

Chapitre II

Etude des compartiments liquidiens

Introduction

L'eau est le composé le plus important chez l'homme. La masse hydrique se situe entre 60 et 70% de la masse corporelle.

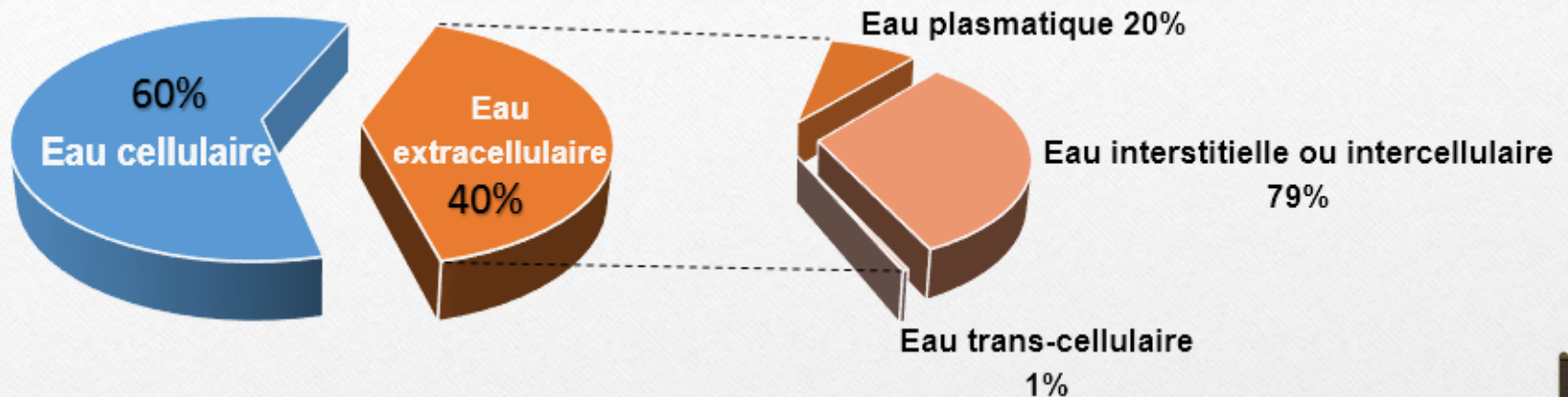
L'eau se renouvelle tous les 16 jours. L'homme reçoit en moyenne 2,5 litres par jours d'eau sous forme de boisson et d'alimentation

L'eau est éliminée par plusieurs voies (dans les urines, les selles, les poumons et la peau).

L'eau se répartit à travers 2 grands compartiments :

- Le compartiment extracellulaire.
- Le compartiment intracellulaire.

2- Répartition de l'eau entre les compartiments



L'eau extracellulaire

Elle représente 40% du volume d'eau total et 20% de la masse corporelle.

Exemple : un patient pèse 70 kg, l'eau représente une masse de 14 kg qui correspond au volume de 14 litres ($\rho_{\text{eau}} = 1 \text{ kg/L}$).

Cette eau se subdivise en : (eau plasmatique, eau interstitielle et eau trans-cellulaire)

- a. **Eau plasmatique** : cette eau circule rapidement dans les vaisseaux sanguins grâce à la pompe cardiaque qui aspire le sang de l'artériole et le refoule dans les veinules. Le plasma sanguin est constitué de 7 % de protéines dites protéines plasmatiques et 93% d'eau.
- b. **Eau interstitielle ou intercellulaire** : elle circule lentement entre les cellules. Il s'agit d'une matrice dans laquelle baignent les cellules et les tissus. Elle est séparée du milieu sanguin (plasmatique) par la paroi des vaisseaux sanguins.
- c. **Eau trans-cellulaire** : cette eau est contenue dans des secteurs délimités par un épithélium. Au niveau de ces secteurs, les échanges ne se font pas directement avec les capillaires sanguins. Exemples : le suc digestif, le liquide céphalorachidien, la lymphe, le liquide synovial...etc.

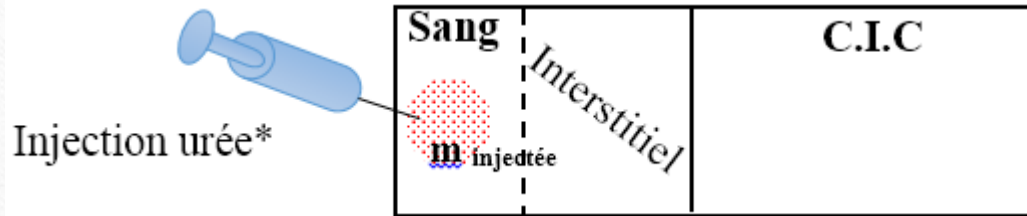
L'eau cellulaire ou intracellulaire

Elle représente 60% de l'eau totale ou 40% de la masse corporelle. Exemple : si une personne pèse en moyenne 70kg, sa masse hydrique = 28kg (28 litres). Cette eau se trouve incluse dans les cellules

3- Méthodes de mesure des compartiments liquidiens

3-1. Mesure du volume d'eau totale

Le principe consiste à injecter une substance marquée ou pas par des isotopes radioactifs, non toxique, (de préférence) non métabolisable pendant la mesure et qui peut traverser toutes les membranes cellulaires (membrane plasmique et membrane endothéliale) sans changer le volume du compartiment. Cette substance peut être endogène (urée) ou exogène (H_3O^+ : eau tritiée).



Exemple de l'injection de l'urée marquée au carbone 14 (C^{14}) par voie intraveineuse, l'urée traverse toutes les membranes cellulaires et se répartit de manière homogène dans le volume d'eau totale du sujet.



A l'état d'équilibre de diffusion de l'urée*, on prélève un échantillon sanguin que l'on centrifuge afin de séparer le plasma sanguin des globules rouges. Le plasma contenant une fraction d'urée* est évalué (dosé) avec les techniques radio-immunologiques (RIA), donc à l'équilibre

$$C_{\text{urée*organisme}} = C_{\text{urée*échantillon plasmatique}}$$

$$\text{Or : } \frac{m_{\text{urée injectée}}}{V_{\text{eau totale}}} = \frac{m'_{\text{urée dosée}}}{V_{\text{échantillon plasmatique}}}$$

La **masse** d'urée* injectée est connue. La masse **m'** d'urée prélevée (dosée) est déterminée par dosage radio-immunologique (RIA).

Le **volume de l'échantillon plasmatique** peut être déterminé simplement par lecture sur le tube à essai contenant l'échantillon plasmatique, mais malheureusement, on peut faire des erreurs de lecture.

Pour éviter cela, on peut déterminer avec précision ce volume à l'aide de l'hématocrite

$$He = \frac{V_{GR} \text{ échantillon sanguin}}{V \text{ échantillon sanguin}}$$

$$\text{avec : } V_{\text{échantillon sanguin}} = V_{GR \text{ (échantillon)}} + V_{\text{plasmatique (échantillon)}}$$

L'équation du $V_{\text{eau totale}}$ est :

$$V_{\text{eau totale}} = \frac{m_{\text{urée* injectée}} \cdot V_{\text{échantillon plasmatique}}}{m'_{\text{urée* prélevée}}}$$

Remarque : dans le cas où le dosage de l'urée* a été réalisé dans le sang :

$$V_{\text{eau totale}} = \frac{m_{\text{urée* injectée}} \cdot V_{\text{échantillon sanguin}}}{m'_{\text{urée* prélevée}}}$$

3-2. Mesure du volume d'eau du compartiment extracellulaire (CEC)

Même méthode que précédemment à l'exception de la substance à injecter, qui ne doit pas traverser la membrane cellulaire. Cette substance peut être endogène (mannitol) ou exogène (sulfate). Le mannitol* injecté par voie intraveineuse se répartit de manière homogène dans le compartiment extracellulaire.

A l'état d'équilibre du mannitol on peut écrire :

$$Cp_{mannitol*CEC} = Cp_{mannitol*échantillon\ plasmatique}$$

$$\frac{m_{mannitol* injectée}}{V_{eau\ CEC}} = \frac{m'_{mannitol* dosée}}{V_{échantillon\ plasmatique}}$$

$$V_{eau\ CEC} = \frac{m_{mannitol* injectée} \cdot V_{échantillon\ plasmatique}}{m'_{mannitol* prélevée}}$$

Remarque : le V_{CEC} est déterminé avec cette méthode si le dosage du mannitol* a été effectué sur l'échantillon plasmatique. Si la m' du mannitol* a été évaluée dans l'échantillon sanguin :

$$V_{eau\ CEC} = \frac{m_{mannitol* \text{ injectée}} \cdot V_{\text{échantillon sanguin}}}{m'_{mannitol* \text{ prélevée}}}$$

Le volume d'eau du **milieu intracellulaire (CIC)** est difficilement déterminé, donc on le déduit à partir du volume d'eau totale et du volume d'eau du CEC. Sachant que :

$$V_{CIC} = V_{\text{eau totale}} - V_{CEC}$$

3-3. Détermination du volume du sang total et du volume de plasma total

Même principe que les méthodes précédentes, à l'exception de la substance à injecter qui **ne doit pas traverser** la membrane endothéliale.

La substance injectée peut être une protéine plasmatique (ex. l'albumine*). A l'état d'équilibre de diffusion de l'albumine* (Alb*) :

$$C_{p_{Alb^* \text{ plasma total}}} = C_{p_{Alb^* \text{ échantillon plasmatique}}}$$

$$V_{\text{eau plasma total}} = \frac{m_{Alb^* \text{ injectée}} \cdot V_{\text{échantillon plasmatique}}}{m'_{Alb^* \text{ prélevée}}}$$

Si le dosage de l'albumine* a été réalisé dans l'échantillon sanguin

$$V_{\text{eau sang total}} = \frac{m_{Alb^* \text{ injectée}} \cdot V_{\text{échantillon sanguin}}}{m'_{Alb^* \text{ prélevée}}}$$

3-4. Les différents types de traceurs

Traceurs		
Compartiments	Endogènes	Exogènes
Eau totale	Eau*, urée*	Antipyrines*
Extracellulaire	Sulfates*	Mannitol*, inuline*
Plasmatique	Albumine*	Bleu Evans

Remarque : en introduction, nous avons dit que l'eau représente entre 60 et 70% de la masse corporelle, le % d'eau est plus important chez le nourrisson, plus faible chez la femme par rapport à l'homme, plus faible chez l'obèse par rapport au maigre, et encore, très inférieur chez le vieillard par rapport à l'enfant. Par conséquent, le % d'eau de l'organisme dépend de plusieurs paramètres : sexe, âge et taille.

4. Répartition des solutés à travers l'organisme humain et notion d'osmolarité efficace

L'osmolarité de l'organisme humain est d'environ 300 mOsmole/l. Pour que la cellule puisse vivre et se développer dans les conditions normales, tous les compartiments liquidiens doivent être électroneutres ($\sum C_{eq}^+ = \sum C_{eq}^-$).

Les compartiments liquidiens contiennent 2 types de solutés :

- Solutés neutres (urée et glucose)
- Solutés chargés (micro-ions)

4-1. Solutés neutres : les solutés quantitativement importants dans les compartiments liquidiens sont : urée et glucose.

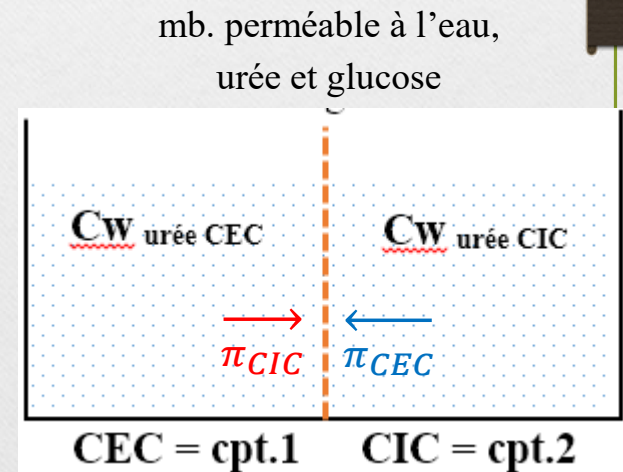
4-1.a. L'urée : il diffuse à travers tous les compartiments liquidiens pour se répartir équitablement dans tout l'organisme. L'organisme est assimilé alors à un système à 2 milieux (CEC et CIC) séparés par une membrane perméable à l'eau, l'urée et même au glucose

A $t = \text{équilibre}$: $C_{w \text{ urée } CEC} = C_{w \text{ urée } CIC}$ selon le schéma suivant :

Sur chaque compartiment s'exerce une pression osmotique π

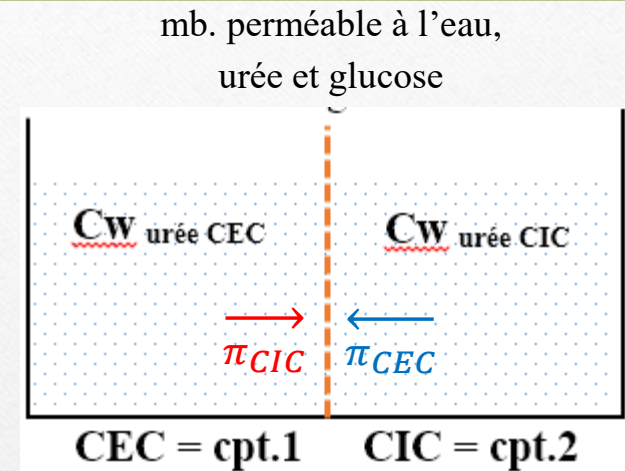
Sur le compartiment extracellulaire s'exerce une pression π_{CEC}

La π_{CEC} est la pression que l'on doit exercer sur ce compartiment pour empêcher son solvant pur (eau) de passer du compartiment (1) vers le compartiment (2), le sens de π_{CEC} sera du milieu (2) vers le milieu (1).



Sur le compartiment 2 (CIC) s'exerce une pression osmotique π_{CIC}

Le sens de π_{CIC} s'exerce du CEC \rightarrow CIC



π_{CIC} et π_{CEC} sont des pressions osmotiques antagonistes car $\pi_{CIC} = \pi_{CEC}$ car $CW_{CEC} = CW_{CIC}$.

Dans ce cas précis, la $CW_{urée}$ n'exerce aucun effet sur le plan osmotique. Cette concentration est dite **inefficace** ($CW_{urée\ inefficace}$).

4-1.b. Le glucose : comme l'urée, le glucose est un soluté micromoléculaire qui traverse librement la membrane endothéliale, mais il ne peut entrer dans la cellule qu'en présence de l'insuline par des systèmes hormonaux, le glucose se répartit équitablement dans les compartiments liquidiens.

A l'équilibre $Cw_{\text{glucose CEC}} = Cw_{\text{glucose CIC}} \rightarrow Cw_{\text{glucose inefficace}}$

Le glucose n'exerce aucun effet sur le plan osmotique. Cependant, en absence d'insuline (DID) ou si l'insuline n'ayant aucun effet (DNID), le glucose traverse seulement la membrane endothéliale mais il ne peut traverser la membrane cellulaire et par voie de conséquence, il s'accumule **anormalement** dans le CEC et provoque une **hyperosmolarité**.

La Cw_{glucose} est dite **efficace** car elle exerce un effet sur le plan osmotique.

4-1.c. Osmose et pression osmotique

Osmose et test de résistance globulaire

Le phénomène d'osmose peut être mis en évidence à l'aide des expériences suivantes :

Expérience (1) : soit un globule rouge (GR) de $Cw_{GR} = 0,3$ osmole/L, il est placé dans une solution aqueuse de NaCl ($Cw_{NaCl} = 0,2$ osmole/L).

$Cw_{GR} > Cw_{NaCl}$ sachant que la membrane du GR est perméable aux molécules d'eau, dans ce cas l'eau se déplace du milieu le moins concentré vers le plus concentré, c-à-d, de la solution de NaCl vers le GR \rightarrow le volume de ce dernier augmente. Le globule rouge aura un aspect **turgescant**, le milieu est dit **hypotonique**



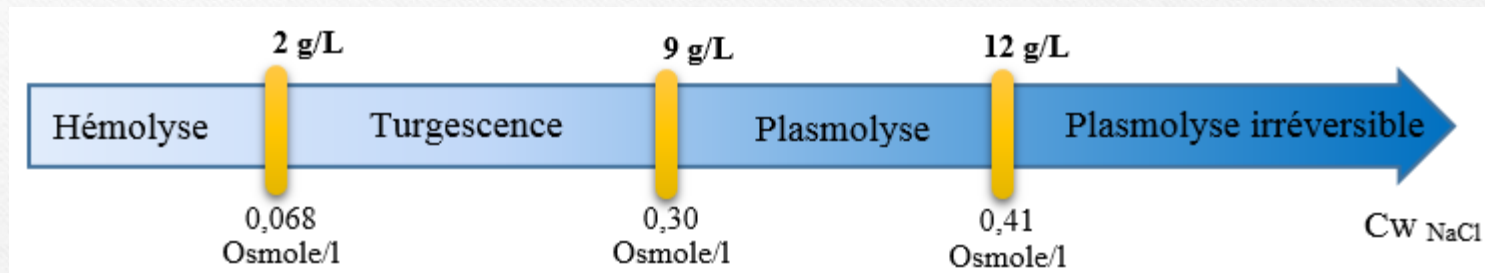
Expérience (2) : soit un globule rouge (GR, $C_w = 0,3 \text{ osmole/L}$) est placé dans une solution de NaCl ($C_w = 0,3 \text{ osm/L}$). À $t > 0$, la $C_{w_{GR}} = C_{w_{NaCl}}$, le volume du globule rouge reste constant. Le milieu est alors dit **isotonique**

Expérience (3) : un GR de $C_w = 0,3 \text{ osm/L}$ est introduit dans une solution de NaCl $C_w = 0,5 \text{ osm/L}$.

$C_{w_{GR}} < C_{w_{NaCl}}$. La membrane du GR étant perméable aux molécules d'eau, on assiste à leur déplacement du GR vers la solution. Le volume du GR diminue et va finir par avoir la forme d'une étoile (forme étoilée du GR), le GR subit un rabougrissement cellulaire. Ce phénomène physique s'appelle **plasmolyse** (dégradation de la membrane plasmique). Le milieu est alors dit **hypertonique**



EN DÉFINITIF : l'**osmose** est un phénomène purement physique caractérisé par l'entrée de l'eau depuis la solution vers le GR ou inversement. ***Donc, l'osmose est la diffusion (déplacement) de l'eau du milieu le moins concentré en solutés vers le milieu le plus concentré en solutés.***



4-2. Les micro-ions

la répartition des ions quantitativement importants sont consignés dans le tableau suivant

Type d'ions	Concentration	Comp.plasmatique (meq/l)	Comp.interstitiel (meq/l)	Comp.intracellulaire (meq/l)
Cations (+)	Na ⁺	142	144	10
	K ⁺	4	4	160
	Ca ²⁺	3	3	4
	Mg ²⁺	2	2	38
	Total cations	151	153	212
Anions (-)	Cl ⁻	103	114	6
	HCO ₃ ⁻	26	29	8
	Phosphates ⁻	2	2	140
	Protéines ⁻	16	4	55
	Autres	4	4	3
	Total anions	151	153	212

Commentaire : concernant les cations, seuls en quantités importantes : K⁺, Na⁺, Ca²⁺ et Mg²⁺, les autres ions tels que le Fer ont un rôle négligeable sur l'osmolarité. Dans le milieu extracellulaire le Na⁺ représente 95% de la C_w des cations

5. Notion de volume de distribution d'un soluté à travers des compartiments liquidiens

Par analogie au volume de diffusion d'un traceur supposé diffuser de façon homogène et exclusivement dans un compartiment liquidien de l'organisme, on définit pour tout soluté présent dans l'organisme son volume de distribution V_d .

5-1. Cas d'un soluté neutre (ex. l'urée)

D'après l'étude précédente, l'urée traverse toutes les membranes cellulaires pour se répartir ou se distribuer de manière homogène dans tous les compartiments liquidiens. A l'état d'équilibre de diffusion de l'urée*, $C_{p_{urée*CEC}} = C_{p_{urée*CIC}}$

L'urée diffuse dans la totalité du volume hydrique avec un **volume de**

diffusion : $V_d = \frac{m}{C_p}$ or $m = m_{CEC} + m_{CIC} \rightarrow V_d \cdot C_p = V_{CEC} \cdot C_{p_{CEC}} + V_{CIC} \cdot C_{p_{CIC}}$

A l'équilibre : $C_{p_{CEC}} = C_{p_{CIC}} = C_p \rightarrow \boxed{V_d = V_{CEC} + V_{CIC}}$

5-2. Cas d'un soluté chargé (ex. Na⁺)

Parce qu'un soluté donné ne diffuse pas nécessairement de façon homogène dans un compartiment liquidien bien précis de l'organisme, son volume de distribution ne représente pas nécessairement le volume d'un compartiment liquidien anatomiquement bien défini.

D'après les mesures des C_{eq} des compartiments liquidiens (état d'électroneutralité)

$$C_{eq_{CEC}} = 286 \text{ Eq. g/L} \gg C_{eq_{CIC}} = 10 \text{ Eq. g/L.}$$

Dans ce cas, le Na⁺ est essentiellement extracellulaire, c-à-d, qu'il se trouve en très grande quantité dans le milieu extracellulaire par rapport au milieu intracellulaire. La quantité totale de Na⁺ dans l'organisme s'appelle **STOCK SODIQUE** (noté par M), échangeable entre le CEC et le CIC.

$$M = M_{CEC} + M_{CIC} \dots\dots\dots (1)$$

On peut calculer le stock de Na^+ échangeable où M est le produit de la concentration plasmatique de cet ion par son volume de distribution : $M = C \cdot V_d$ avec $M = C_{\text{CEC}} \cdot V_{\text{CEC}} + C_{\text{CIC}} \cdot V_{\text{CIC}}$

L'équation s'écrira alors : $C \cdot V_d = C_{\text{CEC}} \cdot V_{\text{CEC}} + C_{\text{CIC}} \cdot V_{\text{CIC}} \dots\dots\dots(2)$

Dans le cas du Na^+ , $C_{eq_{\text{CEC}}} \gg C_{eq_{\text{CIC}}} \rightarrow$ on peut alors négliger celle du CIC pour dire que $C_{\text{totale}} = C_{\text{CEC}}$

L'équation (2) devient alors : $C_{\text{CEC}} \cdot V_d = C_{\text{CEC}} \cdot V_{\text{CEC}} + C_{\text{CIC}} \cdot V_{\text{CIC}}$

Si C_{CEC} , V_d et V_{CEC} sont connus, on peut écrire : $C_{\text{CIC}} = \frac{C_{\text{CEC}} (V_d - V_{\text{CEC}})}{V_{\text{CIC}}}$

avec $V_{\text{CIC}} = V - V_{\text{CEC}}$

Donc :

$$C_{\text{CIC}} = \frac{C_{\text{CEC}} (V_d - V_{\text{CEC}})}{V - V_{\text{CEC}}}$$

On remarquera que l'estimation de la concentration intracellulaire C_{CIC} du sodium fait intervenir la différence ($V_d - V_{CEC}$). Elle est donc très sensible à la précision de l'estimation du volume extracellulaire et le volume de distribution du Na (qui surestime le volume extracellulaire).

Avant d'injecter le Na^* par I.V, les compartiments sont électro-neutres ($\sum Ceq^+ = \sum Ceq^-$). A la suite de l'injection du Na^* , celui-ci va diffuser à travers toutes les membranes cellulaires de manière *passive*.

Le Na^* une fois dans le milieu intracellulaire, il y aura plus de cations que d'anions, et par conséquent, l'électroneutralité est rompue, c-à-d, ($\sum Ceq^+ > \sum Ceq^-$). Afin de rétablir l'équilibre, la cellule doit chasser par un *transport actif* des ions Na^* du milieu cellulaire vers le milieu extracellulaire. C'est pour cette raison que la C_{CEC} reste $\gg C_{CIC}$ même après injection du Na^* .

