

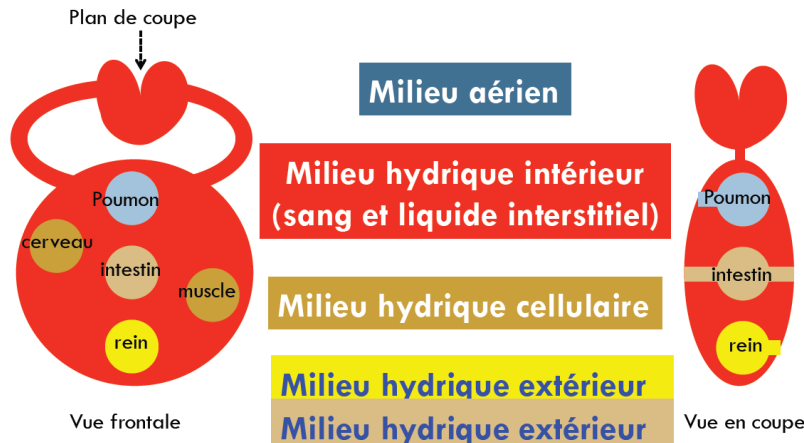
Valeurs utilisées pour l'individu standard (homme ou femme) :

- taille : 1m60
- poids : 70 kg
- surface corporelle : 1,73 m²

LES COMPARTIMENTS DE L'ORGANISME



L'organisme est séparé en différents compartiments :



Il existe différentes méthodes pour mesurer les volumes de ces compartiments.

Dans l'organisme, les fluides aériens et liquidiens se distribuent en fonction de la **pression hydrostatique**.

Pression hydrostatique = pression exercée par la gravité, les muscles et les forces élastiques des tissus.

I – Volume de distribution d'un traceur

A – Comment calculer les volumes des compartiments liquidiens à l'aide d'un traceur ?

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

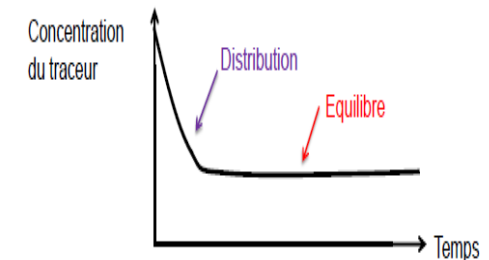
- Volume extracellulaire
- Volume pulmonaire
- Volume d'eau total
- Volume plasmatique

Il existe 2 cas de figure :

Le traceur n'est pas éliminé

On a :

- Une **phase de distribution initiale** à partir du moment où l'on injecte le traceur (C_{max})
- Une **phase d'équilibre** où la concentration du traceur est stable



On calcule le **volume de distribution** :

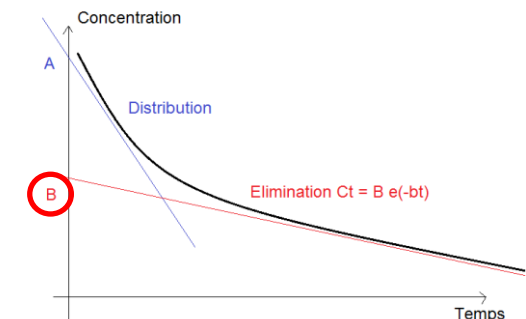
$$Vd (L) = \frac{\text{Quantité injectée (mol ou becquerel)}}{C \text{ équilibre (mol/L ou becquerel/L)}}$$

Le traceur est éliminé régulièrement

Découpage **artificiel** en 2 phases :

- Phase de **distribution**
- Phase d'**élimination**

En réalité ces 2 phases sont **simultanées** : **l'élimination commence en même temps que la distribution ++**



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

/ ! \ Cette modélisation **sous-estime systématiquement** le volume de distribution réel puisqu'elle néglige l'élimination survenant pendant la phase de distribution du traceur ++

B – Les différents traceurs

Volume d'eau total	Volume plasmatique	Volume extracellulaire	Volume pulmonaire
$^2\text{H}_2\text{O}$ (deutérium) $^3\text{H}_2\text{O}$ (tritium)	^{125}I -albumine	^{51}Cr -EDTA Inuline	Hélium

C – Mesures des compartiments liquidiens**a) Volume d'eau total**

On injecte du deutérium (ou tritium) et on obtient un équilibre de concentration assez rapidement (traceur squestre), nous permettant de calculer le volume de distribution (cf. calcul)

Ces mesures nous ont permis de voir que le volume d'eau total varie en fonction de l'âge et du sexe :

- ♥ **Homme adulte** : 60% du poids corporel
- ♥ **Femme adulte** : 50% du poids corporel (car + de graisse)
- ♥ **Nourrisson** : 75% du poids corporel (car métabolisme actif ++)

Pour un homme adulte, le volume d'eau total est alors de **42 L**.

b) Volume extracellulaire

On injecte de l'EDTA (=molécule exogène éliminé spécifiquement par les reins) couplé à du Chrome radioactif. Ici le traceur est donc éliminé, on utilise alors la 2^{ème} partie de la courbe.

Ce volume va nous permettre, sachant le volume d'eau total, de calculer le volume cellulaire :

$$\text{Volume cellulaire} = \text{Volume d'eau total} - \text{Volume extracellulaire}$$

Volume cellulaire 28 Litres 2/3 du volume d'eau total	Volume extracellulaire 14 Litres 1/3 du volume d'eau total
---	--

c) Volume plasmatique

Le sang est la partie circulante du volume extracellulaire, composé de cellules et de liquide.

2 façons de prélever du sang :

Prélèvement dans un tube sec	Prélèvement dans un tube avec inhibiteur de la coagulation
Le sang va coaguler et on retrouve : <ul style="list-style-type: none"> - Un caillot contenant les cellules et les protéines de la coagulation - Un sérum 	Les cellules vont sédimenter, on va observer : <ul style="list-style-type: none"> - Les hématies au fond - Des leucocytes et plaquettes en surnageant - Le plasma contenant des protéines

$$\text{Hématocrite} = \frac{\text{Vol globulaire}}{\text{Vol sanguin}} = 0,45$$

On injecte de l'albumine (protéine plasmatique) marquée, on mesure la concentration à l'équilibre (tjs même calcul quand le traceur est séquestre).

Le volume plasmatique représente **50 ml/kg** de poids corporel, soit **3,5 L** chez l'homme adulte.

d) Volume sanguin

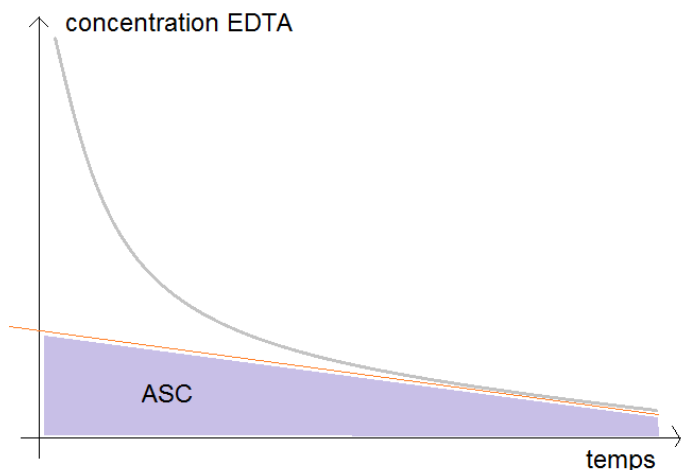
On détermine le volume sanguin grâce à partir du volume plasmatique et de l'hématocrite :

$$\text{Vol sanguin} = \frac{\text{Vol plasmatique}}{[1 - \text{Hématocrite}]}$$

II – Clairance plasmatique

La clairance est le volume de plasma totalement épuré d'une substance par unité de temps. Il s'agit d'un débit d'épuration (ml/min) et non d'un volume ++

A – Clairance plasmatique rénale et insuffisance rénale



On injecte de l'EDTA et on obtient une concentration max avec une phase de distribution et une phase d'élimination.

a) 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.**

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

Voilà une idée du fonctionnement du rein : **Cl = 120 mL/min = 172,8 L/j**

Comme il y a 3,5 L de plasma, on peut calculer que **les reins filtrent 50 fois le plasma**, et comme ils sécrètent moins de 2L d'urine, on sait **qu'ils réabsorbent la majorité de ce qu'ils filtrent.**

b) Créatinine

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

La créatinine est **endogène** et **éliminée seulement par filtration rénale** (elle n'est pas réabsorbée)

$$DFG * [\text{créat plasma}] = [\text{créat urinaire}] * \text{débit urinaire}$$

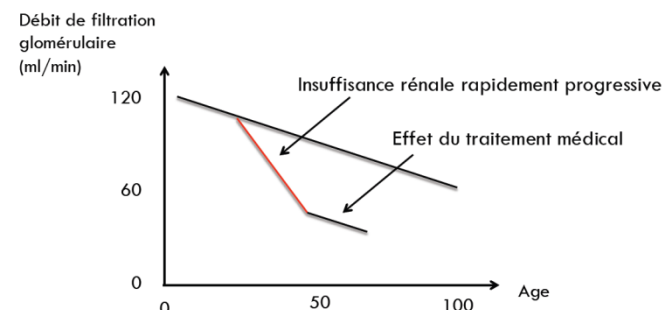
La créatinine est une molécule venant du métabolisme musculaire, sa production est donc **proportionnelle à la masse musculaire.**

Le **débit de créatinine urinaire** est **constant** chez un individu en bonne santé.

$$DFG = \frac{[\text{créat urinaire}] * \text{débit urinaire}}{[\text{créat plasmatique}]}$$

c) Insuffisance rénale

La concentration plasmatique de créatinine est **inversement proportionnelle** au débit de filtration glomérulaire. Une variation même minime de la créat plasmatique peut signifier d'importantes conséquences sur le DFG, caractérisant l'insuffisant rénal.



Pente de détérioration du DFG lié à l'âge, accentuée en cas de maladie rénale.

B – 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 la **fréquence d'administration** du médicament.

C – Clairance et distribution d'oxygène

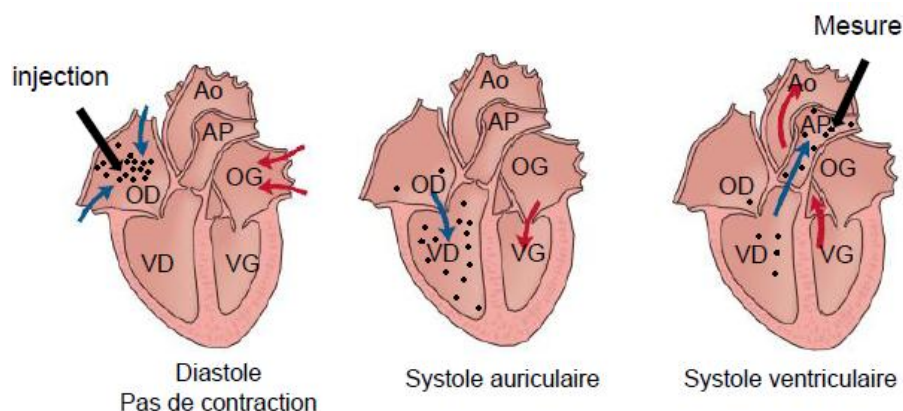
C'est le **volume de sang épuré d'oxygène par minute et par organe**, ou la mesure de la consommation d'O₂ par les tissus. Ici on ne prend pas le plasma seulement car l'oxygène est transporté à 95% par les globules rouges. La seule clairance négative est pour le poumon, puis qu'il apporte l'O₂ au sang.

III – 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



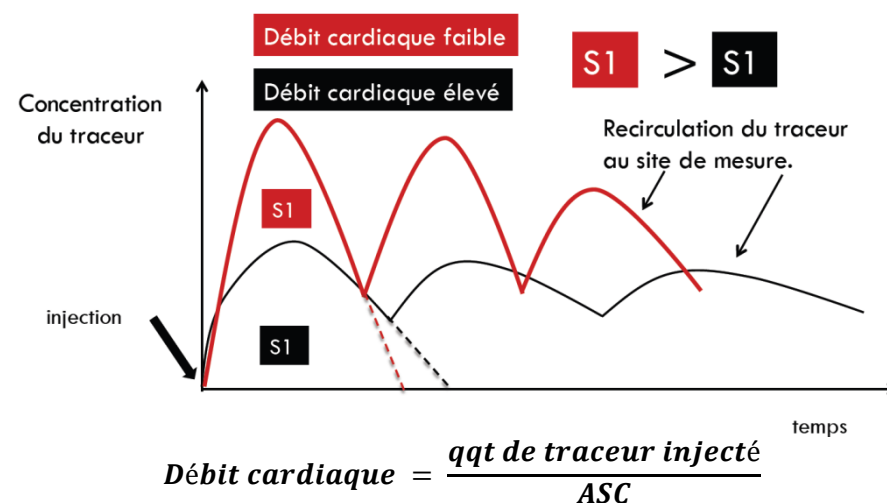
♥ **Injection** : en **diastole**, dans l'oreillette droite.

♥ **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.

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, et on obtiendra alors une concentration d'équilibre.

La concentration du traceur est inversement proportionnelle au débit cardiaque ++



B – Particularités du débit cardiaque

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

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** possèdent une **perfusion sanguine privilégiée**, c'ad qu'elle est constante quel que soit les circonstances. La perfusion des autres organes varie selon leurs besoins et activité.

IV – Volumes et débits 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 **80m²** de surface de contact air-sang au travers des alvéoles.

A – Relation pression-volume des alvéoles pulmonaire

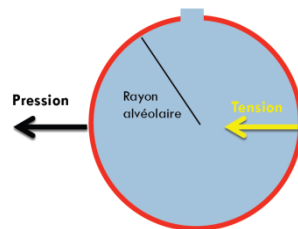
La **loi de Laplace** donne la relation entre pression intra-alvéolaire et tension de surface :

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

a) 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.

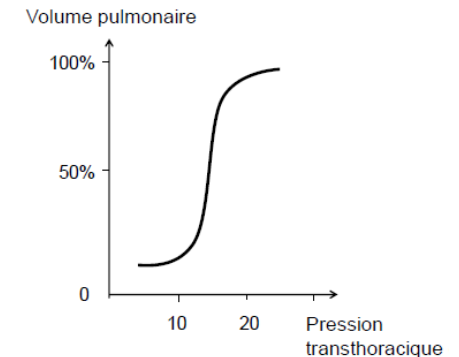
Exemple du ballon : au début on galère à souffler fort puis plus le ballon est gonflé, plus c'est facile de souffler dedans.



b) 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 prédit pas la relation pression-volume pulmonaire.**



c) 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.

d) Le surfactant

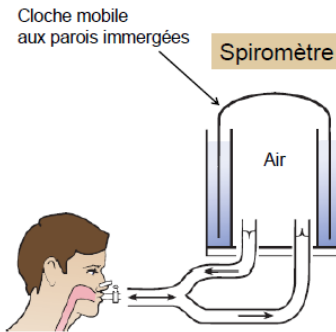
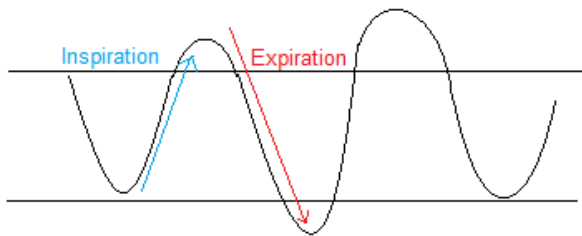
Il explique la forme de la courbe pression-volume : **le surfactant est une substance tensioactive qui annule la tension superficielle** quand le volume alvéolaire augmente. Il faut donc peu de pression pour une grande variation de volume. Les nouveau-nés prématurés ne fabriquent pas encore cette substance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

a) Les volumes pulmonaires obtenus par spirométrie

♥ **Volume courant** : volume mobilisé au repos, 14 fois par minute. Il vaut **0,5 L** environ.

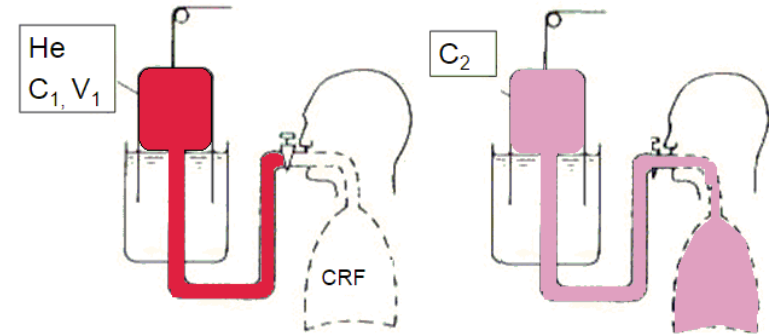
♥ **Volume de réserve inspiratoire** : volume mobilisé en inspiration maximale.

♥ **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 **4,5 L** environ.

b) 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 (**Vd₁**) alors que la personne ne respire pas encore ; on a une concentration **C1**.

→ **Ventilation** de la personne et obtention d'une **concentration d'équilibre C2** : on a un volume **Vd₂** calculé grâce à la concentration obtenue.

A l'équilibre de concentration

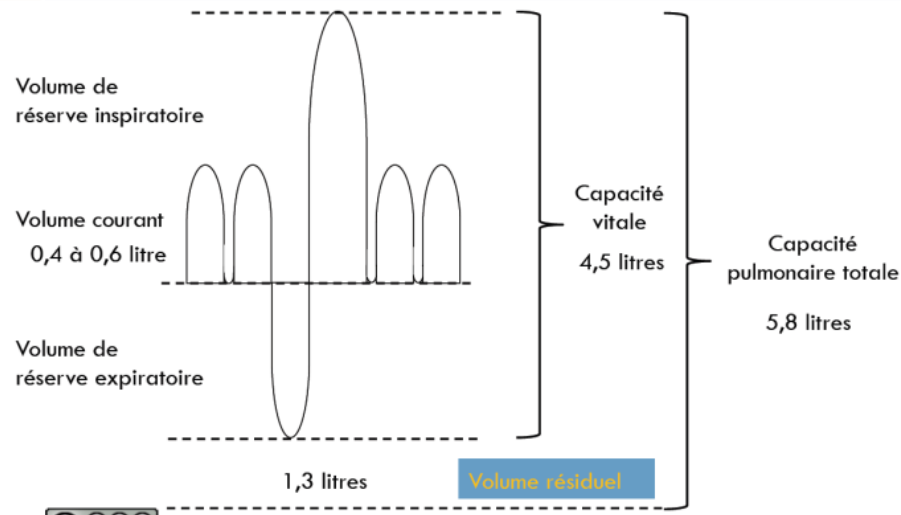
$$[\text{Hélium}]_1 \times Vd_1 = [\text{Hélium}]_2 \times Vd_2$$

$$Vd_2 = \frac{[\text{Hélium}]_1 \times Vd_1}{[\text{Hélium}]_2}$$

$$Vd_2 - Vd_1 = \text{capacité pulmonaire totale} = 5,8 \text{ L}$$

$$4,5 \text{ L} < 5,8 \text{ L}$$

La différence entre la capacité vitale et la capacité pulmonaire totale (**1,3 L**) correspond au **volume résiduel qui est 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.**



c) Insuffisance respiratoire

Elle est définie par la **diminution des échanges gazeux 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'O₂ ou la production de CO₂.

→ Consommation d'O₂ : diminution du volume sous la cloche

→ Production du CO₂ : augmentation du volume sous la cloche.

a) Mesure de la consommation d'oxygène

Pour mesurer le volume d'O₂ consommé il faut piéger le CO₂ produit. Pour cela, on utilise un piège à chaux. **Le volume sous la cloche varie proportionnellement à la consommation d'O₂.**

Pour mesurer le volume de CO₂ produit, on laisse la personne respirer, on mesure le volume obtenu, puis on rajoute le piège à CO₂, on remeure le volume et la différence entre les deux correspond au CO₂ produit.

Nucléoline

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.

b) Respiration cellulaire

Elle désigne **l'utilisation d'oxygène par les CRM pour la production d'ATP**. Des molécules organiques sont consommées et du CO₂ est rejeté.

Consommation d'oxygène

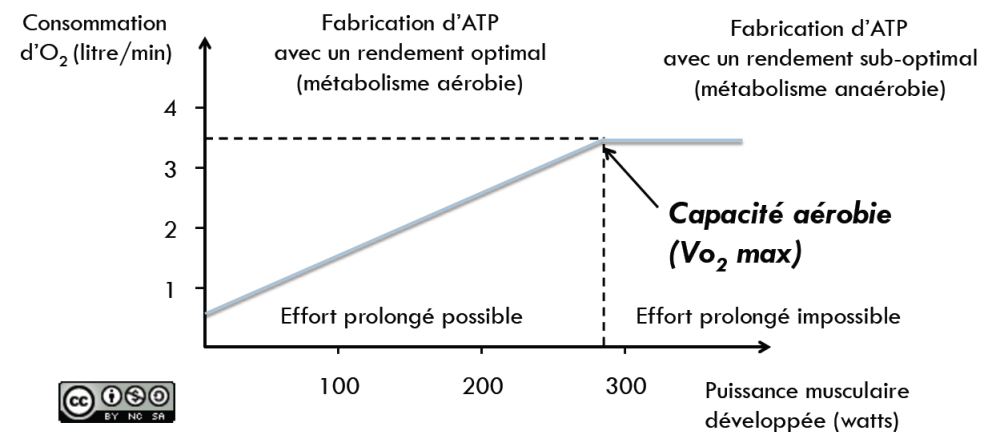
250 ml/min

Production de gaz carbonique

200 ml/min

c) Puissance musculaire et consommation d'oxygène

La consommation d'oxygène maximale est mesurée chez les athlètes pour évaluer leur **capacité aérobie** VO₂ max.



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

d) Oxygénation tissulaire et élimination de CO₂

Q sanguin : **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.

e) Absorption digestive et élimination rénale

× **Absorption digestive** : faible débit **MAIS** temps de contact élevé et **grande surface d'échange** (200 m²). L'accélération du transit ou la réduction de la surface définit la malabsorption intestinale.

× **Élimination rénale** : temps de contact court et **petite surface d'échange** (4 m²) **MAIS débit élevé**. La diminution du débit de filtration glomérulaire ou la réduction de la surface définit l'insuffisance rénale.

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 m²</p> <p>Intestin 200 m²</p> <p>Milieu cellulaire</p> <p>Milieu extracellulaire</p> <p>Rein 4 m²</p> <p>Replis membranaires et microvillosités</p> <p>300 millions d'alvéoles Terrain de badminton</p> <p>2 millions de néphrons Table de ping-pong</p>