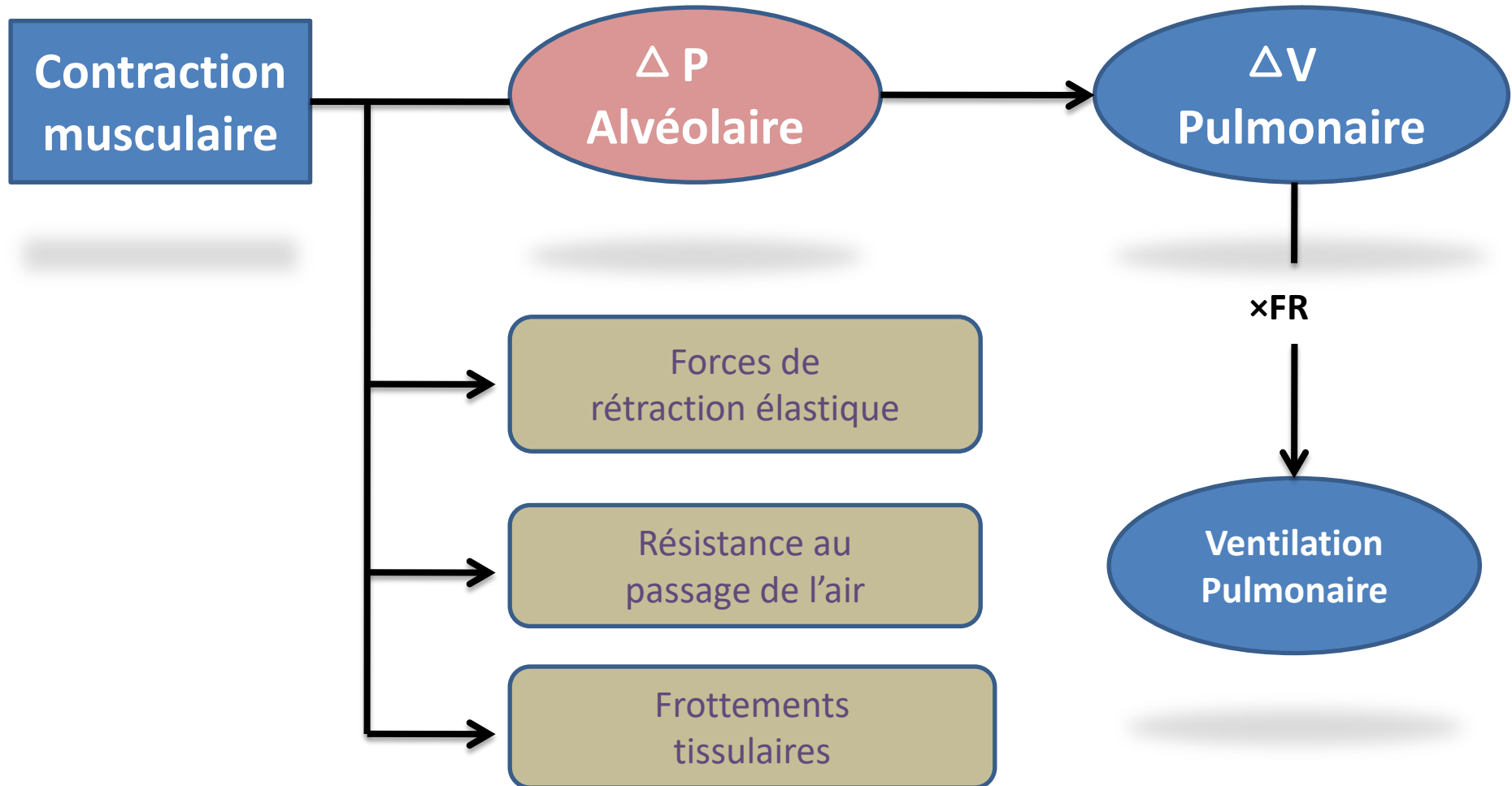


# Mécanique Ventilatoire

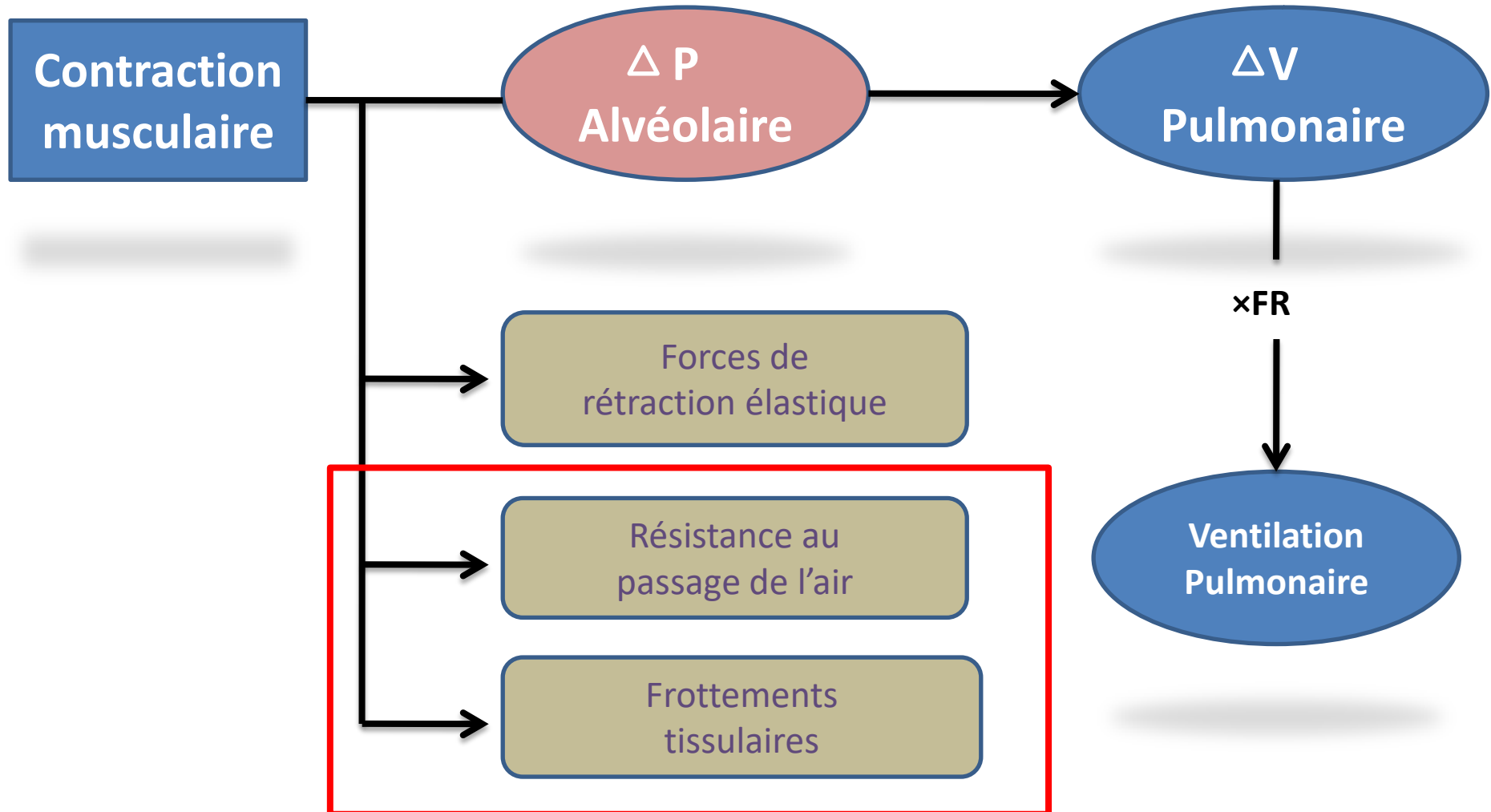
## Propriétés Résistives de l'appareil respiratoire

Dr.A.GUENDOUZ  
Maitre assistant  
Physiologie clinique &  
explorations fonctionnelles

# Ventilation pulmonaire : propriétés mécaniques



# Ventilation pulmonaire : propriétés mécaniques



# Propriétés résistives du système respiratoire

- ☐ Principes
- ☐ Résistances pulmonaires
- ☐ Relation débit-volume
- ☐ Conclusions générales sur l'étape de ventilation pulmonaire

# Propriétés résistives du système respiratoire

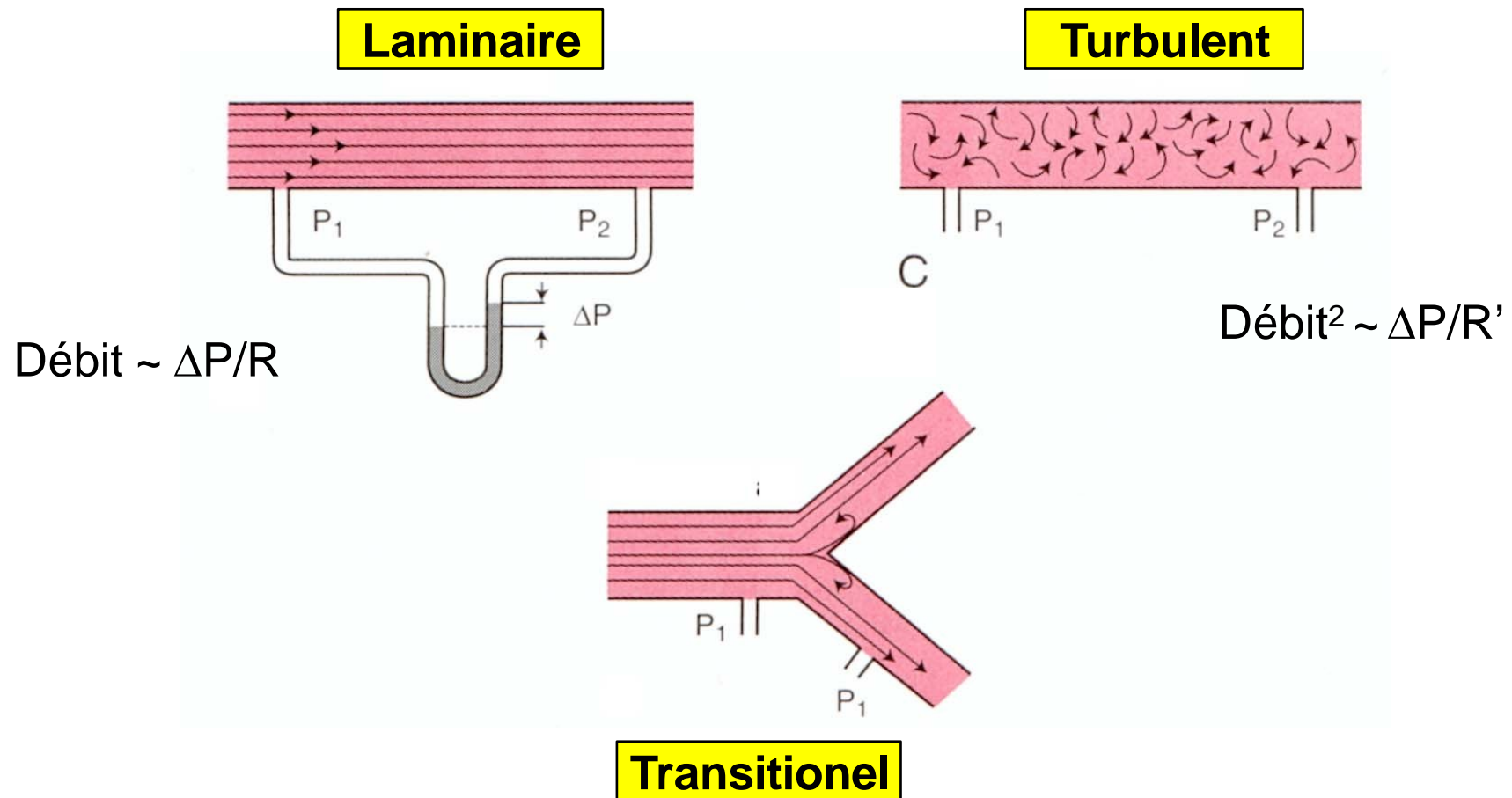
- Ventilation = condition **dynamique**
- L'activité des muscles respiratoires doit vaincre :
  - **L'élasticité pulmonaire** (2/3 au repos)
  - **La résistance du système respiratoire au passage de l'air** (1/3 au repos)
    - résistances tissulaires ( $\approx 20\%$ ): frottements du tissu pulmonaire
    - résistances des voies aériennes ( $\approx 80\%$ ) : résistance à l'écoulement des molécules d'air

# Principes généraux

- Ecoulement d'un fluide dans un système de conduction
  - **Pression**
    - gradient de pression ( $P_{\text{alv}} - P_{\text{atm}}$ ) → permet d'établir un débit aérien
  - **Débit**
    - quantité d'air qui circule dans les VA/unité de temps
  - **Résistance**
    - difficulté à laquelle l'air se heurte pour circuler entre 2 points des VA sous l'action d'une  $\Delta P$  donnée

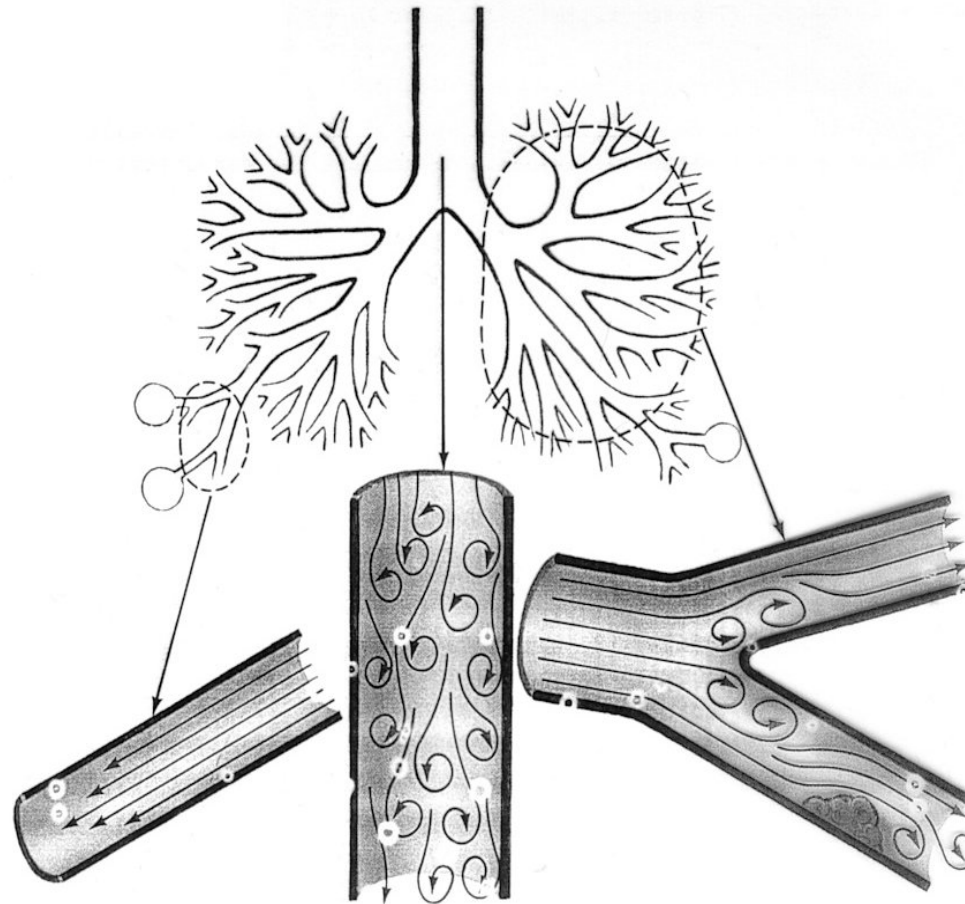
# Principes généraux

- Ecoulement d'un fluide



# Principes généraux

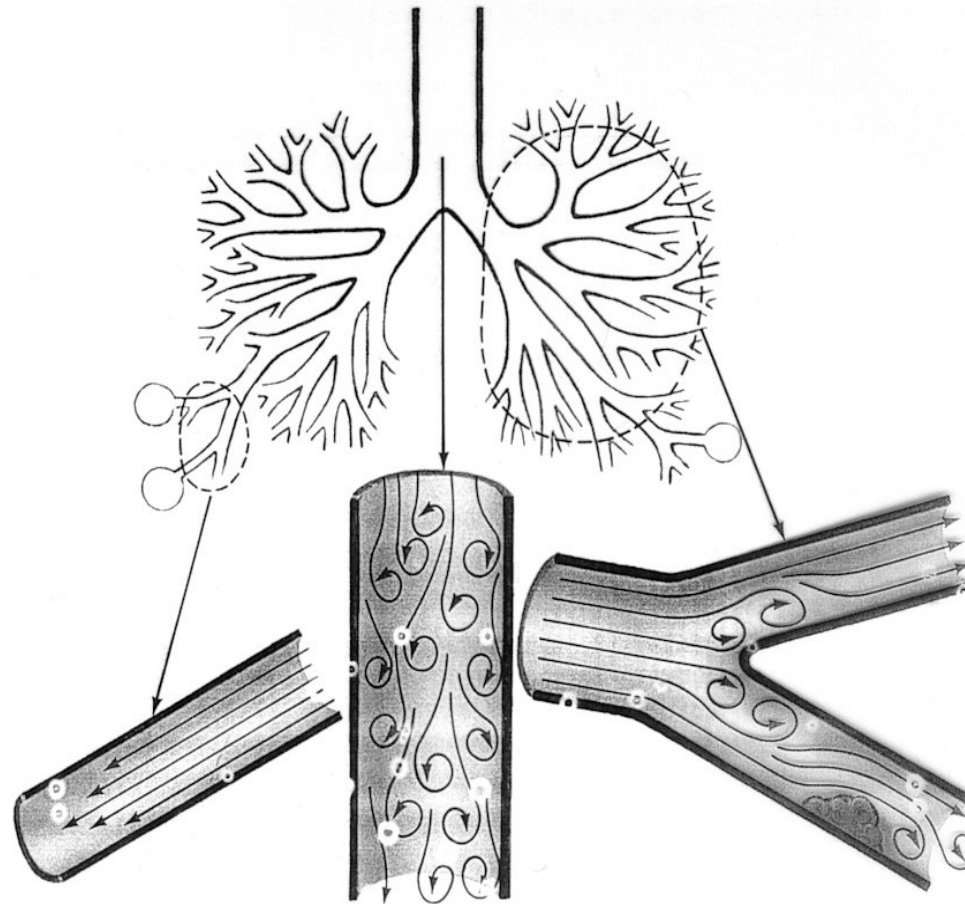
Ecoulement  
**laminaire** en  
périphérie  
(bronchioles  
terminales)





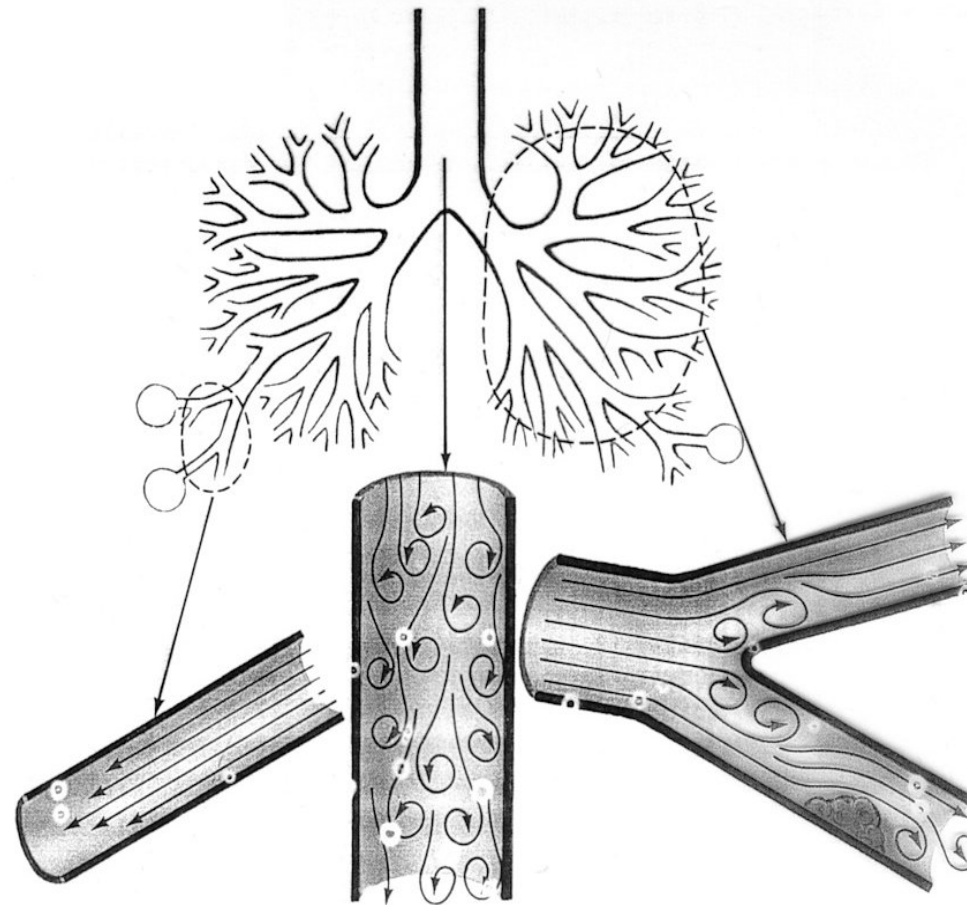
# Principes généraux

Ecoulement  
**laminaire** en  
périphérie  
(bronchioles  
terminales)



Ecoulement  
**turbulent** vrai dans  
la trachée, surtout  
à l'exercice

# Principes généraux



Ecoulement  
**laminaire** en  
périphérie  
(bronchioles  
terminales)

Ecoulement  
**transitionnel**  
dans la majorité  
de l'arbre  
bronchique

Ecoulement  
**turbulent** vrai dans  
la trachée, surtout  
à l'exercice

# Principes généraux

## Ecoulement aérien

- Modélisation  
↳ écoulement **transitionnel**

$$\Delta P = R_1 \cdot \dot{V} + R_2 \cdot \dot{V}^2$$

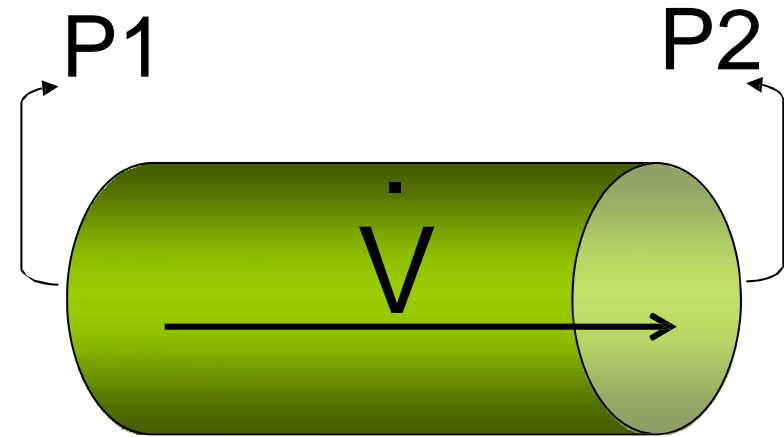
- Détection des modifications pathologiques  
↳ approximation à un écoulement **laminaire**

$$\Delta P = R_1 \cdot \dot{V}$$

# Principes généraux

- Fluide

- viscosité  $\eta$
- densité  $\rho$
- conduit de longueur  $l$
- rayon  $r$



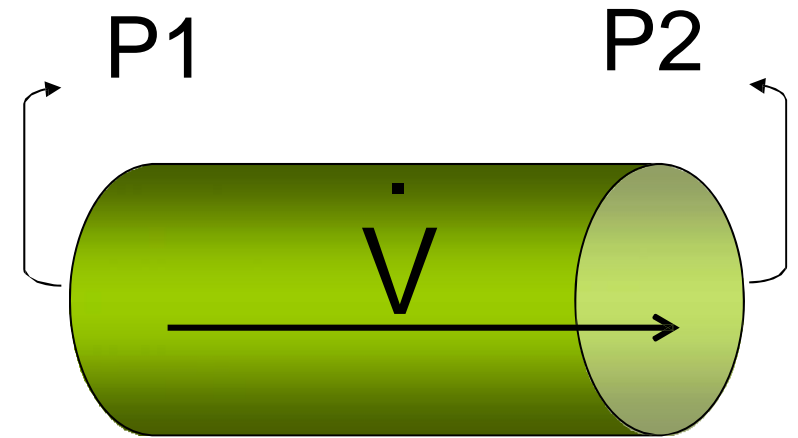
- En écoulement laminaire

$$\dot{V} = \frac{\Delta P^*}{R} \quad R = \frac{8\eta l}{\pi r^4}$$

\* Loi de Poiseuille

# Principes généraux

- Si on a un fluide d'une viscosité  $\eta$  (nu), d'une densité  $\rho$  (ro), qui traverse un conduit d'une longueur  $l$  avec un rayon  $r$  : si l'écoulement est laminaire le débit qui va s'écouler dans ce conduit va être égale a la différence de  $P$  de part et d'autre du conduit divisé par la résistance, et la résistance dans cette situation va être proportionnelle a la viscosité du fluide, a la longueur du conduit et inversement proportionnelle au rayon a la puissance 4
- Dans ce qui nous intéresse de l'arbre bronchique :
  - ✓ la viscosité de l'air ne va pas varier (sauf si on fait respirer un gaz différent),
  - ✓ la longueur du conduit ne va pas être modifié non plus,
  - ✓ en revanche le rayon de chaque conduit aérien peut être modifié
- En écoulement laminaire ce qui détermine le débit qui s'écoule dans l'arbre bronchique c'est a la fois la différence de  $P$  et les variations du rayon de l'arbre bronchique



# Propriétés résistives du système respiratoire

- ☐ Principes
- ☒ Résistances pulmonaires
- ☐ Relation débit-volume
- ☐ Conclusions générales sur l'étape de ventilation pulmonaire

# Résistances pulmonaires

- Mesure des resistances

- **pulmonaires totales**

- résistance due à l'écoulement de l'air dans les VA + résistances dues au tissu pulmonaire

- **des voies aériennes totales**

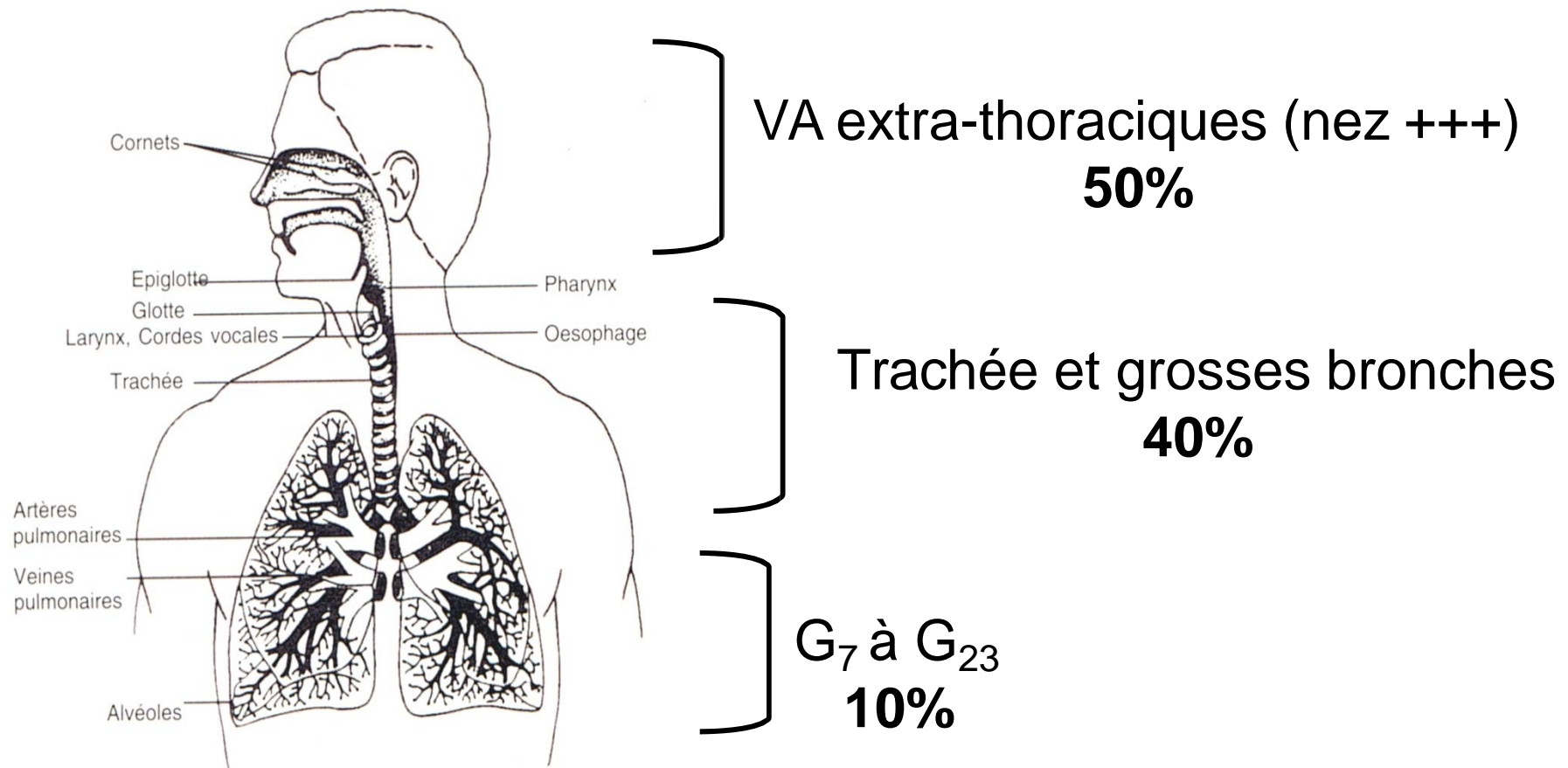
- résistance due à l'écoulement de l'air dans les VA

- **des voies aériennes supérieures (= supraglottique)**

- résistance due à l'écoulement de l'air dans les VAS
    - possibilité de mesurer cette R à différents niveaux

# Résistances pulmonaires

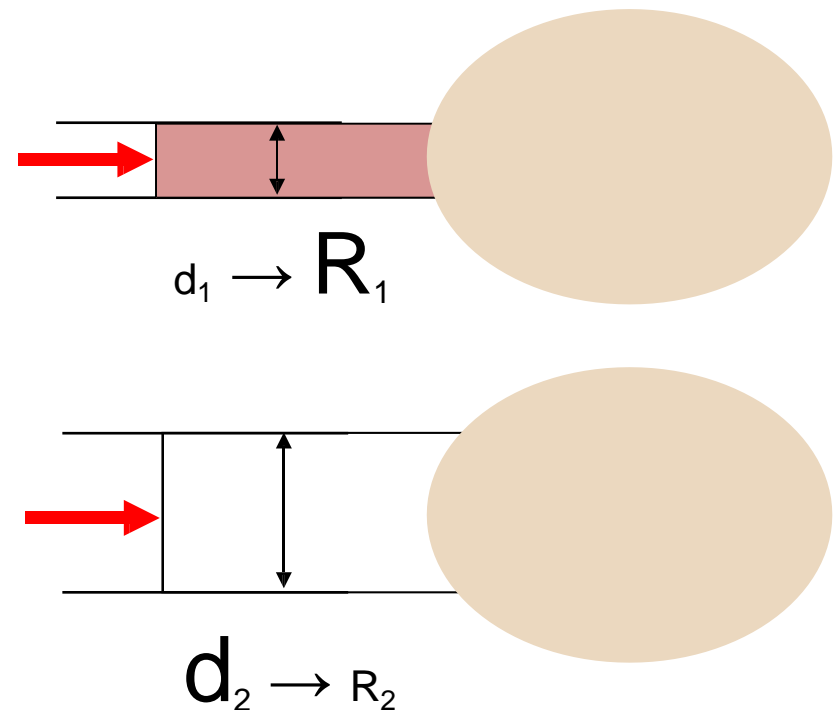
## En respiration nasale



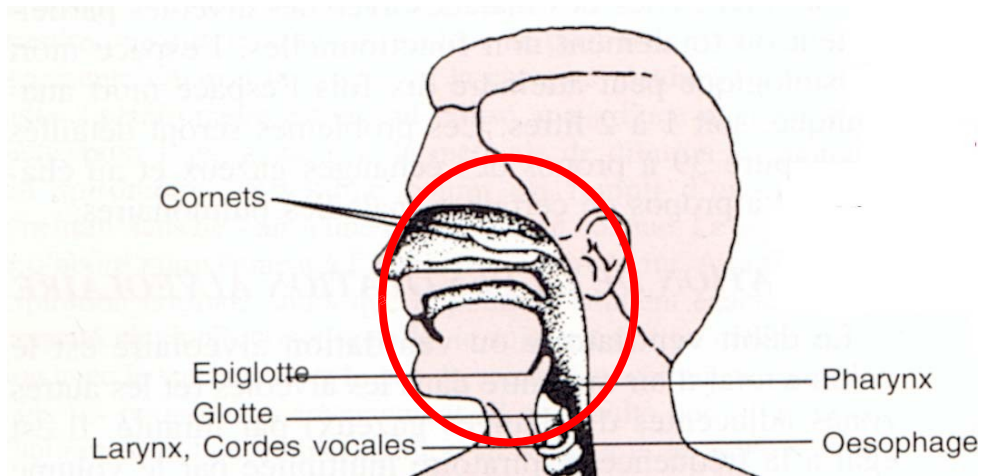


# Résistances pulmonaires

- Résistance (R) au passage de l'air
  - proportionnelle au diamètre (d) des voies aériennes
  - présente à l'inspiration et à l'expiration
  - faible chez le sujet normal



# Résistances pulmonaires



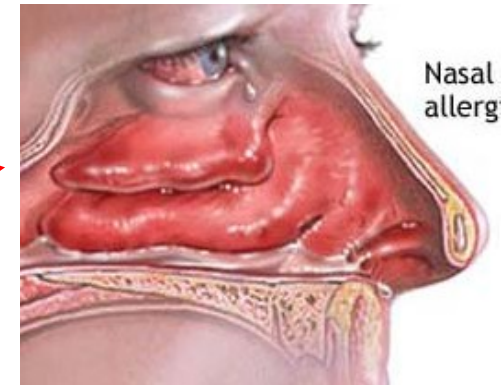
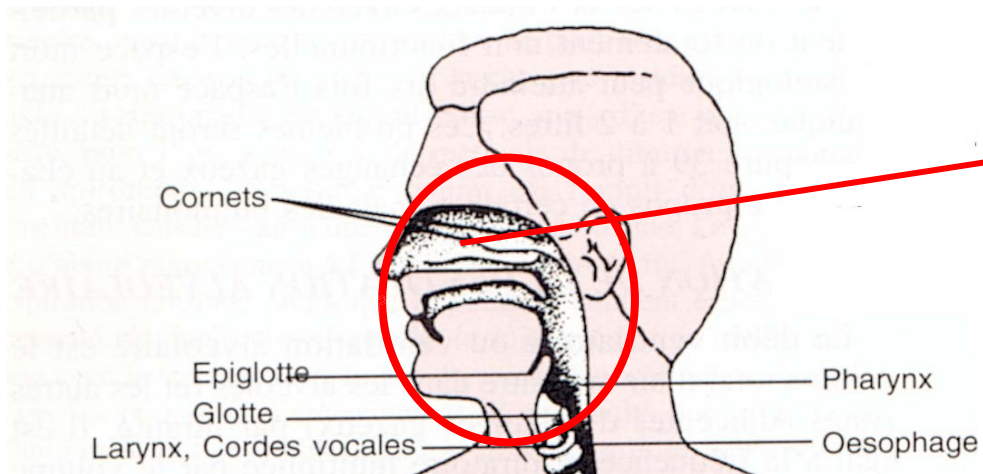
## Voies aériennes supérieures

Résistance au passage de l'air à

**l'inspiration**

Importance ++ pendant le **sommeil**  
(ronflement, apnées du sommeil)

# Résistances pulmonaires



Rhinite allergique

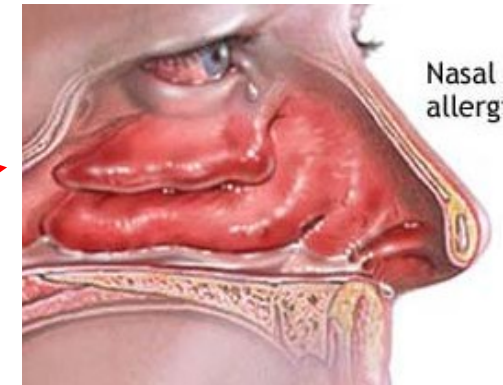
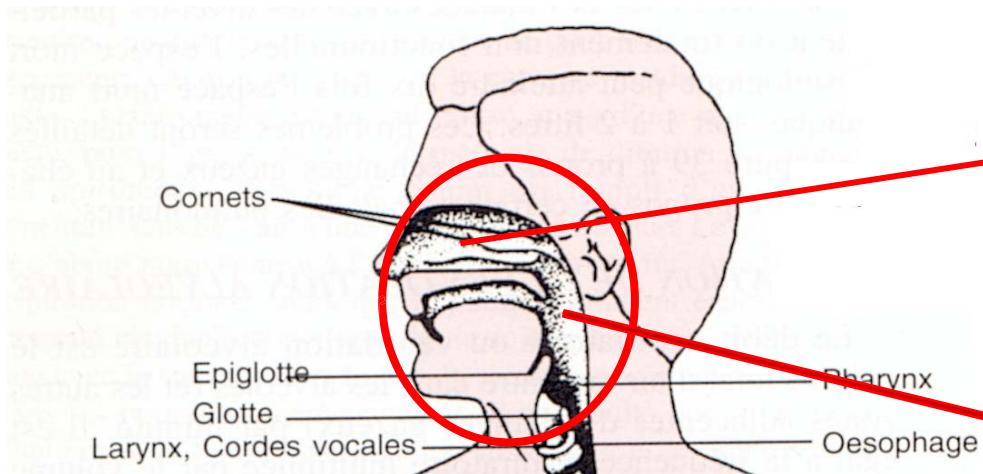
## Voies aériennes supérieures

Résistance au passage de l'air à

**l'inspiration**

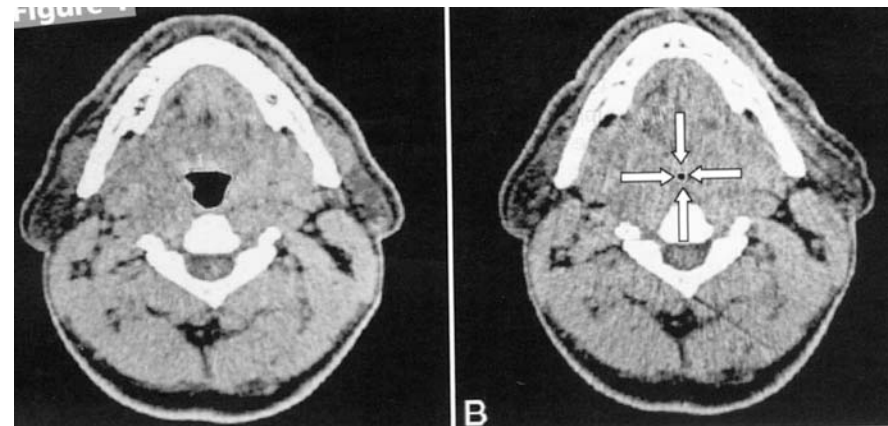
Importance ++ pendant le **sommeil**  
(ronflement, apnées du sommeil)

# Résistances pulmonaires



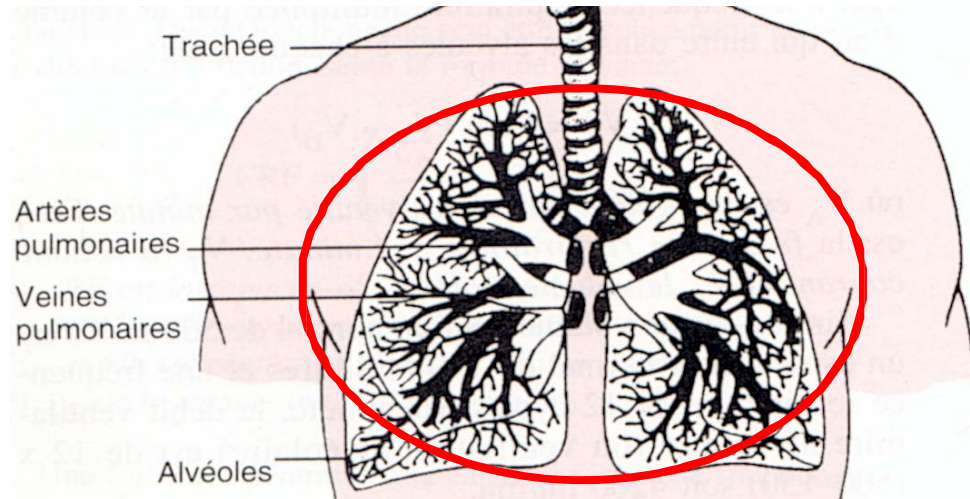
Rhinite allergique

**Voies aériennes supérieures**  
Résistance au passage de l'air à  
l'**inspiration**  
Importance ++ pendant le **sommeil**  
(ronflement, apnées du sommeil)



Rétrécissement pharyngé au cours d'une  
apnée obstructive du sommeil

# Résistances pulmonaires

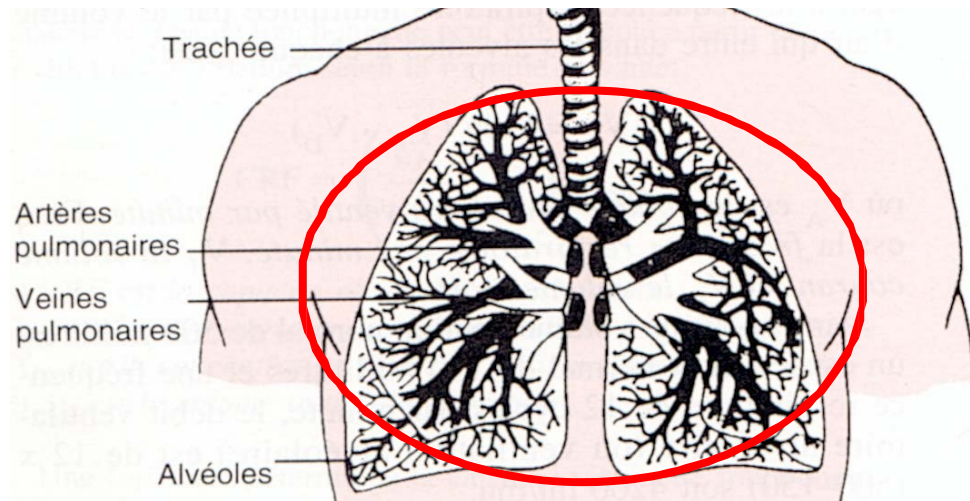


## Voies aériennes inférieures

Résistance au passage de l'air à  
l'**expiration**

Importance ++ dans les troubles  
ventilatoires obstructifs (tabac, asthme)

# Résistances pulmonaires



## Voies aériennes inférieures

Résistance au passage de l'air à  
l'**expiration**

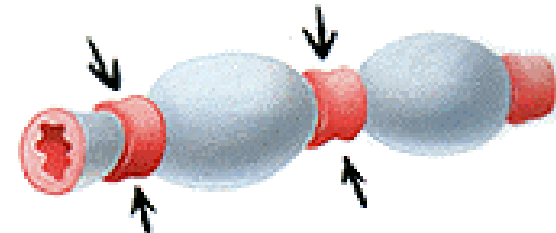
Importance ++ dans les troubles  
ventilatoires obstructifs (tabac, asthme)



**Bronche normale**



**Bronche rétrécie par  
sécrétions et inflammation  
(Bronchite chronique)**

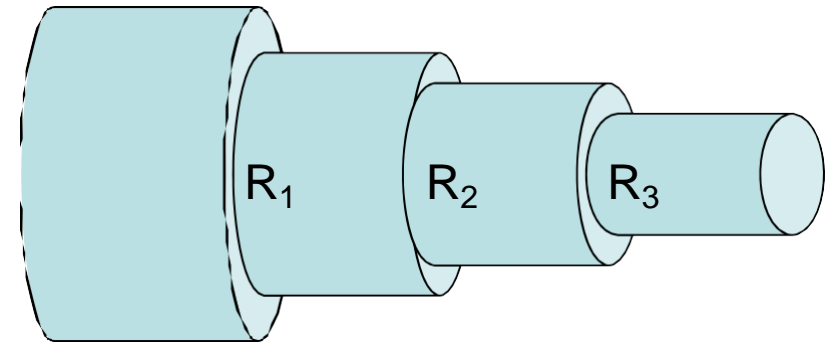


**Bronche rétrécie par  
contraction du muscle lisse  
(Crise d'asthme)**

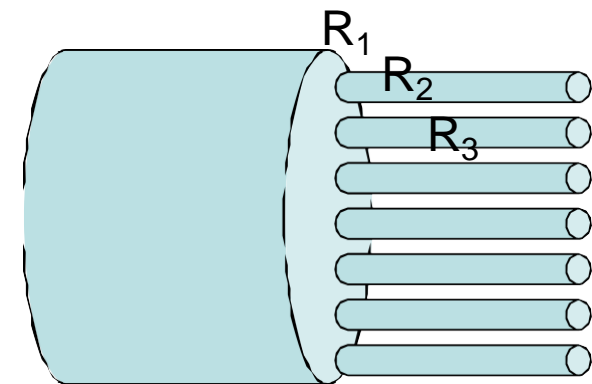


# Résistances pulmonaires

- Les voies aériennes dont le diamètre est inférieur à 2 mm ne contribuent que 10% à la  $R_{VA}$ 
  - La diminution du calibre est compensée par
    - l'augmentation ++ de la surface de section totale
    - le faible débit aérien
  - On estime que les résistances sont en parallèle et non plus en série:  $1/R_{tot} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$



Résistance en série



Résistance en parallèle

# Propriétés résistives du système respiratoire

- ☐ Principes
- ☐ Résistances pulmonaires
- ☒ Relation débit-volume
- ☐ Conclusions générales sur l'étape de ventilation pulmonaire

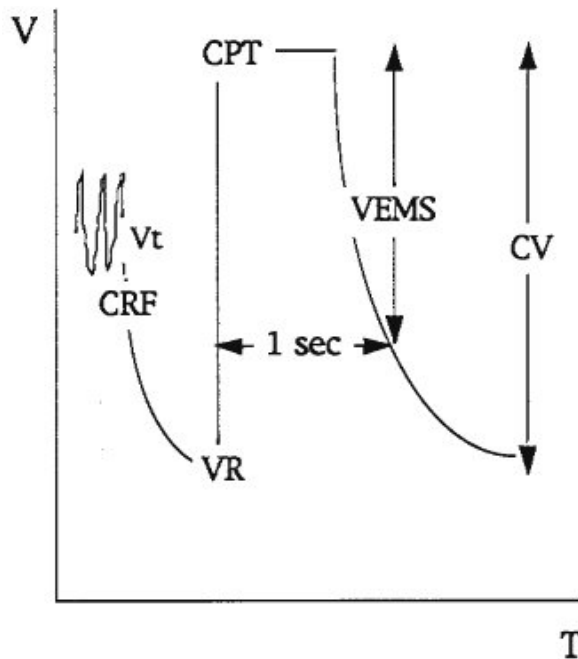


# Relation débit/volume

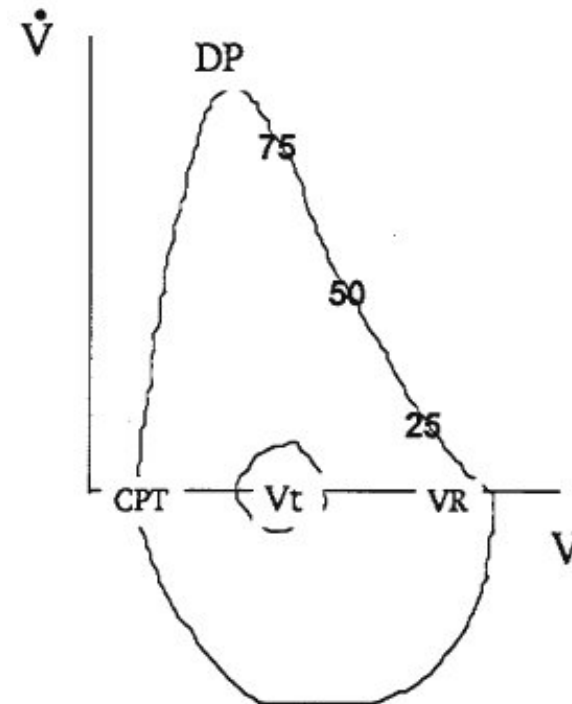
- De nombreuses affections retentissent sur la **résistance** des VA
- Si les  $\Delta P$  sont constantes,  $R_{VA}$  et  $\Delta V$  sont inversement proportionnelles
- En routine, on mesure plus facilement le débit que les résistances
- Analyse de la courbe débit-volume → mesure **indirecte** de la résistance

# Relation débit/volume

- Courbes débit-volume = variations de débits à différents volumes pulmonaires pendant l'inspiration et l'expiration



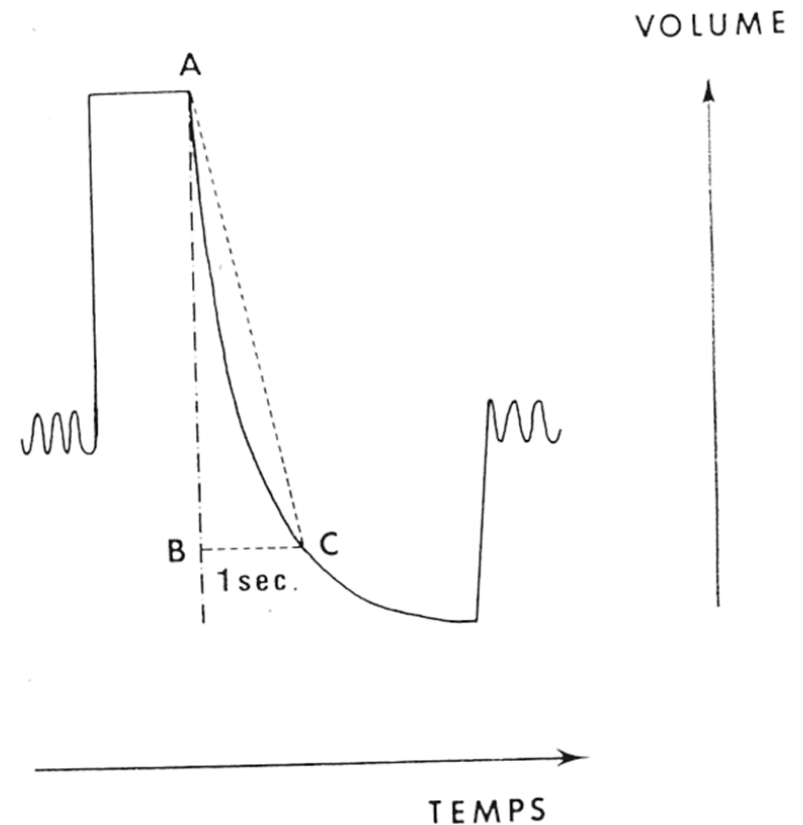
Courbe d'expiration forcée spirométrique



Courbe débit-volume pneumotachographique

# Relation débit/volume

- Courbe d'expiration forcée spiromographique
  - Sujet connecté à un spiromètre, respiration buccale
  - Manœuvre inspiratoire maximale, pause
  - Expiration maximale = «**expiration forcée**», capacité vitale forcée

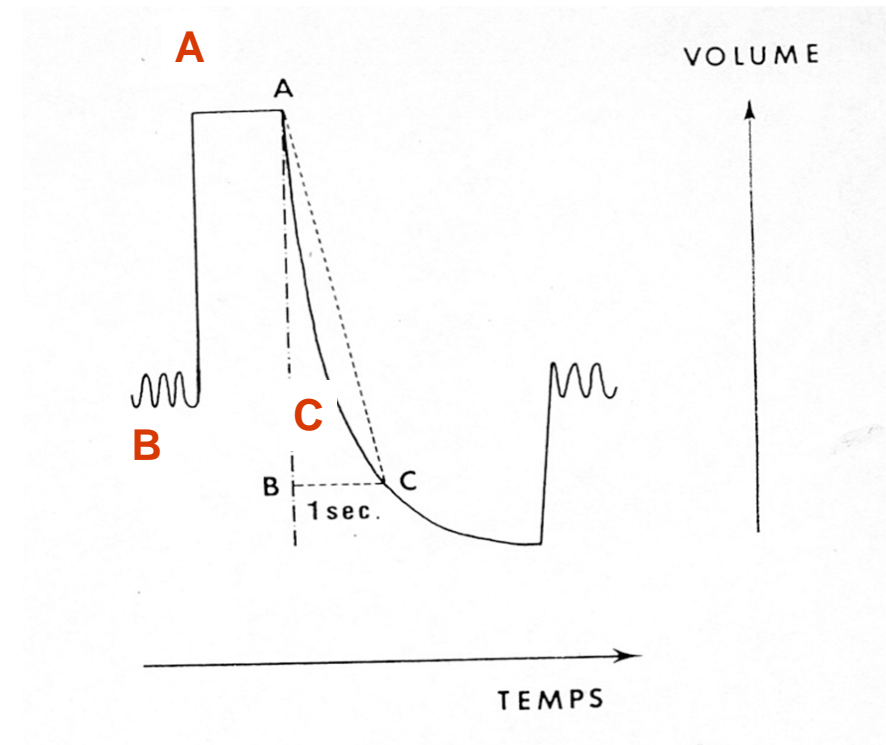


# Relation débit/volume

- Analyse: le VEMS

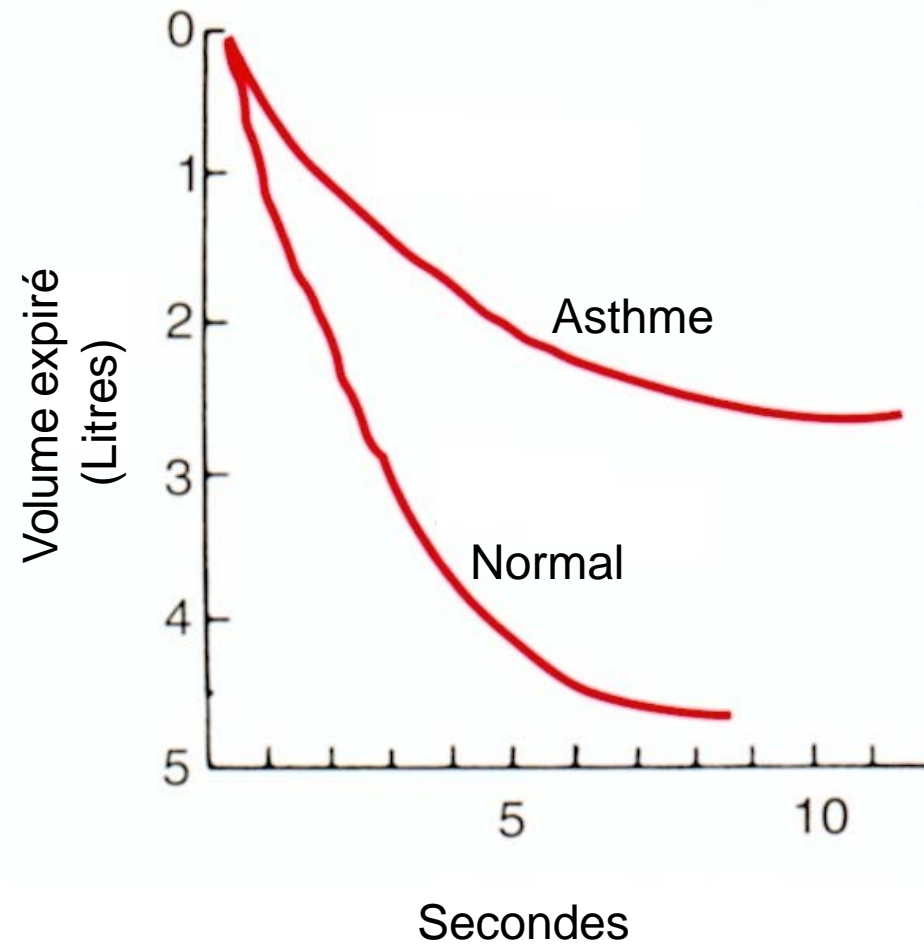
- Volume Expiratoire Maximal  
Seconde = volume expiré dans  
la première seconde d'une  
manœuvre d'expiration forcée
- VEMS dépend du volume  
pulmonaire, de l'âge, etc → doit  
être normalisé par rapport à des  
valeurs théoriques
- Normalisation du VEMS par  
rapport à la CV :  $VEMS/CV =$   
75 - 80% (**Rapport de Tiffeneau**)

$$VEMS = A - B/sec$$



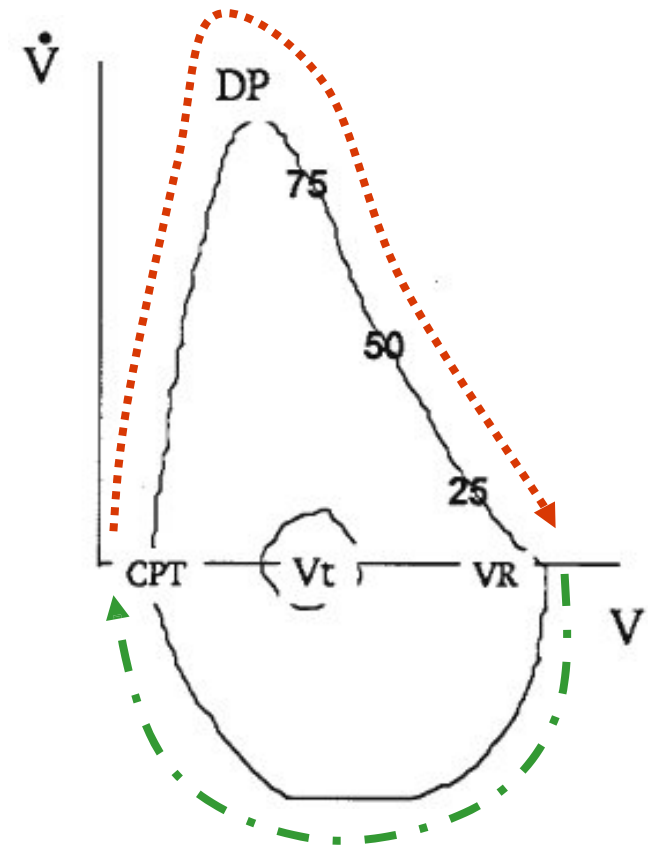
# Relation débit/volume

Courbe d'expiration forcée spiromographique

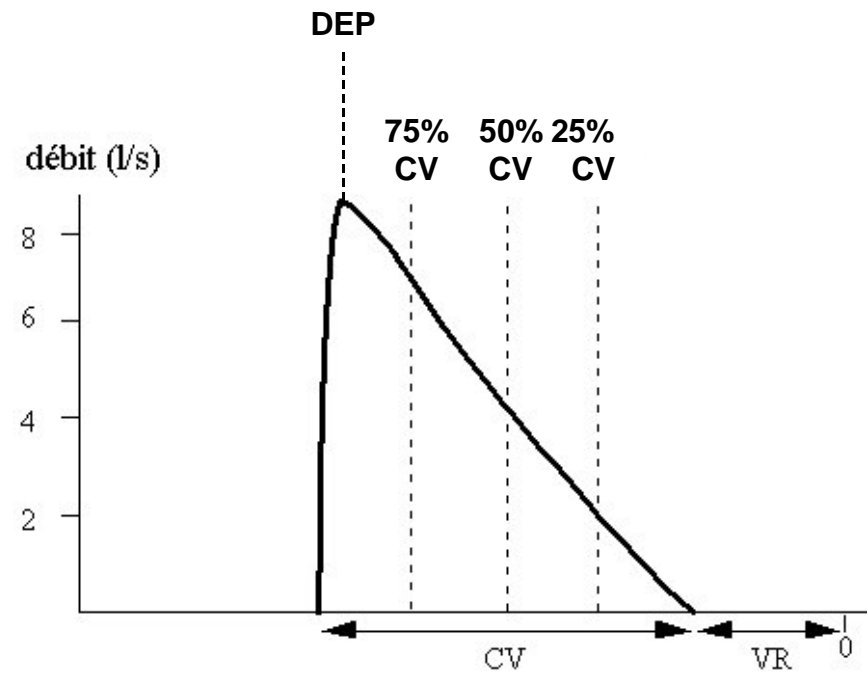


# Relation débit/volume

- Courbe débit-volume pneumotachographique
  - Sujet à un pneumotachographe, respiration buccale
  - Manœuvre **inspiratoire** maximale puis **expiration forcée**
  - Mesure du débit **expiratoire** instantané à un volume pulmonaire donné

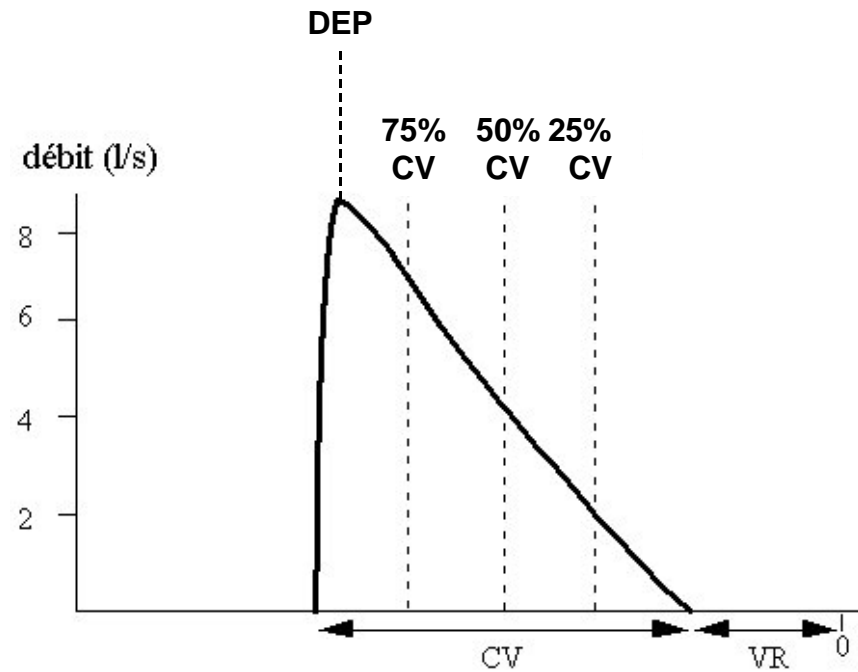


# Relation débit/volume



# Relation débit/volume

- Débit expiratoire de pointe (DEP, peak flow):
  - "effort dépendant"
  - se mesure facilement

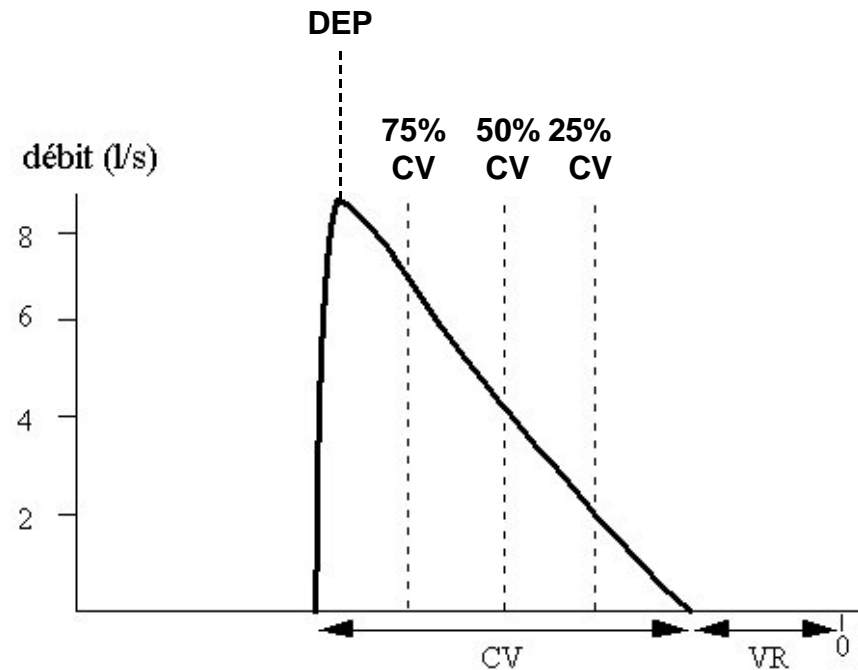


Débitmètre de pointe



# Relation débit/volume

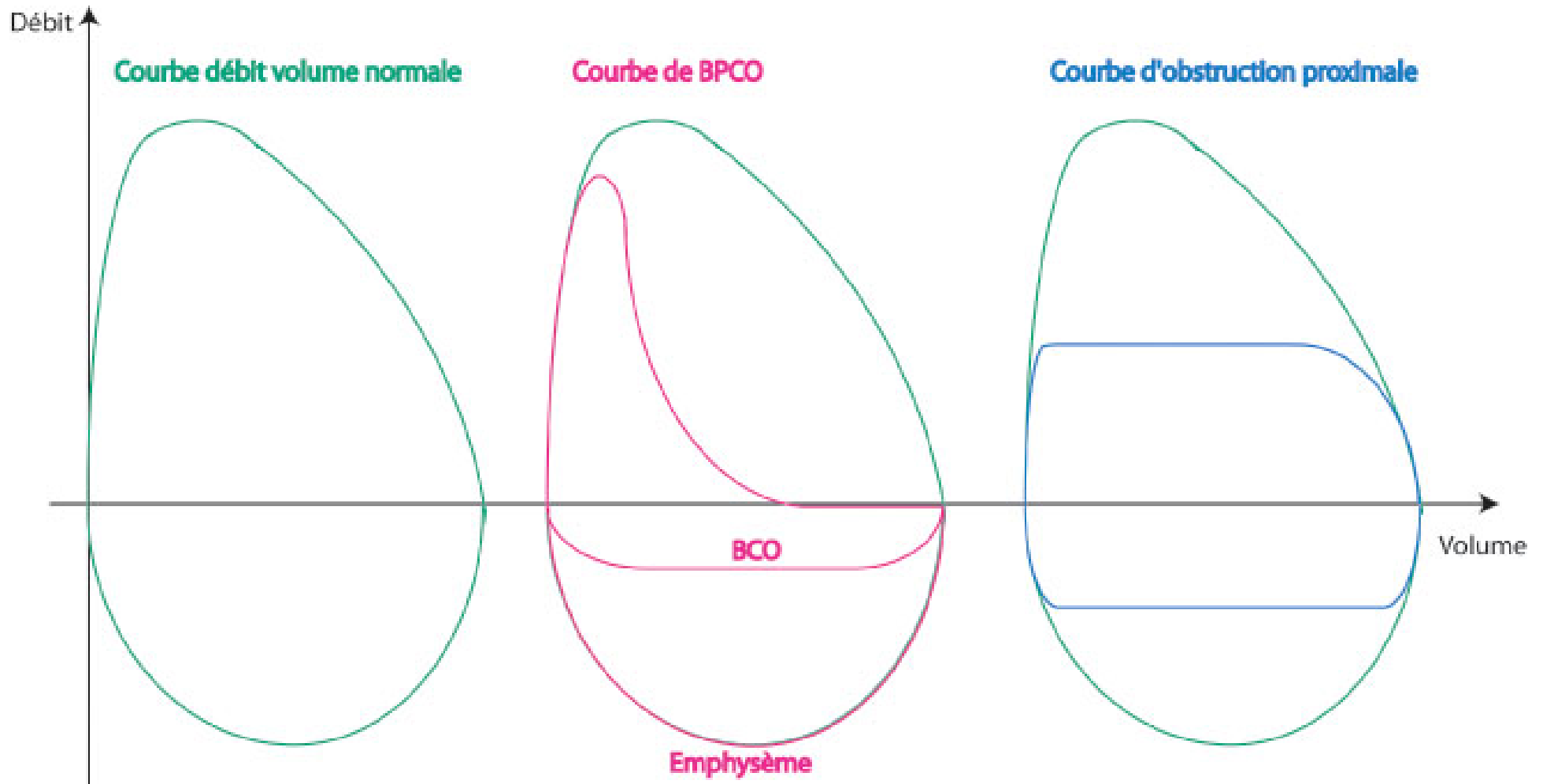
- Débit expiratoire de pointe (DEP, peak flow):
  - "effort dépendant"
  - se mesure facilement
- Débits instantanés en fonction du volume pulmonaire
  - Débit de pointe et à 75% de la CV → état des grosses VA
  - Débits à 50 et 25% de la CV → état des petites bronches



Débitmètre de pointe

# Relation débit/volume

- Courbes débit volume

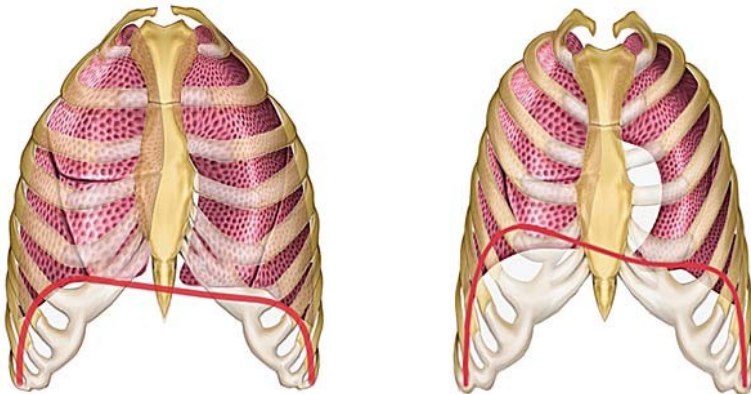


# Propriétés résistives du système respiratoire

- ☐ Principes
- ☐ Résistances pulmonaires
- ☐ Relation débit-volume
- ☒ Conclusions générales sur l'étape de ventilation pulmonaire

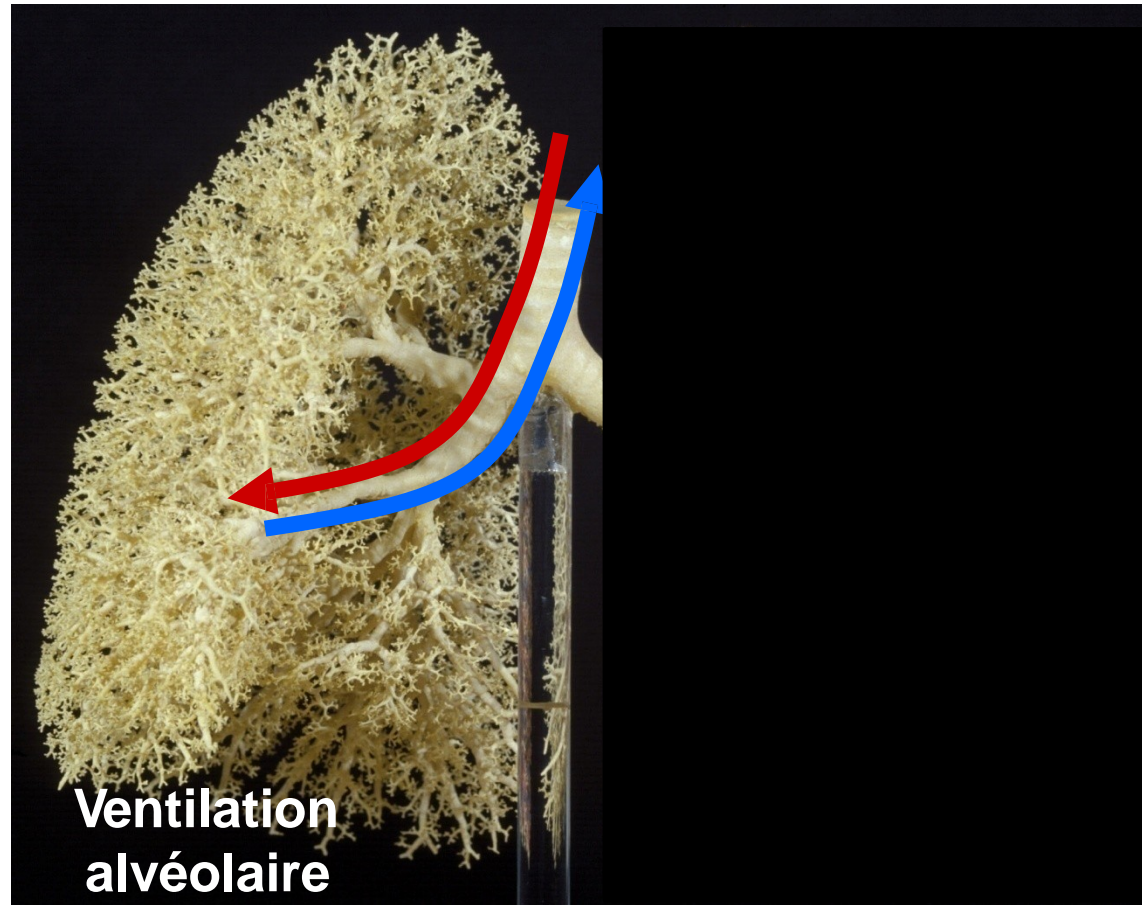
# Ventilation pulmonaire : conclusions

- Ventilation pulmonaire
  - Étape de la respiration la plus facilement modifiable pour adapter les échanges gazeux aux besoins
  - Modifications de la fréquence et de l'amplitude des mouvements respiratoires
  - Possibilité de palier à une défaillance par une ventilation mécanique



# Ventilation pulmonaire : conclusions

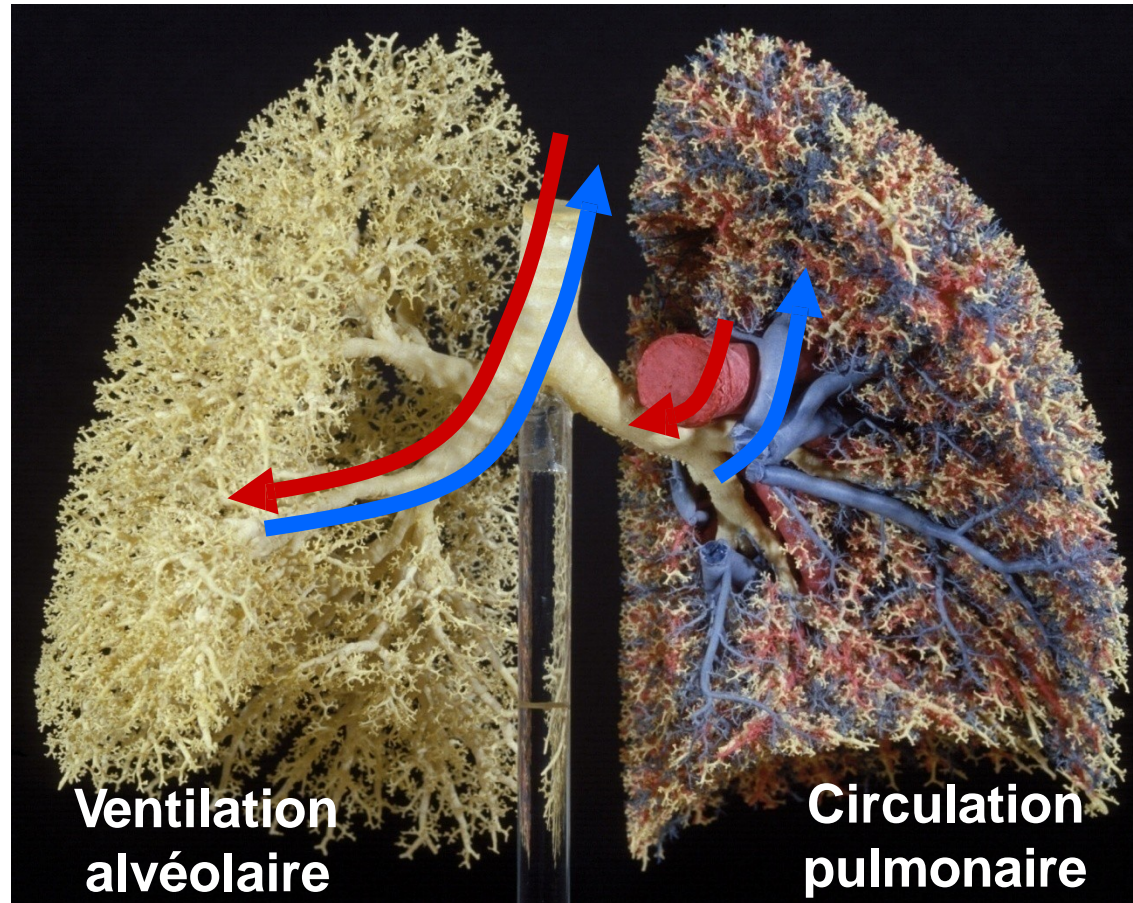
Moulage de  
l'arbre bronchique





# Ventilation pulmonaire : conclusions

Moulage de  
l'arbre bronchique



Moulage des  
vaisseaux  
pulmonaires