

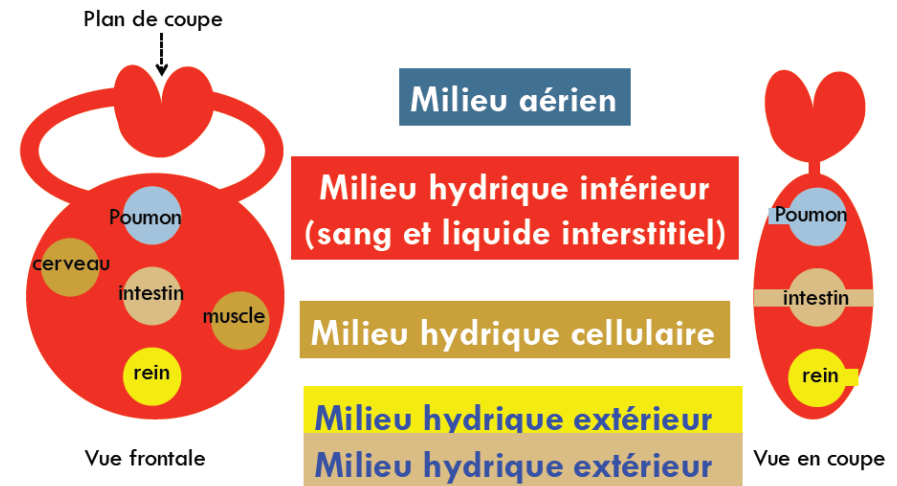
# Compartimentation de l'organisme

Valeurs utilisées pour l'individu standard (homme ou femme)

- taille : 1m60
- poids : 70 kg
- surface corporelle : 1,73 m<sup>2</sup>

Les volumes sont mesurés :

- grâce à l'injection de traceurs moléculaires (par dilution) pour les volumes liquidiens et aériens.
- grâce au déplacement de molécules d'air pour les volumes aériens ouverts sur l'extérieur.



Dans l'organisme, l'air et le sang circulent grâce à la pression hydrostatique : c'est la **pression exercée par un liquide sur la paroi de son contenant**. Ici, ce sont la gravité et les muscles qui permettent aux liquides d'exercer une pression hydrostatique et donc de circuler. Elle se mesure avec une colonne d'eau.

## I/ Volume de distribution d'un traceur

### A. Comment calculer les volumes des compartiments liquidiens ?

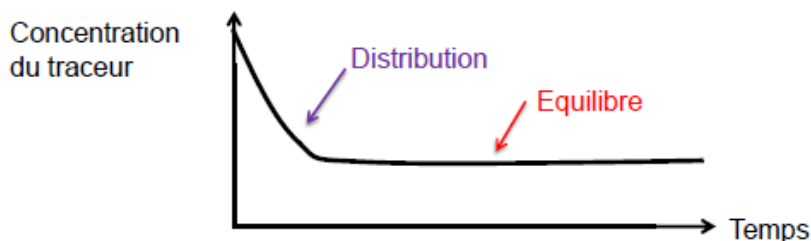
Injection d'un traceur, puis mesure de la concentration du traceur pour mesurer :

- ✓ Volume extracellulaire
- ✓ Volume d'eau totale
- ✓ Volume pulmonaire
- ✓ Volume plasmatique

### Traceur séquestré

- phase initiale de distribution (C max = injection)
- équilibre avec C° homogène dans le compartiment

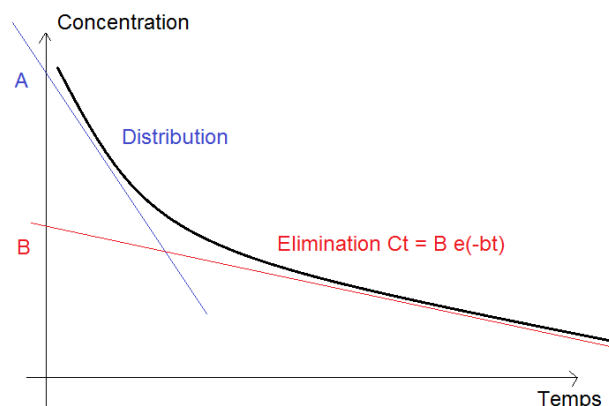
$$Vd (L) = \frac{Qtt \text{ injectée} (mol \text{ ou becquerel})}{C \text{ équilibre} (mole/L \text{ ou becquerel/L})}$$



### Traceur éliminé

- découpage en deux phases (c'est une simplification car elles sont simultanées en réalité)
- première exponentielle : distribution du traceur, pente A
- deuxième exponentielle : élimination à vitesse constante, pente B

$$Vd (L) = \frac{Qtt \text{ injectée} (mol)}{B (mole/L)}$$



Le calcul sous-estime systématiquement le volume de distribution réel du traceur.

### B. Quels sont les traceurs utilisés ?

Grâce aux traceurs injectés et à leur concentration, on peut mesurer ou calculer les volumes cellulaires, extracellulaires, pulmonaires et sanguins. **Les traceurs sont spécifiques d'un compartiment.**

Volume d'eau totale	Volume plasmatique	Volume extracellulaire	Volume pulmonaire
Deutérium, tritium	I <sup>125</sup> Albumine	<sup>51</sup> Cr EDTA, Inuline	Hélium

Le deutérium et le tritium sont des molécules d'eau marquées.

L'albumine est une protéine plasmatique rendue détectable par couplage avec un isotope iodé ; son renouvellement par le foie est lent par rapport au temps nécessaire pour obtenir l'équilibre de concentration.

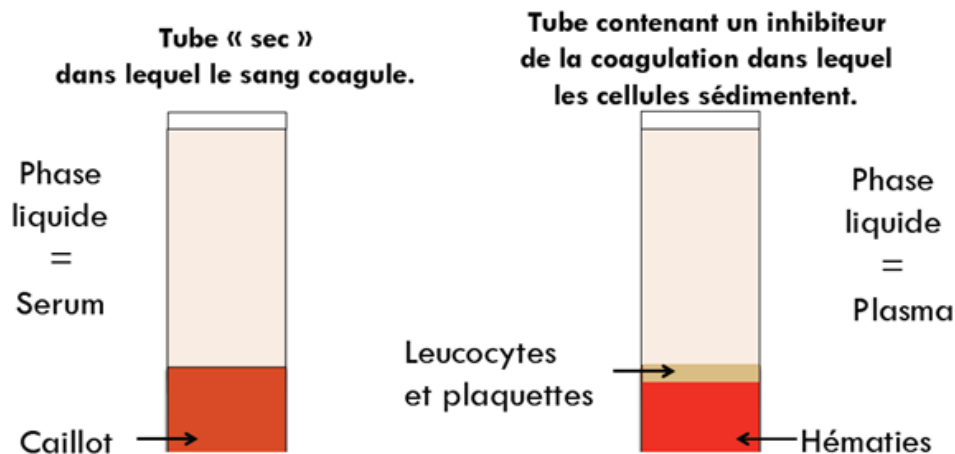
L'EDTA est une molécule exogène éliminée par les reins.

### C. Quelles sont les mesures des différents volumes des compartiments liquidiens ?

#### LE VOLUME D'EAU TOTAL : 42L

Les traceurs sont considérés comme séquestrés : l'équilibre de concentration est obtenu rapidement et le renouvellement des molécules d'eau ne fausse pas les mesures.

- nourrisson : 75% de la masse corporelle
- homme : 60% de la masse corporelle
- femme : 50% de la masse corporelle (à cause de la graisse)



#### LE VOLUME D'EAU EXTRACELLULAIRE : 14L (1/3 du volume total)

Les traceurs sont considérés comme éliminés.

Le volume extracellulaire contient le sang, qui est sa partie circulante.

Volume plasmatique = **50mL/kg**

Hématocrite **Hte = 45%**.

C'est le pourcentage de volume globulaire mesuré sur un tube avec anticoagulant.

$$Hte = \frac{\text{Volume globulaire}}{\text{Volume sanguin}}$$

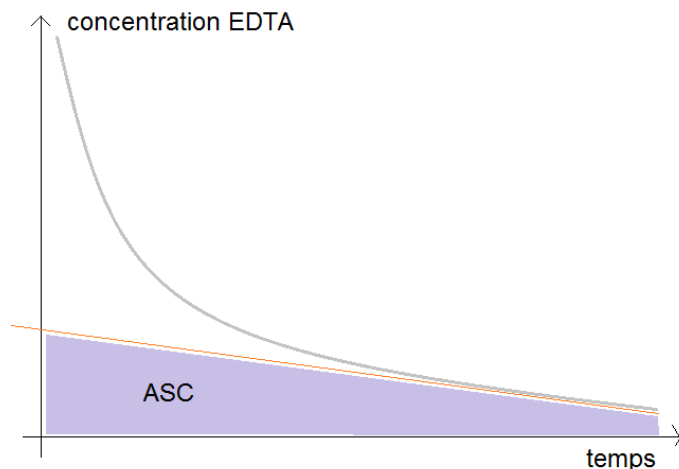
Le volume sanguin est calculé:  $V(sang) = \frac{V(plasma)}{1-Hte}$

#### LE VOLUME D'EAU CELLULAIRE : calculé : Volume Cellulaire = Volume total – Volume Extra-Cellulaire, 28L (2/3 du volume total)

## II/ La clairance plasmatique

**Clairance** : volume de plasma totalement épuré d'une substance par unité de temps. C'est un **débit** en  $\text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$ .

### A. La clairance plasmatique rénale



#### 1. EDTA

Comme l'EDTA est exclusivement éliminée par les reins, le **volume de plasma épuré d'EDTA par minute est une mesure de la clairance plasmatique rénale**.

$$\text{La clairance } Cl = \frac{Q_{tt} \text{ EDTA (Bq)}}{ASC \text{ d'élimination}}$$

Voilà une idée du fonctionnement du rein :  $Cl = 120 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1} = 172,8 \text{ L} \cdot \text{jour}^{-1}$ . Comme il y a 3,5 L de plasma, on peut calculer que les reins filtrent 50 fois le plasma, et comme ils ne sécrètent que 1,5L d'urine, on sait qu'ils réabsorbent la majorité de ce qu'ils filtrent.

#### 2. Créatinine

C'est une molécule endogène dont la clairance est constante. La créatinine est produite par les muscles et seulement filtrée par les reins, jamais réabsorbée.

On a donc :

$$Cl \text{ plasmatique rénale} * [\text{créat plasma}] = [\text{créat urinaire}] * Q \text{ urinaire}$$

$$Cl \text{ plasmatique rénale} = \frac{[\text{créat urinaire}] * Q \text{ urinaire}}{[\text{créat plasmatique}]} = \frac{cste}{[\text{créat plasmatique}]}$$

On comprend alors que si la clairance diminue, la concentration plasmatique de créatinine va augmenter : c'est l'**insuffisance rénale**, avec une diminution du débit de filtration glomérulaire.

### B. La clairance plasmatique des médicaments

Le **volume de plasma épuré d'un médicament par minute** est une mesure de la clairance plasmatique des médicaments. Grâce à celle-ci, on peut définir la demi-vie d'un médicament et la fréquence d'administration du médicament.

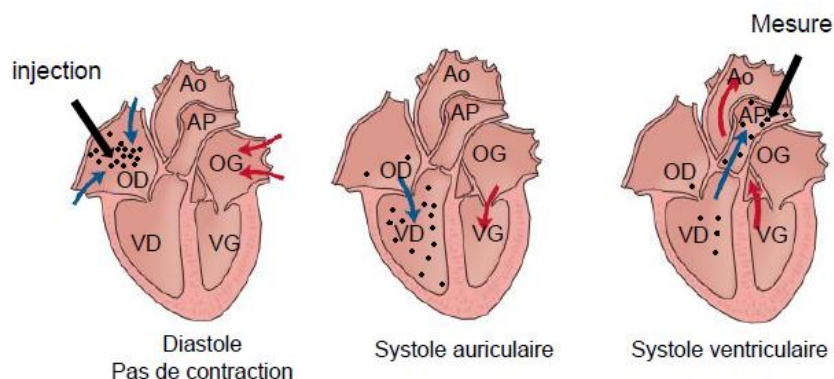
### C. La clairance plasmatique en rapport avec la distribution d'oxygène

C'est le **volume de sang épuré d'oxygène par minute et par organe**, ou la mesure de la consommation d' $\text{O}_2$  par les tissus. Ici on ne prend pas le plasma seulement car l'oxygène est transporté à 95% par les globules rouges. La seule clairance négative est pour le poumon, puis qu'il apporte l' $\text{O}_2$  au sang.

### III/ Le débit cardiaque

Le débit cardiaque est **constant** et **proportionnel au rapport entre la différence de pression et les résistances circulatoires** dans une des deux circulations.  
La circulation est majoritairement laminaire.

#### A. Mesure du débit cardiaque par dilution



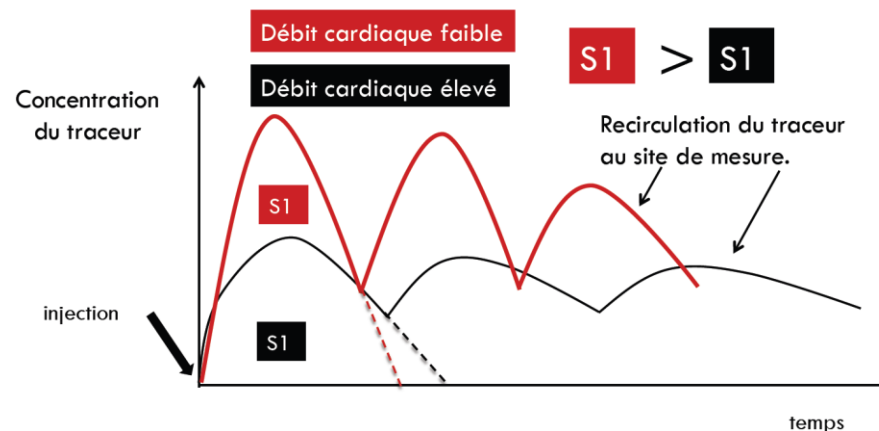
Injection : en diastole, dans l'oreillette droite.

Dilution : en systole auriculaire, le produit est dilué dans le sang qui passe dans le ventricule droit : le traceur se dilue dans les cavités droites du cœur.

Mesure : en systole ventriculaire dans l'artère pulmonaire.

Le traceur va se diluer au fur et à mesure du passage du sang dans le corps. Au bout de  $x$  passages au site de mesure, la concentration dans le sang est constante : c'est la concentration à l'équilibre. La mesure est dite « en temps réel ».  
On peut passer la courbe en logarithme pour les calculs, et on a alors

$$Q = \frac{qqt \text{ de traceur injecté}}{ASC}$$



#### B. Particularités du débit cardiaque

Le débit cardiaque normal est de **5L par minute** et est **constant** au repos. Le débit est le même dans chacune des circulations pulmonaire et générale.

Il peut s'adapter et augmenter lorsque les organes ont besoin de plus de sang. Lors d'une insuffisance cardiaque, le sujet doit faire face à une baisse du débit cardiaque, ce qui s'accompagne de dyspnée (=essoufflement).

Certains organes comme les poumons, le cerveau et les reins sont privilégiés au regard de la perfusion sanguine, et elle y est constante. Celle des autres organes varie selon leurs besoins et activité.

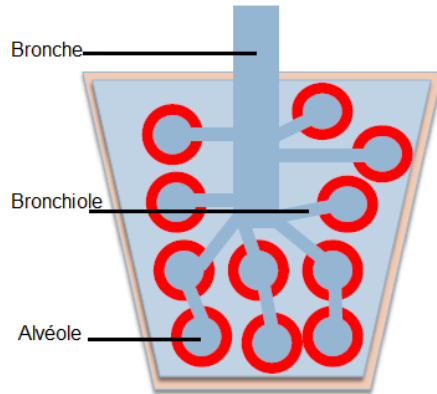
## IV/ Volumes et débit aériens pulmonaires

L'air entre dans les bronches, puis les bronchioles, et arrive dans les alvéoles (seules structures pulmonaires de volume variable).

**La variation du volume d'air dans les alvéoles correspond à la variation du volume de la cage thoracique.**

Cette expansion thoracique est obtenue par traction des muscles squelettiques sur la cage thoracique.

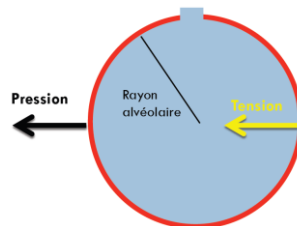
Il y a **80m<sup>2</sup>** de surface de contact air-sang au travers des alvéoles.



### A. Relation pression-volume des alvéoles pulmonaires

La loi de Laplace donne la relation entre pression intra-alvéolaire et tension de surface :

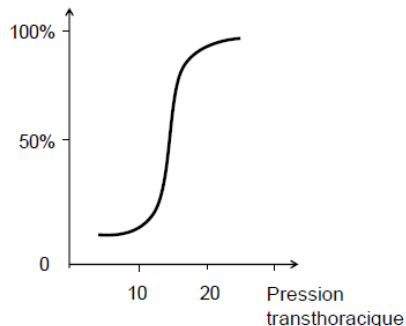
$$\text{Pression intra-alvéolaire} = \frac{2 \times \text{tension de surface}}{\text{rayon}}$$



#### 1. Conséquences

Pour ouvrir les alvéoles, il faut une pression importante, et plus elles s'ouvrent, plus la pression nécessaire pour continuer à les ouvrir diminue, puisque la pression et le rayon sont inversement proportionnels dans la formule.

Volume pulmonaire



#### 2. Mesure expérimentale

On utilise un capteur de pression qui mesure la différence entre la pression dans les bronches et la pression dans la plèvre (cavité virtuelle qui entoure les poumons).

Le graphe obtenu montre qu'il faut des petites variations de pression pour des variations de volume très importantes. La loi de Laplace ne s'applique pas dans les poumons

#### 3. Le problème ?

→ En remplaçant l'air par de l'eau, on décale la courbe vers les basses pressions.  
→ Chez le nouveau-né prématuré, la courbe est décalée vers les hautes pressions : le nouveau-né prématuré a beaucoup de mal à ouvrir ses poumons.

La relation pression-volume des poumons va donc dépendre de l'interface entre l'air et le sang ; mais quelle est cette surface ?

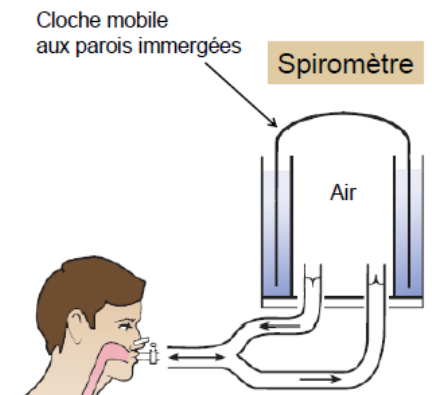
#### 4. Le surfactant

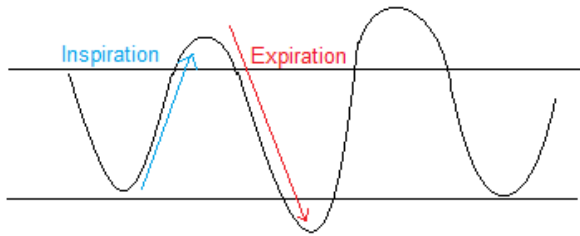
Il explique la forme de la courbe pression-volume : **le surfactant est une substance tensioactive qui annule la tension superficielle** quand le volume alvéolaire augmente. Il faut donc peu de pression pour une grande variation de volume. Les nouveau-nés prématurés ne fabriquent pas encore cette substance et sont donc en détresse respiratoire.

### B. Mesure des paramètres ventilatoires

La **ventilation est la variation des volumes** en fonction des mouvements de la cage thoracique, interprétable grâce aux mouvements du spiromètre.

→ Inspiration : diminution du volume sous la cloche  
→ Expiration : augmentation du volume sous la cloche.





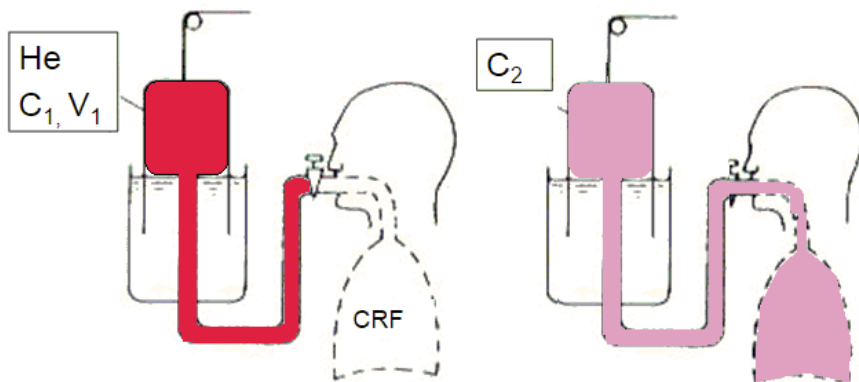
Pour enregistrer les mesures on utilise un système à poulie et un stylo : en inspiration, le stylo monte et en expiration, il descend.

### 1. Les volumes pulmonaires obtenus par spirométrie

- **Volume courant** : volume mobilisé au repos, 14 fois par minute. Il vaut  $\frac{1}{2}$  L.
- **Volume de réserve inspiratoire** : volume mobilisé en inspiration maximale.
- **Volume de réserve expiratoire** : volume mobilisé en expiration maximale.
- **Capacité vitale** : volume mobilisé lors d'une inspiration maximale suivie d'une expiration maximale. Il vaut 4,5L environ.

### 2. Mesure du volume pulmonaire par dilution d'hélium

Pour mesurer la totalité du volume pulmonaire, on utilise la dilution d'hélium.



- Injection d'hélium dans la cloche ( $Vd_1$ ) alors que la personne ne respire pas encore ; on a une concentration  $C_1$ .
- Ventilation de la personne et obtention d'une concentration d'équilibre  $C_2$  : on a un volume  $Vd_2$  calculé grâce à la concentration obtenue.
- $Vd_2 - Vd_1 =$  capacité pulmonaire totale = 5,8 L environ.

La différence entre la capacité vitale et la capacité pulmonaire totale (1,3L) correspond au **volume non mobilisable** : le volume d'air dans les bronches et les bronchioles. **Il n'est pas en contact avec le sang, c'est un espace mort.**

### 3. Insuffisance respiratoire

Elle est définie par la **diminution des échanges entre le sang et l'air alvéolaire** suite à une maladie pulmonaire. Parfois, on voit une augmentation du volume résiduel, comme lors de l'apparition d'emphysème (bulle d'air dans le parenchyme).

### C. Mesure des paramètres respiratoires

**La respiration est la consommation d' $O_2$  ou la production de  $CO_2$ .**

- Consommation d' $O_2$  : diminution du volume sous la cloche
- Production de  $CO_2$  : augmentation du volume sous la cloche.

#### 1. Mesure de la consommation d'oxygène

Pour mesurer le volume d' $O_2$  consommé il faut piéger le  $CO_2$  produit. Pour cela, on utilise un piège à chaux. Le volume sous la cloche varie proportionnellement à la consommation d' $O_2$ .

Pour mesurer le volume de  $CO_2$  produit, on laisse la personne respirer, on mesure le volume obtenu, puis on rajoute le piège à  $CO_2$ , on remeure le volume et la différence entre les deux correspond au  $CO_2$  produit.

#### 2. Respiration cellulaire

Elle désigne l'utilisation d'oxygène par les CRM pour la production d'ATP. Des molécules organiques sont consommées et du  $CO_2$  est rejeté.



### 3. Puissance musculaire et production d'oxygène.

La consommation d'oxygène maximale est mesurée chez les athlètes pour évaluer leur capacité aérobie  $VO_2$  max.

Première phase : effort prolongé possible car plus la puissance musculaire augmente, plus la consommation d' $O_2$  augmente.

Ensuite : plateau où la consommation d' $O_2$  ne peut plus augmenter : le rendement est sous-optimal et l'effort ne peut pas durer.

En s'entraînant, on peut augmenter sa capacité aérobie jusqu'à une valeur limite.

### 4. Oxygénation tissulaire et élimination de $CO_2$

Q cardiaque : **modulable \* 5** (7 200 à 36 000 L/jour). Sa diminution définit l'insuffisance cardiaque.

Q pulmonaire : **modulable \* 15** (1200 à 18 000 L/jour) avec des échanges intenses entre air et sang. La diminution de la surface d'échange définit l'insuffisance respiratoire.

### 5. Absorption digestive et élimination rénale

Passage entre liquide intestinal (9L/jour) et plasma (792 L/jour) :

**Débit faible, temps de contact élevé et grande surface d'échange** (200 m<sup>2</sup>)

L'accélération du transit ou la réduction de la surface définit la malabsorption intestinale.

Passage entre plasma (792 L/jour) et ultrafiltrat urinaire (180L/jour):

**Débit élevé, temps de contact court et petite surface d'échange** (4 m<sup>2</sup>)

La diminution du débit de filtration glomérulaire ou la réduction de la surface définit l'insuffisance rénale.

## V/ Les valeurs importantes des différents secteurs

Volumes	Débits quotidiens	Surfaces d'échanges
<p>Poumon 6 litres</p> <p>Intestin ± 1 litre</p> <p>Milieu cellulaire 28 l</p> <p>Milieu extracellulaire 14 litres dont 3,5 litres de plasma</p> <p>Rein quelques ml</p>	<p>Poumon 1200 litres d'air</p> <p>Intestin 9 litres de sécrétion</p> <p>Milieu cellulaire ?</p> <p>Milieu extracellulaire ? Sang : 7200 litres</p> <p>Rein 173 litres</p>	<p>Poumon 80 m<sup>2</sup></p> <p>Intestin 200 m<sup>2</sup></p> <p>Milieu cellulaire ?</p> <p>Milieu extracellulaire</p> <p>Rein 4 m<sup>2</sup></p> <p>Replis membranaires et microvillosités</p> <p>Terrain de tennis</p> <p>300 millions d'alvéoles</p> <p>Terrain de badminton</p> <p>2 millions de néphrons</p> <p>Table de ping-pong</p>