

## L'EAU DANS L'ORGANISME HUMAIN

---

### I. Répartition de l'eau dans le corps humain

L'eau est l'élément le plus présent dans le corps humain, avec une moyenne de 70% du poids corporel. Cette moyenne varie de 45 à 75% en fonction des personnes et des parties du corps. La teneur en eau varie peu d'un moment à un autre, on suppose qu'il y a un moyen de régulation.

Organe	Pourcentage d'eau	Pourcentage du poids du corps
sang	80%	7-8%
reins	83%	0,4%
cœur	79%	0,5%
muscles	76%	~ 42%
cerveau	75%	2%
peau	72%	19%
os	22%	16%
Tissus adipeux (graisses)	10%	Entre 10 et 50%

La quantité d'eau dépend de la quantité de tissus adipeux. Quelqu'un sans tissus adipeux (très peu de masse grâce) a plus d'eau. A l'inverse, quelqu'un qui a plus de tissus adipeux à un moins grand pourcentage de son poids qui est constitué d'eau.

Expérience : faire passer un courant dans les mains ou les pieds, le courant ne passe pas au travers des tissus adipeux, mais passe dans l'eau. On peut alors mesurer la quantité d'eau pour cette personne.

Statistiquement, les hommes ont moins de tissus adipeux que les femmes, ils ont donc un plus grand pourcentage d'eau dans le corps que les femmes.

Si l'organisme a beaucoup d'eau, c'est parce qu'il y a

- un grand nombre de substances dissoutes dans l'eau du corps
- des échanges entre les cellules d'un organe à l'autre
- la majorité des réactions qui se font en milieu aqueux.

Dans l'organisme, l'eau se situe dans deux compartiments, le compartiment intracellulaire, et le compartiment extra cellulaire.

Le compartiment extra cellulaire est composé :

- de plasma sanguin
- de liquides interstitiels : liquide où baignent nos cellules
- de la lymphe
- du liquide céphalo-rachidien (qui entoure le cerveau et la moelle épinière).

On note LIC les liquides intracellulaires, et LEC les liquides extracellulaires.

La notion de compartiment n'est pas bien définie au niveau du corps, donc c'est plus une notion physiologique qu'une notion anatomique.

## II. Mesure des volumes des différents compartiments

On ne peut pas mesurer le volume des compartiments, donc on utilise une méthode indirecte de dilution. Dans le compartiment, on introduit une quantité parfaitement connue d'un indicateur. On attend que l'indicateur se répartisse uniformément partout, pour on mesure la concentration en indicateur.

On a alors :

Q : quantité d'indicateur

C : concentration mesurée

V : volume cherché

D'où :

$$C = \frac{Q}{V} \Rightarrow V = \frac{Q}{C}$$

L'indicateur doit suivre les critères suivants :

- pas toxique
- diffusion rapide et uniforme dans le compartiment
- concentration de l'indicateur facilement mesurable
- L'indicateur ne doit pas sortir du compartiment, le compartiment doit être fermé.
- L'indicateur ne doit pas être dégradé ou éliminé.

Si le compartiment est ouvert, la méthode de dilution reste applicable, mais il faut connaître la vitesse de sortie de l'indicateur.

Ce que l'on peut utiliser comme indicateur : un colorant, une molécule radioactive, ...

### II. 1. Mesure du volume plasmatique : du plasma sanguin

On utilise très souvent un colorant pour mesurer le volume plasmatique, le bleu Evans, qui ne se fixe que sur l'albumine. Celle-ci n'est présente que dans le sang. On peut aussi utiliser de l'albumine radioactive ou des globules rouges radioactifs.

Le volume plasmatique est entre **4 et 5% du volume sanguin**, donc pour un homme de 70kg, il a **environ 3 litres de plasma sanguin**.

### II. 2. Mesure du volume sanguin

On met du sang dans un tube, puis on centrifuge. Après cette étape, il y a deux phases dans le tube, en dessous, il y a les globules rouges, et au dessus, il y a le plasma. Entre les deux, il y a une très fine couche de globules blancs et de plaquettes.

On note h' la hauteur de globules rouges dans le tube, et h la hauteur totale de sang.

$$\text{On a alors : } \frac{V_{\text{sang}}}{V_{\text{plasma}}} = \frac{h}{(h-h')} \Rightarrow V_{\text{sang}} = V_{\text{plasma}} \cdot \frac{h}{(h-h')}$$

Le sang correspond à **7% du poids corporel**, ce qui fait environ **7litres**.

L'hématocrite, c'est le pourcentage du volume sanguin occupé par les globules rouges, soit en moyenne autour du 45%.

L'hématocrite est plus important en altitude, car il y a moins d'oxygène dans l'air, donc ca stimule la formation de globules rouges.

### II. 3. Volume des LEC (Liquides Extra Cellulaires)

On utilise la même méthode, mais avec un indicateur coloré différent. Pour les LEC, on utilise un indicateur qui va partout sauf dans les cellules.

En général, on utilise l'inuline, un polymère du fructose qui diffuse partout. On peut aussi utiliser du thiosulfate ou du chlorure radioactif.

Les LEC occupent **17% du poids corporel**.

### II. 4. Liquides interstitiels

Doc 6 du poly.

$$V_{\text{liq int}} = V_{\text{LEC}} - V_{\text{plasma}}$$

Le volume des liquides interstitiels correspond à **13% du poids corporel**.

### II. 5. Volume total d'eau

On utilise la méthode de dilution, avec pour indicateur de l'eau radioactive marquée avec du tritium. On peut aussi utiliser de l'urée radioactive.

Dans ce cas, le compartiment est de toute façon ouvert, donc il faut en tenir compte.

Le volume d'eau total est d'environ **70% du poids corporel**.

### II. 6. Les LIC (Liquides intracellulaires)

$$V_{\text{liq}} = V_{\text{tot}} - V_{\text{LEC}}$$

Les Liquides intracellulaires correspondent alors à **environ 50-60% du poids corporel**.

## III. Les concentrations ioniques dans les différents compartiments

Lorsqu'on met un électrolyte dans l'eau, il se sépare en cation (charge positive) ou en anion (charge négative).

Pour mesurer, on utilise de mEq/L (milliéquivalent par litre)

Définition d'un équivalent : c'est la quantité d'électrolyte qui produit une mole de charge positive ou une mole de charge négative.

Une concentration exprimée en mEq/L est égale à la concentration en (mM/L) x la valence.

Soit : conc (mEq/L) = conc (mM/L) x valence

Une solution de 1mM de NaCl donne une solution de 1mEq/L de Na<sup>+</sup>, et une solution de 1mEq/L de

Cl<sup>-</sup>.

*Doc 1 : il y a une colonne pour les anions et une colonne pour les cations. La hauteur est proportionnelle à la concentration.*

*La composition du plasma est proche de celle des liquides interstitiels. L'élément le plus important est Na<sup>+</sup>, et Cl<sup>-</sup>, qui est suivi de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (le bicarbonate). La grande différence entre le plasma et le liquide interstitiel, est la présence de protéines, qui sont des anions dans le plasma, alors qu'il n'y en a pas dans les liquides interstitiels. La présence de Cl<sup>-</sup> explique pourquoi on ne peut pas utiliser du Cl<sup>-</sup> pour mesurer le volume des LEC.*

*Dans les LIC, la composition est très différente, l'élément le plus important est le potassium K<sup>+</sup>, avec le phosphate PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, puis les protéines.*

Dans chacun des trois compartiments, la somme des charges positives est égale à la somme des charges négatives. Il n'y a pas d'excès d'une charge. Chaque compartiment est neutre suivant les charges, c'est l'électroneutralité.

#### IV. L'osmose

*Doc 2 : Il faut deux compartiments remplis d'eau avec une membrane semi-perméable. Dans l'eau de ces deux compartiments, il y a une substance dissoute avec des concentrations différentes dans chaque compartiment. Ces concentrations sont notées C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub>, avec C<sub>2</sub> > C<sub>1</sub>.*

*La membrane est semi perméable, ce qui veut dire qu'elle est perméable à l'eau, mais imperméable à la substance dissoute dans l'eau.*

*Il y a avec le temps une tendance à l'égalisation des concentrations entre les compartiments 1 et 2. Cette tendance à l'égalisation ne peut se faire que par un passage d'eau.*

*Le passage d'eau est appelé l'Osmose, l'eau va du compartiment le moins concentré au compartiment le plus concentré.*

*Il y a alors une montée de l'eau dans le tube en verre. A la fin de l'expérience, il y a une pression hydrostatique proportionnelle à h, qui équilibre une pression de même valeur et de sens inverse, la pression osmotique.*

L'eau va toujours du moins au plus concentré. On peut appliquer cette notion au corps, parce qu'il existe une pression osmotique. Les cellules sont déformables, contrairement à l'expérience, donc on ne peut pas trop utiliser la pression osmotique au niveau des cellules. Elles peuvent prendre ou perdre du volume dans certaines dimensions.

Expérience : On dépose des globules rouges dans du NaCl, de concentrations variables. Les concentrations des solutions de NaCl varient de 5 à 20g/L. On regarde ensuite les globules rouges et on mesure leur diamètre.

Résultat :

Quand on dépose les globules rouges dans des **solutions diluées, le diamètre augmente**, donc de l'eau est entrée dans les globules rouges.

Quand on dépose les globules rouges dans les **solutions les plus concentrées, leur diamètre diminue**, de l'eau est sortie des globules rouges.

Pour une solution à 9g/L, il n'y a pas de changement de diamètre, donc il n'y a pas d'échange d'eau. La pression osmotique des globules rouges est alors celle de la solution.

On dira que la solution est iso osmotique ou iso tonique. On parle **d'hyper ou d'hypotonique** quand la concentration de l'eau est plus forte ou plus faible que celle des cellules.

Si on place des globules rouges dans de l'eau distillée, ils éclatent, car la pression osmotique est

importante, l'eau distillée entre dans les globules rouges jusqu'à ce que la membrane casse. C'est **l'hémolyse**.

La grandeur utilisée est le mOsm/L.

1Osm est la pression osmotique due à une solution molaire, et donc 1mOsm est la pression due à une solution mmolaire.

## V. Les échanges entre le plasma et les solutions interstitielles

Les liquides interstitiels sont des intermédiaires entre les cellules et le plasma.

Doc 6.

Ces échanges s'effectuent au niveau des capillaires sanguins. Doc 3 : structure d'un capillaire. La paroi d'un capillaire est constituée d'une seule couche de cellule. Ce sont les cellules **endothéliales**. Ces cellules ont un diamètre entre 5 et 9  $\mu\text{m}$ . Le diamètre des globules rouges est de 7,5  $\mu\text{m}$ .

Pour passer dans les capillaires les plus étroits, les globules rouges doivent se déformer entre les cellules endothéliales. Il existe une jonction qui ne laisse passer que les plus petites molécules (les protéines ne passent pas).

Dans certains organes, les cellules endothéliales possèdent des pores de diamètre important, ce qui permet aux grosses molécules de traverser.

Les échanges liquides interstitiels / sang passent par des capillaires sanguins. Il y a 6% du sang dans les capillaires, ce qui est très peu. Mais, ces 6% de sang dans les capillaires sanguins ont une grande importance physiologique. C'est eux qui assurent tous les échanges. Les échanges peuvent être intenses, car les 6% de sang sont toujours renouvelés.

Les mouvements d'eau se font dans les deux sens. Dans le sens **plasma vers liquide interstitiel**, c'est une **filtration**, et dans le sens **liquide interstitiel vers plasma**, c'est une **réabsorption**.

Ces mouvements sont la conséquence de quatre forces, les forces de Starling :

**1.  $P_{\text{cap}}$**  : c'est la pression hydrostatique capillaire, c'est la pression du sang due aux battements cardiaques. Elle a tendance à faire sortir l'eau hors des capillaires vers les liquides interstitiels.

Valeur de  **$P_{\text{cap}}$**  : **37 mm de Hg, elle diminue jusqu'à 17mm de Hg le long des capillaires**

**2.  $P_{\text{int}}$**  : c'est la pression hydrostatique interstitielle : elle a tendance à faire entrer l'eau dans les capillaires. Cette pression est très faible, et varie d'un organe à l'autre. Dans les liquides interstitiels, il n'y a pas de pompe comme le cœur.

Valeur de  **$P_{\text{int}}$**  : **1 mm de Hg**

**3.  $PCO_{\text{cap}}$**  : c'est la pression oncotique capillaire. C'est la pression osmotique due aux protéines dans le plasma, donc dans les capillaires. Cette pression a tendance à faire entrer l'eau dans les capillaires.

Valeur moyenne de  **$PCO_{\text{cap}}$**  : **25 mm de Hg**

**4.  $PCO_{\text{li}}$**  : C'est la pression oncotique interstitielle. C'est la pression osmotique due aux protéines des liquides interstitiels. Cette pression tend à faire sortir l'eau des capillaires. Dans les liquides interstitiels, il n'y a pas de protéines, donc normalement, cette pression est nulle.

Valeur moyenne de  **$PCO_{\text{li}}$**  : **0mm de Hg**

Les mouvements d'eau répondent à :

$$\text{Mvt d'eau} = k [(P_{\text{cap}} + \text{PCO}_{\text{li}}) - (P_{\text{int}} + \text{PCO}_{\text{cap}})]$$

Et  $k$ , coefficient qui est fonction de la surface et de la perméabilité du capillaire.

Applications numériques :

Au début d'un capillaire, donc du côté artériel, on a :  $\text{Mvt d'eau} = k [(37 + 0) - (1 + 25)] = 11k$   
 Quand le résultat des mouvements d'eau est **positif**, de l'eau sort du capillaire, il y a **filtration**.

A la fin du capillaire, on a :  $\text{Mvt d'eau} = k [(137 + 0) - (1 + 25)] = -9k$

Quand le résultat des mouvements d'eau est **négatif**, de l'eau retourne dans le plasma, il y a **réabsorption**.

Les deux valeurs du mouvement d'eau sont différentes.

Dans le calcul des mouvements d'eau, on n'a pas besoin de tenir compte des autres substances que les protéines, et en particulier des ions, car les ions traversent librement les parois du capillaire. S'ils passent librement, ils n'exercent pas de pression, il n'y a pas besoin d'en tenir compte.

Quels sont les volumes d'eau filtrés et réabsorbés ?

Pour l'homme, il y a 20 litres d'eau filtrés par jour, et 17 litres d'eau réabsorbés par jours. Es trois litres qui ne sont plus dans le plasma parce qu'ils n'ont pas été réabsorbés sont repris par la lymphe.

Situations ou il y a un problème :

1. Problèmes de circulation veineuse : le plus souvent, il s'agit de problèmes de retour veineux. Dans ce cas,  $P_{\text{cap}}$  à la fin du capillaire peut être égale à 20 mm de Hg. On a alors un mouvement d'eau égal à :  $k [(20 + 0) - (1 + 25)] = -6k$ , il y a de l'eau qui reste en quantité plus importante dans les liquides interstitiels, c'est un œdème.
2. Problèmes inflammatoires : il y a libération d'une molécule, l'histamine, qui a pour effet d'augmenter l'espace entre les cellules endothéliales des capillaires. Conséquence, les protéines peuvent passer du plasma vers les liquides interstitiels. Du coup,  $\text{PCO}_{\text{li}}$  augmente, alors qu'elle était nulle. La conséquence est alors qu'il y a un excès de sortie d'eau, c'est un œdème.
3. Maladies (du foie ou des reins) : la concentration des protéines plasmatiques est anormalement faible, donc  $\text{PCO}_{\text{cap}}$  diminue, il y a un œdème.
4. Hémorragies : la première conséquence est que le volume sanguin diminue, donc  $P_{\text{cap}}$  diminue, il y a alors une augmentation du niveau de l'eau des liquides interstitiels vers les capillaires, donc le plasma : l'eau va ré augmenter le volume plasmatique, et donc ré augmenter la pression artérielle.

Il n'y a pas d'échanges d'eau entre les liquides interstitiels, et les LIC, car la membrane cytoplasmique est perméable à l'eau.

## VI. La Lymphe

Par opposition à la circulation sanguine, il y a la circulation lymphatique, qui est à sens unique des tissus périphériques vers le sang. Ce circuit lymphatique est en cul de sac. La lymphe prend naissance au niveau des capillaires lymphatiques. Ils ressemblent aux capillaires sanguins, et sont aussi constitués de cellules endothéliales. Par contre, il existe des fentes larges entre les cellules, à travers lesquelles beaucoup de molécules peuvent passer. Les protéines peuvent y passer.

Une fois que les molécules sont entrées dans la lymphe, elles ne peuvent plus en ressortir.

La lymphe circule dans des canaux lymphatiques, la lymphe rejoint le sang veineux, et une bonne

partie de la lymphe rejoint le sang veineux au niveau de la veine jugulaire gauche (dans le coup/épaule).

Les rôles de la lymphe et de la circulation lymphatique sont :

1. Récupérer l'eau qui a été filtrée et pas réabsorbée (celle qui ne retourne pas dans les capillaires).
2. Récupérer les protéines qui sont dans les liquides interstitiels et qui ne devraient pas y être.
3. Les ganglions lymphatiques ont un rôle immunitaire : inflammation des ganglions.
4. Intestins : les ganglions jouent un rôle dans l'absorption des molécules provenant des aliments.

Quel est le rôle du système lymphatique ? Pour le savoir, il suffit de le supprimer. Il existe une maladie tropicale, l'« éléphantiasis », où un ver tropical parasite se développe dans les canaux lymphatiques, il bloque l'accès à la lymphe, et provoque des grands œdèmes, en particulier dans les jambes.

## VII. L'équilibre hydrominéral

Pour s'intéresser à l'équilibre hydrominéral, il faut deux notions indispensables.

1. les cellules des mammifères ne peuvent survivre que dans des liquides interstitiels dont la composition et la pression osmotique reste comprise dans des limites étroites.

Exemple : si par osmose, il y a des variations de volumes des cellules, les cellules nerveuses qui n'acceptent pas les variations, peuvent provoquer des problèmes graves au cerveau : il faut donc que la composition et la pression des liquides interstitiels soient contrôlées et qu'elles varient peu.

2. Le fonctionnement du cœur et du système sanguin nécessite que le volume sanguin varie peu. C'est le plasma qui varie en fonction de la quantité d'eau plus ou moins importante. C'est la pression artérielle qui va être modifiée avec les variations du volume : si le volume diminue, la pression artérielle diminue, il y a alors une mauvaise irrigation.

Conclusion : le volume plasmatique doit varier peu.

**Le bilan hydrique** : entrées et sorties d'eau. Pour que le bilan soit équilibré, il faut que la quantité des entrées et la quantité des sorties soit égale.

Entrée :

- Boissons : 1,25 l/jr
- Aliments : 1 l/jr
- Eau métabolique : qui est formée par réactions métaboliques : 0,3 l/jr

Total des entrées : 2,6 l/jr

Sorties :

- Urine : 1,5 l/jr
- Sudation (transpiration) : 0,1 l/jr
- Fèces (matière fécale) : 0,1 l/jr
- Evaporation (en particulier par les voies respiratoires et la peau) : 0,9 l/jr

Total des sorties : 2,6 l/jr

**Voies d'entrée :**

- **Boisson** : en général, on a la sensation de la soif. En cas de forte température, il faut boire plus.
- **Nourriture** : la viande, c'est du muscle, donc c'est composé à 70% d'eau. Les fruits et légumes sont composés à 80/90% d'eau, le pain à 35% et le beurre à 16% d'eau.

L'eau entre dans l'organisme au niveau de l'intestin. Les cellules de l'intestin absorbent des molécules qui viennent des aliments, elles absorbent le sodium, le glucose, les acides aminées, ... Ensuite, l'eau est absorbée par simple osmose.

#### Voies de sortie :

- **La Sudation** : elle n'est pas régulée en fonction des variations d'eau dans le corps, mais elle dépend de la variation de la température, c'est la thermorégulation. Pour une diminution de la température, on parle de thermolyse. Les variations de température nécessitent de l'énergie, donc de la chaleur qui est prise permet de réguler la température. 1L d'eau = 520 cal. La sudation varie en fonction de la température extérieure et de l'effort. C'est le seul moyen qu'a le corps pour se réguler la température.
- **Evaporation** : peau et appareil respiratoire : l'évaporation dépend de l'humidité de l'air ambiant. Quand il est sec, il y a plus d'évaporation d'eau. L'air qu'on respire, même sec est saturé en eau lorsqu'il ressort du corps.
- **Diarrhées, vomissements, hémorragies** : il y a une forte quantité d'eau qui sort du corps.

1. liquide interstitiel : lien entre le plasma et les cellules
2. Toute modification du plasma retenti rapidement sur les liquides interstitiels et inversement
3. Le plasma sanguin est le seul corps liquidien de l'organisme qui est régulé directement. (les liquides interstitiels sont régulés parce que le plasma est régulé).

#### Grandeurs du plasma qui sont régulées :

- Le Volume
- La concentration ionique
- La pression osmotique
- Le pH (dépend des ions H<sup>+</sup>)

L'eau est régulée par le sodium : pression osmotique, c'est le sodium qui permet d'absorber l'eau dans les intestins.

**Situation 1** : situation d'hypertonie, d'hypertonie des LEC, les cellules et le plasma ont une pression trop élevée. Les causes sont alors :

- Trop faible consommation d'eau.
- Sudation : forte chaleur

Cette situation est associée à une déshydratation : il y a alors une diminution de la pression artérielle, de l'eau sort des cellules pour augmenter le volume plasmatique.

Il y a compensation automatique qui s'effectue par osmose, de l'eau sort des cellules vers les liquides interstitiels et vers le plasma, avec pour conséquence une ré augmentation du volume du liquide interstitiel et du plasma.

**Situation 2** : situation d'hypotonie des LEC, diminution de la pression osmotique.

Cause : consommation trop importante d'eau. S'il y a trop d'eau, les globules rouges éclatent, le volume du plasma et des LEC augmente, donc la pression artérielle augmente aussi.

Il y a une compensation automatique par osmose : il y a le passage par entrée d'eau dans les cellules, ce qui rediminue le volume d'eau dans les LEC, et qui fait réaugmenter la pression osmotique, et qui diminue alors la pression artérielle.

Ce sont des actions passives, qui se font par osmose.

Problème : la compensation par osmose est limitée. Ces systèmes ne peuvent pas réguler de trop

grandes quantités. Ces systèmes passifs doivent être relayés par des systèmes de régulation.

## VIII. Les systèmes de régulation

L'entrée et la sortie d'eau est régulée par la consommation d'eau (la soif) et la sortie d'eau, l'urine.

### **La soif :**

Mécanisme contrôlé par l'hypothalamus, qui est dans le cerveau. L'hypothalamus est constitué de la plupart des systèmes de régulation du cerveau.

Qu'est ce qui déclenche la soif ?

- La baisse du niveau des LIC, de l'eau est sortie des cellules, mais toutes les substances dissoutes dans l'eau sont restées dans les cellules. La pression osmotique dans les cellules augmente, car il y a la même quantité dans un volume moins grand. Il y a alors des osmorécepteurs qui détectent les variations de la pression osmotique. Ces osmorécepteurs sont situées dans l'hypothalamus.
- Baisse du volume des LEC, et en particulier, baisse du volume plasmatique qui est détecté par des volorécepteurs, situés dans le système veineux, juste avant le cœur. Ces volorécepteurs sont sensibles à l'étirement des vaisseaux sanguins.