

Physiologie du Système Respiratoire

COURS 3

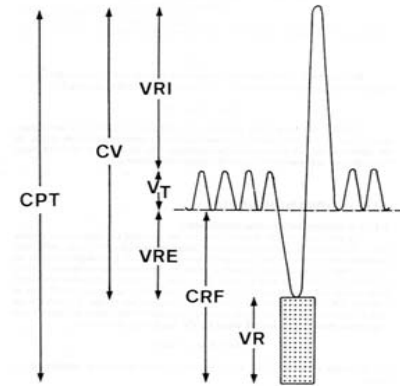
- Ventilation pulmonaire:
 2. Volumes et capacités pulmonaires
 3. Production du débit aérien
 4. Distribution régionale de la ventilation

Sandrine Launois-Rollinat

Laboratoire HP2,
Université Joseph Fourier,
Laboratoire du Sommeil,
CHU de Grenoble

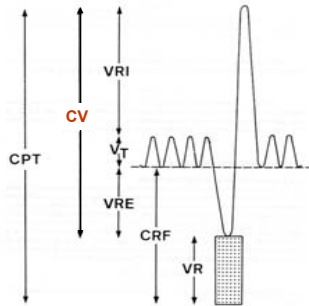


Les volumes pulmonaires



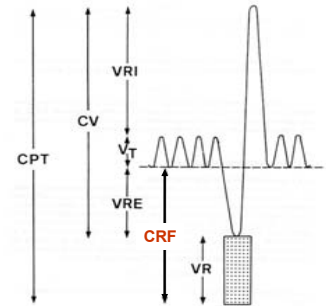
Les volumes pulmonaires

- **Capacité vitale (CV)** = totalité des volumes mobilisables
- $CV = VRE + VC + VRI$
- Volume mobilisé entre la fin d'une inspiration forcée max et la fin d'une expiration forcée max
- Adulte au repos $\approx 4l$ à $4,5 l$



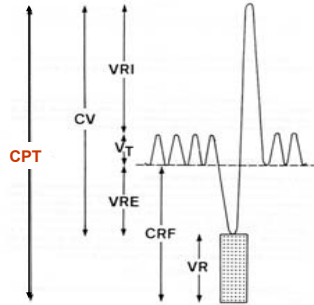
Les volumes pulmonaires

- **Capacité résiduelle fonctionnelle (CRF)** = volume pulmonaire en fin d'expiration normale
- CRF = **volume pulmonaire «de repos»**
- $CRF = VR + VRE$
- Mesurée de façon indirecte
- Adulte au repos $\approx 2\ 000\ ml$



Les volumes pulmonaires

- **Capacité pulmonaire totale** (CPT) = somme de tous les volumes pulmonaires
- $CPT = VR + VRE + VC + VRI$
 $= CV + VR$
- Mesurée de façon indirecte
- Adulte au repos $\approx 5\ 000$ ml



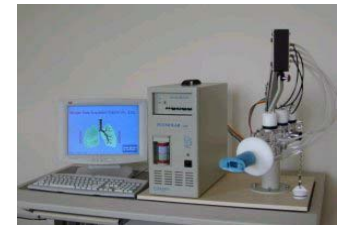
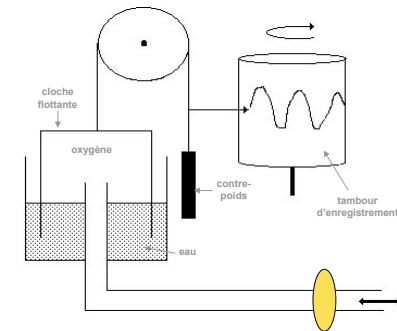
Les volumes et capacités pulmonaires

- Valeurs des volumes et capacité pulmonaires **variables** en fonction de
 - âge
 - sexe
 - taille
 - race
 → volumes exprimés en % théorique
- Une mesure correcte des volumes pulmonaires nécessite la **coopération** du sujet
- Dans les conditions normales
 - poumon droit: 55% de la CV
 - poumon gauche: 45% de la CV

Volumes et capacités pulmonaires: méthodes de mesure

- Volumes mobilisables
 - Spirométrie
 - Pneumotachographie
- Volumes et capacités non mobilisables
 - VR, CRF, CPT : pléthysmographie corporelle
 - VR: dilution de l'hélium

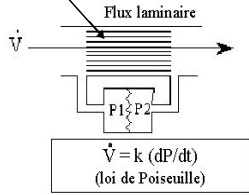
Mesure des volumes pulmonaires mobilisables



Spirométrie à cloche

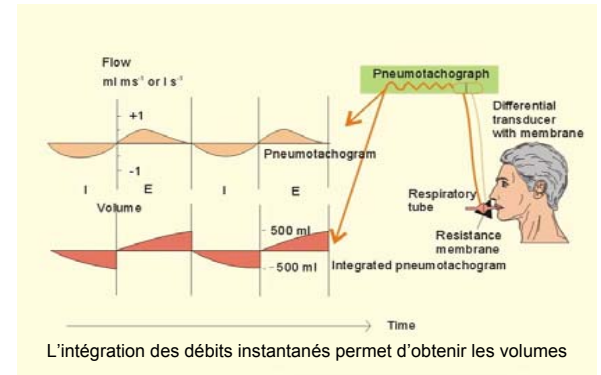
Mesure des volumes pulmonaires mobilisables

Conduits multiples rendant le flux laminaire



Spirométrie ouverte avec un pneumotachographe

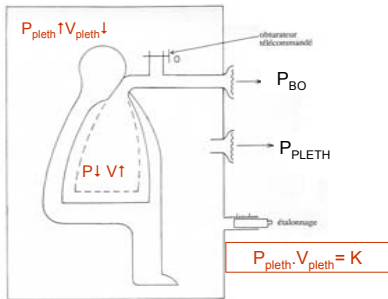
Mesure des volumes pulmonaires mobilisables



L'intégration des débits instantanés permet d'obtenir les volumes

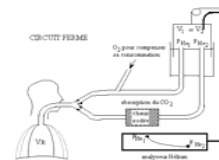
Spirométrie ouverte avec un pneumotachographe

Mesure du volume intrathoracique



Pléthysmographie corporelle

Mesure du volume résiduel



Le sujet est connecté

à un spiromètre de volume V_{SPIR} connu
contenant une concentration connue d'He
à la fin d'une expiration normale
(CRF = VR + VRE)

$$V_{SPIR} \cdot C_1 = V_x \cdot C_2 \quad V_x = VR + VRE$$

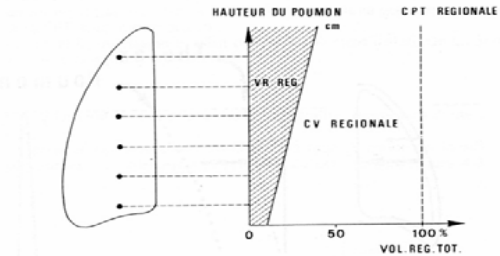
$$VR = \frac{V_{SPIR} \cdot C_1}{C_2} - VRE - V_{SPIR}$$

Méthode de dilution à l'hélium (gaz inerte)

Mesure du volume résiduel

- La mesure du VR par la méthode de dilution **sous-estime** la valeur de VR car les zones alvéolaires mal/non ventilées ne participent pas à la dilution de l'hélium
- La pléthysmographie mesure le volume gazeux **intra-thoracique total** (CPT)
- La différence VR_{He} / VR_{PLETH} peut être marquée dans certaines pathologies (1000ml)

Distribution régionale des volumes pulmonaires



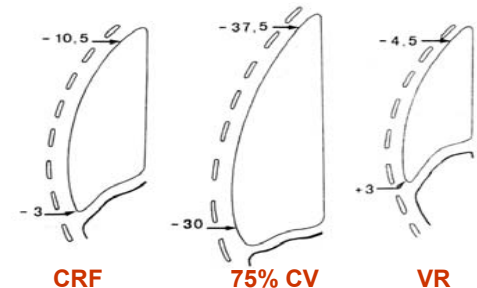
Gradient vertical de volume résiduel

Distribution régionale des volumes pulmonaires

- La pression pleurale est influencée par les forces de traction exercées sur les deux feuillets pleuraux par
 - les fibres élastiques du parenchyme pulmonaire
 - la cage thoracique
 - l'abdomen
 - le diaphragme

Distribution régionale des volumes pulmonaires

- La pression pleurale varie avec
 - le volume pulmonaire
 - la **gravité**



Distribution régionale des volumes pulmonaires

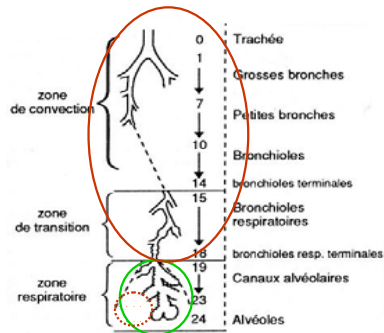
- La pression pleurale influence en retour les structures sous-jacentes
 - volume alvéolaire
 - calibre des voies aériennes
 - calibre des vaisseaux extra-alvéolaires

La ventilation minute

- **Ventilation minute** (\dot{V} ou V_E)
 - = débit ventilatoire
 - = volume pulmonaire mobilisé en une minute
 - = **Volume Courant x Fréquence Respiratoire**
 - ≈ 500 ml x 12/mn au repos, soit 6 l/mn
 - peut atteindre 240 l/mn lors d'un exercice intense

La ventilation minute

$$\begin{aligned} \text{Ventilation Minute} &= \\ & \text{Ventilation alvéolaire} \\ & + \\ & \text{Ventilation de l'espace} \\ & \text{mort anatomique} \\ & + \text{Ventilation de l'espace} \\ & \text{mort alvéolaire} \end{aligned}$$



L'espace mort

- Espace (volume) mort **physiologique**
 - = volume d'air contenu dans l'appareil respiratoire qui ne participe pas aux échanges gazeux
 - espace mort **anatomique**
 - air contenu dans les voies aériennes de conduction
 - ≈ 150 ml ($V_D/V_T = 0,2-0,35$)
 - espace mort **alvéolaire**
 - air contenu dans un territoire alvéolaire ventilé mais mal perfusé
- = «Dead space» = V_D

L'espace mort

- Espace mort anatomique
 - ≈ 150 ml (\approx poids corporel en kg x 2)
 - $V_{D_{ANAT}}/V_T = 0,2-0,35$
 - augmenté dans certaines situations



L'espace mort

$$\dot{V}_E = \dot{V}_T \cdot f$$

$$\dot{V}_A = (\dot{V}_T - \dot{V}_D) \cdot f$$

VT = volume courant (tidal volume)

VD = volume de l'espace mort (dead space)

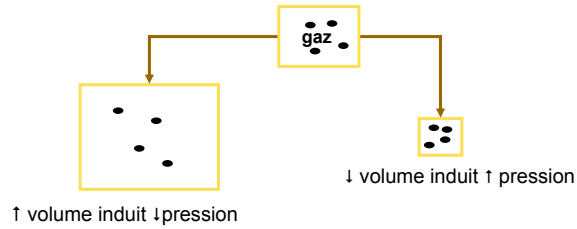
Production du débit aérien

- L'air entre et sort des alvéoles de manière **passive**, en réponse à des gradients de pression
- L'air se déplace d'une zone de **haute** pression vers une zone de **basse** pression

Production du débit aérien

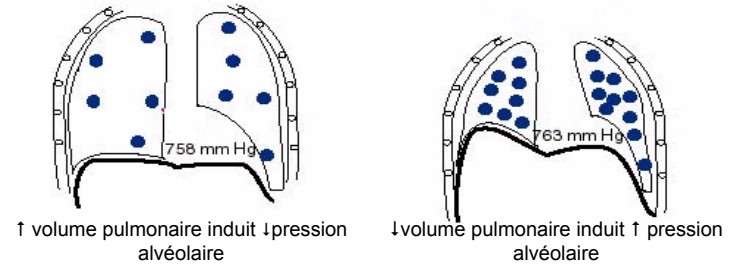
- La **pression atmosphérique**
 - est «constante»: ≈ 760 mmHg = 101,3 kPa
 - c'est la pression de référence du système respiratoire ($P_{ATM} = 0$)
 - P_{atm}, P_B
- La **pression alvéolaire**
 - varie au cours du cycle respiratoire
 - sous l'effet des variations de volume pulmonaire
 - P_{alv}, P_A

Production du débit aérien



Loi de Boyle-Mariotte: à température constante et dans un espace clos, P est inversement proportionnel à V

Production du débit aérien

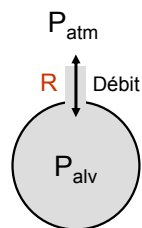


Loi de Boyle-Mariotte: à température constante et dans un espace clos, P est inversement proportionnel à V

Production du débit aérien

- Débit d'un fluide

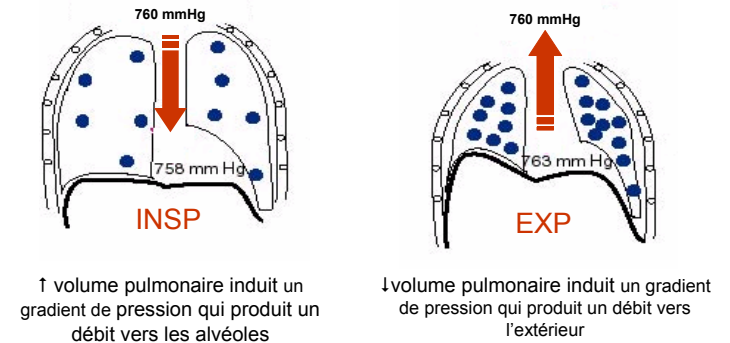
$$\text{Débit} = \frac{\Delta P}{\text{Résistance}}$$



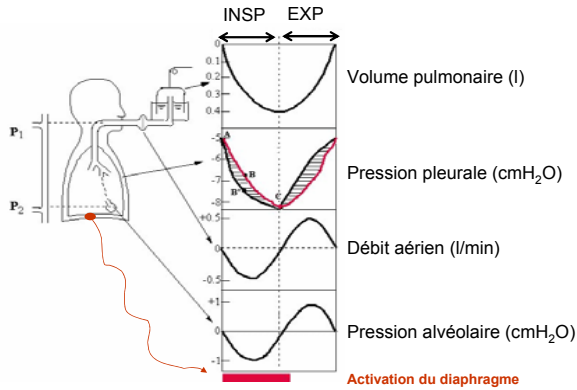
- Dans le système respiratoire

$$\text{Débit} = \frac{(P_{\text{alv}} - P_{\text{atm}})}{R_{\text{pulm}}}$$

Production du débit aérien



Le cycle respiratoire



INSPIRATION

Contraction des muscles inspiratoires

Expansion thoracique

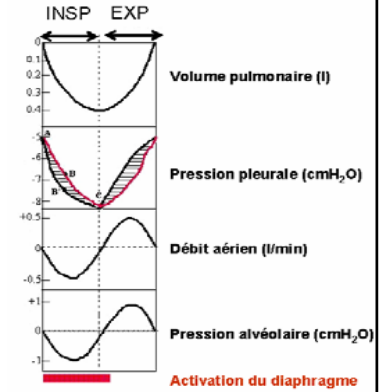
Pression pleurale ↓

Expansion pulmonaire

Palv ↓

Palv < Patm

Débit aérien vers les alvéoles



EXPIRATION

Relaxation des muscles inspiratoires

Diminution du volume thoracique

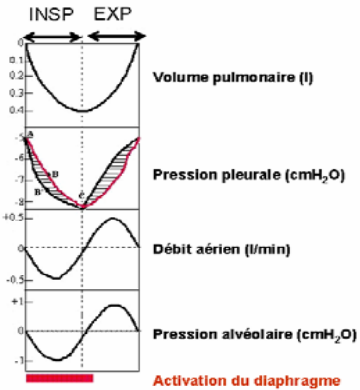
P_{PL} se normalise

Diminution du volume pulmonaire

Palv ↓

Palv < Patm

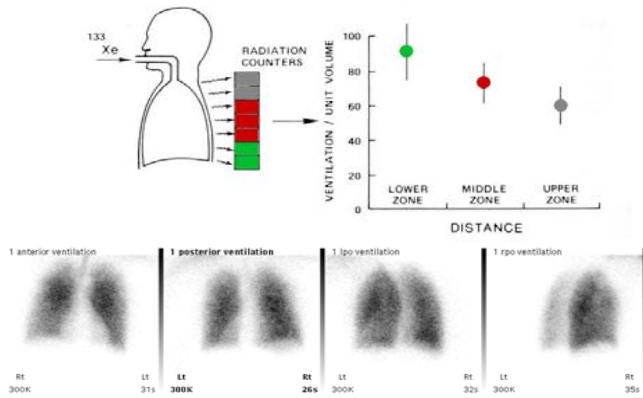
Débit aérien vers l'extérieur



Distribution régionale de la ventilation pulmonaire

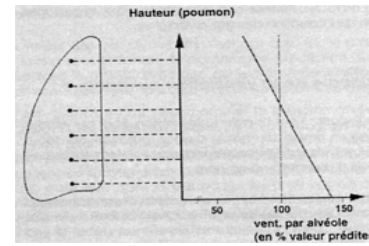
- Mesure des volumes pulmonaires par spirométrie et pléthysmographie → **résultat global**
- Répartition des volumes pulmonaires **hétérogène**
- Visualisée avec un radio-isotope inhalé en circuit fermé

Distribution régionale de la ventilation pulmonaire

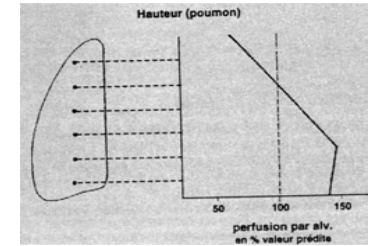


Rapports ventilation/perfusion

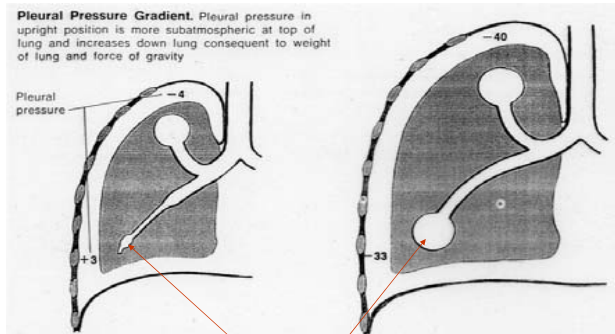
Distribution régionale de la ventilation



Distribution régionale de la perfusion



Distribution régionale de la ventilation pulmonaire



Meilleure ventilation des alvéoles des bases