

Compartiments de l'organisme

Individu standard unisexe :

Taille : **1,60 m**

Poids : **70 kg**

Surface corporelle : **1,73 m²**

Pourcentage d'eau par rapport au poids :

Homme : **60%**

Femme : **50%**

Nourrisson : **75%**

I) Les milieux

- **Milieu hydrique intérieur** (plasma et liquide interstitiel qui circule autour des cellules)
- **Milieu hydrique cellulaire** (à l'intérieur même de la cellule)
- **Milieu hydrique extérieur** (liquide contenu dans des organes ouverts sur l'extérieur -> reins et intestins)
- **Milieu aérien extérieur** (air dans les poumons)

Rappel : On n'a pas accès au milieu hydrique cellulaire. Ainsi, toutes les mesures sont réalisées sur le milieu hydrique intérieur ou les milieux extérieurs (aérien/hydrique).

1) Les volumes mesurés et calculés

En utilisant des traceurs, il est possible de mesurer :

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

Attention : le volume cellulaire et le volume sanguin ne sont pas mesurés mais calculés !

Pour mesurer le volume, on utilise un traceur -> 2 possibilités :

- Le traceur reste dans le volume où il est injecté (il est **séquestré**)
- Il est **éliminé régulièrement** du volume où on l'injecte

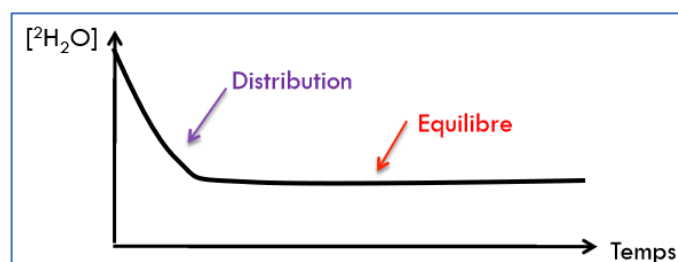
On peut ainsi trouver le volume de distribution à partir de la concentration et de la quantité injectée grâce à la formule suivante :

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

2) Les différents traceurs

| Volume mesuré | Eau totale | Eau extracellulaire | Plasmatique | Pulmonaire |
|---------------|--|-----------------------------------|----------------------------|------------|
| Traceur | $^2\text{H}_2\text{O}$ (= deutérium) $^3\text{H}_2\text{O}$ (= tritium) | ^{51}Cr -EDTA Inuline | ^{125}I -albumine | Hélium |

a) Traceur non éliminé



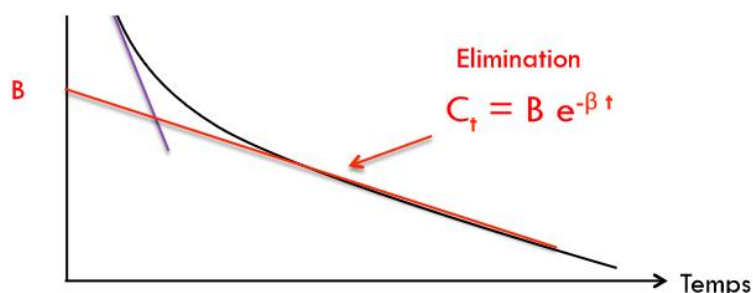
On observe 2 phases : Une phase de distribution suivie d'une phase d'équilibre, on utilise la concentration à l'équilibre pour le calcul du Vd

b) Traceur éliminé

On utilise la courbe d'élimination pour calculer le volume de distribution.

$$\text{Volume de distribution (litres)} = \frac{\text{Quantité injectée (mol)}}{B \text{ (mol/L)}}$$

Concentration
du traceur



Ici encore on observe 2 phases qui sont différentes : La première de distribution et la deuxième d'élimination. On utilise la courbe d'élimination pour le calcul de Vd, cependant elle débute en même temps que la distribution. Cela fait que le Vd sera toujours sous-estimé dans ce cas +++

II) La clairance

1) Clairance plasmatique rénale

La clairance est le volume de plasma totalement épuré d'une substance par unité de temps. Il s'agit d'un **débit ++**(ml/min) pour la mesurer on utilise l'EDTA qui est une molécule exogène

- Pour l'individu standard, la clairance plasmatique rénale est de **120 mL/min = 172,8 Litres/jour**.
- Le volume plasmatique est de : **3,5 L** (*volume plasmatique = poids corporel x 50 mL. Pour l'individu standard 50x70=3500 mL = 3,5L*)
- Les reins filtrent le plasma environ **50 fois par jour ++**

Remarque : Les reins filtrent 172,8 Litres/jour. Pourtant, le volume urinaire par jour est de moins de 2L. Les reins filtrent le plasma et en réabsorbent la majeure partie.

- **Créatinine**

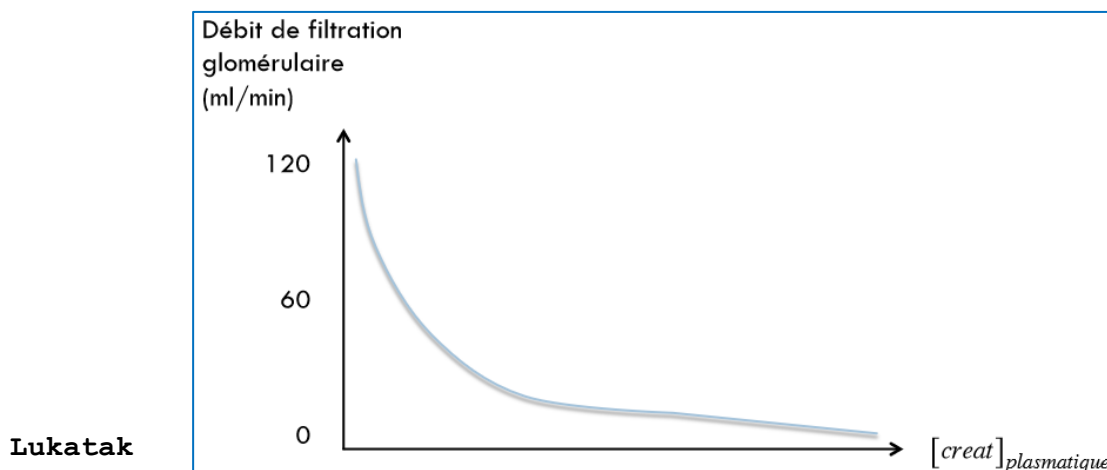
On va parler ici préférentiellement de **débit de filtration glomérulaire (DFG)**.

La créatinine est une molécule **endogène** provenant du métabolisme musculaire, **éliminée seulement par filtration rénale** (elle n'est pas réabsorbée).

$$[creat]_{urinaire} \times \text{débit urinaire} = [creat]_{plasmatique} \times \text{Clairance}_{creat}$$

$$\text{Clairance}_{creat} = \frac{[creat]_{urinaire} \times \text{débit urinaire}}{[creat]_{plasmatique}}$$

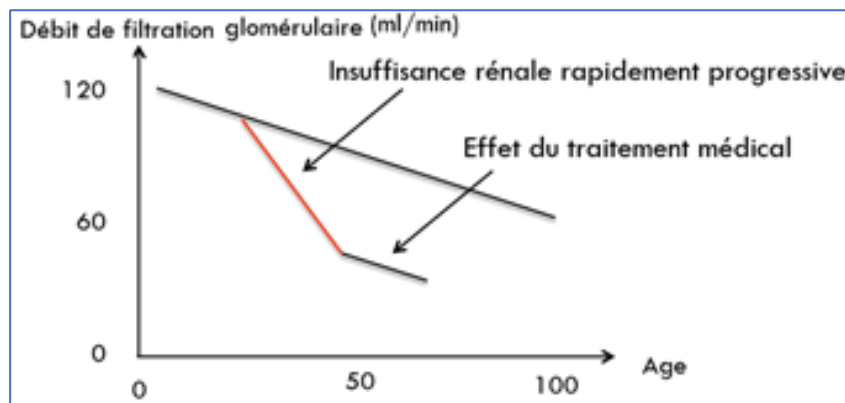
- La relation entre le débit de filtration glomérulaire et la concentration en créatinine n'est **pas linéaire** mais **exponentielle. ++**
- Une faible variation de la concentration en créatinine peut indiquer une importante perte de DFG



2) Insuffisance rénale = diminution du DFG

La concentration plasmatique de créatinine est **inversement proportionnelle** à la clairance de la créatinine et donc du DFG. Une variation même minime de la créatinine plasmatique peut signifier d'importantes conséquences sur le DFG, caractérisant l'insuffisance rénale.

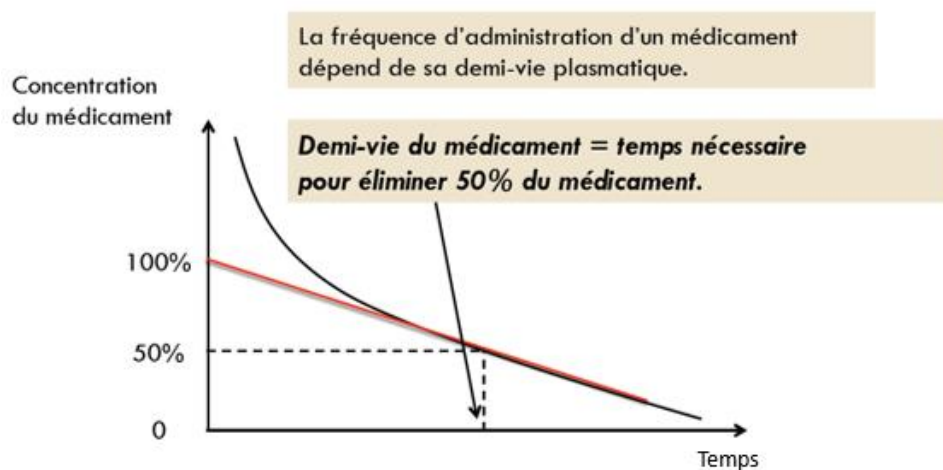
Le DFG diminue physiologiquement avec l'âge. Il diminue **rapidement en cas de maladie rénale ++**



Le traitement ne permet pas d'augmenter le DFG mais de ralentir la perte !

3) Clairance plasmatique et 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 posologie



4) Clairance et distribution d'oxygène

C'est le volume de sang totalement épuré d'O₂ par un organe et par unité de temps.

C'est une **mesure de la consommation d'O₂** par les tissus.

| En conditions basales | Clairance de l'oxygène (cm ³ /min/100g de tissu) |
|-------------------------------|--|
| Cœur | 7 |
| Cerveau | 3,2 |
| Reins | 5,5 |
| Intestin et appareil digestif | 3 |
| Muscle et peau | 0,15 |
| Poumons | -39 (Apport d'O₂ au sang) |

Les différents organes ont une clairance positive car ils extraient de l'oxygène à partir du sang. En revanche au niveau du poumon elle est négative car le poumon « apporte » l'oxygène au sang !

III) Débit cardiaque

1) Circulation sanguine et cycle cardiaque : définitions

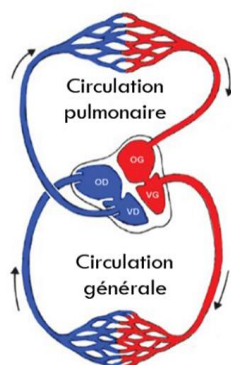
Il représente la mesure de la quantité de sang que le cœur expulse à chaque contraction, sur un temps donné.

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

Le **cœur** est une **pompe** qui propulse le sang dans l'organisme.

La **systole** désigne la **contraction** des fibres musculaires cardiaques;

La **diastole** désigne le **relâchement** des fibres musculaires cardiaques.



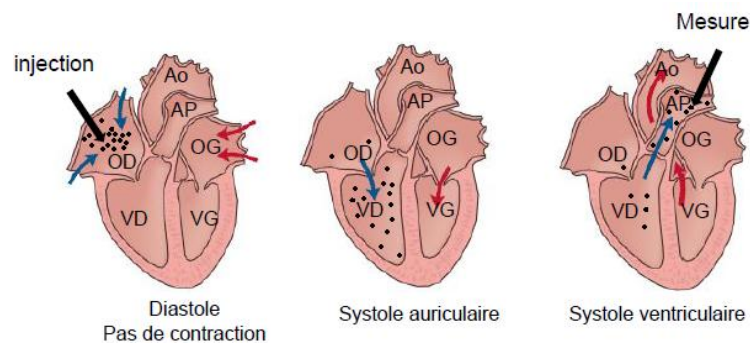
$$\text{Débit cardiaque} = \frac{\text{pression VD} - \text{pression OG}}{\text{Résistance}_{\text{circ pulmonaire}}}$$



Ecoulement laminaire prédominant

$$\text{Débit cardiaque} = \frac{\text{pression VG} - \text{pression OD}}{\text{Résistance}_{\text{circ générale}}}$$

2) Mesure du débit cardiaque par dilution



- 1) **Injection** : en **diastole**, dans l'oreillette droite.
- 2) **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.
- 3) **Mesure** : en **systole ventriculaire** dans l'artère pulmonaire.

La traceur est dans un circuit fermé, donc il va revenir au site de mesure plusieurs fois, jusqu'à ce qu'il finisse par se diluer dans la totalité du plasma. On obtiendra alors une concentration d'équilibre. Le traceur **n'est pas éliminé** de la circulation. La mesure se fait en temps réel.

La concentration du traceur au site de mesure est inversement proportionnelle au débit cardiaque ++

3) Insuffisance cardiaque et débit sanguin par organe

Le débit cardiaque normal est de **5L par minute** et est **constant** au repos. Le débit sanguin est le **même** qu'il s'agisse de la **circulation pulmonaire** ou de la **circulation systémique**. Il peut **augmenter lors de l'effort**.

L'**insuffisance cardiaque** est définie par la **baisse du débit cardiaque**. Le symptôme principal est la **dyspnée** (= sensation d'essoufflement)

Certains organes comme les **poumons**, le **cerveau** et les **reins** possèdent une **perfusion sanguine privilégiée**, c'est-à-dire qu'elle est constante en toutes circonstances. ++

La perfusion des autres organes varie selon leurs besoins et activité. (Par exemple le système digestif est plus perfusé lors de la digestion que lors d'un exercice physique)

IV) Volumes et débits pulmonaires

ATTENTION : Ventilation et respiration sont à bien distinguer !!

Ventilation : Mobilisation des volumes pulmonaires (inspirations et expiration).

Respiration : réaction chimique d'oxydation des nutriments permettant la création d'énergie.

La ventilation est du ressort de la mécanique. En revanche, la respiration est du ressort de la biochimie.

Lors d'une inspiration, une traction s'exerce sur la cage thoracique par contraction des muscles squelettiques et permet l'expansion des alvéoles pulmonaires.

Variation du volume de la cage thoracique = Variation du volume d'air dans les alvéoles

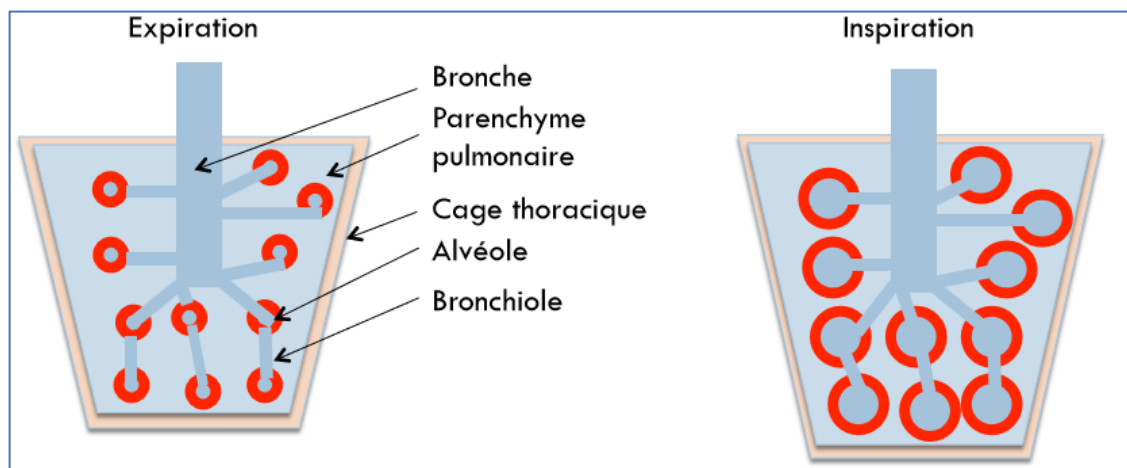
1) Relation pression – volume des alvéoles pulmonaires

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

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

Pour ouvrir les alvéoles, il faut une pression importante, et plus elles s'ouvrent, plus la pression nécessaire pour continuer à les ouvrir diminue. Cette pression est inversement proportionnelle au rayon alvéolaire.

Exemple du ballon : au début on ressent une forte résistance puis plus le ballon est gonflé, plus c'est facile de souffler dedans.

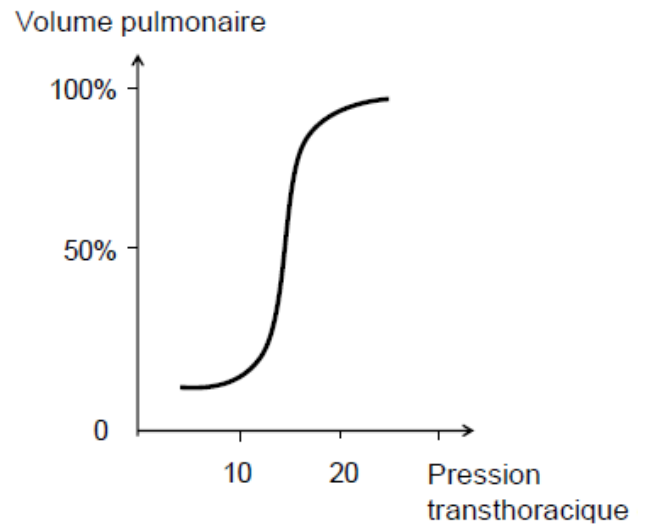


- Mesure expérimentale de la relation pression-volume

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.

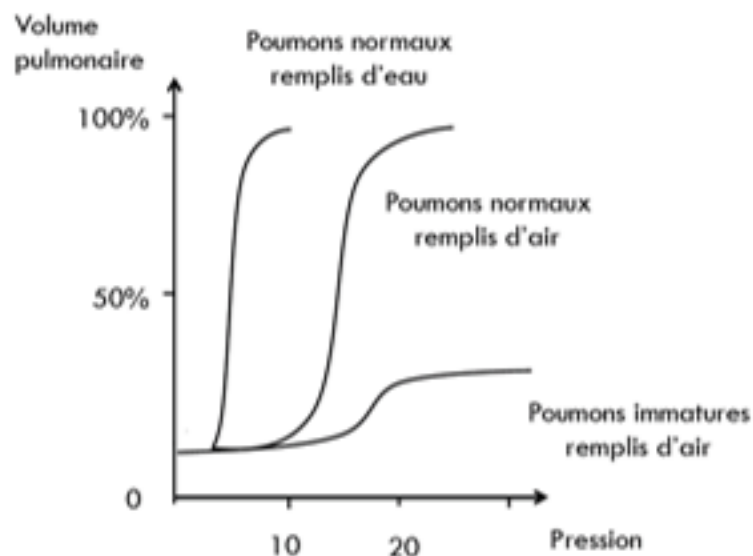
La loi de Laplace ne prédit pas la relation pression-volume pulmonaire.++



- En remplaçant l'air par de l'eau (= suppression expérimentale de l'interface air-sang), 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**.

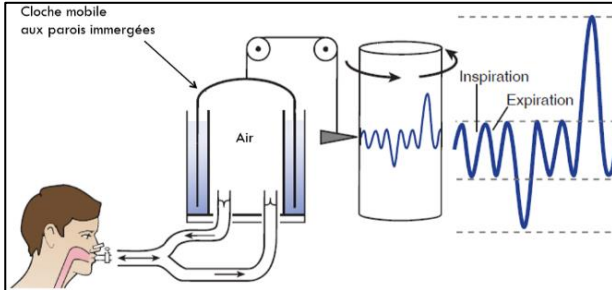


- Le surfactant

Il explique la forme de la courbe pression-volume : **le surfactant est une substance tensioactive qui diminue la tension superficielle** quand le volume alvéolaire augmente. C'est une **lipoprotéine** fabriquée par les poumons. **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.

2) Mesure des paramètres ventilatoires

Spiromètre = système fermé en relation avec les poumons permettant de mesurer les volumes et mouvement d'air. Il est composé d'une cloche mobile qui plonge dans des colonnes d'eau.



Tout volume d'air qui change fait monter ou descendre la cloche.

Cette cloche est reliée à un traceur (*un stylo*) qui permet de retranscrire les variations de volumes d'air, sur des colonnes rotatives.

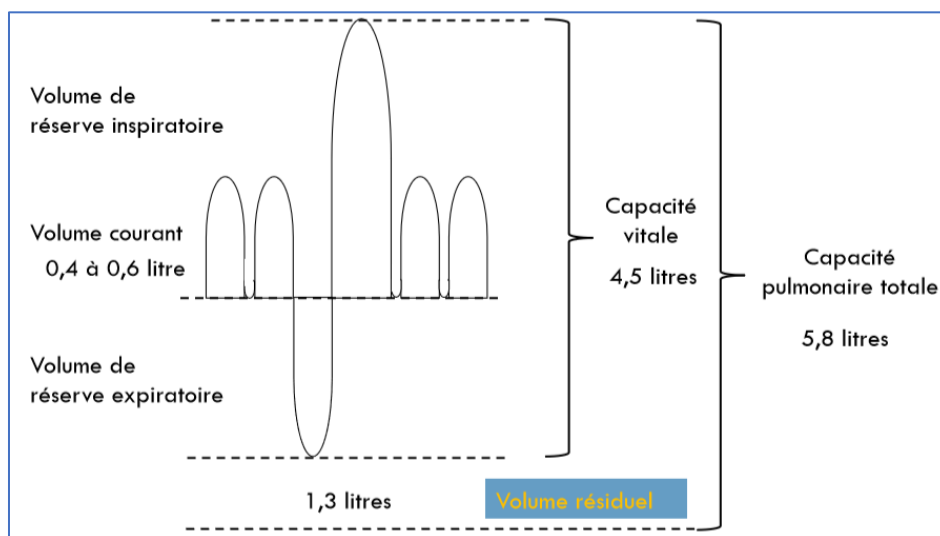
Les volumes pulmonaires : ++

- **Volume courant** : volume mobilisé à chaque inspiration ou expiration (*env. ½ Litre d'air*).
- **Volume de réserve inspiratoire/expiratoire** : volume mobilisé, en plus du volume courant, lors d'une inspiration profonde ou d'une expiration profonde.
- **Capacité vitale** : capacité d'expansion des alvéoles.
- **Capacité pulmonaire totale** : volume d'air total à l'intérieur des alvéoles, des bronches et de la trachée.
- **Volume résiduel** : volume des bronches et bronchioles. Il s'agit du volume d'air qui n'est pas en contact avec le sang. Pour les échanges gazeux, c'est un **espace mort**.

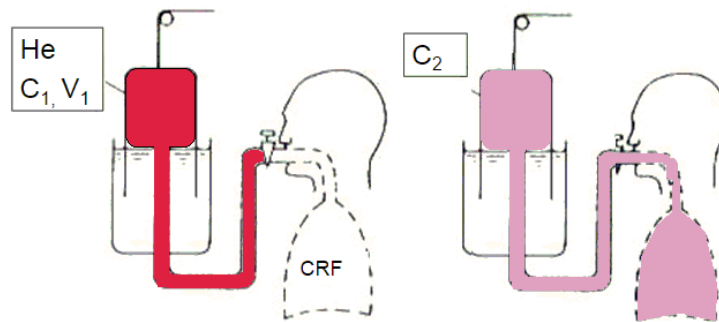
->Les bronches et bronchioles ne se ferment pas à l'expiration

Capacité vitale (CV) = Volume courant + Volume de réserve inspiratoire + Volume de réserve expiratoire.

Capacité pulmonaire totale (CPT) = Capacité vitale + Volume résiduel



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



- 1) **Injection** d'hélium dans la cloche (V_{d1}) alors que la personne ne respire pas encore ; on a une concentration C_1 .
- 2) **Ventilation** de la personne et obtention d'une **concentration d'équilibre C_2** : on a un volume V_{d2} calculé grâce à la concentration

3) Mesure des paramètres respiratoires

Pour connaître la quantité de gaz consommé ou produit, on élimine le CO_2 grâce à de la **chaux sodée**. La chaux sodée placée sur le circuit d'expiration du spiromètre réagit avec le CO_2 .

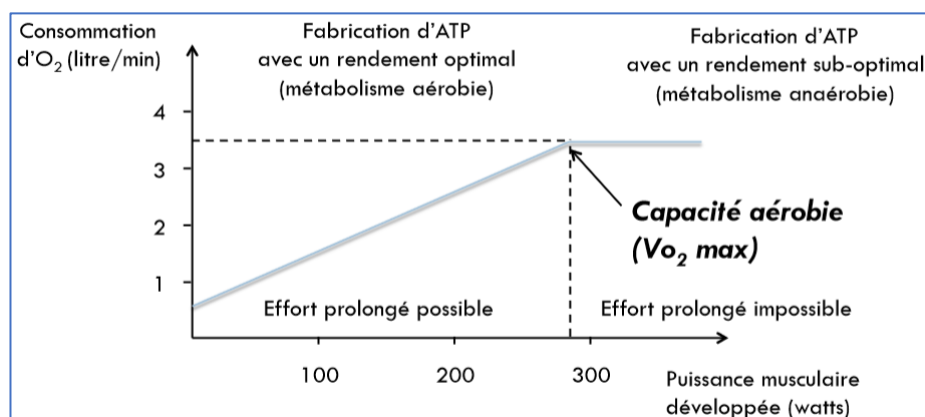
Mesure de la consommation d' O_2 : En piégeant le CO_2 , le volume d'air diminue proportionnellement à la consommation d'oxygène.

Mesure de la production de CO_2 : En comparant les variations de volume avant et après avoir piéger le CO_2 , on mesure la production de CO_2 .

- **Puissance musculaire et consommation d'oxygène :**

Capacité aérobie = consommation maximale d' O_2 ($VO_2 \max$). Elle est obtenue à l'effort.

La consommation d' O_2 augmente en rapport avec la puissance musculaire développée, puis elle va plafonner : on arrive à la consommation d'oxygène maximale.



L'effort prolongé est possible avant le plafond parce qu'on a un métabolisme aérobie, donc on fabrique de l'ATP avec un rendement optimal.

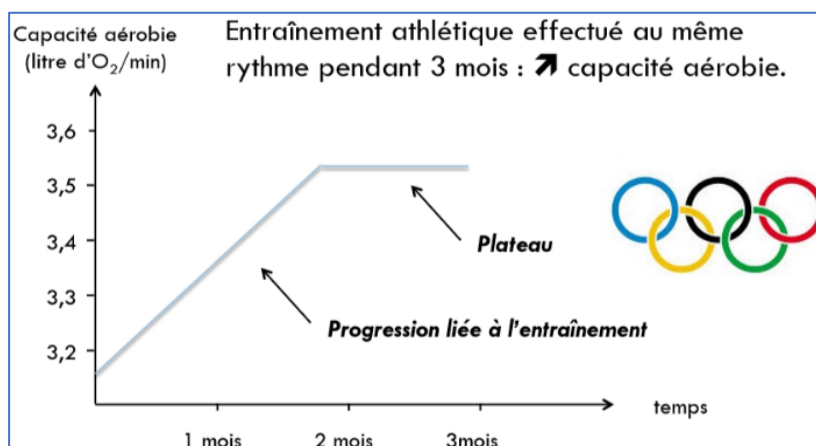
Au-delà de cette consommation maximale d'O₂ (VO₂ max), l'effort prolongé est impossible car on a un métabolisme anaérobie, on fabrique de l'ATP avec un rendement sub-optimal. Le métabolisme anaérobie produit des déchets tels que l'acide lactique, responsable de l'épuisement musculaire.

La VO₂ max peut évoluer dans le temps (*elle peut augmenter avec l'entraînement ou diminuer à cause d'une maladie ou d'un manque d'activité sportive*).

La VO₂ max est surtout mesurée chez les athlètes et chez les malades.

4) Effet de l'entraînement sur la capacité aérobie des athlètes

Pour les athlètes, un programme d'entraînement s'effectue sur 3 mois. Durant ces 3 mois, leur capacité aérobie augmente (car leur capacité d'extraction de l'oxygène au niveau des tissus s'améliore). Arrivé au 3^{ème} mois, l'athlète atteint une phase de plateau et sa VO₂ max ne peut plus augmenter, ils démarrent alors leur compétition.



V) Volumes, débits et surfaces d'échanges

Débit sanguin : **Augmentation x5** (7 200 à 36 000 L/jour). Sa diminution définit l'insuffisance cardiaque.

Débit pulmonaire : **Augmentation x15** (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.

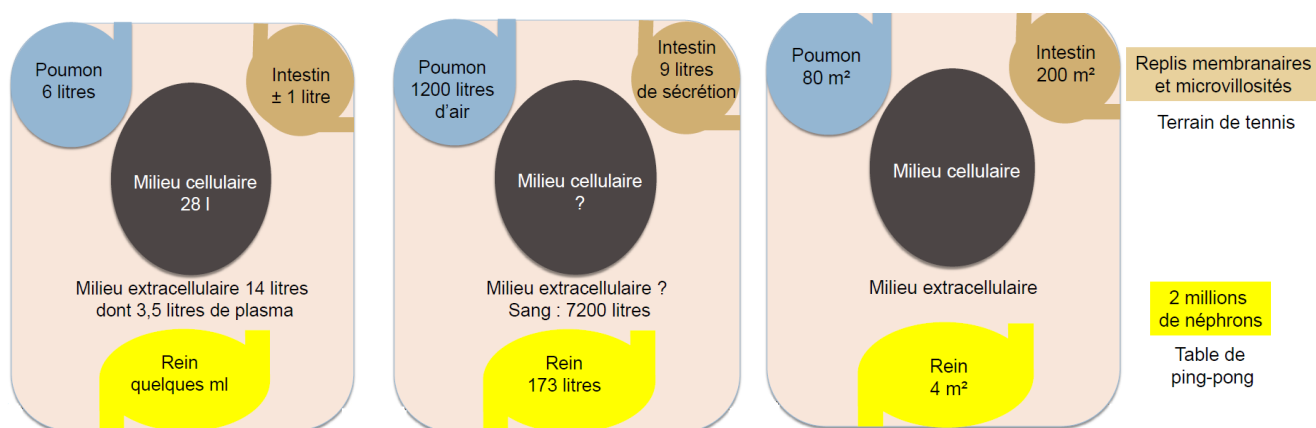
Le **débit**, le **temps de contact** et la **surface d'échange** sont différents entre l'intestin et le rein.

Pour intestin : Débit faible, temps de contact élevé, grande surface d'échange.

Pour le rein : Débit élevé, temps de contact court, petite surface d'échange.

Malabsorption intestinale : accélération du transit (diarrhée), réduction chirurgicale de la surface (cancer, maladies inflammatoires).

Insuffisance rénale : diminution du débit de filtration glomérulaire (perte de néphrons), diminution de la surface d'échange plasma/ultrafiltrat. La composition du plasma est alors compromise.



Fin de cette première fiche ! Les points importants y sont et certains passages moins importants ont été occultés, en cas de besoin n'hésitez pas à aller voir la diapo pour la compléter. Maintenant place aux dédits 😊 !!

A mes fillotes pour commencer : Eliane, Elisa, Jean, Nawel, Mahssa et Laurina !

A mes cotuts Kairématome et Messody qui sont encore plus le feu que dracaufeu <3

A tous les p1 ! Donnez tout et apprenez intelligemment (sauf en SSH c'est pas possible désolé).

Dédicace enfin à tous mes amis, « Ichi-go ichi-e » (#LisezDesLivres) **PS : Damien c'est toi le chauve grrr**

