



Université Batna 2
Département de médecine
Faculté de médecine



PHYSIOLOGIE DU MILIEU INTERIEUR

D^r BOUHIDEL

Année universitaire 2023-2024

OBJECTIFS PEDAGOGIQUES



- ✓ Définir le milieu intérieur et l'homéostasie.
- ✓ Décrire les différents compartiments liquidiens, leur composition et les méthodes de mesure.
- ✓ Comprendre que la cellule est impactée par tous les changements qui peuvent concerner le milieu intérieur.
- ✓ Comprendre l'importance des forces physiques du milieu intérieur dans le fonctionnement cellulaire.
- ✓ Définir les mécanismes d'échanges entre différents compartiments liquidiens.
- ✓ Expliquer les notions d'osmolarité et des états d'hydratation.
- ✓ Comprendre que le transport de l'eau et du sodium à travers la paroi vasculaire est le facteur déterminant de la dynamique du milieu intérieur.
- ✓ Comprendre les mécanismes impliqués dans la déshydratation cellulaire.
- ✓ Définir les états d'hyperhydratation et de déshydratation.

PLAN GENERAL



- I. RAPPELS-DEFINITIONS**
- II. ECHANGES D'EAU ENTRE LES COMPARTIMENTS EXTRA-ET INTRACELLULAIRE**
- III. ECHANGES ENTRE LES COMPARTIMENTS PLASMATIQUE ET INTERSTITIEL**
- IV. ECHANGES ENTRE LE PLASMA ET L'EXTERIEUR**
- V. CONCLUSION**



RAPPELS- DEFINITIONS

RAPPELS-DEFINITIONS

Unités de mesure des concentrations de solutés

- **Molarité**, en moles/L

Ex : NaCl , P.M. = 23 (Na) + 35,5 (Cl) = 58,5
 NaCl 1M = 58,5 g/L

- **Osmolarité**, n de particules à **activité osmotique**/L

Ex : NaCl 1M = 2 osmoles/L
 CaCl_2 1M = 3 osmoles/L
Glucose 1M = 1 osmole/L
Protéine 1M = 1 osmole/L

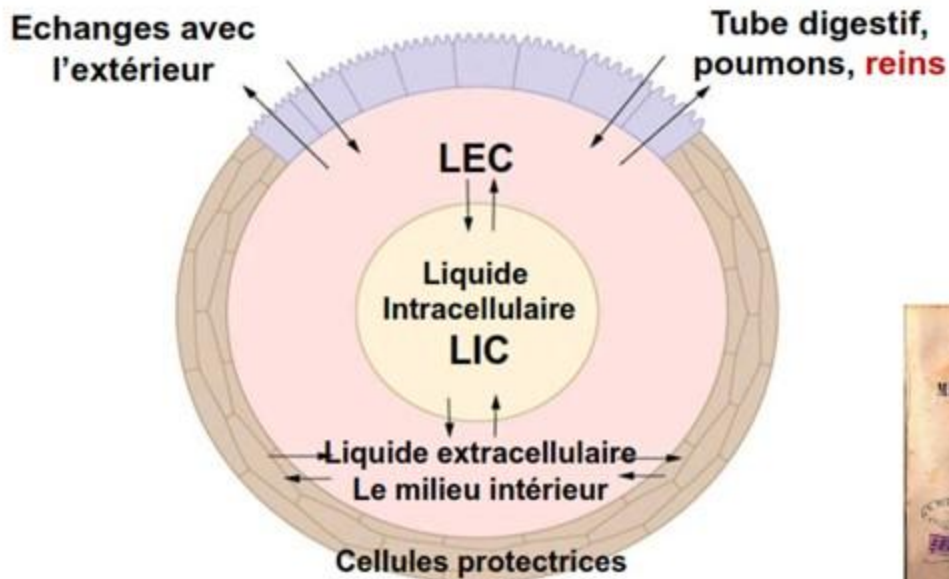
- **Osmolalité**, osmoles/Kg de solvant

- **Equivalents**, charges électriques

Ex : NaCl = Na^+ + Cl^- = 2 Eq/L
 CaCl_2 = Ca^{2+} + 2Cl^- = 4 Eq/L
Glucose (non-électrolyte) = 0 Eq/L

RAPPELS-DEFINITIONS

Le milieu intérieur



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

Claude Bernard

RAPPELS-DEFINITIONS

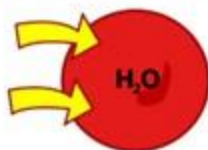
Osmose et tonicité dans les liquides corporels

- 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

RAPPELS-DEFINITIONS

Osmose et tonicité dans les liquides corporels

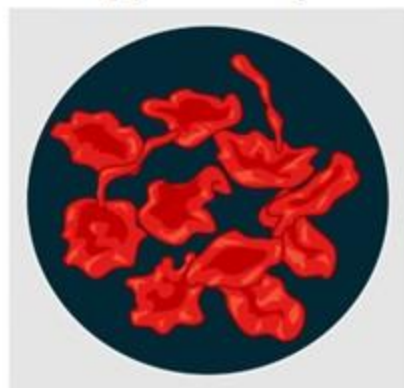
Hypotonique



Isotonique



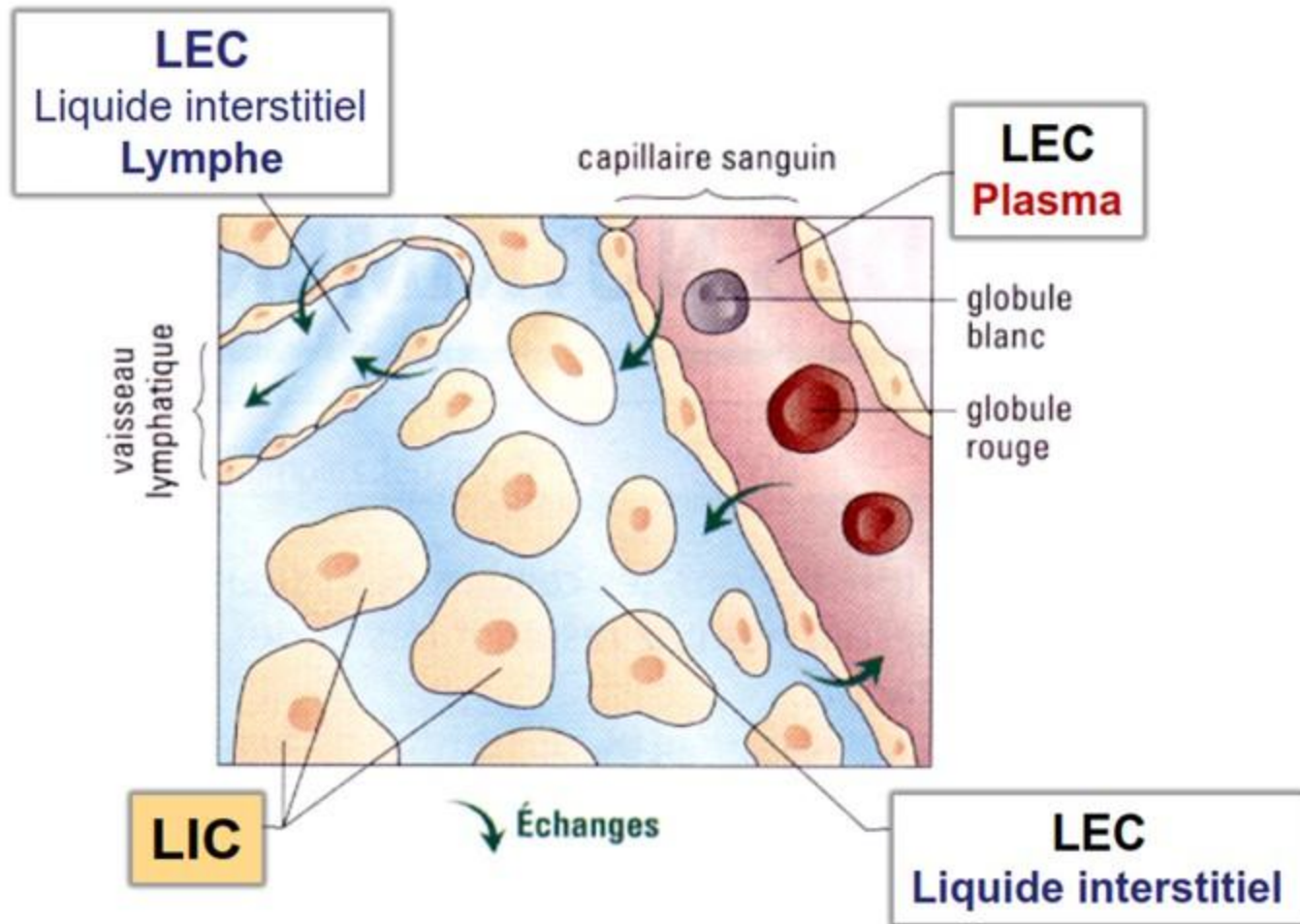
Hypertonique



- 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

RAPPELS-DEFINITIONS

Les liquides corporels



RAPPELS-DEFINITIONS

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 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 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)



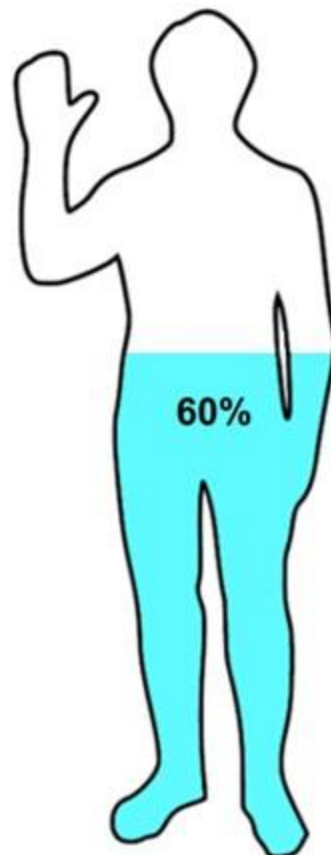
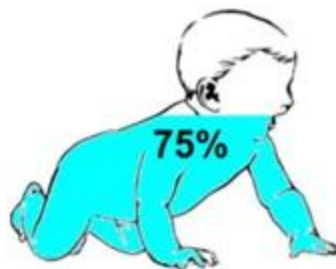
RAPPELS-DEFINITIONS

Composition des liquides corporels

Contenu corporel en eau



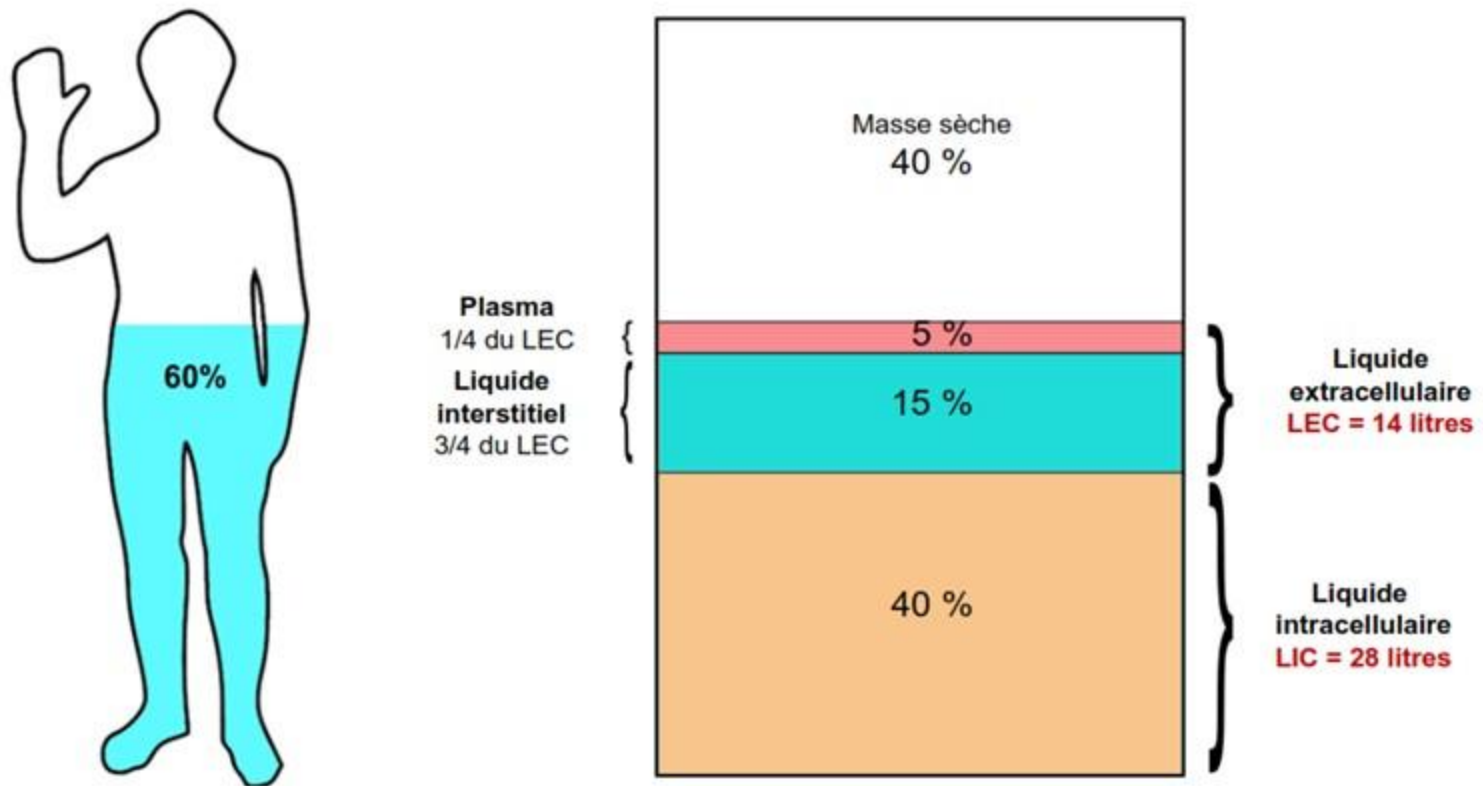
Tranche d'âge		% poids corporel
0 à 6 mois		74
6 mois à 12 ans		60
12 à 18 ans	♂	59
	♀	56
19 à 50 ans	♂	59
	♀	50
+ de 50 ans	♂	56
	♀	47



RAPPELS-DEFINITIONS

Composition des liquides corporels

Compartiments liquidiens

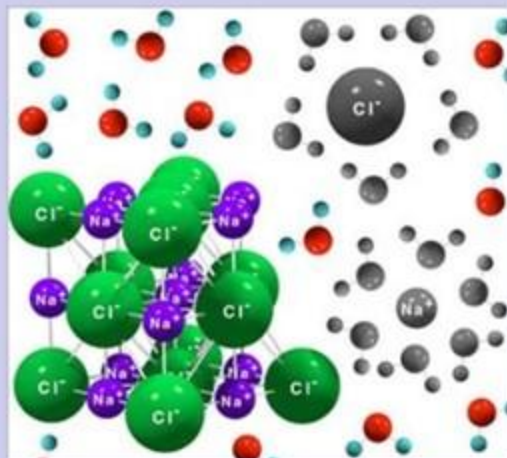


Eau corporelle totale (60%) = 42 litres

D^r BOUHIDEL

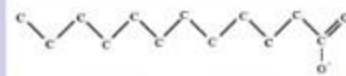
RAPPELS-DEFINITIONS

Les solutés des liquides corporels

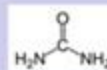


- **Cations** : Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , H^+
- **Anions** : Cl^- , HCO_3^- , protéines, anions organiques, PO_4^{3-} , SO_4^{2-}

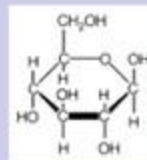
ELECTROLYTES
95% des solutés



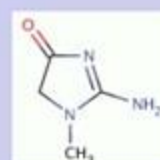
Acide gras libre



Urée



Glucose



Créatinine

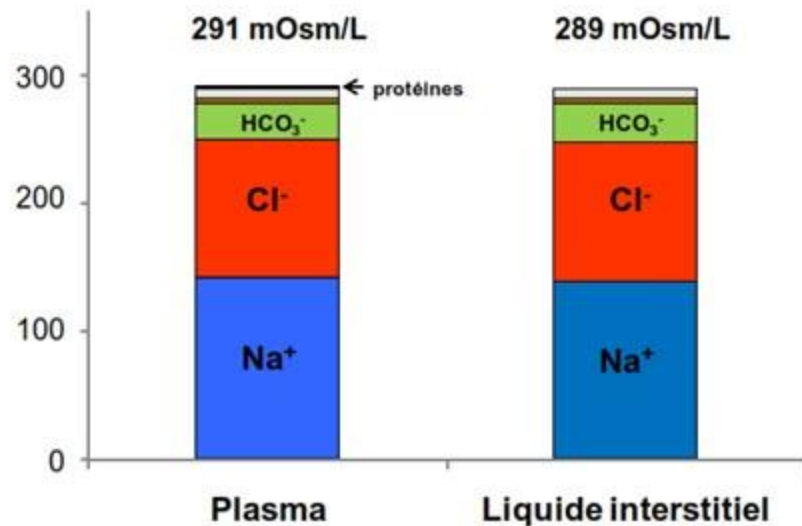
NON-ELECTROLYTES

RAPPELS-DEFINITIONS

Composition ionique du LEC

Plasma et liquide interstitiel

- Na^+ et anions associés : surtout Cl^- et HCO_3^-
- **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
Protéines	2	0
Na^+	142	139
Cl^-	108	110
HCO_3^-	28	30

RAPPELS-DEFINITIONS

Osmolarité plasmatique

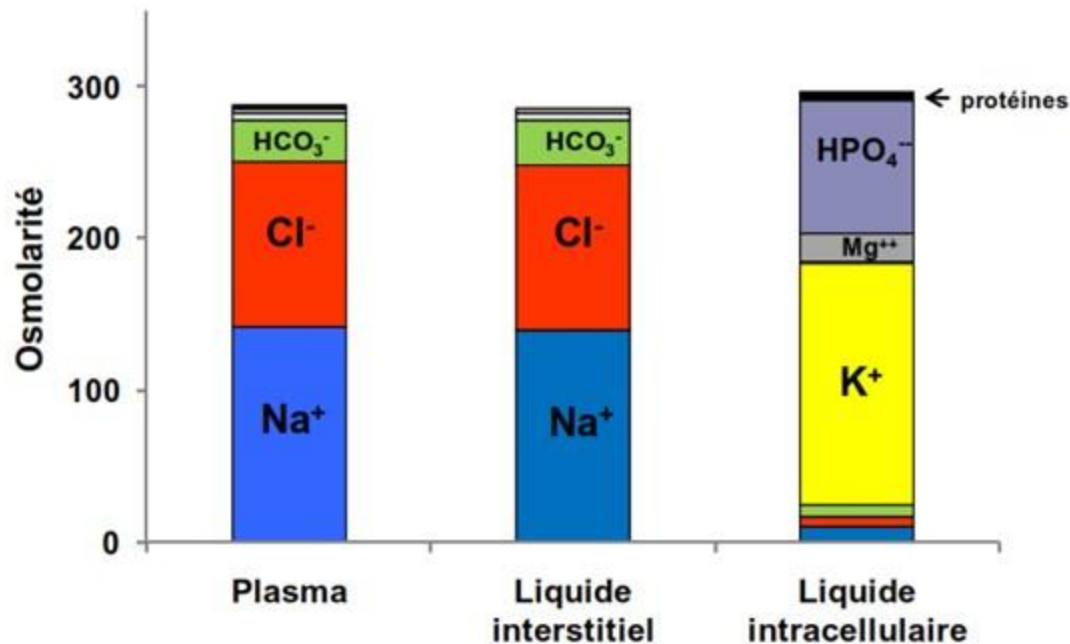
- Electroneutralité des liquides :
Quantité des anions = quantité des cations
- Na^+ : 95% des cations du LEC (140 mmol/L)
Natrémie : principal déterminant de l'osmolarité du LEC
- **Osmolarité plasmatique** $\sim [\text{Na}^+] + [\text{anions associés}]$
Calcul rapide : **2X natrémie** = 280 mOsm/L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

[glucose] 5
[urée] 5
[électrolytes] 280

RAPPELS-DEFINITIONS

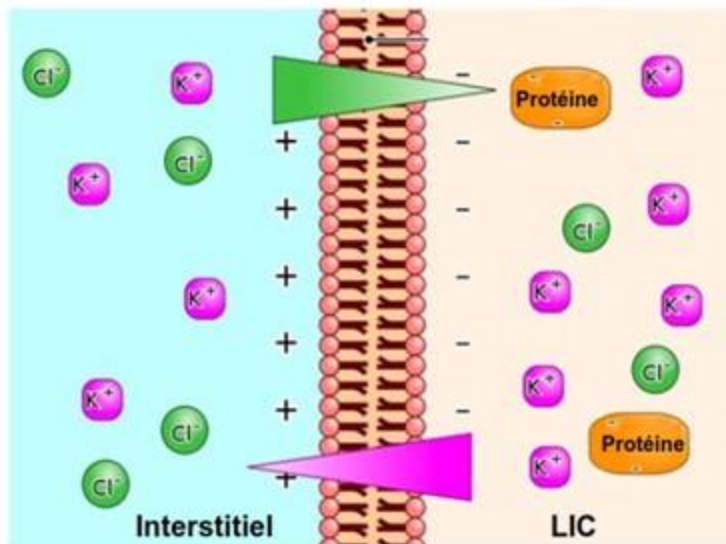
Composition ionique du liquide intracellulaire



Osmolarité du LIC surtout due aux **sels de potassium**
Légèrement > à celle du LEC
à cause de la concentration élevée des protéines intracellulaires

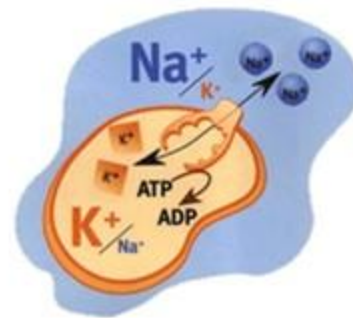
RAPPELS-DEFINITIONS

Equilibre de Gibbs-Donnan entre LIC et liquide interstitiel



Plus de charges osmotiquement
actives dans le LIC

Pompe Na^+/K^+ ATPase

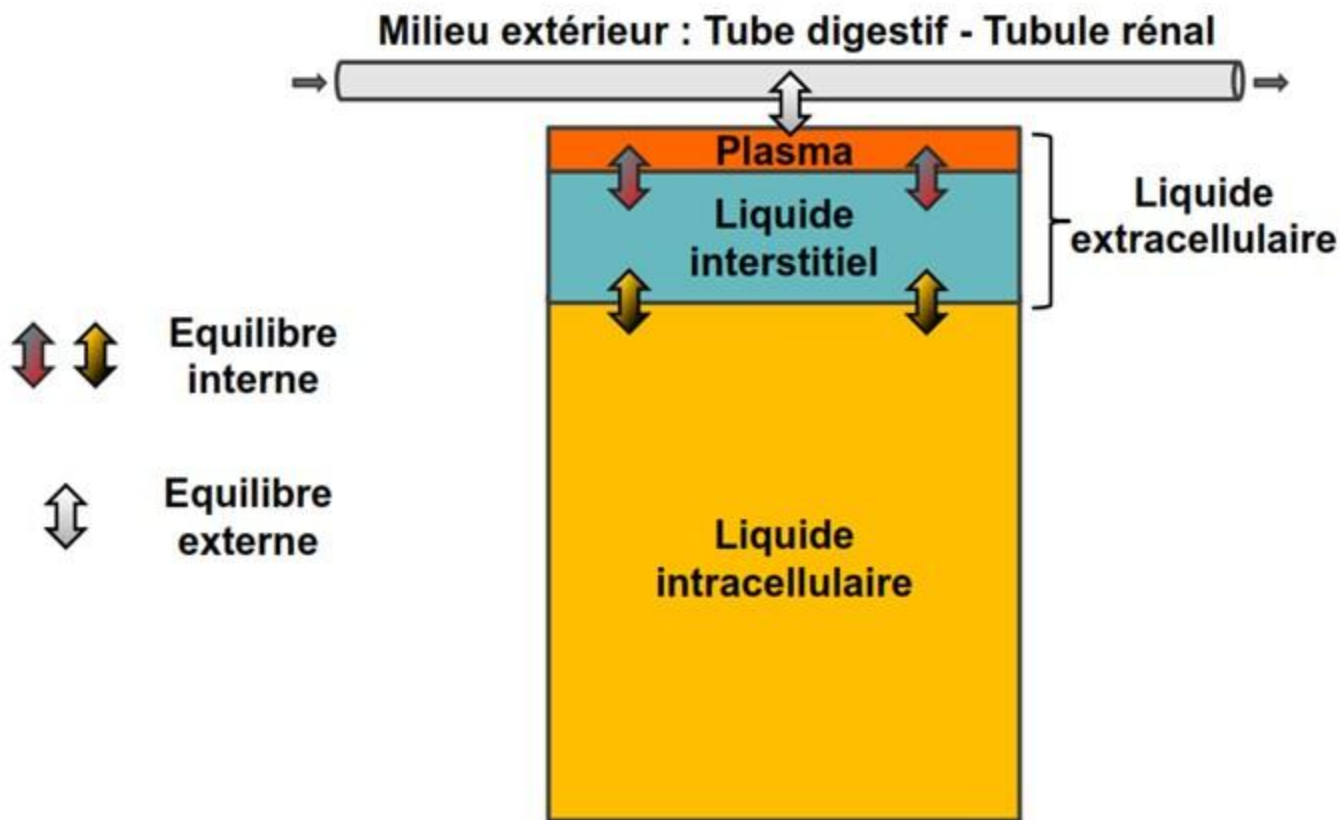


Bilan : expulsion de particules
osmotiquement actives
Neutralise l'effet Gibbs-Donnan

Prévient le gonflement cellulaire

RAPPELS-DEFINITIONS

Echanges d'eau et de solutés entre les divers compartiments



RAPPELS-DEFINITIONS

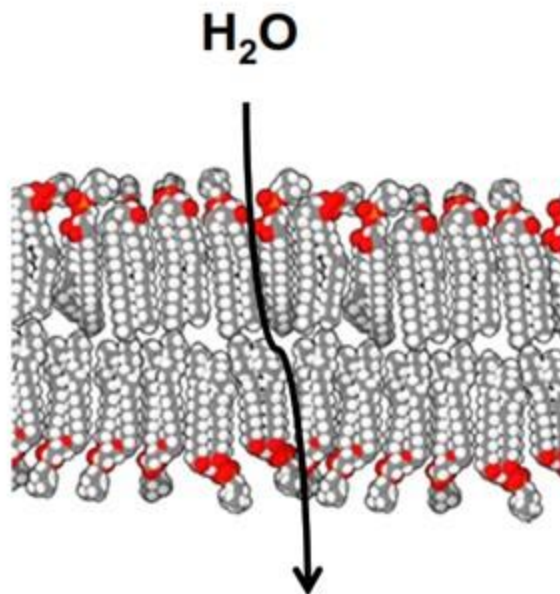
Echanges d'eau

- 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)

RAPPELS-DEFINITIONS

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

Bicouche lipidique fluide



DIFFUSION SIMPLE



Tête **polaire** : **hydrophile**

attire les autres composés polaires et ioniques

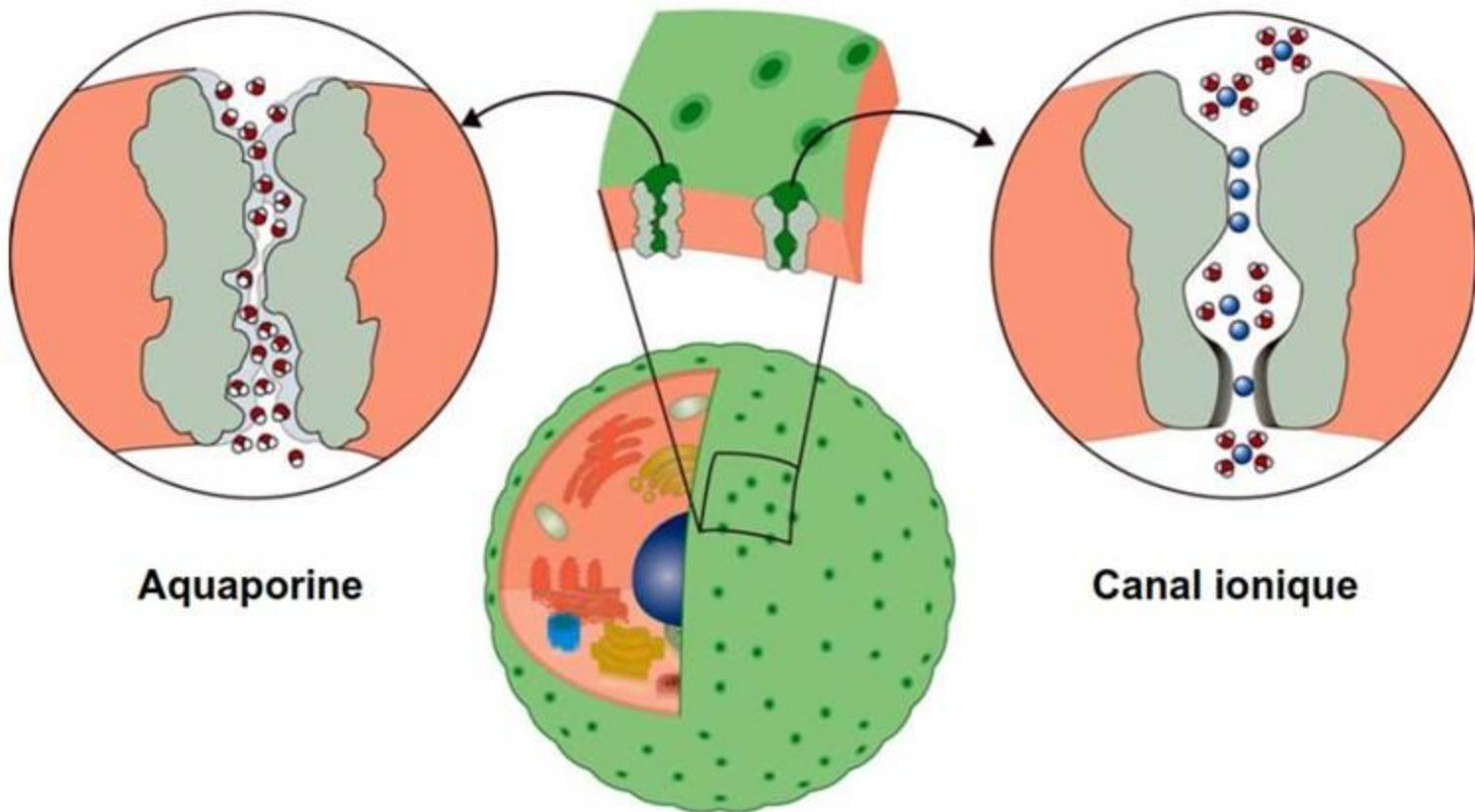


Queue **non-polaire** : **hydrophobe**

confère à la membrane une imperméabilité à la plupart des molécules polaires (sauf l'eau), aux ions et aux grosses molécules

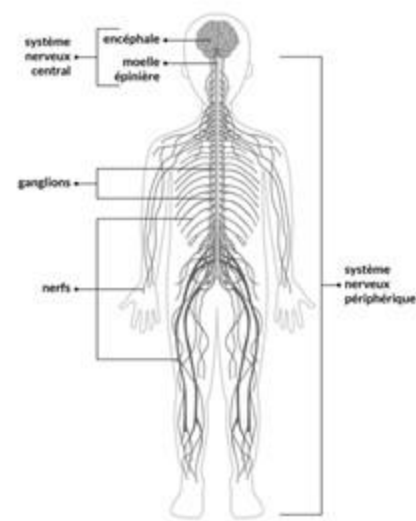
RAPPELS-DEFINITIONS

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



Aquaporine

Canal ionique



ECHANGES D'EAU ENTRE LES COMPARTIMENTS EXTRA- ET INTRACELLULAIRE

ECHANGES D'EAU ENTRE LES COMPARTIMENTS EXTRA- ET INTRACELLULAIRE

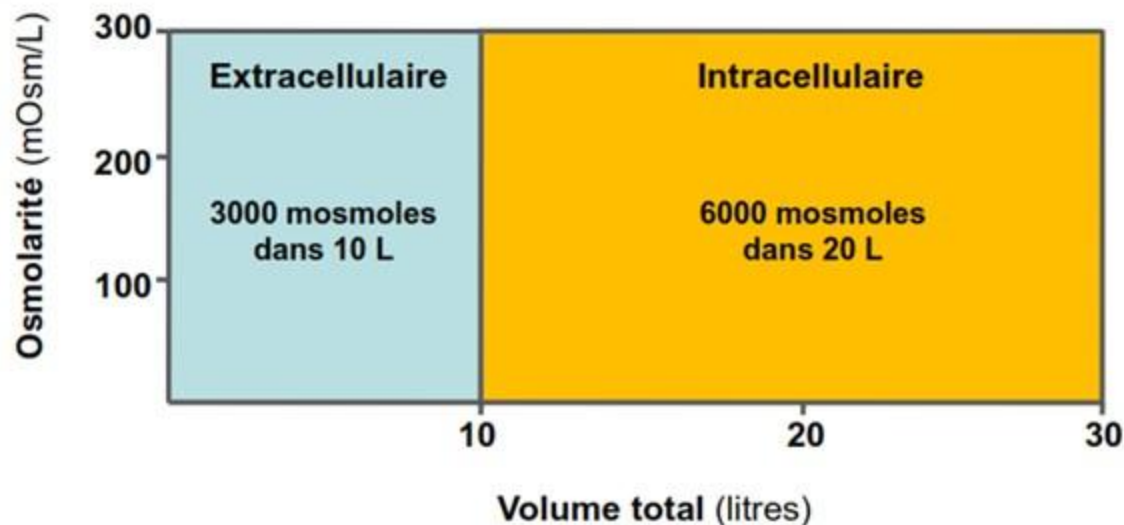
- Membrane cellulaire plus perméable à l'eau qu'aux solutés
- Paroi capillaire très perméable à l'eau et aux solutés
- Gradient osmotique créé par les solutés qui ne traversent pas les membranes
 - **Osmolarité extracellulaire** : sodium et anions associés (NaCl)
 - Osmolarité intracellulaire : potassium 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

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**

ECHANGES D'EAU ENTRE LES COMPARTIMENTS EXTRA- ET INTRACELLULAIRE

Volume et osmolarité des
compartiments liquidiens

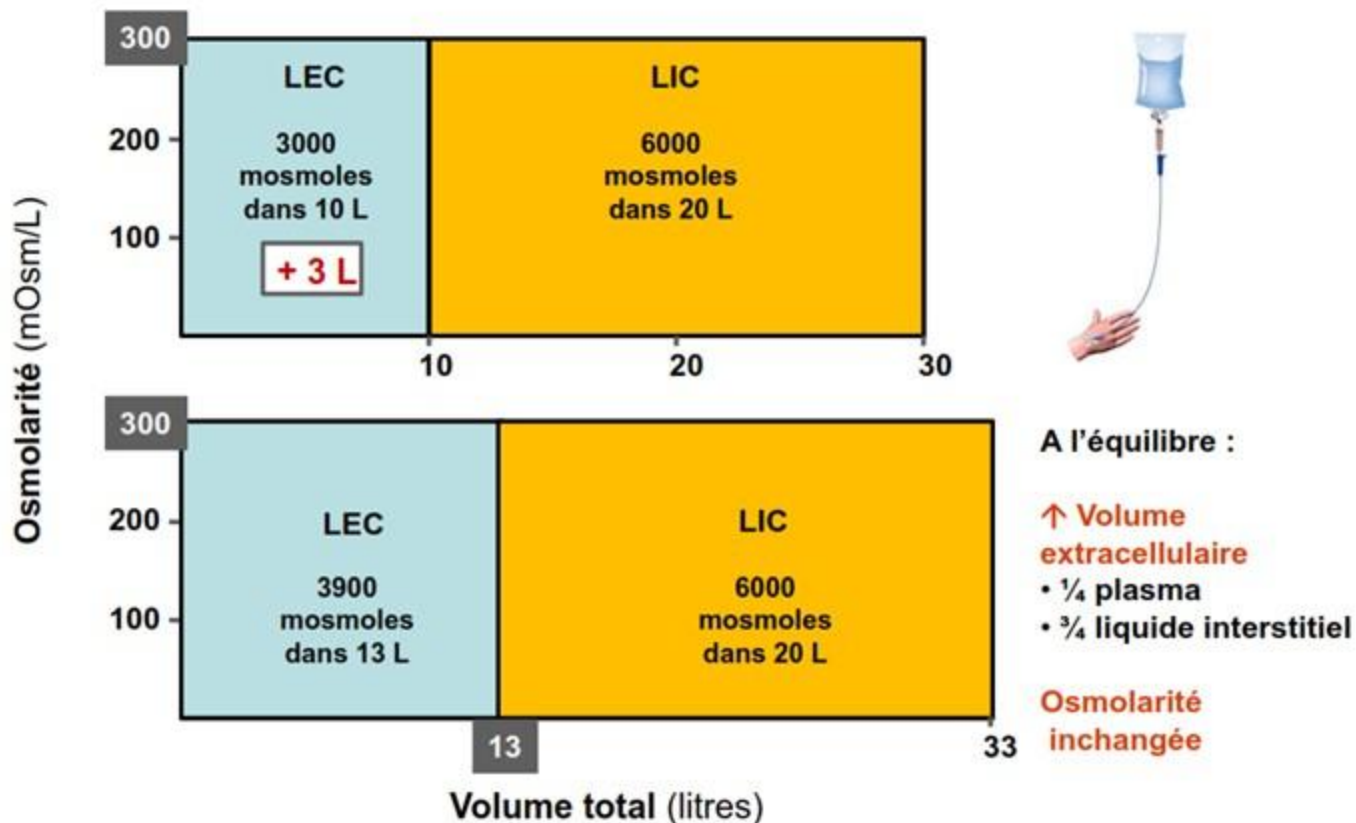


~ 300 mOsm/L dans tous les liquides corporels

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

ECHANGES D'EAU ENTRE LES COMPARTIMENTS EXTRA- ET INTRACELLULAIRE

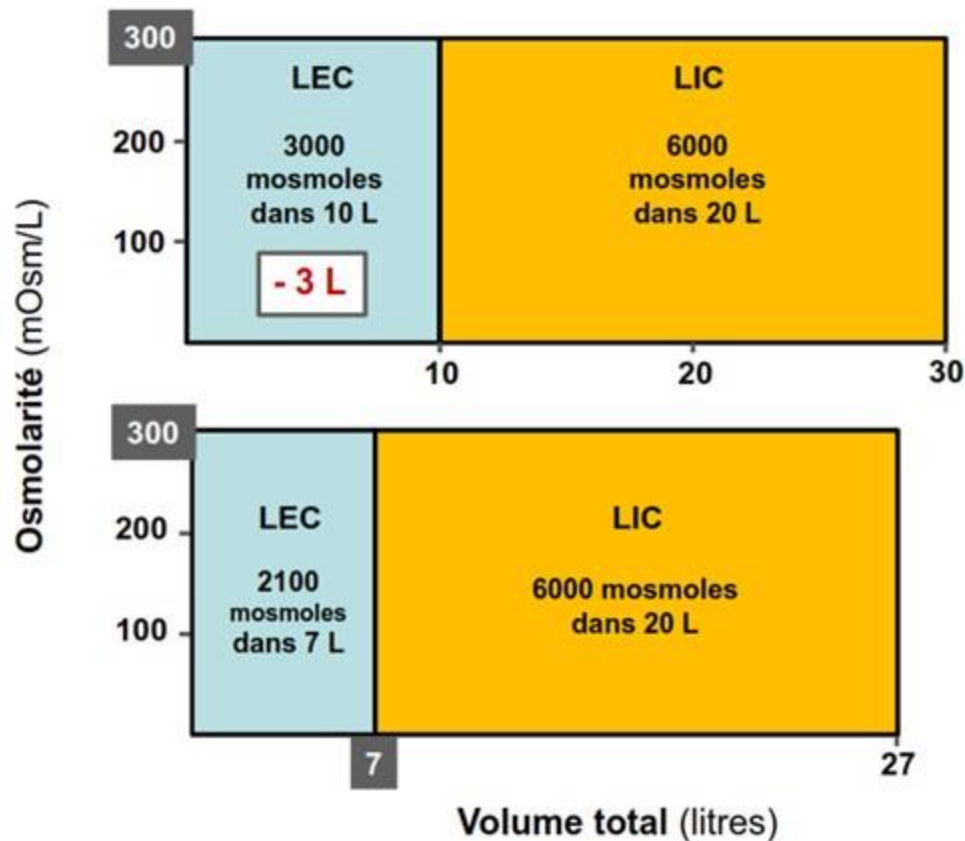
Gain de liquide isotonique
Expansion iso-osmotique



ECHANGES D'EAU ENTRE LES COMPARTIMENTS EXTRA- ET INTRACELLULAIRE

Perte de liquide isotonique

Contraction iso-osmotique



A l'équilibre :

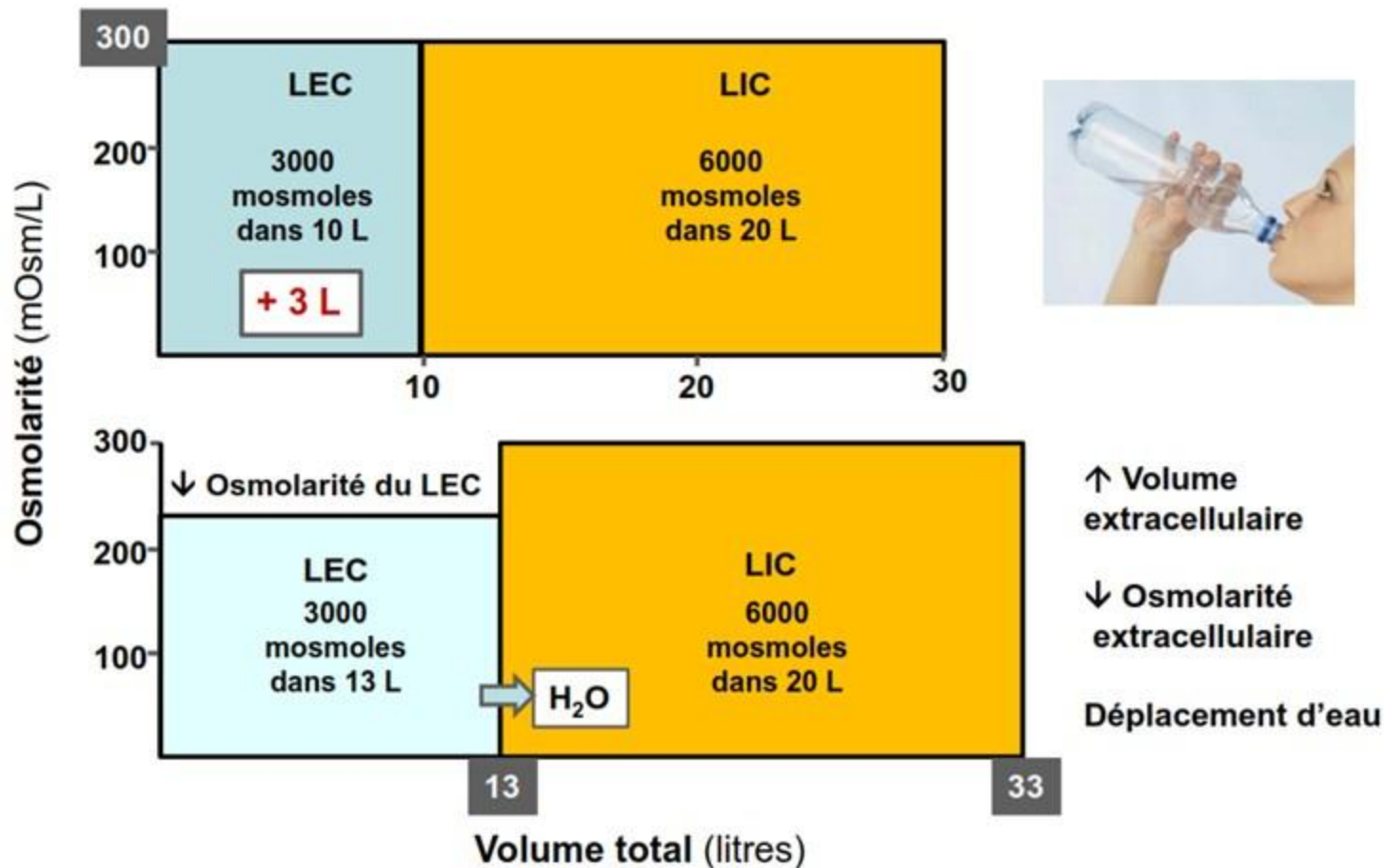
↓ Volume
extracellulaire

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

Osmolarité
inchangée

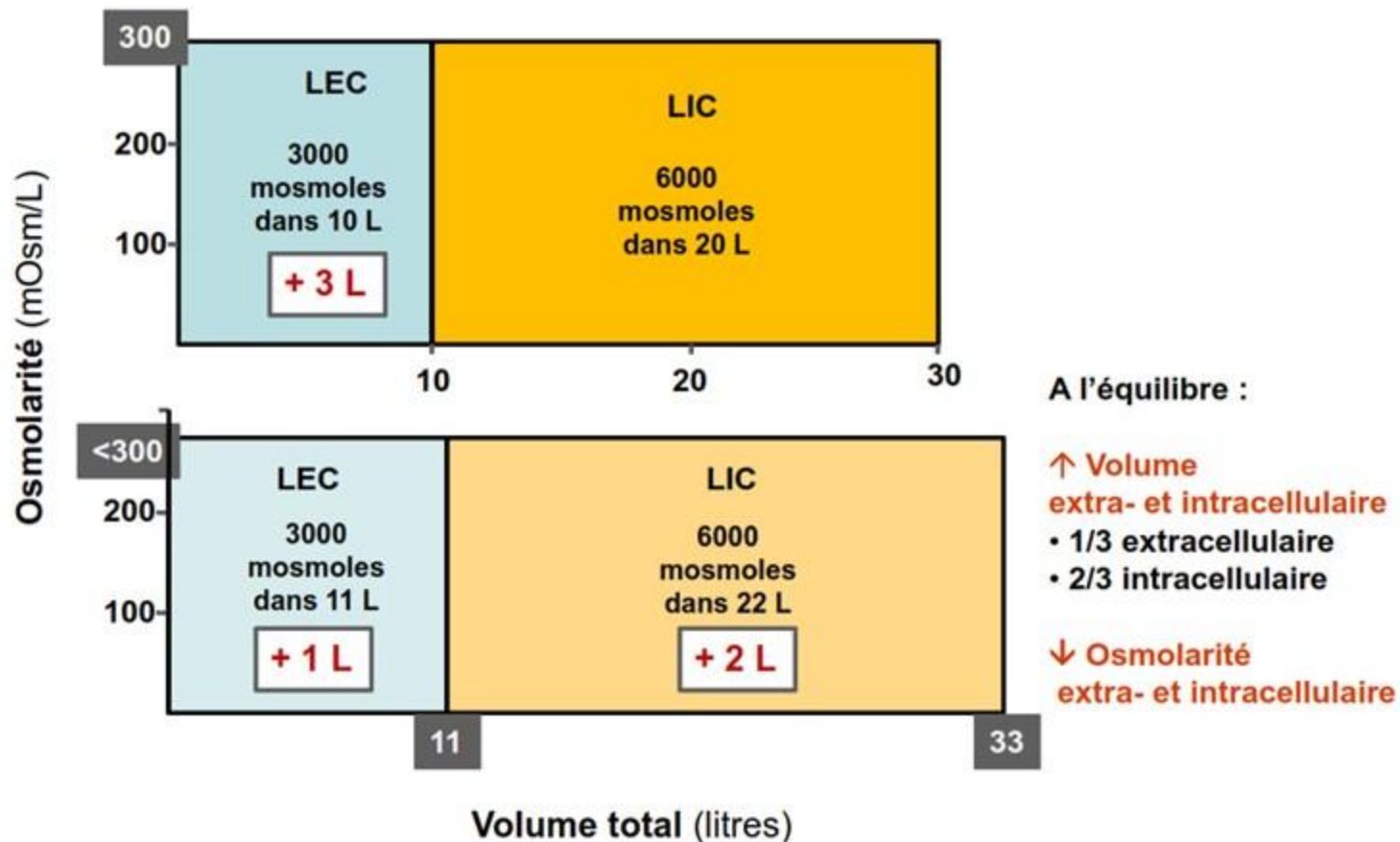
ECHANGES D'EAU ENTRE LES COMPARTIMENTS EXTRA- ET INTRACELLULAIRE

Gain d'eau pure
Expansion hypo-osmotique



ECHANGES D'EAU ENTRE LES COMPARTIMENTS EXTRA- ET INTRACELLULAIRE

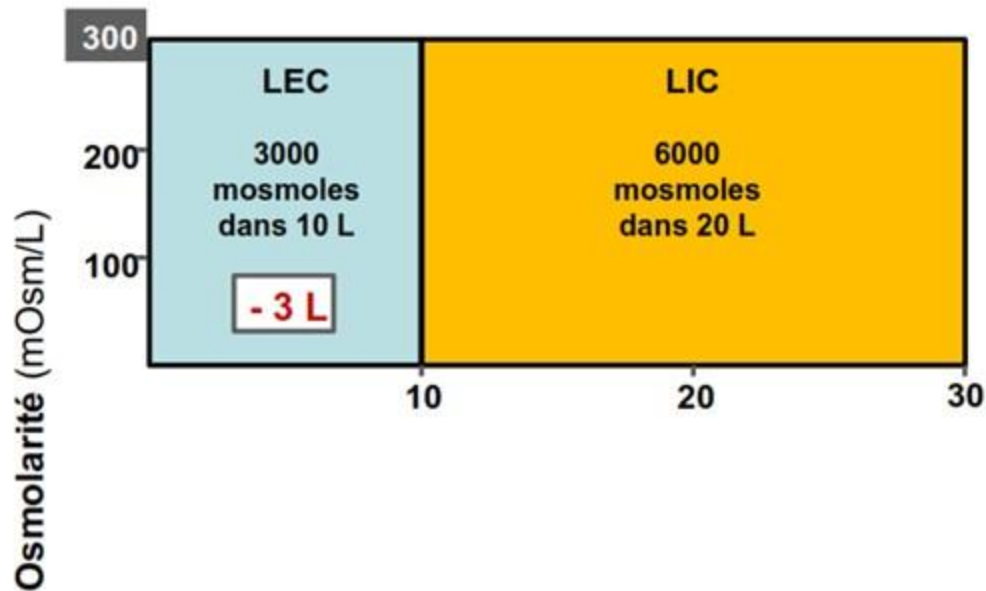
Gain d'eau pure
Expansion hypo-osmotique



ECHANGES D'EAU ENTRE LES COMPARTIMENTS EXTRA- ET INTRACELLULAIRE

Perte d'eau pure

Contraction hyper-osmotique

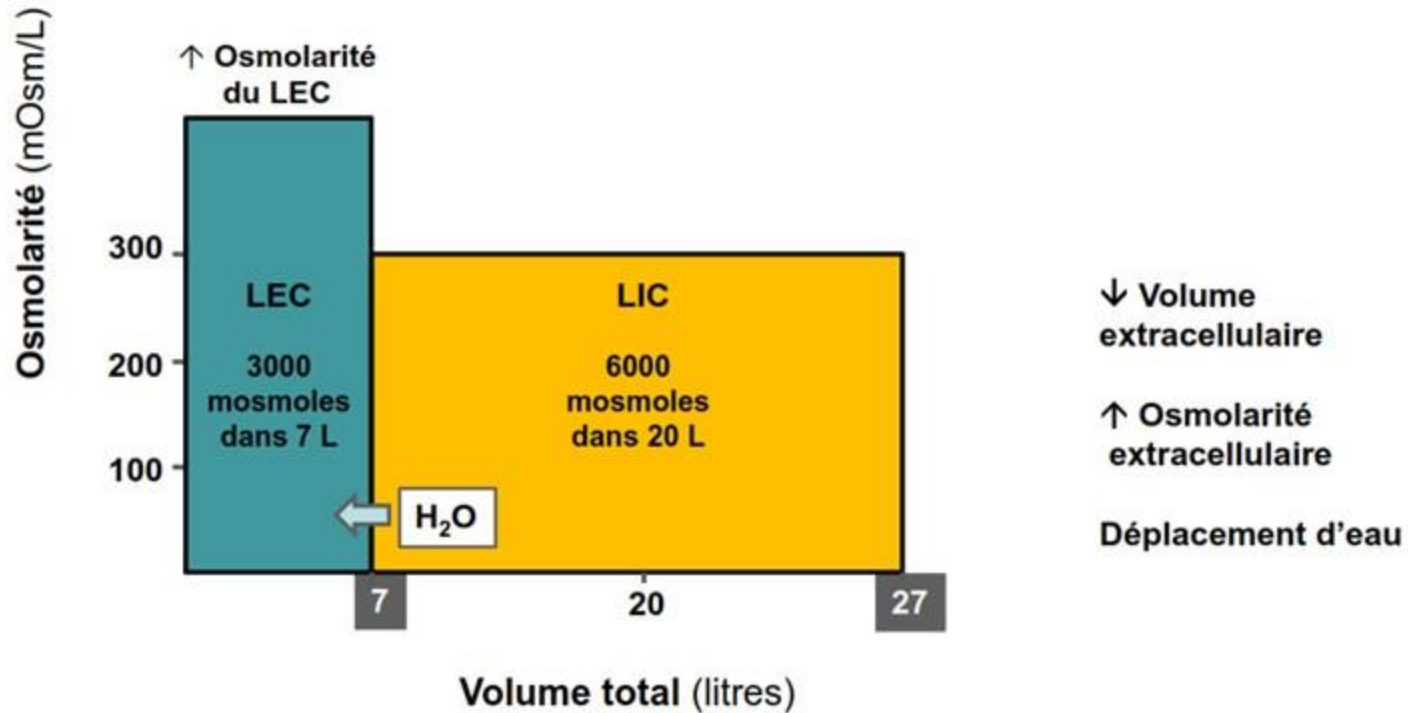


Volume total (litres)

[Dr BOUHIDEL](#)

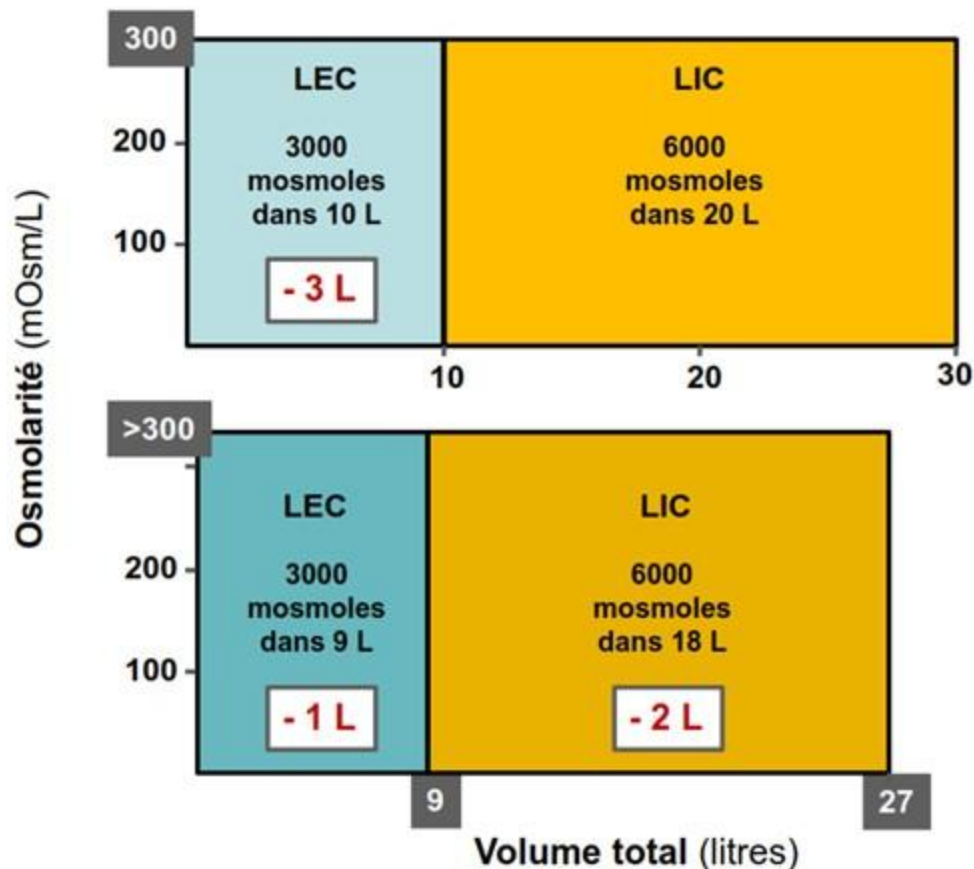
ECHANGES D'EAU ENTRE LES COMPARTIMENTS EXTRA- ET INTRACELLULAIRE

Perte d'eau pure
Contraction hyper-osmotique



ECHANGES D'EAU ENTRE LES COMPARTIMENTS EXTRA- ET INTRACELLULAIRE

Perte d'eau pure
Contraction hyper-osmotique



A l'équilibre :

↓ Volume
extra- et intracellulaire
• 1/3 extracellulaire
• 2/3 intracellulaire

↑ Osmolarité
extra- et intracellulaire

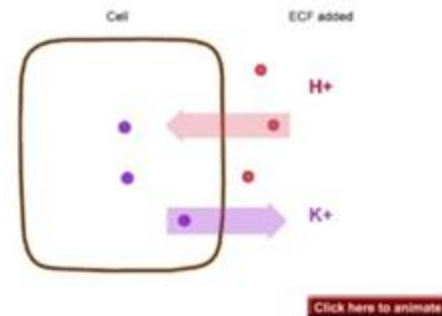
ECHANGES D'EAU ENTRE LES COMPARTIMENTS EXTRA- ET INTRACELLULAIRE

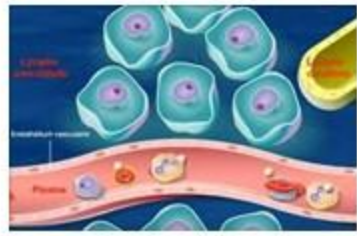
Effets sur le volume cellulaire

- 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 D'EAU ENTRE LES COMPARTIMENTS EXTRA- ET INTRACELLULAIRE

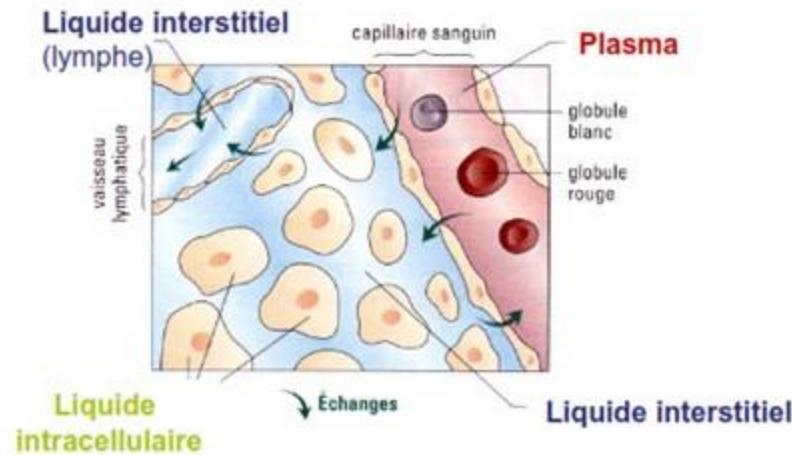
- **Pompe $\text{Na}^+ \text{K}^+$ ATPase et échangeur $\text{Na}^+ \text{-H}^+$** : échanges normaux
- **↓ $[\text{K}^+]$ du LEC : hypokaliémie**
Sortie de K^+ des cellules en échange avec Na^+ ou H^+ : impact sur la natrémie
- **↑ $[\text{H}^+]$ du LEC : acidose métabolique**
Entrée dans les cellules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





ECHANGES ENTRE LES COMPARTIMENTS PLASMATIQUE ET INTERSTITIEL

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 ENTRE LES COMPARTIMENTS PLASMATIQUE ET INTERSTITIEL

Côté artériel

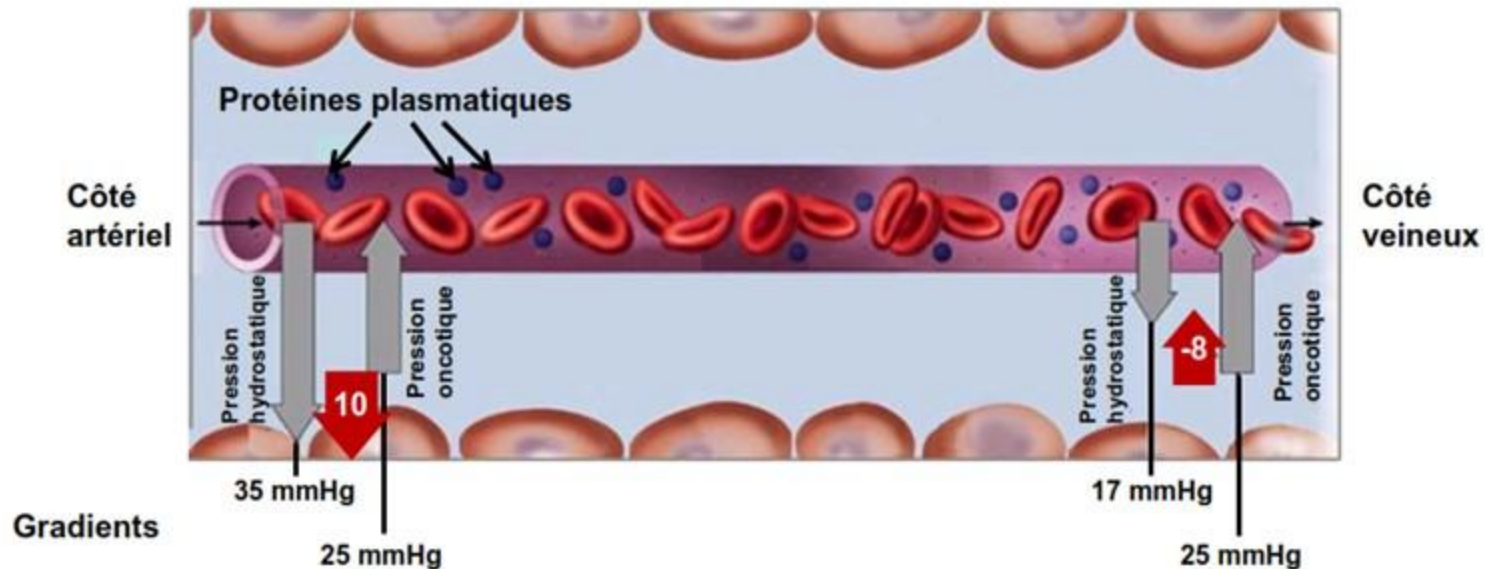
PNF = 10 mmHg

- 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

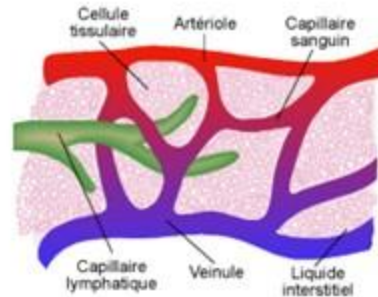
- P. hydrostatique capillaire : 17 mmHg
- P. hydrostatique interstitielle : 0 mmHg
- P. osmotique capillaire (oncotique) : 26 mmHg
- P. osmotique interstitielle : 1 mmHg



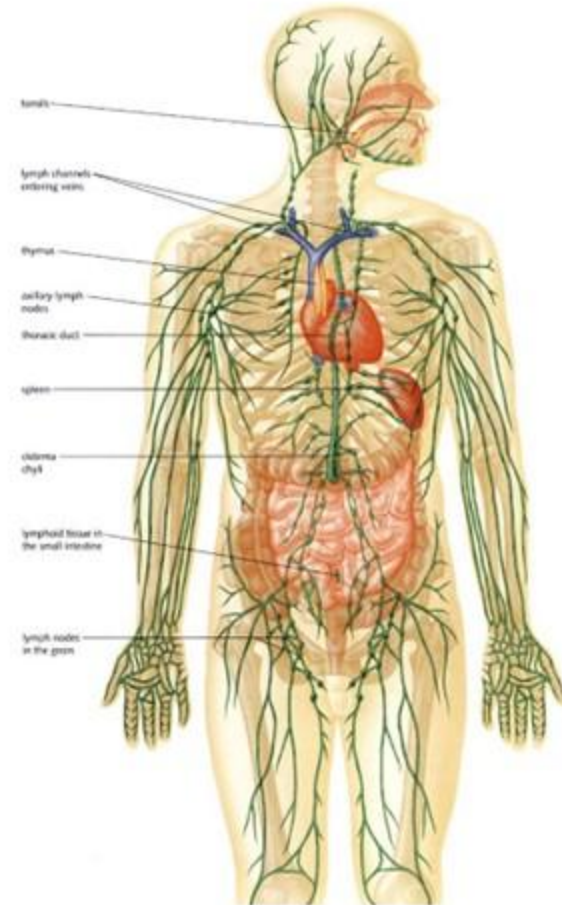
ECHANGES ENTRE LES COMPARTIMENTS PLASMATIQUE ET INTERSTITIEL

Rôle du système lymphatique

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

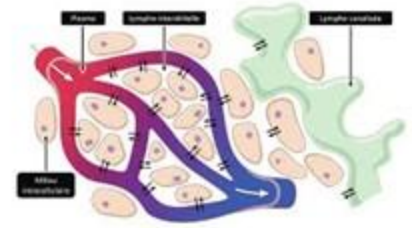


- Drainé par les vaisseaux lymphatiques puis retourné par le conduit thoracique dans le compartiment plasmatique au niveau de la circulation veineuse
- Constance des volumes des deux compartiments à l'équilibre



ECHANGES ENTRE LES COMPARTIMENTS PLASMATIQUE ET INTERSTITIEL

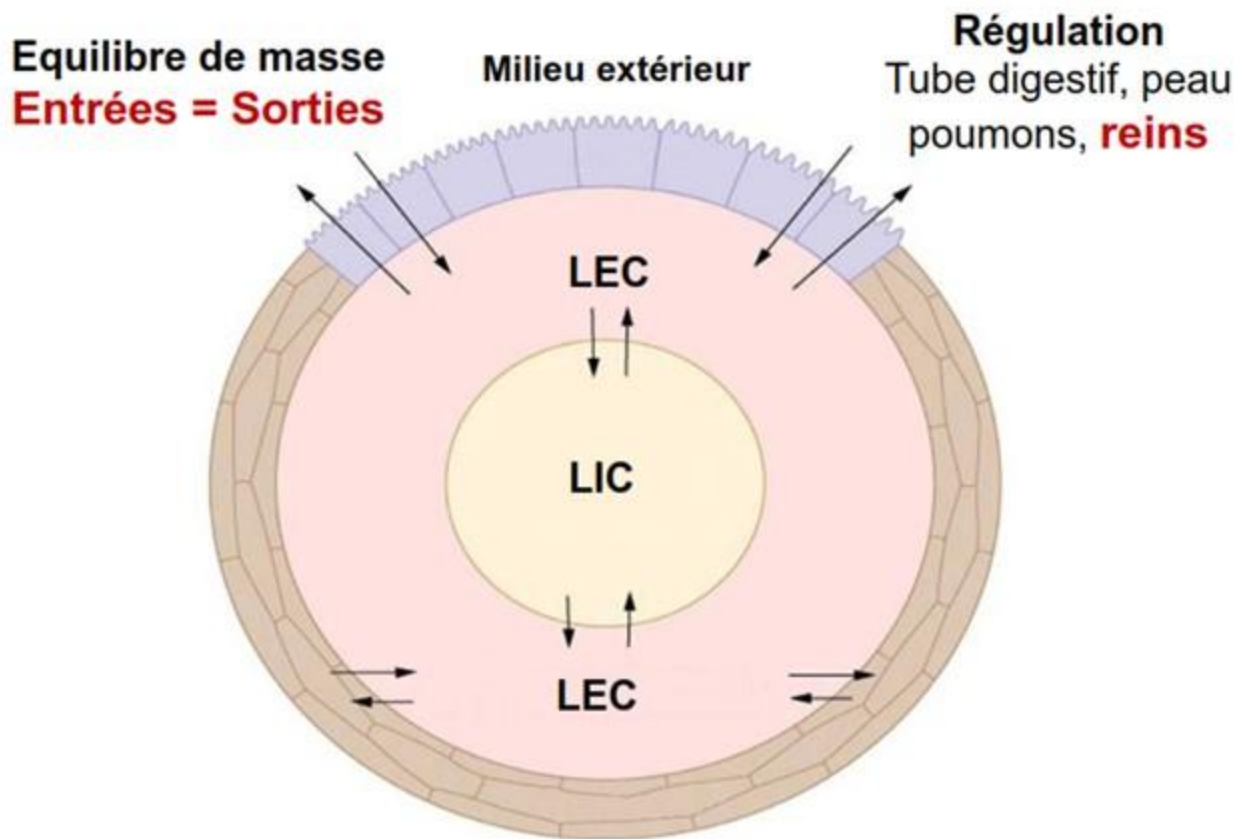
- Maintien des volumes plasmatiques et sanguin constants malgré le gain ou la perte de liquide isotonique par le compartiment plasmatique
- Expansion du volume plasmatique
→ transfert de ce liquide vers le compartiment interstitiel
- Contraction du volume plasmatique
→ transfert de liquide interstitiel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



ECHANGES ENTRE LE PLASMA ET L'EXTERIEUR

ECHANGES ENTRE LE PLASMA ET L'EXTERIEUR

EQUILIBRE EXTERNE





CONCLUSION

CONCLUSION

QUESTIONS ?

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

CONCLUSION

REPONSE

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	↑	↓	↑	↓

**MERCI DE VOTRE
ATTENTION**