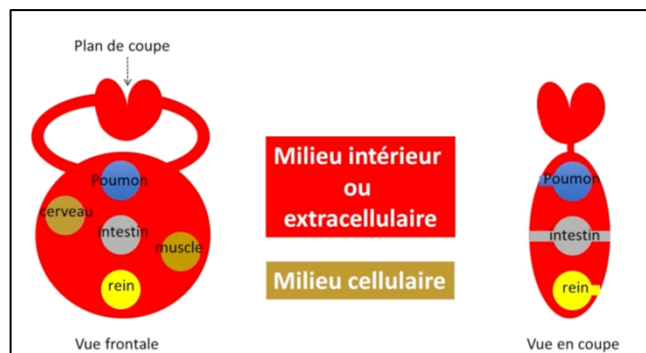


Les compartiments de l'organisme

I. LES COMPARTIMENTS DU MILIEU INTERIEUR

A. DÉFINITION

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



La notion de milieu **intérieur** remonte à Claude Bernard (un médecin du 19^e siècle) et elle est fondatrice en physiologie.

‡ milieu intérieur : ensemble du liquide qui baigne les cellules (plasma + interstitiel), il est accessible aux mesures.

Milieu intérieur = milieu EXTRAcellulaire +++

On oppose ce milieu **intérieur** (extracell) au milieu cellulaire (piège qcm !)

‡ milieu cellulaire est un sanctuaire dans lequel on n'effectue généralement **PAS** de prélèvement.

Milieu intérieur / extracell ≠ milieu cellulaire

B. MESURE

VOLUME DE DISTRIBUTION D'UN TRACEUR

Afin d'appréhender ces compartiments on utilise la capacité de certains traceurs à se distribuer selon :

- leur **taille**
- et leur **affinité**.

>> Le **volume de distribution** permet de mesurer les compartiments

Le principe de mesure est simple, il s'agit d'**injecter** un traceur (par exemple une veine) et de mesurer sa concentration (du traceur) un peu plus tard.

Puis on calcule le **volume de distribution** du traceur en tenant compte que celui-ci peut être :

- Éliminé **régulièrement** dans le volume de distribution (= vitesse constante)

Au contraire,

- Il peut être **séquestré** à l'intérieur de celui-ci (= traceur à l'équilibre de concentration).

TRACEUR À L'ÉQUILIBRE DE CONCENTRATION (séquestré)

Lorsqu'on est à **l'équilibre de concentration**, lors de l'injection du traceur, on obtient un **pic de concentration** qui va **diminuer** avec la **dilution** du traceur à l'intérieur du compartiments.

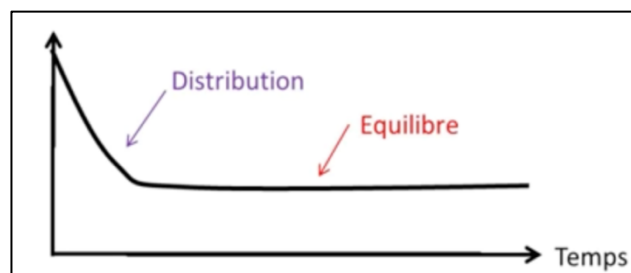
Tut'tips : je vous conseille d'apprendre et **reproduire** les graphiques pour bien visualiser et surtout ne jamais se tromper en qcms !

On a donc,

- Une **courbe de distribution**

Puis,

- Une droite de concentration à **l'équilibre**, en fonction du temps. (le plateau)



± volume de distribution d'un traceur à l'équilibre : rapport de la **quantité injectée** du traceur (*donc au début*) sur la **concentration** de celui-ci mesuré à **l'équilibre** (le plateau, après dilution).

$$\text{Volume de distribution (L)} = \frac{\text{quantité injectée (mol ou Bq)}}{\text{Concentration mesurée à l'équilibre (mol.L ou Bq.L)}}$$

- Soit en mole : on mesure la **quantité** du traceur
- Soit en Becquerel : on mesure **l'activité radioactive**

TRACEUR ÉLIMINÉ À VITESSE CONSTANTE

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.

On a donc,

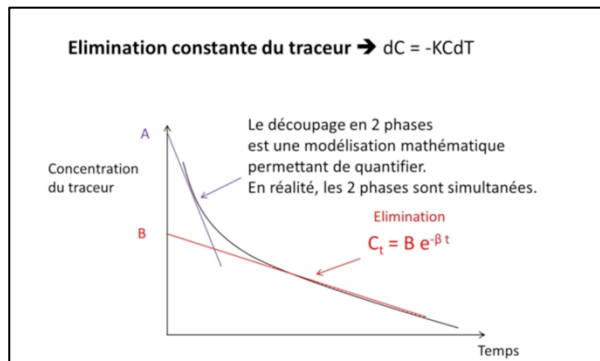
- Phase de **distribution**

Puis,

- Phase **d'élimination**

En réalité, les 2 phases sont SIMULTANÉES

+++



Bon... c'est parti pour un peu de maths, si tu ne comprends pas osef, retiens surtout les 2 points d'avant.

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 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

Tut' help : Le point B est la projection de la courbe d'élimination sur l'axe des ordonnées, c'est pour montrer les 2 phases.

‡ **Volume de distribution d'un traceur éliminé à vitesse constante (=régulièrement)** : rapport entre la **quantité** injectée totale du traceur (au début) et la **concentration** du traceur au **point B** (qui est extrapolé).

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

- Soit en mole : on parle de **concentration**
- Soit en Becquerel : on parle de l'activité **radioactive**

C. DESCRIPTION

LES TRACEURS DU MILIEU INTÉRIEUR

Ainsi, on obtient une description des différents volumes mesurés dans l'organisme selon les différents traceurs :

- Tombe souvent en qcm !

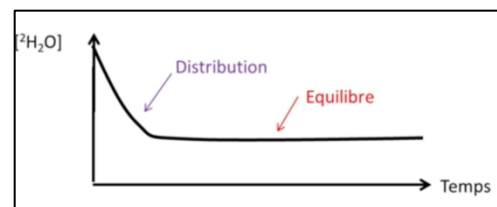
Volumes mesurés	Volume d'eau totale	Volume plasmatique	Volume EXTRAcellulaire
Traceurs	<ul style="list-style-type: none"> - Deutérium : $^2\text{H}_2\text{O}$ - Tritium : $^3\text{H}_2\text{O}$ 	- ^{125}I -albumine	<ul style="list-style-type: none"> - ^{51}Cr-EDTA - Inuline (pas insuline !!)

- Albumine marquée à l'iode 125
- EDTA marqué au Crome 51

VOLUME D'EAU TOTALE

L'équilibre de concentration du traceur (ici **deutérium** pour le volume **d'eau**) 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** (équilibre concentration, vu en haut !) et le **deutérium** reste dans le compartiment liquidien.



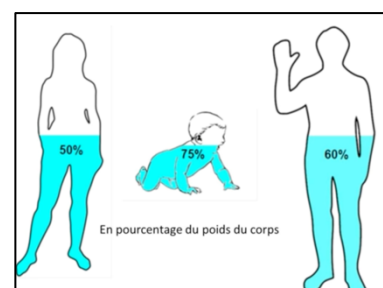
$$\text{Volume de distribution (L)} = \frac{\text{activité injectée (Bq)}}{[^2\text{H}_2\text{O}] \text{ à l'équilibre (mol. L ou Bq. L)}}$$

C'est exactement ce qu'on a vu plus haut, appliqué au deutérium

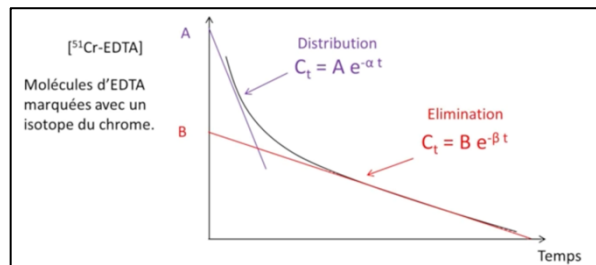
‡ VD d'un traceur séquestré : activité injectée divisée par l'activité à l'équilibre (du deutérium).

Cela nous donne l'image suivante : Les traceurs ont permis de mesurer le volume d'eau

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



Les valeurs sont à connaître **PAR CŒUR**, il y a des qcms de calcul (on verra ça dans une fiche calcul tqt 😊)



VOLUME EXTRACELLULAIRE

Si 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.

± VD d'un traceur éliminé à vitesse constante : rapport en quantité **injectée totale** et la concentration du traceur au **point B**.

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

VOLUME CELLULAIRE

Tut' rappel : milieu **cellulaire** \neq milieu **extracellulaire** = **intérieur !!**

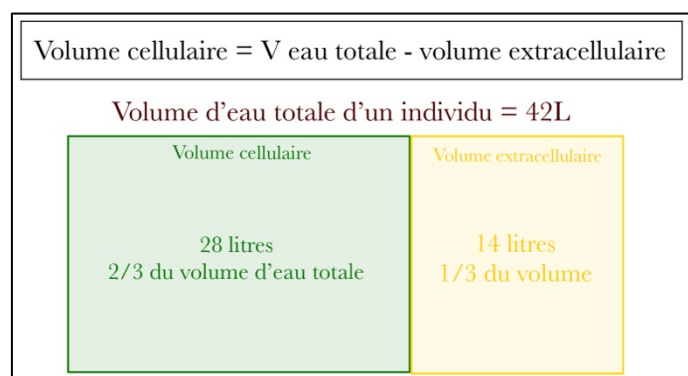
Connaissant le volume **extracellulaire (EDTA)** et le volume d'eau totale (**deutérium**), on peut calculer le volume cellulaire ;

± Volume cellulaire : 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

Pareil, à connaître **PAR CŒUR** pour les calculs !



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

Tut'help : par exemple, vous avez une femme de **72kg**

- V eau = **50%** de **72kg** = **36L** d'eau au totale
- V extracellulaire = **1/3** de 36L = **12L**
- V cellulaire = **2/3** de 36L = **24L**

C'est juste un exemple mais **no panic**, je vais sortir une fiche avec explications + astuces de calcul

VOLUME DE PLASMA

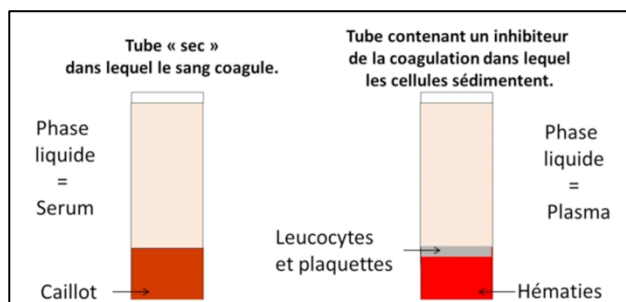
On peut également mesurer le volume de plasma ;

± Plasma : liquide qui reste après avoir prélevé du sang sur anticoagulant.

C'est un liquide composant le sang, il permet ntm le transport d'élément.

± Sérum : liquide qui reste lorsqu'un **caillot** s'est formé dans un tube dit « sec ».

- Donc **SANS** anticoagulant **!!** A bien différencier, attention en qcm



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

Quand on prélève **AVEC anticoagulant** (on va avoir le **plasma**), on peut trouver l'hématocrite :

± hématocrite : rapport entre le volume **globulaire** et le volume **sanguin**.

⇒ Elle est généralement autour de **45% = 0,45**

En gros, l'hématocrite représente le pourcentage de volume occupé par les **globules rouges** par rapport au volume total de **sang**.

Ainsi, on peut en utilisant **l'albumine** (protéine plasmatique) marquée à **l'iode 125**, qui se distribue dans le plasma, mesurer le **volume plasmatique**.

± Volume plasmatique : rapport entre l'activité injectée et l'activité à l'équilibre

- Éliminé à **vitesse constante**, comme **l'EDTA**

$$V_{\text{plasmatique}} = \frac{125I - \text{albumine (Bq)}}{[125I - \text{albumine}](\text{Bq.L})}$$

En effet, on peut calculer le volume **plasmatique** de cette manière puisque **l'albumine** ne se renouvelle pas très rapidement (*bien qu'elle soit en permanence dégradée et renouvelée par le foie*).

VOLUME DE SANG *chaud*

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 calcule.

‡ **Volume de sang** : volume **plasmatique** divisé par $1 - \text{hématocrite}$.

Let's gooo pour des maths, te prend pas trop la tête, apprend les formules. Les formules en gras (1 et 4) sont les plus importantes +++

$$\text{V sanguin} = \text{V globulaire} + \text{V plasmatique}$$

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

$$\text{Hématocrite} + \frac{V_{\text{plasma}}}{V_{\text{sanguin}}} = 1$$

$$\text{V sanguin} = \frac{V_{\text{plasma}}}{[1 - \text{hématocrite}]}$$

VUE D'ENSEMBLE

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.

Volume cellulaire = V eau totale - volume extracellulaire

Volume d'eau totale d'un individu = 42L

Volume cellulaire	Volume extracellulaire
28 litres 2/3 du volume d'eau totale	14 litres 1/3 du volume Dont 3,5 L de plasma = 50mL/kg

Le **volume plasmatique** s'estime par rapport au poids corporel et il est égal à **50 ml/kg** de poids corporel.

On peut voir que le volume **plasmatique** est à l'intérieur du volume **extracellulaire** dont il constitue une partie circulante.

Ainsi, pour **14L** de volume **extracellulaire**, il y a **3,5L** de **plasma** pour un individu standard.

CONCLUSION

- La notion de compartiment n'est PAS anatomique mais accessible à l'aide de traceurs moléculaires.
- On décrit simplement les compartiments qui vont être utiles 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.

1ère partie terminée ! Petite pause et on reprend 🍷

II. LES COMPARTIMENTS DU MILIEU EXTÉRIEUR

Le milieu extérieur est en étroit contact avec le milieu intérieur (cf partie précédente).

A. DÉFINITIONS

‡ compartiment pulmonaire : L'air qu'on respire vient se mettre au contact du **sang** dans un milieu aérien pulmonaire particulier (extérieur), où l'air est dépoussiéré, réchauffé et humidifié.

‡ compartiment digestif : 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.

‡ compartiment urinaire : 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 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

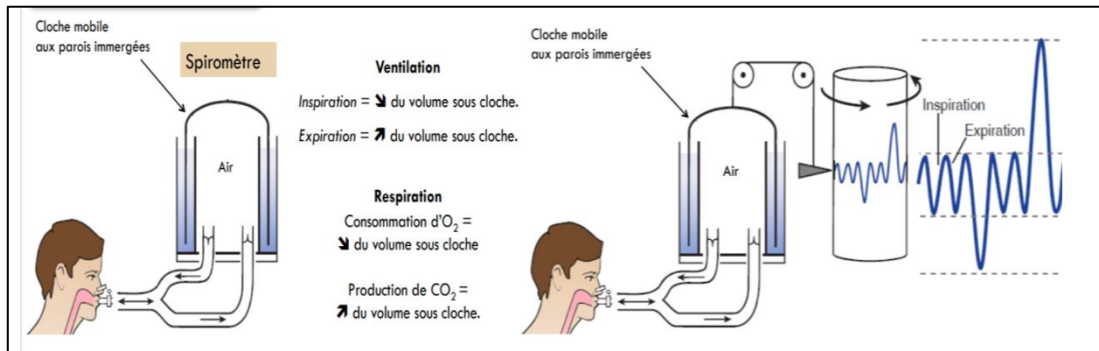
L'air pulmonaire est **facile** à mesurer, puisque simplement par la ventilation on peut faire varier le volume d'air extérieur.

‡ Spiromètre : permet de mesurer le **volume d'air inspiré** et **expiré**.

⇒ Une **diminution** ↓ du volume sous la cloche lors de **l'inspiration**

⇒ Une augmentation ↑ du volume lors de l'expiration (logik on souffle)

En enregistrant ces mouvements en fonction du temps, on obtient une image des différents **volumes mobilisés** par un individu.



RÉSULTAT DE LA SPIROMETRIE

‡ **Volume courant** : volume d'air qu'un individu est capable de mobiliser **au repos** pour assurer son métabolisme de base.

- Quand on ventile spontanément sans effort, on mobilise à peu près **0,5L** d'air

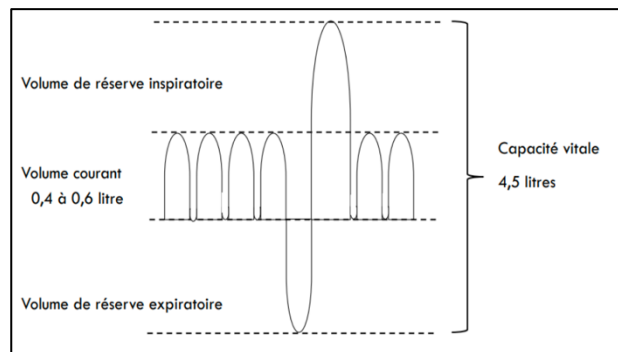
‡ **Volume de réserve** : mobilisable lors d'une inspiration / expiration.

On est capable de mobiliser à peu près

- **2L** d'air en inspirant à fond
- **2L** d'air en expirant à fond

‡ **Capacité vitale** : l'ensemble du volume aérien qu'un individu est capable de mobiliser entre une inspiration et expiration maximale.

- **4,5L**
 ⇒ Courant (0,5) + inspi (2L) + expi (2L)



DILUTION D'UN TRACEUR : HÉLIUM

Dans la partie 1, on a vu que les **traceurs** mesuraient les **≠ volumes** du milieu intérieur, c'est pareil pour le milieu extérieur !

L'hélium est un traceur qui se distribue dans l'ensemble de l'arbre aérien.

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, on mesure la concentration 2, déduisant le volume de distribution 2.

Le volume 2 comporte :

- Le volume 1
- La part supplémentaire liée à l'arbre aérien.

Ainsi, on utilise l'équation vu en partie 1 pour calculer le V_d ;

La **quantité d'hélium** injectée est **proportionnelle** à sa concentration multipliée par le **Vd**.

$$[\text{hélium}]_1 \times Vd1 = [\text{hélium}]_2 \times Vd2$$

$$Vd2 = \frac{[\text{hélium}]_1 \times Vd1}{[\text{hélium}]_2}$$

On obtient ainsi grâce à ces calculs ;

‡ **Capacité pulmonaire totale** : volume plus important que la capacité vitale, il prend en compte le **volume résiduel**.

- **5,8L**

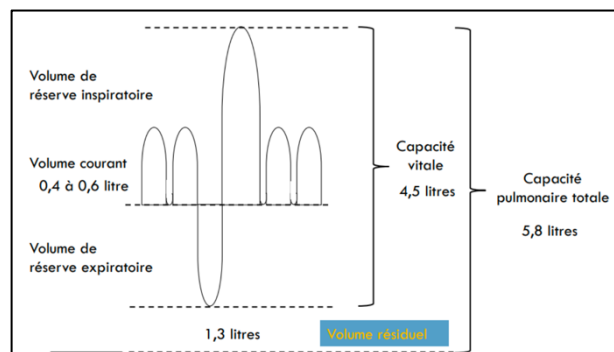
‡ **Volume résiduel** : volume des bronches et bronchioles, il n'est **JAMAIS** mobilisé.

- **1,3L**

➤ n'est pas en contact avec le sang et donc ne réalise pas d'échange.

Tut'recap :

- **Volume courant** : au repos, **0,5L**
- **Volume de réserve** : inspi + expi totale, **2L** + 2L
- **Volume résiduel** : bronches + bronchioles, **1,3L**
- **Capacité vitale** : mobilisé, **4,5L**
- **Capacité pulmonaire** : tout, **5,8L**



C. COMPARTIMENT DIGESTIF

DÉBITS LIQUIDIENS DIGESTIFS

Le compartiment digestif est variable en fonction du site.

Par **drainage** on mesure les débits quotidiens.

Cavité digestive	Sécrétion	Débit quotidien
Bouche	Salive	1,5 L
Estomac	Suc gastrique	2 L
Duodénum + jéjunum	Sucs pancréatique, biliaire, intestinal	1,5
		0,5
		1,5
Jéjunum distal + côlon + rectum	Suc intestinal	Faible

Tut'help : le jéjunum et le duodénum sont les parties de l'**intestin grêle** (revu en anat).

DÉBIT DE FILTRATION GLOMÉRULAIRE

Compartiment le plus difficile à mesurer,

± débit de filtration glomérulaire = **clairance plasmatique** : **VOLUME** de plasma **totale**ment épuré d'une substance par **UNITE DE TEMPS** par les **reins** (quand elle est épurée spécifiquement par les reins).

- Débit en **ml/min**
- PAR CŒUR les définitions

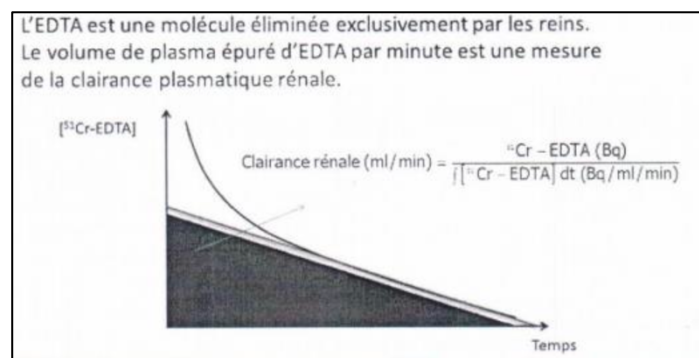
CLAIRANCE D'UN TRACEUR EXTRACELLULAIRE

Tu t'rappel : milieu **extracellulaire** = intérieur (\neq cellulaire)

L'EDTA est une petite molécule qu'on peut coupler à un **isotope radioactif de chrome** (51) pour pouvoir mesurer la quantité injectée dans l'organisme passivement.

- Elle va être un traceur **extracellulaire**.
- **EXCLUSIVEMENT** éliminée par les reins
- Le volume extracellulaire est filtré **régulièrement** par les **reins**

➤ $\text{Clairance EDTA} = \text{clairance rénale}$



Ainsi, la **clairance plasmatique** de l'EDTA va être **proportionnelle** à la **quantité** d'EDTA injectée, divisée par **l'aire sous la courbe de la concentration** en fonction du **temps**.

La **clairance plasmatique** rénale (ou **débit filtration glomérulaire**) est de **172,8 L/J** pour individu standard. (**= 120 ml/min**)

En considérant le volume plasmatique, les **reins** filtrent le **plasma** **50 fois par jour**

- ⇒ Les reins sont capables **dépurer efficacement** le **sang**
- On divise le débit de filtration glomérulaire par le volume plasmatique

On remarque que l'on urine moins de **2L** par **24h** et donc que les **172,8L** sont en majeure partie **recyclés** par les reins.

Le compartiment urinaire est constitué de ces **172,8L** qui vont être **réabsorbés** par le **tubule rénal**.

CONCLUSION

- Les volumes pulmonaires se mesurent par **spirométrie** et **dilution d'hélium**
- Les débits 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**.

La fiche est complète, vous pouvez donc bosser dessus tout le semestre !



D'abord dédié à toi ! Bon courage pour cette année, tu vas tout défoncer, je crois en toi !

Dédi à mes parents, je n'aurai jamais réussi sans eux.

Dédi à la DOA et ses tuteurs de dingue : Hugo, Baptiste, Milien, Alex²

ÉNORME DÉDI À OSCAR : je n'aurais jamais réussi sans toi, merci pour tout