

Les compartiments de l'organisme



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

SOMMAIRE

- **I – Volume de distribution d'un traceur**

- A – Comment calculer les volumes des compartiments liquidiens à l'aide d'un traceur ?
- B – Les différents traceurs
- C – Mesure des compartiments liquidiens
 - a) Volume d'eau total
 - b) Volume extracellulaire
 - c) Volume plasmatique
 - d) Volume sanguin

II – Clairance plasmatique

- A – Clairance plasmatique rénale et insuffisance rénale
 - a) EDTA
 - b) Créatinine
 - c) Insuffisance rénale
- B – Clairance plasmatique d'un médicament
- C – Clairance et distribution d'oxygène

III – Débit cardiaque

- A – Circulation sanguine et cycle cardiaque : définitions
- B – Mesure du débit cardiaque par dilution
- C – Insuffisance cardiaque et débit sanguin par organe

IV – Volumes et débits aériens pulmonaires

- A – Relation pression-volume des alvéoles pulmonaires
 - a) Conséquences
 - b) Mesure expérimentale
 - c) Le problème ?
 - d) Le surfactant
- B – Mesure des paramètres ventilatoires
 - a) Les volumes pulmonaires obtenus par spirométrie
 - b) Mesure du volume pulmonaire par dilution d'hélium
 - c) Insuffisance respiratoire
- C – Mesure des paramètres respiratoires
 - a) Mesure de la consommation d'oxygène
 - b) Respiration cellulaire
 - c) Puissance musculaire et production d'oxygène
 - d) Oxygénation tissulaire et élimination de CO₂

Valeurs numériques du cours

- Les valeurs absolues sont toujours celles d'un individu standard :



Taille : 1,60m

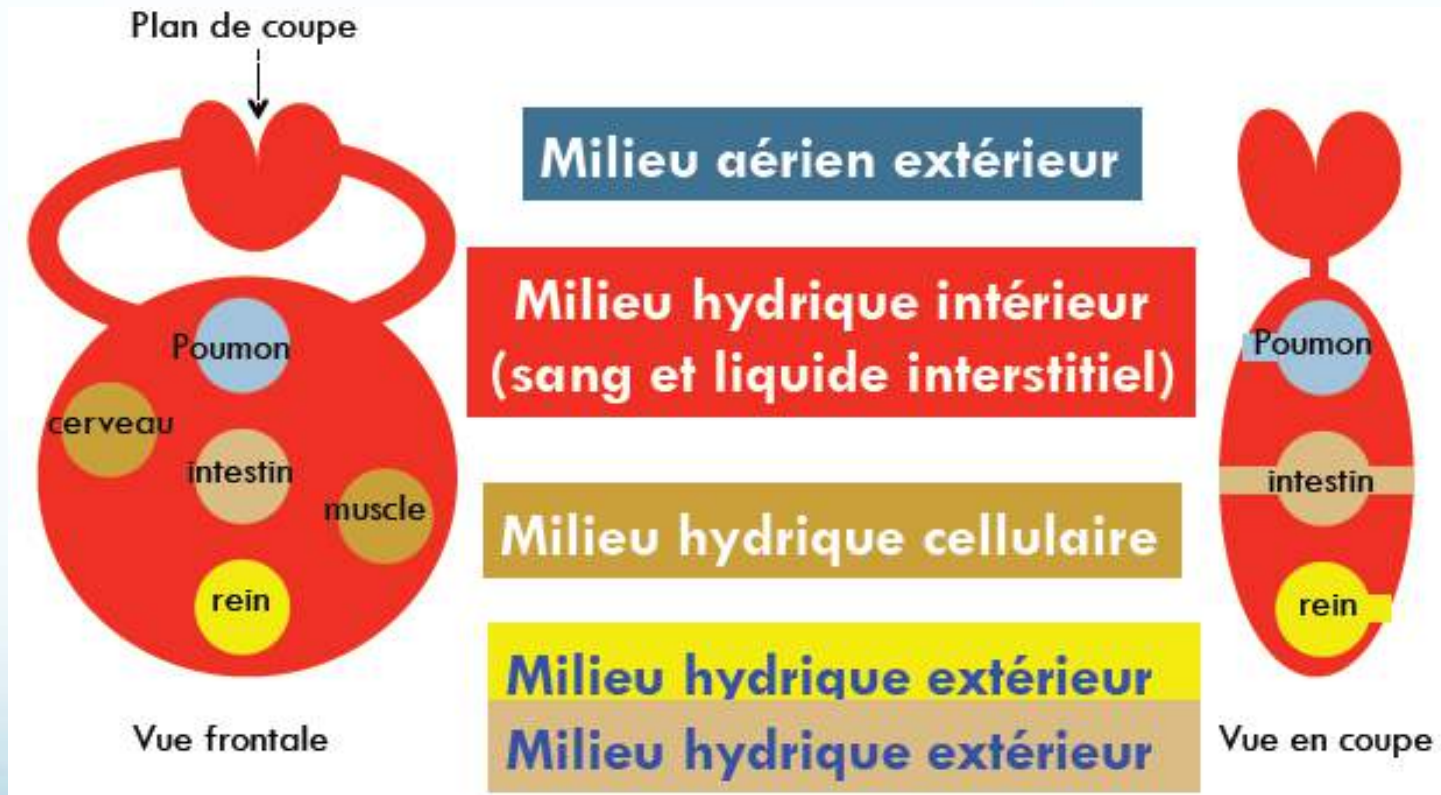
Poids : 70 kg

Surface corporelle : 1,73m²

Pour les femmes comme pour les hommes.

- Les valeurs à mémoriser seront signalées oralement en cours.

Les différents compartiments



L'ORGANISME À GRANDE ÉCHELLE

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

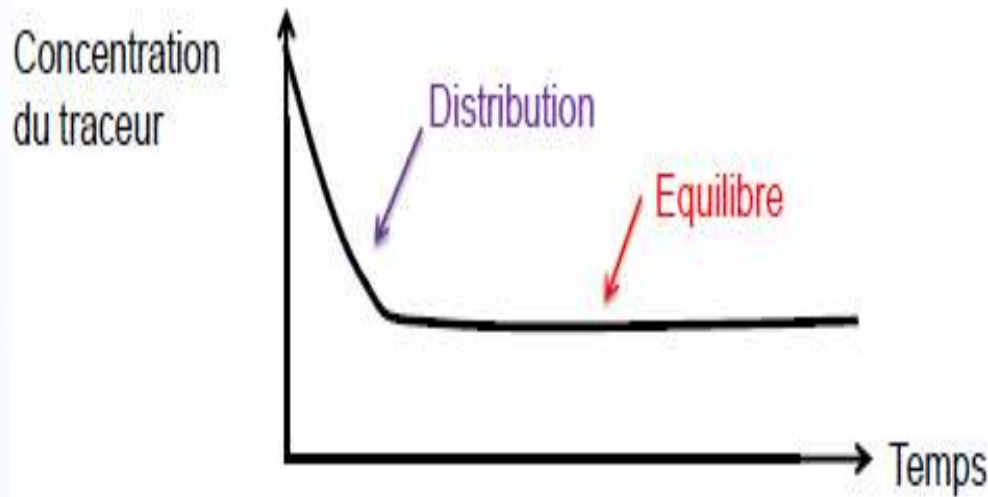
- L'air et le **sang** circulent sous l'effet de la pression hydrostatique. *C'est donc elle qui régit la distribution des fluides liquidiens et aériens dans l'organisme.*
- Les volumes **liquidiens** et **aériens** sont mesurables avec des **traceurs moléculaires**.
- Les volumes **aériens** sont ouverts sur l'extérieur et sont mesurables par le déplacement de molécules d'air à l'extérieur de l'organisme.

d'un traceur

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

- Le **volume de distribution** ($= V_d$) d'un traceur permet de mesurer les volumes suivants :
 - Volume extracellulaire (EC)
 - Volume d'eau totale
 - Volume pulmonaire
 - Volume plasmatique
- Principe de la mesure :
 - 1) On injecte un traceur spécifique au compartiment voulu
 - 2) On mesure l'évolution de sa concentration
- **2 situations :**
 - Le traceur est **séquestré** dans le V_d
 - Le traceur est **éliminé** du V_d

éliminé.

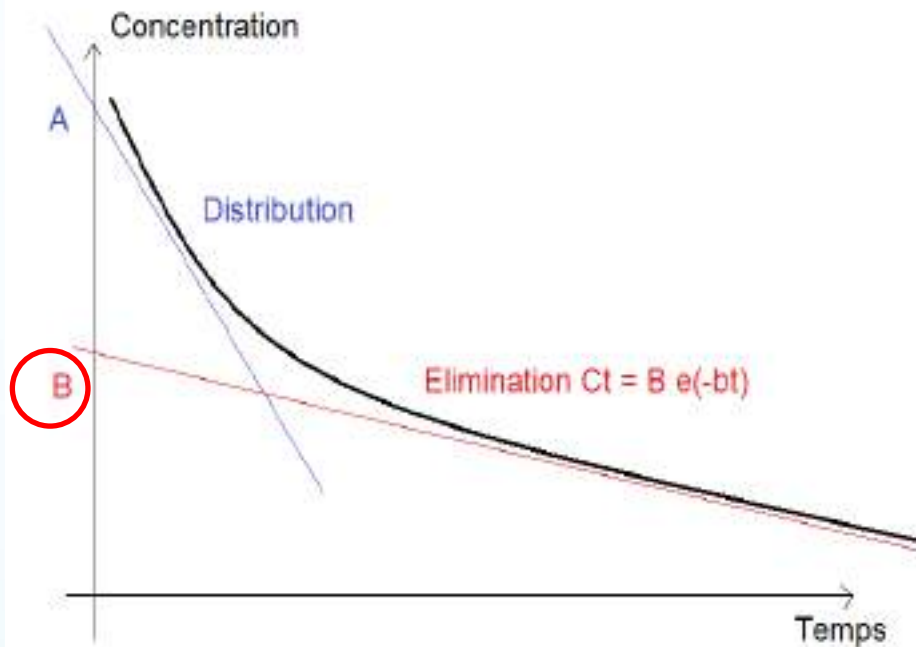


- 1. Une phase de **distribution** initiale à partir du moment où l'on injecte le traceur (C_{\max})
- 2. Une phase d'**équilibre** où la concentration du traceur est stable



$$\text{Volume de distribution (Litre)} = \frac{\text{Quantité injectée (mole ou béquerel)}}{\text{Concentration mesurée à l'équilibre (mol/L ou Bq/L)}}$$

2. Le traceur est éliminé à vitesse constante



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 ++

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

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

Cette modélisation SOUS-ESTIME systématiquement le Vd

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



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

C) Mesure des compartiments liquidiens

a) Volume d'eau total

- On injecte du deutérium (ou tritium) et on obtient un équilibre de concentration assez rapidement (traceur séquestré), 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 :

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

→ Pour un homme adulte, le volume d'eau total est alors de **42 L** ($60\% \times 70L$)

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

b) Volume extracellulaire

- On injecte de l'EDTA (=molécule **exogène** éliminée 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 :

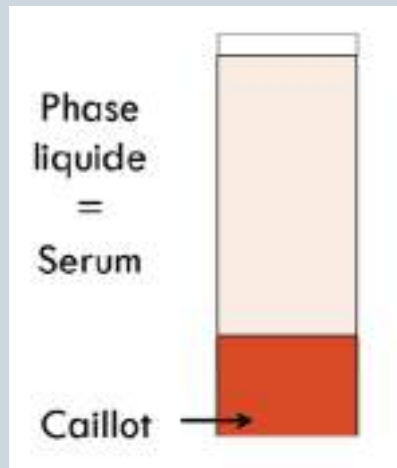
Volume **cellulaire** = Volume d'eau total – Volume **extracellulaire**

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

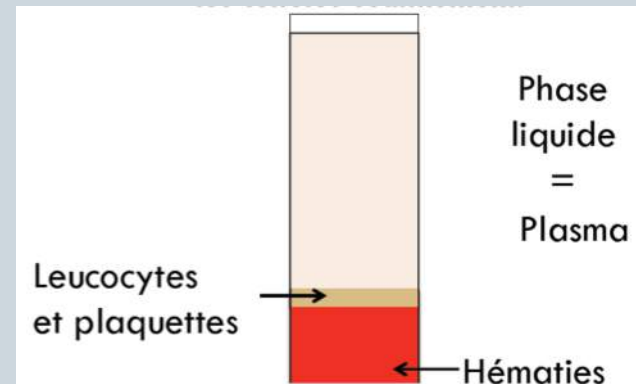
c) Volume plasmatique

- Le **sang** est la partie circulante du volume extracellulaire, composé de cellules et de liquide.
- 2 façons de prélever du sang :

Dans un tube « sec »
où le sang coagule



Dans un tube contenant un
anticoagulant
où les cellules sédimentent



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

- ++ : On mesure l'hématocrite sur le tube contenant l'anticoagulant.
 - Mesure du volume plasmatique : On injecte de l'albumine (protéine plasmatique) marquée, on mesure la concentration à l'équilibre (tjrs même calcul quand le traceur est séquestré).
- $$\text{Volume plasmatique (L)} = \frac{{}^{125}\text{Ialbumine (Bq)}}{[{}^{125}\text{Ialbumine}] (\text{Bq/L})}$$
- Le volume plasmatique représente **50 ml/kg** de poids corporel, soit **3,5 L** chez l'homme adulte.

RECAP'

Volume cellulaire

28 litres
(2/3 du volume d'eau totale)

Volume extracellulaire

14 litres
(1/3 du volume d'eau totale)

dont 3,5 L de plasma
= 50 ml/kg de poids corporel



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

d) Volume sanguin

- On calcule le **volume sanguin** à partir du volume plasmatique et de l'hématocrite :

Volume sanguin = volume globulaire + volume plasmatique

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

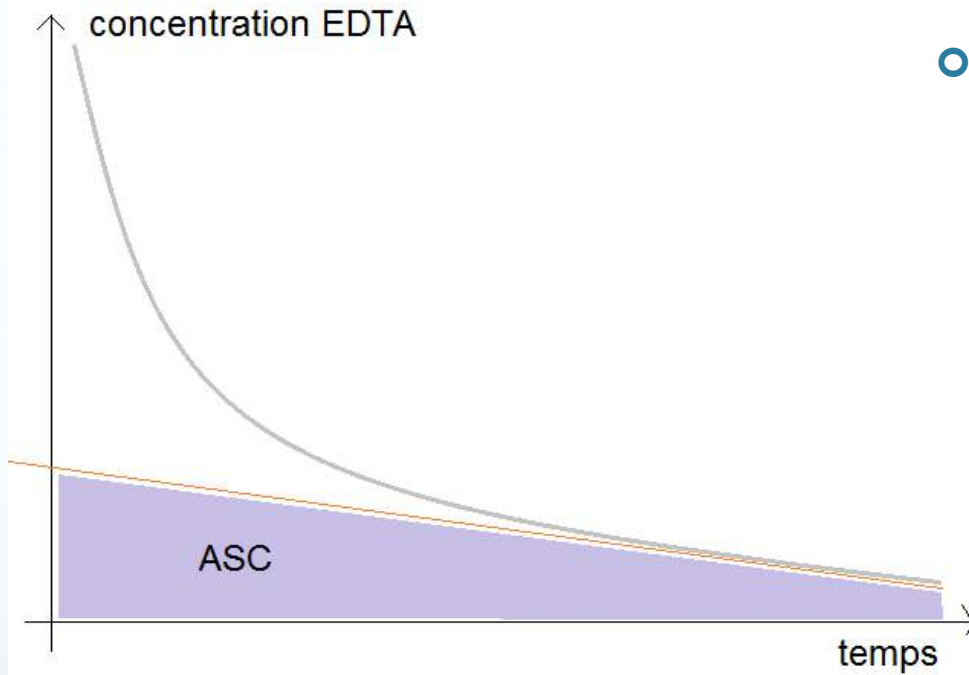
II - clairance plasmatique

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 (CPR) ET INSUFFISANCE RÉNALE

A) EDTA



- L'EDTA est **exclusivement éliminée par les reins**, donc le volume de plasma épuré d'EDTA par minute est une mesure de la CPR.

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

- Voilà une idée du fonctionnement du rein :

Cl = débit de filtration glomérulaire =

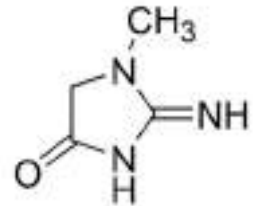
120 ml/min = 172,8 L/j

- 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 par jour → ils réabsorbent la majorité de ce qu'ils filtrent.



b) La créatinine

- La créatinine est endogène et éliminée seulement par filtration rénale (elle n'est pas réabsorbée). Elle provient 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.

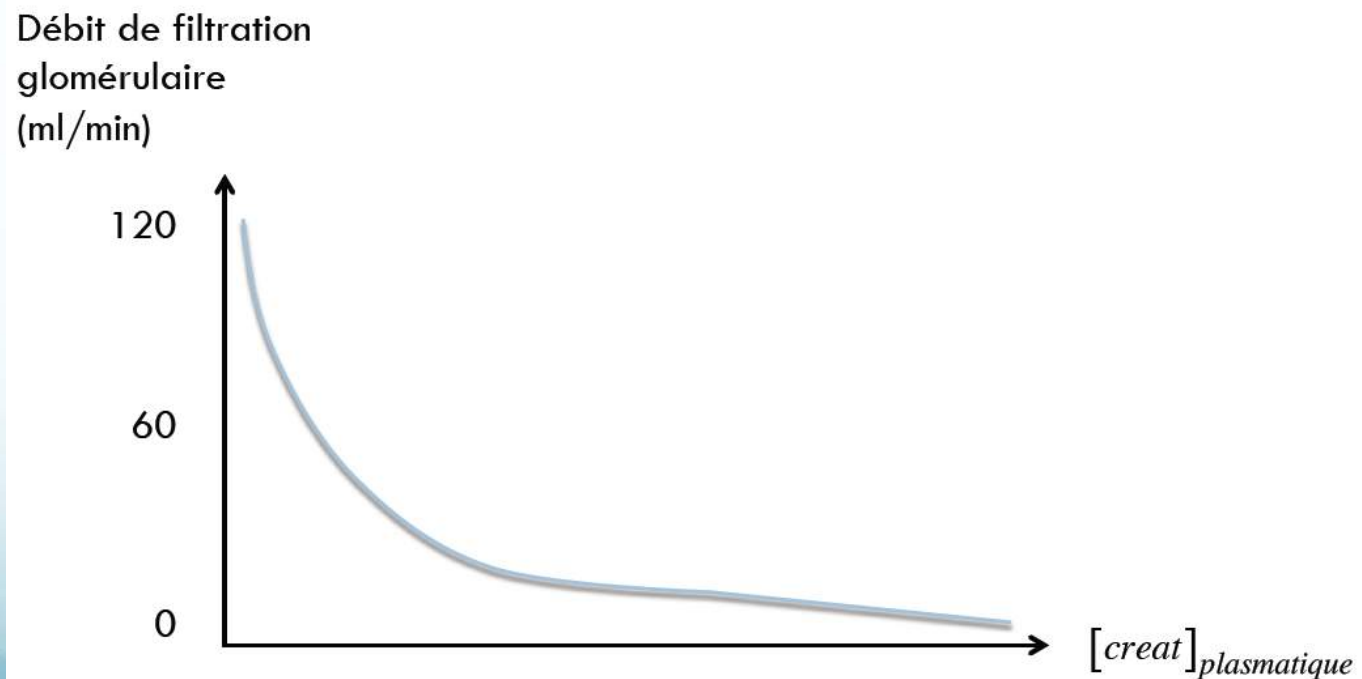


$$[creat]_{urinaire} \times \text{débit urinaire} = [creat]_{plasmatique} \times \text{Clairance}_{creat}$$

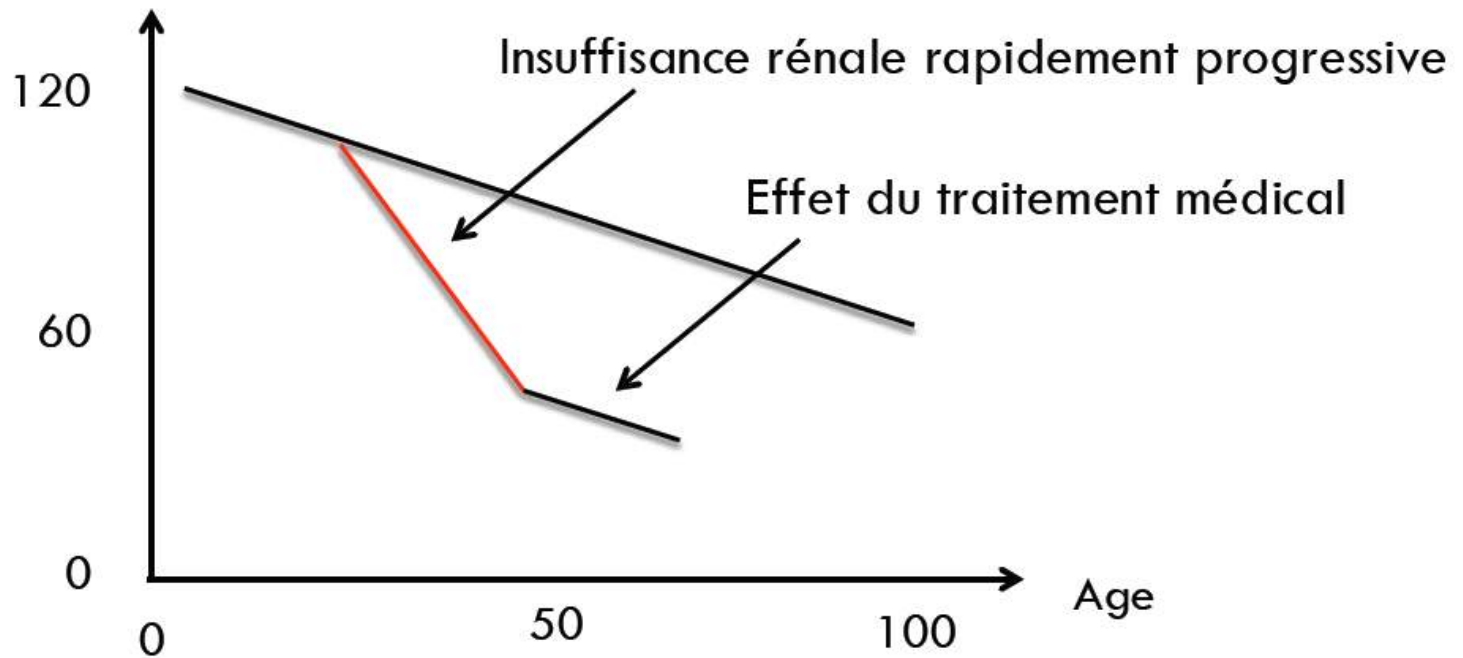
$$\text{Clairance}_{creat} = \frac{[creat]_{urinaire} \times \text{débit urinaire}}{[creat]_{plasmatique}}$$

c) Insuffisance rénale = diminution de la CPR

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



Débit de filtration
glomérulaire
(ml/min)



On a une pente de détérioration physiologique du DFG liée à l'âge. Cette pente est **accentuée** chez l'insuffisant rénal.

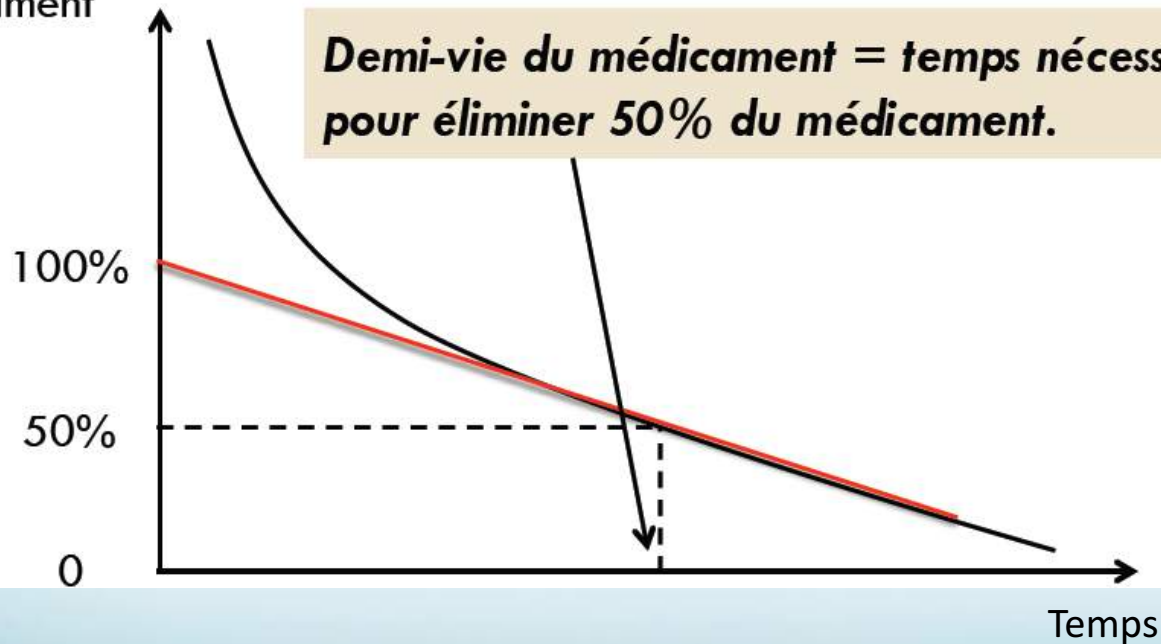
B) Clairance plasmatique d'un médicament

C'est le volume de plasma épuré du médicament par unité de temps.

La fréquence d'administration d'un médicament dépend de sa demi-vie plasmatique.

Demi-vie du médicament = temps nécessaire pour éliminer 50% du médicament.

Concentration
du médicament



C) Clairance sanguine de l'oxygène et distribution

- **Clairance sanguine de l'oxygène** = volume de sang totalement épuré d'O₂ par un organe et par unité de temps. On considère le sang plutôt que le plasma car l'O₂ est dans les globules rouges en majeure partie. C'est une mesure de la consommation d'O₂ par les tissus.

En conditions basales	Clairance de l'oxygène (cm ³ /min/100 g de tissu)
Cœur	7
Cerveau	3,2
Reins	5,5
Intestin et appareil digestif	3
Muscle et peau	0,15
<i>Poumons</i>	<i>- 39</i>



Apport d'O₂
au sang

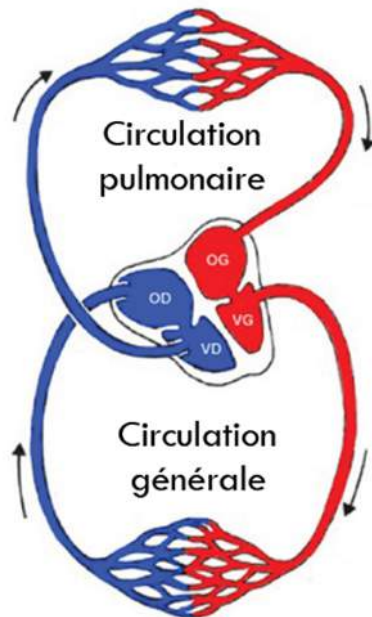
III – Débit cardiaque

A) Circulation sanguine et cycle cardiaque : définitions

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.



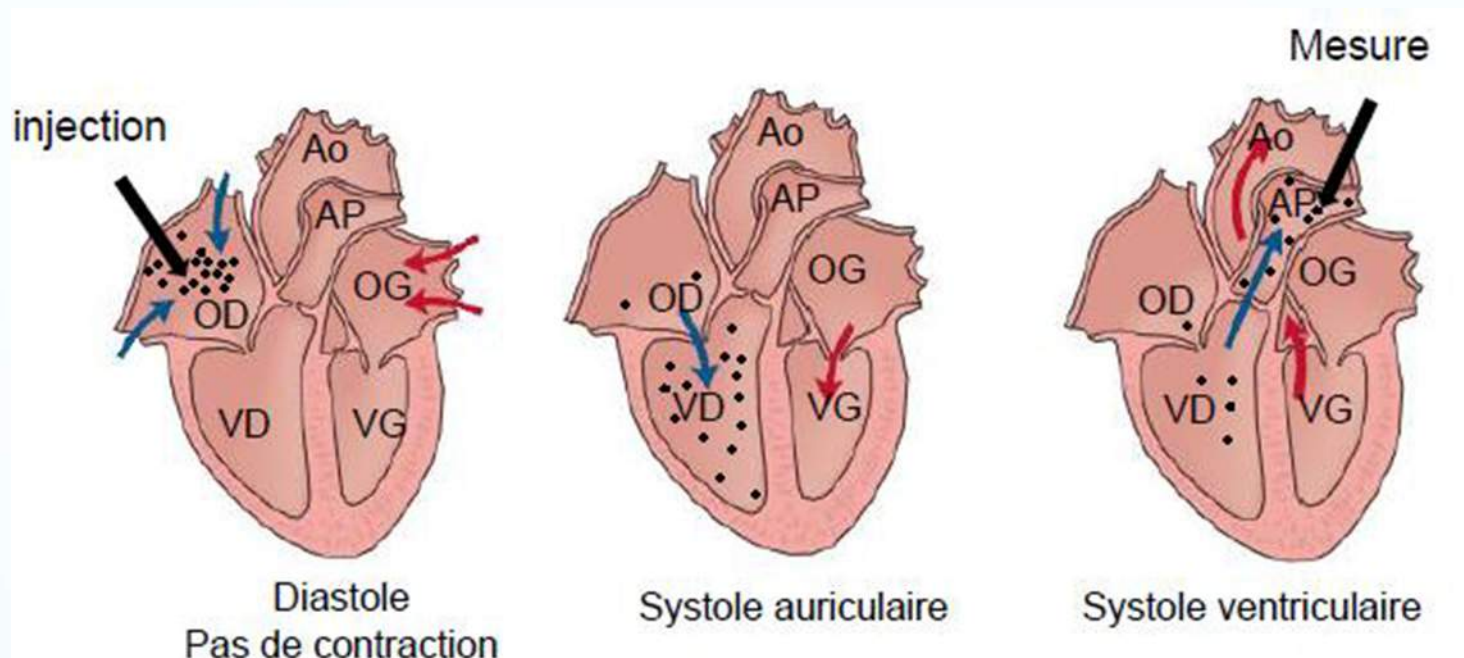
$$\text{Débit cardiaque} = \frac{\text{pression VD} - \text{pression OG}}{\text{Résistance}_{\text{circ pulmonaire}}}$$

Ecoulement laminaire prédominant

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

Le **débit cardiaque** représente la mesure de la **quantité de sang** que le coeur expulse à chaque contraction, sur un temps donné.

B) Mesure du débit cardiaque par dilution

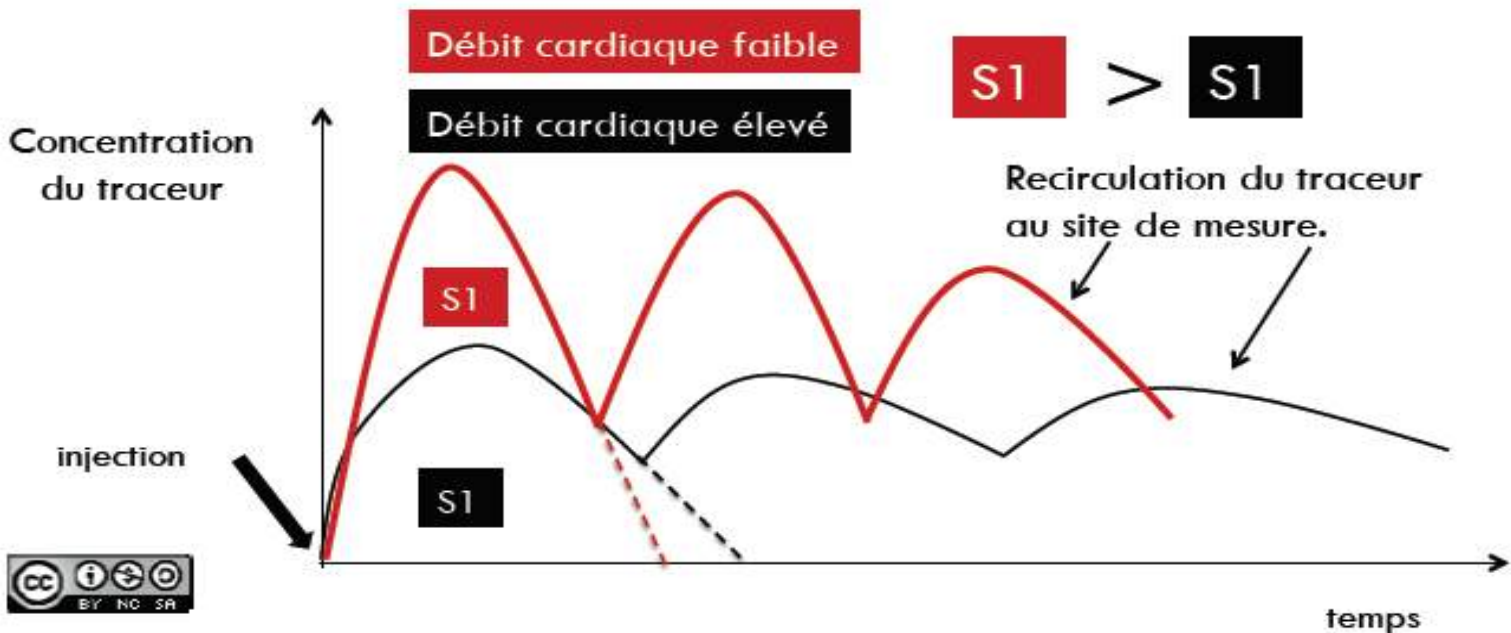


- ♡ **Injection** : en **diastole**, dans l'oreillette droite.
- ♡ **Dilution** : en **systole auriculaire**, le produit est dilué dans le sang qui passe dans le ventricule droit : le traceur se dilue dans les cavités droites du cœur.
- ♡ **Mesure** : en **systole ventriculaire** dans l'artère pulmonaire.

- Le traceur 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**. (le traceur n'est pas éliminé de la circulation)

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

Pour un même sujet, la concentration du traceur est d'autant plus élevée que le volume de sang éjecté par le cœur par unité de temps est faible.

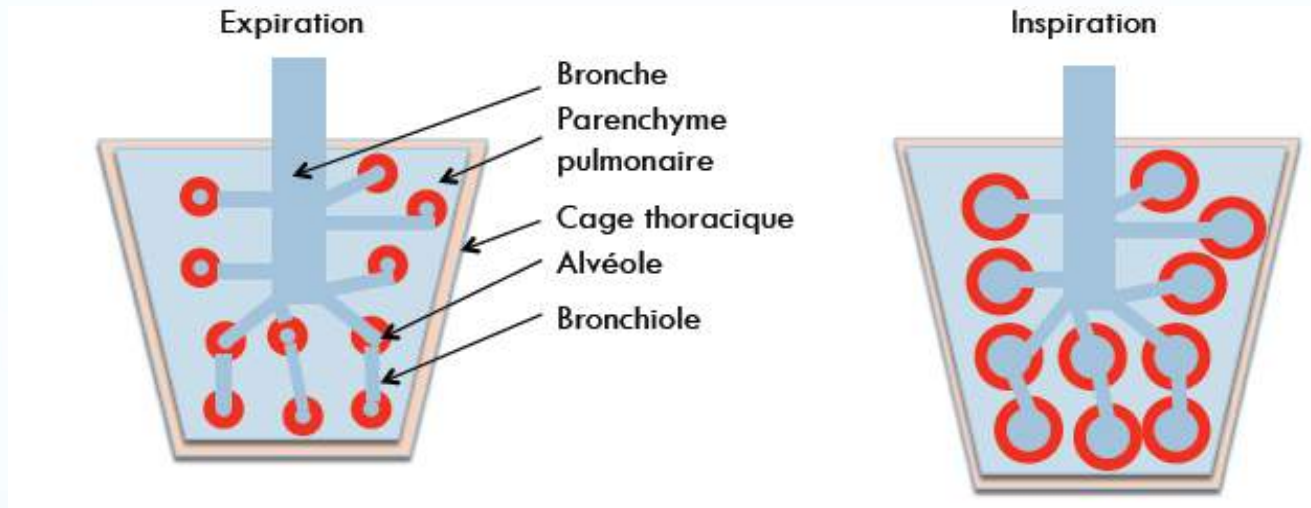


C) Insuffisance cardiaque et débit sanguin par organe

- Le débit cardiaque normal est de **5L par minute** et est **constant au repos**. C'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**, càd qu'elle est **constante** quel que soit les circonstances. La perfusion des autres organes varie selon leurs besoins et activités.



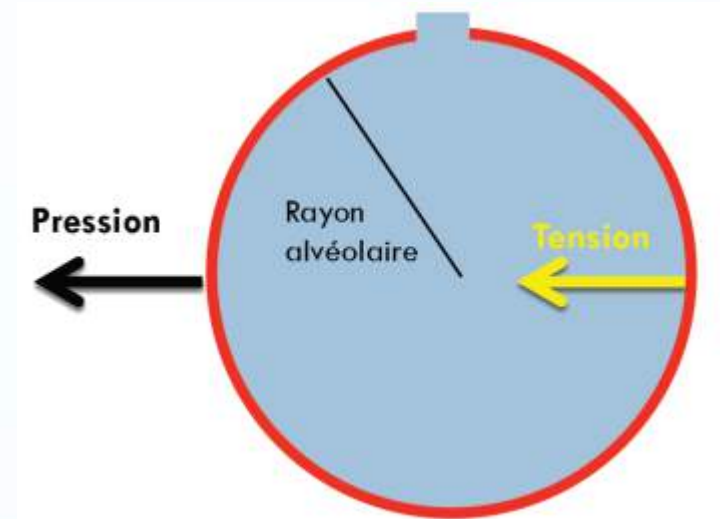
IV - Volumes et débits aériens pulmonaires



- L'air entre dans les **bronches**, puis les **bronchioles**, et arrive dans les **alvéoles** (seules structures pulmonaires de volume variable).
- La variation du volume de la cage thoracique est **proportionnelle** au volume d'air dans les alvéoles.

A) Relation pression / volume dans les alvéoles pulmonaires

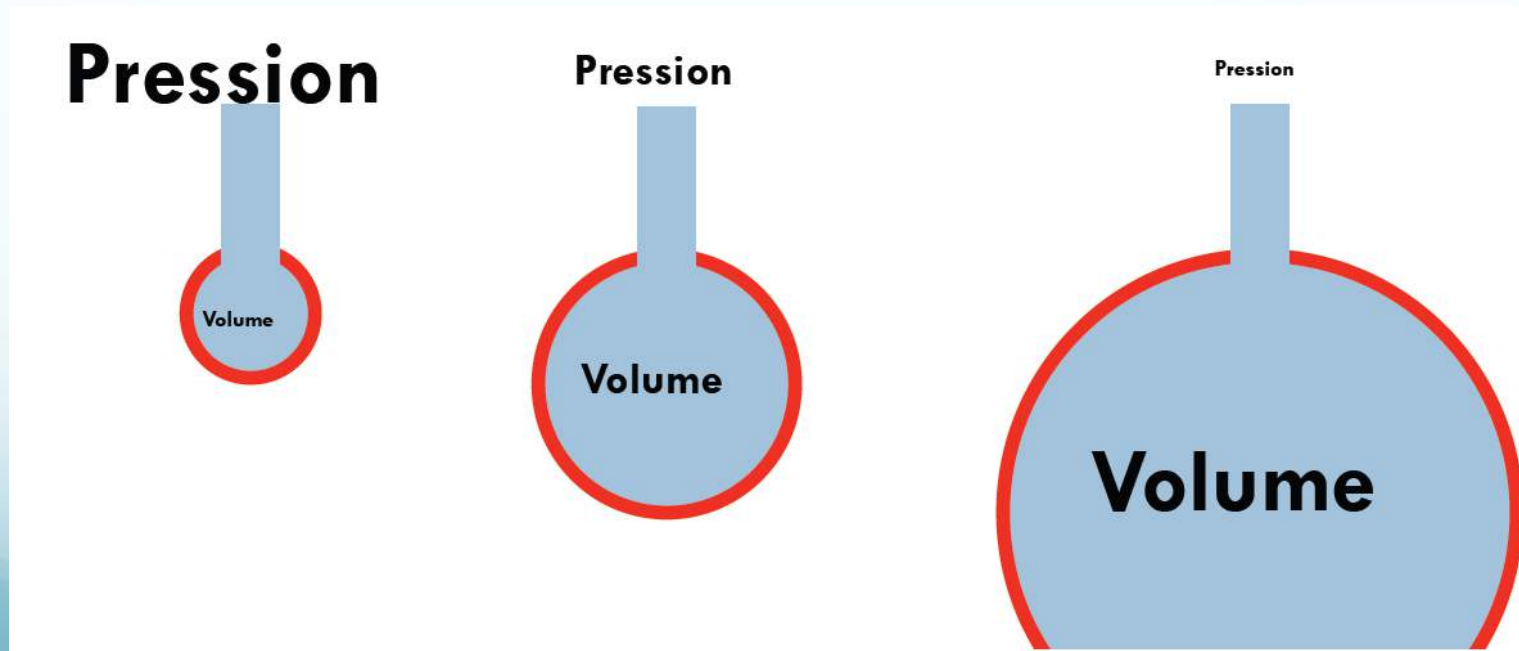
- La loi de Laplace donne la relation entre la pression intra-alvéolaire et tension de surface :



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

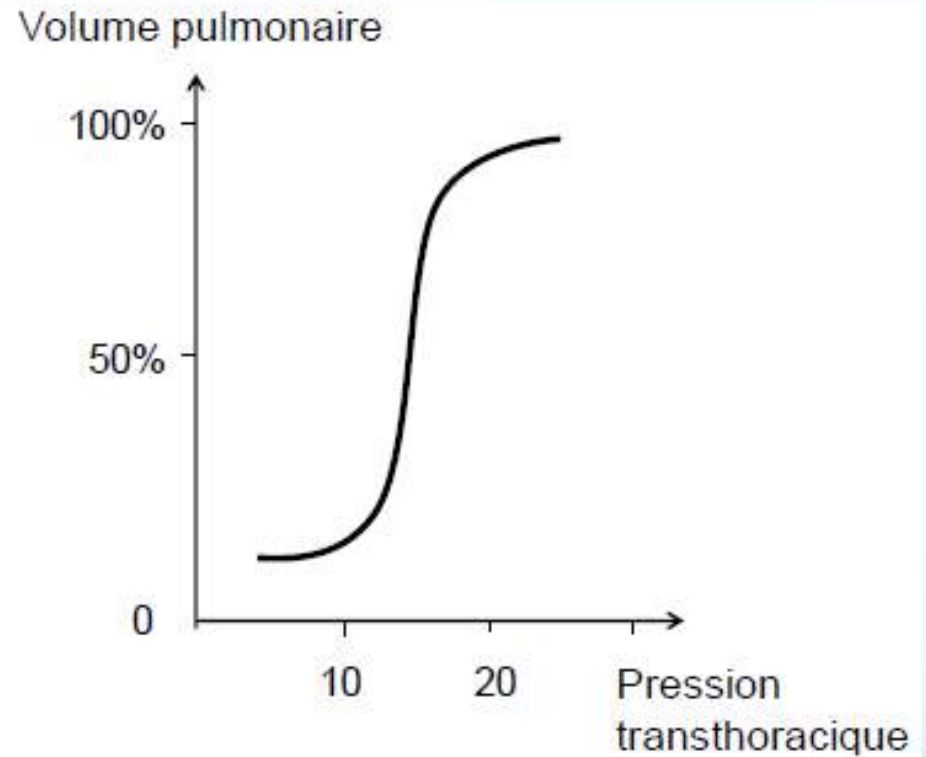
A) CONSÉQUENCES

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

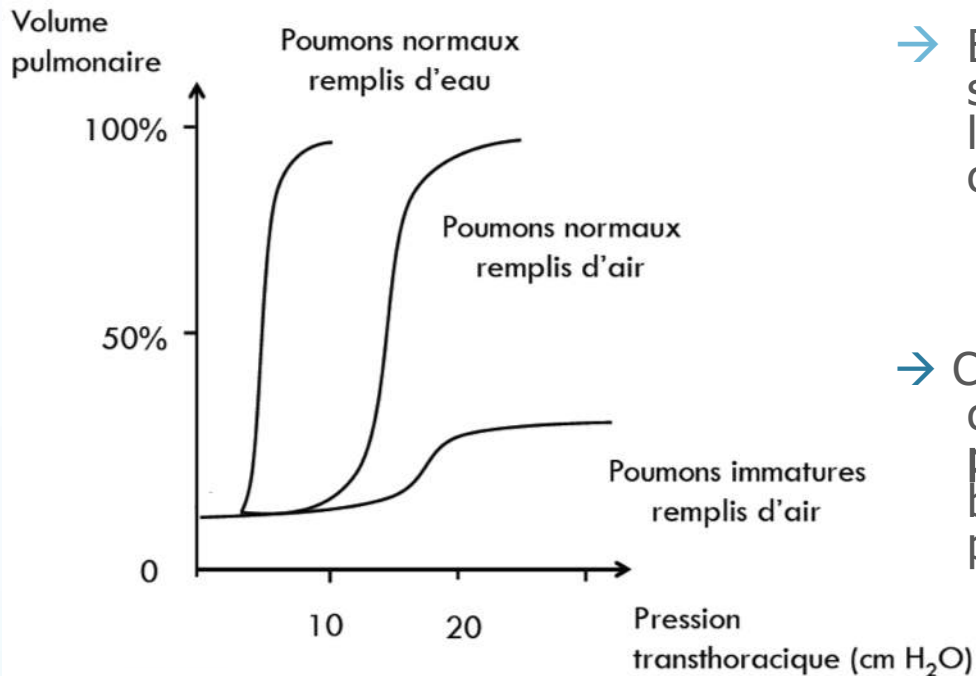


B) MESURE EXPÉRIMENTALE DE LA RELATION PRESSION-VOLUME

- On utilise un capteur de pression qui mesure la différence entre la pression dans les bronches et la pression dans la plèvre.
- 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 (= suppression expérimentale de l'interface air-sang), on décale la courbe vers les **basses pressions**.

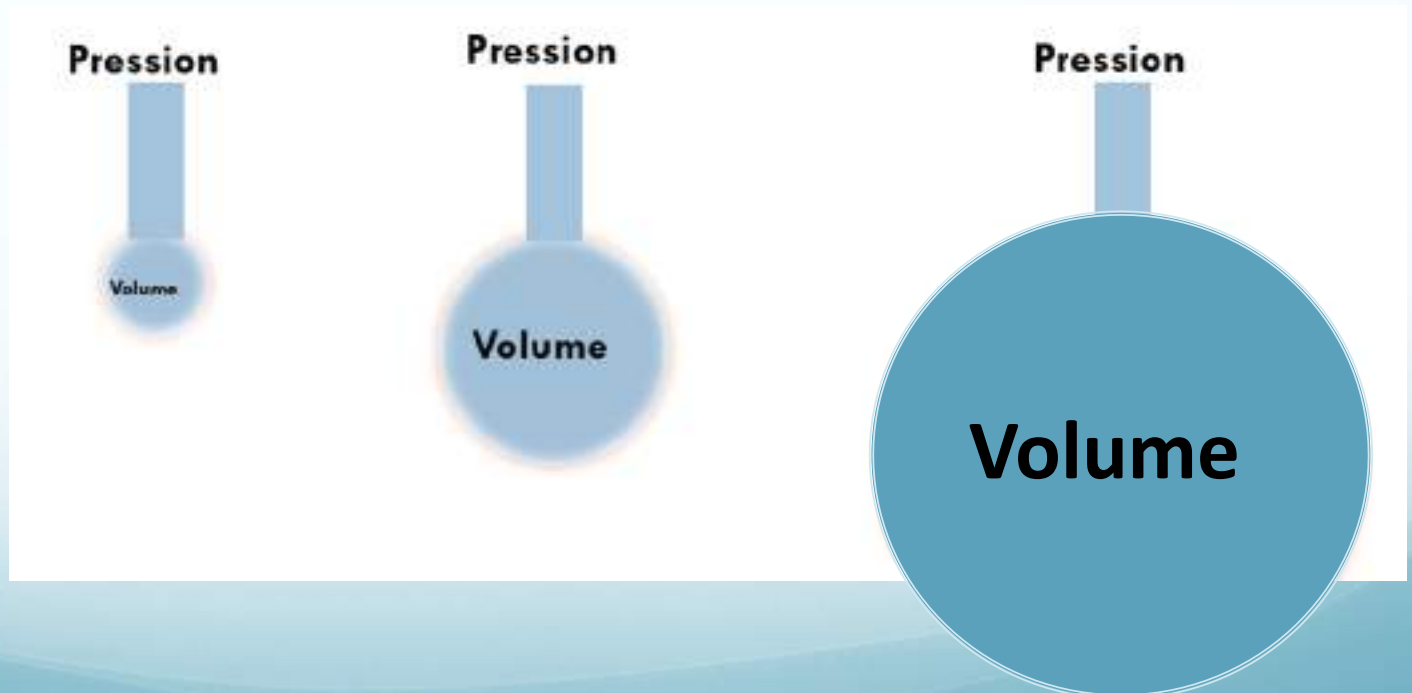
→ Chez le nouveau-né prématuré, la courbe est décalée vers les **hautes pressions** : le nouveau-né prématuré a beaucoup de mal à ouvrir ses poumons.

La relation pression-volume des poumons va donc dépendre de l'interface entre l'air et le sang.

D) LE SURFACTANT

- Il explique la forme de la courbe pression-volume : le surfactant est une substance tensioactive fabriquée par les poumons qui annule (contrôle) la tension superficielle quand le volume alvéolaire augmente.

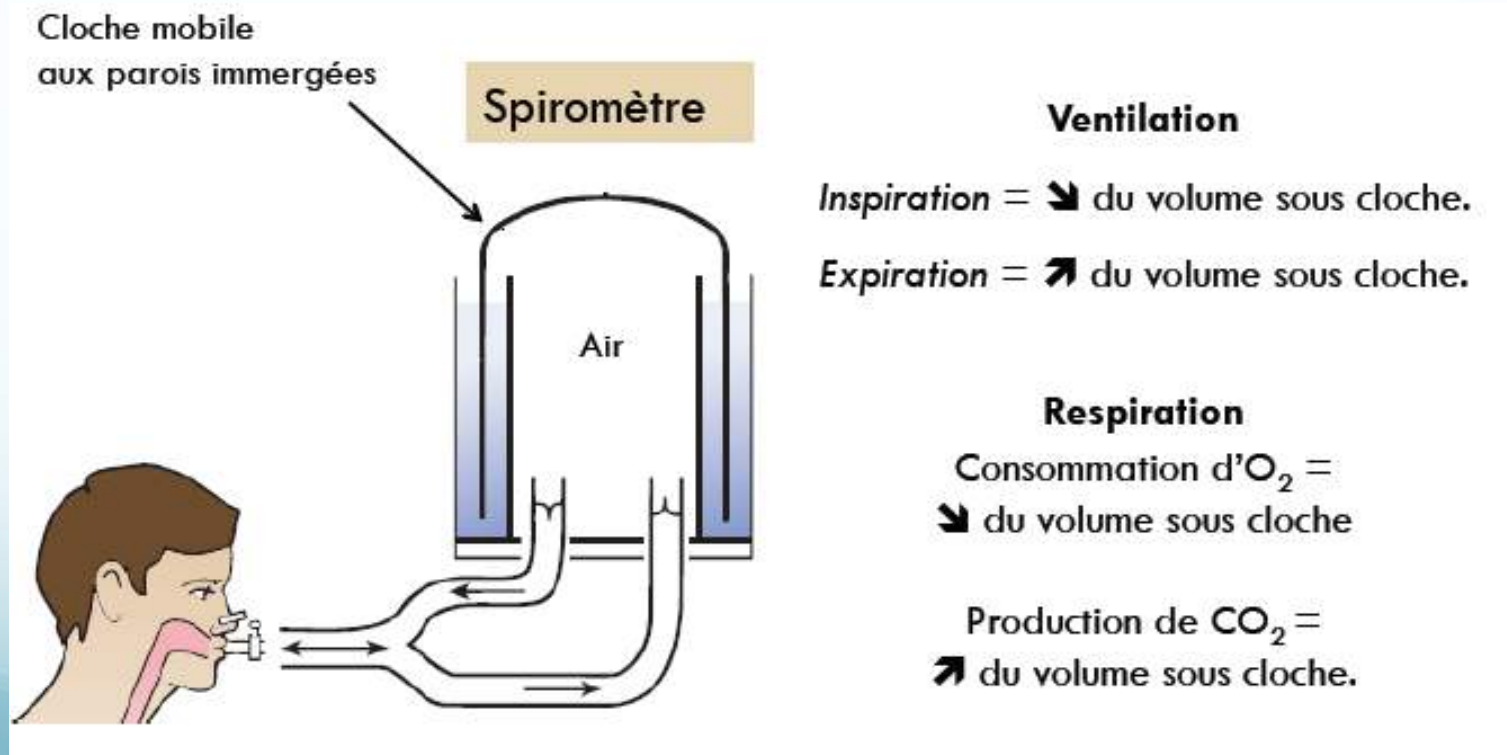
Il faut donc peu de pression pour une grande variation de volume.



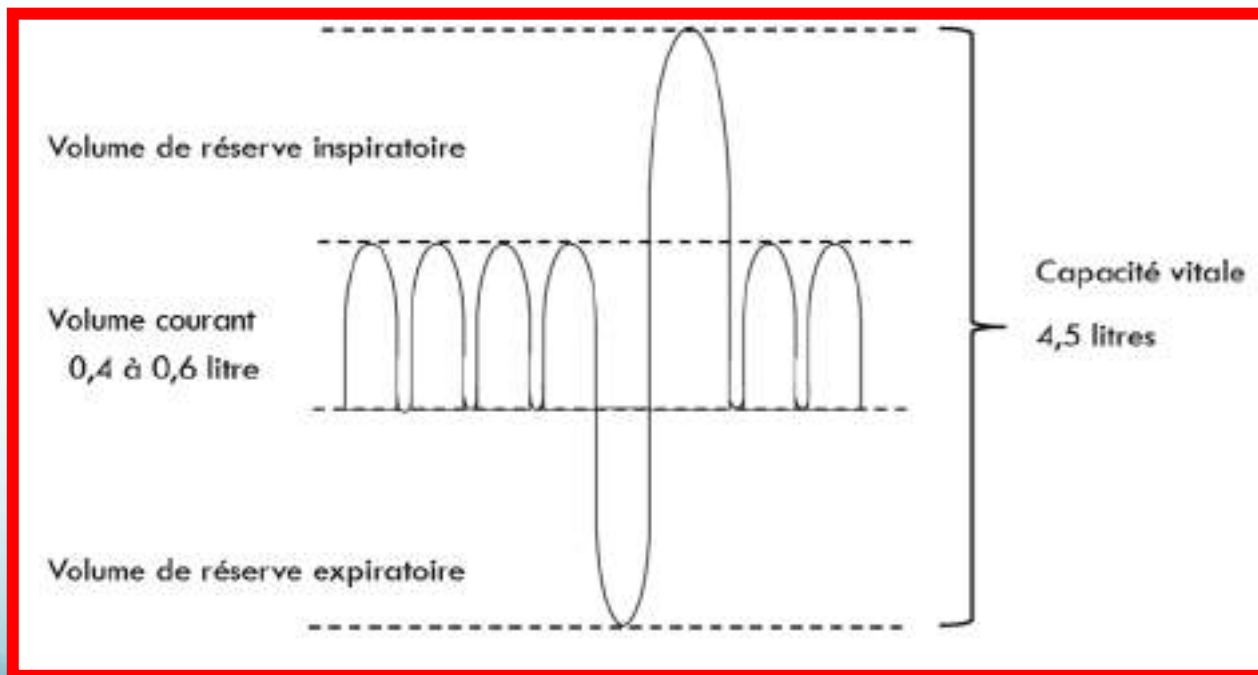
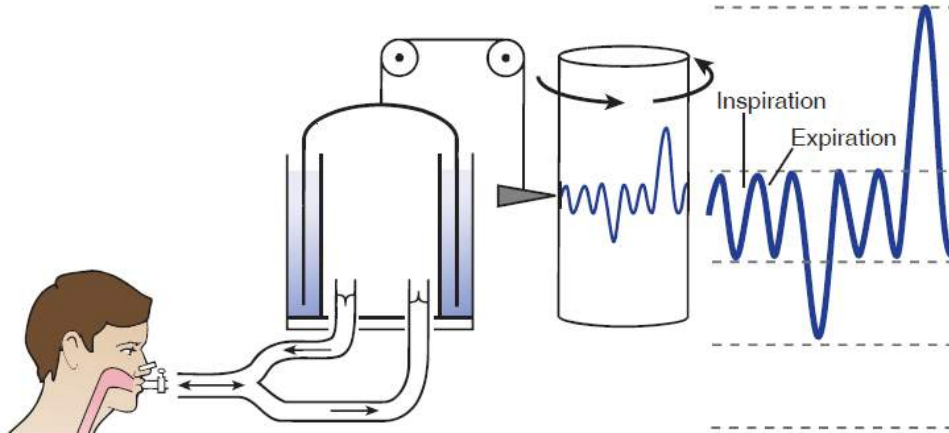
B) Mesure des paramètres ventilatoires

La ventilation est la **variation des volumes** en fonction des mouvements de la cage thoracique qui mobilise les volumes aériens.

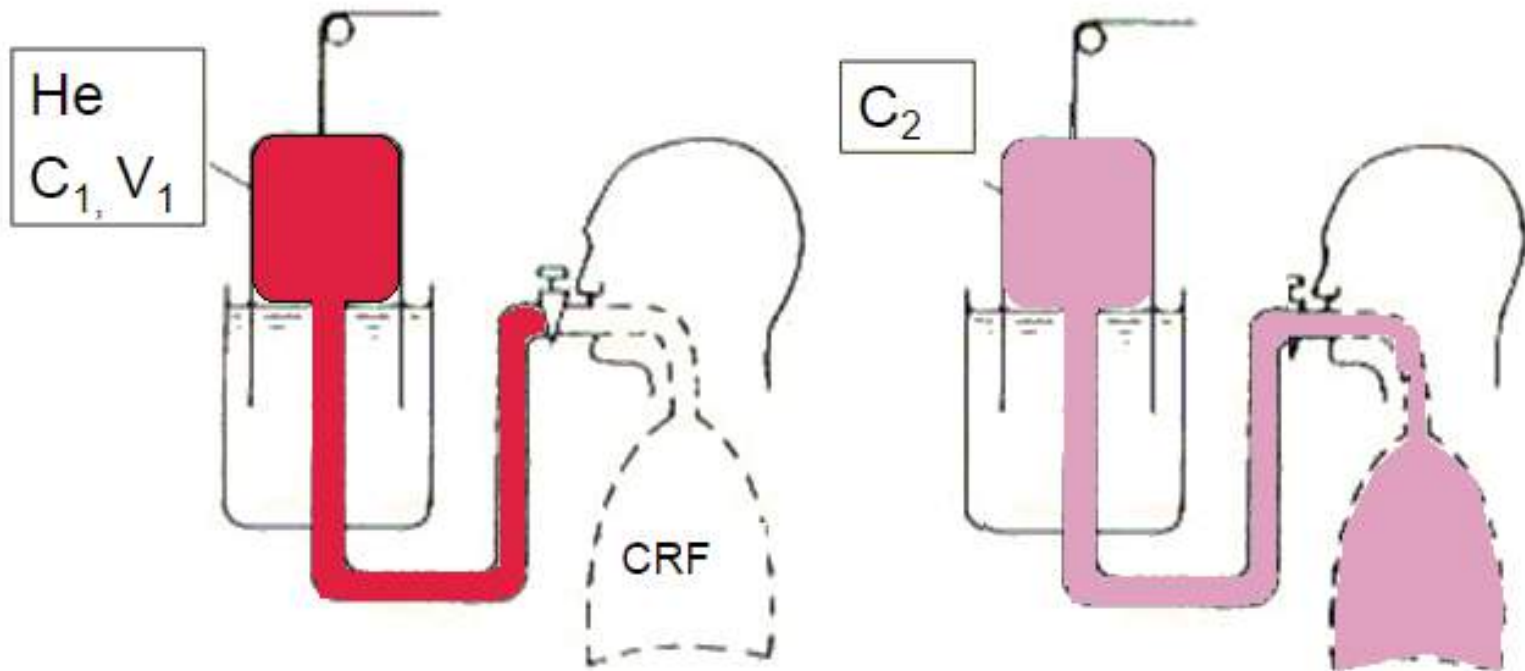
→ interprétation grâce aux mouvements du spiromètre.



A) LES VOLUMES PULMONAIRES OBTENUS PAR SPIROMÉTRIE




B) MESURE DU VOLUME PULMONAIRE PAR 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

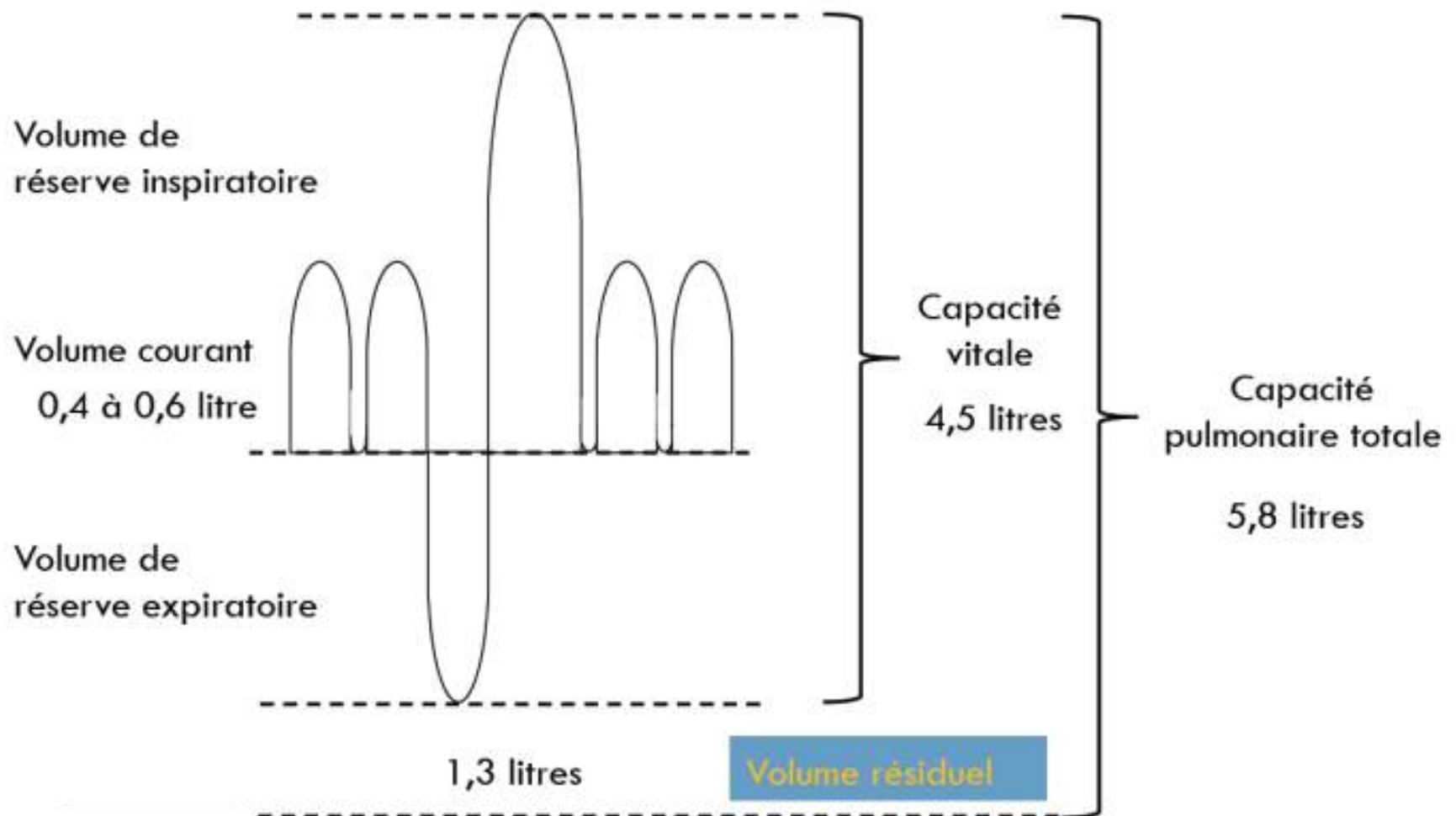

$$[\text{Hélium}]_1 \times Vd_1 = [\text{Hélium}]_2 \times Vd_2$$
$$Vd_2 = \frac{[\text{Hélium}]_1 \times Vd_1}{[\text{Hélium}]_2}$$

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

$$\text{CPT} - \text{CV} = 5,8 - 4,5 = 1,3$$

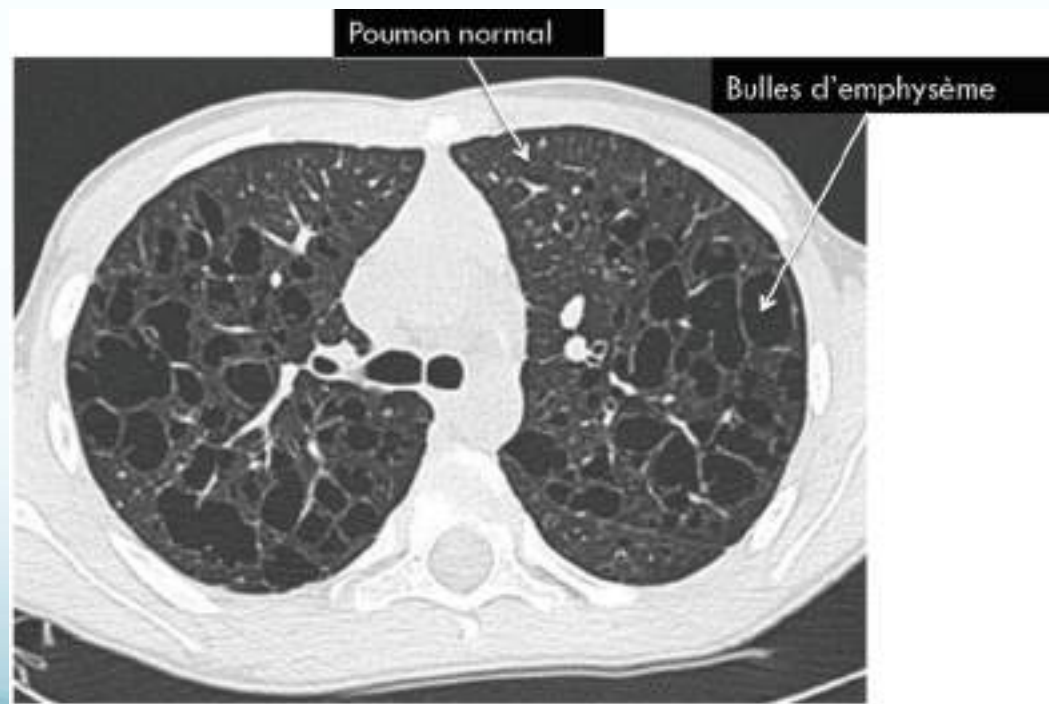
- La différence entre la capacité vitale et la capacité pulmonaire totale (1,3L) correspond au **volume résiduel** qui est **non mobilisable** : c'est le volume d'air présent dans les bronches et les bronchioles (qui ne se ferment pas à l'expiration). Il n'est pas en contact avec le sang, c'est un **espace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

RECAPITULATIF DES VOLUMES



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, dans certaines maladies on voit une augmentation du volume résiduel et les échanges gazeux diminuent, 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

Cloche mobile
aux parois immergées

Spiromètre

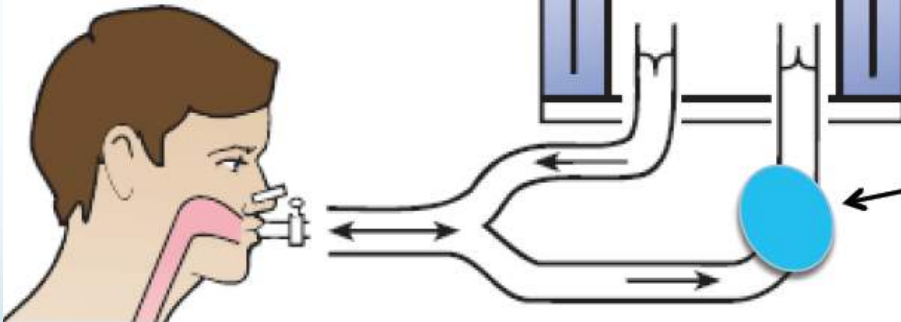
En piégeant le CO_2 , le volume d'air diminue proportionnellement à la consommation d'oxygène.

250 ml/min

En comparant les variations de volume avant et après piégeage du CO_2 , on mesure la production de CO_2 .

200 ml/min

Chaux sodée = piège à CO_2



B) RESPIRATION CELLULAIRE

- Elle désigne l'utilisation d'O₂ par les CRM pour la production d'ATP. Au cours de ce processus, des molécules organiques sont consommées (oxydées) et du CO₂ est rejeté.

Bilan de la réaction (gaz seulement)

Consommation d'oxygène

250 ml/min

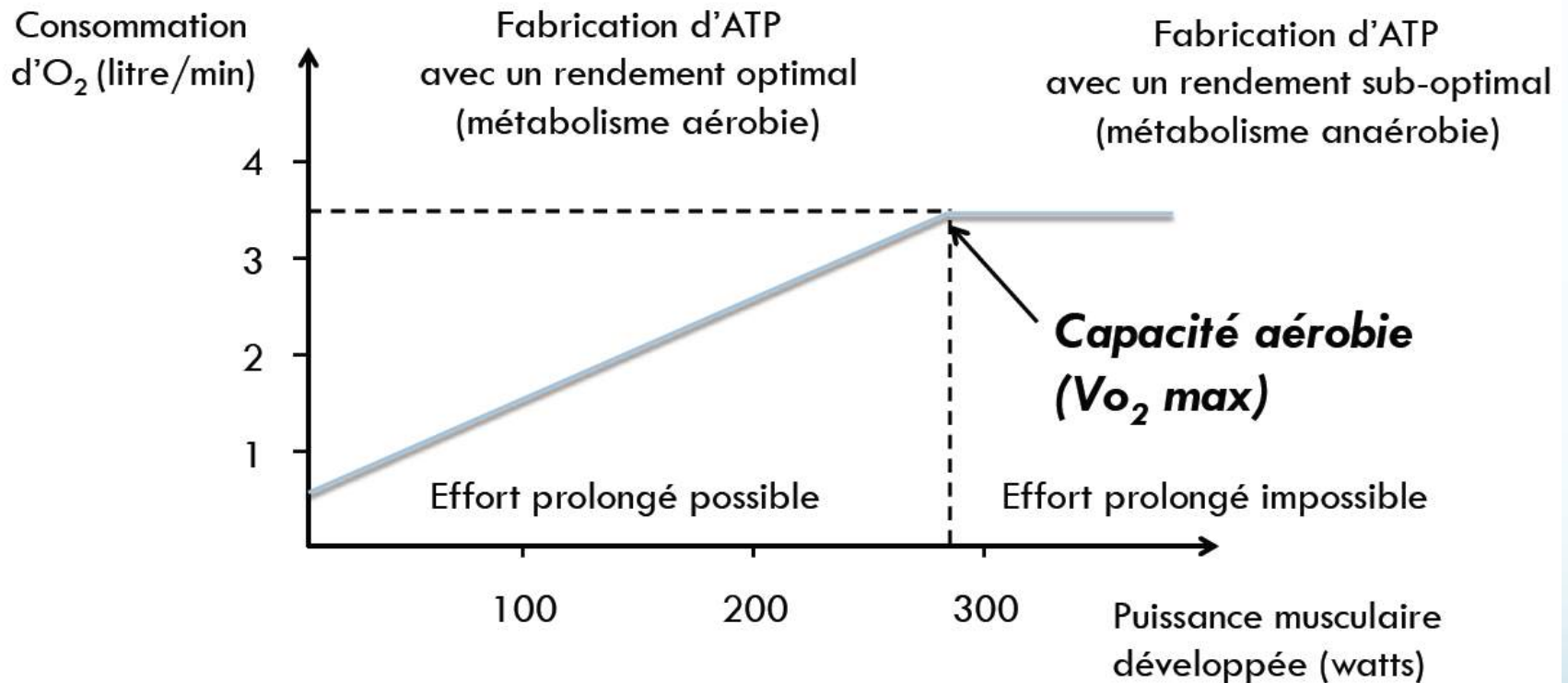
Production de gaz carbonique

200 ml/min

Résultats correspondant au métabolisme de base

C) PUISSANCE MUSCULAIRE ET CONSOMMATION D'OXYGÈNE

- La consommation d'O₂ 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 DU CO₂

- Q sanguin : **modulable * 5**. Sa diminution définit l'insuffisance cardiaque.
- Q pulmonaire : **modulable * 15** avec des échanges intenses entre air et sang. La diminution de la surface d'échange définit l'insuffisance respiratoire.



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

Questions??



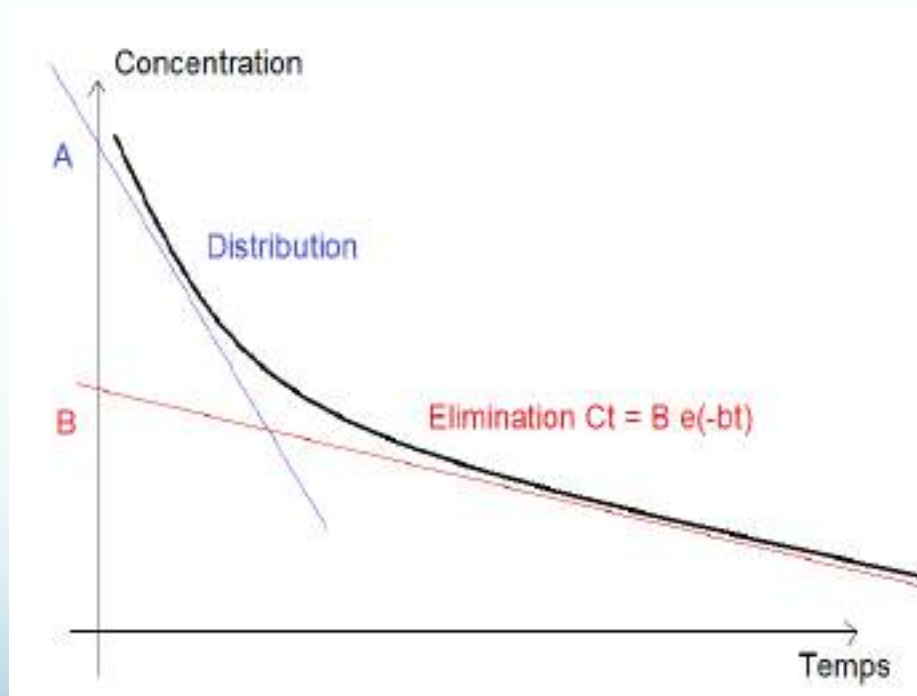
QCMs

- L'estimation du V_d d'un traceur éliminé à vitesse constante est systématiquement inférieur à la valeur réelle car :
 - A) La droite d'élimination seule est utilisée pour estimer le V_d .
 - B) L'élimination commence en même temps que la phase de distribution.
 - C) La distribution du traceur précède son élimination.
 - D) La droite de distribution et d'élimination sont utilisées pour estimer le V_d .
 - E) A,B,C et D fausses

- Réponses AB

C) Faux: l'élimination du traceur commence dès la distribution du traceur.

D) Faux: on utilise que la droite d'élimination.



- Vous perfusez 1 litre de plasma à une femme de 60 kg, les vraies:
 - A) Le volume plasmatique augmente de $\frac{1}{4}$
 - B) Le volume plasmatique augmente de $\frac{1}{3}$
 - C) Le volume extracellulaire augmente de $\frac{1}{10}$
 - D) Le volume cellulaire diminue
 - E) A,b,c et D fausses

Réponses BC

- B, vrai: le plasma → 50mL/kg donc pour 60 kg on a 3L de plasma. Si on perfuse 1 L de plasma on augmente le volume plasmatique de $\frac{1}{3}$
 - C, vrai: vol d'eau chez une femme = 50% du poids (60kg) → 30L d'eau totale dont $\frac{1}{3}$ vol extracellulaire = 10L
- si on ajoute 1L de plasma le volume extracell augmente bien de $\frac{1}{10}$

**Volume
cellulaire**

28 litres
(2/3 du volume d'eau totale)

**Volume
extracellulaire**

14 litres
(1/3 du volume d'eau totale)

dont 3,5 L de plasma
= 50 ml/kg de poids corporel

- La mesure du débit cardiaque permet de définir:

A) La capacité vitale

B) La capacité aérobie

C) Le DFG

D) L'insuffisance cardiaque

E) A,B,C et D fausses

- Réponse A

The background of the slide is a dark red or maroon color, overlaid with numerous overlapping circles in various colors including yellow, orange, pink, blue, green, and purple. These circles vary in size and opacity, creating a bokeh-like effect.

THE END

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION