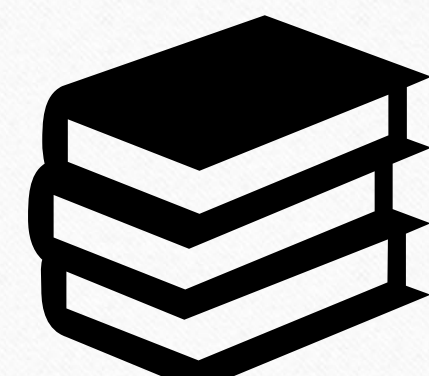


LES COMPARTIMENTS DE L'ORGANISME

DE L'ORGANISME

COMPLÈTEMENT

Pr. Favre



PLAN DU COURS :

INTRODUCTION :

A- Volume de distribution d'un traceur

- 1/ Le traceur reste dans le volume où on l'injecte
- 2/ Le traceur est régulièrement éliminé du volume où on l'injecte
- 3/ Mesure des compartiments liquidiens

B- Clairance plasmatique

- 1/ Clairance plasmatique rénale et insuffisance rénale
- 2/ Clairance plasmatique et médicaments
- 3/ Clairance et distribution d'oxygène

C- Débit cardiaque

- 1/ Circulation sanguine et cycle cardiaque : définitions
- 2/ Mesure du débit cardiaque par dilution
- 3/ Insuffisance cardiaque et débit sanguin par organe

D- Volumes et débits aériens pulmonaires

- 1/ Relation pression – volume des alvéoles pulmonaires
- 2/ Mesure des paramètres ventilatoires
- 3/ Mesure des paramètres respiratoires

Introduction :



- Qu'est ce que la physiologie ?
- → La physiologie est la **science du fonctionnement de l'organisme** (fonctions et propriétés des organes et tissus) et la base de la médecine. **Le corps humain est vu comme un tout** autour de nombreux concepts que nous allons détailler à travers les différents cours.

L'organisme à grande échelle

Compartimentation de l'organisme :
Les milieux liquides
Le milieu aérien pulmonaire

Mesure de grandeurs :
Force hydrostatique

→ On considère l'organisme comme un ensemble de fluide, liquidiens et aériens, mobilisés par la force hydrostatique.

L'organisme à moyenne échelle

Composition des milieux :
Substances dissoutes
Substances chargées

Mesures de grandeurs :
Forces osmotiques et électriques

→ Les forces osmotiques et électriques permettent le déplacement de molécules dissoutes et chargées d'un côté à l'autre de la membrane cellulaire.

L'organisme à petite échelle :

Dynamiques des milieux :
Oxydation des nutriments

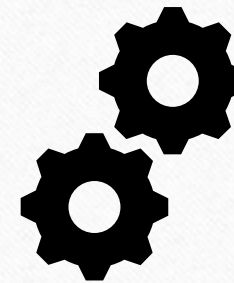
Mesures des grandeurs :
Energie libre

→ Ici se trouve la biochimie avec ses réactions de synthèse et de catabolisme. On parlera simplement d'oxydation.

Valeurs numériques du cours :

Quand on donne des valeurs en physiologie on prend celles **d'un individu standard unisexe** (homme comme femme, jeune comme vieux, grand comme petit ...) fictif :

- Taille : 1,60 m
- Poids : 70 kg
- Surface corporelle : 1,73 m²

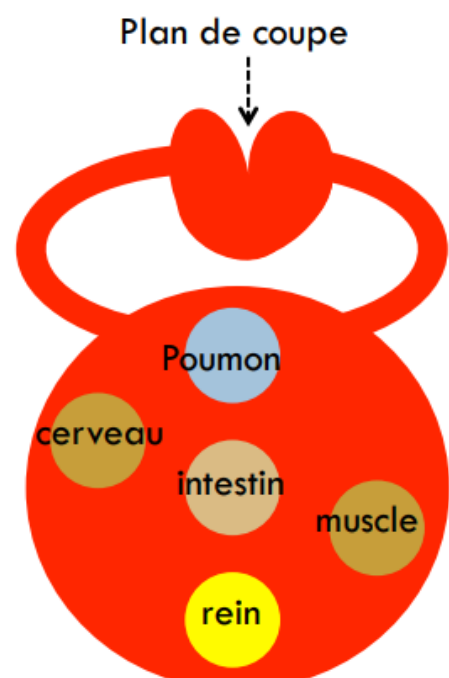


➔ Les valeurs à apprendre seront signalées pendant le cours.

Les différents compartiments:

On y trouve différents milieux :

- ❖ **Le milieu aérien extérieur** : dans les poumons, ouvert sur l'extérieur.
- ❖ **Le milieu hydrique extérieur** : dans l'intestin et les reins, ouvert sur l'extérieur
- ❖ **Le milieu hydrique intérieur** : ensemble du sang, du liquide interstitiel (= liquide extracellulaire) qui circule autour des différents organes et dans lequel les cellules baignent et peuvent vivre.
- ❖ **Le milieu hydrique cellulaire** : intérieur des cellules musculaires, cérébrales et hépatiques par exemple.



Vue frontale

Milieu aérien extérieur

Milieu hydrique intérieur
(sang et liquide interstitiel)

Milieu hydrique cellulaire

Milieu hydrique extérieur

Milieu hydrique extérieur



Vue en coupe

Ce schéma se focalise sur 3 organes:

Le **poumon**, l'**intestin** et le **rein** qui ont la particularité d'être des organes, en interaction avec le milieu extérieur.

Les **poumons** par le biais de leurs alvéoles qui sont en contact avec l'air extérieur, pour les **reins** par le biais de l'urine et pour les **intestins** il s'agit de leur lumière traversée par le bol alimentaire qui constitue un milieu extérieur.

Le milieu hydrique intracellulaire est **inaccessible** chez un individu vivant: toutes les mesures physiologiques médicales sont réalisées sur le **milieu hydrique intérieur** ou sur **les milieux extérieurs (aérien ou hydrique)**.



Attention piège QCM : **Le milieu cellulaire (ou intracellulaire) ne fait PAS parti du milieu intérieur !**

Il s'agit d'un milieu à part entière.

L'organisme à grande échelle :

L'air et le sang circulent sous l'effet de la **pression hydrostatique**.

Pression hydrostatique : pression exercée par la gravité, les muscles et les forces élastiques des tissus. Elle permet la circulation des fluides.
(→ Revu dans le cours « Potentiel chimique »)

Par exemple :

- Une inspiration profonde demande une force musculaire (pression hydrostatique liée à une pression musculaire) et une expiration nécessite l'élasticité pulmonaire pour évacuer l'air (pression hydrostatique liée à une force élastique).
- Le cœur qui se contracte en systole diminue son volume et éjecte par la force de pression le sang dans les artères.

A) Volume de distribution (Vd) d'un traceur :

Il s'agit de la mesure des espaces de distribution de l'eau, du sang, de l'air grâce à **des traceurs** qui sont des molécules qui vont aller remplir ces espaces : **ce sont des traceurs moléculaires dont on va mesurer le trajet, la disparition, la vitesse de dispersion.**

Principe de la mesure :

On injecte un traceur puis on mesure **sa concentration par rapport à sa quantité injectée** ce qui va nous permettre de déduire le volume.

2 situations : le traceur peut être

- **Éliminé** du Vd (processus physiologique : clairance rénale, clairance hépatique, métabolisme, transformation)
- **Séquestré** dans le Vd (il est distribué puis reste dans le Vd).

Le volume de distribution d'un traceur permet de mesurer les volumes suivants :

- ✓ **Volume extracellulaire** (= milieu intérieur +++)
- ✓ **Volume d'eau total** (Quantité d'eau contenue à la fois dans le milieu intra et extra cellulaire)
- ✓ **Volume pulmonaire**
- ✓ **Volume plasmatique**



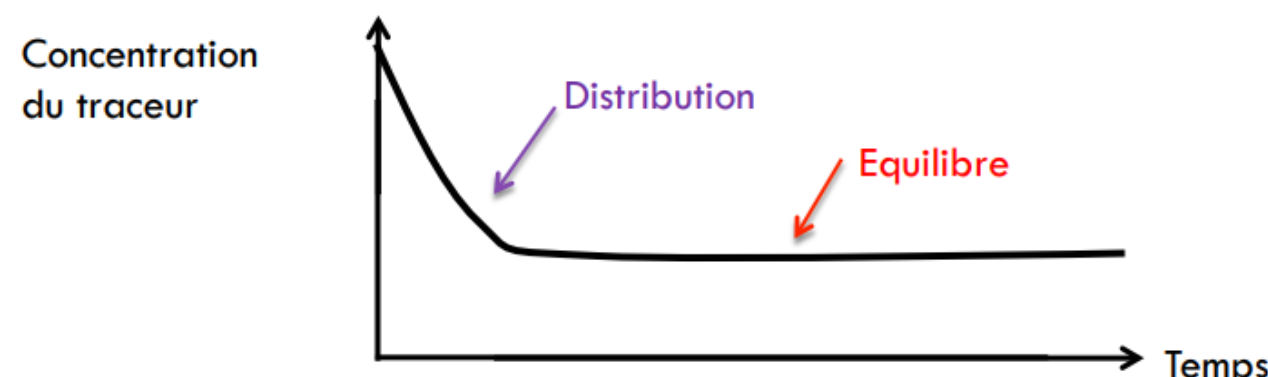
Le plasma et le sang font partie du milieu extracellulaire tout comme le liquide de soutient interstitiel.

Exemples de traceurs :

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

1) Le traceur reste dans le volume où on l'injecte:

- Ici le traceur est **séquestré dans le volume de distribution.**
- A $t=0$, la concentration est maximale, puis le traceur se dilue.



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

2) Le traceur est régulièrement éliminé du volume où on l'injecte :

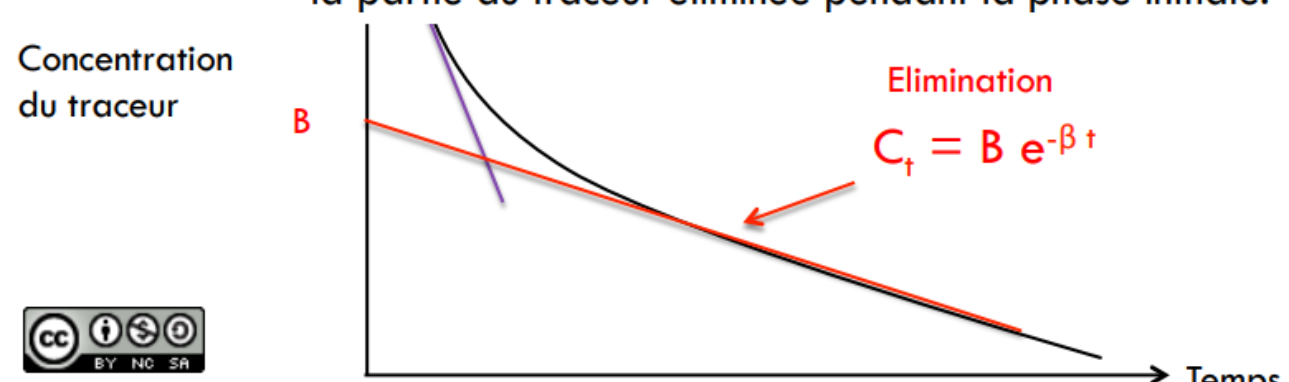
- Le traceur est **éliminé du volume de distribution** à vitesse constante, par fonctionnement normal de l'émonctoire.
- On se base sur la droite d'élimination pour calculer le volume de distribution (V_d), mais ce dernier est sous estimé car on néglige l'élimination qui a lieu pendant la distribution.

Il y a 2 phases (simultanées) :

- **Phase de distribution :** démarre avec le pic
- **Phase d'élimination :** démarre immédiatement après l'administration (et non pas après la phase de distribution)

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

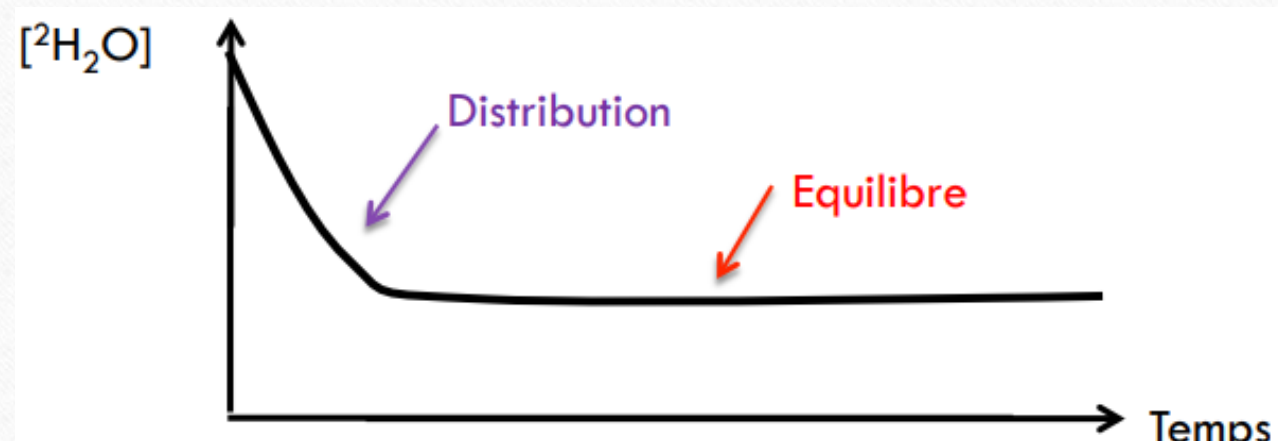
Cette modélisation sous-estime systématiquement le volume de distribution car elle néglige la partie du traceur éliminée pendant la phase initiale.

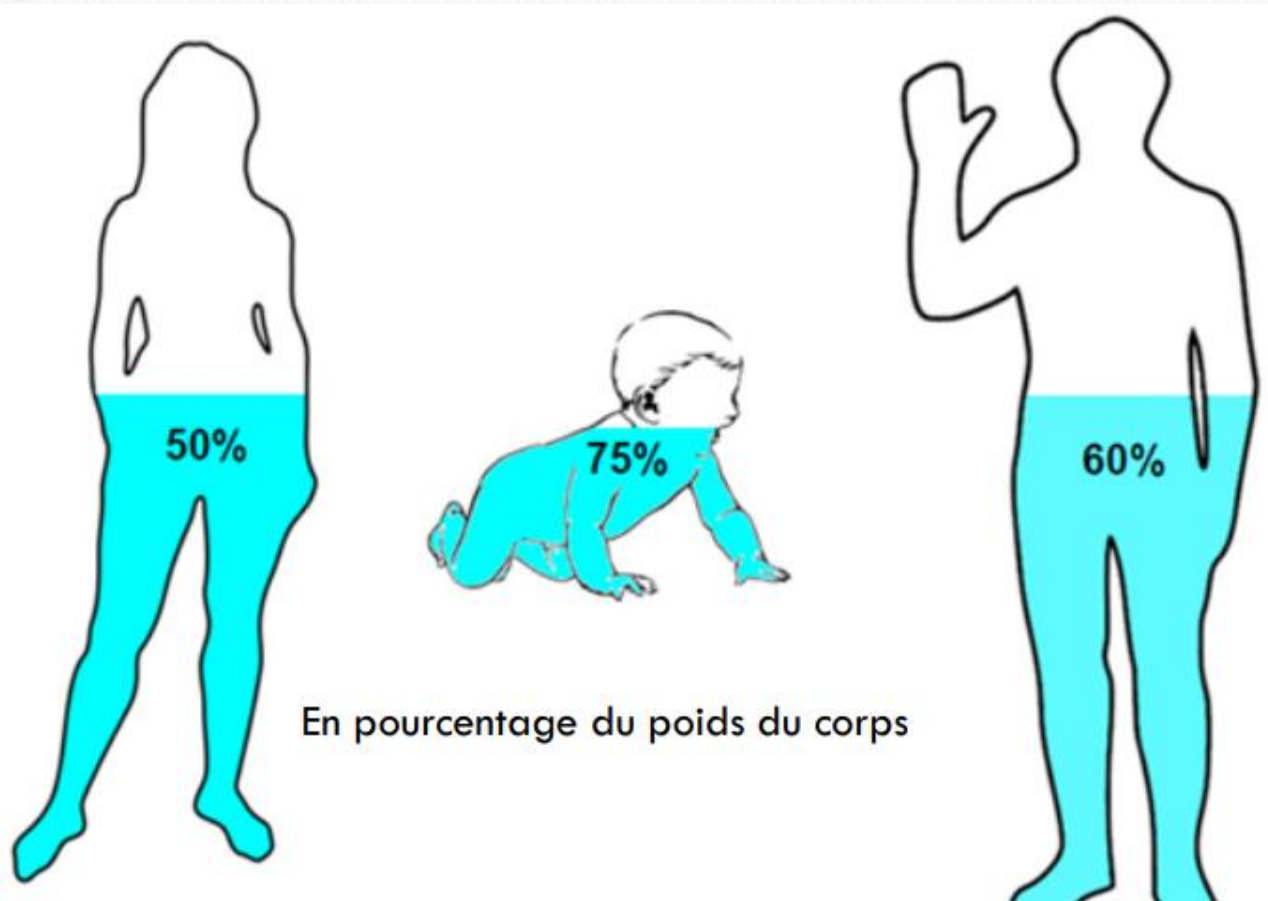


3) Mesure des compartiments liquidiens :

a) Mesure du volume d'eau totale :

→ L'eau ne se renouvelle pas rapidement, **on considère donc qu'elle n'est pas éliminée.**





En pourcentage du poids du corps

Le volume d'eau totale diffère selon l'âge et le sexe :

- ♥ Femme : 50 % du poids
- ♥ Homme : 60% du poids
- ♥ Nourrisson : 75 % du poids



Le volume d'eau totale est plus faible chez la femme que chez l'homme, **car la femme contient plus de tissus adipeux que l'homme** (qui lui possède plus de muscle). Or le tissu adipeux est hydrophobe.

b) Mesure du volume extracellulaire (= milieu intérieur) :

C'est différent du volume d'eau totale: **c'est l'eau qui est accessible aux mesures** (contrairement au volume d'eau intracellulaire).

Ainsi pour trouver le volume cellulaire on fait :

♥💣* Volume cellulaire = volume d'eau totale – volume extracellulaire ♥💣*

Volume cellulaire = volume d'eau totale – volume extracellulaire

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

**Volume
cellulaire**

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

**Volume
extracellulaire**

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

Application calcul pour les QCM :

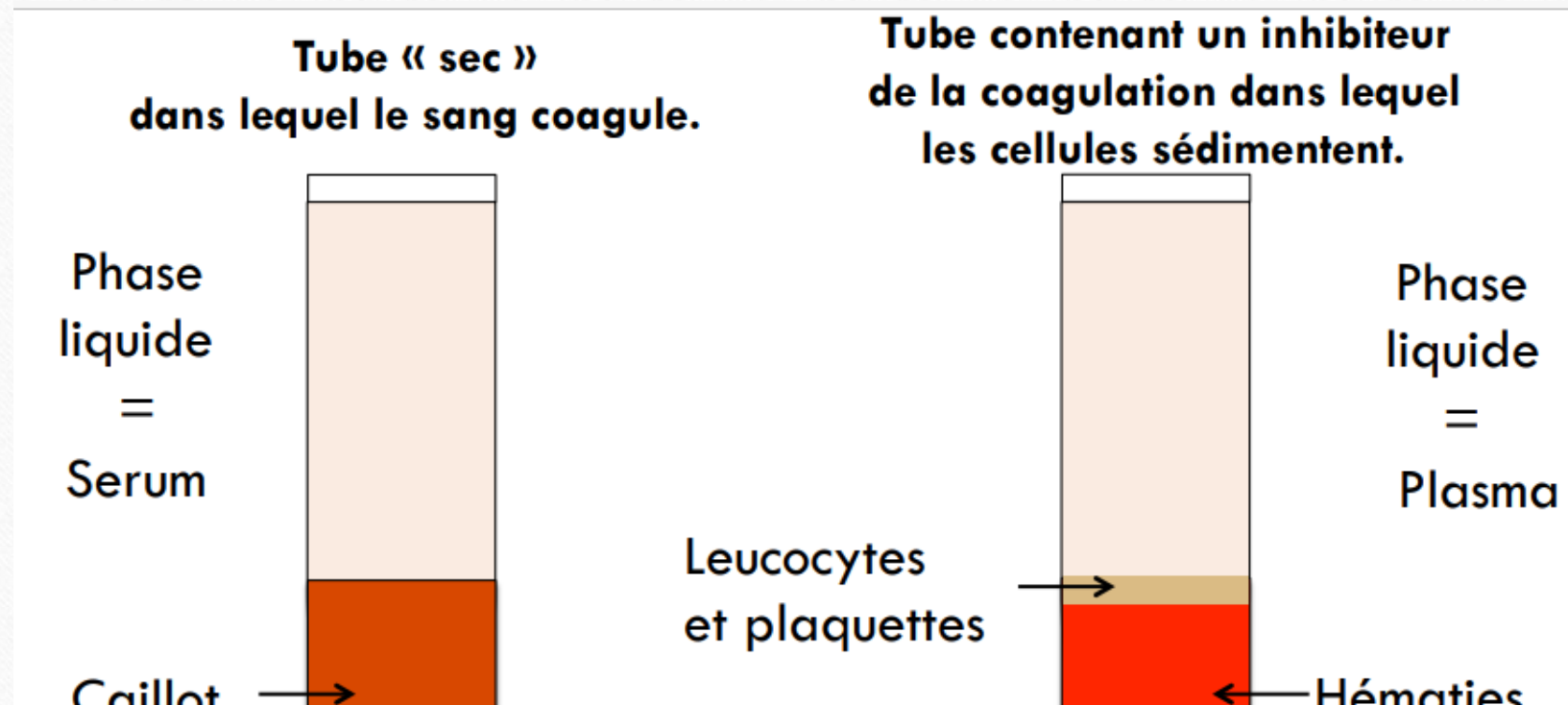
Si on prend une **femme** de **60 kg**, quelle est **son volume d'eau totale** ? Son **volume cellulaire** et **extracellulaire** ?

Volume d'eau totale : 50% de son poids donc $60 \text{ kg} / 2 = 30 \Rightarrow 30 \text{ L}$ d'eau totale.

Volume cellulaire = $2/3$ du volume d'eau totale $\Rightarrow 20 \text{ L}$

Volume extracellulaire = $1/3$ du volume d'eau totale $\Rightarrow 10 \text{ L}$

Le sang et sa composition :



Plasma \neq sérum : les protéines sont encore présentes à l'état soluble dans le plasma contrairement au sérum.

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

Mesuré sur le tube contenant un anticoagulant

L'hématocrite est le reflet de la quantité de cellules présentes dans le sang (qui permet de déterminer des pathologies comme l'anémie).

c) Mesure du volume plasmatique :

💣*♥ **Volume plasmatique = 50 ml/kg de poids corporel** 💣*♥

Exemple pour une personne (peu importe le sexe ou l'âge) qui pèse 60 kg, elle aura 3 L de plasma : $50\text{ml} \times 60 = 3000\text{ ml} = 3\text{ L}$



Calcul du volume sanguin :

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

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

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

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

B) Clairance plasmatique :

Définition : la clairance plasmatique est le volume de plasma totalement épuré d'une substance par unité de temps !
Il s'agit d'un débit (ml/min) ♥💣*

1) Clairance plasmatique rénale et insuffisance rénale :

Paramètre qui permet :

- ♥ D'apprécier la fonction des reins.
- ♥ Calculer la posologie des médicaments à administrer.
- ♥ Apprécier la consommation d'oxygène des différents organes.

Intérêt de mesurer la clairance plasmatique rénale:

Pour individu standard, la clairance plasmatique rénale est de :
120 ml/min = 172,8 L/j (environ 173)

C'est **le débit de filtration glomérulaire (DFG)**.

Or le volume plasmatique est de 3,5 L. On peut donc calculer le nombre de fois où les reins filtrent le sang : $172,8 / 3,5 = 49,4$
DONC les reins filtrent le plasma environ 50 fois par jour.

Malgré que 173 L de plasma sont filtrés, le volume urinaire est de seulement 2 L par jour.

➔ **Les reins filtrent le plasma mais en réabsorbe la majeure partie.**

Clairance de la créatinine et débit de filtration glomérulaire (DFG):

La **créatinine** est **endogène** (pas besoin d'injection) et **éliminée seulement par filtration rénale**.

Chez un individu avec une masse musculaire constante (individu sain), **le débit de créatinine est le reflet de sa masse musculaire**.

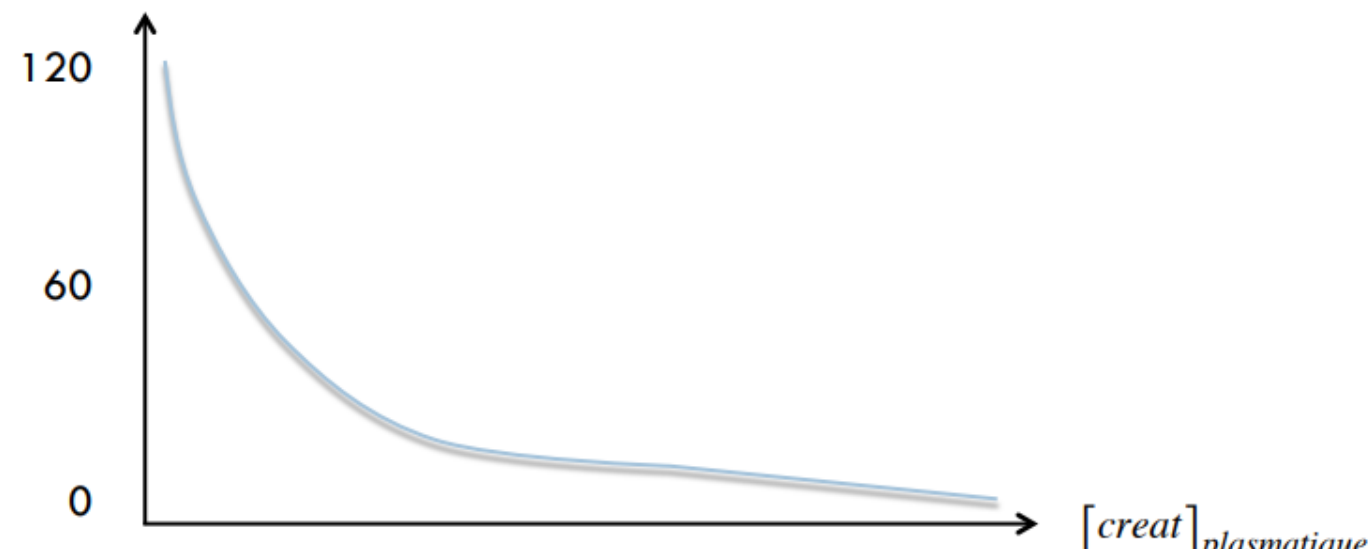
La clairance plasmatique de la créatinine est inversement proportionnelle à la concentration de créatinine dans le plasma.

Donc plus la créatinine est concentrée dans le plasma, moins celui-ci est filtré et inversement.

Ce qui nous amène à la notion de DFG...

La relation qui relie le débit de filtration glomérulaire (DFG) et la concentration en créatine dans le plasma est **une relation exponentielle**.

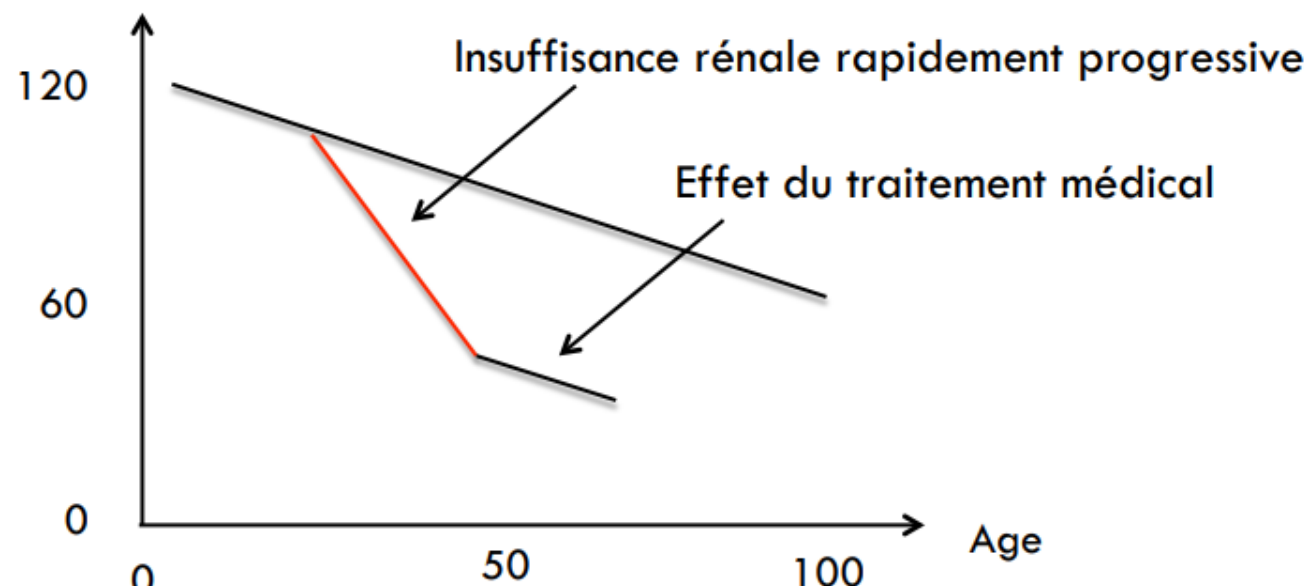
Débit de filtration
glomérulaire
(ml/min)



La concentration en créatinine est inversement proportionnelle au DFG: plus le rein filtre correctement, moins il y a de créatinine dans le sang puisque celle-ci est éliminée !

L'insuffisance rénale = diminution du débit de filtration glomérulaire

Débit de filtration
glomérulaire
(ml/min)



- Baisse progressive du DFG avec l'âge
- En cas de maladie rénale : **perte rapide du DFG** (patho : insuffisance rénale)

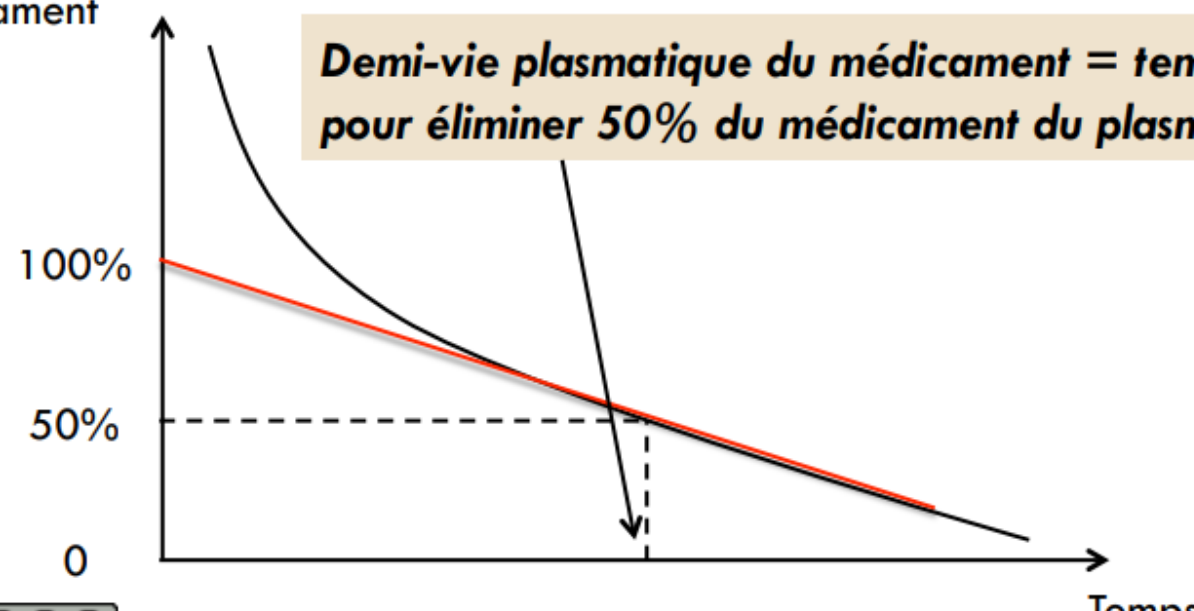
2) Clairance plasmatique et médicaments :

Lorsque un médicament se distribue dans le secteur extra cellulaire, puis est éliminé par les reins, on arrive à connaître **la clairance de ce médicament** de la même manière qu'on a pu mesurer la clairance rénale.

Sur ce graphique on peut connaître le temps nécessaire pour que l'organisme élimine la moitié du médicament.

C'est la demi-vie du médicament qui est utile pour connaître sa posologie (fréquence et dose).

Concentration
du médicament



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

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

La clairance plasmatique d'un médicament est le volume de plasma épuré du médicament par unité de temps.

Demi-vie d'un médicament = temps nécessaire pour éliminer 50% du médicament du plasma.

3) Clairance et distribution d'oxygène :

Clairance sanguine de l'oxygène = volume de SANG totalement épuré d'O₂ par un organe et par unité de temps.

Pour cela on mesure au niveau de l'organe la quantité d'O₂ qui arrive dans l'artère, puis celle qui sort au niveau de la veine.

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>

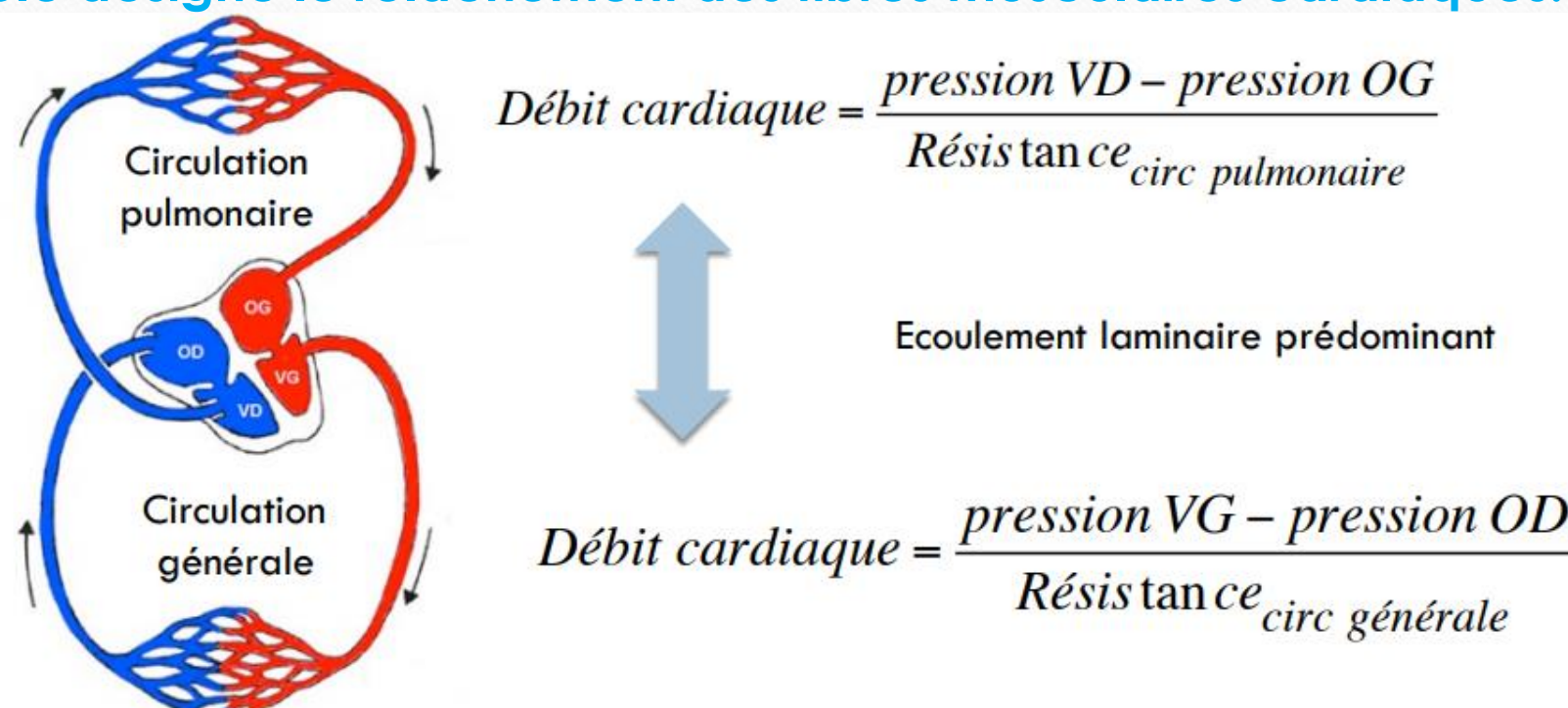
C) Débit cardiaque

1) 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.



Petite précision anatomique :

Il existe 2 circulations → générale (=grande circulation) et pulmonaire (=petite circulation)

La circulation générale se fait du ventricule gauche à l'oreillette droite et la circulation pulmonaire se fait du ventricule droit à l'oreillette gauche.

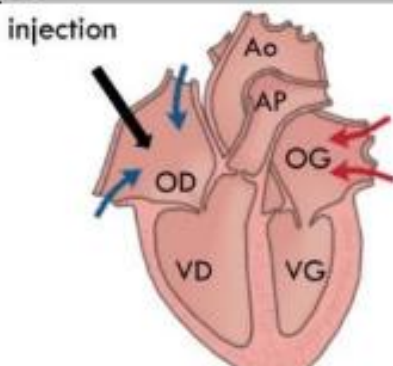
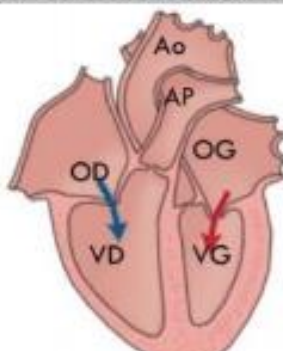
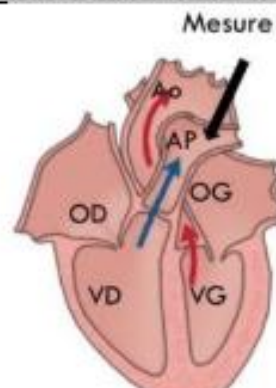
A retenir pour ce cours :

Circulation générale → circulation à haute pression

Circulation pulmonaire → circulation à basse pression



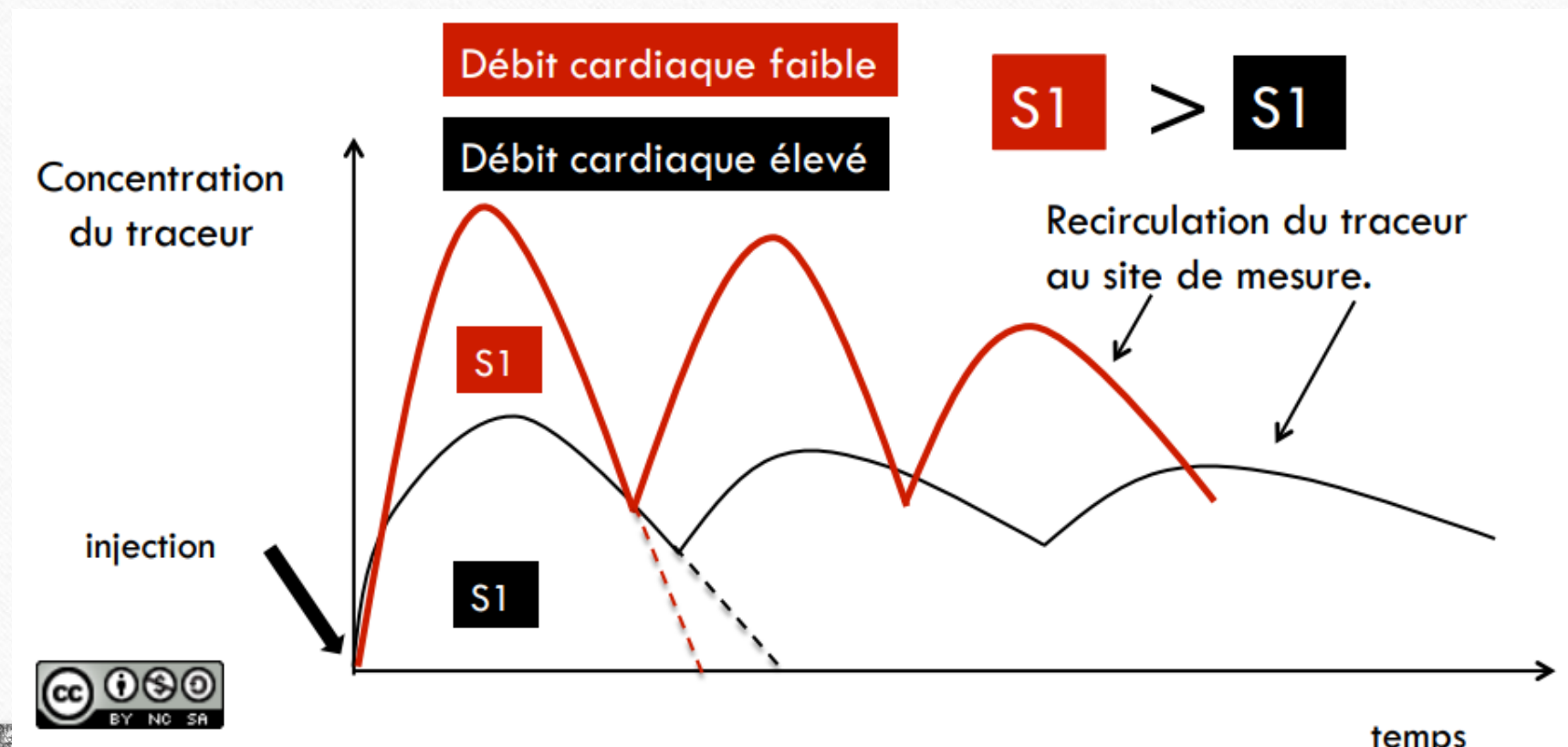
2) Mesure du débit cardiaque par dilution :

Débit cardiaque dans la circulation pulmonaire		
Diastole	Systole auriculaire	Systole ventriculaire
 <p>Pas de contraction. Le sang de l'organisme rentre dans les oreillettes.</p> <p>Le sang est riche en O₂ dans l'OG et pauvre en O₂ dans l'OD.</p> <p>→ Injection de traceur.</p>	 <p>Contraction des oreillettes qui éjectent leur contenu dans les ventricules.</p> <p>→ Dilution du traceur dans le sang de l'OD et du VD.</p>	 <p>Suit immédiatement la systole auriculaire.</p> <p>Ejection du sang par contraction des ventricules dans les artères.</p> <p>→ Mesure de la concentration du traceur dans le sang de l'artère pulmonaire.</p>

Distribution du traceur :

Le traceur n'est pas éliminé de la circulation : il se **dilue** progressivement dans le sang et la mesure se fait en temps réel.

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



3) Insuffisance cardiaque et débit sanguin par organe:

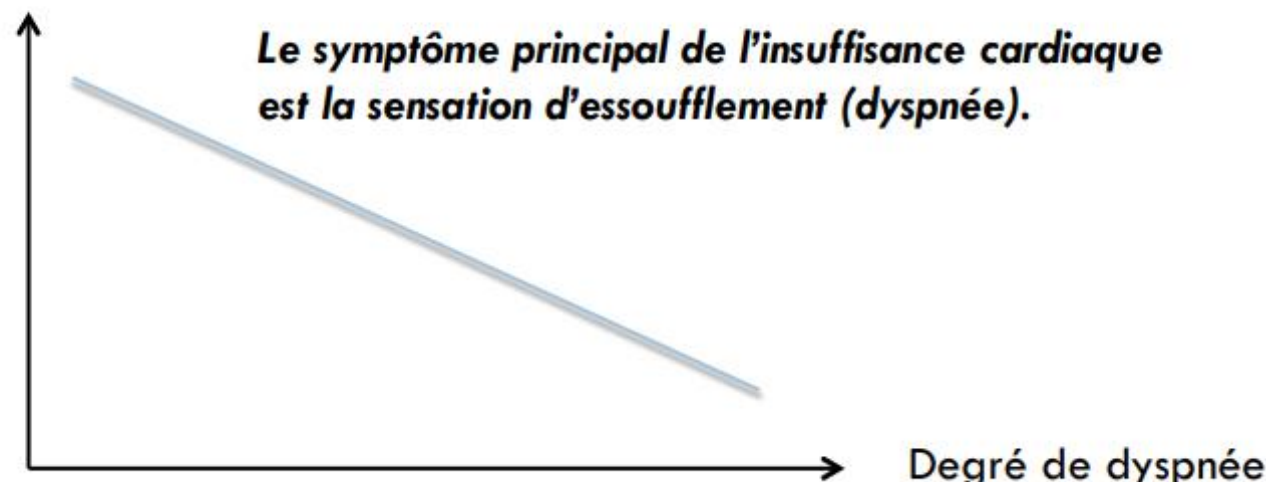
→ La circulation pulmonaire et la circulation générale reçoivent le même débit sanguin (5L/min).

L'insuffisance cardiaque est définie par la baisse du débit cardiaque

(l'insuffisance cardiaque est inversement proportionnelle au débit cardiaque).
C'est l'incapacité du cœur à apporter suffisamment de sang aux tissus pour les oxygéner et permettre leur fonctionnement normal.

Le symptôme principal de l'insuffisance cardiaque est l'essoufflement. Le fait de ne pas arriver à faire circuler l'oxygène entraîne une sensation de manque d'air qu'on appelle la **dyspnée** !

Débit cardiaque



➔ **Le symptôme principal de l'insuffisance cardiaque est la dyspnée. Les deux sont proportionnels !**

Mesure du débit sanguin par organe :

En conditions basales	Pourcentage du débit cardiaque	
Poumons	100 %	
Cerveau	15 %	
Reins	20 %	
Intestin et appareil digestif	36 %	100%
Muscle et peau	24 %	
autres	5 %	

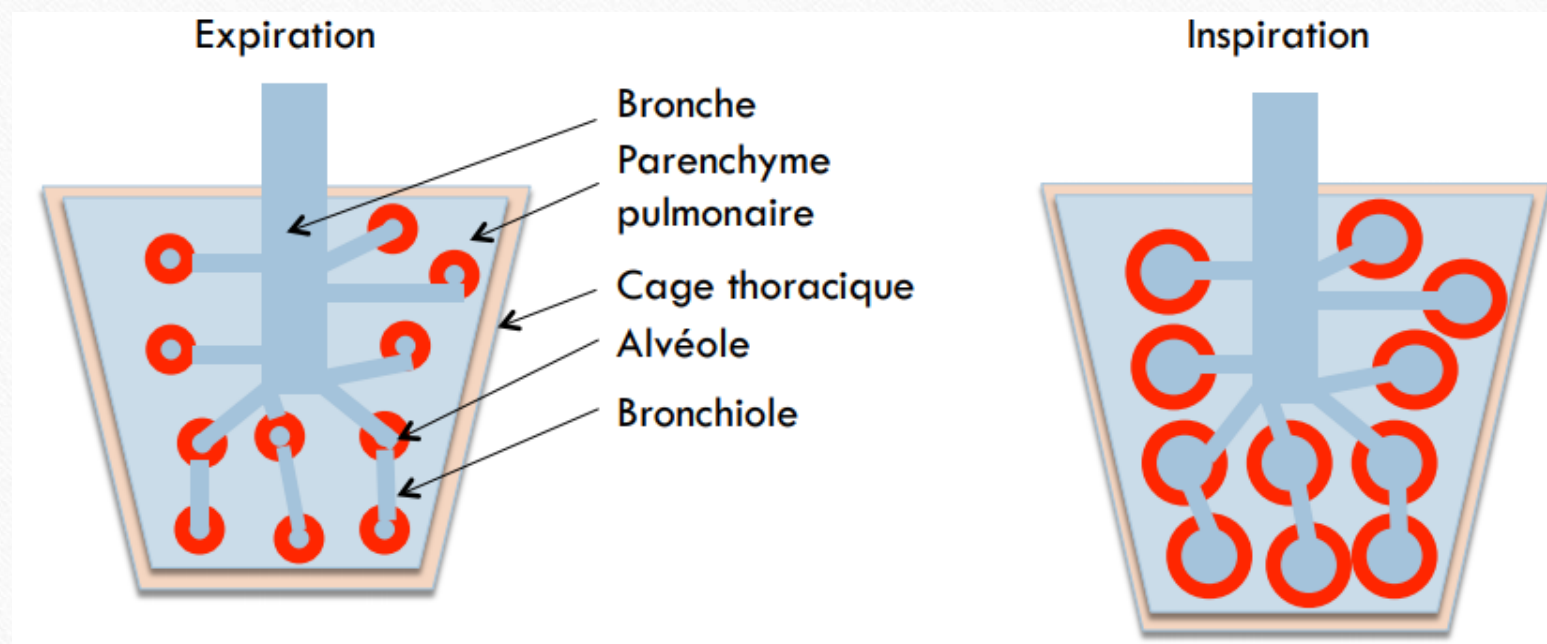
Certains organes ont un débit constant : ce sont les organes vitaux
→ poumons, cerveau et reins.
Pour les autres organes **le débit est variable en fonction de leur activité** (par exemple : digestion pour l'appareil digestif, exercice physique pour les muscles ect ...).

D) Volumes et débits aériens pulmonaires :

Au niveau des poumons on a : les bronches, les bronchioles, les alvéoles et le parenchyme pulmonaire.

Lors des inspirations et expirations, le volume de la cage thoracique varie.

Ces variations sont strictement proportionnelles aux variations du volumes d'air dans les alvéoles.

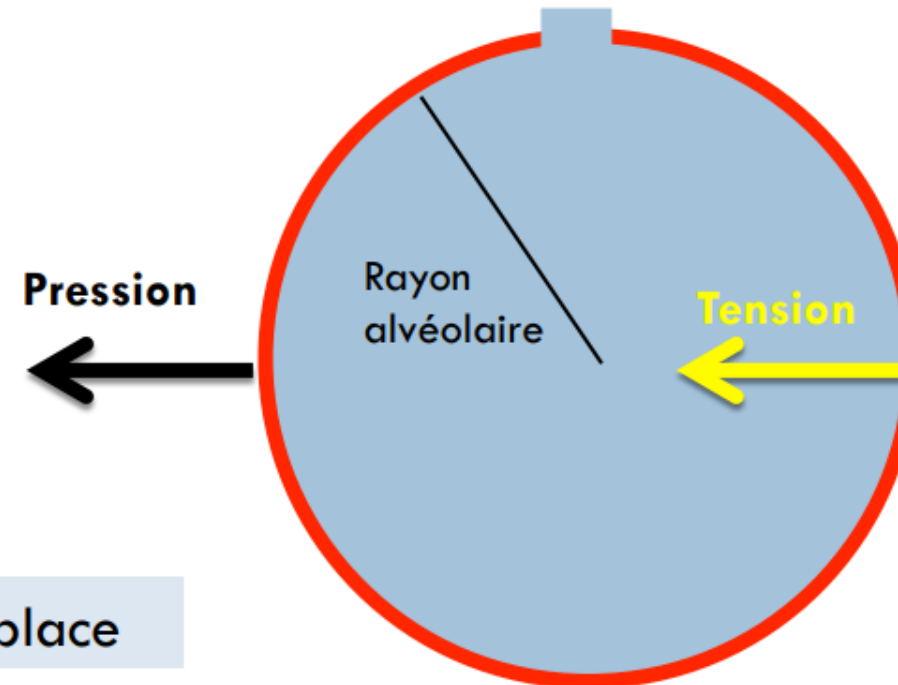


1) Relation pression-volume des alvéoles pulmonaires :

L'air pulmonaire est dans les alvéoles. Ce sont des cavités tissulaires arrondies entourées par le sang.

Loi de Laplace :

La pression intra-alvéolaire est proportionnelle au rapport de la tension de surface et du rayon.



Loi de Laplace

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

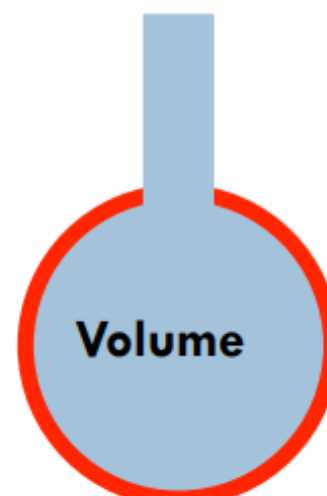
La pression nécessaire pour ouvrir les alvéoles est inversement proportionnelle au rayon alvéolaire.

(Donc d'après la loi de Laplace, il faudrait une très forte inspiration au début pour faire rentrer l'air et puis une plus faible à la fin lorsque le rayon des alvéoles est plus important).

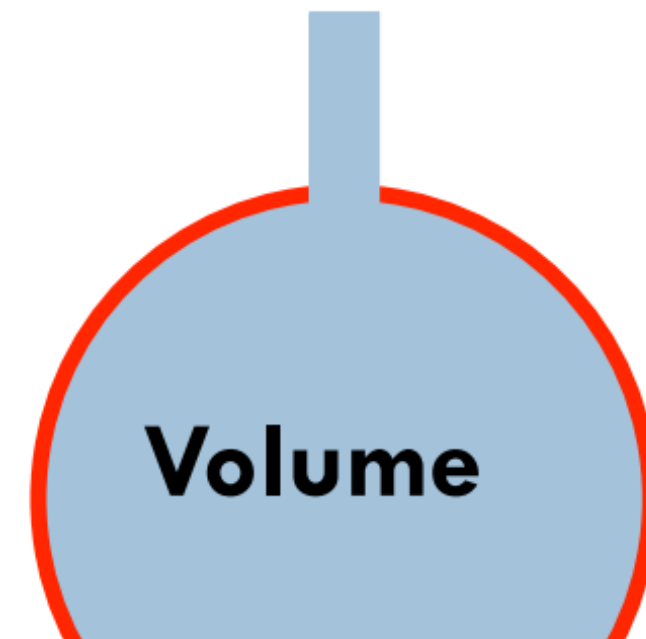
Pression



Pression



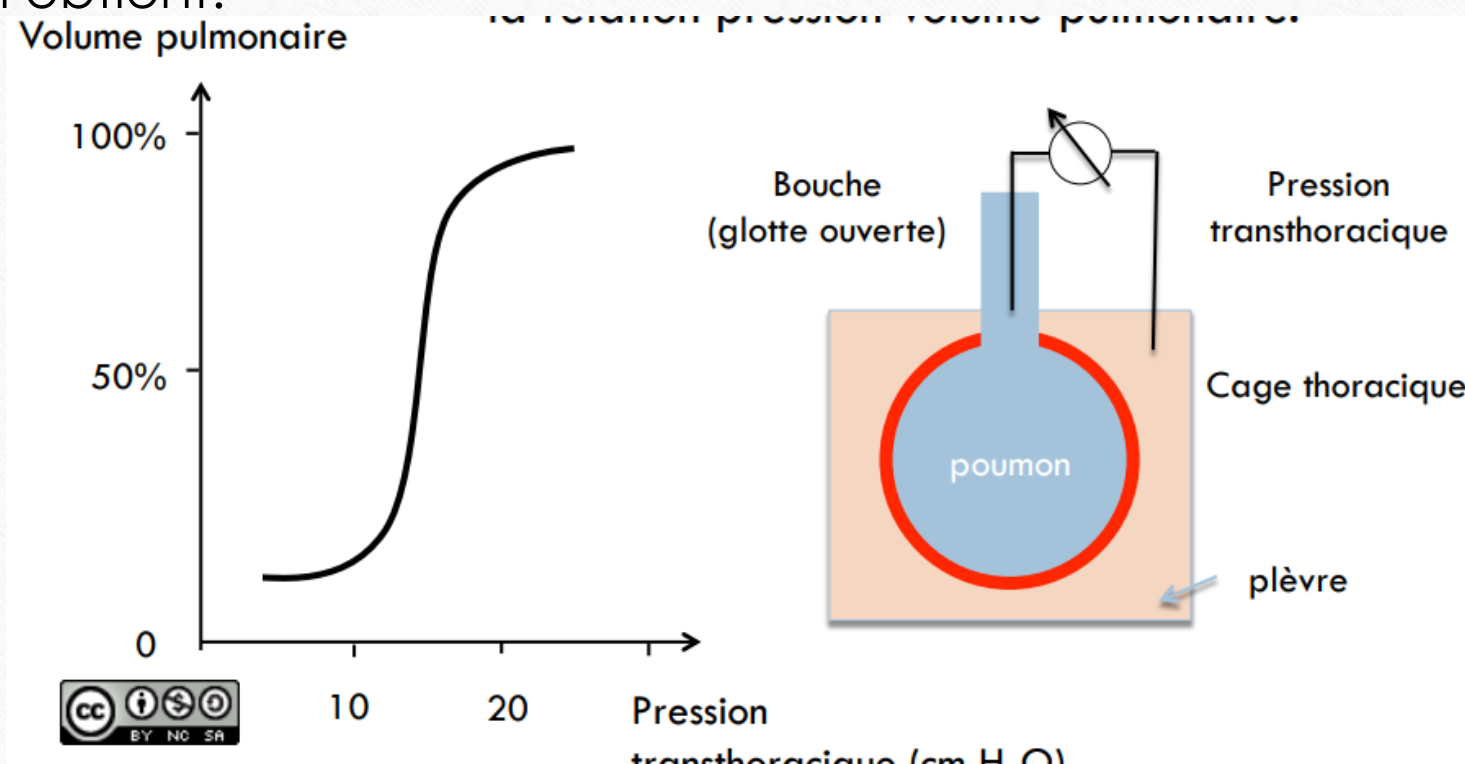
Pression



Or on sait que l'air rentre sans effort dans nos poumons: **donc la loi de Laplace ne marche pas dans cette situation.**

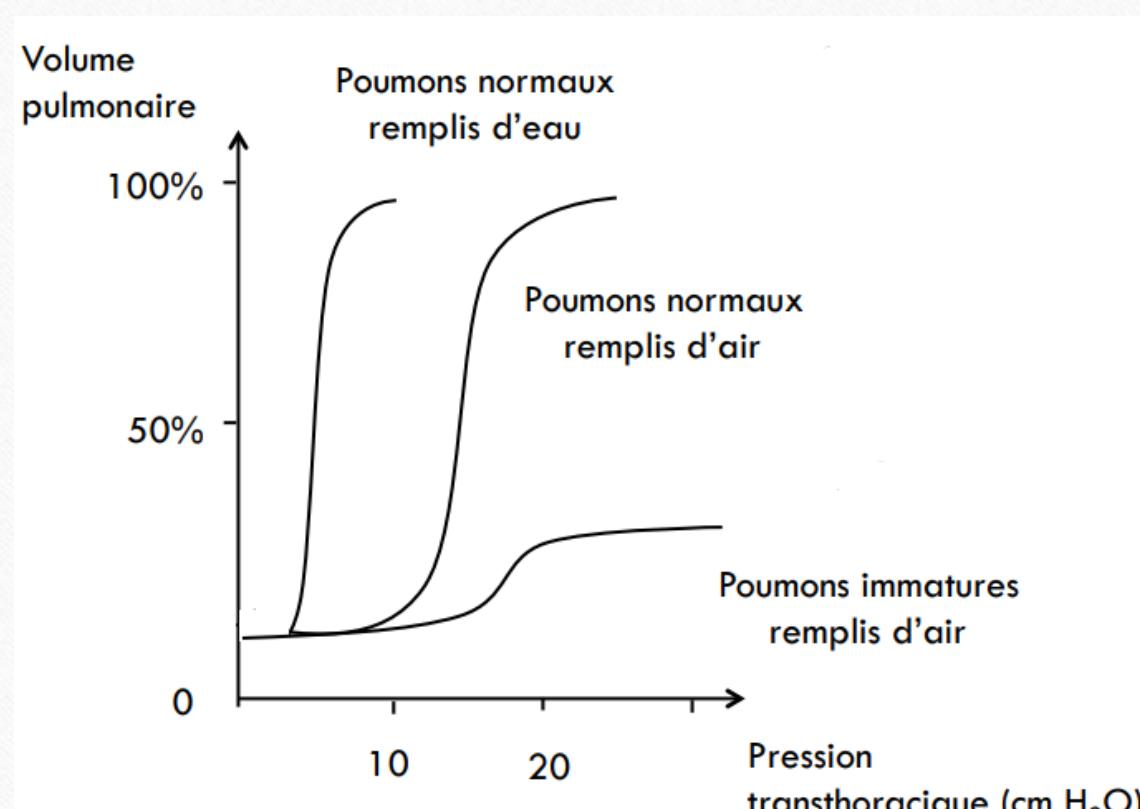
⇒ **La Loi de Laplace ne prédit pas la relation pression-volume pulmonaire.**

Il y a donc un autre facteur qui entre en jeu pour expliquer la relation sigmoïde qu'on obtient.



Hypothèse : la loi de Laplace n'est pas respectée grâce à l'interface air-sang.

La prématurité de l'interface air-sang décale la courbe vers la droite c'est-à-dire les fortes pressions.

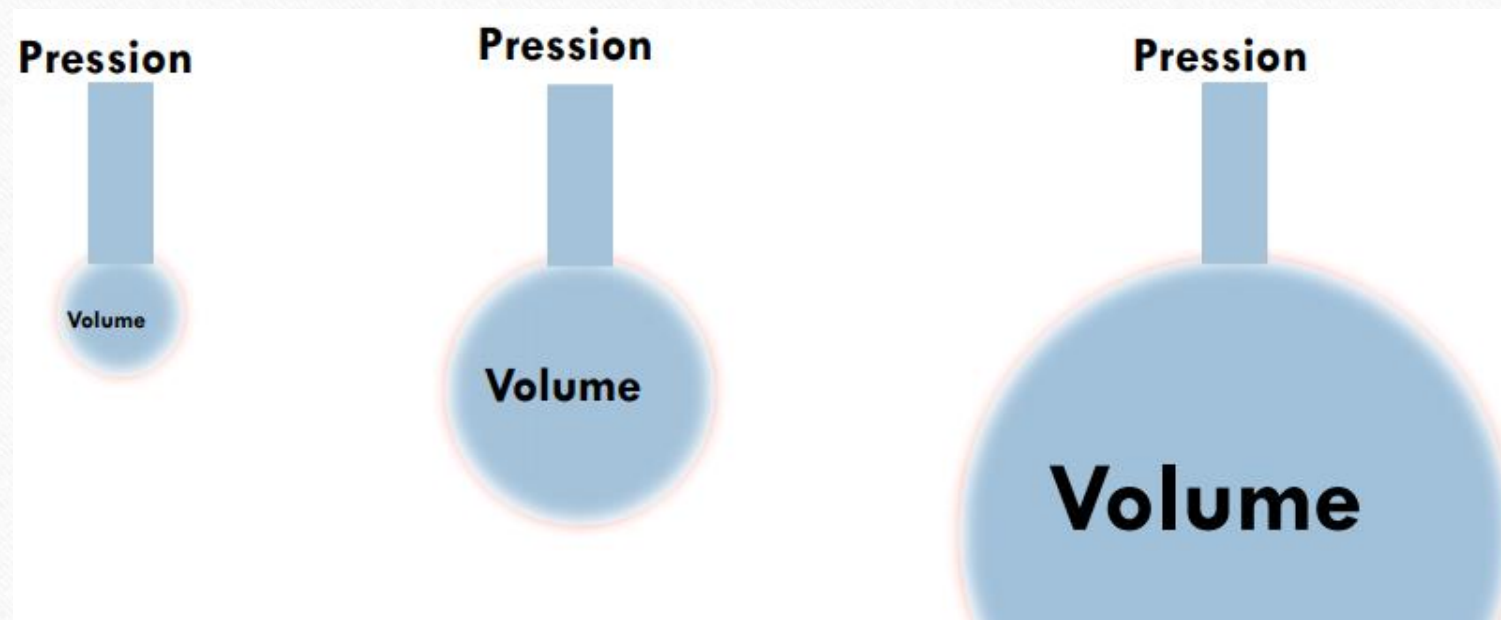


On comprend donc que c'est au niveau de l'interface que tout se joue.

Interprétation : le surfactant

C'est une **substance tensio-active** qui se trouve à l'intérieur des alvéoles et qui permet de modifier la relation pression-volume → **on a une grande modification de volume sans modification de pression.**

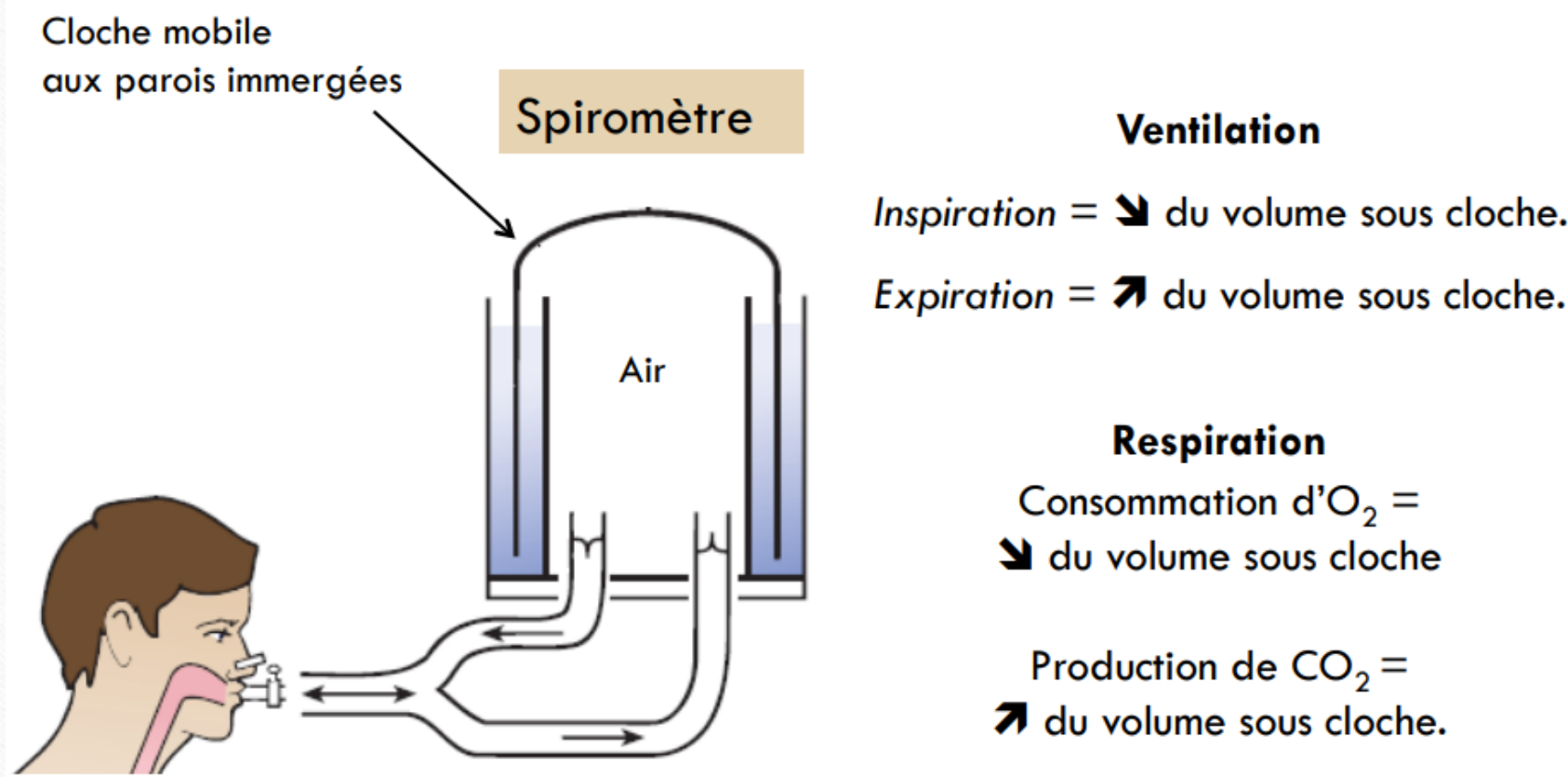
C'est donc une interface qui contredit la loi de Laplace.



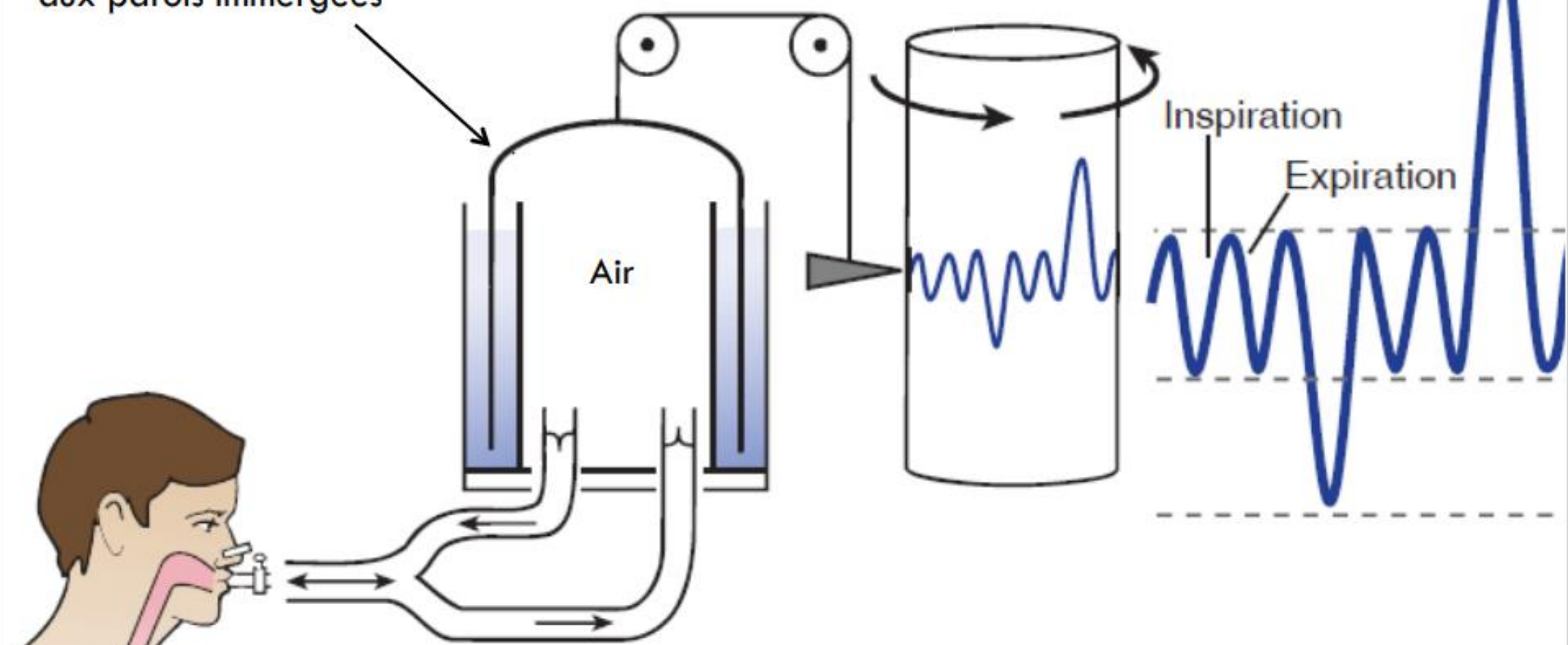
2) Mesure des paramètres ventilatoires

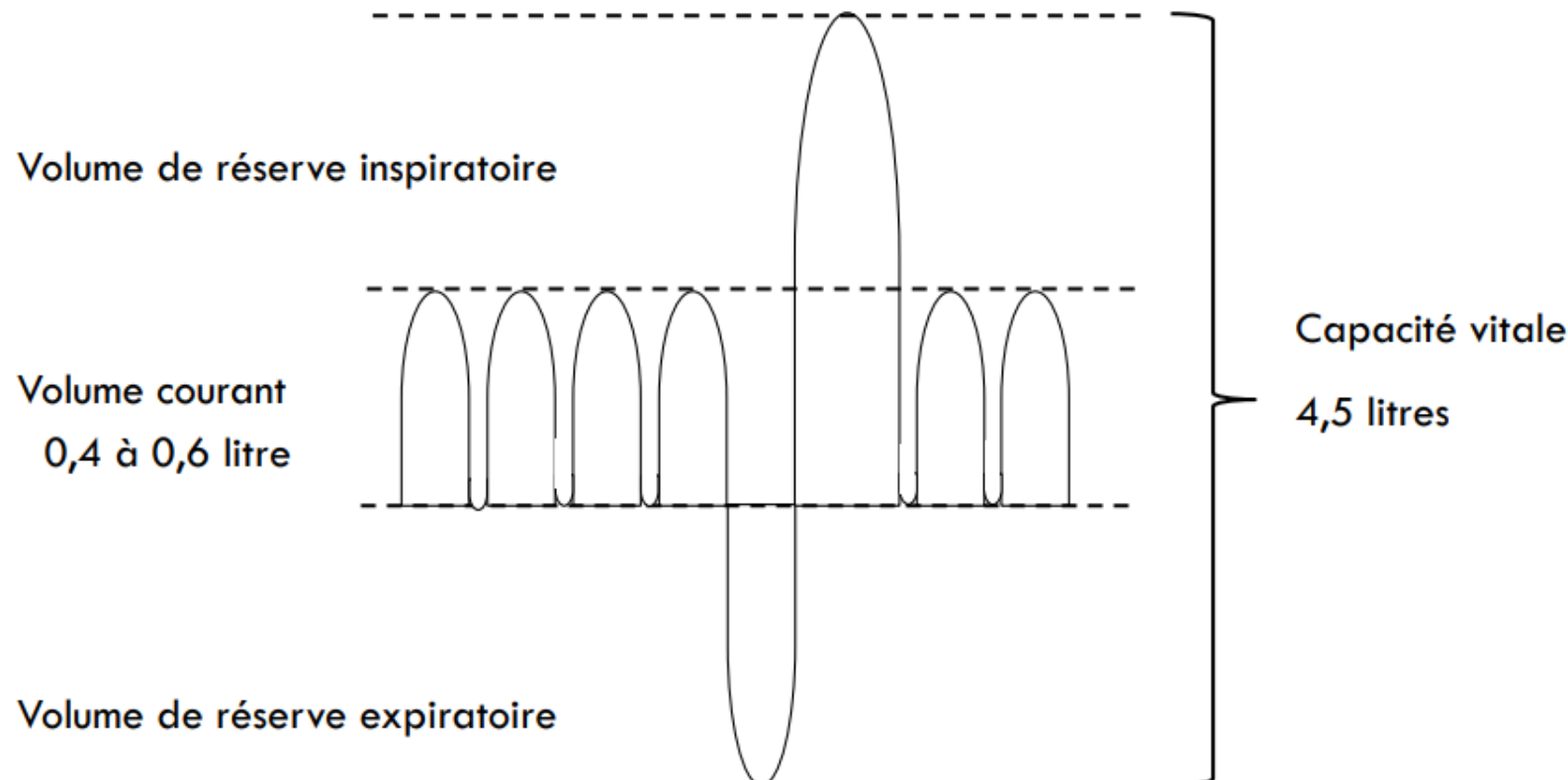
Ventilation et respiration :

Il y a différence entre **ventilation** (variation de volume = mécanique) et **respiration** (variation de quantité de gaz que vous consommez (oxygène) ou fabriquez (pour le CO₂ = biochimique))



Cloche mobile
aux parois immergées



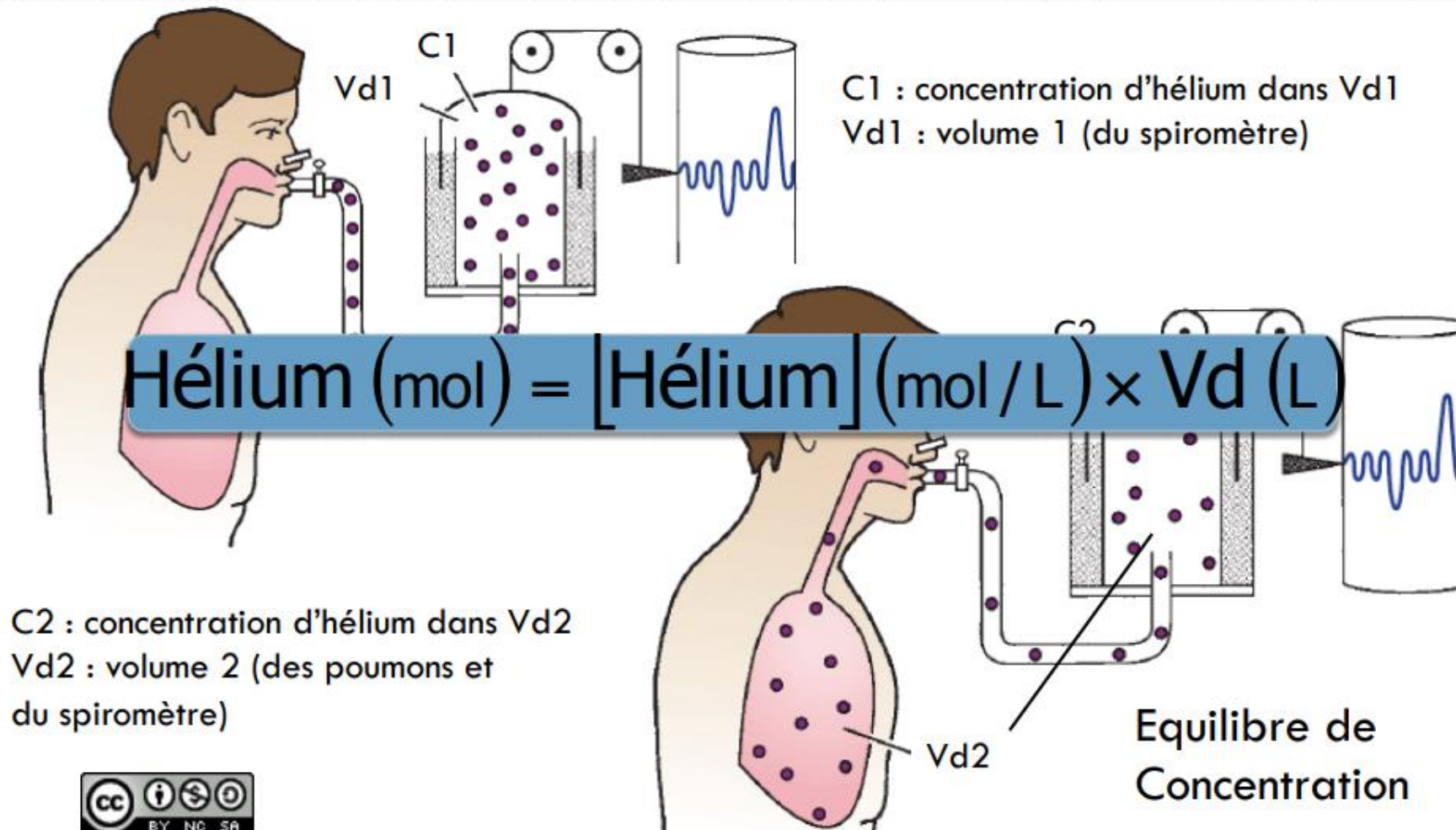


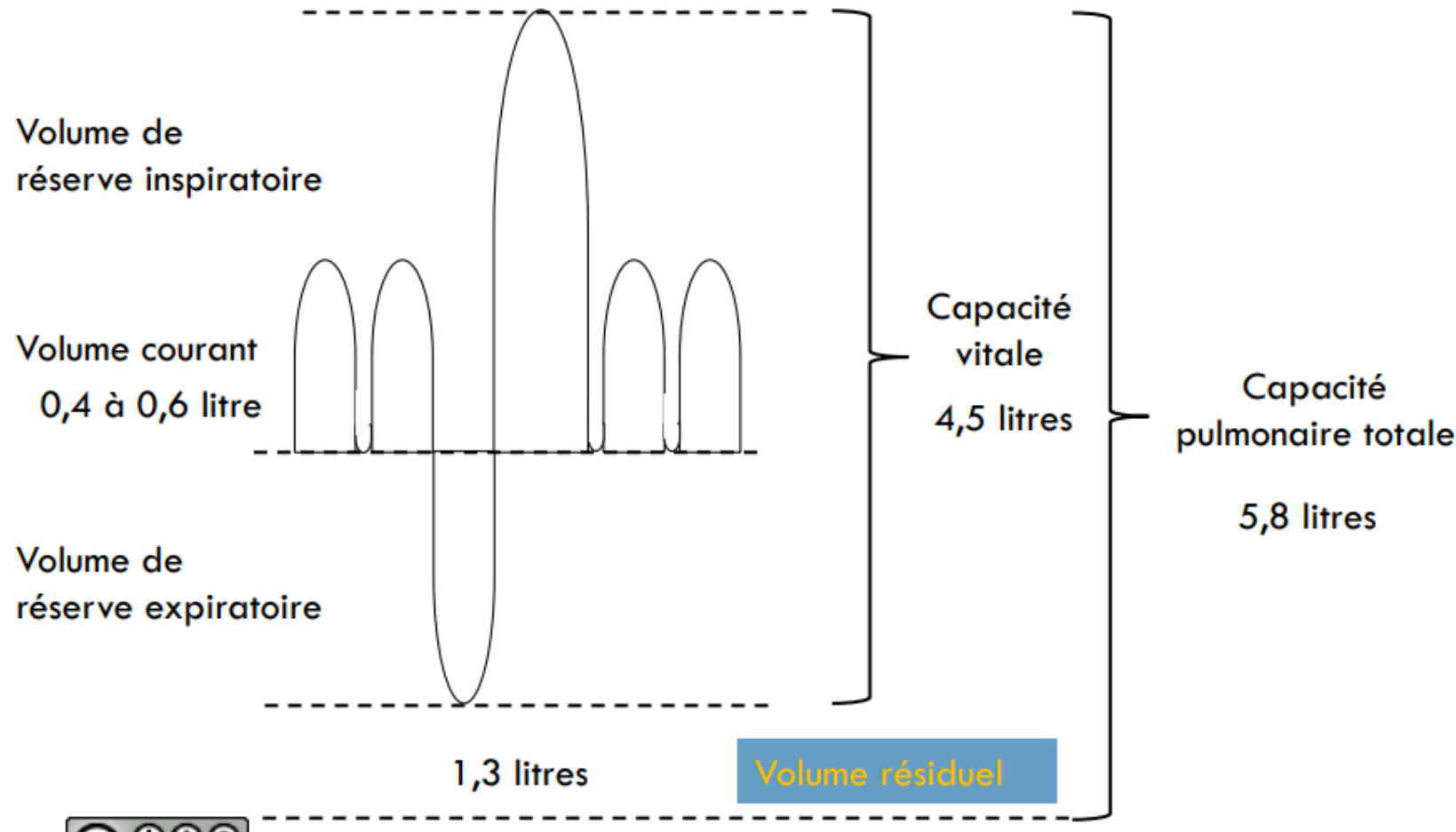
Volume courant = volume d'air qu'un individu est capable de mobiliser au repos pour assurer son métabolisme de base (1/2 L)

Capacité vitale = ensemble des volumes aériens qu'un individu est capable de mobiliser entre une inspiration maximale et une expiration maximale

Capacité vitale = volume courant + volume de réserve inspiratoire + Volume de réserve expiratoire

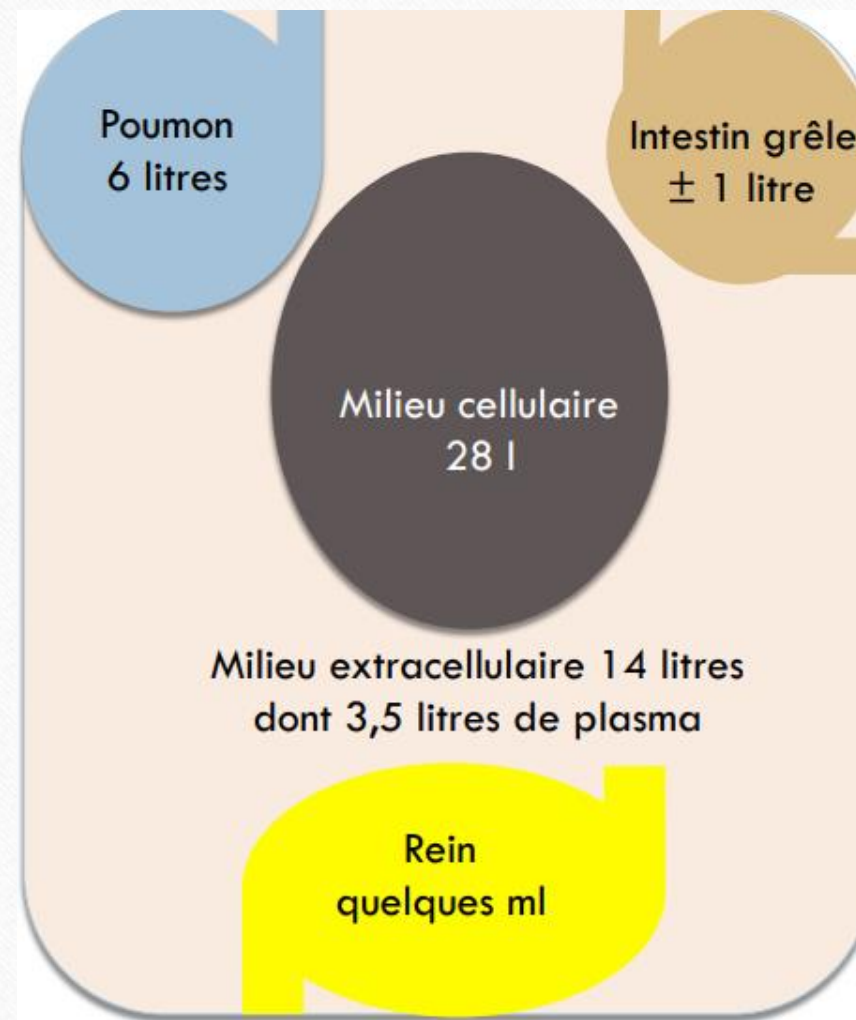
Mesure du volume pulmonaire par dilution d'hélium :



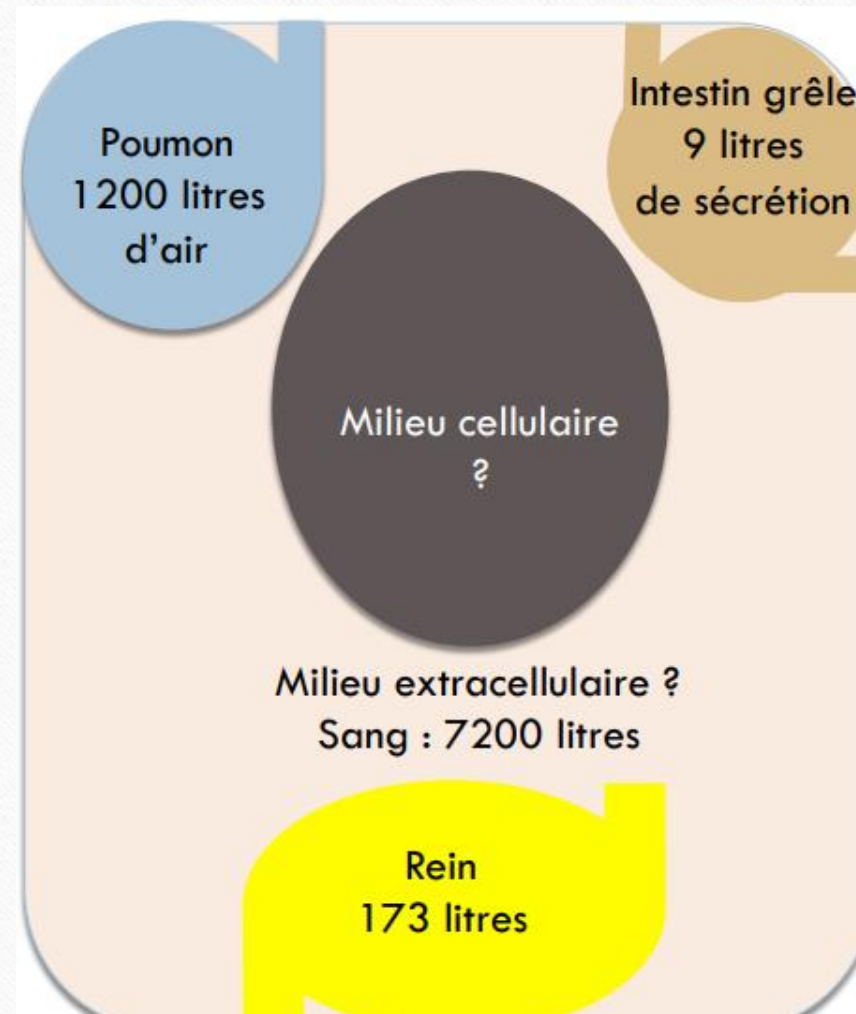


Capacité pulmonaire totale = capacité vitale + volume résiduel

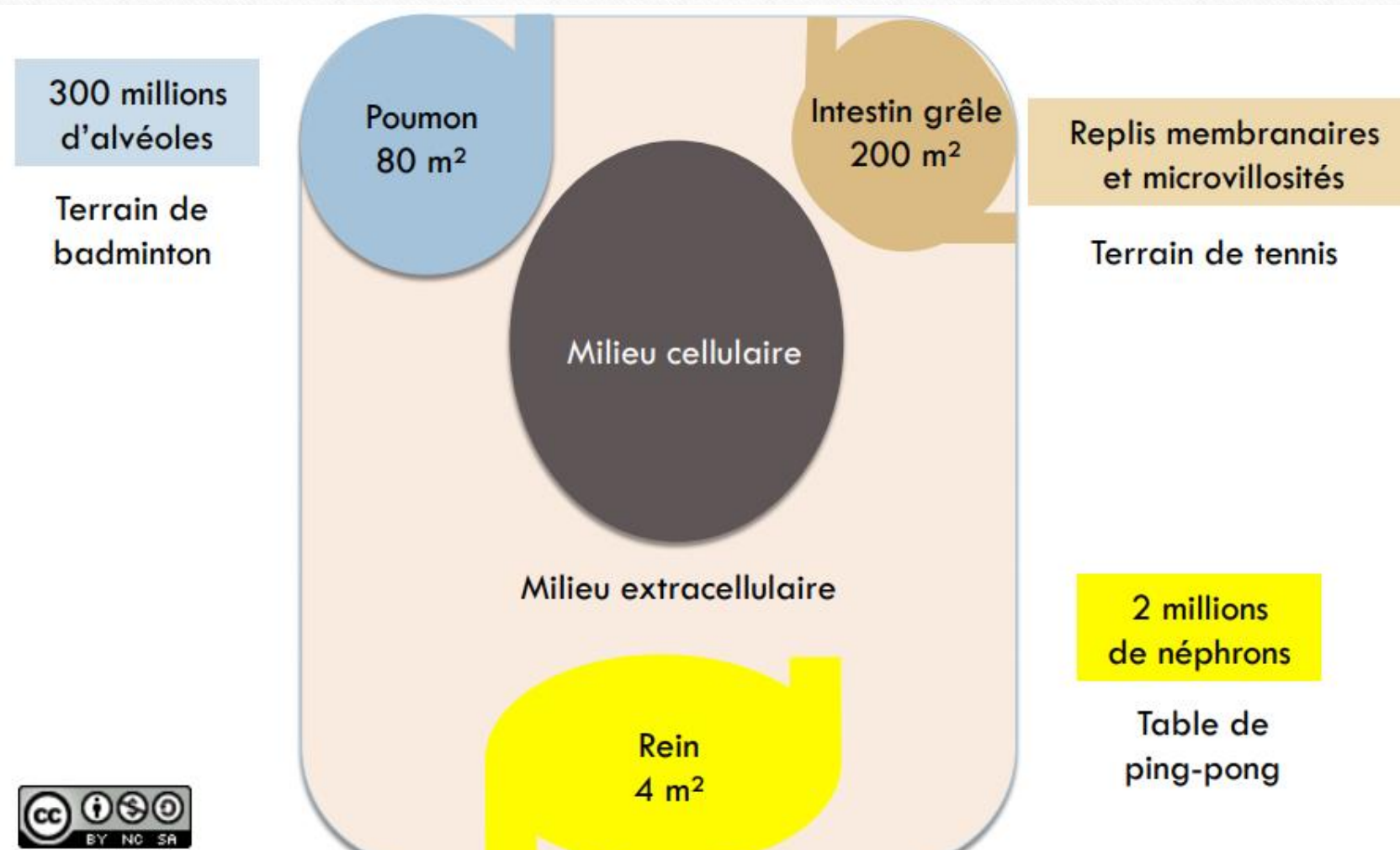
Volume, débits et surface d'échange



Débit quotidien dans différents secteurs :



Surface d'échange des différents secteurs avec le sang :



TOUT VA BIEN SE PASSER...



Qcm 1 : Votre tutrice de Biophysio Amélie (Comacidose) après avoir passé tout son été dans des bars, décide enfin de se plonger dans ses cours de physiologie. Aidez la à trouver la ou les bonnes propositions parmi les suivantes :

- A) La lumière des intestins fait parti du milieu intérieur.**
- B) Le milieu intracellulaire est accessible aux mesures physiologiques.**
- C) Un traceur est toujours une molécule exogène.**
- D) L'hélium permet de mesurer les volumes pulmonaires.**
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses.**

Qcm 1 : **D**

A) FAUX : la lumière des intestins fait partie du **milieu extérieur** ! (Tout comme les alvéoles des poumons ou les reins !) +++

B) FAUX : Le milieu intracellulaire est **inaccessible** aux mesures physiologiques.

C) FAUX : un traceur peut être une molécule **exogène (ex : EDTA) ou endogène (ex : créatinine)** ! Une molécule exogène est une molécule qui n'est pas fabriqué naturellement par l'organisme contrairement aux molécules endogènes.

D) VRAI : L'hélium permet de mesurer les volumes pulmonaires, et c'est grâce à l'hélium qu'on peut par exemple trouver le volume résiduel des poumons.

E) FAUX

QCM 2 : Votre tuteur de Biophysio Corentin (telephomme ou Coco pour les intimes) ne se souvient plus du cours Compartiments de l'organisme car il ne l'avait pas travaillé en P1 (grave erreur car c'est de points cadeaux à l'exam !). Donnez-lui la ou les bonnes réponses à ce qcm svp :

- A) Le débit de filtration glomérulaire (DFG) augmente avec l'âge.
- B) Le DFG est de 120 ml/min.
- C) Le plasma est filtré 150 fois par jours par les reins.
- D) Coco n'urine qu'environ 2 litres par jours car malgré l'activité importante de ses reins, ces derniers réabsorbent la majeure partie de ce qu'ils filtrent.
- E) Les propositions A, B, C et D sont fausses.

Qcm 2 : BD

A) FAUX : Le débit de filtration glomérulaire (**DFG**) **diminue** avec l'âge.

B) VRAI : Le DFG est bien de 120 ml/min = 173 L/jours

C) FAUX : Le plasma est filtré **50 fois** par jours par les reins.

D) VRAI : Mais Coco urine bcp plus que 2 L par jours car il adore boire du thé diurétique et amincissant.

E) FAUX

QCM 3 : Parmi les organes suivants, lesquels ont une perfusion privilégiée en situation de stress ? (QCM rédigé par le professeur)

A) Cerveau

B) Reins

C) Muscles striés squelettiques

D) Rate

E) Les réponses A, B, C et D sont fausses.

QCM 3 : AB

➔ Les organes vitaux à perfusion privilégiée sont : les poumons, le cerveau et les reins.



THE END.

