

Hydratation

Liquides de l'organisme

Marie-Agnès Giroux-Metges

Explorations fonctionnelles respiratoires – CHRU de Brest

EA 4324 ORPHY – UFR Médecine & Sciences de la santé

marie-agnes.metges@univ-brest.fr

Hydratation de l'organisme

1. **Eau corporelle totale, généralités**
2. Classification des espaces liquidiens
3. Traceurs utilisés pour évaluer ces espaces
4. Secteur extracellulaire
5. Secteur intracellulaire
6. Échanges

L'eau

1. L'eau est le composant le plus abondant du corps humain

2. $\approx 60\%$ du poids total du corps.

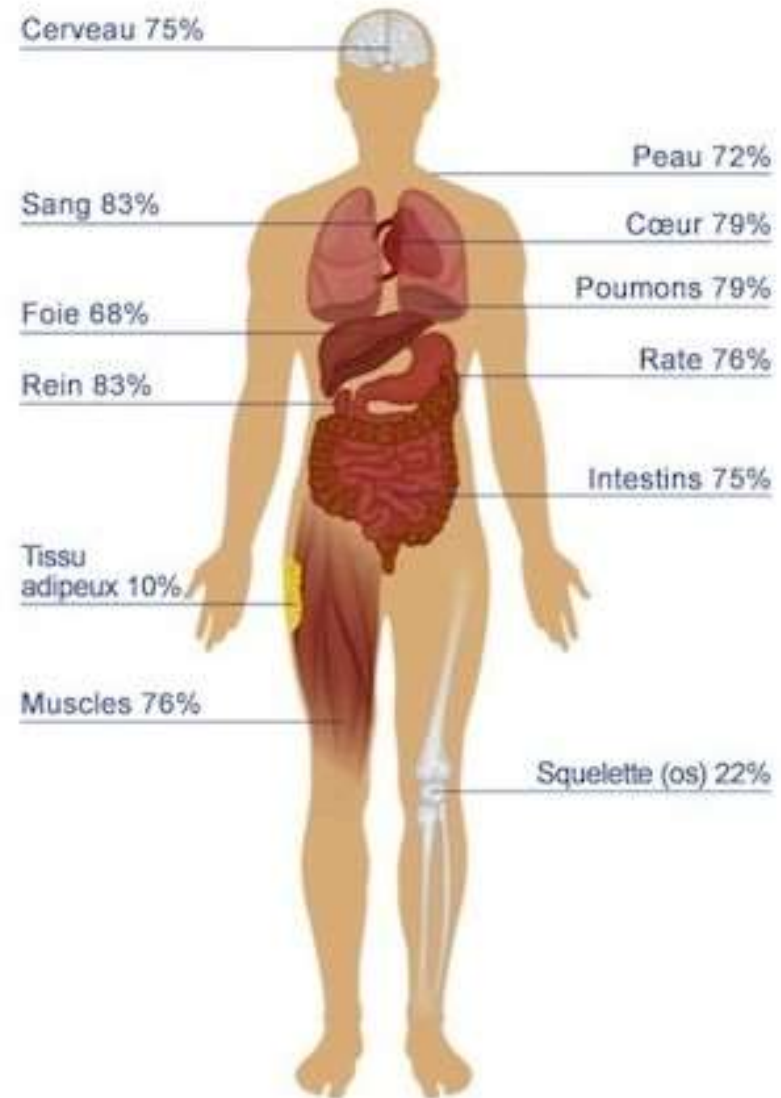
Ex: 42 litres pour un homme adulte de 70 kg

3. Sa répartition varie selon les tissus, selon l'âge et le sexe

Répartition de l'eau

La répartition de l'eau varie selon
les tissus :

- très peu dans la dentine (10%)
- jusqu'à 90 % pour le plasma









(D'après Pivarnik et Palmer, 1994)

Répartition de l'eau

La teneur du corps en eau varie :

- avec l'âge : très importante chez le nourrisson (80 % à la naissance) , plus faible chez le vieillard
- avec le sexe : 50-52 % du poids du corps chez la femme
- avec l'importance du panicule adipeux : les graisses ne contiennent que 10 à 15% d'eau contre 75 % aux autres tissus.

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

Importance de la stabilité des liquides corporels

1. Le rein a un **rôle majeur** dans le maintien de **la stabilité du milieu extracellulaire** pour préserver le fonctionnement cellulaire
1. La stabilité du **volume** et de la **composition** du liquide intracellulaire (LIC) est essentielle au fonctionnement de la cellule : dépend de celle du LEC maintenue **dans des limites très étroites**
2. **La natrémie** (concentration plasmatique du Na^+) ≈ 140 mOsm/L
 - Hyponatrémie sévère (< 120 mOsm/L) : le plasma devient hypotonique et l'eau se déplace vers les cellules. Le gonflement des cellules peut avoir de graves conséquences en particulier sur les neurones avec un risque de confusion, coma et mort.
3. **La kaliémie** (concentration plasmatique du K^+) $\approx 4,5$ mOsm/L
 - Hyperkaliémie sévère : dépolarisation des cellules et augmentation de l'excitabilité nerveuse et cardiaque (risque d'arythmies graves et mortelles).

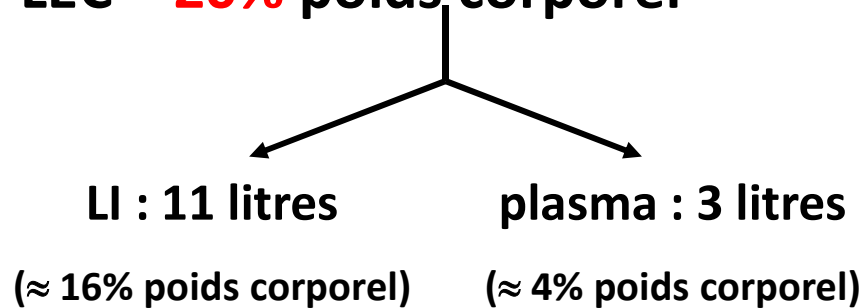
Compartiments hydriques

Adulte

42 litres

LIC = **40%** poids corporel
soit 28 L / 70 kg (homme)

LEC = **20%** poids corporel



Nouveau-né

LEC = **40 %** poids du corps

Répartition: LEC \cong LIC à la
naissance

ECT > **80%** poids

avec augmentation progressive du
volume du LIC > LEC à l'âge de 3 mois

Hydratation de l'organisme

1. Eau corporelle totale, généralités
- 2. Classification des espaces liquidiens**
3. Traceurs utilisés pour évaluer ces espaces
4. Secteur extracellulaire
5. Secteur intracellulaire
6. Échanges

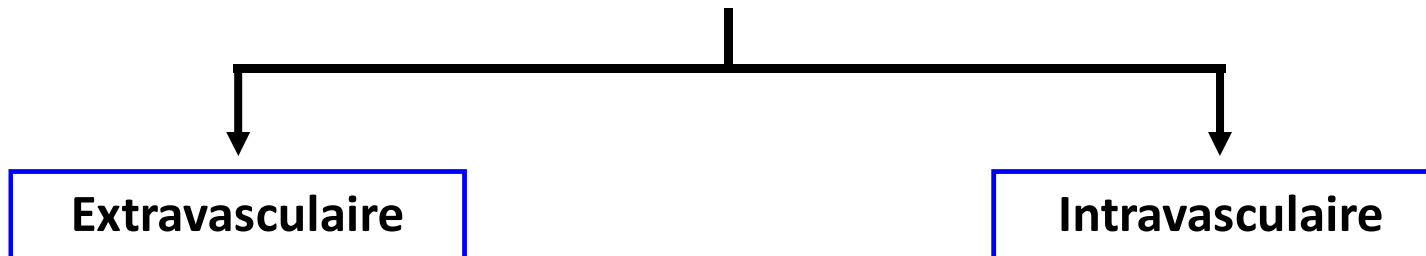
Classification des espaces liquidiens

1. Milieu intracellulaire

- Bien défini sur le plan anatomique
- Mais très hétérogène
- Contient les **2/3 de l'eau totale soit 40% du poids corporel** (soit 28L/homme 70 kg)

2. Milieu extracellulaire

- **1/3 eau totale ou 20% poids corporel**
- Divisé en 2 par la paroi capillaire



- milieu dans lequel vivent les cellules
- fraction liquide, peu mobile
- ayant la consistance d'un **gel**
- **interstitiel**

Le sang

- milieu à circulation rapide
- considéré comme un tissu comportant deux phases séparables :
 - une phase cellulaire, constituée de plusieurs populations
 - une phase liquide, le plasma.

Hydratation de l'organisme

1. Eau corporelle totale, généralités
2. Classification des espaces liquidiens
- 3. Traceurs utilisés pour évaluer ces espaces**
4. Secteur extracellulaire
5. Secteur intracellulaire
6. Échanges

Méthodes de mesure - Utilisation de traceurs

- Volumes de liquide présents dans les compartiments mesurés indirectement grâce au principe de conservation de masse : dilution d'une quantité connue du marqueur
- Les substances utilisées sont appelées TRACEURS : on suit leur devenir dans l'organisme grâce à leurs caractères physicochimiques (colorants ou éléments radioactifs).
- Il s'agit d'une mesure INDIRECTE grâce à la dilution d'une quantité connue du marqueur
- Propriétés du bon traceur :
 1. Distribution homogène dans le compartiment d'intérêt (sans fuite ou excrétion hépatique ou rénale sauf si on peut la mesurer et l'inclure dans le calcul)
 2. non toxique
 3. sans effet sur le fonctionnement ou le métabolisme des tissus et sur le volume du compartiment étudié
 4. Pas de métabolisme ou de synthèse par l'organisme
 5. Doit pouvoir être mesuré de façon précise, facile et reproductible

Eau corporelle totale (ECT)

- Pour la mesure de l'eau totale, la substance utilisée doit diffuser aussi bien dans les cellules qu'à travers le compartiment extracellulaire.
 - **2 types de traceurs :**
 - 1. marqueurs non isotopiques:** antipyrine (dosage chimique), éthanol
 - 2. isotopes de l'eau:**
 - eau lourde (hémioxyde de deutérium) D_2O
(spectrophotométrie de masse ou par une étude précise du poids spécifique d'échantillon d'eau)
 - eau tritiée 3H_2O (mesure par un détecteur de rayonnement)
- ⇒ **volume eau totale : 42 L / homme adulte de 70kg**

Quelques précisions

- Les compartiments définis par la diffusion d'un traceur sont en fait des espaces de diffusion.
- les compartiments ne sont pas des espaces homogènes ;
 - le compartiment constitué de sous-secteurs complexes et les traceurs ordinaires n'atteignent l'ensemble de ces sous-secteurs qu'après 45 à 70 min
- enfin, il existe entre ces compartiments des échanges permanents (eau + ions) puisqu'il ne faut pas perdre de vue le fait que ce sont des volumes d'eau que l'on mesure et que les transferts d'eau sont incessants d'un compartiment à l'autre.

Traceurs et volumes corporels

Le volume de certains compartiments est mesurable et pour d'autres compartiments, ce volume ne sera accessible que par le calcul.

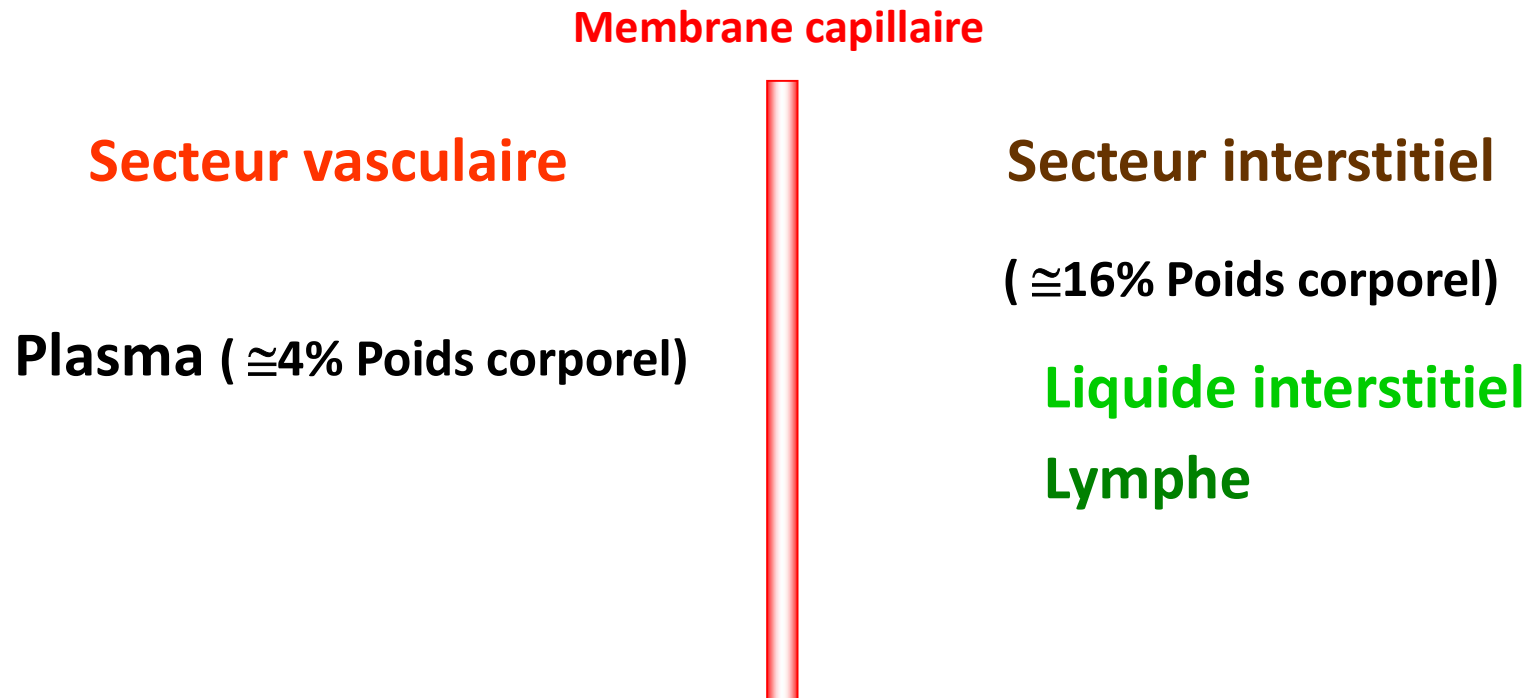
COMPARTIMENT	Traceur Non isotopique	Traceur isotopique
Mesurés		
1. eau corporelle totale ECT	Antipyrine éthanol	$^3\text{H}_2\text{O}$ (eau tritiée)
2. liquide extracellulaire LEC	Inuline mannitol	chlore ³⁶ , sodium ²⁴ , brome ⁷⁷ , sulfate ³⁵
3. liquide plasmatique Plasma	Bleu Evans	Albumine marquée (I^{125} , I^{131})
Calculés		
1. liquide intracellulaire	LIC = ECT - LEC	
2. liquide interstitiel	LI = LEC - liquide plasmatique	

Hydratation de l'organisme

1. Eau corporelle totale, généralités
2. Classification des espaces liquidiens
3. Traceurs utilisés pour évaluer ces espaces
- 4. Secteur extracellulaire**
5. Secteur intracellulaire
6. Échanges

Secteur extracellulaire

- **20%** du poids du corps / adulte de 70 kg (\approx **14 litres**)
- **40%** chez le nouveau-né.
- Comprend plusieurs compartiments



Secteur vasculaire

mesure du volume plasmatique

Plasma = phase liquide du sang

On utilise une substance qui ne franchit pas les parois vasculaires, qui diffuse facilement dans tout le système vasculaire et reste suffisamment longtemps confinée dans le système vasculaire pour qu'on puisse y pratiquer les mesures

- Le volume du plasma peut être mesuré de façon directe ou indirecte

Volume plasmatique

Mesure « directe » : volume de diffusion de l'albumine marquée

1. par un colorant vital : **le bleu Evans**. (le bleu injecté dans le sang forme immédiatement une combinaison solide avec les protéines – **la Sérum Albumine est la protéine principale** – dont il suit le devenir).

2. par un isotope : **l'iode radioactif (I^{125})** :

- On marque la Sérum Albumine du plasma du sujet avec l'iode

On fait incuber un échantillon de plasma du sujet avec I^{125} qui se fixe sur la sérum albumine (SAlb) → échantillon réinjecté → après 10-15 min environ → mesure de la radioactivité d'un échantillon de sang prélevé quand la dilution est complète

OU

- On injecte directement de la SAlb marquée.

Volume plasmatique

Mesure « indirecte » : volume sanguin total

- On utilise un traceur radioactif qui se fixe sur les GR : ^{32}P ou ^{51}Cr
 - on prélève un échantillon de GR du sujet
 - cet échantillon est incubé avec 1 solution contenant ^{32}P
 - GR marqués resuspendus dans 1 volume connu de solution saline V_0
 - ce volume V_0 est réinjecté au sujet
- A partir de 15 min → mesure dilution du traceur → calcul du volume total de sang

The diagram shows the dilution formula $V = \frac{V_0 \times C_0}{C}$ enclosed in a blue box. Three labels with arrows point to the variables in the formula: 'Volume échantillon injecté' points to V_0 , 'Concentration traceur dans échantillon injecté' points to C_0 , and 'Concentration traceur dans volume circulant' points to C . The variable V is also labeled with 'Volume sang total'.

$$V = \frac{V_0 \times C_0}{C}$$

Volume échantillon injecté

Concentration traceur dans échantillon injecté

Volume sang total

Concentration traceur dans volume circulant

Volume plasmatique

Mesure indirecte : volume sanguin total

- On peut déterminer ensuite le volume du plasma en connaissant le volume de sang total et le volume occupé par les éléments figurés
- Donc le Volume plasma = Volume sang total – Volumes GR
- Le volume des éléments figurés = **HEMATOCRITE**



plasma
≈ 60%

Éléments figurés
≈ 40%

$$\text{Hématocrite} = \frac{\text{Volume GR}}{\text{Volume sang total}}$$

$$\text{Vol plasma} = \text{Vol sang} \times (1 - \text{Hématocrite})$$

sang rendu incoagulable dans un tube en verre
Centrifugation → séparation rapide des phases
→ tubes à hématocrite de 10 mL gradués au 1/10
ml → lecture directe

VOLUME PLASMA = 3 Litres

Exercice

Monsieur Y, **70 kg**, reçoit une injection de **10 mL** d'une solution de **1%** (poids/volume) de bleu Evans.

Un échantillon de sang prélevé 15 min plus tard permet de mesurer un hématokrite de **45%** et une concentration du colorant bleu dans le surnageant de **0,035 mg/mL**.

- 1- Quel est le volume de plasma de monsieur Y ?
- 2- Quel est le volume de sang de monsieur Y?

Exercice

Monsieur Y , 70 kg, reçoit une injection de 10 mL d'une solution de 1% (poids en g/volume en L) de bleu Evans.

Un échantillon de sang prélevé 15 min plus tard permet de mesurer un hématoците de 45% et une concentration du colorant bleu dans le surnageant de 0,035 mg/mL.

Volume compartiment = Qté marqueur / Conc marqueur

- Quantité injectée = 10 mL solution à 1% (1 g pour 100 mL) donc 0,1 g ou 100 mg

Exercice

Monsieur Y , 70 kg, reçoit une injection de 10 mL d'une solution de 1% (poids/volume) de bleu Evans.

Un échantillon de sang prélevé 15 min plus tard permet de mesurer un hématicrite de 45% et une concentration du colorant bleu dans le surnageant de 0,035 mg/mL.

Volume compartiment = Qté marqueur / Conc marqueur

- Quantité injectée = 10 mL solution à 1% (1 g pour 100 mL) donc 0,1 g ou 100 mg
- Concentration plasmatique du bleu Evans = 0,035 mg/mL
- Ce traceur est dilué dans le volume du plasma

Exercice

Monsieur Y , 70 kg, reçoit une injection de 10 mL d'une solution de 1% (poids/volume) de bleu Evans.

Un échantillon de sang prélevé 15 min plus tard permet de mesurer un hématicrite de 45% et une concentration du colorant bleu dans le surnageant de 0,035 mg/mL.

Volume compartiment = Qté marqueur / Conc marqueur

- Quantité injectée = 10 mL solution à 1% (1 g pour 100 mL) donc 0,1 g ou 100 mg
- Concentration plasmatique du bleu Evans = 0,035 mg/mL
- Ce traceur est dilué dans le volume du plasma
- Volume de plasma = $100 / 0,035 = 2857$ mL ou **2,8 L**

Exercice

Monsieur Y , 70 kg, reçoit une injection de 10 mL d'une solution de 1% (poids/volume) de bleu Evans.

Un échantillon de sang prélevé 15 min plus tard permet de mesurer un hématoците de 45% et une concentration du colorant bleu dans le surnageant de 0,035 mg/mL.

Volume compartiment = Qté marqueur / Conc marqueur

- Quantité injectée = 10 mL solution à 1% (1 g pour 100 mL) donc 0,1 g ou 100 mg
- Concentration plasmatique du bleu Evans = 0,035 mg/mL
- Ce traceur est dilué dans le volume du plasma
- Volume de plasma = $100 / 0,035 = 2857$ mL ou **2,8 L**
- Volume sang = volume plasmatique / 1- Hématocrite
- Volume sang = $2,8 / (1-0,45) = 2,8 / 0,55 =$ **5,09 L**

Composition ionique du plasma

	mEq/L
CATIONS ⇨	154
Na ⁺	142
K ⁺	4
Ca ⁺⁺	5
Mg ⁺⁺	3
ANIONS ⇨	154
Cl ⁻	103
HCO ₃ ⁻	27
PO ₄	2
SO ₄	1
Acides organiques	5
Protéines	16

osmolarité plus élevée du plasma % liquide interstitiel (Pression oncotique)

Somme [cations] = somme [anions] = **neutralité électrique** du milieu. Ces électrolytes représentent 95% des solutés.

Le plasma contient aussi des substances non électrolytes : glucose, urée, créatinine, ... 26

Liquide interstitiel (LI)

- C'est le véritable milieu intérieur dans lequel baignent les cellules
- C'est l'eau des tissus de soutien qui est relativement stagnante, située à la fois hors des vaisseaux et des cellules et comprend l'eau de la lymphe qui circule dans les vaisseaux lymphatiques qui drainent le liquide interstitiel vers la circulation veineuse.
- **16 % du poids du corps** (dont lymphe **2 %**).

Volume du liquide interstitiel

$$\text{Volume LI} = \text{volume LEC} - \text{volume plasma}$$

- **On doit mesurer le volume du LEC**
 - La substance utilisée doit :
 - passer aisément à travers la paroi capillaire mais pas à travers la membrane cellulaire ni dans les cellules
 - diffuser suffisamment pour traverser rapidement les parois capillaires et atteindre les recoins les plus éloignés des espaces intercellulaires
 - être excrétée lentement par rapport à sa vitesse de diffusion dans l'ensemble des compartiments extracellulaires.
- ⇒ **il n'existe aucune substance capable de mesurer exactement le volume du LEC**

Volume du liquide extracellulaire (LEC)

Traceurs utilisés:

1. inuline donne le plus petit volume (sous-estimation) car elle ne passe pas dans l'os et le cartilage \Rightarrow LEC = **12 L**

2. mannitol

3. ^{36}Cl et ^{24}Na diffusent aussi dans les cellules \Rightarrow donnent le volume le plus grand (surestimation) = **18 L**

\Rightarrow **Donc on parle plutôt de « l'espace sodium » ou de « l'espace inuline ».**

4. Thiosulfate de Na ou le bromure de Na sont les meilleurs indicateurs \Rightarrow **14 L** (pour notre sujet de 70 kg)

donc volume LI = LEC – plasma = 14 L - 3 L = 11 Litres

Composition des liquides interstitiels

- Le **LI** est un **ultrafiltrat du plasma**,
 - dépourvu de cellules
 - **très pauvre en protéines (0 à 2 %)**
 - *Valeurs données ici sont valables pour le liquide interstitiel des membres, des tissus sous-cutanés et du poumon.*
- Les concentrations ioniques sont **voisines** entre liquide interstitiel et plasma car **l'endothélium capillaire perméable aux ions diffusibles mais PAS aux protéines**

CATIONS	mEq/L
Na⁺	142
K⁺	4
ANIONS	
Cl⁻	113
HCO₃⁻	27
Protéines	0

La lymphe

- Fait partie du compartiment extracellulaire et rattachée au liquide interstitiel
- Il existe un **réseau de vaisseaux** : capillaires lymphatiques → drainage dans le système veineux par le canal thoracique (au niveau du cou)
- plus riche en protéines que le reste du secteur de **20 g/L** pour la lymphe du foie à **50 g/L** pour le canal thoracique.
- Paroi des capillaires lymphatiques perméable ⇒ entrée des composants du liquide interstitiel
- Ce réseau permet le retour des protéines échappées du secteur vasculaire veineux vers le secteur plasmatique.
- Ex: si obstacle au drainage lymphatique → accumulation de protéines dans le secteur interstitiel → ↓ pression oncotique des cap veineux et ↓ réabsorption du liquide et œdème.

Eau transcellulaire

- constituée par les milieux liquidiens séparés du plasma par un endothélium capillaire et par une couche de cellules continues (cellules épithéliales ou mésothéliales) qui modifie la composition du liquide transcellulaire par rapport à celle du liquide extracellulaire.

$$\text{ECT} = \text{LEC} + \text{LIC} + \text{eau transcellulaire}$$

$$\text{ECT} - \text{LEC} = \text{LIC} + \text{eau transcellulaire}$$

Mouvements d'H₂O importants dans ce secteur (volumes élevés, particulièrement au niveau digestif et rénal) ⇒ en pratique, on ignore cette eau transcellulaire

$$\text{ECT} = \text{LEC} + \text{LIC} + \text{eau transcellulaire}$$

$$\text{LIC} = \text{ECT} - \text{LEC}$$

Eau transcellulaire

Comprend :

1. des liquides en transit (sécrétion-réabsorption)

- ultrafiltration rénale
- sécrétions digestives (fluctuations volume au cours de la journée, jusqu'à 10 L en occlusion)

2. des liquides protecteurs de composition particulière :

liquide cérébro-spinal, intraoculaire, pleural, péritonéal, synovial.

Les liquides de ces nombreuses cavités « virtuelles » (en quantité infime à l'état normal) peuvent représenter des volumes importantes en situation pathologique.

Par exemple,

- 1.liquide pleural de 15 ml (état normal) à 3 litres (pleurésie)
- 2.liquide péritonéal de 100 ml (état normal) à 6 litres (ascite)
- 3.liquide péricardique de 10 ml (état normal) à 1 litre (péricardite)
- 4.liquide articulaire de qq ml (état normal) à 100 ml ou plus (arthrites)

Volumes liquidiens au niveau du tube digestif

Apport oral	1500 mL
Salive	1500 mL
Estomac	2500 mL
Bile	1500 mL
Pancréas	1500 mL
Intestin	1000 mL

Eau totale présente dans l'intestin \approx 9500 mL

Eau absorbée dans le petit et le gros intestin = 9300 mL

Eau excrétée dans les selles \approx 200 mL

Hydratation de l'organisme

1. Eau corporelle totale, généralités
2. Classification des espaces liquidiens
3. Traceurs utilisés pour évaluer ces espaces
4. Secteur extracellulaire
5. **Secteur intracellulaire**
6. Échanges

Liquide intracellulaire

Volume :

- Pas mesuré mais calculé

$$\text{LIC} = \text{ECT} - \text{LEC}$$

- **40 %** du poids du corps soit **28 L / 70 kg**

Liquide intracellulaire

- **Composition ionique :**

- difficile de définir une composition des liquides intracellulaires commune à toutes les cellules car

- Les concentrations ioniques sont estimées **indirectement**

- Varient ++ d'un tissu à l'autre
- Varient entre les différents organites intracellulaires

- **Cations** : $[K^+]_i = 30 \times [K^+]_e$
 $[Na^+]_i = 0,1 \times [Na^+]_e$

- **Anions** : protéines et phosphates organiques

- Glucose, urée : même concentration en intra et en extra-cellulaire.

- **Concentration osmolaire \approx celle des liquides extra-cellulaires (280-290 mOsm/kg H₂O)**

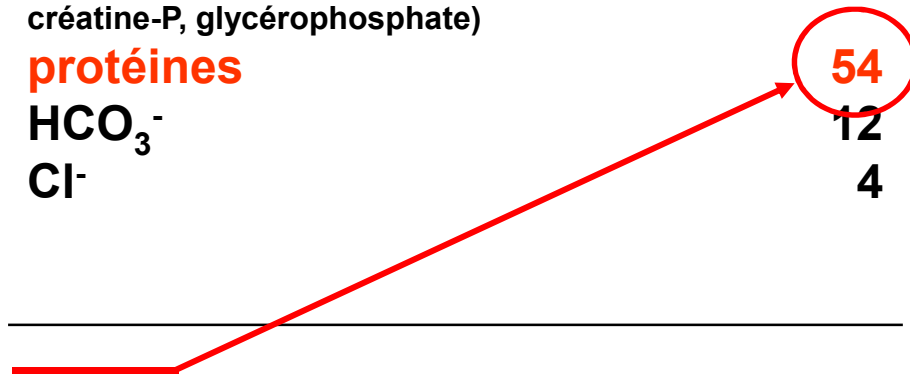
Proportion de protéines ionisées plus élevée que dans le plasma

CATIONS \Rightarrow **200 mEq/L**

K⁺	150
Magnésium	34
Na⁺	12
Ca²⁺	4

ANIONS \Rightarrow **200 mEq/L**

phosphates (AMP, ADP, ATP, créatine-P, glycérophosphate)	130
protéines	54
HCO₃⁻	12
Cl⁻	4



Le calcium

LEC :

Dans le plasma , la calcémie = **1 à 2 mM** ou environ **4 mEq/L**
(relativement élevée). 1/3 lié à des protéines (albumine)

LIC :

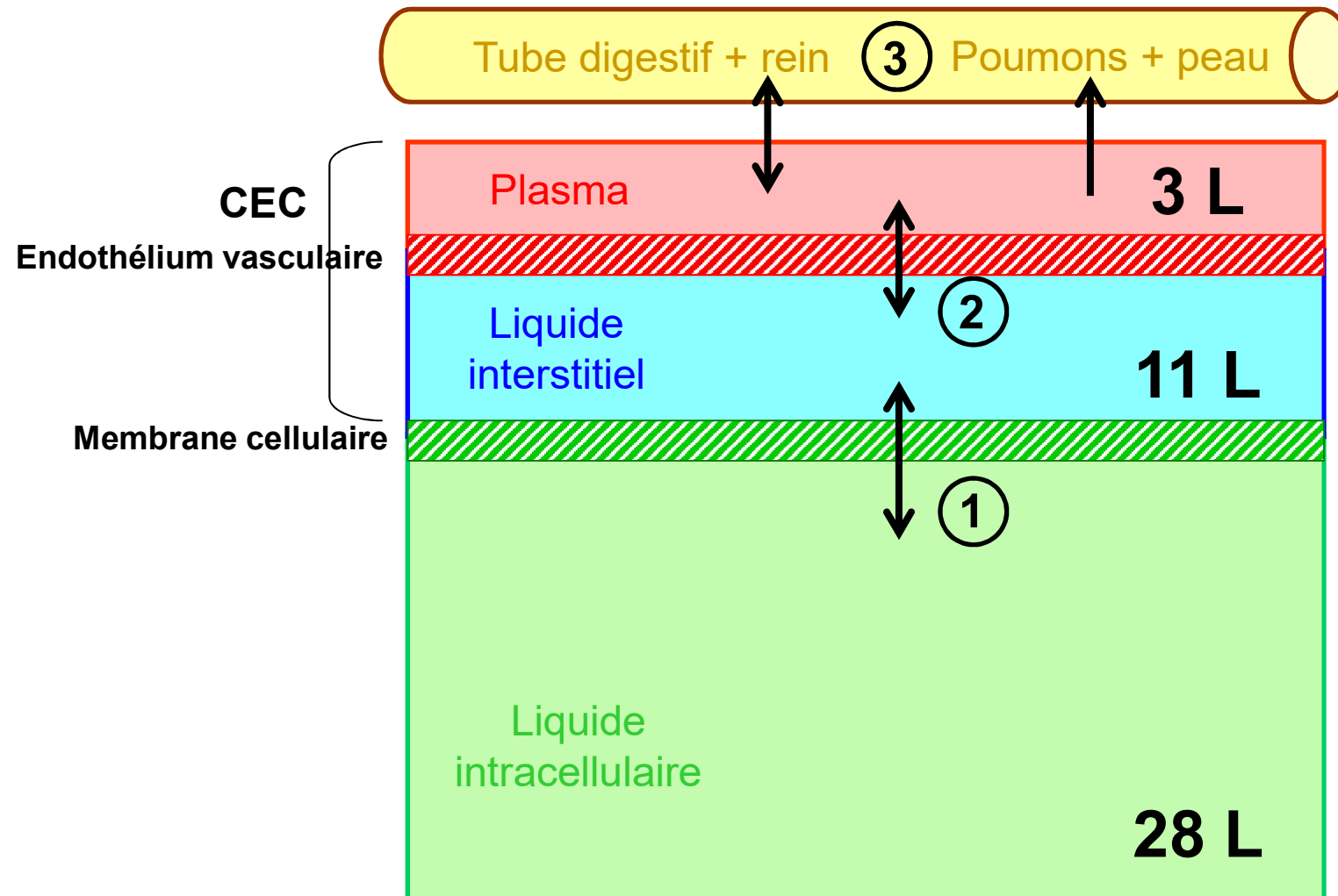
Dans le cytoplasme, le calcium libre = **0,1 μ M**
 $\Rightarrow \uparrow$ jusqu'à **10 μ M (x 100)** (= signal calcique)

Le Ca est **séquestré** dans le réticulum endoplasmique et autres organites : **10 -15 mM** (lié à des protéines: calséquestrine,...)

Hydratation de l'organisme

1. Eau corporelle totale, généralités
2. Classification des espaces liquidiens
3. Traceurs utilisés pour évaluer ces espaces
4. Secteur extracellulaire
5. Secteur intracellulaire
6. **Échanges**

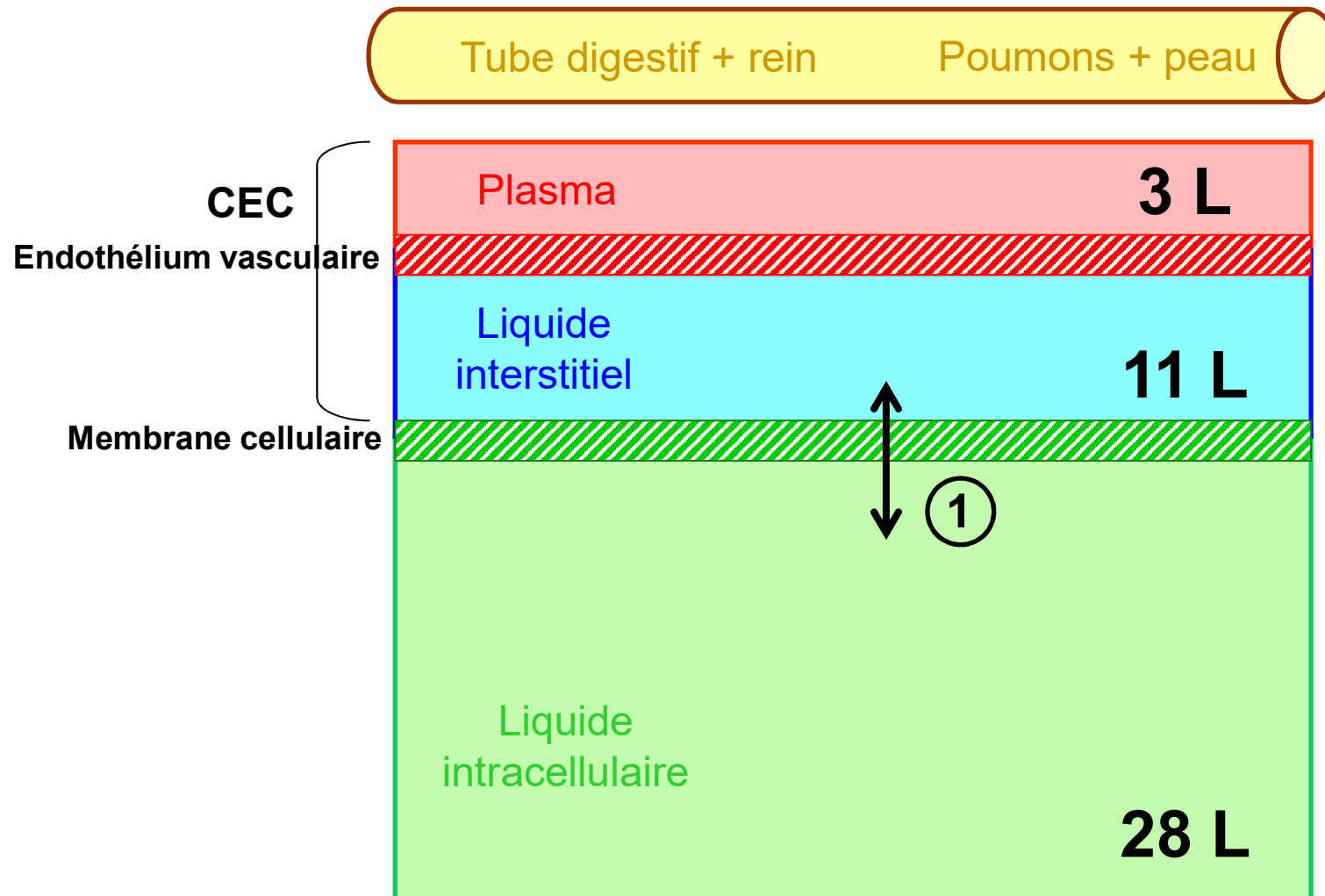
ÉCHANGES ENTRE COMPARTIMENTS



ÉCHANGES d'EAU

- Deux facteurs déterminent les mouvements d'eau :
 - L'osmose
 - La pression hydrostatique générée par le système cardiovasculaire
- La membrane cellulaire est plus perméable à l'eau qu'aux solutés, imperméable aux protéines
- La paroi capillaire est très perméable à l'eau et aux solutés
- Le gradient osmotique est créé par les solutés qui ne traversent pas les membranes
 - Osmolarité extracellulaire : sodium et anions associés (NaCl)
 - Osmolarité intracellulaire : potassium et anions associés
- Le déplacement de l'eau entre les compartiments IC et EC sont gouvernés par ces forces osmotiques : quasi-égalité de l'osmolarité dans tous les liquides corporels (sauf l'urine et la sueur). **Osmolarité \approx 300 mOsm/L**

① Secteur intracellulaire ↔ Secteur extracellulaire



① Secteur intracellulaire \Leftrightarrow Secteur extracellulaire

- Le compartiment plasmatique est en contact avec l'extérieur
 - changements du volume et de l'osmolarité des liquides corporels à travers des modifications survenant d'abord dans le liquide extracellulaire.

- Le gain ou la 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

1

Secteur intracellulaire \Leftrightarrow Secteur extracellulaire

Caractéristiques de l'équilibre de Gibbs-Donnan:

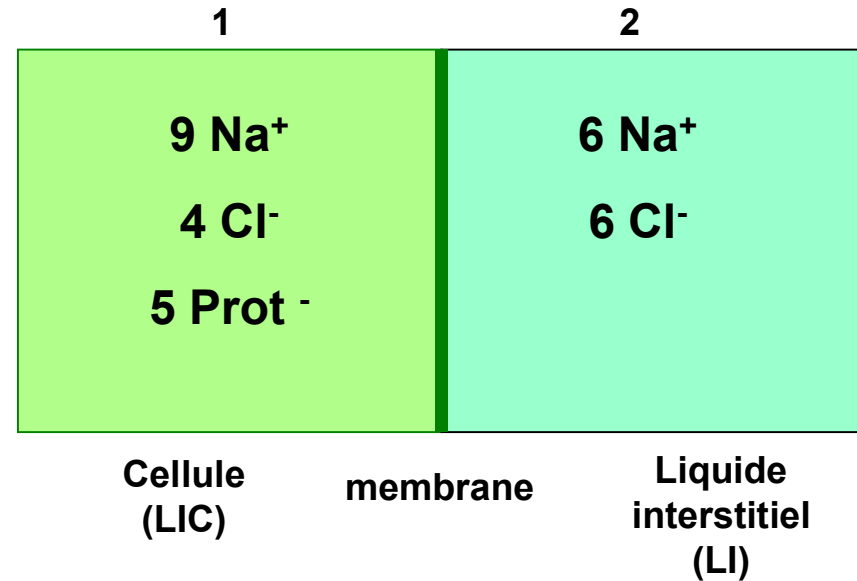
1- électroneutralité de chaque compartiment

2- égalité du produit des concentrations des ions **diffusibles**

$$[A^-]_1 \times [C^+]_1 = [A^-]_2 \times [C^+]_2$$

3- distribution inégale des grosses molécules et des petits ions (plus de protéines dans le LIC)

- plus de charges osmotiquement actives dans le LIC > Liquide interstitiel
- plus de particules dans le plasma > liquide interstitiel (osmolalité plasma > osmolalité du liquide interstitiel)

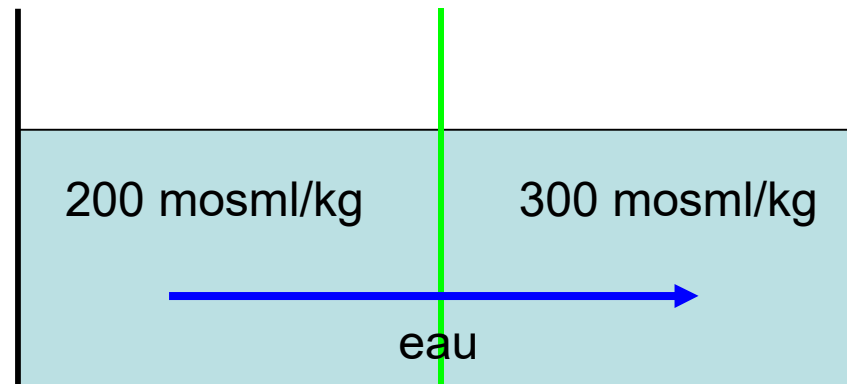


- cet équilibre existe aussi de chaque côté de l'endothélium capillaire (macromolécules anioniques dans le plasma \uparrow osmolalité)

① Secteur intracellulaire \leftrightarrow Secteur extracellulaire

Forces osmotiques :

Les forces osmotiques (résultat du contenu en solutés de chaque compartiment) déterminent la distribution de l'eau entre les secteurs EC et IC.



Osmolarité : nombre particules dissoutes dans **1 litre** d'H₂O

Osmolalité : nombre particules dissoutes dans **1 kg** d'H₂O

L'osmolalité des solutions **diluées** de l'organisme est exprimée en **milliOsmoles**

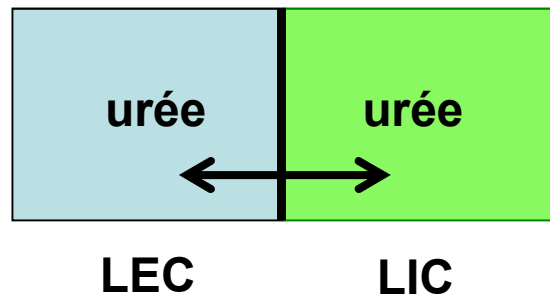
En pratique \Rightarrow Osmolalité \cong Osmolarité. **Sur les bilans biologiques : c'est l'osmolalité qui est donnée.**

① Secteur intracellulaire ↔ Secteur extracellulaire

Deux composantes dans l'osmolalité d'un liquide

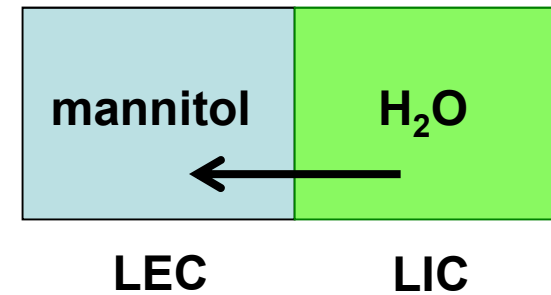
Osmolalité inefficace

Solutés librement diffusibles



Osmolalité EFFICACE

Solutés non diffusibles (membrane imperméable à ces solutés)

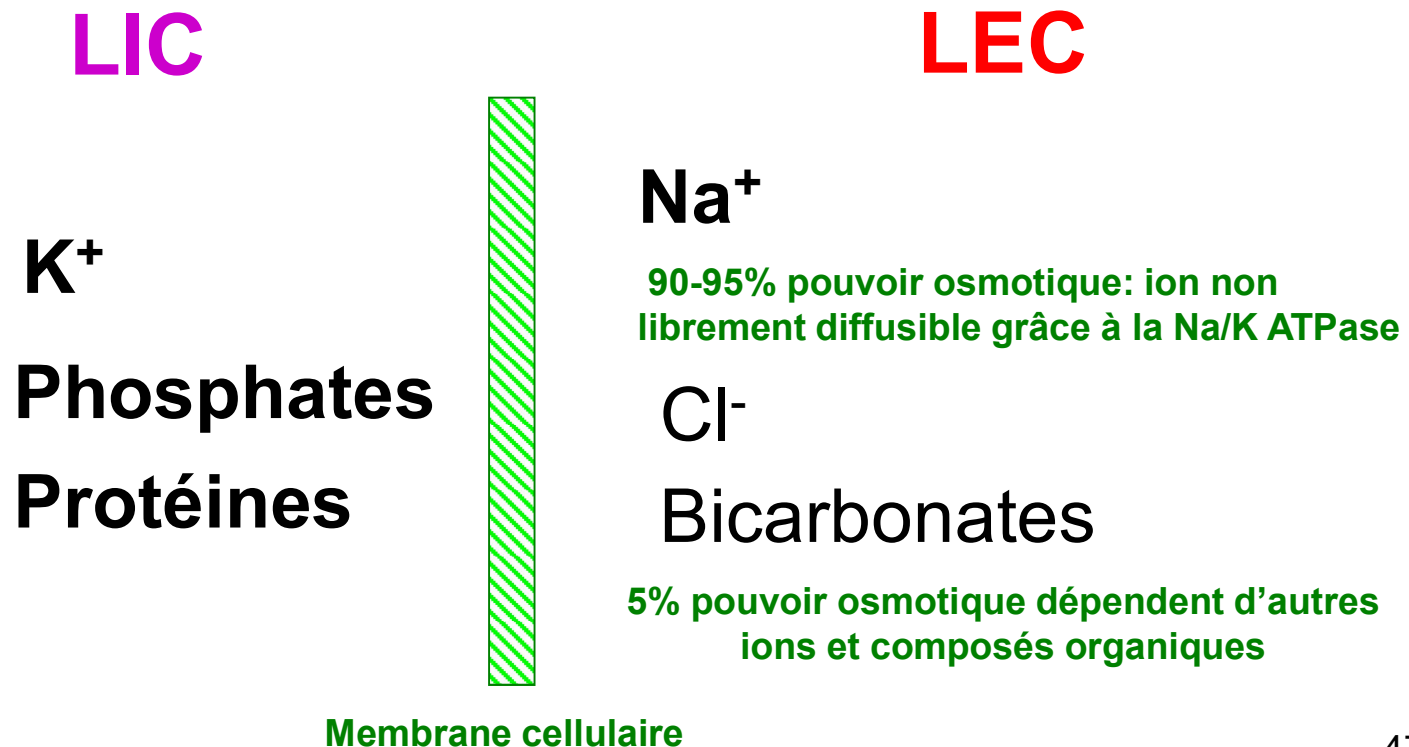


- urée, éthanol (petit PM) diffusent librement :
ils contribuent de façon équitable à
l'osmolalité LEC et LIC , donc ne créent pas
de déséquilibre osmotique

① Secteur intracellulaire ↔ Secteur extracellulaire

Le gradient osmotique est créé par les solutés qui ne traversent pas les membranes

- Osmolarité extracellulaire : sodium et anions associés (NaCl)
- Osmolarité intracellulaire : potassium et anions associés



① Secteur intracellulaire ↔ Secteur extracellulaire

La mesure de la pression osmotique du plasma est déterminée :

- Par l'abaissement du point de congélation. Le plasma humain normal gèle à - 0,56 °C, ce qui correspond à une osmolalité de 290 mOsm/kg H₂O (l'eau pure gèle à 0°C).
- Par la mesure de la résistivité du plasma, K = 1,86

Le calcul de l'osmolalité du plasma est estimée par le ionogramme.

- Osmolalité plasmatique $\approx (2 \times [\text{Na}^+])$

- Si les concentrations du glucose et de l'urée sont très élevées,

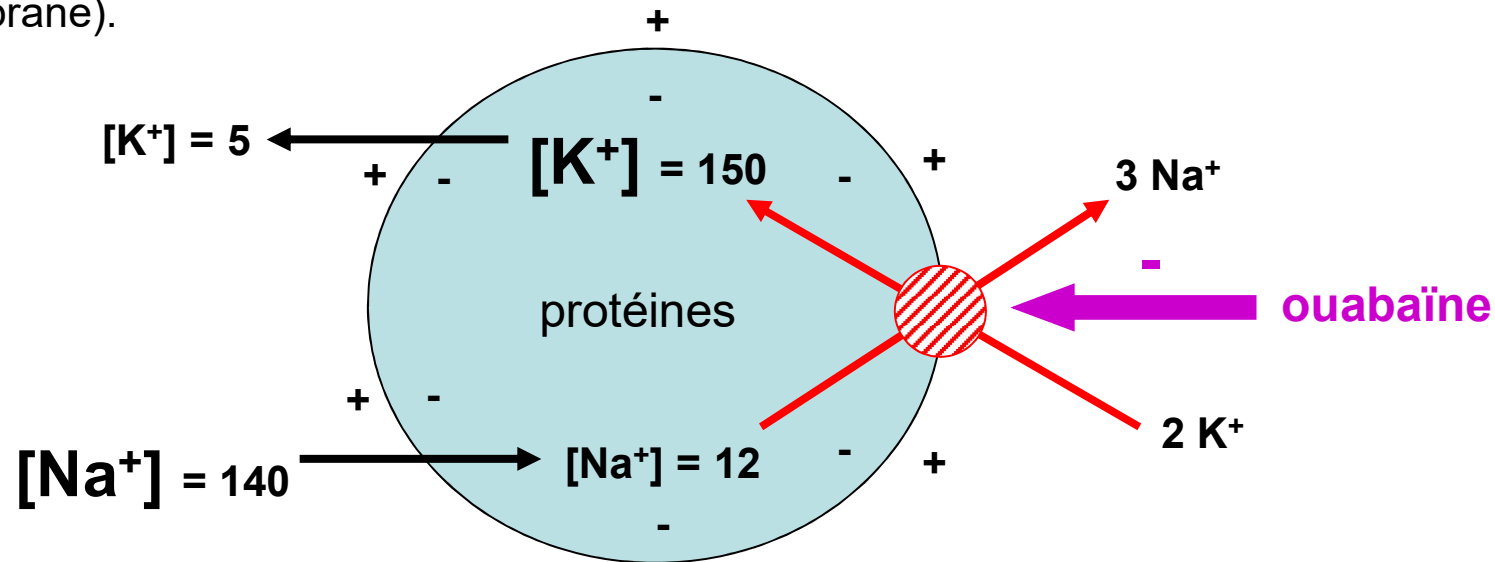
Osmolalité plasmatique = $(2 \times [\text{Na}^+]) + [\text{glucose}] + [\text{urée}]$

On peut tenir compte de la glycémie et de la conc en urée même si elles sont normales (Exemple = $(2 \times 140) + 5 + 5 = 290 \text{ mOsm/kg H}_2\text{O}$)

① Secteur intracellulaire ↔ Secteur extracellulaire

Rôles de la pompe Na⁺/K⁺ ATPase : maintien du volume cellulaire normal

- maintient le Na⁺ dans le LEC par transport actif contre son gradient électrochimique
- maintient le K⁺ dans la cellule par transport actif contre son gradient chimique.
- Neutralise l'effet Gibbs-Donan et prévient le gonflement cellulaire
- L'électroneutralité n'est pas respectée au niveau de la membrane cellulaire à cause de la Na⁺/K⁺ATPase. La cellule a une charge négative à l'équilibre de -70 mV environ (potentiel de membrane).



Le fonctionnement normal de la cellule nécessite le maintien du volume de la cellule.

Les protéines – tendent à ↑ osmolalité de la cellule.

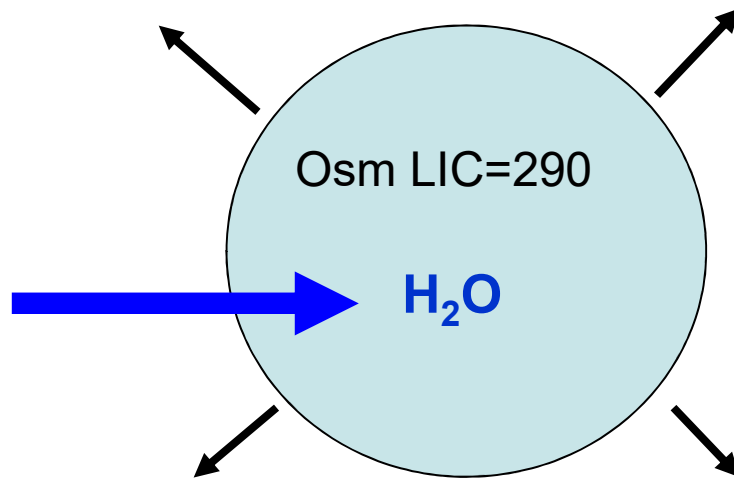
La pompe Na⁺/K⁺ ATPase expulse 3 Na⁺ et fait entrer 2 K⁺ et évite le gonflement cellulaire.

Toute inhibition du métabolisme (anoxie par exemple ou ouabaïne) qui bloque le fonctionnement de ces pompes modifie obligatoirement le potentiel de membrane et l'excitabilité cellulaire.

① Secteur intracellulaire \leftrightarrow Secteur extracellulaire

Régulation du volume cellulaire. Volume anormal

[Na+] = 120
Osmolalité plasma = 240

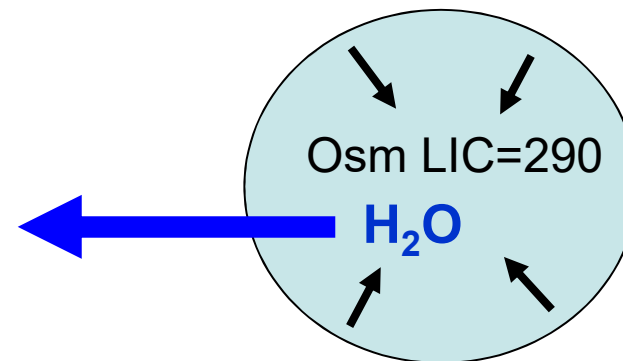


↓ osmolalité plasma \Rightarrow entrée eau dans la cellule

Ex: si GR dans solution d'eau distillée ou hypotonique \Rightarrow **hémolyse**

Si cerveau \Rightarrow \uparrow volume neurones et PIC (céphalées, convulsions, confusion et coma) car le cerveau gonfle

[Na+] = 170
Osmolalité plasma = 340

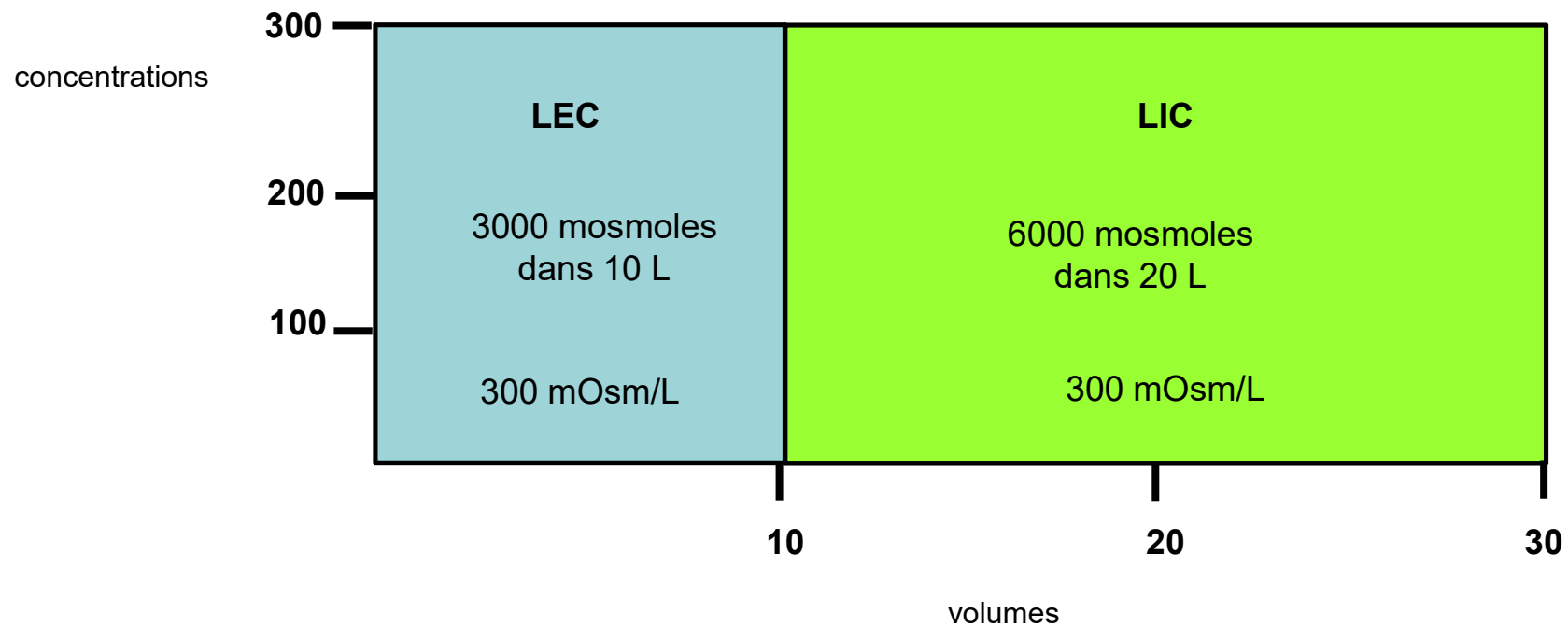


\uparrow osmolalité plasma \Rightarrow sortie eau de la cellule

Ex: si GR dans solution hypertonique \Rightarrow **plasmolyse**

① Secteur intracellulaire ↔ Secteur extracellulaire

Volume et osmolarité des compartiments liquidiens à l'équilibre



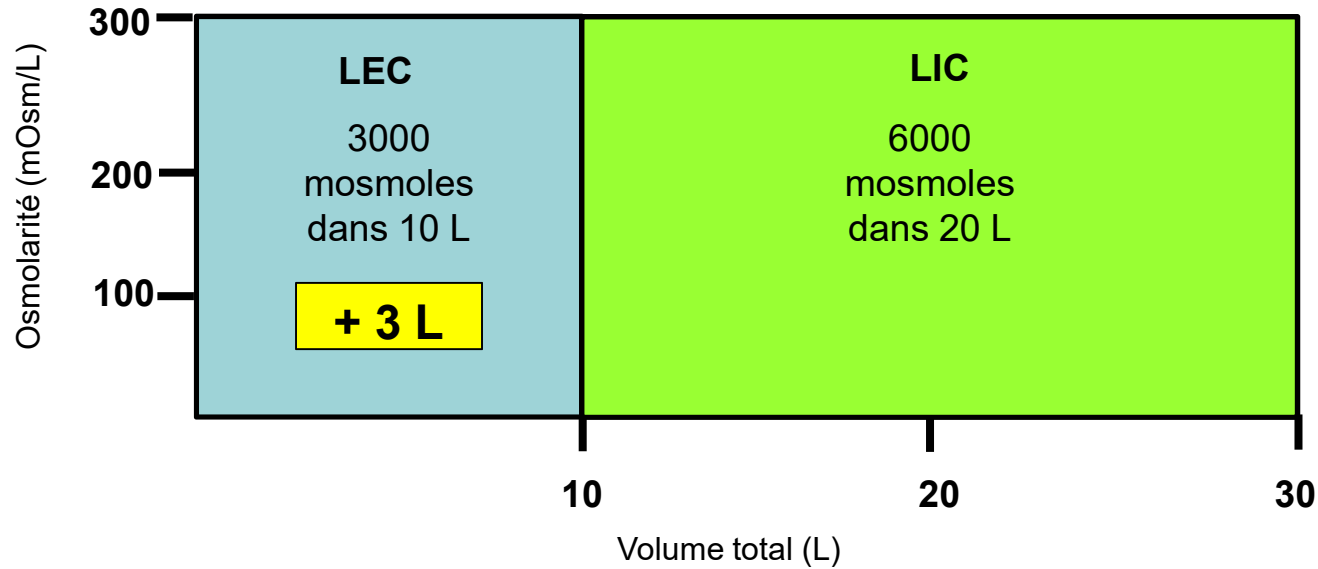
L'équilibre osmotique nécessite qu'il y ait le même nombre de particules dans un litre de liquide extra- ou intracellulaire

1

Secteur intracellulaire \leftrightarrow Secteur extracellulaire

Gain de liquide isotonique

(expansion iso osmotique, ex: perfusion)



- On ajoute 3 L d'une solution isotonique par voie IV

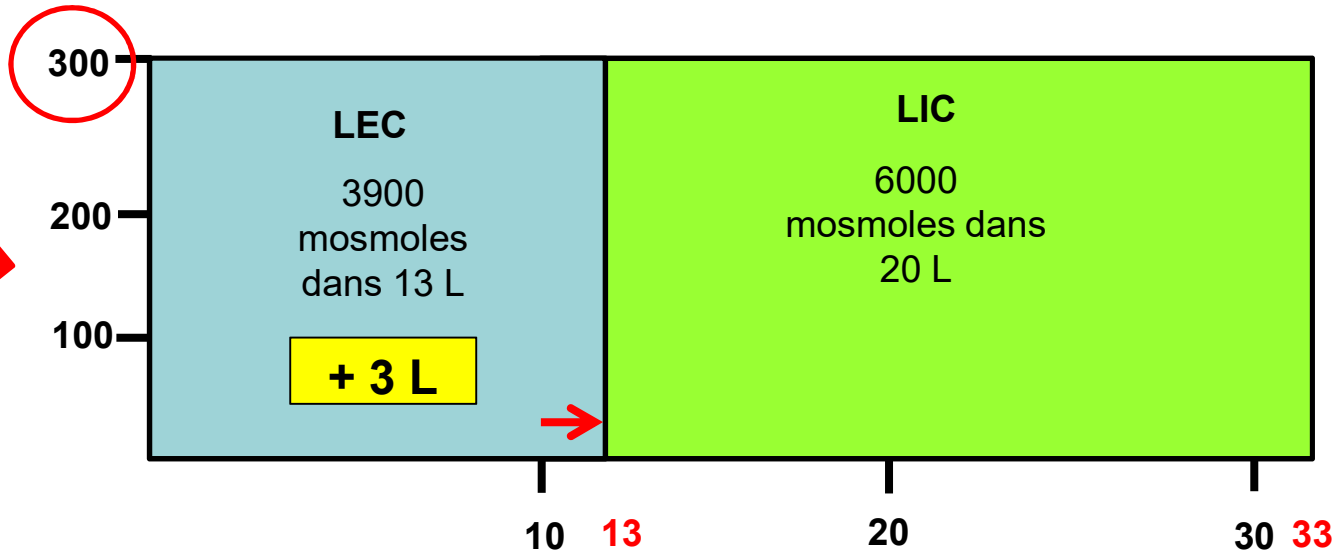
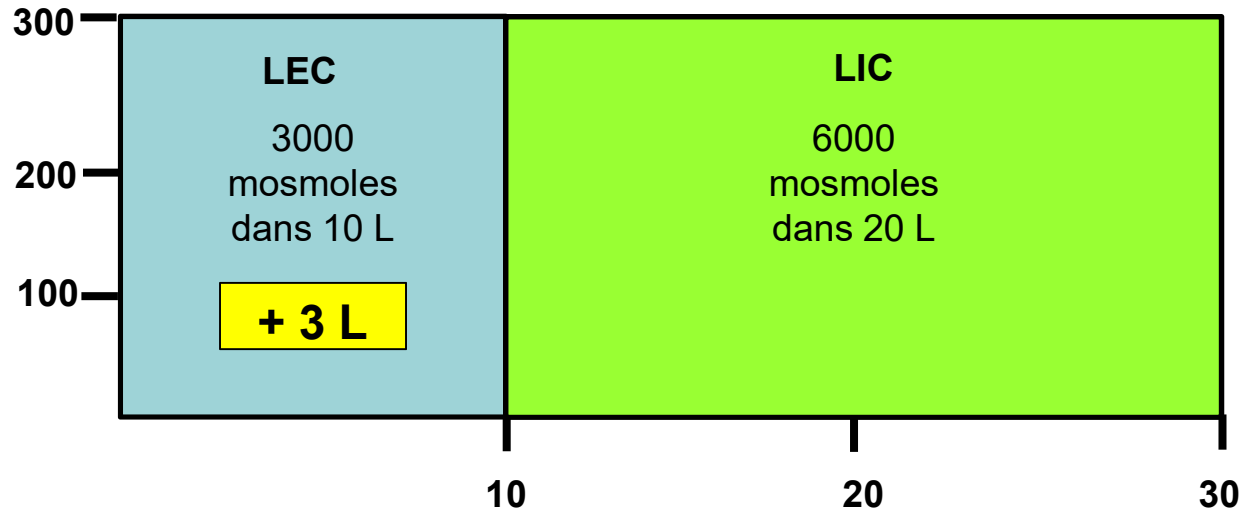
1

Secteur intracellulaire ↔ Secteur extracellulaire

Gain de liquide isotonique

(expansion iso osmotique, ex: perfusion)

- On ajoute 3 L d'une solution isotonique par voie IV



A l'équilibre :

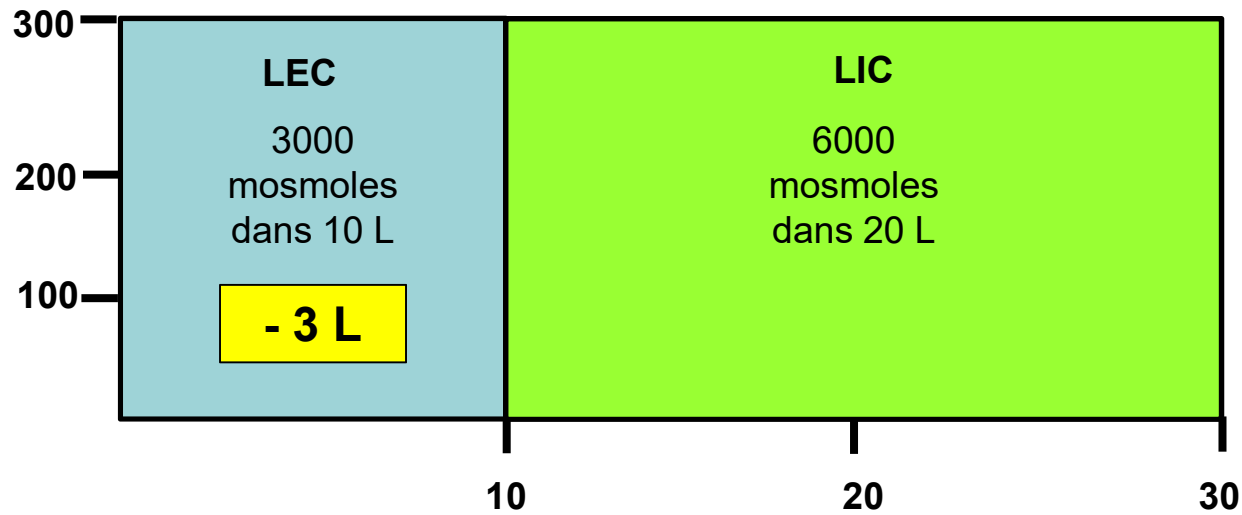
- ↑ volume extracellulaire
- Avec répartition $\frac{1}{4}$ volume plasma et $\frac{3}{4}$ volume dans le liquide interstitiel
- Osmolarités inchangées

1

Secteur intracellulaire ↔ Secteur extracellulaire

Perte de liquide isotonique

(contraction iso osmotique, ex: hémorragie)



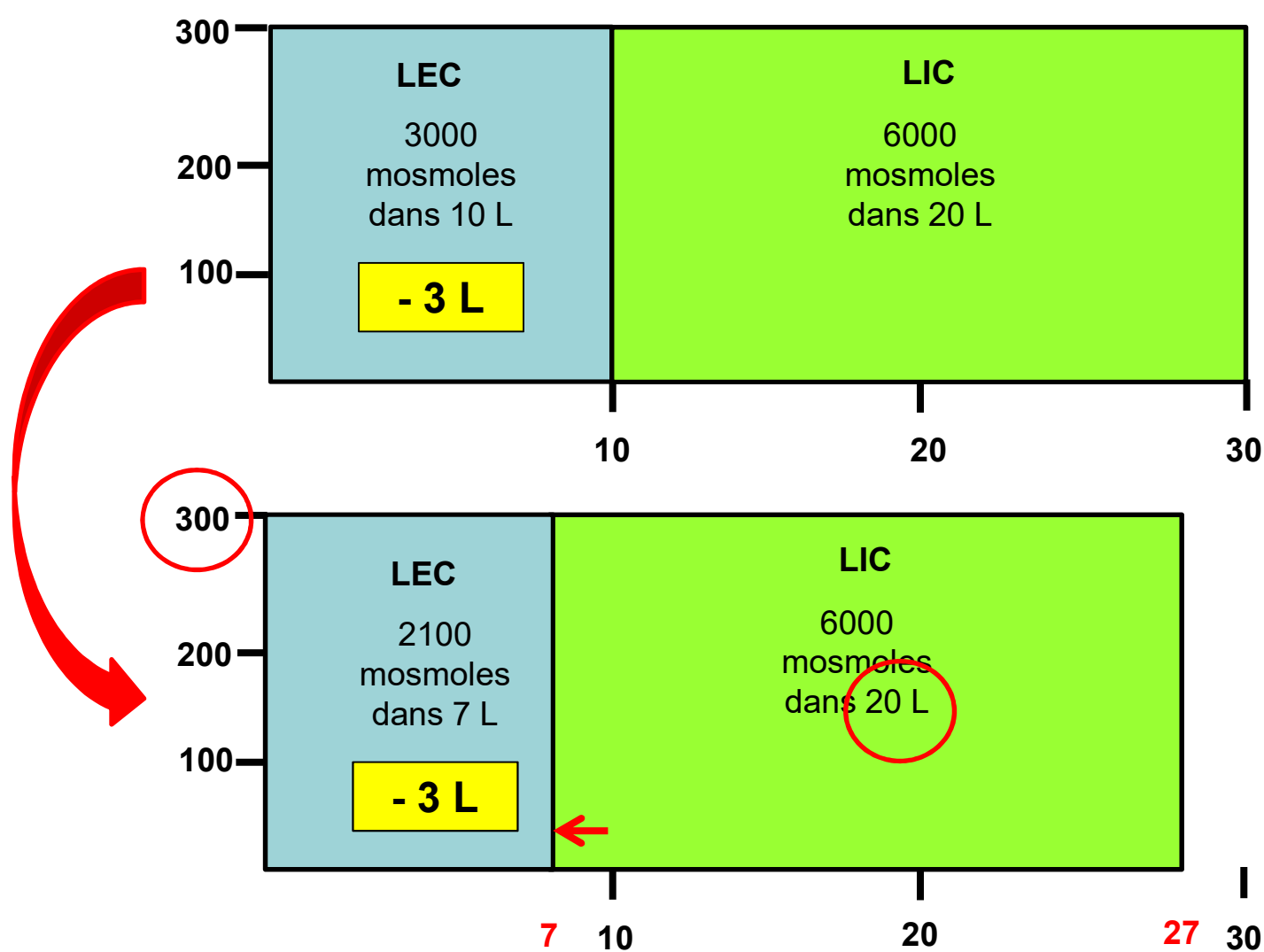
- Perte de 3 L
d'une solution
isotonique

1

Secteur intracellulaire ↔ Secteur extracellulaire

Perte de liquide isotonique

(contraction iso osmotique ex: hémorragie)



- Perte de 3 L
d'une solution
isotonique

A l'équilibre :

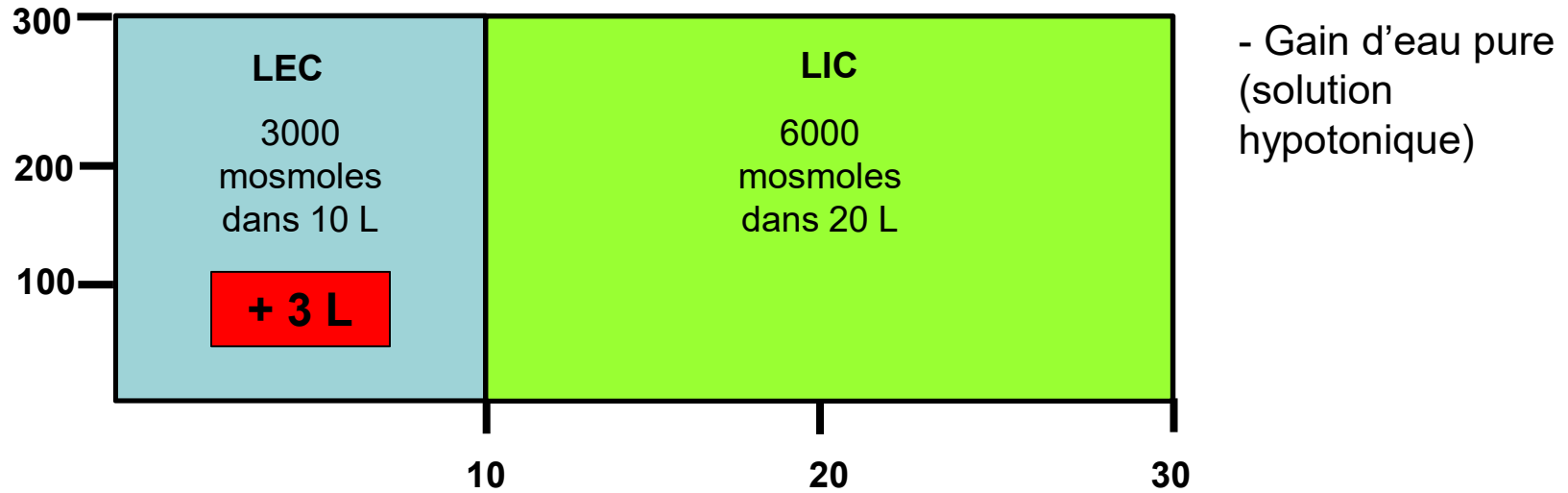
- ↓ volume extracellulaire
- Avec répartition 1/4 aux dépens plasma et 3/4 aux dépens du secteur interstitiel
- Osmolarité plasmatique inchangée
- Volume et Osmolarité intracellulaires inchangées

1

Secteur intracellulaire ↔ Secteur extracellulaire

Gain d'eau pure

(expansion hypo-osmotique ex: ingestion d'eau)

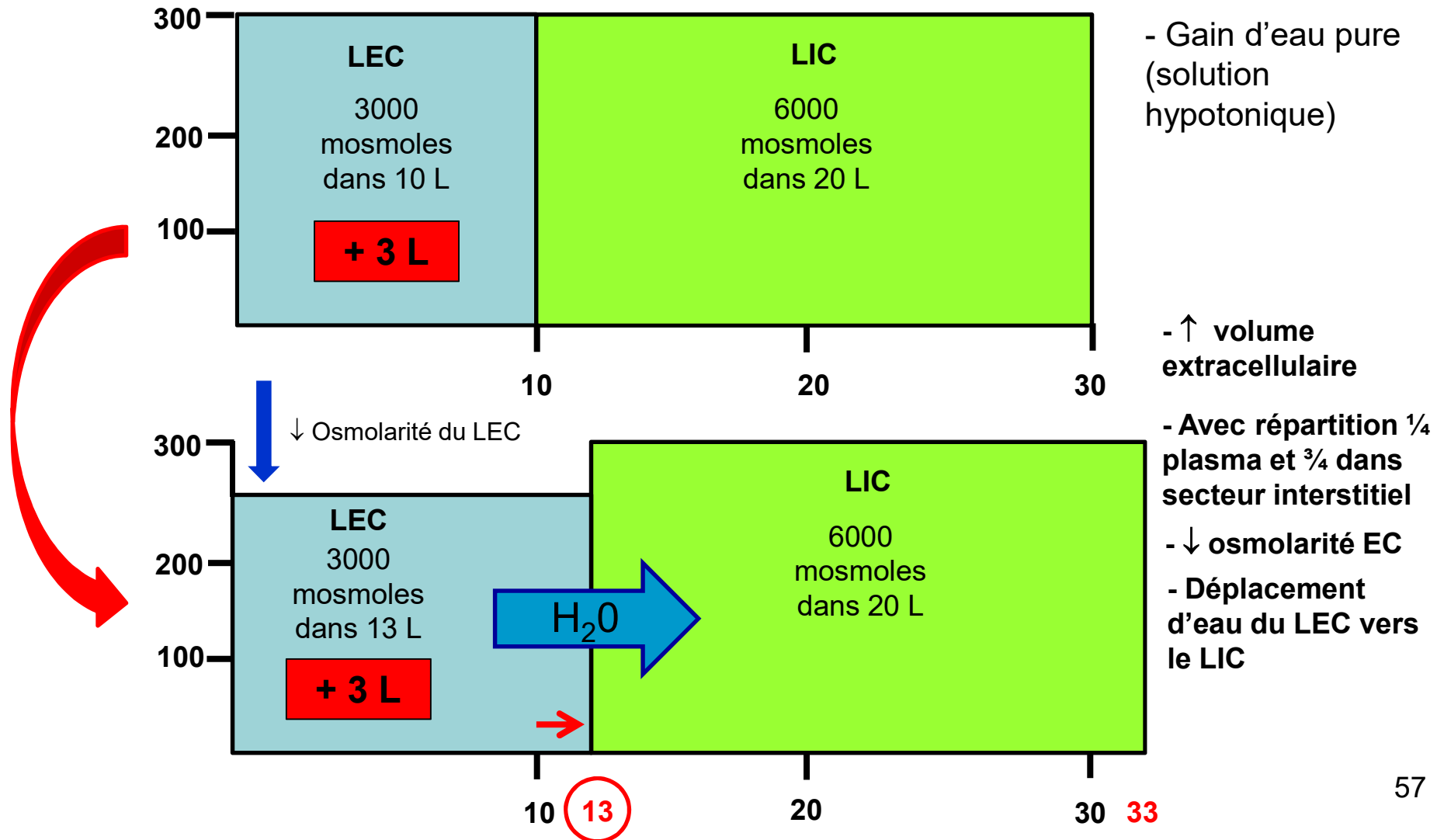


1

Secteur intracellulaire ↔ Secteur extracellulaire

Gain d'eau pure

(expansion hypo-osmotique ex: ingestion d'eau)

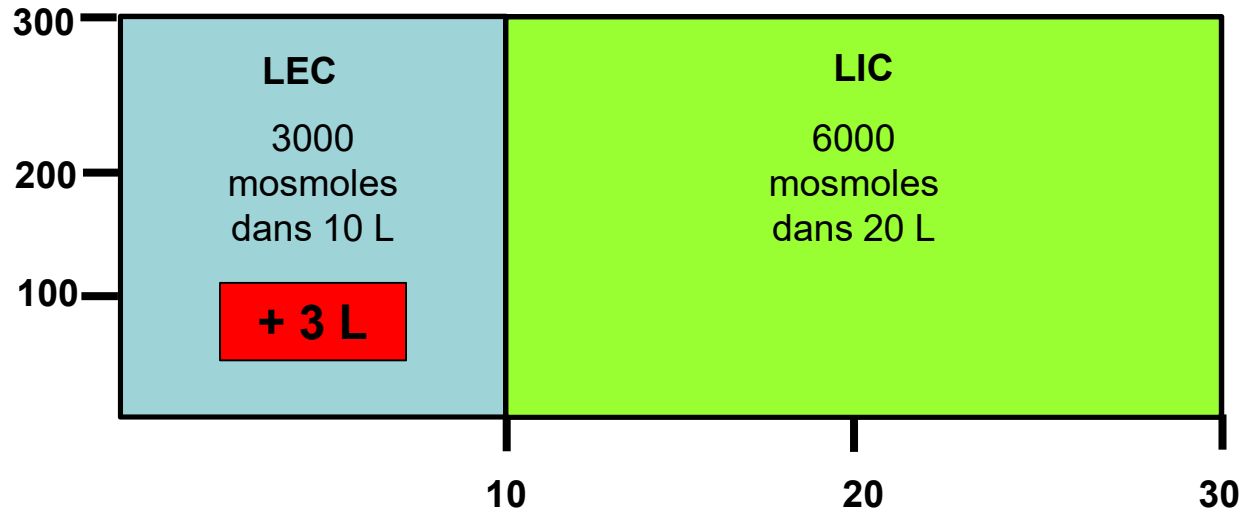


1

Secteur intracellulaire ↔ Secteur extracellulaire

Gain d'eau pure

(expansion hypo-osmotique ex: ingestion d'eau)

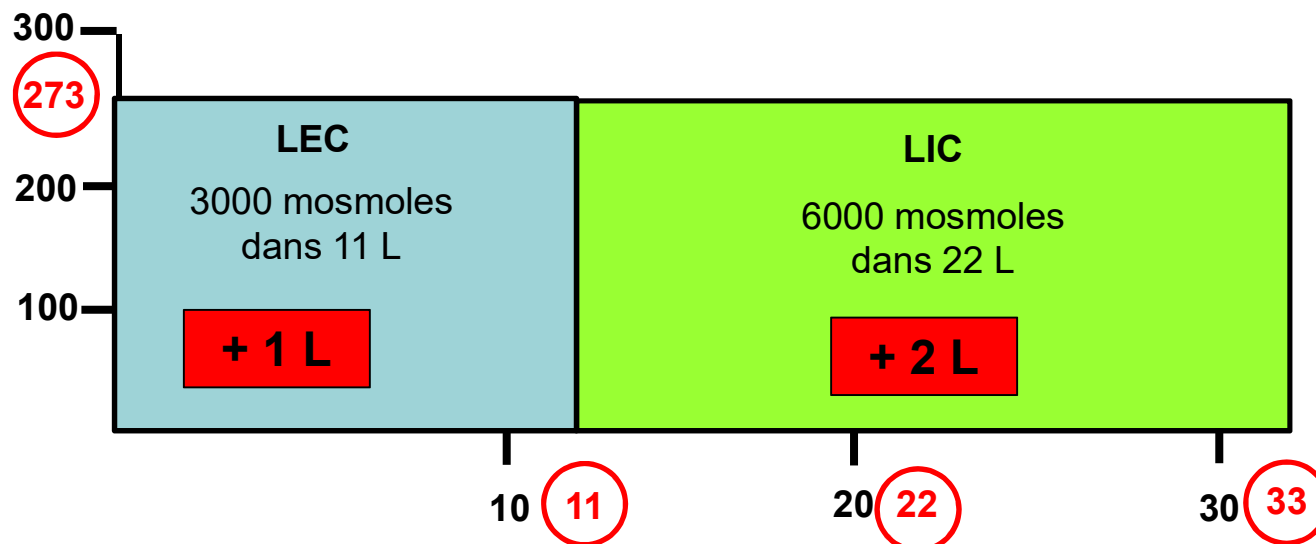


- Gain d'eau pure
(solution hypotonique)

À l'équilibre:

- ↑ volumes EC
et IC avec
répartition 1/3
extracellulaire
et 2/3 en
intracellulaire

- ↓ Osmolarité
extra et
intracellulaire

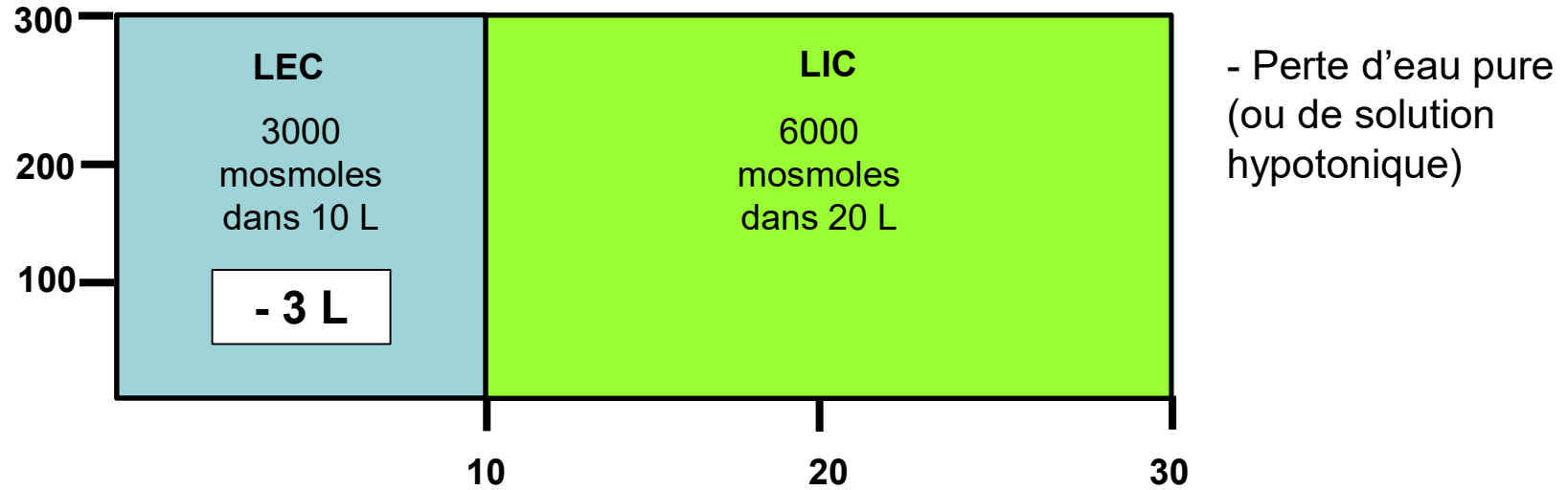


1

Secteur intracellulaire ↔ Secteur extracellulaire

Perte d'eau pure

(contraction hyper-osmotique, ex: urines, transpiration intense)

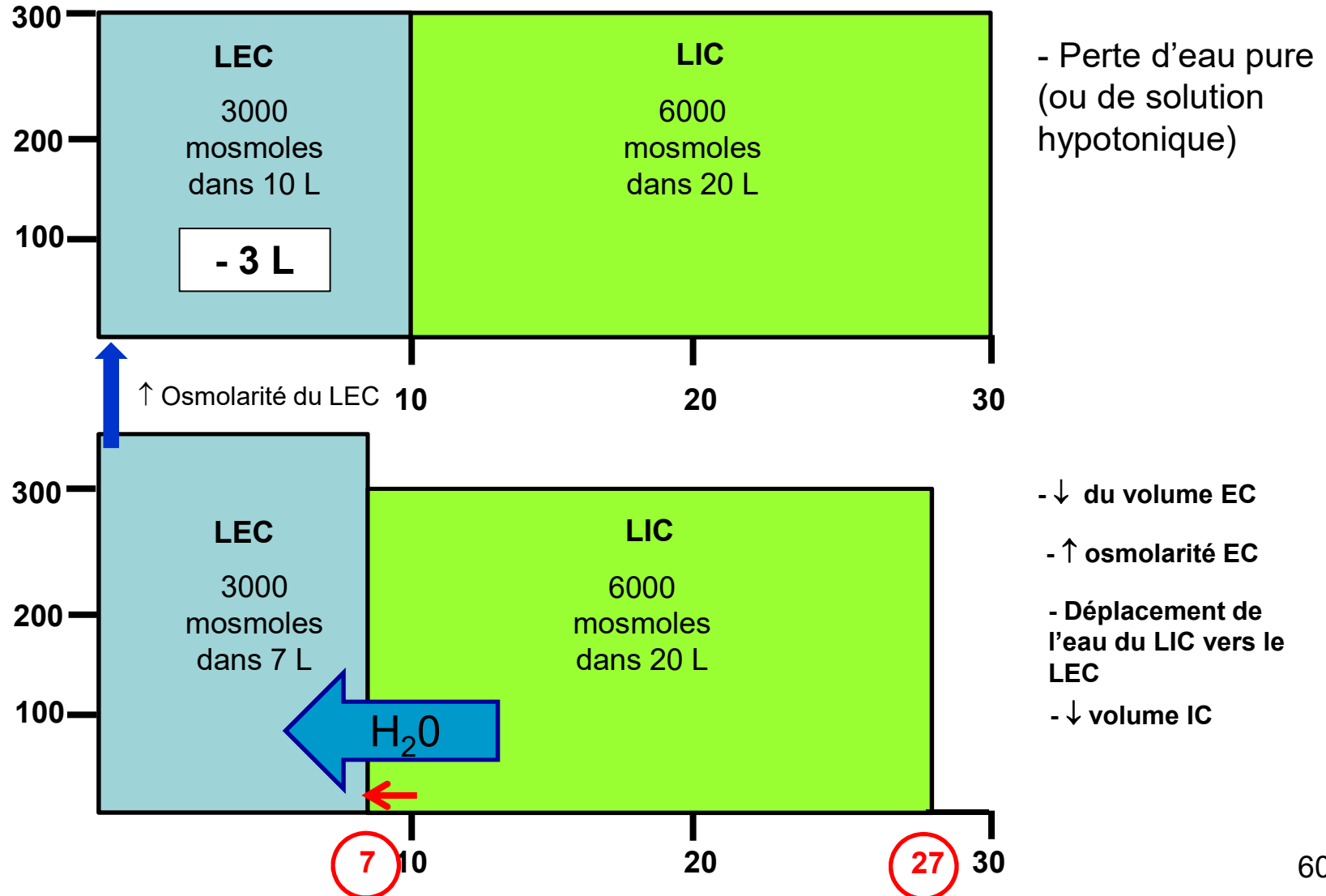


1

Secteur intracellulaire ↔ Secteur extracellulaire

Perte d'eau pure

(contraction hyper-osmotique, ex: urines, transpiration intense)

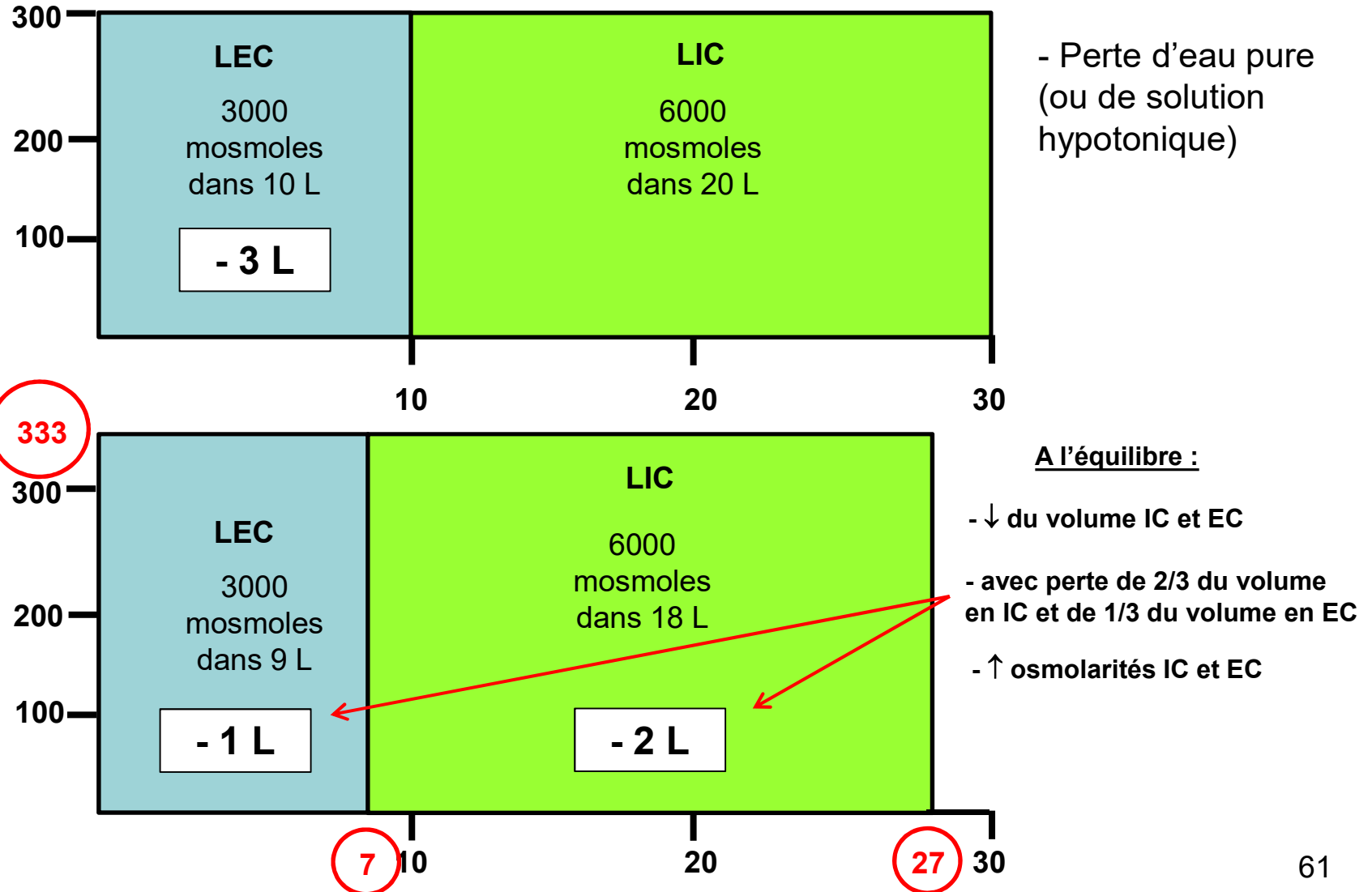


1

Secteur intracellulaire ↔ Secteur extracellulaire

Perte d'eau pure

(contraction hyper-osmotique, ex: urines, transpiration intense)



Ce qu'il faut retenir

- l'état d'hydratation extracellulaire dépend des gains/pertes de **Na⁺** et est évalué par la clinique
 - État d'hyperhydratation = œdèmes, prise de poids
 - État de déshydratation = pli cutané, perte de poids

- l'état d'hydratation intracellulaire dépend des gains/pertes **d'eau** et est évalué par la natrémie (signe biologique)

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume

3 possibilités :

- Augmentation ↑
- Diminution ↓
- Stabilité =

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Expansion Hypo- osmotique (gain d'eau pure)	Ingestion excessive d'eau				

Apport eau >>> apport en Na⁺

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Expansion Hypo- osmotique (gain d'eau pure)	Ingestion excessive d'eau		↑		

Apport eau >>> apport en Na⁺

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Expansion Hypo- osmotique (gain d'eau pure)	Ingestion excessive d'eau	↓	↑		

Apport eau >>> apport en Na⁺

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Expansion Hypo- osmotique (gain d'eau pure)	Ingestion excessive d'eau (ou excès d'eau >> excès de Na ⁺)	↓	↑		↑

⇒ Hyperhydratation globale

Exemples: cirrhose, insuffisance cardiaque, syndrome néphrotique, insuffisance rénale

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Expansion Hypo- osmotique (gain d'eau pure)	Ingestion excessive d'eau (ou excès d'eau >> excès de Na+)	↓	↑	↓	↑

⇒ Hyperhydratation globale

Exemples: cirrhose, insuffisance cardiaque, syndrome néphrotique, insuffisance rénale

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Contraction hypo-osmotique	Perte de sodium par le rein		↓		

perte de Na⁺ >>> perte d'eau

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Contraction hypo-osmotique	Perte de sodium par le rein	↓	↓		

⇒ Déshydratation Extracellulaire (diagnostic clinique, due à la perte de Na⁺)

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Contraction hypo-osmotique	Perte de sodium par le rein	↓	↓		↑

⇒ Déshydratation Extracellulaire (diagnostic clinique, due à la perte de Na⁺)

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Contraction hypo-osmotique	Perte de sodium par le rein	↓	↓	↓	↑

Déshydratation Extracellulaire (diagnostic clinique, due à la perte de Na⁺)

Et Hyperhydratation Intracellulaire (hyponatrémie, due à la perte d'eau << perte de Na⁺).

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Expansion iso-osmotique	Perfusion intraveineuse				

Gain de liquide isotonique

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Expansion iso-osmotique	Perfusion intraveineuse	=	↑		

Gain de liquide isotonique

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Expansion iso-osmotique	Perfusion intraveineuse	=	↑	=	=

Gain de liquide isotonique

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Contraction iso-osmotique	Hémorragie				

Perte de liquide isotonique

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Contraction iso-osmotique	Hémorragie	=	↓		

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Contraction iso-osmotique	Hémorragie	=	↓	=	=

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Expansion hyper-osmotique	Ingestion / perfusion d'une solution saline concentrée				

Apport de Na⁺ >> apport d'eau

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Expansion hyper-osmotique	Ingestion / perfusion d'une solution saline concentrée		↑		

Apport de Na⁺ >> apport d'eau

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Expansion hyper-osmotique	Ingestion / perfusion d'une solution saline concentrée	↑	↑		

Apport de Na⁺ >> apport d'eau

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Expansion hyper-osmotique	Ingestion / perfusion d'une solution saline concentrée	↑	↑		↓

Apport de Na⁺ >> apport d'eau

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Expansion hyper-osmotique	Ingestion / perfusion d'une solution saline concentrée	↑	↑	↑	↓

Apport de Na⁺ >> apport d'eau

ex : cardiopathie avec apport de sodium élevé

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Contraction hyper-osmotique	Diabète insipide				

Perte d'eau >> perte de Na⁺

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Contraction hyper-osmotique	Diabète insipide		↓		

Perte d'eau >> perte de Na⁺

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Contraction hyper-osmotique	Diabète insipide	↑	↓		

Perte d'eau >> perte de Na⁺

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Contraction hyper-osmotique	Diabète insipide	↑	↓		↓

En résumé

Condition	exemple	LEC		LIC	
		osmolarité	volume	osmolarité	volume
Contraction hyper-osmotique	Diabète insipide	↑	↓	↑	↓

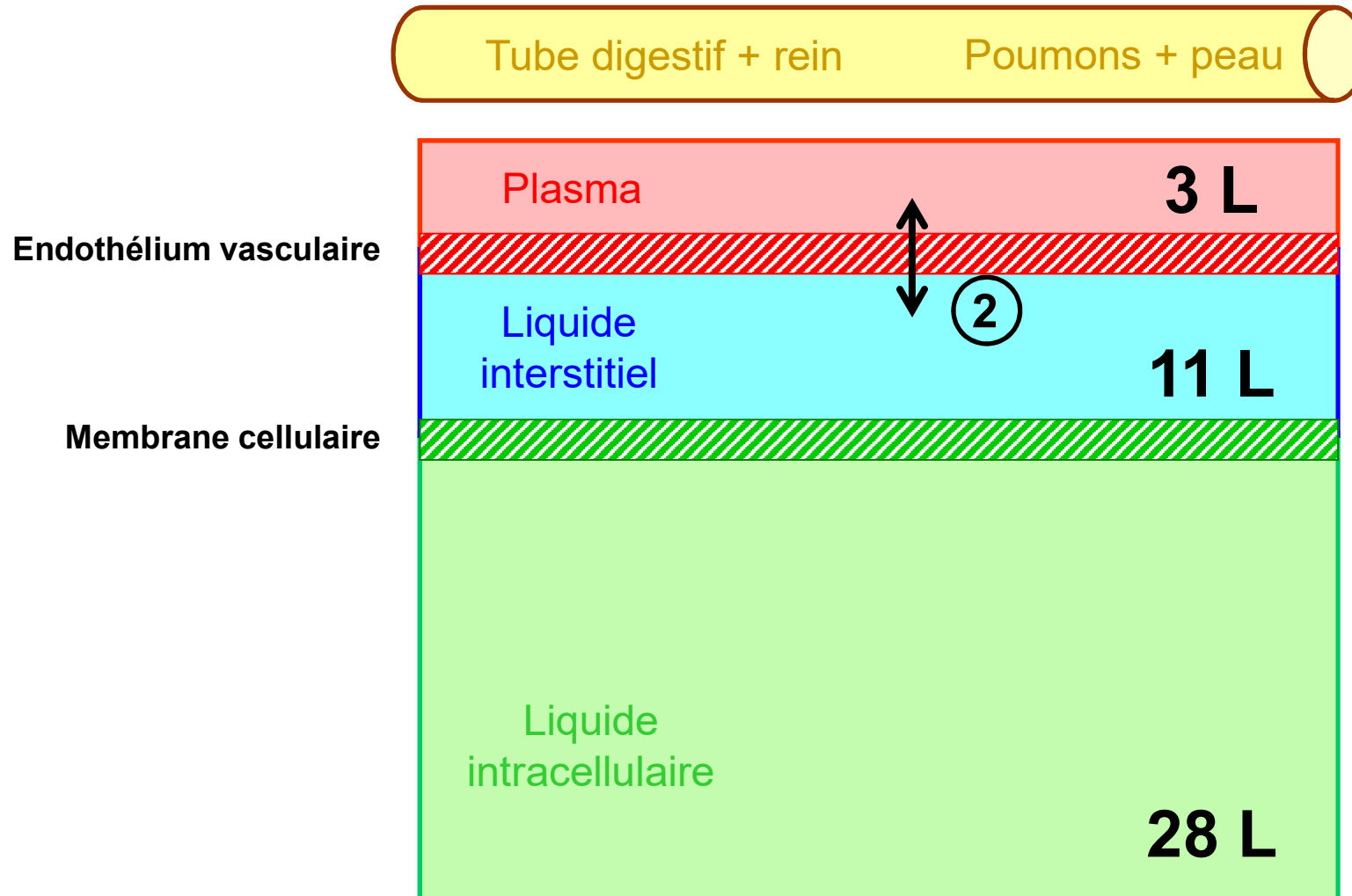
⇒ Déshydratation globale

Remarques :

- les pertes ou gains de liquide *isotonique* ne modifient ni l'osmolarité ni le volume du LIC .

2

Plasma \Leftrightarrow Liquide interstitiel



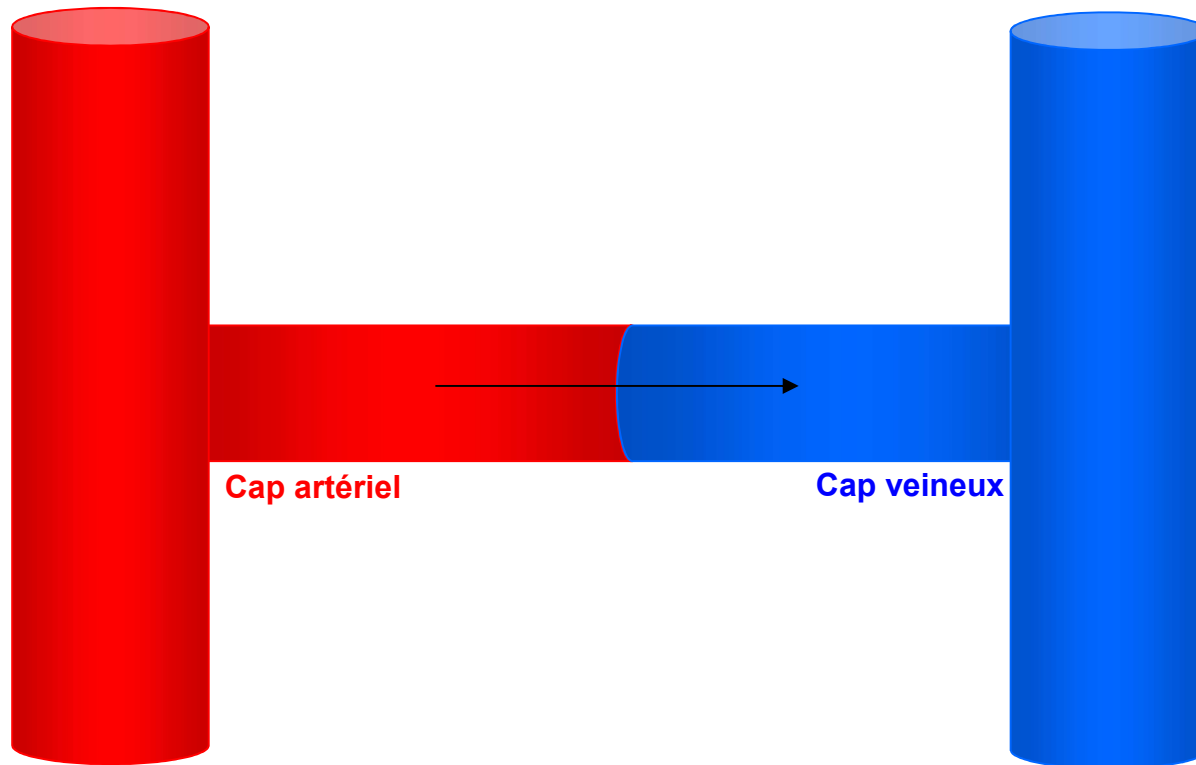
2

Plasma \Leftrightarrow Liquide interstitiel

- Les échanges gazeux, de nutriments et de déchets se font par diffusion
- Les échanges liquidiens se font par filtration en fonction de 4 forces élémentaires \rightarrow forces de Starling

Système artériel

Système veineux

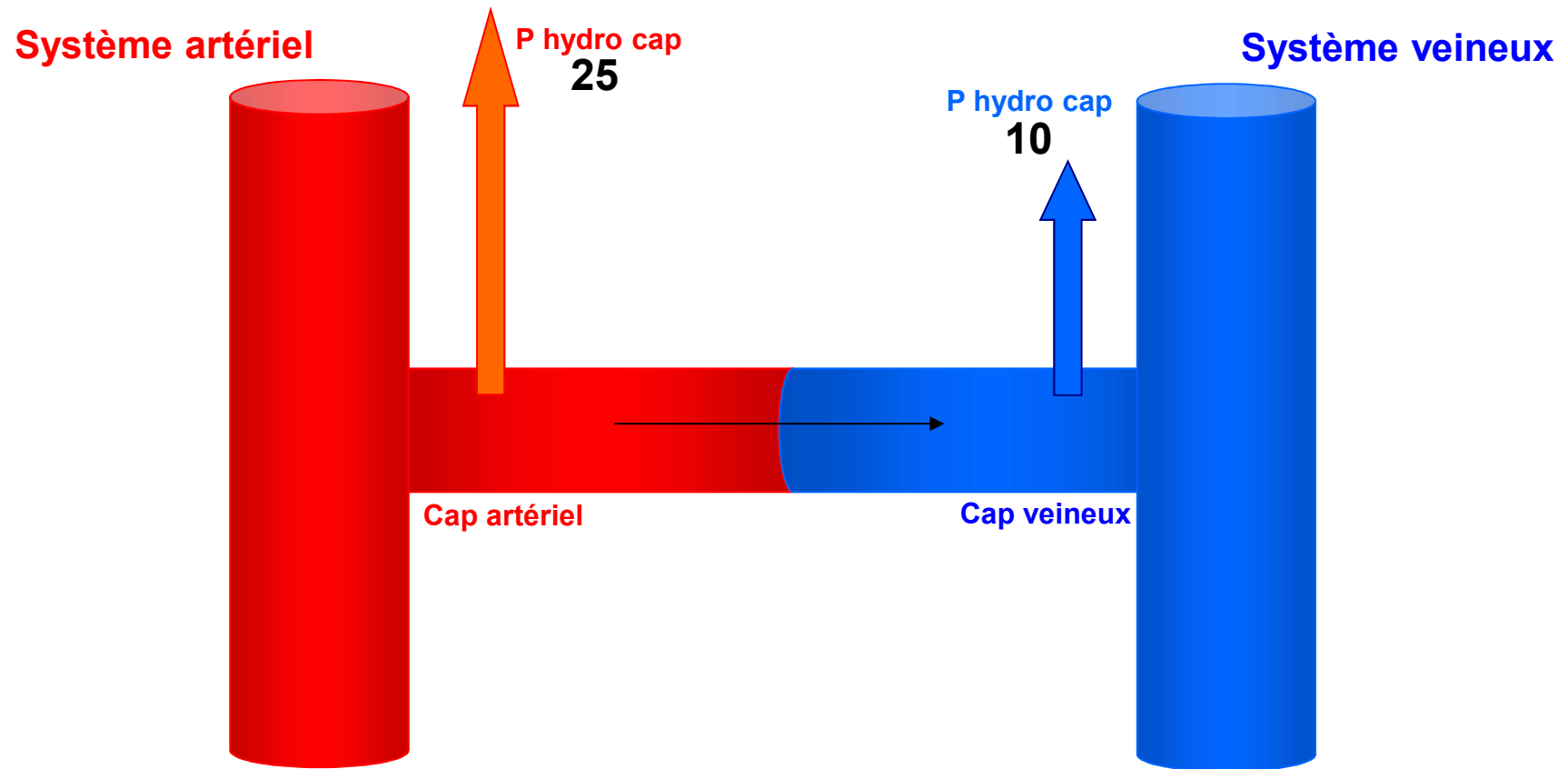


Pressions exprimées en mm Hg

2

Plasma \Leftrightarrow Liquide interstitiel

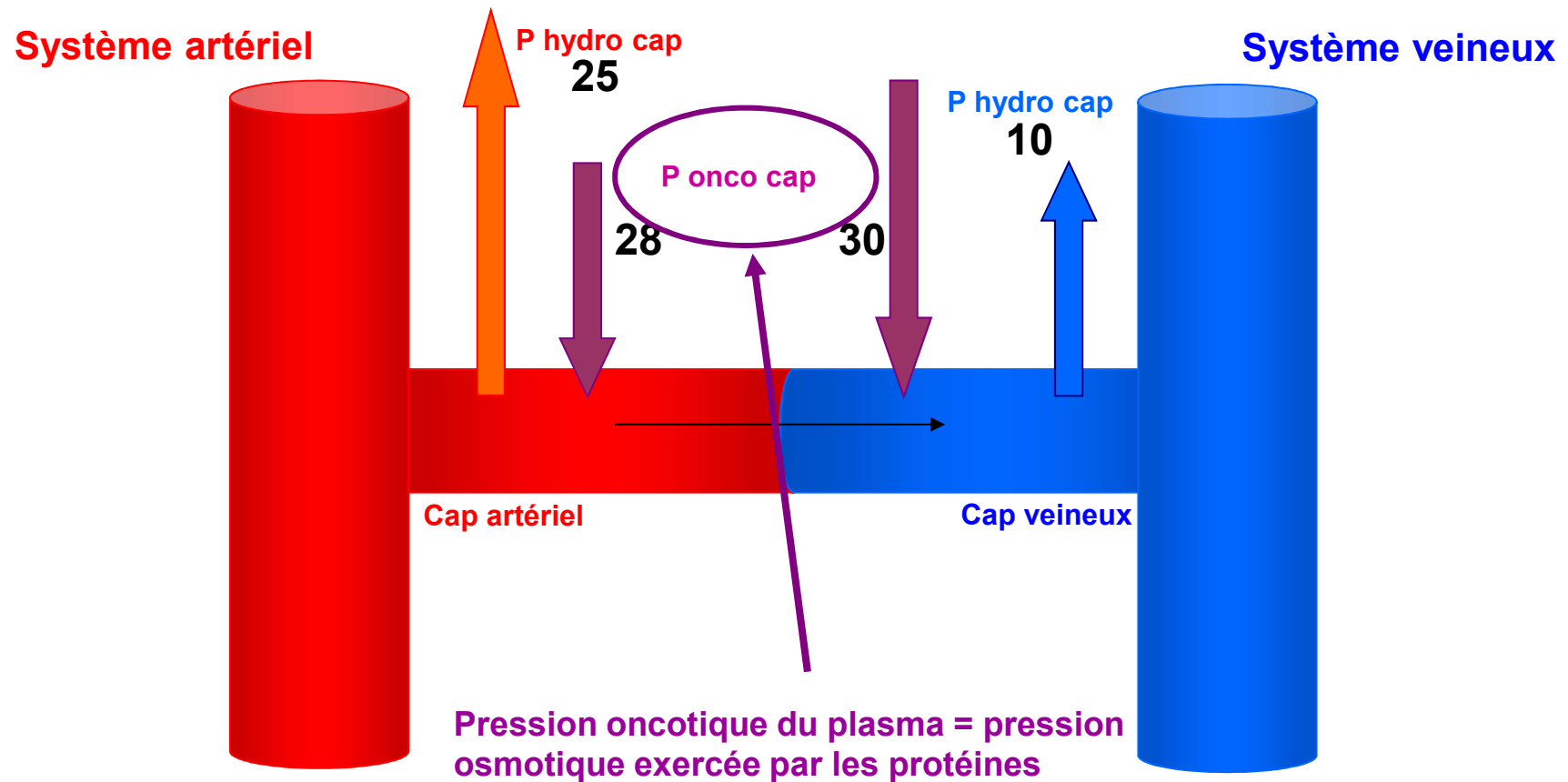
Une force de Starling favorisant la sortie du liquide hors des vaisseaux est la **pression hydrostatique capillaire**



2

Plasma \Leftrightarrow Liquide interstitiel

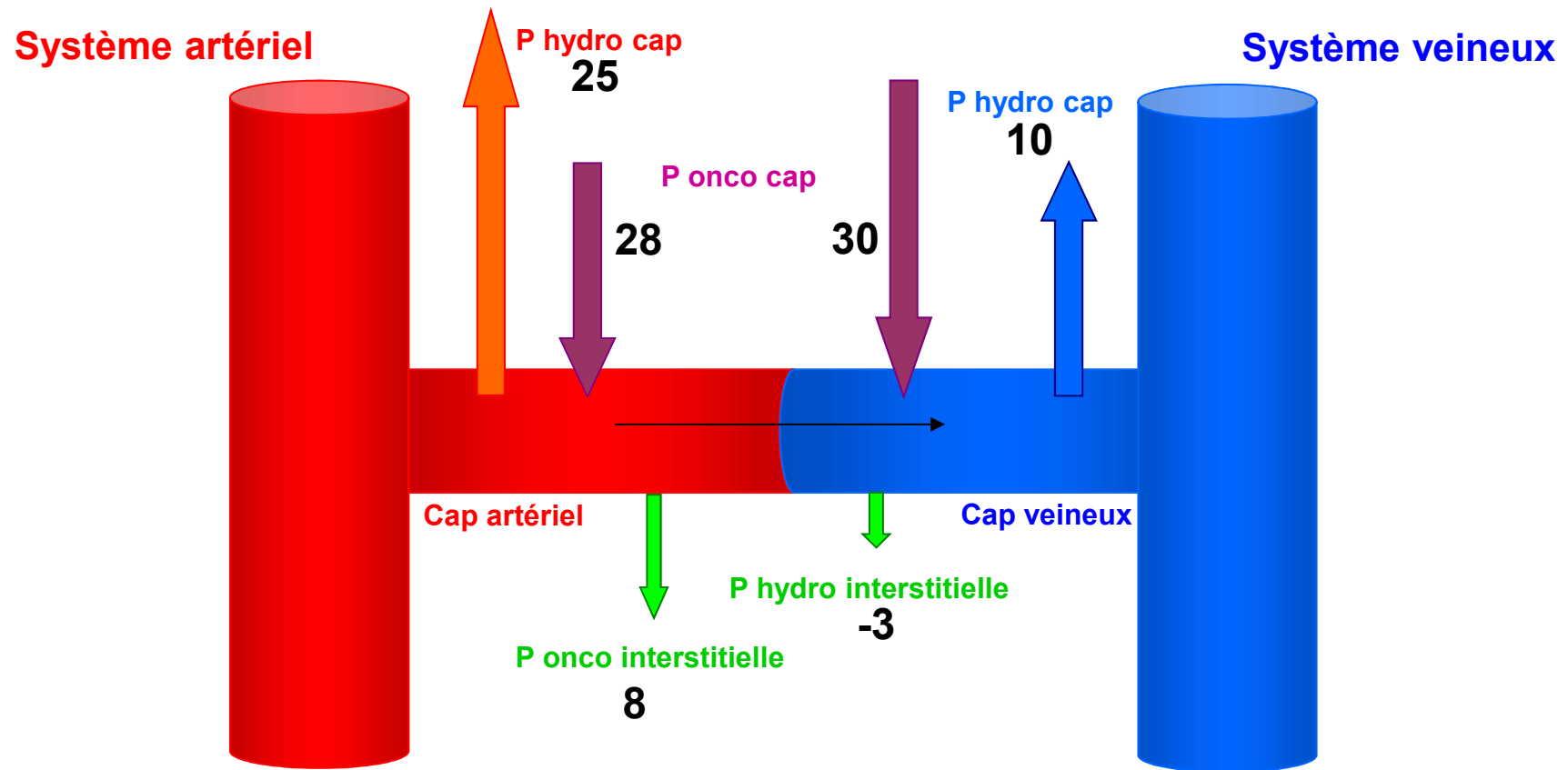
Une force de Starling favorisant l'entrée de liquide dans les vaisseaux est la **pression oncotique capillaire (pression osmotique capillaire)**



2

Plasma \Leftrightarrow Liquide interstitiel

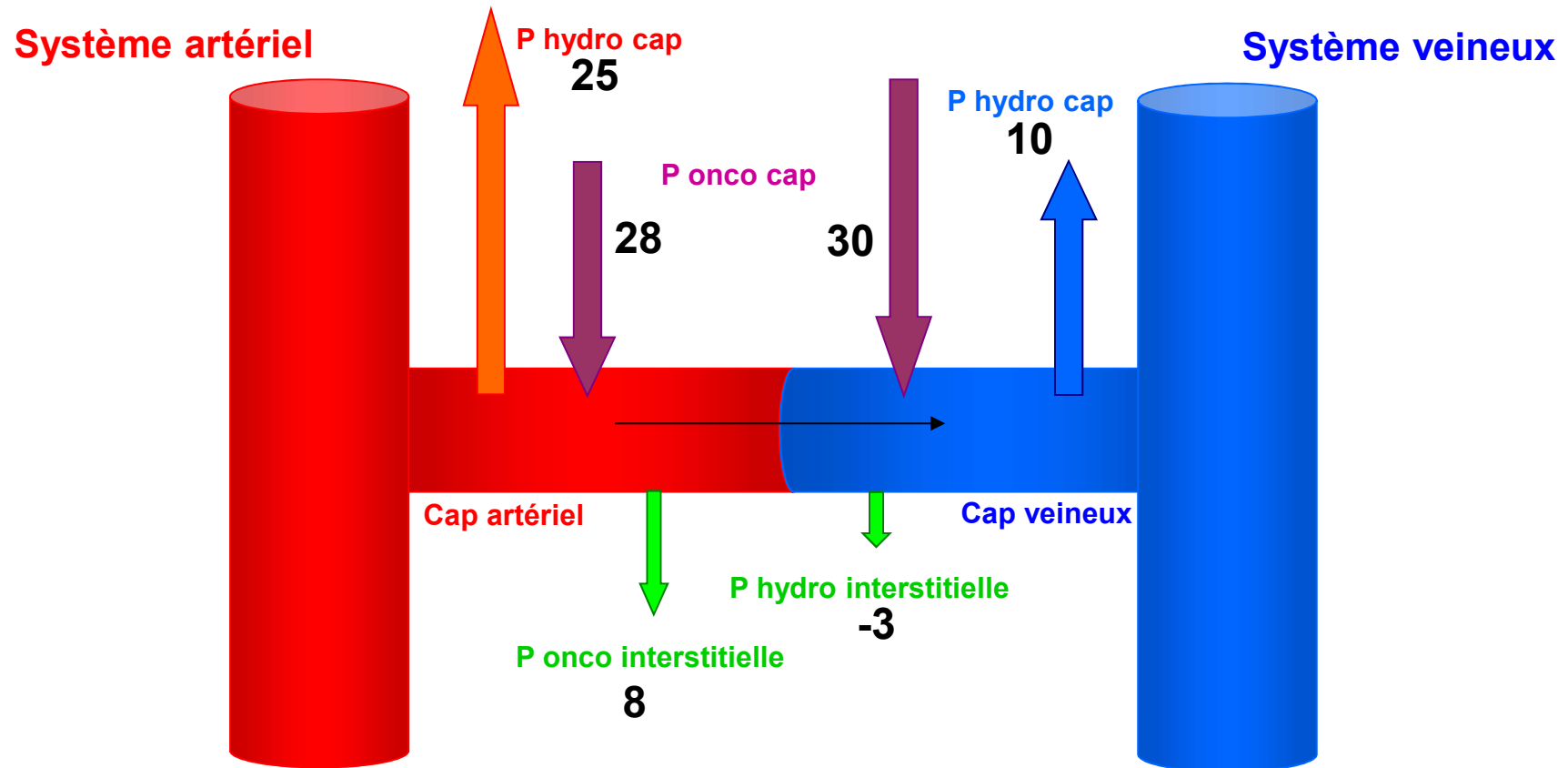
Les forces de Starling favorisant la sortie de liquides hors des vaisseaux sont les **pressions hydrostatique et oncotique interstitielles**.



2

Plasma \Leftrightarrow Liquide interstitiel

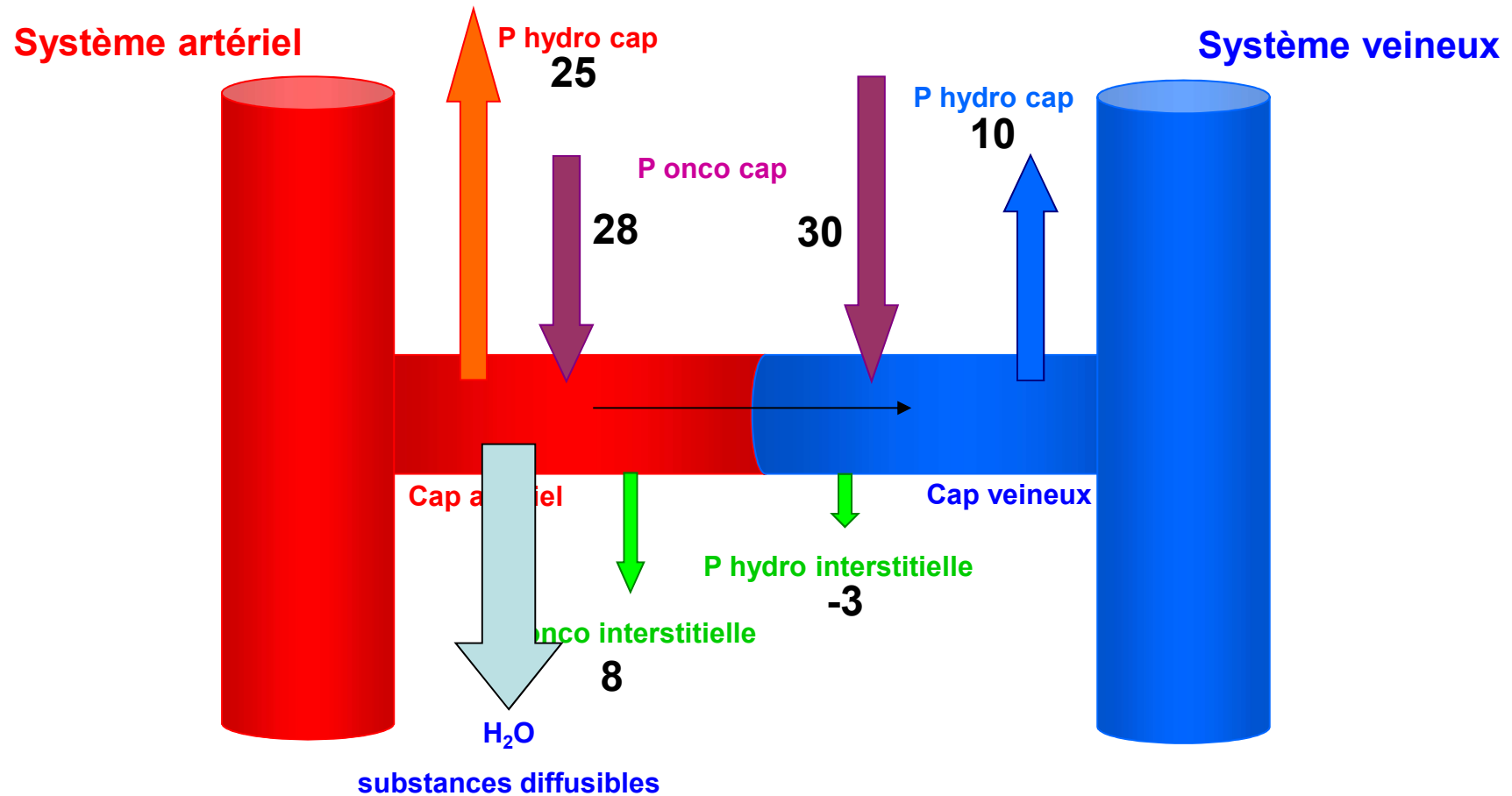
$$\Delta P_{\text{hydro}} - \Delta \Pi = (25+3) - (28-8) = 8$$



2

Plasma \Leftrightarrow Liquide interstitiel

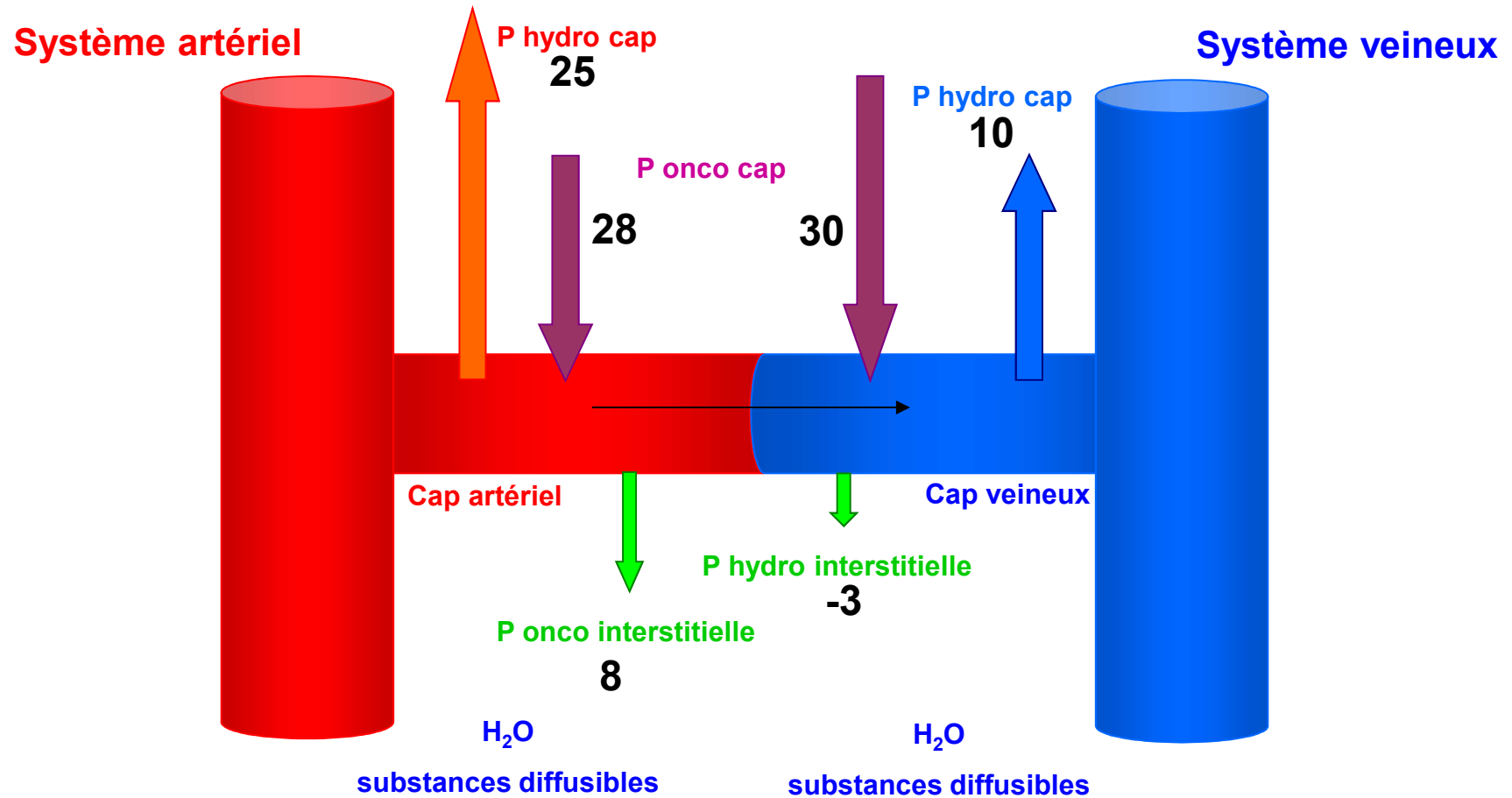
$$\Delta P_{\text{hydro}} - \Delta \Pi = (25+3) - (28-8) = 8$$



2

Plasma \Leftrightarrow Liquide interstitiel

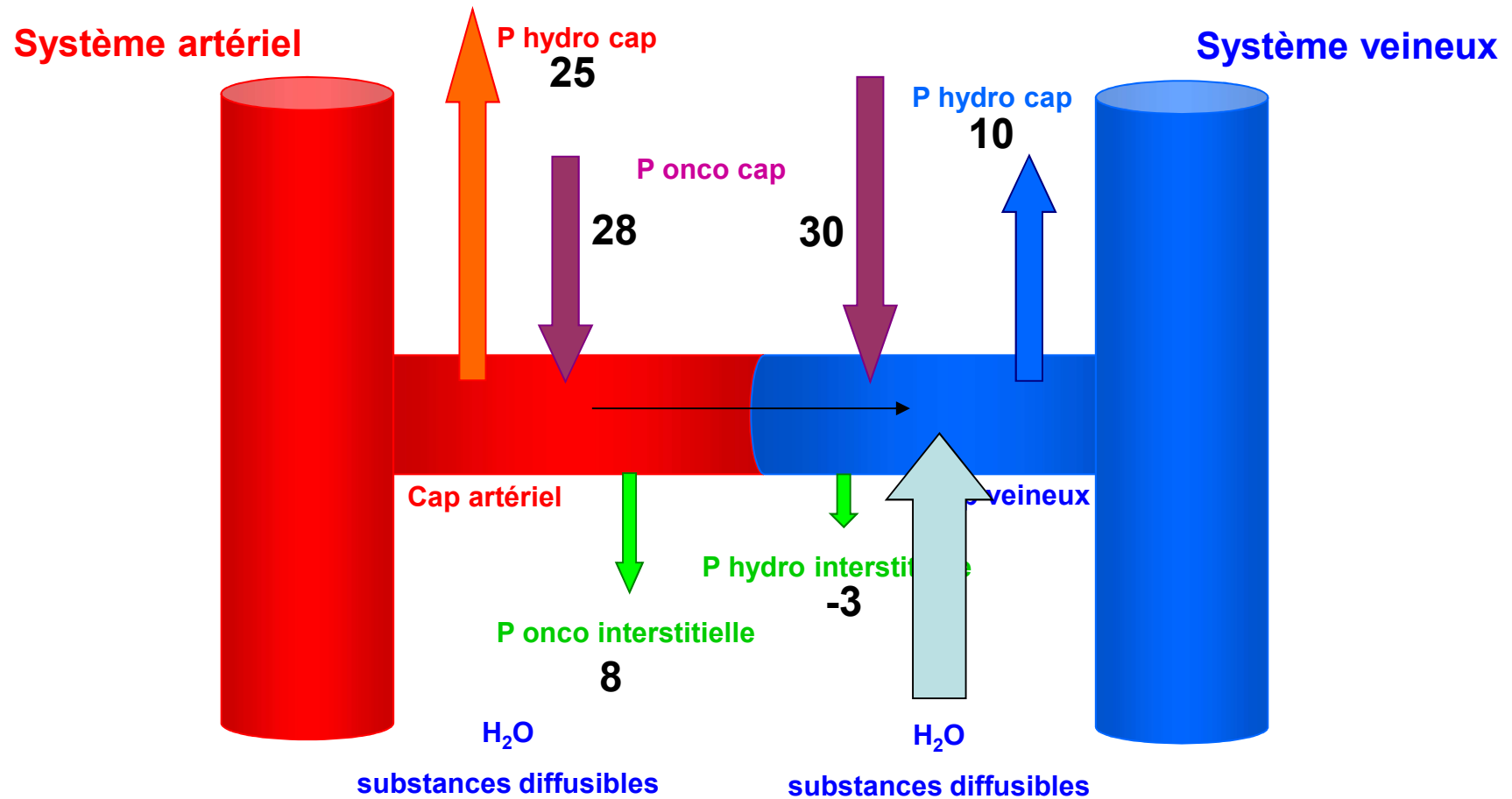
$$\Delta P_{\text{hydro}} - \Delta \Pi = (10+3) - (30-8) = -9$$



2

Plasma \Leftrightarrow Liquide interstitiel

$$\Delta P_{\text{hydro}} - \Delta \Pi = (10+3) - (30-8) = -9$$



2

Plasma \Leftrightarrow Liquide interstitiel

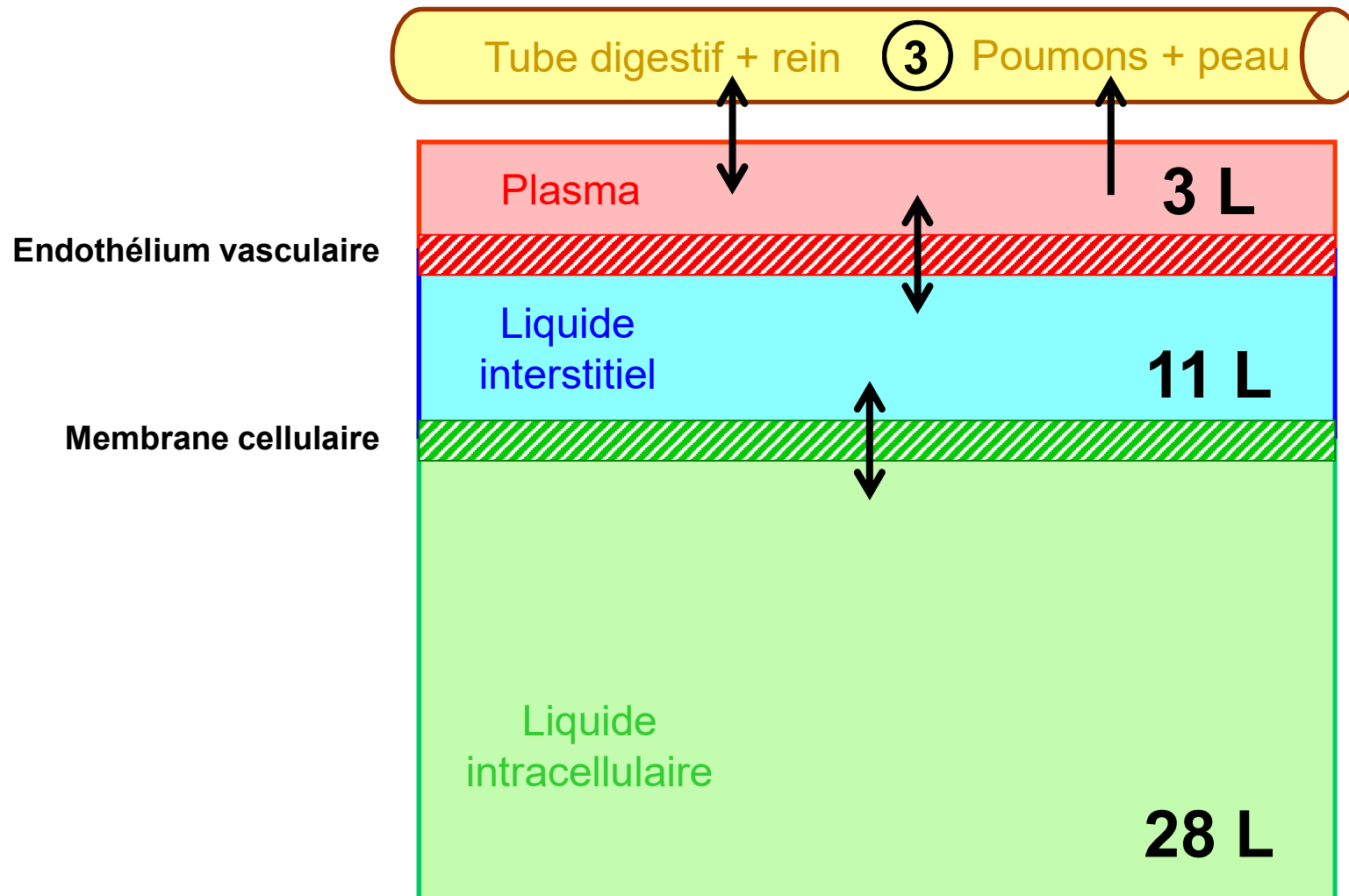
Formation d'œdèmes : déséquilibre des forces de Starling

- Le volume interstitiel augmente quand le volume de liquide filtré (plasma \rightarrow secteur interstitiel) est supérieur volume réabsorbé (interstitiel \rightarrow plasma).
- Les OEDEMES sont visibles quand le gain est de **3 à 4 Litres dans le LI**

• 4 mécanismes :

- 1- Augmentation de la pression hydrostatique capillaire généralisée** (insuffisance cardiaque droite) ou *localisée* (obstruction veineuse)
- 2- Baisse de la pression oncotique capillaire** : hypoalbuminémie
 - par déficit de synthèse (malnutrition, insuffisance hépatique)
 - par perte excessive par voie digestive ou rénale
- 3- Augmentation de la perméabilité paroi capillaire** (inflammation)
- 4- Obstruction lymphatique** (cellules cancéreuses ou parasites ex: filaires)

③ Échanges hydriques avec le milieu extérieur



③ Échanges hydriques avec le milieu extérieur

- **L'eau, élément essentiel de la ration alimentaire car :**
 - l'organisme perd inévitablement de l'eau
 - pas de réserve
 - l'hydratation fixe des tissus est une nécessité.
- **Besoins**
 - **35 ml/kg/jour** chez l'adulte sédentaire, en climat tempéré.
 - L'enfant a un besoin d'eau plus important.
Ex: de 3 à 6 mois 125 ml/kg/j

③ Échanges hydriques avec le milieu extérieur

- **Apports : exogènes et endogènes**

- 1) Eau exogène (boissons+aliments)

- ration hydrique = **1300 ml/24 h.**
 - La quantité d'eau contenue dans les éléments solides de l'ordre de **1000 ml/24 h.**

- 2) Eau endogène (métabolique)

- provient de l'oxydation et des réactions métaboliques des différents constituants cellulaires. **250 ml/24 h.**

③ Échanges hydriques avec le milieu extérieur

- **Pertes :**
 - Elles sont fonction des besoins de la thermorégulation (sudation) et du travail musculaire.
 - Dans les conditions de la ration d'entretien : elles sont de l'ordre de **2500 ml/24 h**

③ Échanges hydriques avec le milieu extérieur

• Pertes : 1. TUBE DIGESTIF

1. Apports : La majeure partie de l'eau ingérée (boissons et aliments solides \approx 2500 mL) est absorbée dans l'intestin grêle et dans le colon ascendant.

2. L'eau des sécrétions digestives est également réabsorbée par l'intestin. 8 litres environ de sécrétions au total (salive = 1500, estomac = 2500, bile = 1500, pancréas = 1500, intestin = 1000)

NB: Très peu de réabsorption en cas de diarrhée type choléra d'où pertes massives possibles très rapides.

Le tube digestif n'élimine qu'une petite fraction de l'eau ingérée
 \Rightarrow 50 à 200 ml/jour

③ Échanges hydriques avec le milieu extérieur

• Pertes : 2. POUMONS

- par saturation en vapeur d'eau de l'air expiré : 400 à 500 ml/24 h en climat tempéré.

- L'évaporation hydrique respiratoire est proportionnelle à la ventilation pulmonaire : elle augmente considérablement durant la polypnée thermique et participe à la thermolyse (*bien moins chez l'homme que chez d'autres mammifères*).

③ Échanges hydriques avec le milieu extérieur

• Pertes : 3. PEAU

Très variable.

- Evaporation permanente de l'eau à la surface du corps, indépendante de la sudation : **perspiration insensible environ 300 ml/jour**. Freinée par la couche lipidique (*si brûlures étendues, elle peut atteindre 4 L/jour*)

- **Sudation** : varie avec la température extérieure.

Dans les conditions de repos et en climat tempéré, modérée = **300 ml environ par jour** et **jusqu'à 10 L/j** en cas de travail en atmosphère chaude chez un sujet non adapté (en général 2L/j)

La sueur est un **liquide hypotonique** qui contient essentiellement :

$[\text{Na}^+] = 40 - 60 \text{ mEq/L}$

$[\text{Cl}^-] = 30 - 50 \text{ mEq/L}$

Osmolarité = 80 – 185 mOsm/L

③ Échanges hydriques avec le milieu extérieur

• Pertes : 4. REINS

≅ 1500 à 2200 ml/24 h en apport normal.

- **ultrafiltration** au niveau des capillaires glomérulaires passe à l'intérieur du tube rénal, à raison de **180 litres/24 h**. seulement **1 %** du liquide filtré est éliminé.
- **la réabsorption passive** obéit aux lois de l'osmose dans le segment proximal des tubules rénaux
- La réabsorption est **contrôlée** (facteurs hormonaux) dans le segment distal des tubules.

③ Échanges hydriques avec le milieu extérieur

- **Soif : désir conscient d'eau**

- La prise de liquide est nécessaire pour contrebalancer les pertes physiologiques par la transpiration, la respiration et le tube digestif.
- La soif règle, avec l'ADH et le système des osmorécepteurs, la concentration en sodium et l'osmolarité extracellulaire.

Stimulus de la soif : de 2 ordres

1- Soif osmotique : par mécanismes qui éliminent plus d'eau que de solutés (ex : sueur, respiration, pertes digestives)

⇒ ↑ osmolarité du LEC ⇒ stimulation des osmorécepteurs (foie, hypothalamus), déshydratation des cellules du centre de la soif (Nx supra-optique) ⇒ production post-hypophysaire d'ADH ⇒ baisse de l'élimination d'H₂O par les reins

③ Échanges hydriques avec le milieu extérieur

- **Soif** : désir conscient d'eau

Stimulus de la soif :

2- Soif hypovolémique : déclenchée par un changement du volume du LEC (ex : hémorragie, diarrhée, vomissements) même si osmolarité inchangée

⇒ ↓ volémie et ↓ Pression artérielle ⇒ stimulation barorécepteurs artériels & cardiopulmonaires et du rein ⇒ libération de Rénine ⇒ Angiotensine II ⇒ action sur centre de la soif et sur Nx hypothalamiques paraventriculaire et latéral ⇒ ↑ ADH ⇒ ↑ PA

3- Autre stimulus : sécheresse bucco pharyngée (moindre sécrétion salivaire)