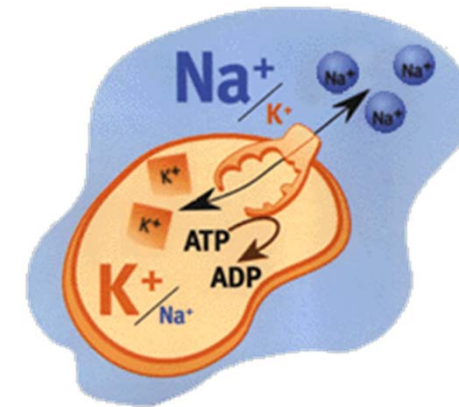
à cause de la concentration élevée des protéines intracellulaires

# Equilibre de Gibbs-Donnan entre LIC et liquide interstitiel



Plus de charges osmotiquement actives dans le LIC

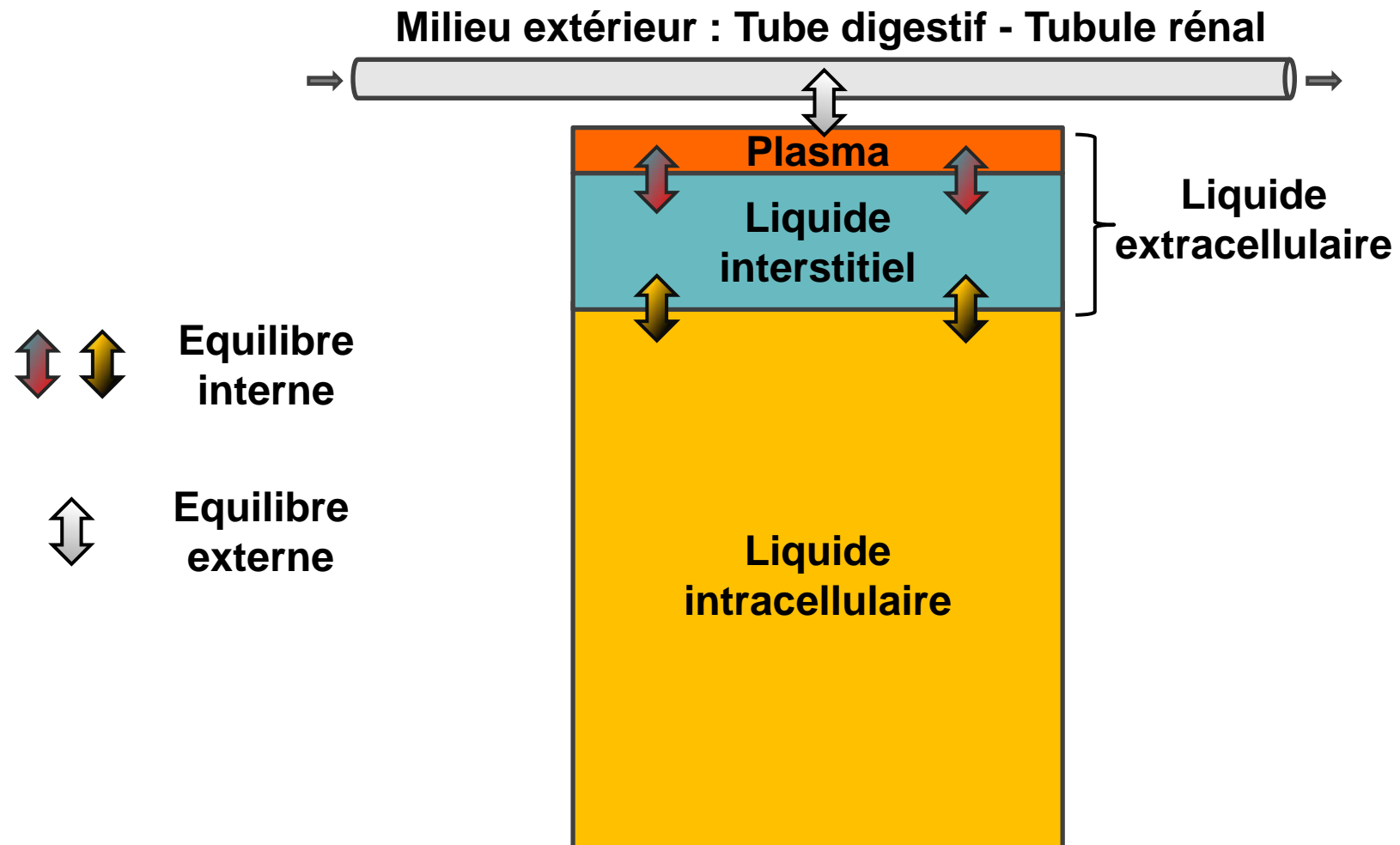
## Pompe Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> ATPase



Bilan : expulsion de particules osmotiquement actives  
Neutralise l'effet Gibbs-Donnan

**Prévient le gonflement cellulaire**

# Echanges d'eau et de solutés entre les divers compartiments

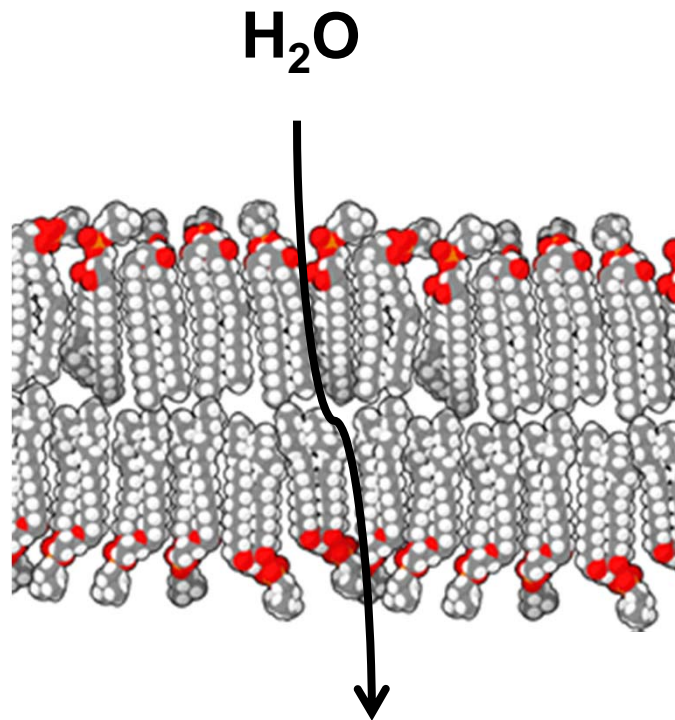


# Echanges d'eau

- Les membranes cellulaires et la paroi capillaire sont **très perméables à l'eau** qui peut donc se déplacer aisément d'un compartiment à l'autre
- **Deux** facteurs déterminent les mouvements d'eau
  - L'**osmose**
  - La **pression hydrostatique** générée par le système cardiovasculaire (pompe cardiaque et résistance vasculaire)

# Mécanismes de déplacement de l'eau à travers les membranes cellulaires

Bicouche lipidique fluide



Tête **polaire** : **hydrophile**  
attire les autres composés polaires  
et ioniques

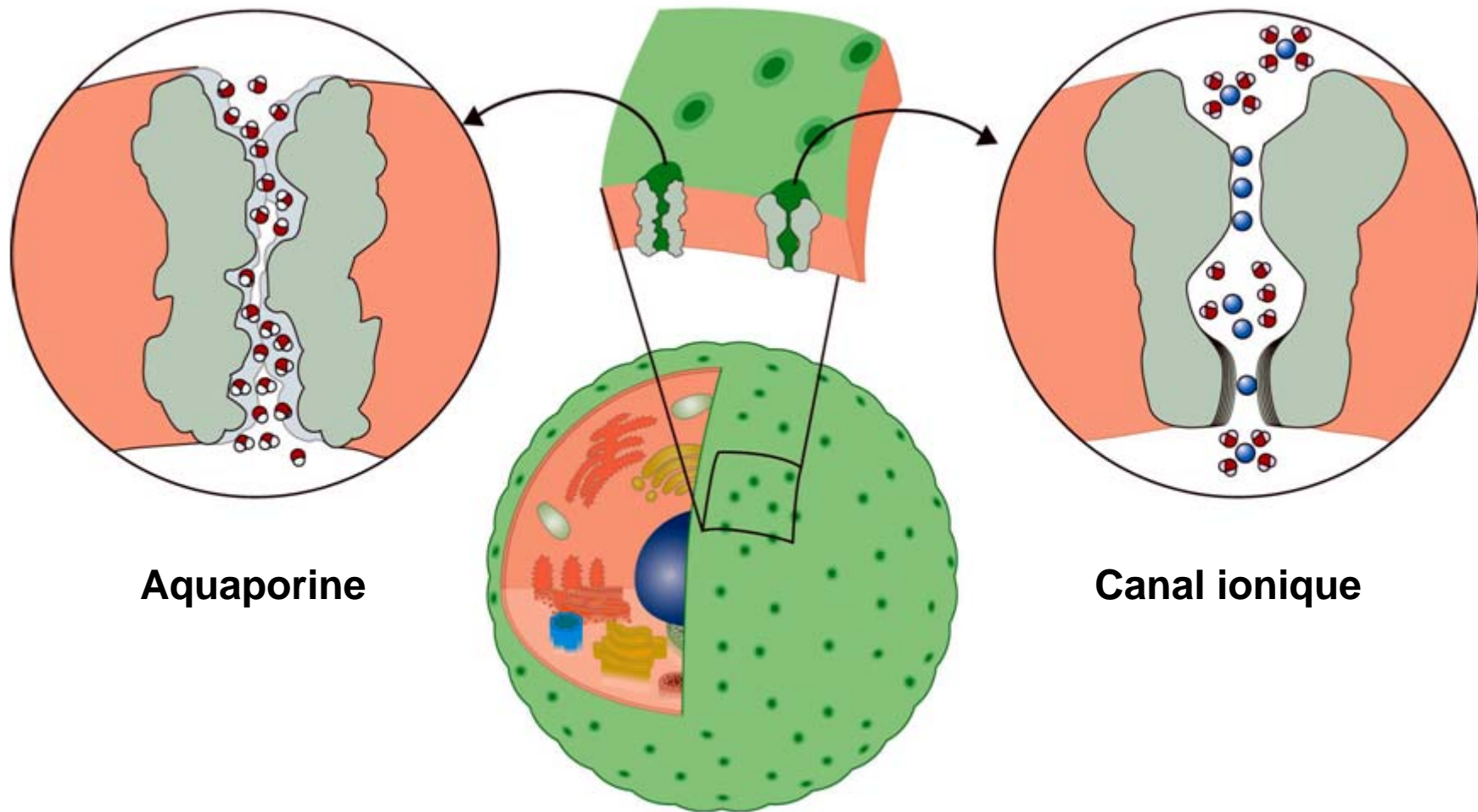


Queue **non-polaire** : **hydrophobe**  
confère à la membrane une  
imperméabilité à la plupart des  
molécules polaires (sauf l'eau), aux  
ions et aux grosses molécules

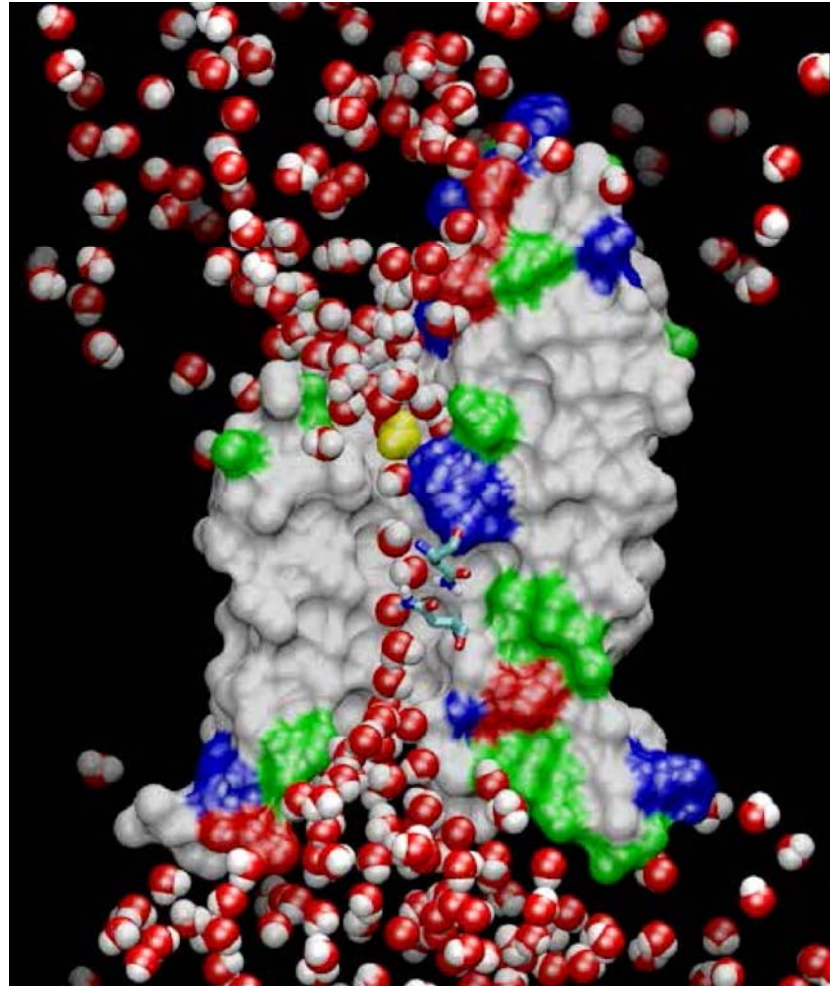
DIFFUSION SIMPLE



# Mécanismes de déplacement de l'eau à travers les membranes cellulaires



# Simulation du fonctionnement d'une aquaporine



Tajkhorshid, E., Nollert, P., Jensen, M.O., Miercke, L.J., O'Connell, J., Stroud, R.M., and Schulten, K. (2002). *Science* 296, 525-530

# 1. Echanges d'eau entre les compartiments extra- et intracellulaire

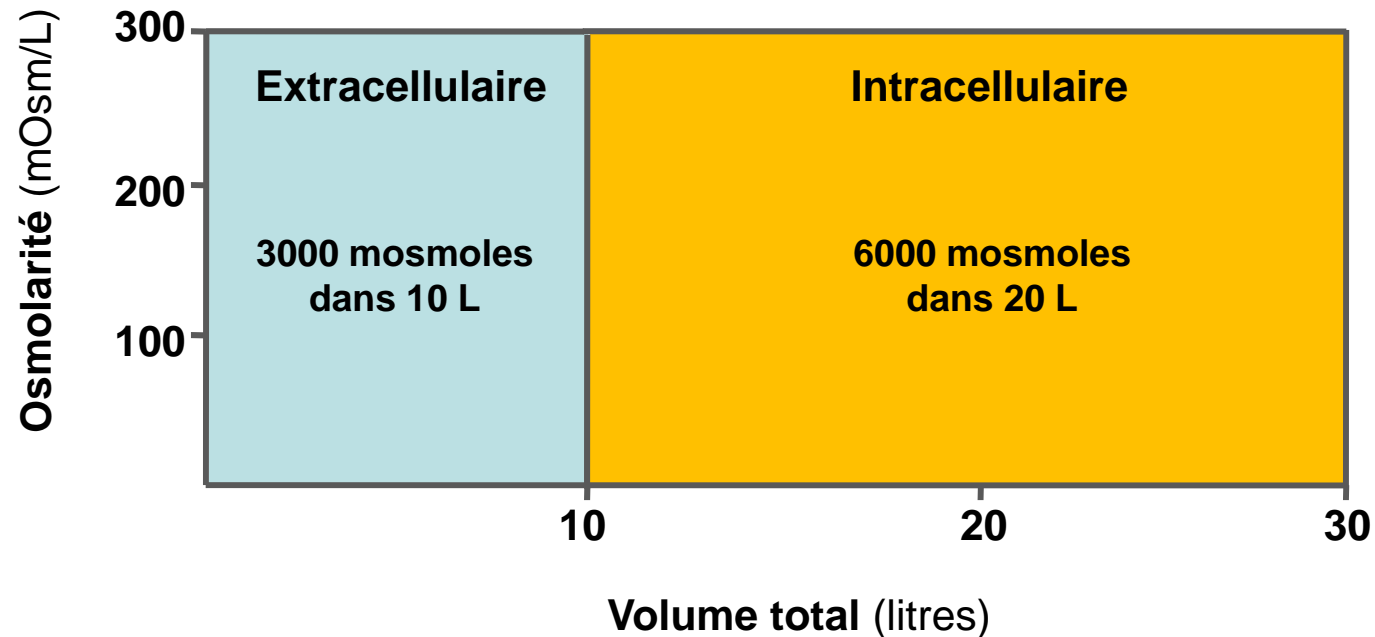
- Membrane cellulaire plus perméable à l'eau qu'aux solutés
- Paroi capillaire très perméable à l'eau et aux solutés
- Gradient osmotique créé par les solutés qui ne traversent pas les membranes
  - **Osmolarité extracellulaire** : sodium et anions associés (NaCl)
  - Osmolarité intracellulaire : potassium et anions associés
- Déplacement d'eau entre les compartiments gouvernés par ces forces osmotiques : quasi **égalité de l'osmolarité dans tous les liquides corporels** (sauf urine, sueur)

**~300 mosmoles/L**

# 1. Echanges d'eau entre les compartiments extra- et intracellulaire

- Compartiment plasmatique en contact avec l'extérieur → changements du volume et de l'osmolarité des liquides corporels à travers des changements survenant **d'abord dans le liquide extracellulaire**
- Gain ou perte d'eau ou d'osmoles dans le compartiment extracellulaire : changements du volume et de l'osmolarité plasmatique → **redistribution de l'eau entre les compartiments extra- et intracellulaires**

# Volume et osmolarité des compartiments liquidiens

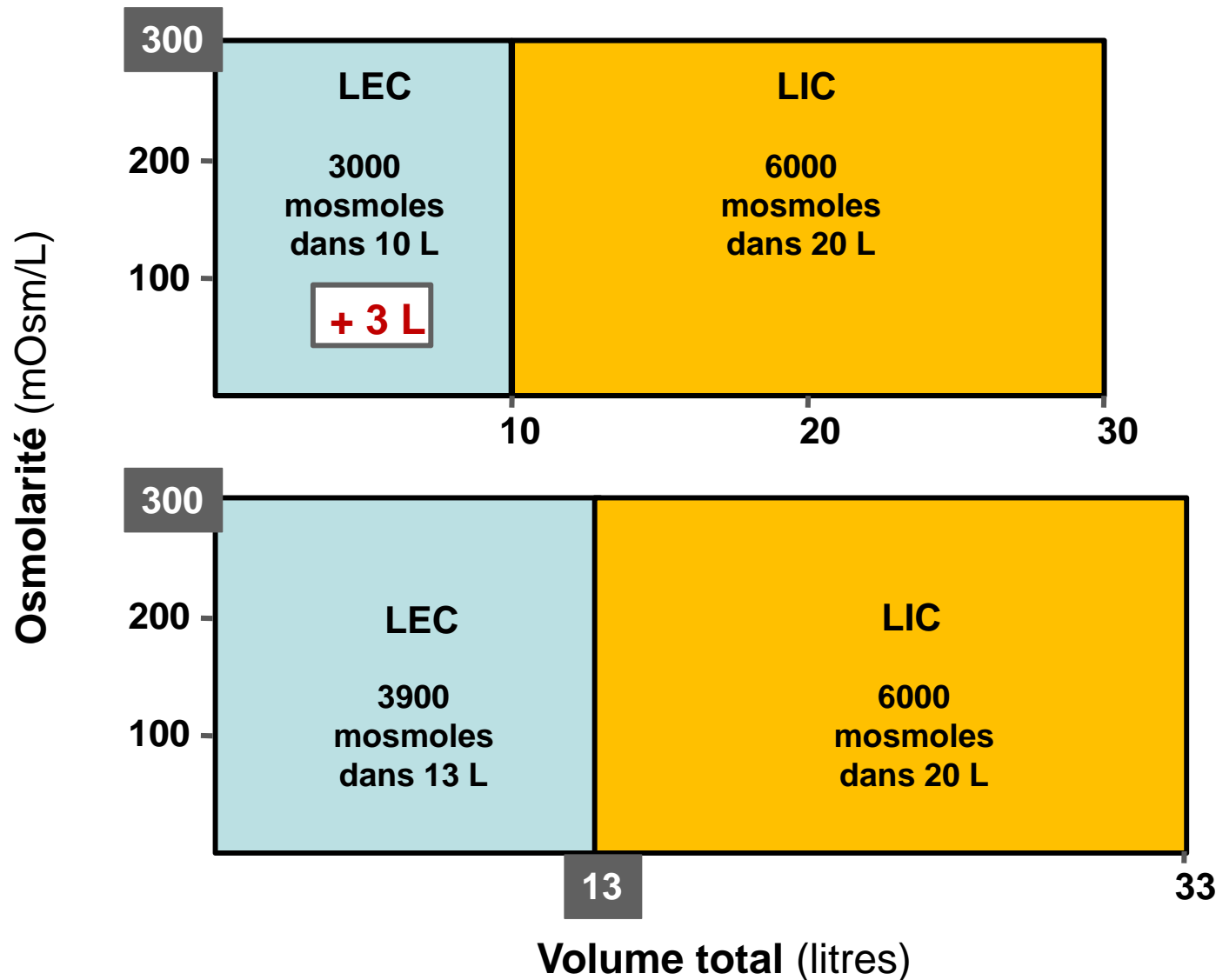


**~ 300 mOsm/L dans tous les liquides corporels**

L'équilibre osmotique requiert qu'il y ait **le même nombre de particules dans un litre** de liquide extra- ou intracellulaire

# Gain de liquide isotonique

## Expansion iso-osmotique



A l'équilibre :

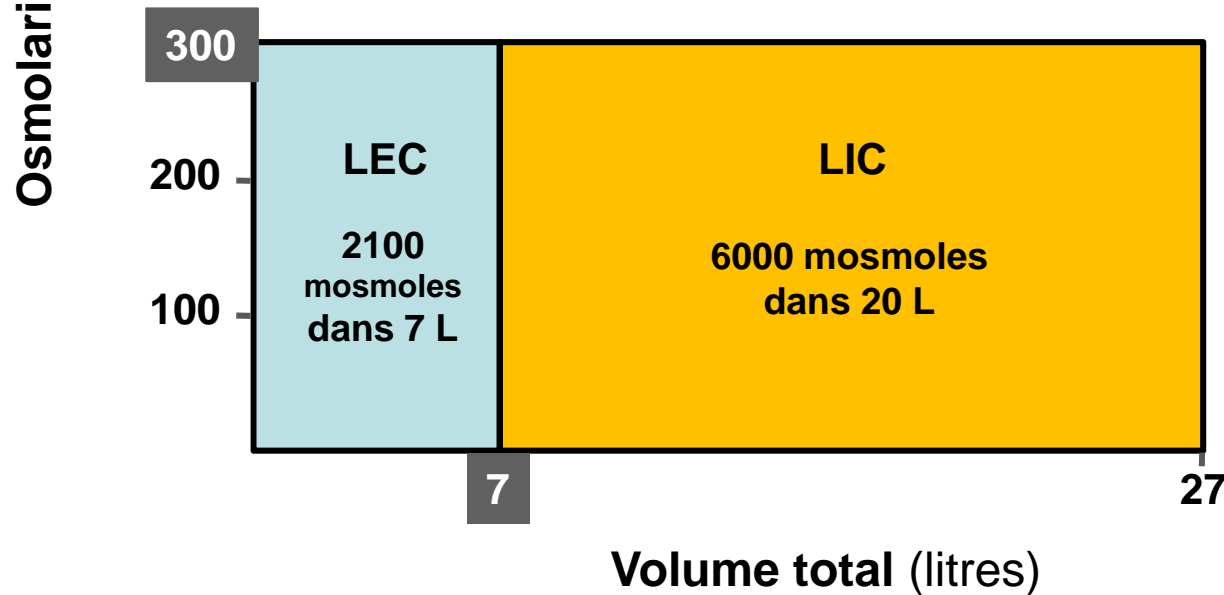
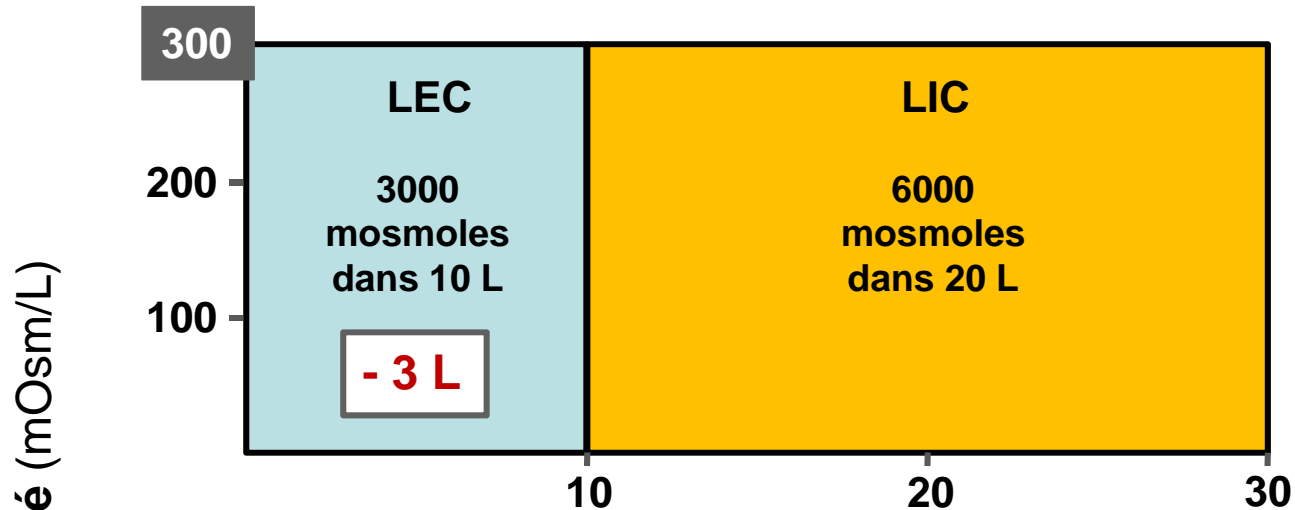
↑ **Volume extracellulaire**

- $\frac{1}{4}$  plasma
- $\frac{3}{4}$  liquide interstitiel

**Osmolarité inchangée**

# Gain de liquide isotonique

## Contraction iso-osmotique



A l'équilibre :

↓ **Volume extracellulaire**

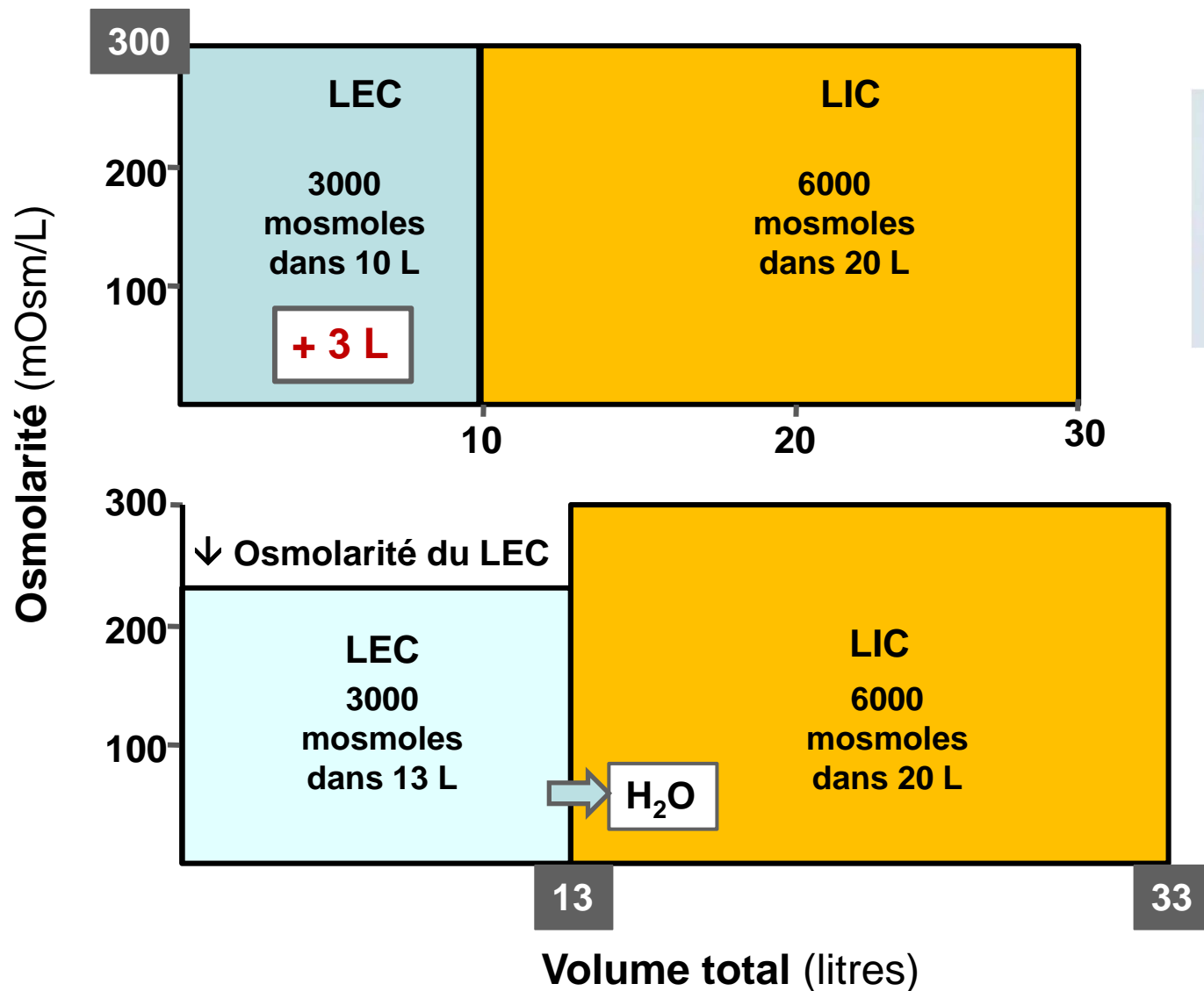
- $\frac{1}{4}$  plasma
- $\frac{3}{4}$  liquide interstitiel

**Osmolarité inchangée**



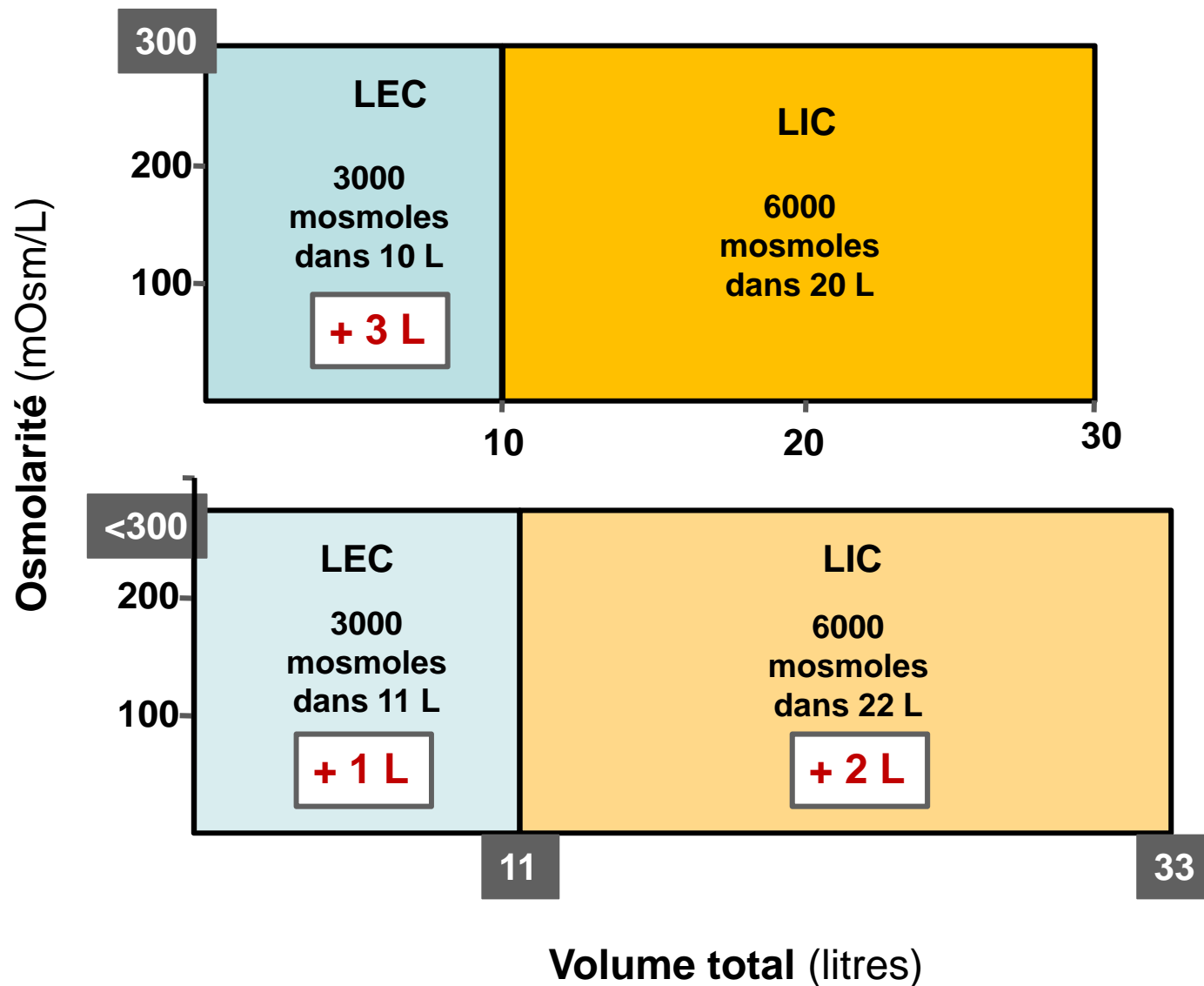
# Gain d'eau pure

## Expansion hypo-osmotique



# Gain d'eau pure

## Expansion hypo-osmotique



A l'équilibre :

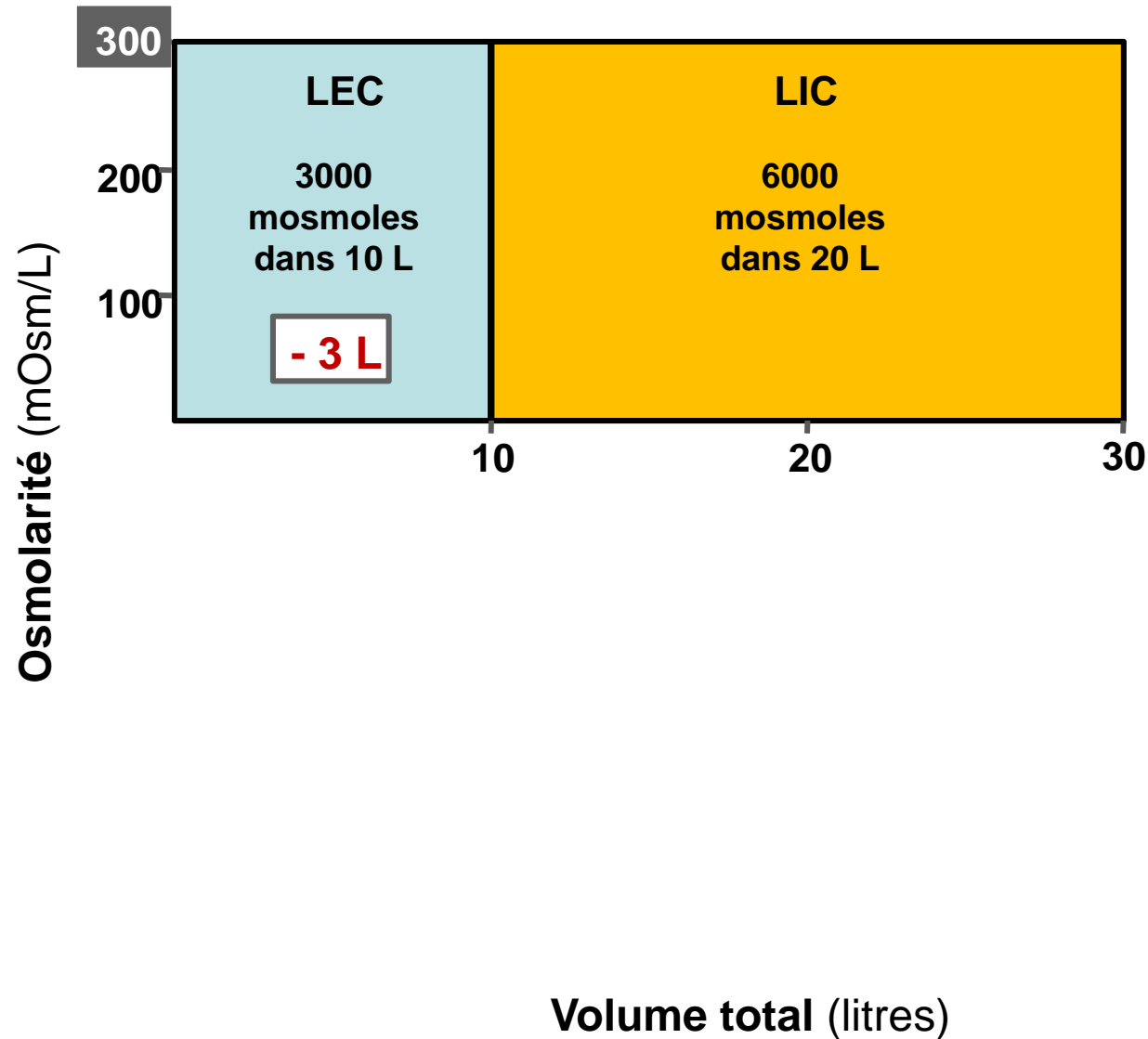
↑ **Volume**  
**extra- et intracellulaire**

- 1/3 extracellulaire
- 2/3 intracellulaire

↓ **Osmolarité**  
**extra- et intracellulaire**

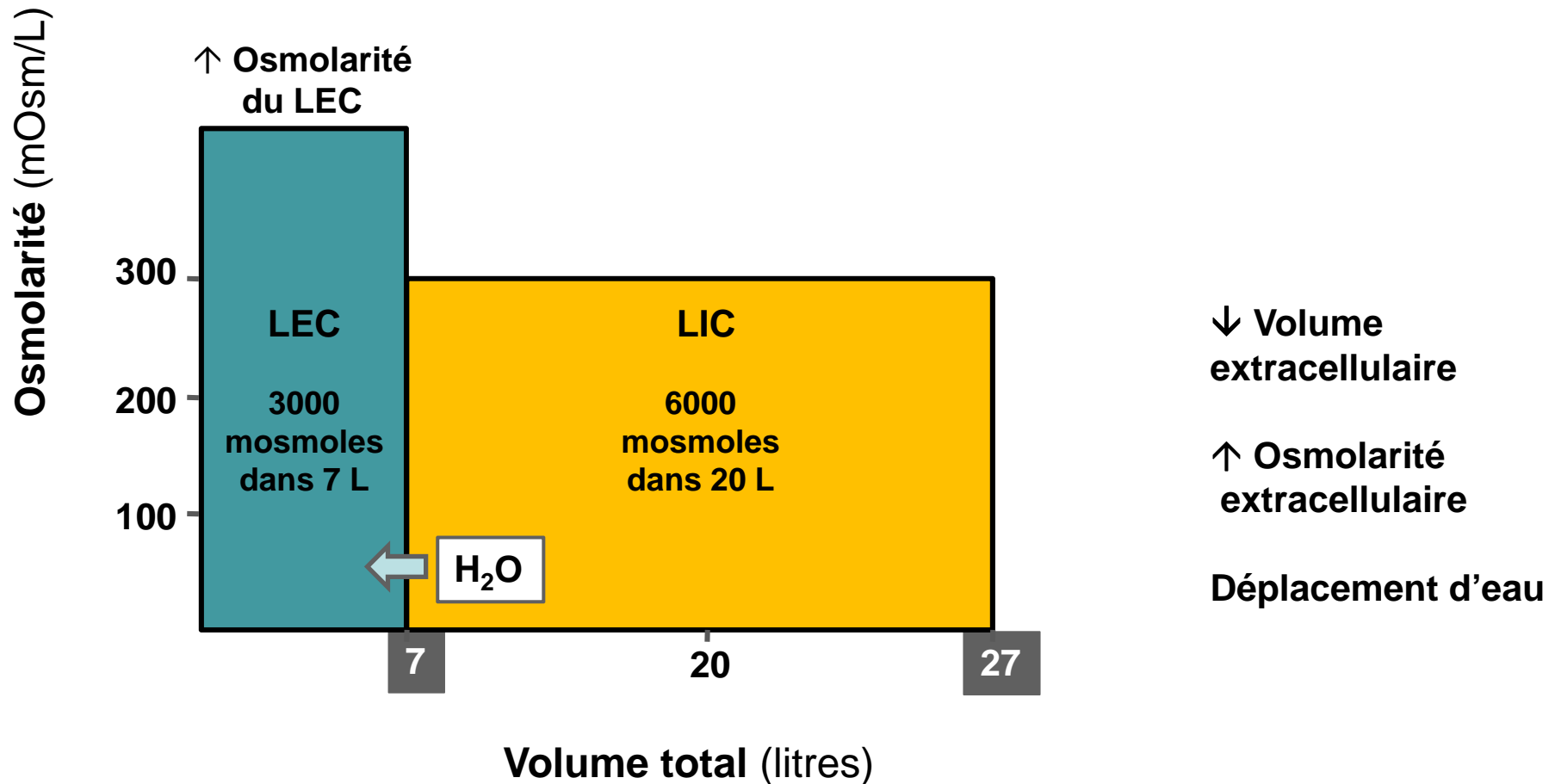
# Perte d'eau pure

## Contraction hyper-osmotique



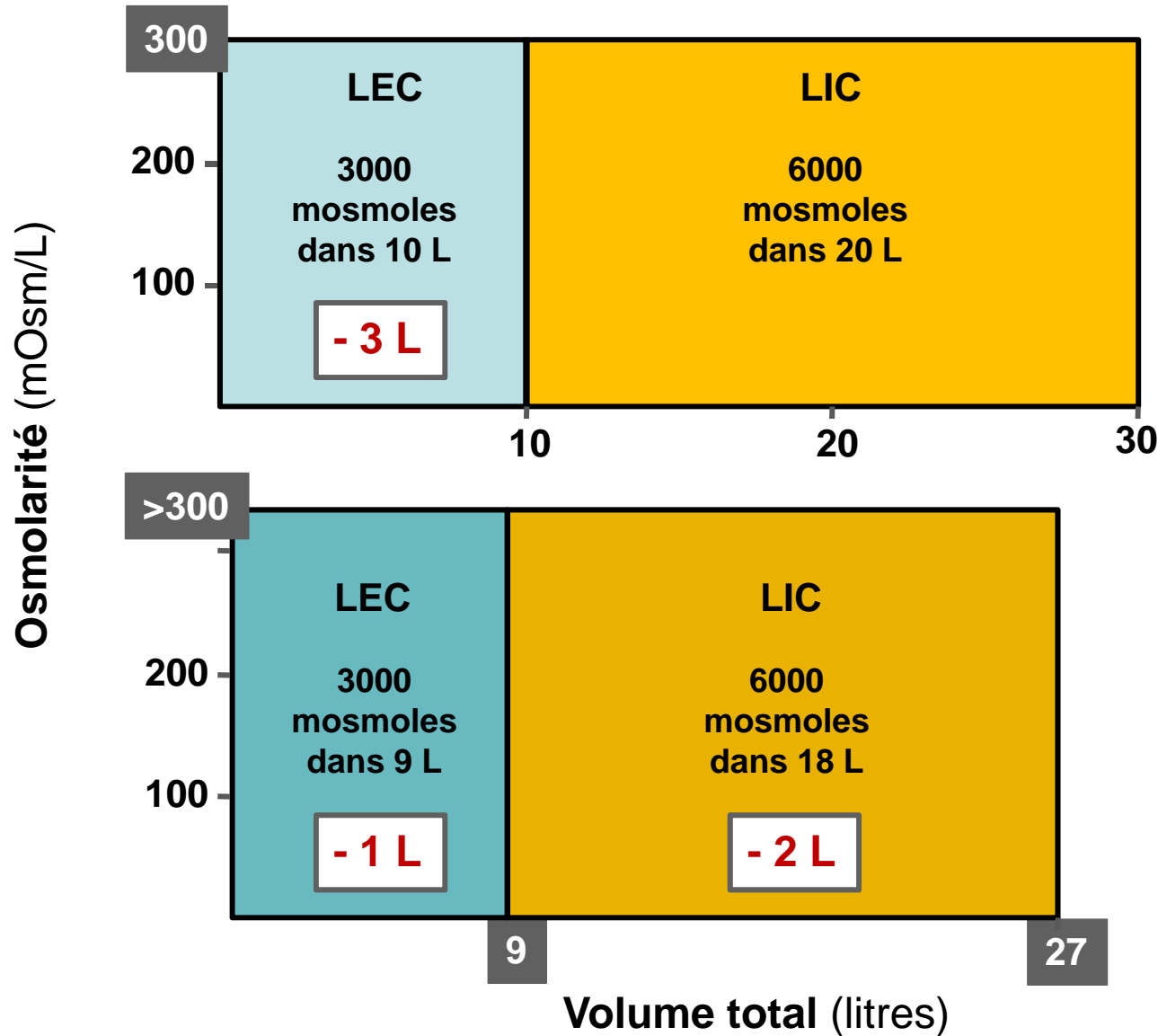
# Perte d'eau pure

## Contraction hyper-osmotique



# Perte d'eau pure

## Contraction hyper-osmotique



A l'équilibre :

↓ Volume  
extra- et intracellulaire

- 1/3 extracellulaire
- 2/3 intracellulaire

↑ Osmolarité  
extra- et intracellulaire

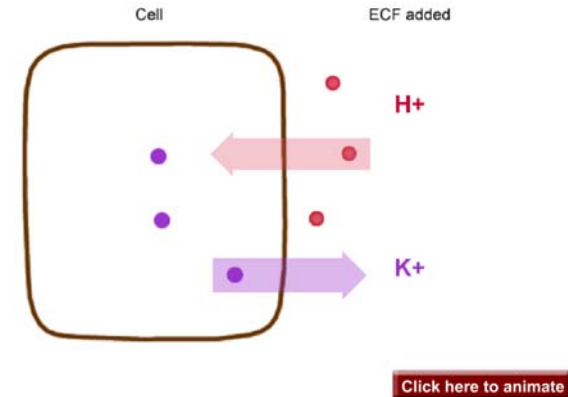
# 1. Echanges d'eau entre les compartiments extra- et intracellulaire

## Effets sur le volume cellulaire

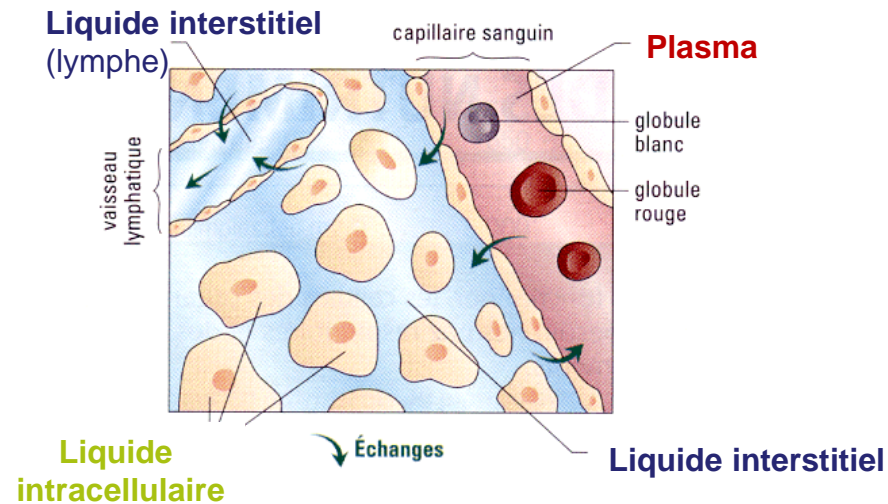
- Changements aigus de l'osmolarité et donc de la tonicité du LEC → modification du volume cellulaire
  - Diminution de l'osmolarité du LEC qui devient hypotonique
    - Entrée d'eau dans les cellules, gonflement cellulaire (en particulier au niveau des neurones cérébraux)
    - Augmentation de la pression intracrânienne
    - Maux de tête, convulsions, confusion, coma
  - Augmentation de l'osmolarité du LEC qui devient hypertonique
    - Sortie d'eau des cellules, diminution du volume cellulaire
    - Diminution de la pression intracrânienne
    - Convulsions, confusion, coma
- Changements chroniques de l'osmolarité du LEC → régulation du volume cellulaire par les cellules elles-mêmes : ajustement de la composition ionique du milieu intracellulaire

# Echanges de cations entre les liquides extra- et intracellulaire

- **Pompe  $\text{Na}^+ \text{K}^+ \text{ATPase}$  et échangeur  $\text{Na}^+ \text{-H}^+$**  : échanges normaux
- **$\downarrow [\text{K}^+]$  du LEC : hypokaliémie**  
Sortie de  $\text{K}^+$  des cellules en échange avec  $\text{Na}^+$  ou  $\text{H}^+$  : impact sur la natrémie
- **$\uparrow [\text{H}^+]$  du LEC : acidose métabolique**  
Entrée dans les cellules en échange avec  $\text{Na}^+$  ou  $\text{K}^+$ 
  - Effet de la sortie de  $\text{Na}^+$  : négligeable
  - Effet de la sortie de  $\text{K}^+$  : **hyperkaliémie**
- **$\downarrow [\text{H}^+]$  du LEC : alcalose métabolique**  
Sortie des cellules en échange avec  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ 
  - Effet de l'entrée de  $\text{Na}^+$  : négligeable
  - Effet de l'entrée de  $\text{K}^+$  : **hypokaliémie**



## 2. Echanges entre les compartiments plasmatique et interstitiel



- Echanges gazeux, de nutriments et de déchets par diffusion
- Echanges liquidiens par filtration sous les gradients de pressions osmotiques et hydrostatiques : **Forces de Starling**



# Echanges liquidiens entre les compartiments plasmatique et interstitiel

## Côté artériel

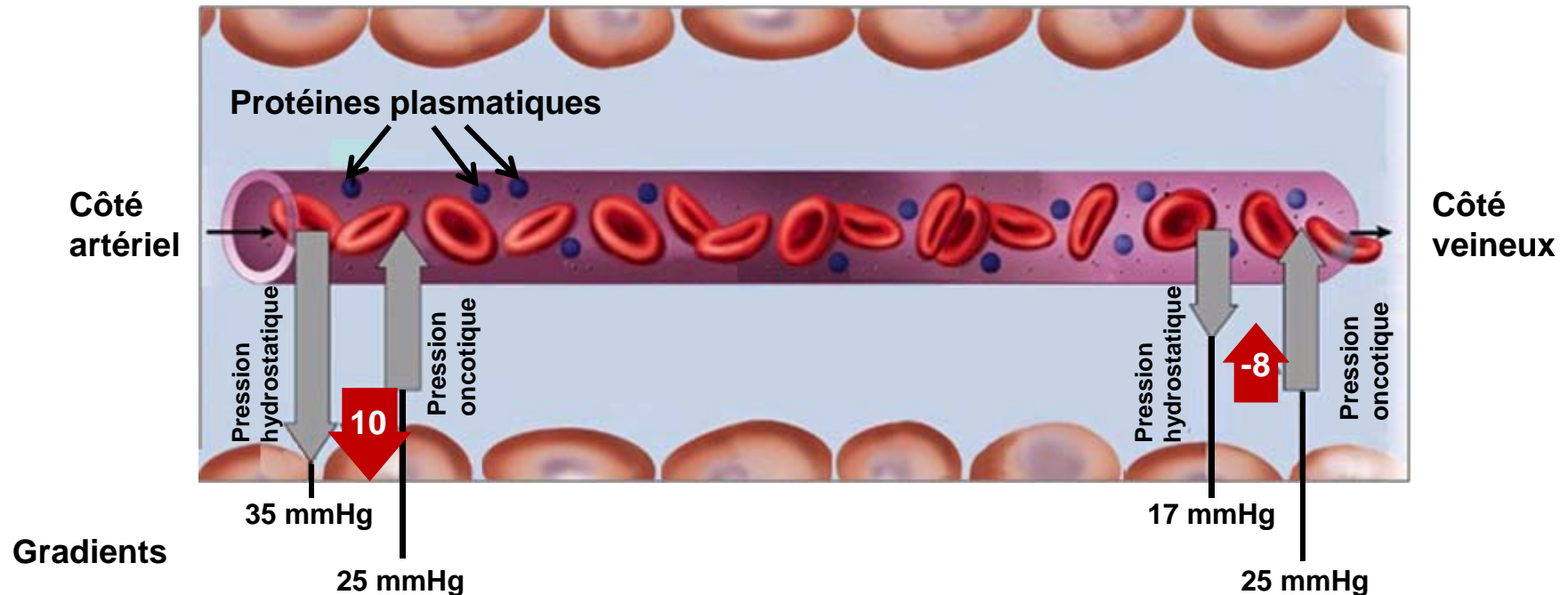
**PNF = 10 mmHg**

- P. hydrostatique capillaire : 35 mmHg
- P. hydrostatique interstitielle : 0 mmHg
- P. osmotique capillaire (oncotique) : 26 mmHg
- P. osmotique interstitielle : 1 mmHg

## Côté veineux

**PNF = -8 mmHg**

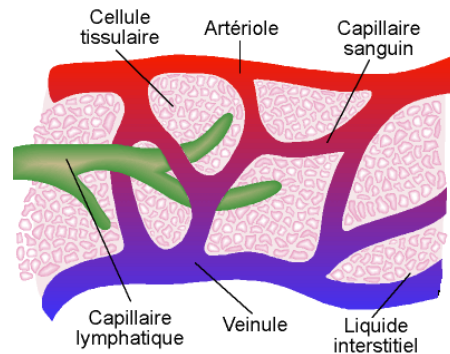
- P. hydrostatique capillaire : 17 mmHg
- P. hydrostatique interstitielle : 0 mmHg
- P. osmotique capillaire (oncotique) : 26 mmHg
- P. osmotique interstitielle : 1 mmHg



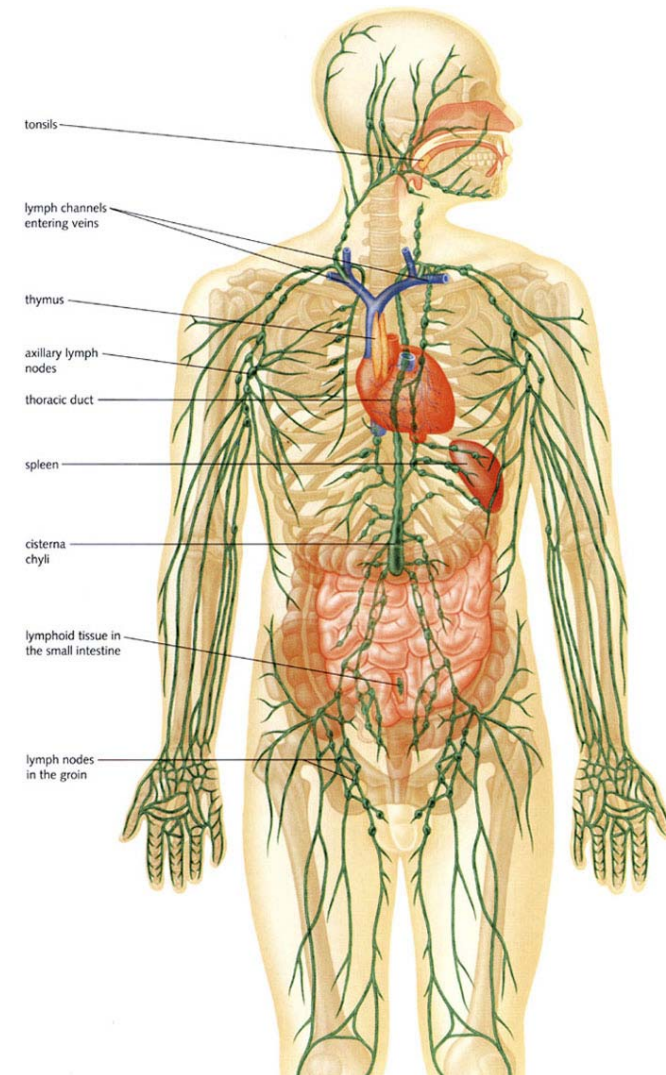
# Echanges liquidiens entre les compartiments plasmatique et interstitiel

## Rôle du système lymphatique

- Liquide filtré dans le compartiment interstitiel et non réabsorbé  
~ 2 ml/min



- Drainé par les vaisseaux lymphatiques puis retourné par le conduit thoracique dans le compartiment plasmatique au niveau de la circulation veineuse
- Constance des volumes des deux compartiments à l'équilibre

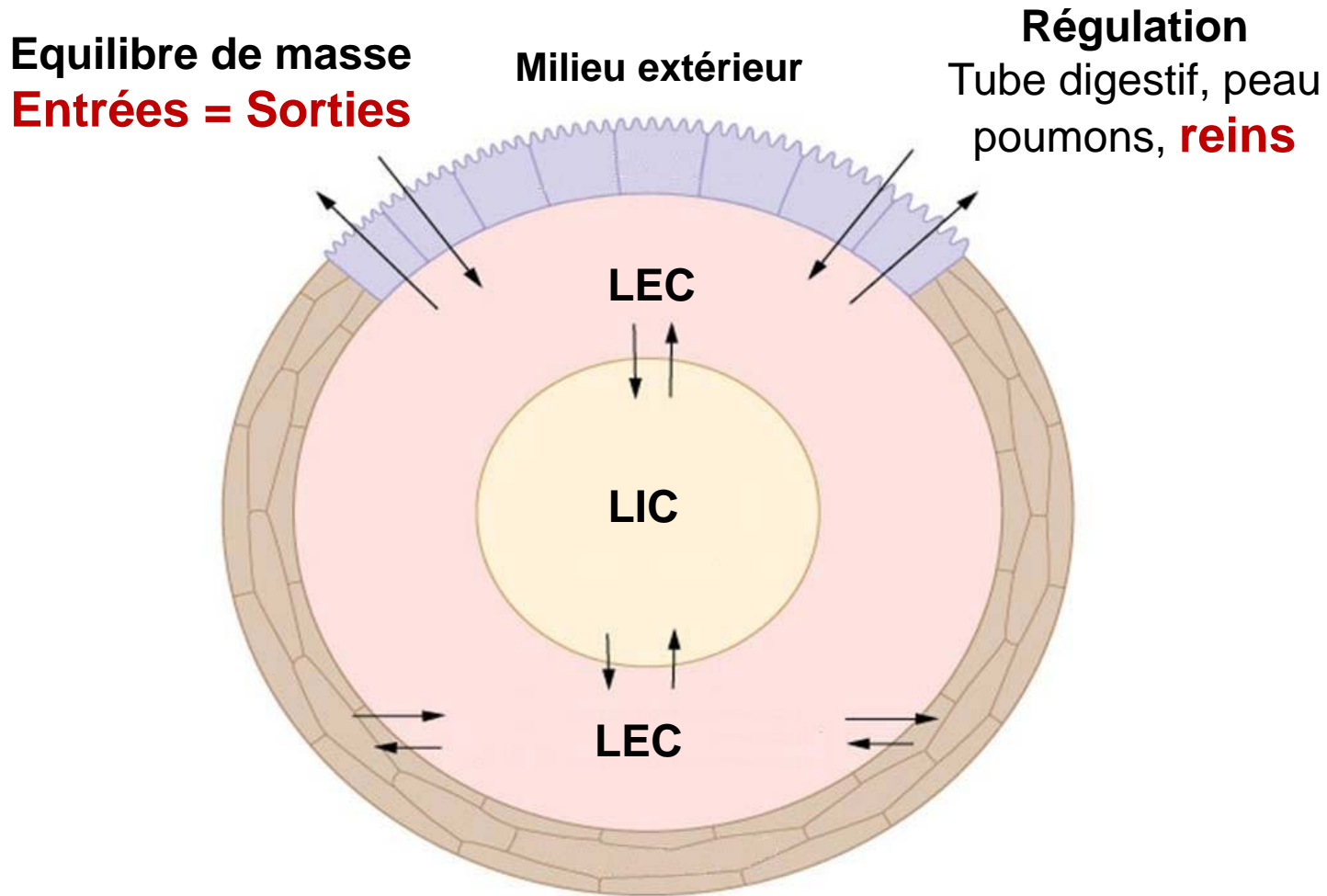


# Echanges liquidiens entre les compartiments plasmatique et interstitiel

- Maintien des volumes plasmatiques et sanguin constants malgré le gain ou la perte de liquide isotonique par le compartiment plasmatique
- Expansion du volume plasmatique  
→ transfert de ce liquide vers le compartiment interstitiel
- Contraction du volume plasmatique  
→ transfert de liquide interstitiel vers l'espace vasculaire

# 3. Echanges entre le plasma et l'extérieur

## Equilibre externe





# Contrôlez vos connaissances

Condition	Exemple	Liquide extracellulaire		Liquide intracellulaire	
		Osmolarité	Volume	Osmolarité	Volume
Expansion hypo-osmotique	Ingestion excessive d'eau				
Contraction hypo-osmotique	Perte rénale de sodium				
Expansion iso-osmotique	Infusion intraveineuse				
Contraction iso-osmotique	Hémorragie				
Expansion hyperosmotique	Infusion/ingestion d'une solution saline concentrée				
Contraction hyperosmotique	Diabète insipide				

↑ augmentation

↓ diminution

= pas de changement



# Réponse

Condition	Exemple	Liquide extracellulaire		Liquide intracellulaire	
		Osmolarité	Volume	Osmolarité	Volume
Expansion hypo-osmotique	Ingestion excessive d'eau	↓	↑	↓	↑
Contraction hypo-osmotique	Perte rénale de sodium	↓	↓	↓	↑
Expansion iso-osmotique	Infusion intraveineuse	=	↑	=	=
Contraction iso-osmotique	Hémorragie	=	↓	=	=
Expansion hyperosmotique	Ingestion d'une solution saline concentrée	↑	↑	↑	↓
Contraction hyperosmotique	Diabète insipide	↑	↓	↑	↓

# Mentions légales

L'ensemble de cette œuvre relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle, littéraire et artistique ou toute autre loi applicable.

Tous les droits de reproduction, adaptation, transformation, transcription ou traduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Cette œuvre est interdite à la vente ou à la location. Sa diffusion, duplication, mise à disposition du public (sous quelque forme ou support que ce soit), mise en réseau, partielles ou totales, sont strictement réservées à l'université Joseph Fourier (UJF) Grenoble 1 et ses affiliés.

L'utilisation de ce document est strictement réservée à l'usage privé des étudiants inscrits à l'Université Joseph Fourier (UJF) Grenoble 1, et non destinée à une utilisation collective, gratuite ou payante.