

Physiologie

LES COMPARTIMENTS DE L'ORGANISME

PLAN DU COURS

I. <u>Les compartiments du milieu intérieur :</u>	II. <u>Les compartiments du milieu extérieur :</u>
A) Définition	A) Définition
B) Mesure	B) Compartiment pulmonaire
C) Description	C) Compartiment digestif
	D) Compartiment urinaire

I. Les compartiments du milieu intérieur :

A. Définition :

→ L'organisme possède **des compartiments à différentes échelles**. Nous allons commencer par **décrire les compartiments du milieu intérieur**. Nous définirons de quoi il s'agit, comment mesure-t-on ces compartiments et nous les décrirons ensemble.



Définition : compartiments du milieu intérieur



↪ La notion de milieu intérieur remonte à **Claude Bernard** et elle est **fondatrice en physiologie**. Elle désigne **l'ensemble du liquide qui baigne les cellules**.

♥ On appelle également **le milieu intérieur** → **le milieu extracellulaire**. 🌟

↪ En **opposition** au **milieu cellulaire**, qui est **un sanctuaire** dans lequel on n'effectue généralement **pas de prélèvement**.

ATTENTION PIEGE QCM :



Le **milieu intérieur** (plasma et liquide interstitiel) est à bien distinguer du **milieu cellulaire** (liquide intracellulaire inaccessible aux mesures) !

B) Mesure :

Volume de distribution d'un traceur

→ Pour appréhender ces compartiments on utilise **la capacité de certains traceurs à se distribuer selon leur taille et leur affinité**.

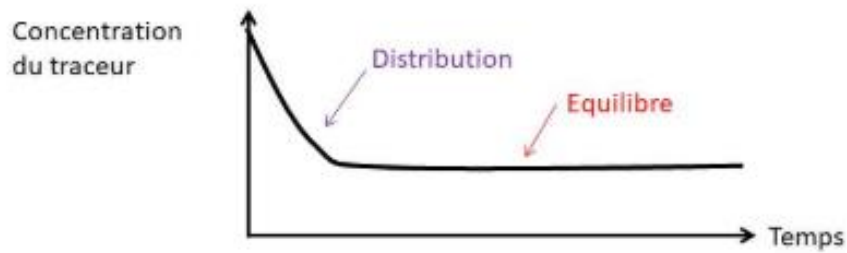
♥ Le **volume de distribution** d'un **traceur** permet de **mesurer les compartiments**. ♥

➤ Le **principe de la mesure** est simple, il s'agit **d'injecter ce traceur** dans par exemple une veine et de **mesurer sa concentration** un peu plus tard. Puis **on calcule le volume de distribution** du traceur en tenant compte du fait que celui-ci peut être :

- **Éliminé** régulièrement dans le volume de distribution,
- Ou au contraire qu'il peut être **séquestré** à l'intérieur de celui-ci.

Traceur à l'équilibre de concentration :

Ici, le traceur est séquestré dans le volume de distribution.



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

→ Si l'on est à l'équilibre de concentration, lorsqu'on injecte notre traceur on obtient (sur le graphique) un pic de concentration qui va diminuer avec la dilution du traceur à l'intérieur du compartiment.

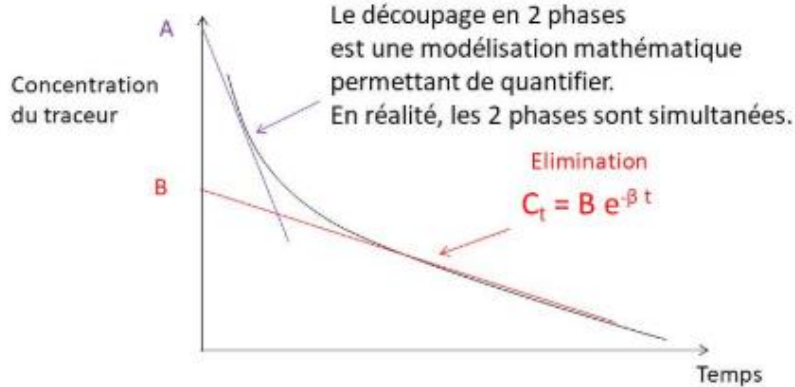
On a donc une courbe de distribution puis une droite de concentration à l'équilibre en fonction du temps (qui forme un plateau).

↪ Le volume de distribution est ici égal au rapport de la quantité injectée du traceur sur la concentration de celui-ci mesuré à l'équilibre :

- Soit en **mole** si on mesure **la quantité du traceur**,
- Soit en **Becquerel** si on mesure **l'activité radioactive** de celui-ci.

Traceur éliminé à vitesse constante :

Elimination constante du traceur $\rightarrow dC = -KCdT$



→ Lorsque **le traceur est éliminé à vitesse constante**, on obtient **une décroissance exponentielle** du traceur en fonction du temps qui démarre **au moment où la concentration du traceur est maximale**, c'est-à-dire **au moment de l'injection**.

↪ Il y a donc une **phase de distribution** du traceur puis une **phase d'élimination**.

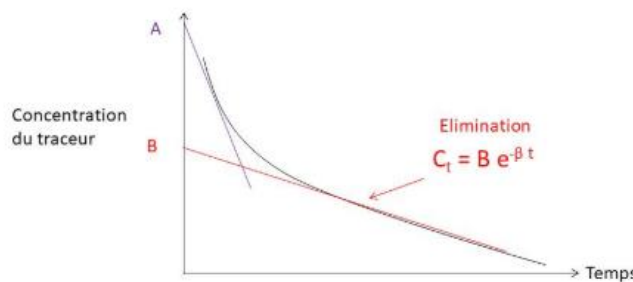
↪ **L'extrapolation linéaire** de chacune de ces phases, nous permet de **calculer la concentration du traceur au point B**. Ainsi, la concentration en fonction du temps est **proportionnelle** à ce **point B**, fonction d'une exponentielle qui **dépend de la constante d'élimination**.

♥ **Il s'agit d'une modélisation mathématique parce qu'en réalité les deux phases de distribution et d'élimination sont bien entendu simultanées !** 🌟

Traceur éliminé à vitesse constante :

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

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



→ Ici pour **estimer le volume de distribution** on fait **le rapport entre la quantité injectée totale de traceur et la concentration du traceur au point B** (qui est extrapolée). On parle soit de **concentration** et dans ce cas on utilisera des **moles**, soit **d'activité** et dans ce cas on utilisera des **becquerels**.

C) Description :

Traceurs des compartiments du milieu intérieur :

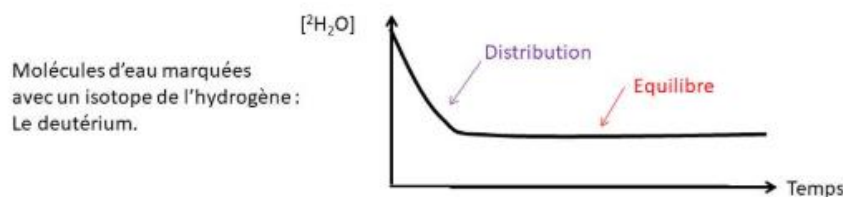
Volumes mesurés	Volume d'eau totale	Volume plasmatique	Volume extracellulaire
Traceurs	$^2\text{H}_2\text{O}$ $^3\text{H}_2\text{O}$	^{125}I -albumine	^{51}Cr -EDTA Inuline

- Ainsi on obtient **une description des différents volumes** mesurés dans l'organisme selon **les différents traceurs**.
- ♥ **Le deutérium et le tritium** permettent de mesurer **le volume d'eau totale** de l'organisme.
- ♥ **L'albumine marquée à l'iode 125** permet de mesurer **le volume plasmatique**.
- ♥ **L'EDTA marqué au Chrome 51 ou l'inuline** permettent de mesurer **le volume extracellulaire**.

Volume d'eau totale :

L'équilibre de concentration du traceur est obtenu rapidement :
Le renouvellement permanent des molécules d'eau (apports et élimination) ne fausse pas les mesures.

$$\text{Volume de distribution (litres)} = \frac{\text{Activité injectée (Bq)}}{[^2\text{H}_2\text{O}] \text{ à l'équilibre (Bq/L)}}$$

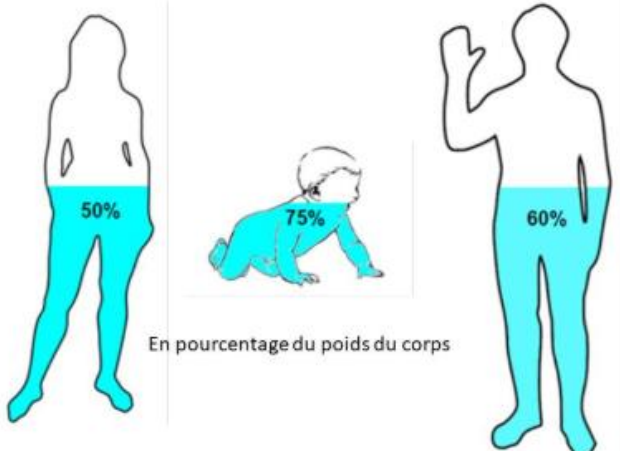


- ❖ **L'équilibre de concentration du traceur** par exemple pour **le deutérium** (si l'on mesure **le volume d'eau totale**) est établi au bout d'un certain temps, car même si les molécules d'eau se renouvellent régulièrement, **elles ne se renouvellent pas suffisamment rapidement pour fausser notre mesure**.

↪ Ici **l'eau** est donc considérée comme **séquestrée** et le **deutérium** reste dans le **compartiment liquidien**.

➔ **Son volume de distribution est donc égal à l'activité injectée divisé par l'activité à l'équilibre du deutérium.**

Volume d'eau totale :



En pourcentage du poids du corps

→ Cela nous donne l'image suivante :

- ♥ Pour **une femme** le volume d'eau totale représente **50% du poids du corps**.
- ♥ Chez **un nouveau-né**, l'eau totale représente **75% du poids du corps**.
- ♥ Chez **un homme**, l'eau totale représente **60% du poids du corps**.

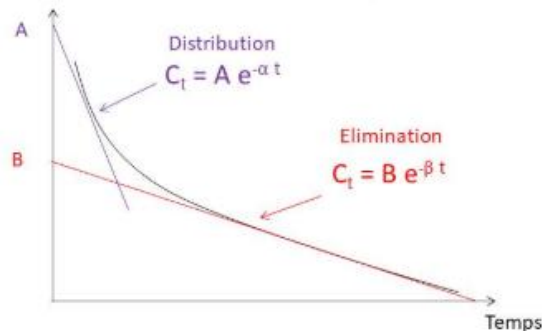
Précisions :

- C'est la composition corporelle qui explique cette différence entre les individus :
- **La femme** a **plus de tissu adipeux** que **l'homme**, à âge et poids égal, mais moins de tissu musculaire. **Or le tissu adipeux comporte moins d'eau** donc la femme aura moins d'eau dans son corps que l'homme.
 - **Le nourrisson** contient **une grande quantité d'eau**, cela permet de comprendre la gravité des troubles digestifs chez ces nouveau-nés. Ils vont par **la diarrhée et les vomissements perdre une quantité importante d'eau qui leur est vital**. En pratique, cela va permettre de déterminer la quantité de volume à administrer en cas de déshydratation.

Volume extracellulaire :

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

[⁵¹Cr-EDTA]
Molécules d'EDTA
marquées avec un
isotope du chrome.



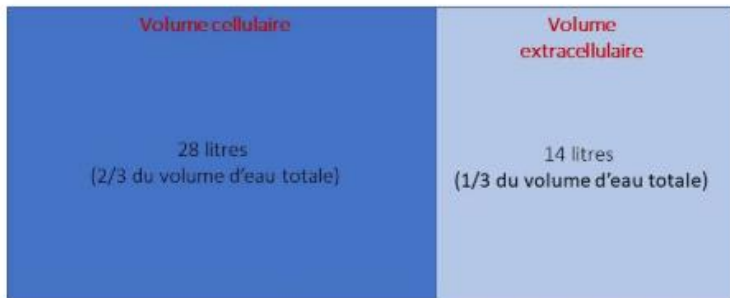
$$\text{Volume de distribution (litres)} = \frac{\text{Activité injectée (Bq)}}{B \text{ (Bq/L)}}$$

- Si l'on veut **mesurer le volume extracellulaire**, on va utiliser **l'EDTA** qui est une **molécule exogène** régulièrement **éliminée par les reins**.
On utilise donc la courbe de distribution d'un traceur éliminé et ainsi on calcule le **volume de distribution** comme égal à **l'activité injectée divisé par la concentration au point B**.

Volume cellulaire :

Volume cellulaire = volume d'eau totale – volume extracellulaire

Volume d'eau totale de l'individu standard = 42 L



→ Connaissant le **volume extracellulaire** et le **volume d'eau totale**, on peut **calculer le volume cellulaire** qui est donc **la différence entre le volume d'eau totale et le volume extracellulaire**. On peut voir que la répartition est de :

- ♥ **2/3 pour le volume cellulaire**
- ♥ **1/3 pour le volume extracellulaire.**

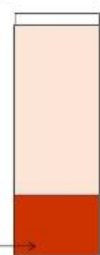
Ce qui pour un individu standard de 42L d'eau totale donne un **volume cellulaire de 28L** et un **volume extracellulaire de 14L**.

Le volume de plasma :

Tube « sec » dans lequel le sang coagule.

Phase liquide = Serum

Caillot



Tube contenant un inhibiteur de la coagulation dans lequel les cellules sédimentent.

Phase liquide = Plasma

Leucocytes et plaquettes

Hématies



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

Mesuré sur le tube contenant un anticoagulant

→ On peut également **mesurer le volume de plasma**.

↻ Qu'est-ce que le plasma ? Le **plasma** est le **liquide** qui reste après avoir **prélevé du sang sur anticoagulant**. Par opposition au **sérum** qui est un **liquide** qui reste lorsqu'un **caillot s'est formé dans un tube dit « sec »**.

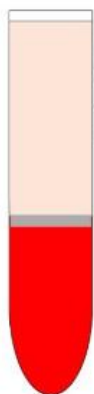
Lorsqu'on prélève sur un **tube avec anticoagulant**, on peut faire **le rapport entre le volume globulaire et le volume sanguin** qui nous donne **l'hématocrite**.

L'hématocrite est généralement autour de **45% (0,45)**.

plasma

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

Leucocytes et plaquettes
hématies



$$\text{Volume plasmatique (L)} = \frac{^{125}\text{Ialbumine (Bq)}}{[^{125}\text{Ialbumine}] (\text{Bq/L})}$$

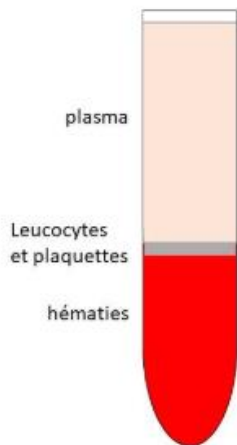
→ Ainsi on peut en utilisant **l'albumine (qui est une protéine plasmatique)** **marquée à l'iode 125** qui **se distribue dans le plasma**, mesurer le **volume plasmatique** par le **rapport entre l'activité injectée et l'activité à l'équilibre**, puisque l'albumine ne se renouvelle pas très rapidement (bien qu'elle soit en permanence dégradée et renouvelée par le foie).



Attention : Le plasma est à bien différencier du sérum. ⚠️

Les protéines sont encore présentes à l'état soluble dans le plasma contrairement au sérum. ♥

Volume de sang :



Vol sanguin = Vol globulaire + Vol plasmatique

$$\frac{\text{Vol globulaire}}{\text{Vol sanguin}} + \frac{\text{Vol plasmatique}}{\text{Vol sanguin}} = 1$$

$$\text{Hématocrite} + \frac{\text{Vol plasmatique}}{\text{Vol sanguin}} = 1$$

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

→ Grâce à la proportionnalité entre **le volume sanguin** et **le plasma** dans l'équation de l'hématocrite, on peut aboutir **au volume de sang** qu'on calcul.

♥ Le volume sanguin est donc égal au volume plasmatique divisé par 1 - l'hématocrite.

Vue d'ensemble :

Volume plasmatique = 50 ml/kg de poids corporel



→ Ainsi on a une **image complète** des différents compartiments liquidiens de l'organisme qui sont ceux dont on va se servir **en physiologie et médecine**.

♥ Le volume plasmatique s'estime **par rapport au poids corporel** et il est égale à **50 ml par kilo de poids corporel**. 🌟

↪ On peut voir (sur la diapo) que **le volume plasmatique est à l'intérieur du volume extracellulaire** dont il constitue la partie circulante. Ainsi pour **14L de volume extracellulaire**, il y a **3,5L de plasma** pour un individu standard.

Exemple :

Pour un individu (peu importe le sexe) de 60 kg le volume plasmatique est de :
 50 ml x 60 kg = 3000 ml = 3 L de plasma.

Conclusion :



- ♥ La **notion de compartiment** n'est pas anatomique mais est **accessible à l'aide de traceurs moléculaires**.
- ♥ On a décrit simplement **les compartiments** qui vont être **utile pour la compréhension de la physiologie**.
- ♥ L'estimation de leur **volume** par rapport **au poids corporel et au sexe** est utile en physiologie et en médecine.

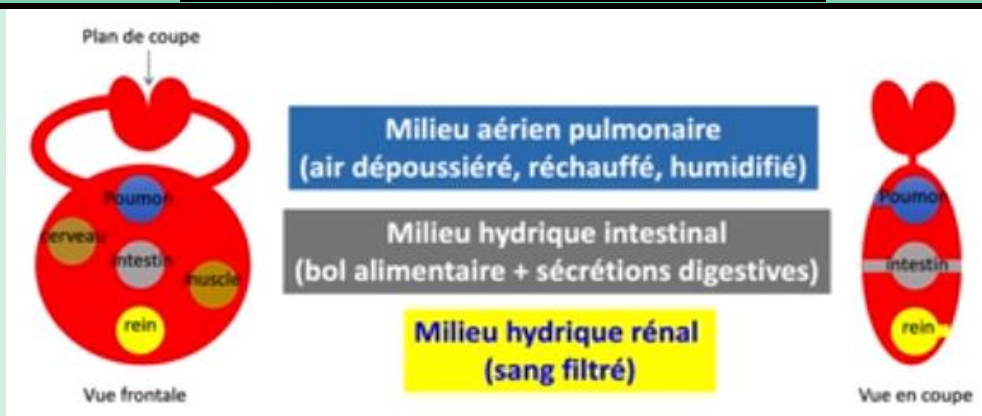
II. Les compartiments du milieu extérieur :

→ Nous allons parler maintenant **des compartiments** qui composent **le milieu extérieur**. Le **milieu extérieur** est en **étroit contact** avec le **milieu intérieur** dont on a parlé dans la partie précédente.



A) Définition :

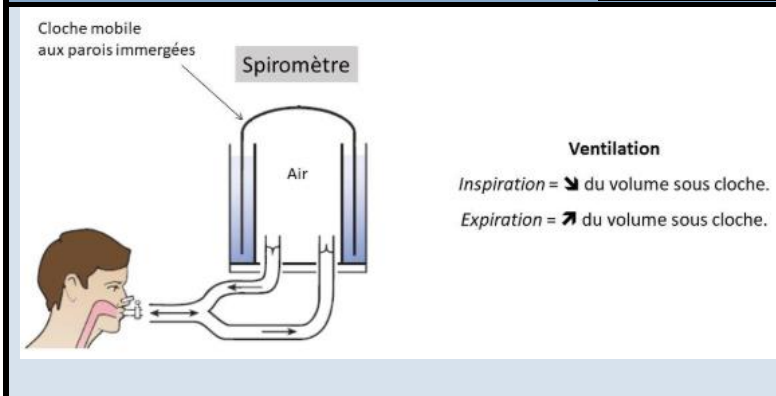
Compartiments du milieu extérieur :



- ❖ **L'air** qu'on respire vient se mettre **au contact du sang** dans **un milieu aérien pulmonaire** particulier, où l'air est dépoussiéré, réchauffé et humidifié.
- ❖ De la même manière, **les aliments** que l'on ingère viennent **au contact du sang à travers l'intestin**, et le **bol alimentaire est modifié par les sécrétions digestives**.
- ❖ **L'urine** qui est **filtrée à partir du sang à l'intérieur des reins**, circule également dans un **compartiment urinaire** qui va être au contact du sang pendant tout son trajet et permettre **l'équilibration du milieu intérieur** (en enlevant de celui-ci ce qui est en trop et en y remettant ce qu'il y manque).

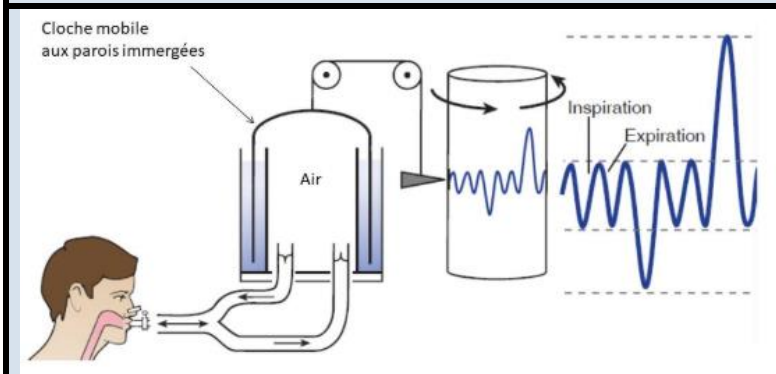
B) Compartiment pulmonaire :

Spiromètre :



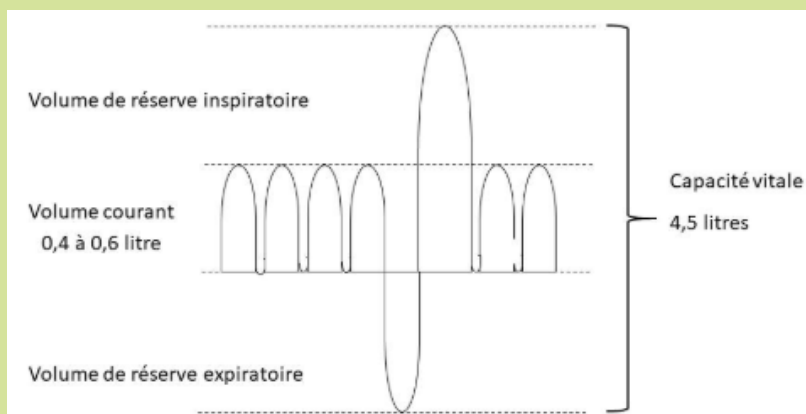
L'air pulmonaire est facile à mesurer, puisque simplement par **la ventilation** on fait **varier le volume d'air à l'extérieur** du corps.

→ Un simple **spiromètre** (qu'on voit sur la diapo) permet de **mesurer la diminution du volume** sous la cloche lors de **l'inspiration** et **son augmentation à l'expiration**.



➤ Si l'on enregistre **ces mouvements en fonction du temps**, cela donne **une image des différents volumes mobilisés par un individu**.

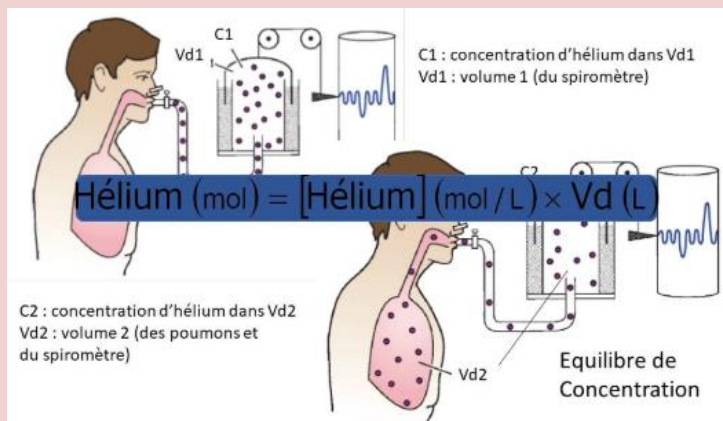
Résultats de la spirométrie :



→ Ainsi on constate que lorsqu'on **ventile spontanément sans efforts**, on mobilise à peu près **0,5 L d'air** et qu'on est capable de mobiliser à peu près **2 L en inspirant à fond** et **2 L en expirant à fond**.

↳ Ce qui définit donc **la capacité vitale**, qui est pour **un individu standard de 4,5 L**.

Dilution d'un traceur (l'hélium)



→ Si on mesure **les volumes pulmonaires** par **dilution de l'hélium** qui est un **traceur** qui se distribue **dans l'ensemble de l'arbre aérien**, on obtient une tout autre image.

Pour réaliser cette mesure, on injecte **une quantité 1 d'hélium dans le spiromètre dans un volume 1 de distribution connue**. Puis en ouvrant la communication entre le spiromètre et l'arbre aérien d'un individu à ce moment-là **on mesure la concentration 2 et on en déduit le volume de distribution 2 qui comporte le volume 1 et la part supplémentaire liée à l'arbre aérien de l'individu**.

Ainsi on utilise l'équation vu précédemment pour **calculer le volume de distribution** : la quantité injectée d'hélium est proportionnelle à sa concentration multipliée par le volume de distribution.

A l'équilibre de concentration

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

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

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

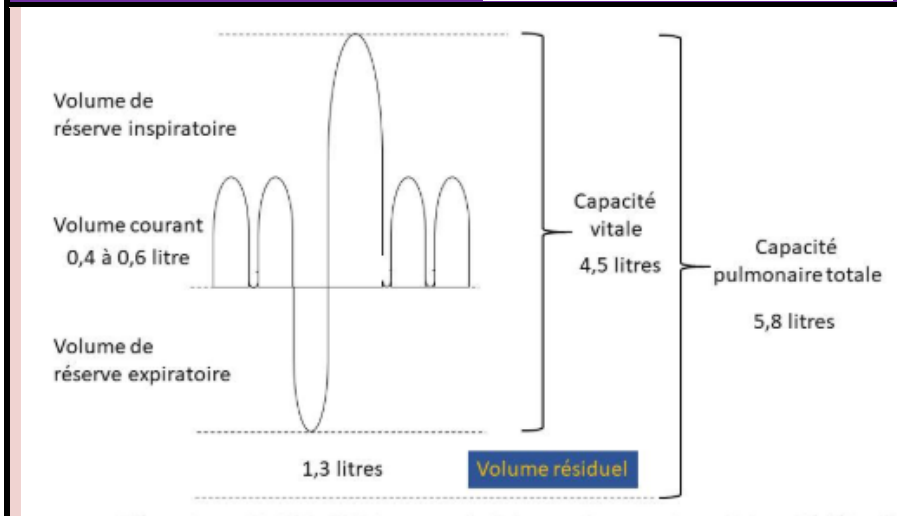
$$4,5 \text{ L} < 5,8 \text{ L}$$

La différence (1,3 L) est le volume résiduel.
Il correspond au volume des bronches et bronchioles.
Les bronches et bronchioles ne se ferment pas à l'expiration.

⇒ Dans **l'équation dans son ensemble**, il y a **une proportionnalité** entre la **situation 1 et la situation 2**, et on peut **calculer le volume de distribution 2** une fois qu'on a mesuré les **concentrations d'hélium 1 et 2** et qu'on connaît le **volume du spiromètre en 1**.

→ On obtient ainsi grâce à ces calculs **la capacité pulmonaire totale** qui représente **un volume plus important que celui de la capacité vitale**, puisque **la capacité pulmonaire totale prend en compte le volume résiduel** qui est le **volume des bronches et des bronchioles**.

Pour trouver la **valeur du volume résiduel**, on **fait la différence entre la capacité pulmonaire totale et la capacité vitale**.

Description complète :

→ On peut voir sur cette diapo la description complète **des différents volumes pulmonaires**. Avec le **volume courant**, les **volumes de réserves** (inspiratoires et expiratoires) et le **volume résiduel**.

C) Compartiment digestif :**Débits liquidiens digestifs → description complète**

Cavité digestive	Sécrétion	Débit quotidien (litre)
Bouche	Salive	1,5
Estomac	Suc gastrique	2
Duodenum et jejunum proximal	Sucs pancréatique, biliaire, intestinal	1,5 0,5 1,5
Jejunum distal, colon et rectum	Suc intestinal	faible

Le **compartiment digestif** est **variable en fonction du site**. On peut par **drainage** mesurer la quantité de salive quotidienne produite dans la bouche. On peut **mesurer le débit de suc gastrique**, on voit que l'on peut donc **à différents niveaux du tube digestif mesurer un débit quotidien** (qui donne une idée du volume du compartiment digestif).

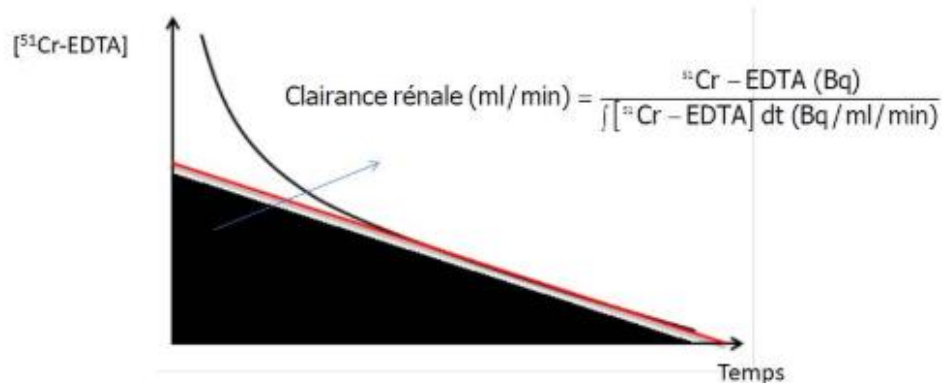
D) Compartiment urinaire :

Débit de filtration glomérulaire → clairance plasmatique

- Le compartiment urinaire est plus difficile à mesurer.
- On l'obtient en considérant **que le plasma est filtré en permanence par les reins** et que le **volume de plasma totalement épuré d'une substance par unité de temps** constitue la **clairance plasmatique** ou bien **débit de filtration glomérulaire** ♥ (quand cette substance est épurée et spécifiquement filtrée par les reins). Il s'agit d'un débit (ml/min).

Clairance plasmatique d'un traceur extracellulaire :

L'EDTA est une molécule éliminée exclusivement par les reins. Le volume de plasma épuré d'EDTA par minute est une mesure de la clairance plasmatique rénale.



- ⇒ Qu'est ce qui est spécifiquement filtré par les reins ?
On a par exemple **l'EDTA** qui est une **petite molécule** qu'on peut coupler à un **isotope radioactif de chrome** pour pouvoir en **mesurer la quantité injectée dans l'organisme** passivement. **L'EDTA va être un traceur extracellulaire et le volume extracellulaire est filtré régulièrement par les reins.**
- ⇒ Ainsi la **clairance plasmatique de l'EDTA** va être **proportionnelle à la quantité d'EDTA injectée divisé par l'air sous la courbe de la concentration en fonction du temps.**

Débit de filtration glomérulaire : intérêt en physiologie et en médecine

La clairance plasmatique rénale est de
 120 ml/min
 172,8 litres/jour
 C'est le débit de filtration glomérulaire
 Volume plasmatique : 3,5 litres → $172,8 / 3,5 = 49,4$
 Les reins filtrent le plasma environ 50 fois par jour.
 Volume urinaire de 24 heures = moins de 2 litres.

Les reins filtrent le plasma
et en réabsorbent la majeure partie
(fonctions tubulaires).

- ❖ La **clairance plasmatique rénale** ou **débit de filtration glomérulaire** est de l'ordre de **172,8 L/j** pour un individu standard.
 On peut en considérant le **volume plasmatique**, mesurer que **les reins filtrent le plasma 50 fois par jour** (il suffit de diviser le débit de filtration glomérulaire par le volume plasmatique pour obtenir cet ordre de grandeur). **Ainsi les reins sont capables d'épurer efficacement le sang.**
- ❖ On remarque que **l'on urine moins de 2 L** par 24h et donc que **les 172,8 L sont en majeure partie recyclés par les reins** et le **compartiment urinaire** est constitué de ces 172,8 L qui vont être **réabsorbés par le tubule rénale.**

RECAP :

- ♥ Clairance rénale = quantité de traceur injectée / aire sous la courbe = **120mL/min = 172.8L/j**
- ♥ Le plasma est filtré **50 fois par jour.**
- ♥ **2L de diurèse** seulement car les reins réabsorbent la majeure partie.



Conclusion :

- ♥ Les **volumes pulmonaires** se mesurent par **spirométrie et dilution** (d'hélium).
- ♥ Les **débits de liquides digestifs** se mesurent par **drainage** des cavités.
- ♥ La **clairance plasmatique** d'une substance éliminée seulement **par filtration rénale** mesure **le débit de filtration glomérulaire.**