

UE 3-2 - Physiologie – Physiologie Respiratoire

Chapitre 3 : **Ventilation pulmonaire: Partie 2**

Pr. Sam Bayat

Plan

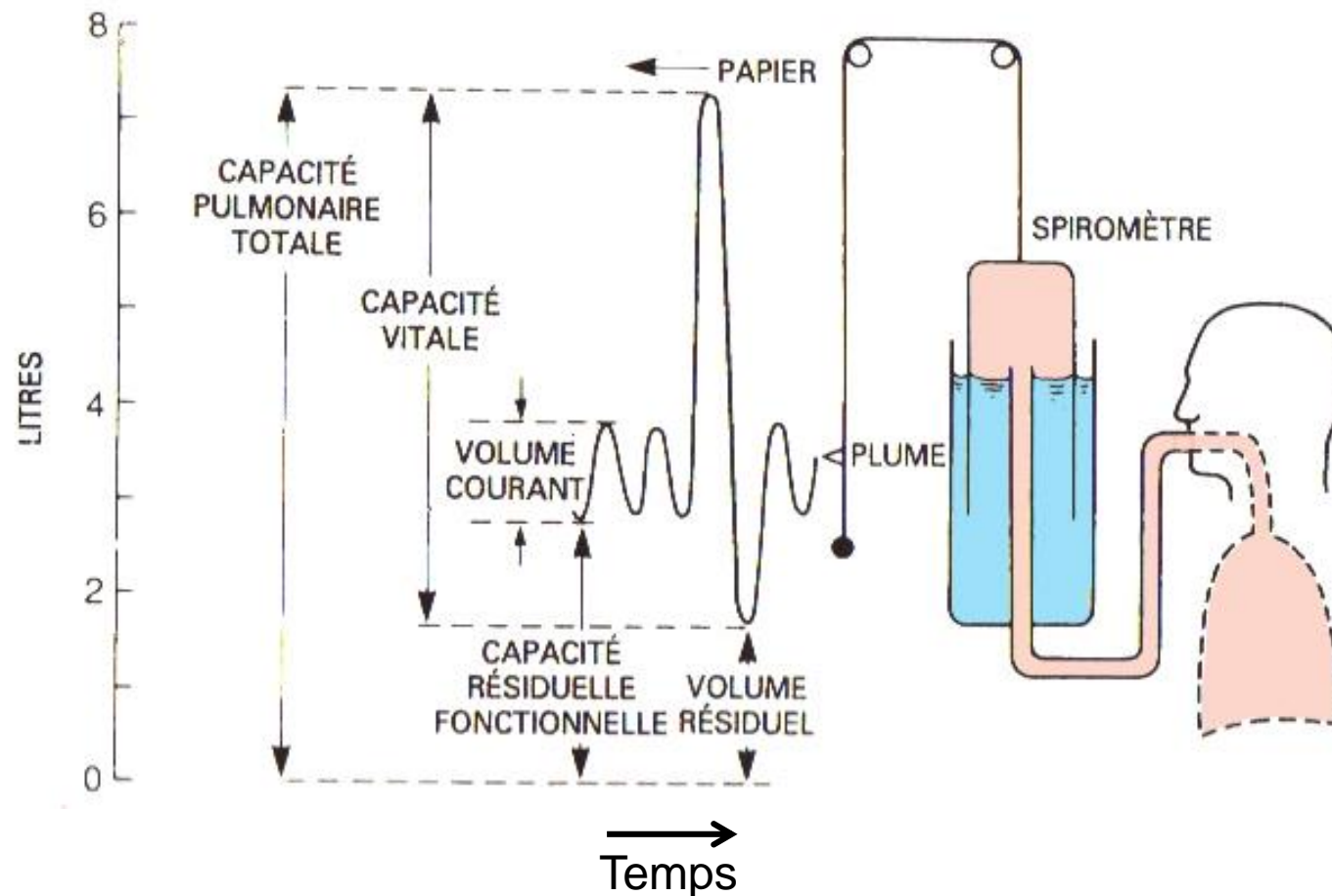
- Volumes et capacités pulmonaires
 - Définitions
 - Méthodes de mesure
- Ventilation pulmonaire
 - Débits ventilatoires
 - Air inspiré, air alvéolaire, air expiré
 - Espace mort anatomique

Plan

- Volumes et capacités pulmonaires
 - Définitions
 - Méthodes de mesure
- Ventilation pulmonaire
 - Débits ventilatoires
 - Air inspiré, air alvéolaire, air expiré
 - Espace mort anatomique

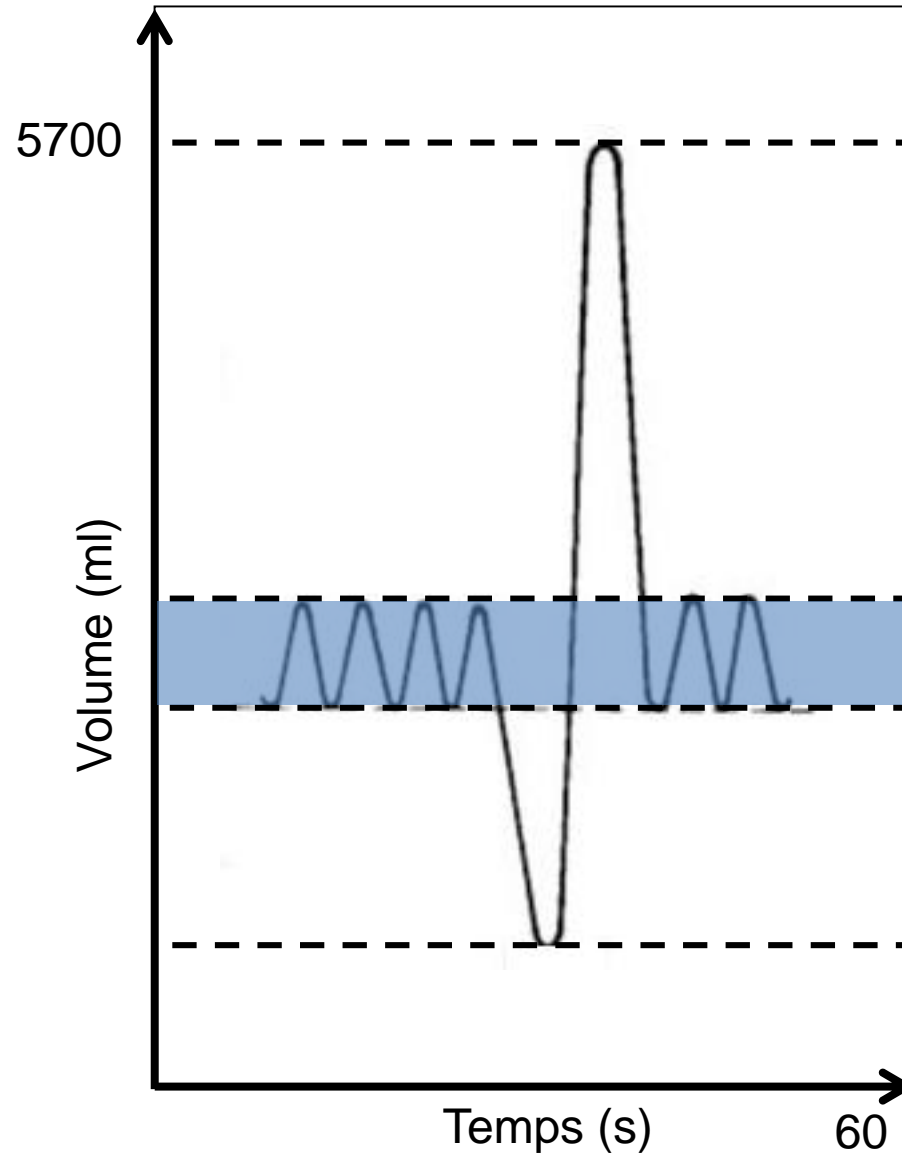
Mesure des volumes pulmonaires

- Spirométrie
 - Spiromètre à cloche



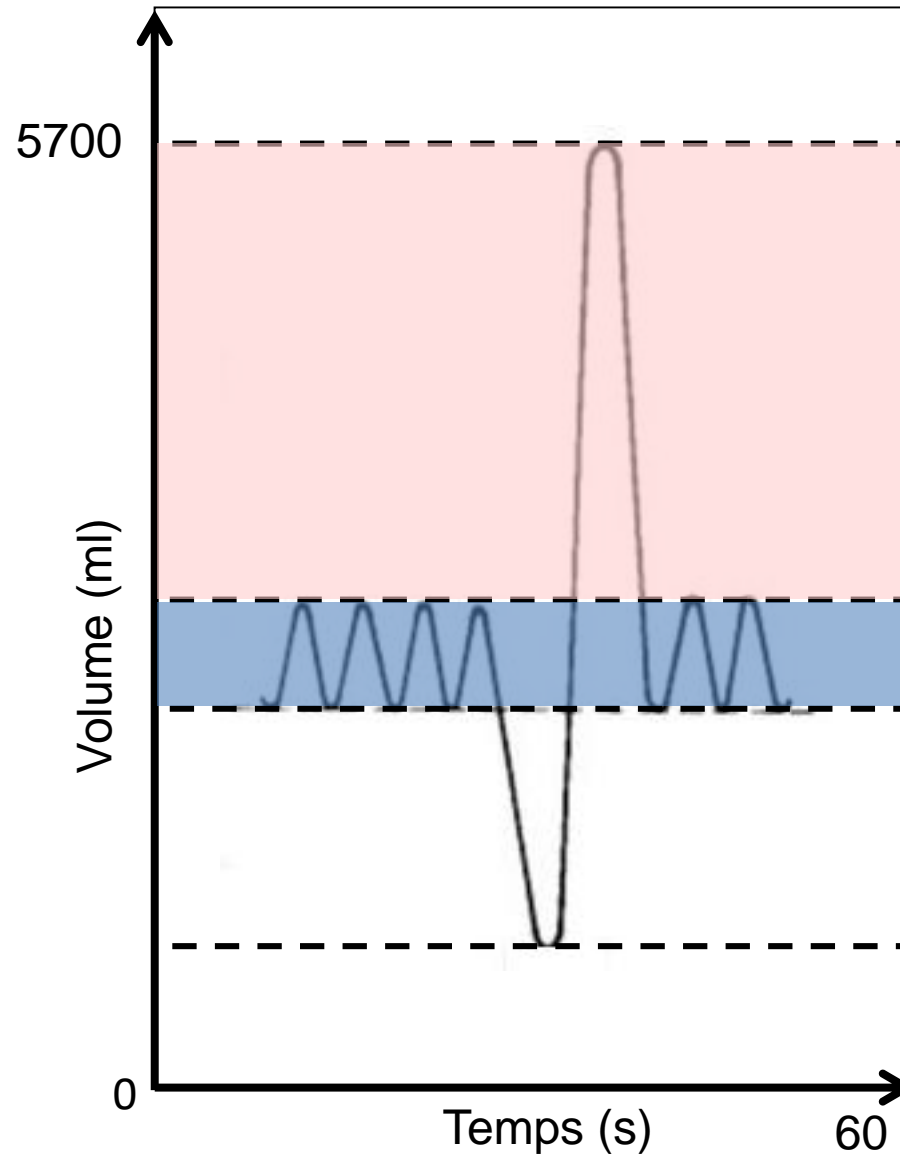
Volumes pulmonaires

- **Volume courant**: volume mobilisé pendant le cycle respiratoire
- **V_T (tidal)** = 500 ml chez l'adulte, en respiration calme



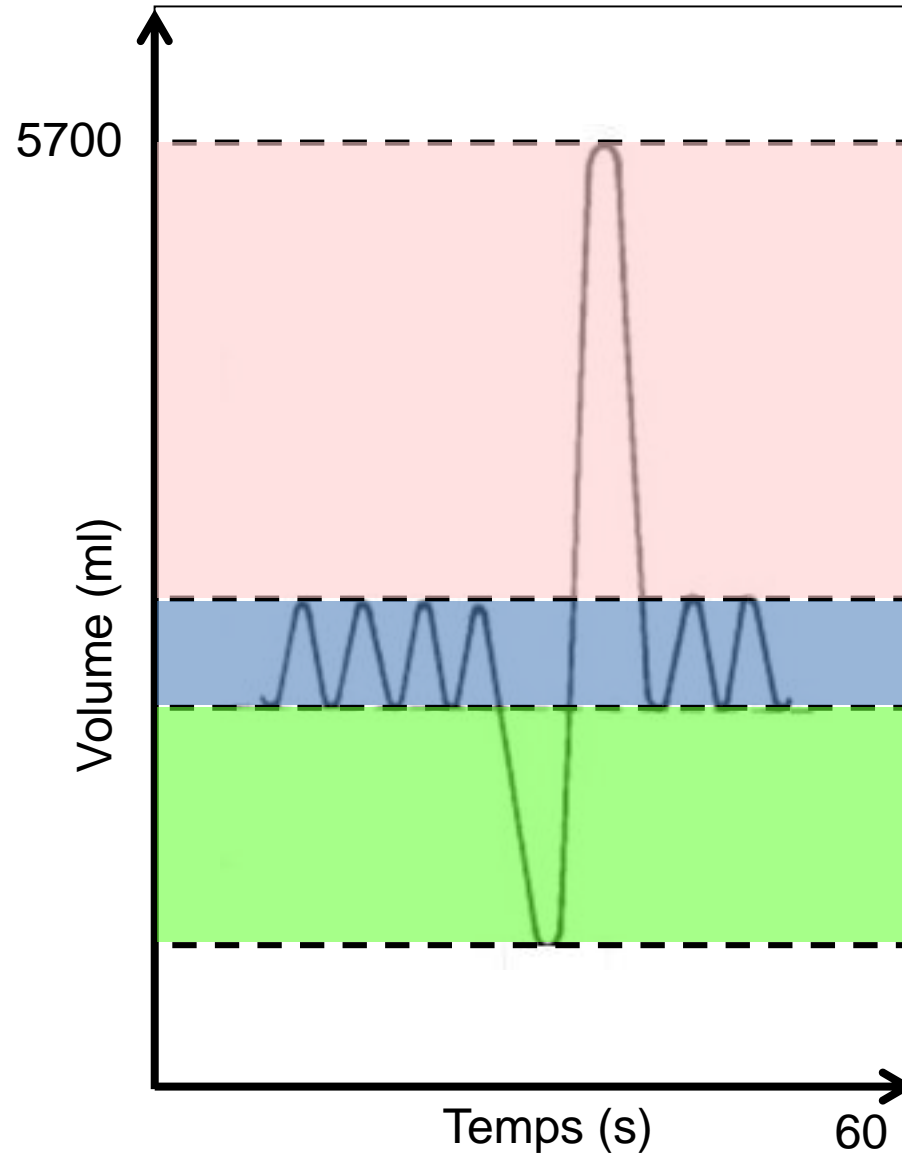
Volumes pulmonaires

- Le volume maximal qui peut être inspiré en plus du VT lors d'une inspiration forcée: **Volume de réserve inspiratoire**
- **VRI** = 3000 ml



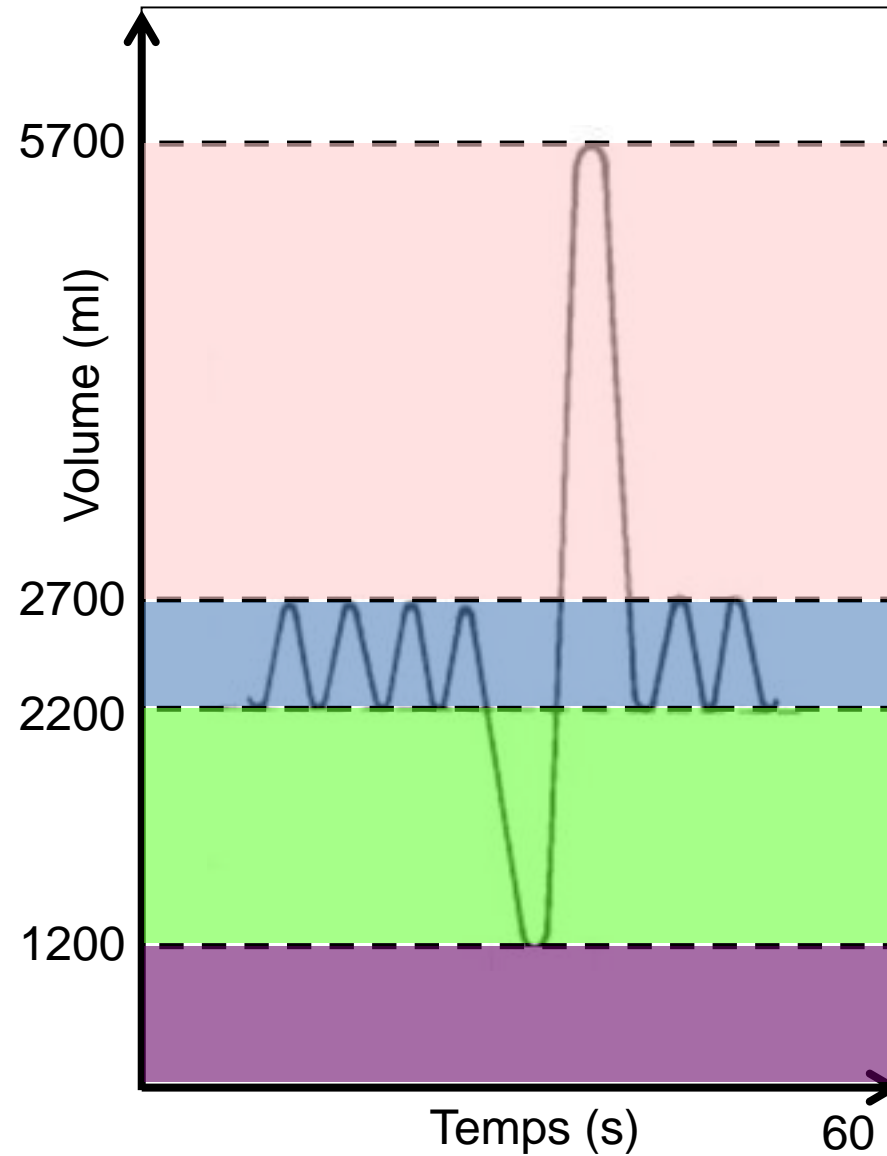
Volumes pulmonaires

- Le volume maximal qui peut être expiré au delà du VT lors d'une expiration forcée: **Volume de réserve expiratoire**
- **VRE** = 1000 ml



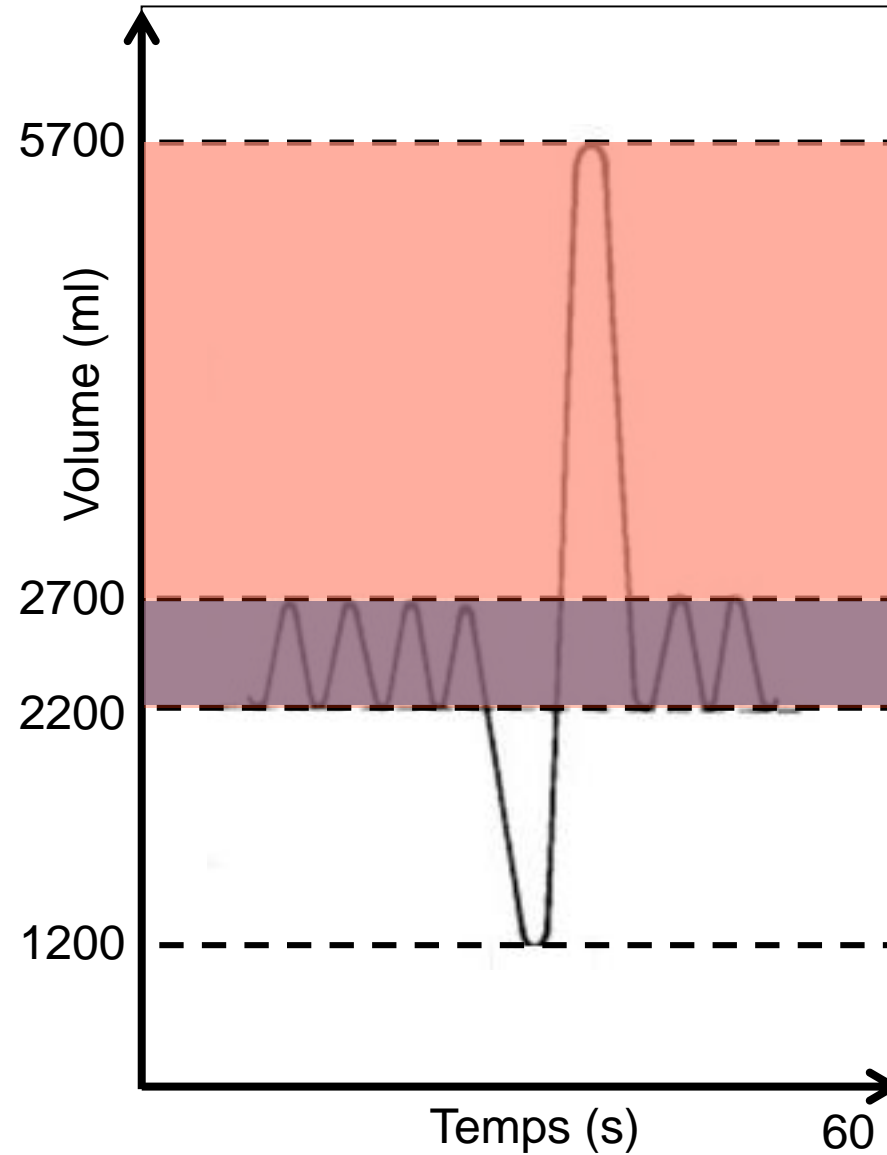
Volumes pulmonaires

- Même après une expiration maximale, il reste un volume d'air dans le poumon: **Volume résiduel**
- **VR** = 1200 ml



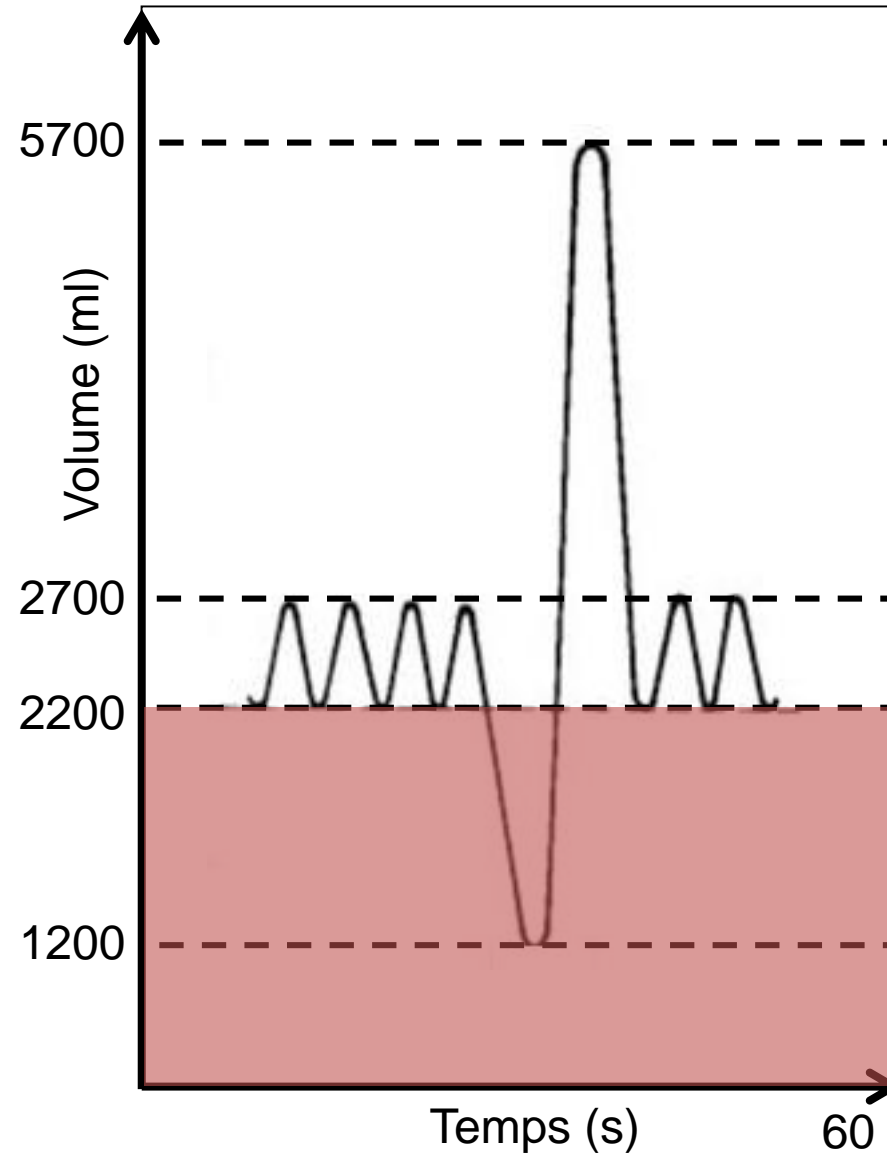
Capacités pulmonaires

- **Capacité inspiratoire** =
Volume total qui peut être
inspiré après une
expiration courante
- $CI = VT + VRI$
- $CI = 3500 \text{ ml}$



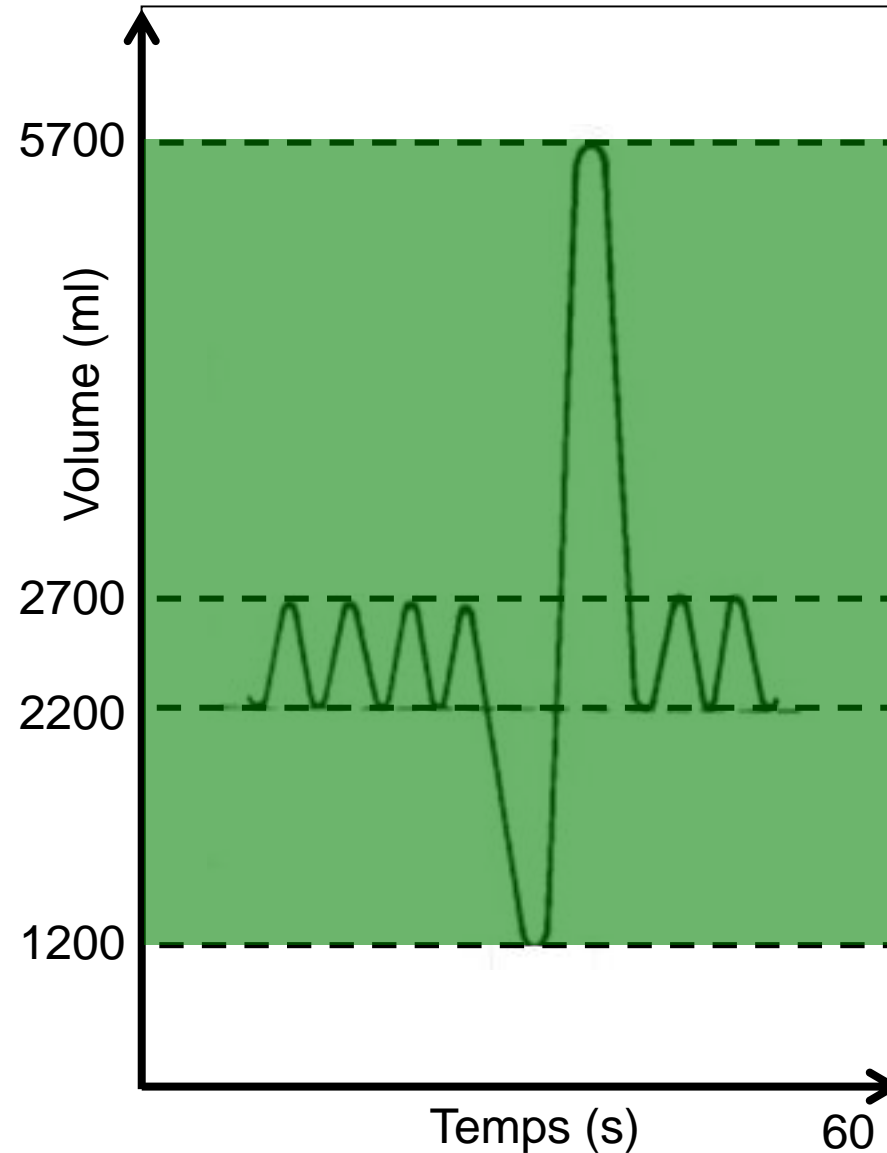
Capacités pulmonaires

- **Capacité résiduelle fonctionnelle** = l'air qui reste dans le poumon après une expiration courante
- $CRF = VR + VRE$
- $CRF = 2200 \text{ ml}$
- En plus de la taille, sexe, poids et origine ethnique, son niveau dépend:
 - Du tonus des muscles respiratoires
 - Ex: $\uparrow FR$ au repos $\Rightarrow \uparrow CRF$
 - Ex: $\uparrow FR$ à l'exercice $\Rightarrow \downarrow CRF$



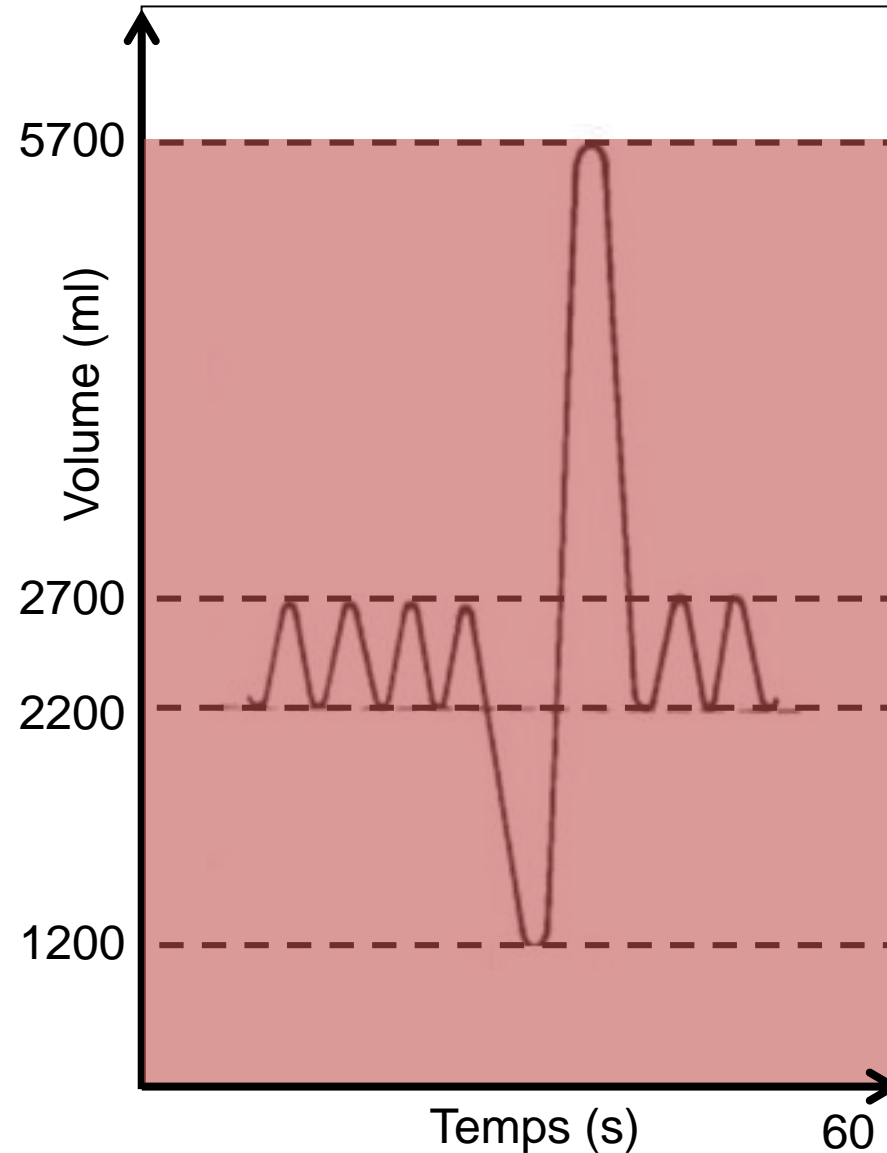
Capacités pulmonaires

- **Capacité vitale** = volume total d'air qui peut être mobilisée au cours d'une inspiration + expiration maximales
- $CV = VT + VRI + VRE$
- $CV = 4500 \text{ ml}$



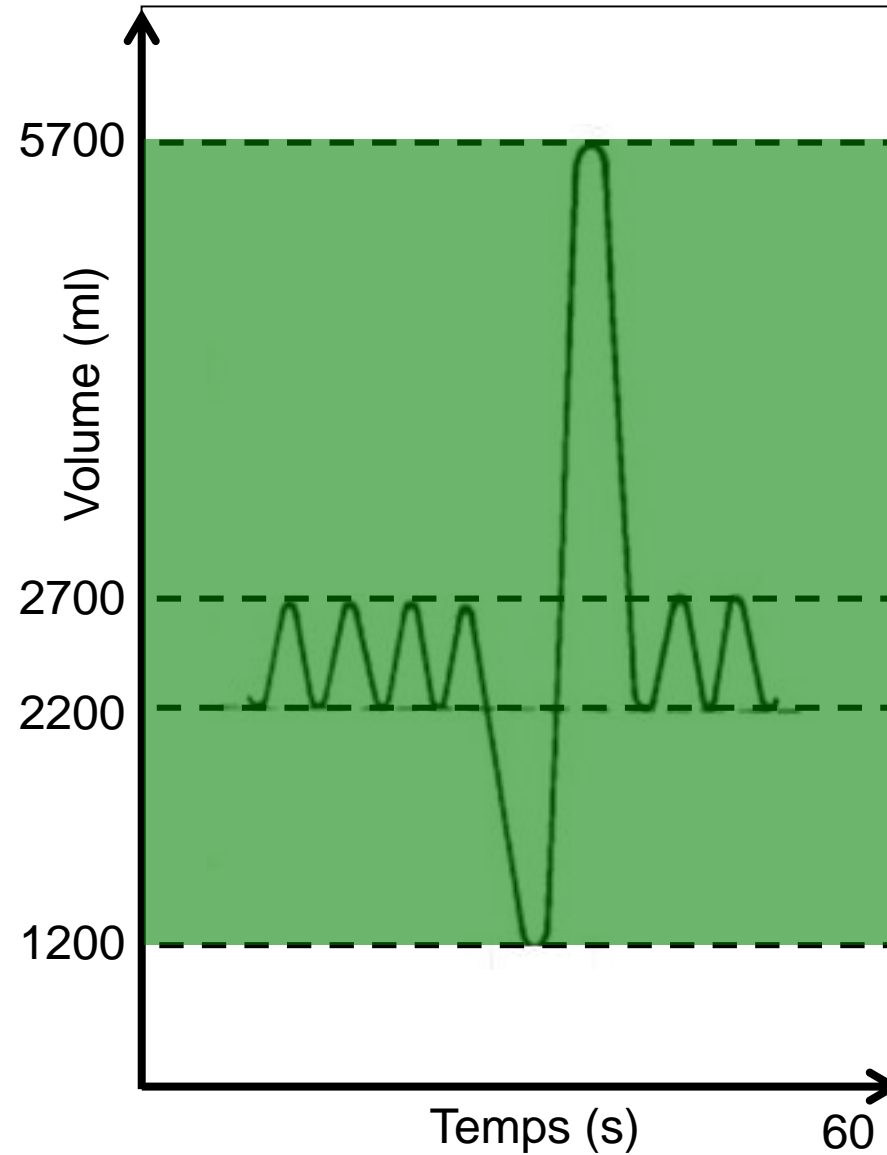
Capacités pulmonaires

- Capacité pulmonaire totale = somme de tous les volumes pulmonaires
- $CPT = VT + VRI + VRE + VR$
- $CPT = 5700$ ml chez un homme adulte



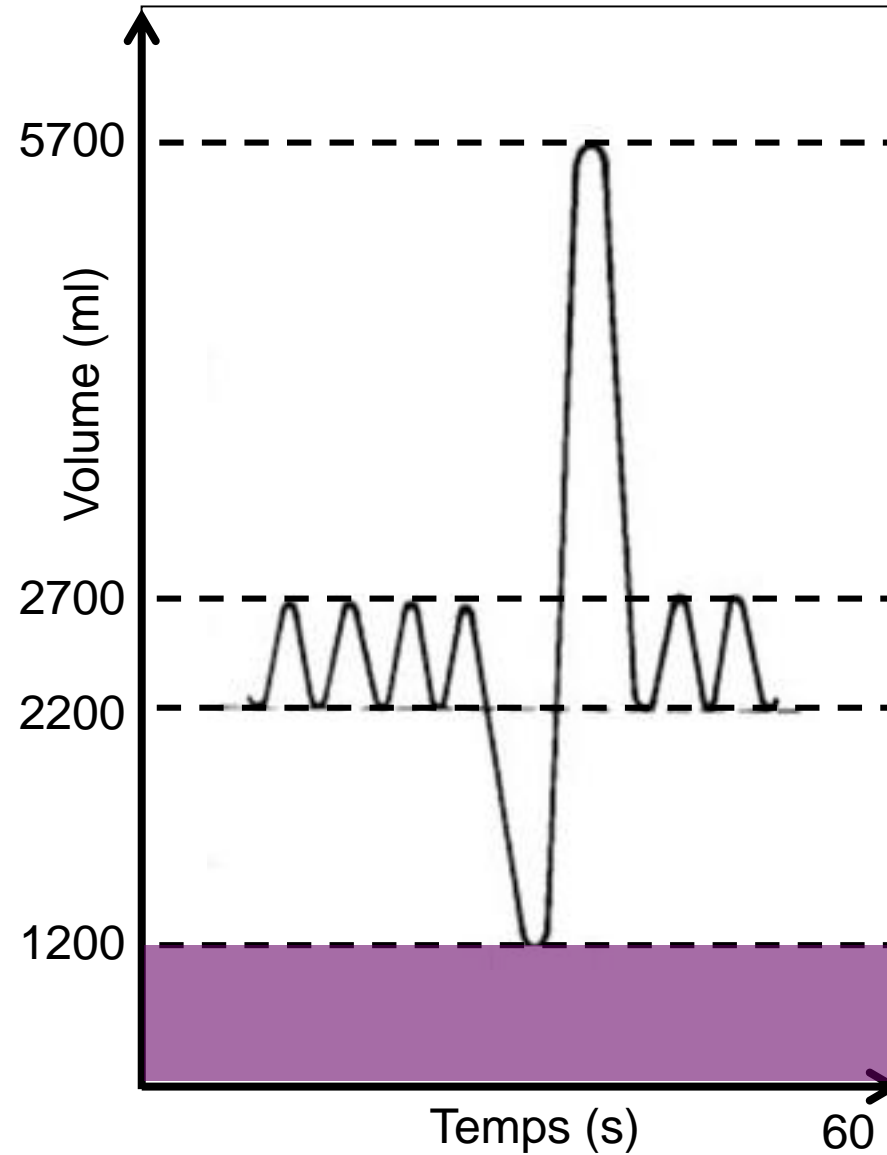
Capacités pulmonaires

- CV inclut tous les volumes "mobilisables"



Volumes pulmonaires

- VR: volume "non mobilisable"



Plan

- Volumes et capacités pulmonaires
 - Définitions
 - Méthodes de mesure
- Ventilation pulmonaire
 - Débits ventilatoires
 - Air inspiré, air alvéolaire, air expiré
 - Espace mort anatomique

Plan

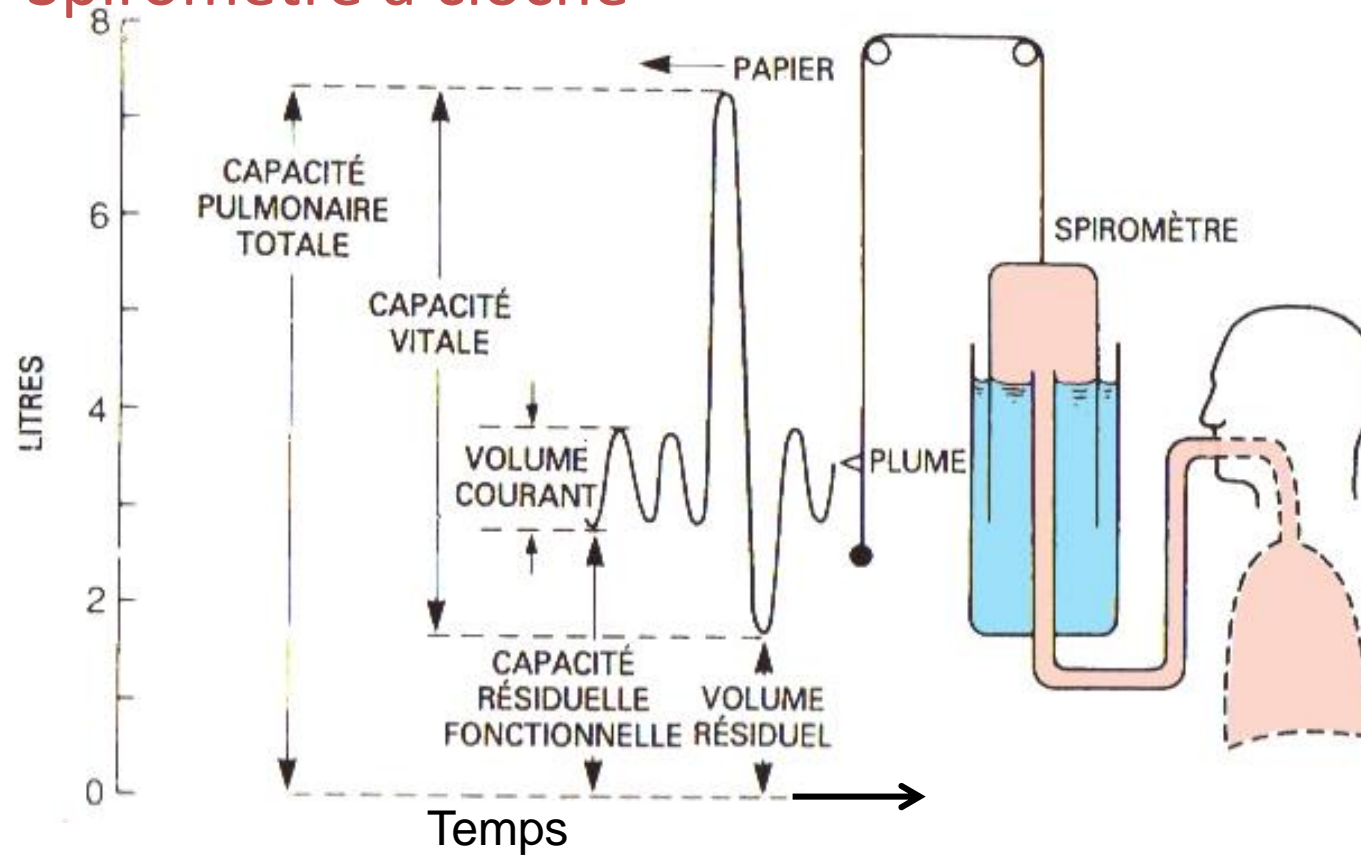
- Volumes et capacités pulmonaires
 - Définitions
 - Méthodes de mesure
- Ventilation pulmonaire
 - Débits ventilatoires
 - Air inspiré, air alvéolaire, air expiré
 - Espace mort anatomique

Mesure des volumes pulmonaires

- Les volumes et capacités pulmonaires sont mesurés au laboratoire d'exploration fonctionnelle respiratoire
- Leur valeur varie d'un sujet à l'autre en fonction de:
 - L'âge
 - La taille
 - Le sexe
 - L'origine ethnique

Mesure des volumes pulmonaires

- Spirométrie
 - Spiromètre à cloche

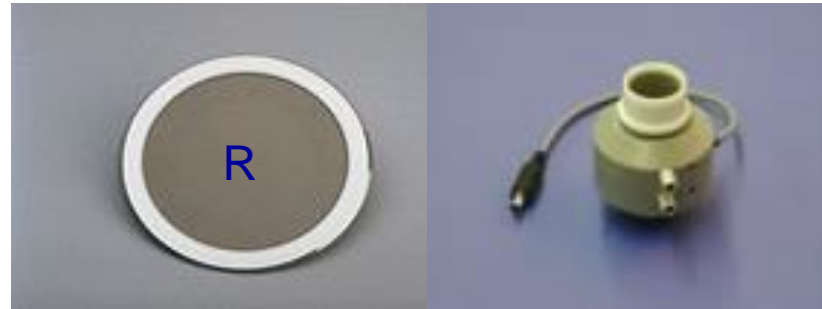
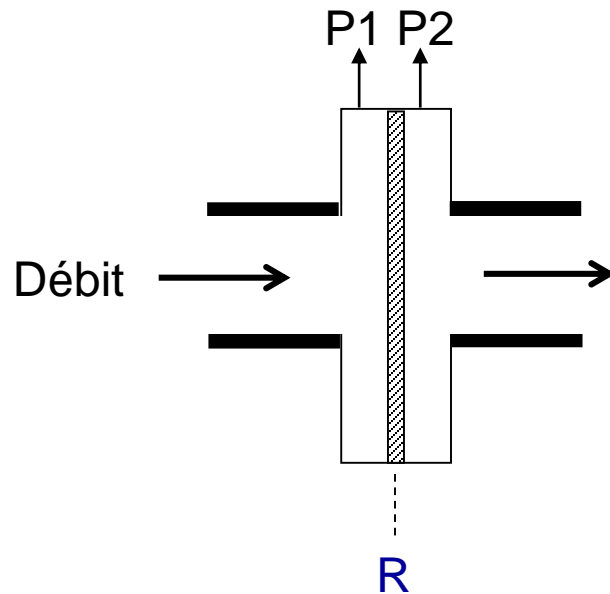


Mesure des volumes pulmonaires

- Spirométrie

- Pneumotachographe

Débit

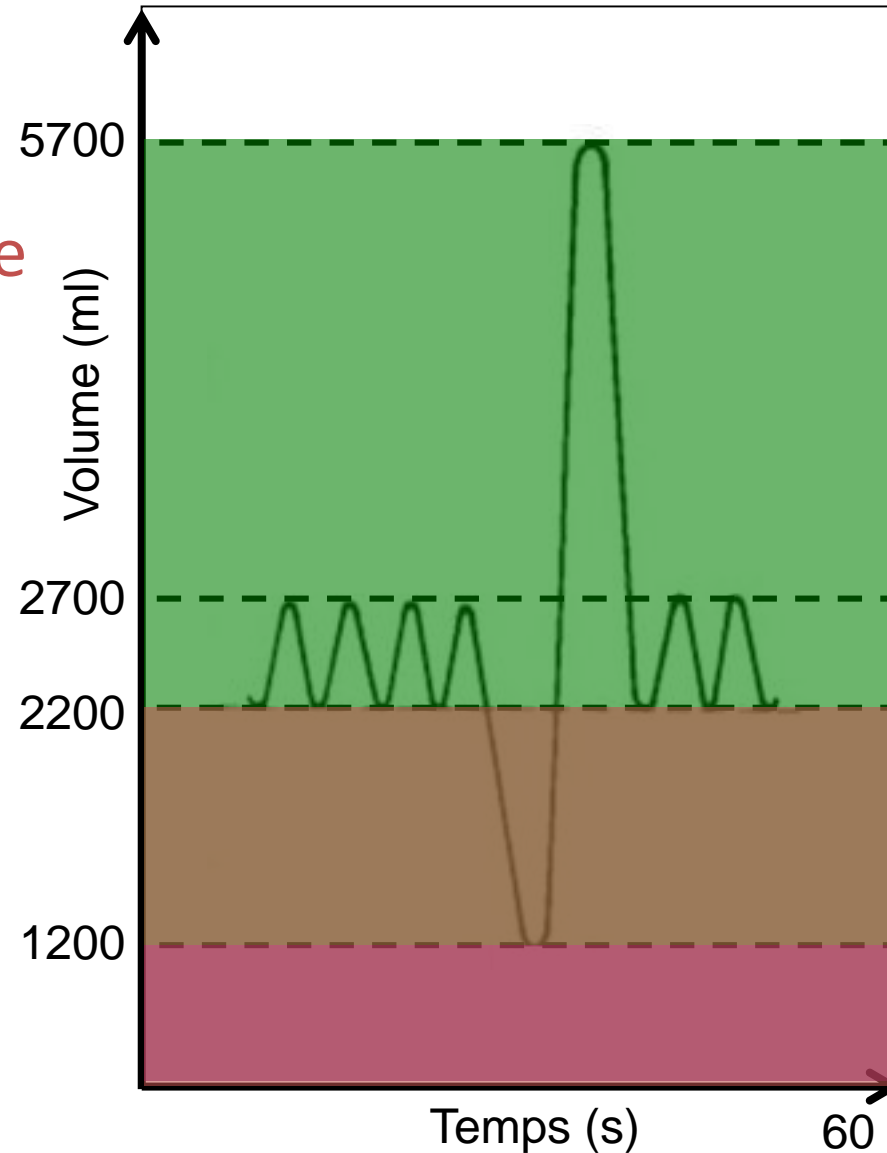


- $\text{Débit} = \Delta P / \text{Résistance (connue)}$

- Paramètre mesuré = débit

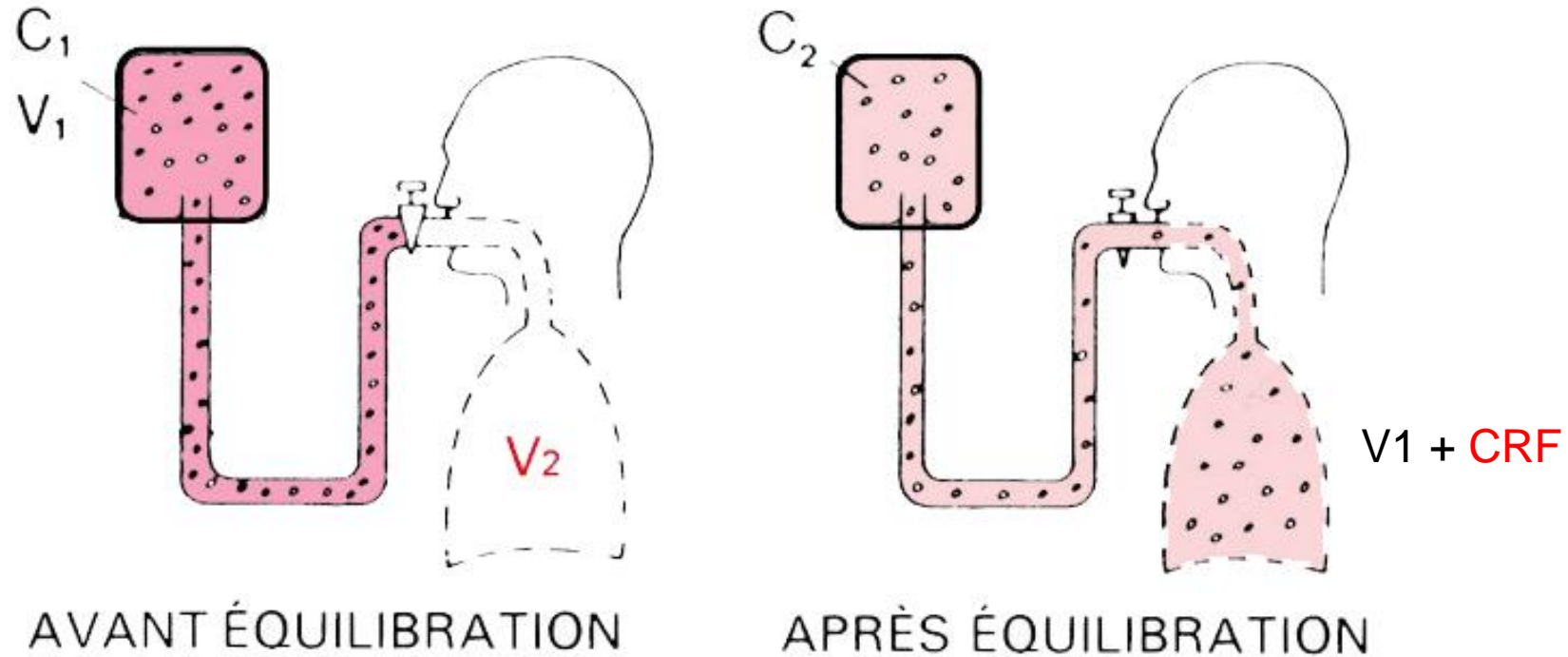
Mesure des volumes pulmonaires

- Spirométrie
 - Spiromètre à cloche
 - Pneumotachographe
- Permet de mesurer les volumes "mobilisables" uniquement
- Le VR ne peut pas être mesuré
- La CRF ne peut pas être mesuré



Mesure des volumes pulmonaires

- Dilution d'hélium



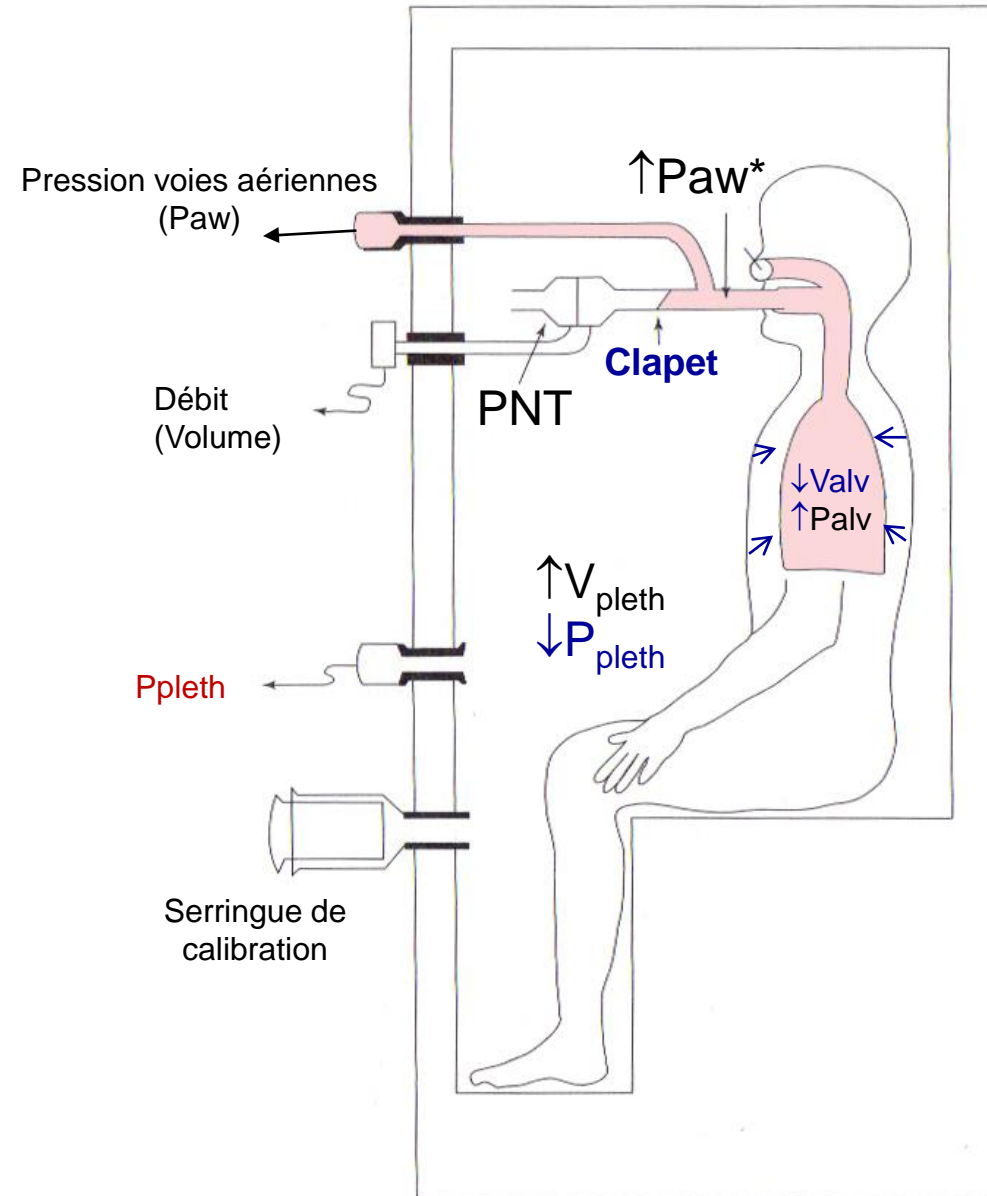
- $C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 = C_2 \times (V_1 + \text{CRF})$
- $\text{CRF} = V_1(C_1 - C_2)/C_2$

Mesure des volumes pulmonaires

- Pléthysmographie corporelle

- Sujet assis dans une cabine fermée
- Le clapet est fermé en fin d'expiration (CRF)
- Expiration contre clapet fermé: ΔV

*Paw: P "airway"



Mesure des volumes pulmonaires

- Dans la cabine (loi de Boyle-Mariotte):

$$P_{\text{pleth}1} \times V_{\text{pleth}} = P_{\text{pleth}2} \times (V_{\text{pleth}} + \Delta V)$$



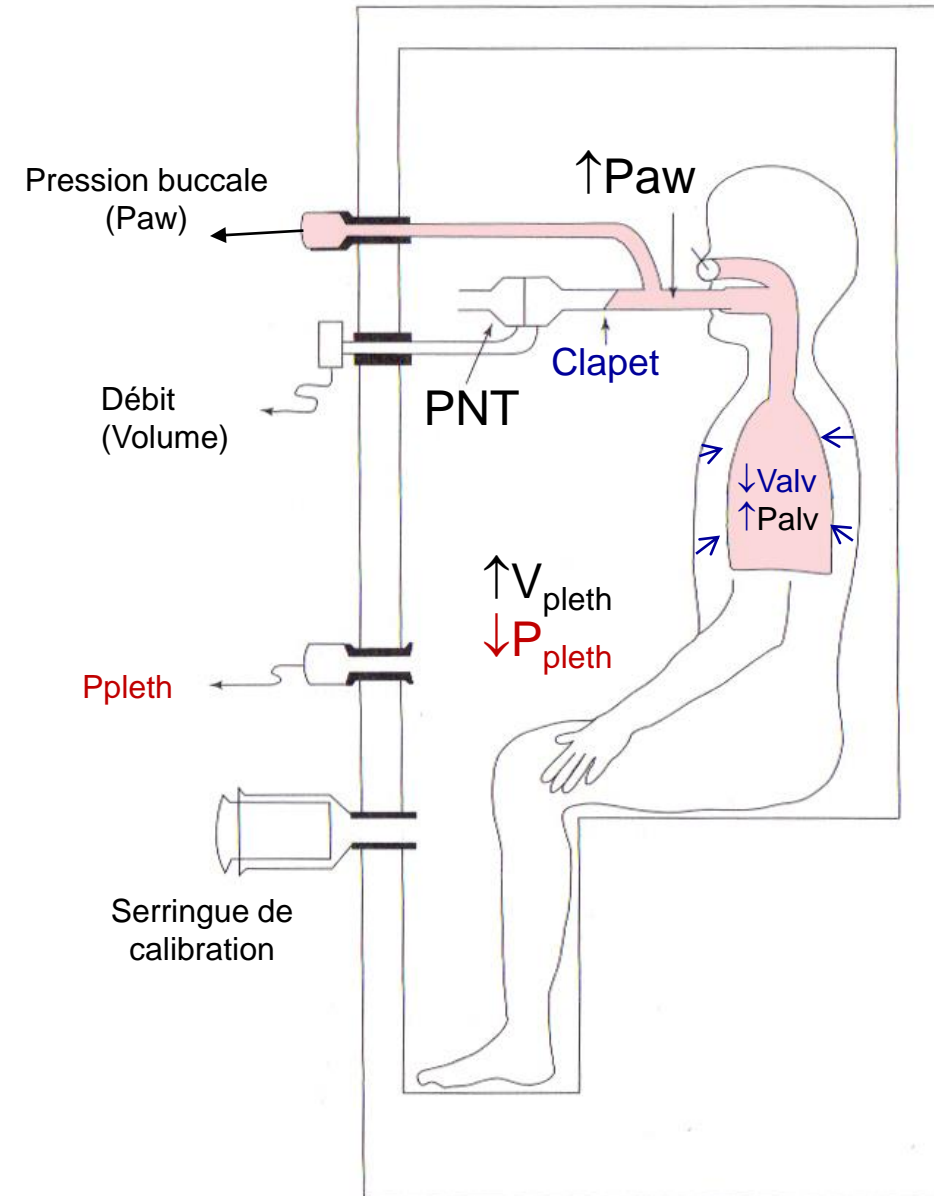
ΔV connu



$$P_{\text{aw}1} \times \text{CRF} = P_{\text{aw}2} \times (\text{CRF} - \Delta V)$$



$\text{CRF}_{\text{pleth}}$



Plan

- Volumes et capacités pulmonaires
 - Définitions
 - Méthodes de mesure
- Ventilation pulmonaire
 - Débits ventilatoires
 - Air inspiré, air alvéolaire, air expiré
 - Espace mort anatomique

Plan

- Volumes et capacités pulmonaires
 - Définitions
 - Méthodes de mesure
- Ventilation pulmonaire
 - Débits ventilatoires
 - Air inspiré, air alvéolaire, air expiré
 - Espace mort anatomique

Débits ventilatoires

- Fréquence respiratoire (FR) ~ 15

- $\dot{V}_E = VT \times FR$

\dot{V}_E : Ventilation totale ou "ventilation minute"

Volumes

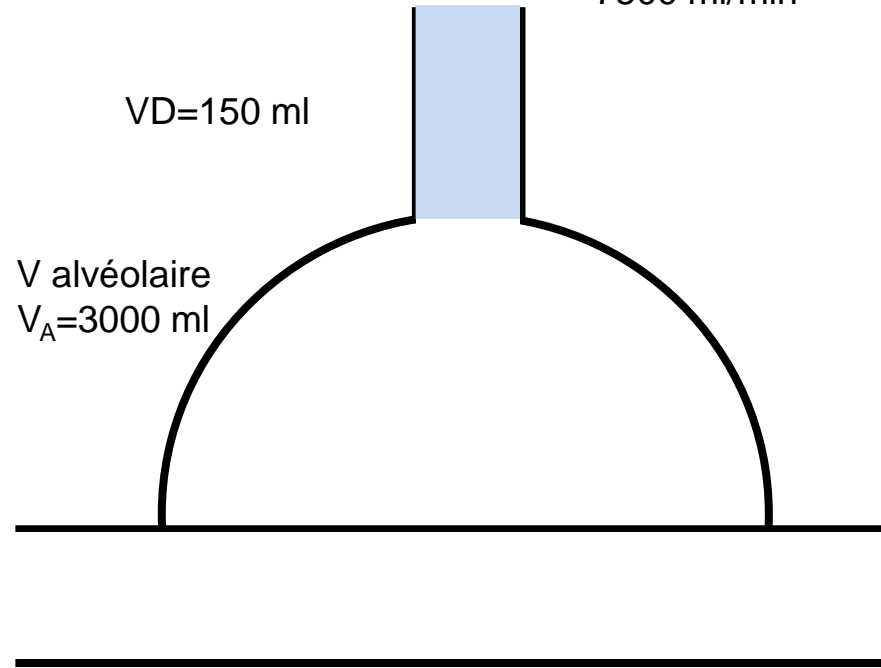
VT=500 ml

VD=150 ml

V alvéolaire
 $V_A=3000$ ml

Débits

Ventilation totale
7500 ml/min



Débits ventilatoires

- $\dot{V}_E = V_T \times FR$

$$V_T = V_D + V_{TA}$$

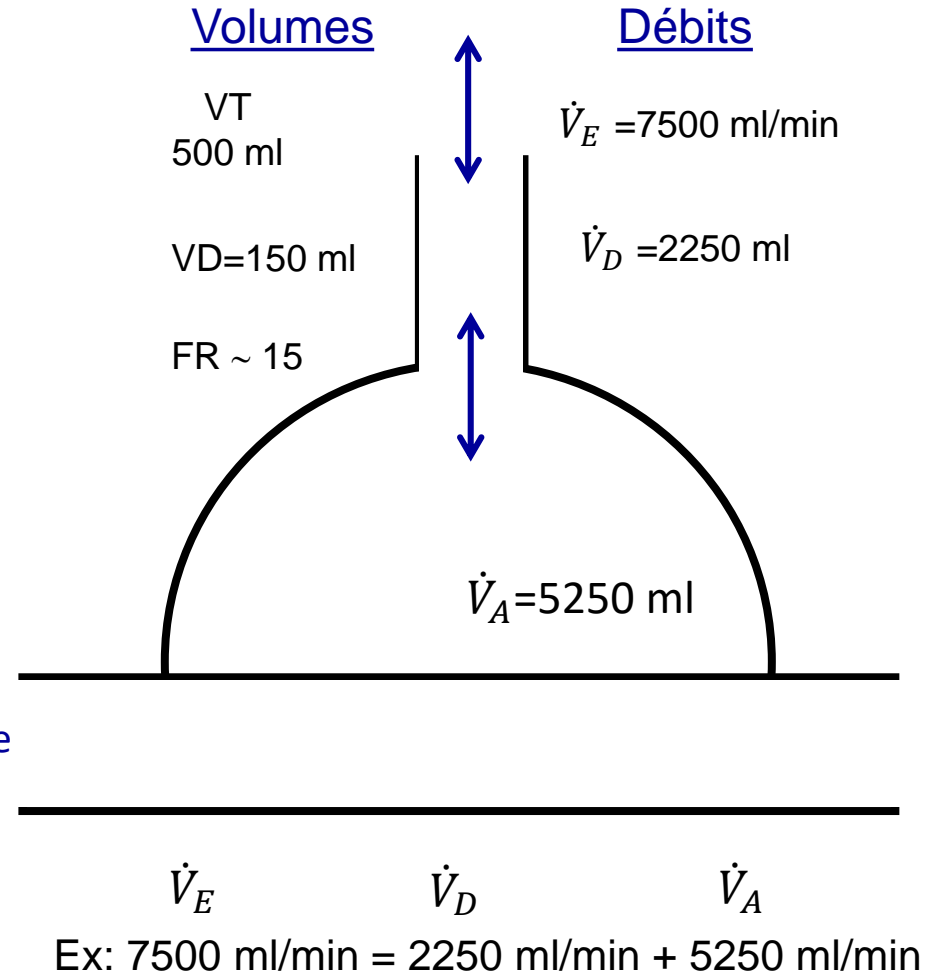
$$V_T \times FR = V_D \times FR + V_{TA} \times FR$$

$$\dot{V}_E = \dot{V}_D + \dot{V}_A$$

\dot{V}_E : Ventilation minute

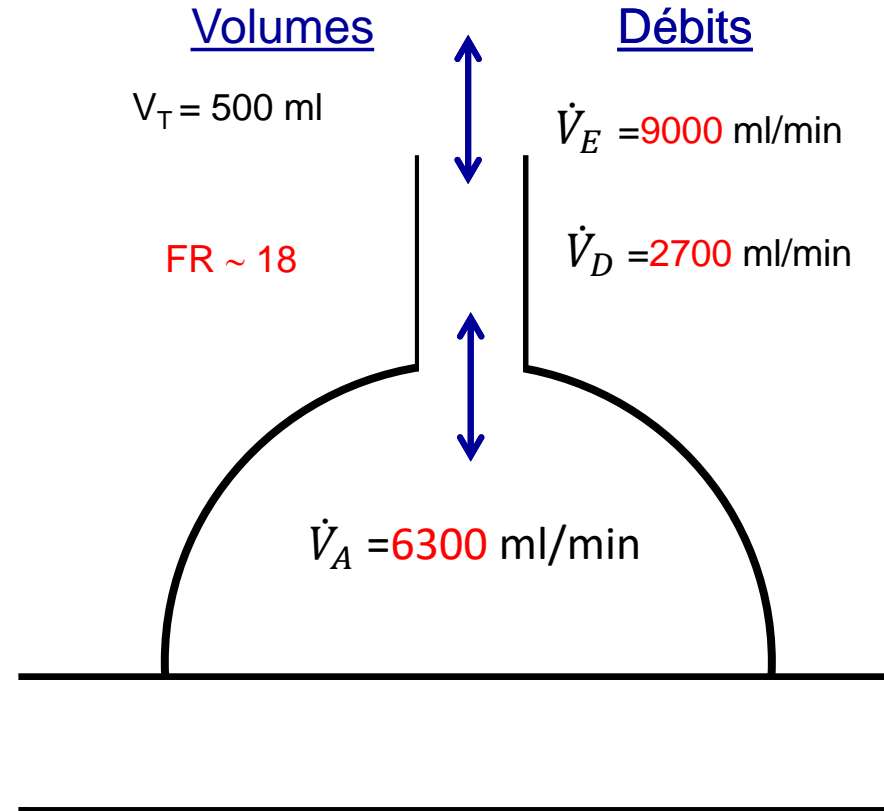
\dot{V}_D : Ventilation de l'espace mort anatomique

\dot{V}_A : Ventilation alvéolaire



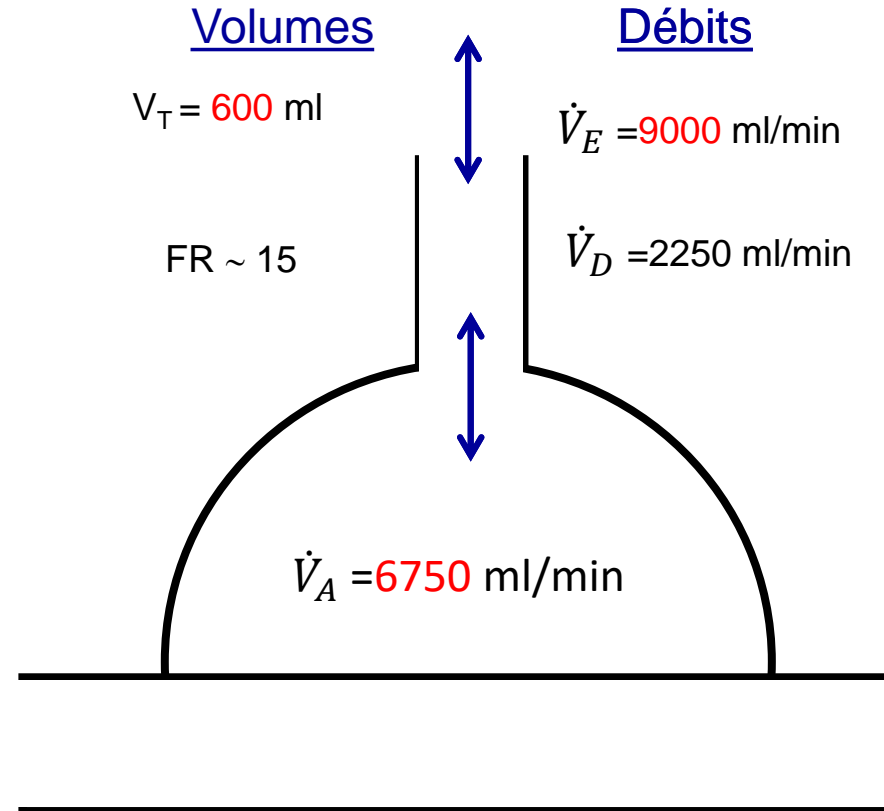
Débits ventilatoires

- $\uparrow \dot{V}_E = V_T \times \uparrow FR$



Débits ventilatoires

- $\uparrow \dot{V}_E = \uparrow V_T \times FR$
- Une augmentation du V_T contribue plus à augmenter la \dot{V}_A qu'une augmentation de la FR!



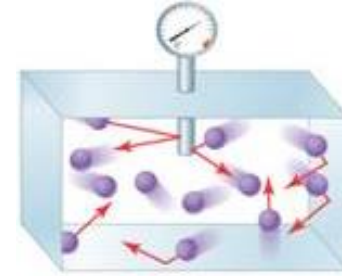
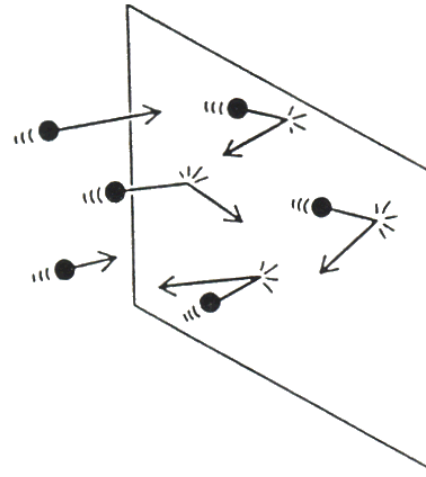
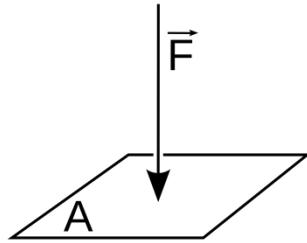
Plan

- Volumes et capacités pulmonaires
 - Définitions
 - Méthodes de mesure
- Ventilation pulmonaire
 - Débits ventilatoires
 - Air inspiré, air alvéolaire, air expiré
 - Espace mort anatomique

Plan

- Volumes et capacités pulmonaires
 - Définitions
 - Méthodes de mesure
- Ventilation pulmonaire
 - Débits ventilatoires
 - Air inspiré, air alvéolaire, air expiré
 - Espace mort anatomique

Rappel: pression d'un gaz



- Pression: force exercée sur une surface (A)
- Pour un gaz parfait, dépend de la quantité de gaz (n , mole) et la température (T , °K):

$$P \cdot V = nRT$$

- R = constante des gaz parfaits ($8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

Rappel: pression partielle des gaz

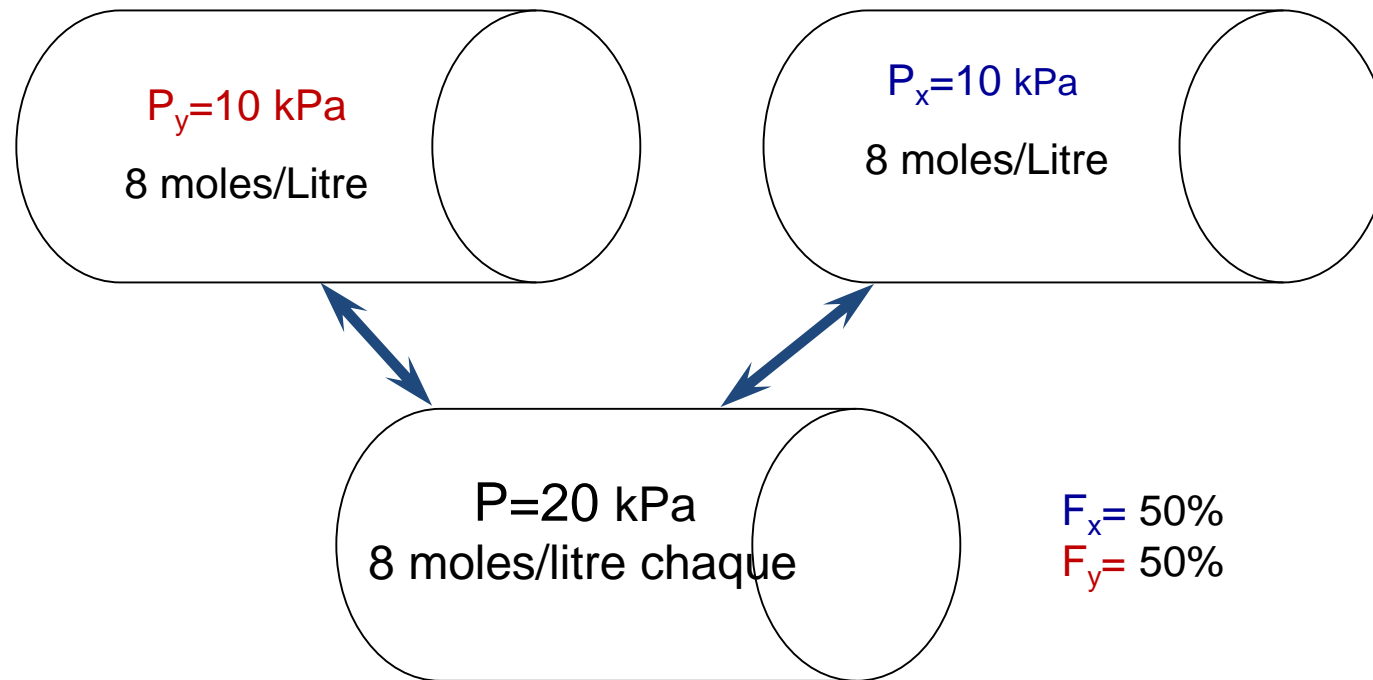
- Loi de Dalton:
 - “Dans un mélange de gaz, la pression exercé par un des gaz est indépendant des autres, et égale à la pression que ce gaz devrait exercer s’il occupait le volume total du mélange en l’absence des autres composants”

$$P_x = F_x \times P$$

- **P_x** = Pression Partielle d’un gaz X
- **F_x** = Concentration Fractionnaire (%)
- **P** = Pression totale

Rappel: pression partielle des gaz

- Loi de Dalton:
 - La pression totale est égale à la somme des pressions partielles de chaque gaz
 - Chaque gaz contribue à la Pression totale proportionnellement à sa concentration



$$P = (F_x \cdot P) + (F_y \cdot P)$$

Air inspiré

- L'atmosphère est un mélange de:
 - N_2
 - O_2
 - CO_2
 - H_2O
 - Gaz rares (He, Ar, Xe, ...)
- Concentration fractionnaire des principaux gaz atmosphériques:
 - $F_{I}N_2 = 79\%$
 - $F_{I}O_2 = 20.93\%$
 - $F_{I}CO_2 = 0.04\% (\sim 0\%)$

Air inspiré

- Pressions partielles des gaz inspirés:

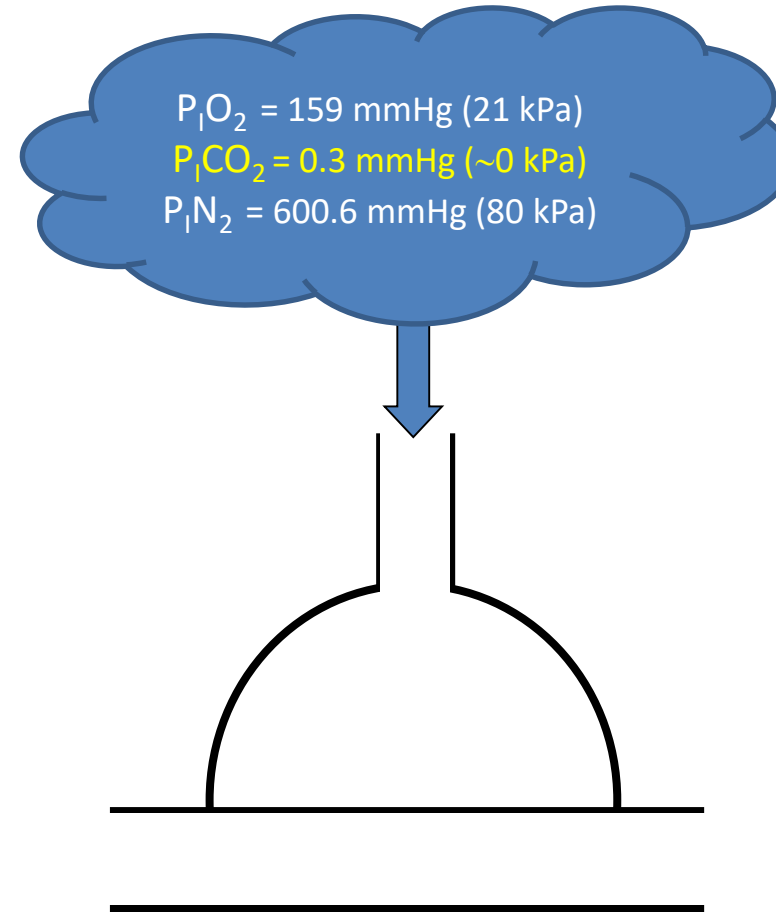
$$P_{I}O_2 = F_{I}O_2 \times PB$$

- PB: pression barométrique (P_{atm})
- PB = 760 mmHg (101 kPa) au niveau de la mer

$$P_{I}O_2 = 0.2093 \times 760 = 159 \text{ mmHg}$$

$$P_{I}CO_2 = 0.0004 \times 760 = 0.3 \text{ mmHg}$$

- NB: Air sec!



Air inspiré

- Au contact des voies aériennes de conduction, l'air inspiré se charge en vapeur d'eau et se réchauffe

$$P_{I O_2} = F_{I O_2} \times (P_B - P_{H_2O})$$

- $P_{H_2O} = 47 \text{ mmHg}$ à 37° C

$$P_{I O_2} = 0.2093 \times (760 - 47) = 149.7 \text{ mmHg}$$

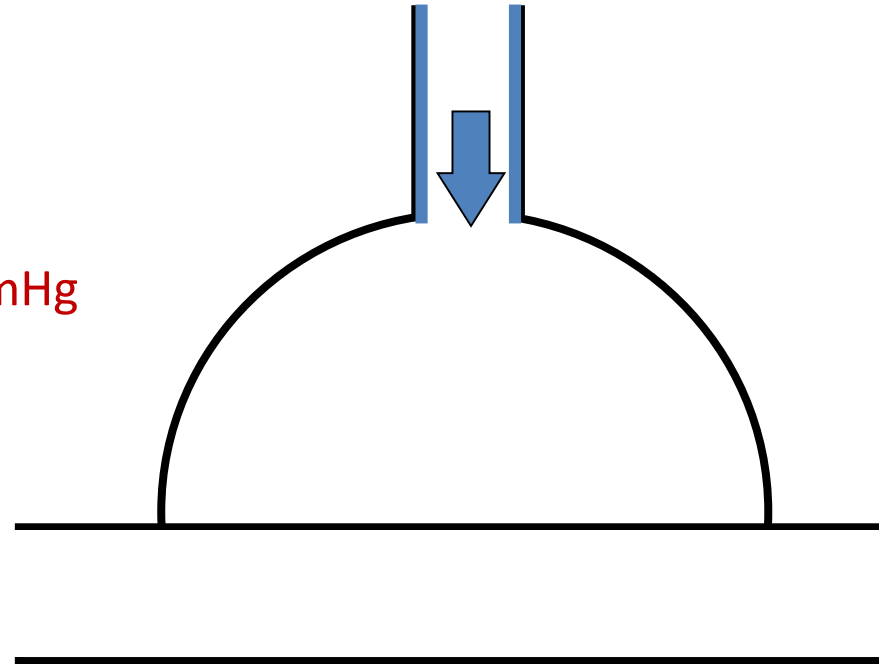
- NB: air humide à 37° C

$$P_{I O_2} = 149 \text{ mmHg (19.9 kPa)}$$

$$P_{I CO_2} = 0.3 \text{ mmHg (~0 kPa)}$$

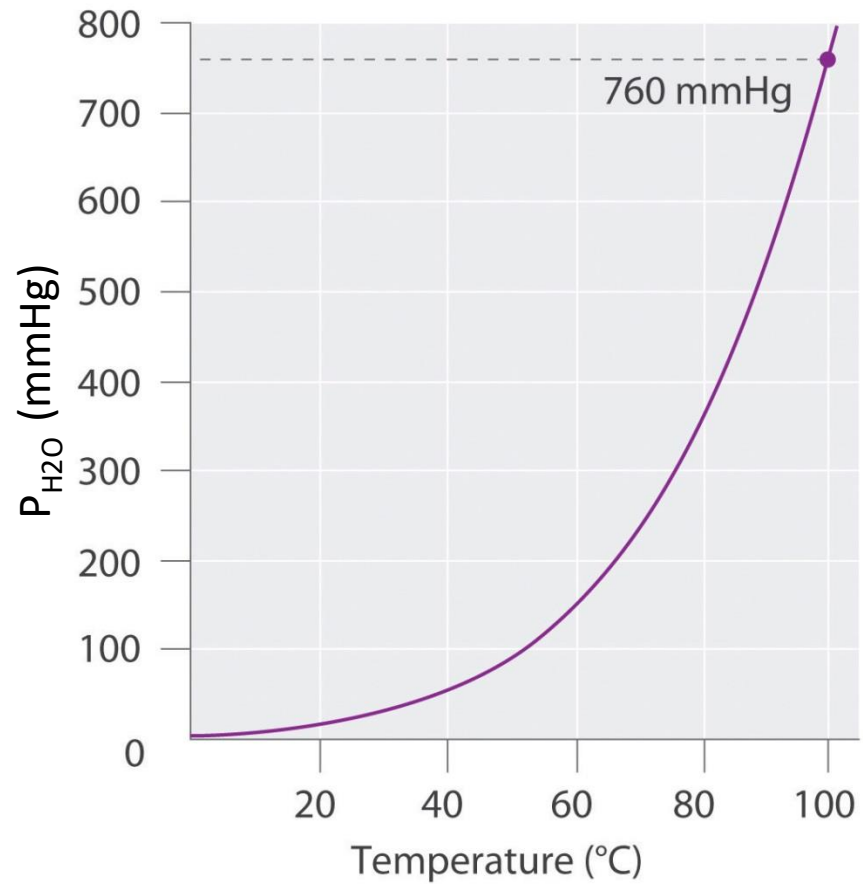
$$P_{I N_2} = 564 \text{ mmHg (75 kPa)}$$

$$P_{I H_2O} = 47 \text{ mmHg (6 kPa)}$$



Air inspiré

- La P_{H_2O} dépend de la température de l'air
- À 37 °C elle est de 47 mmHg

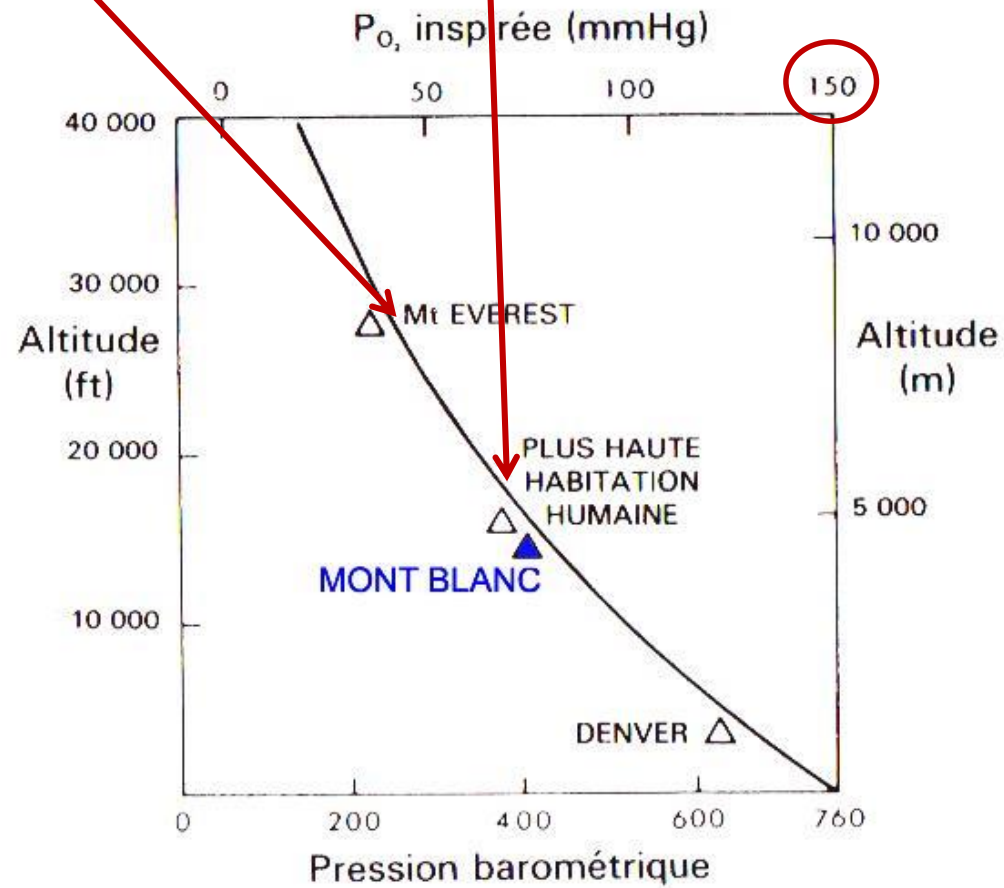


Air inspiré

$FIO_2 = 21\%$
 $PIO_2 = 44 \text{ mmHg}$
 $PIO_2 = 5.9 \text{ kPa}$

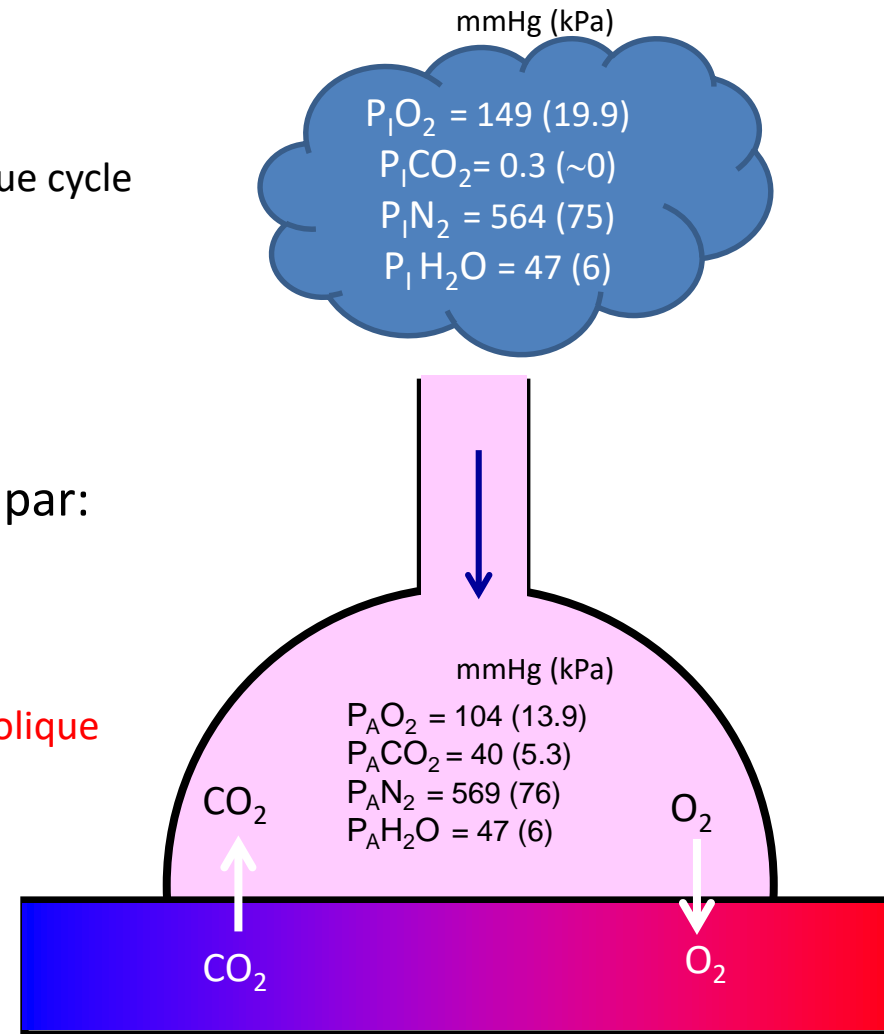
$FIO_2 = 21\%$
 $PIO_2 = 72 \text{ mmHg}$
 $PIO_2 = 9.6 \text{ kPa}$

$FIO_2 = 21\%$
 $PIO_2 = 150 \text{ mmHg}$
 $PIO_2 = 20 \text{ kPa}$

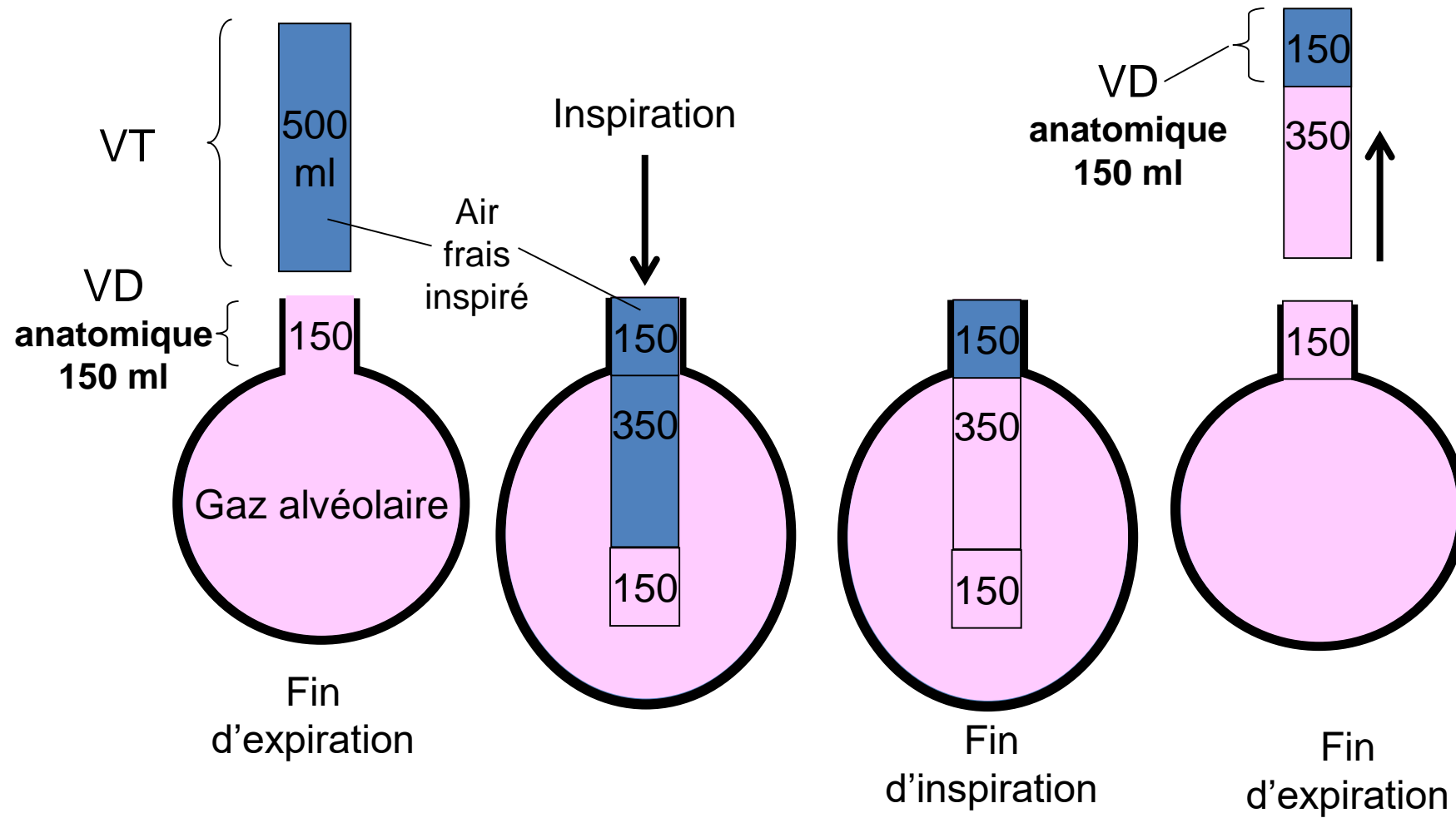


Air alvéolaire

- Volume de gaz alvéolaire ~ 2200 ml
 - Renouvelé par le volume courant à chaque cycle respiratoire
 - L'O₂ est prélevé continuellement
 - Le CO₂ est rejeté continuellement
- P_AO₂ et P_ACO₂ sont donc déterminés par:
 - Ventilation alvéolaire
 - Perfusion sanguine alvéolaire
 - Production de CO₂
 - Consommation d'O₂ } **Demande métabolique**



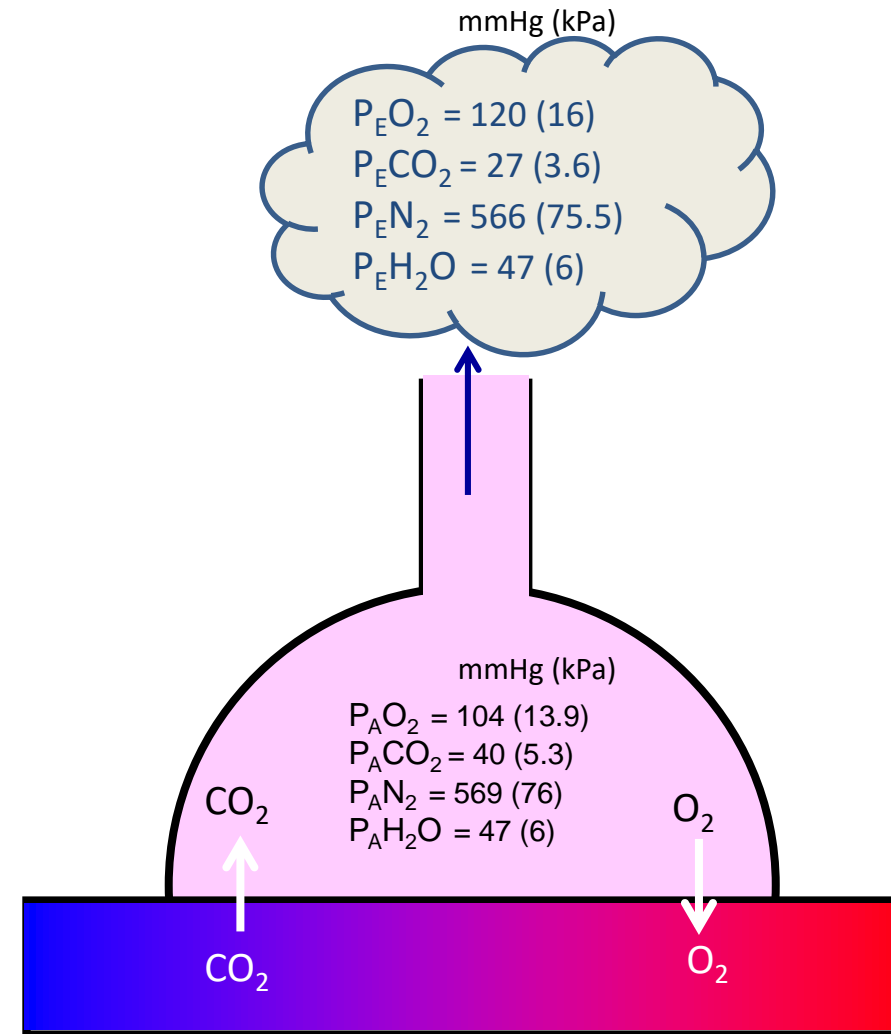
Espace mort anatomique



- Espace mort (VD); D: dead

Air expiré

- Air expiré:
 - La $P_{E O_2} > P_{A O_2}$
 - La $P_{E CO_2} < P_{A CO_2}$
 - La $P_{E H_2O} = P_{A H_2O}$



Ventilation Alvéolaire et $P_A\text{CO}_2$

- La $P_A\text{CO}_2$ est déterminée par l'équilibre entre :
 - Le débit expiré de CO_2 :

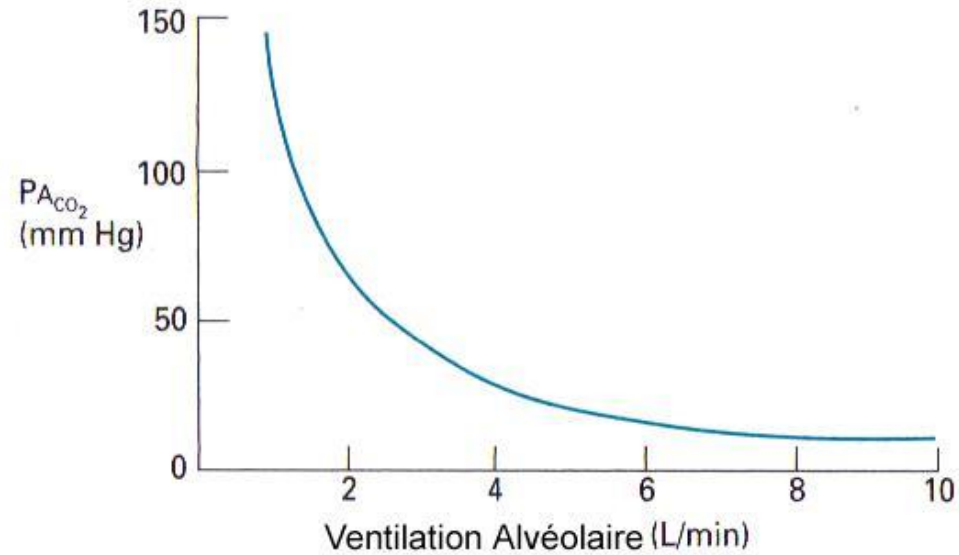
$$\dot{V}_{\text{E}\text{CO}_2} (\text{ml} / \text{min}) = \dot{V}_A (\text{ml} / \text{min}) \times F_{\text{A}\text{CO}_2}$$

- La production de CO_2
 - Déterminée par l'activité métabolique des tissus:

$$F_{\text{A}\text{CO}_2} \propto \frac{\dot{V}_{\text{CO}_2}}{\dot{V}_A} \Rightarrow P_{\text{A}\text{CO}_2} \propto \frac{\dot{V}_{\text{CO}_2}}{\dot{V}_A} \Rightarrow P_{\text{A}\text{CO}_2} \propto \frac{\dot{V}_{\text{CO}_2}}{(\dot{V}_E - \dot{V}_D)}$$

Ventilation Alvéolaire et $P_A\text{CO}_2$

- Si V_A est doublée et la production de CO_2 ($\dot{V}\text{CO}_2$) ne change pas $\rightarrow P_A\text{CO}_2/2$
- $P_A\text{CO}_2 \approx \text{PCO}_2$ du sang artériel ($P_a\text{CO}_2$)
- Signification:
 - Hyperventilation alvéolaire \rightarrow Hypocapnie $\downarrow P_a\text{CO}_2$
 - Hypoventilation alvéolaire \rightarrow Hypercapnie $\uparrow P_a\text{CO}_2$



$$P_{A\text{CO}_2} \propto \frac{\dot{V}_{\text{CO}_2}}{\dot{V}_A}$$

Ventilation Alvéolaire et $P_A\text{CO}_2$



- VD anatomique varie peu dans des conditions physiologiques
 - $\uparrow\text{VD}$: embout buccal, tuba ou masque (Ex: plongeur, aviateur)
 - "Espace mort instrumental "
 - $\uparrow\text{VD}$ entraîne une augmentation de la $P_A\text{CO}_2$

$$P_{A_{\text{CO}_2}} \propto \frac{V_{\text{CO}_2}}{(\dot{V}_E - \dot{V}_D)}$$

Ventilation Alvéolaire et P_AO_2

- la P_AO_2 est déterminée par l'équilibre entre:
 - La vitesse de réapprovisionnement de l' O_2 : la ventilation alvéolaire
 - La vitesse de prélèvement de l' O_2 : la perfusion sanguine
- L'hyperventilation alvéolaire augmente la P_AO_2
 - La P_AO_2 se rapproche alors de la P_iO_2 (air inspiré)
- La P_AO_2 augmente si l'air inspiré est enrichi en O_2 : $\uparrow F_iO_2$
- L'hypoventilation alvéolaire diminue la P_AO_2
 - La baisse de P_AO_2 est proportionnelle au degré d'hypoventilation: $\propto \uparrow P_ACO_2$
 - Elle peut être corrigée par $\uparrow F_iO_2$: principe de l'oxygénothérapie

Mentions légales

L'ensemble de ce document relève des législations française et internationale sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Tous les droits de reproduction de tout ou partie sont réservés pour les textes ainsi que pour l'ensemble des documents iconographiques, photographiques, vidéos et sonores.

Ce document est interdit à la vente ou à la location. Sa diffusion, duplication, mise à disposition du public (sous quelque forme ou support que ce soit), mise en réseau, partielles ou totales, sont strictement réservées à l'Université Grenoble Alpes (UGA).

L'utilisation de ce document est strictement réservée à l'usage privé des étudiants inscrits en Première Année Commune aux Etudes de Santé (PACES) à l'Université Grenoble Alpes, et non destinée à une utilisation collective, gratuite ou payante.