

UE 3-2 - Physiologie – Physiologie Respiratoire

Chapitre 6 : Circulation pulmonaire

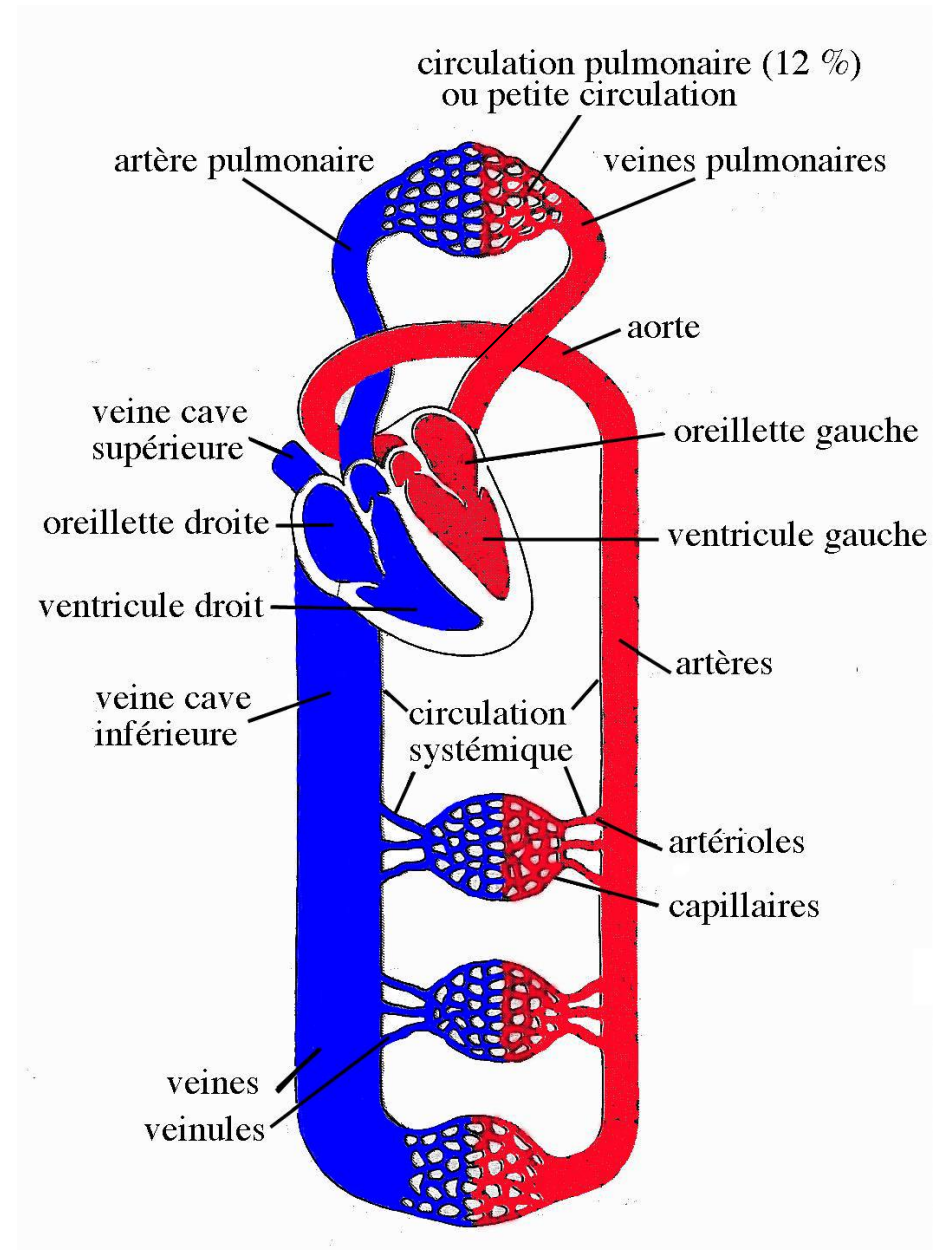
Pr. Sam Bayat

Plan

- Circulation pulmonaire
 - Anatomie fonctionnelle
 - Circulation bronchique
 - Circulation pulmonaire
- Hémodynamique pulmonaire
 - Pressions
 - Résistances

Anatomie fonctionnelle

- Circulation pulmonaire
 - Placée entre le cœur droit et le cœur gauche
 - En série avec la circulation systémique



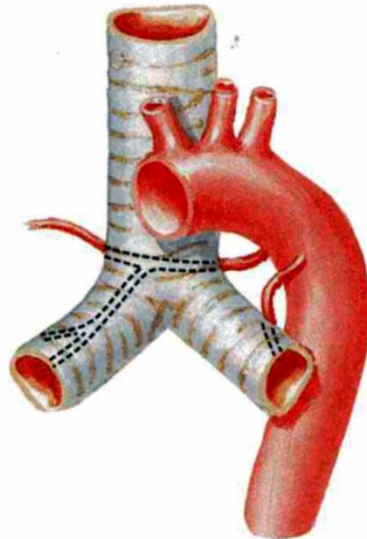
Anatomie fonctionnelle

- Le système circulatoire de l'appareil respiratoire comprend:
 - Une circulation **bronchique**
 - Une circulation **pulmonaire**

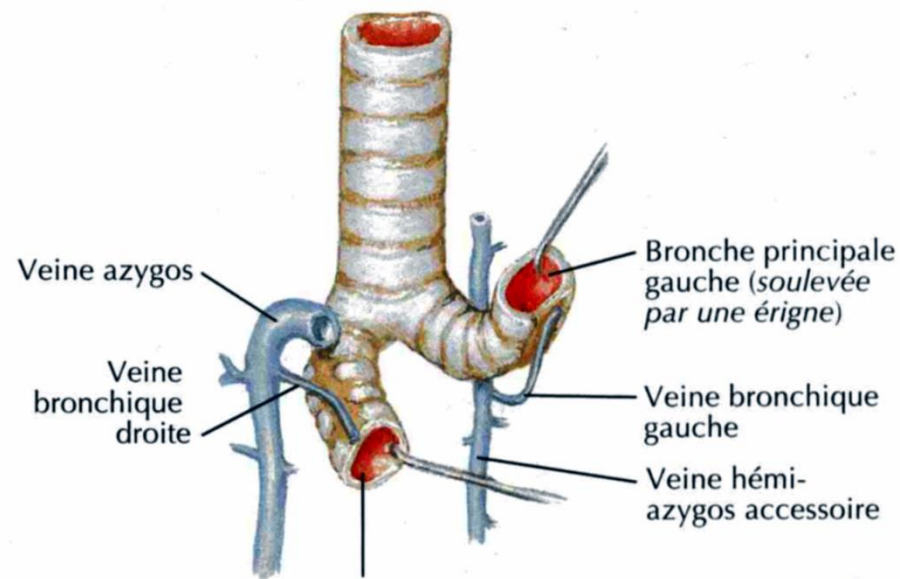
Anatomie fonctionnelle

- Circulation bronchique
 - Fonction nutritive: oxygénation des structures pulmonaires jusqu'aux bronches terminales
 - Assurée par les vaisseaux bronchiques
 - Aorte → artères bronchiques → capillaires bronchiques → veines bronchiques → veines azygos → veine cave supérieure
- ➔ **veines pulmonaires (shunt anatomique)**

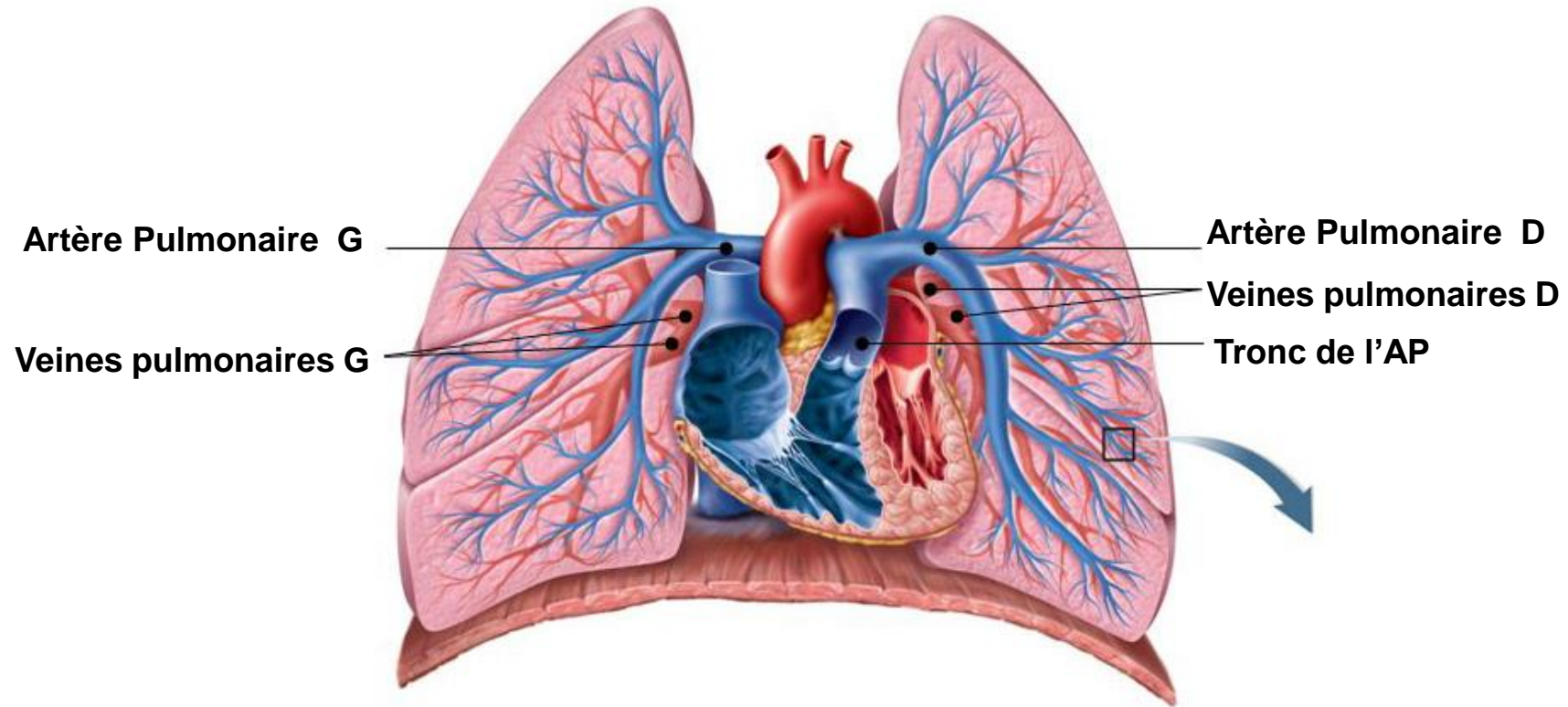
artères bronchiques



Veines bronchiques



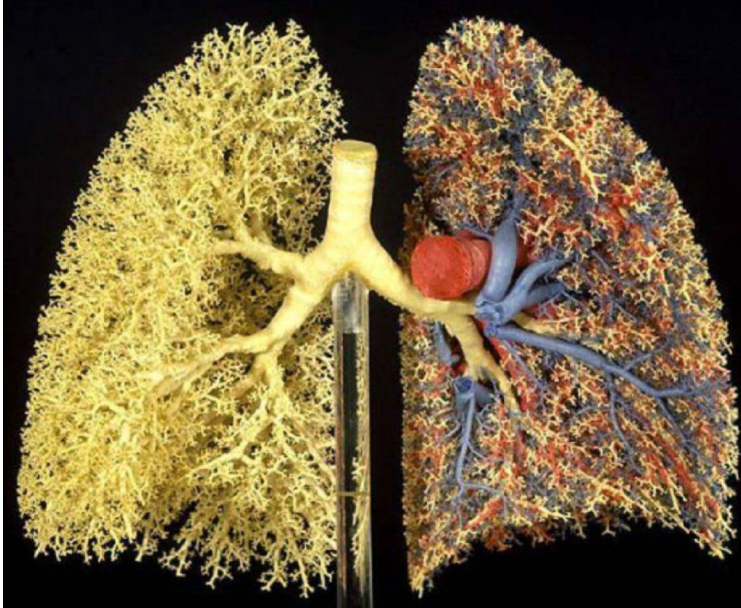
Anatomie fonctionnelle



- VD → Tronc de l'AP → AP D et G → Artères → Artérioles → Capillaires → Veinules → Veines → OG

Anatomie fonctionnelle

Moulage en résine

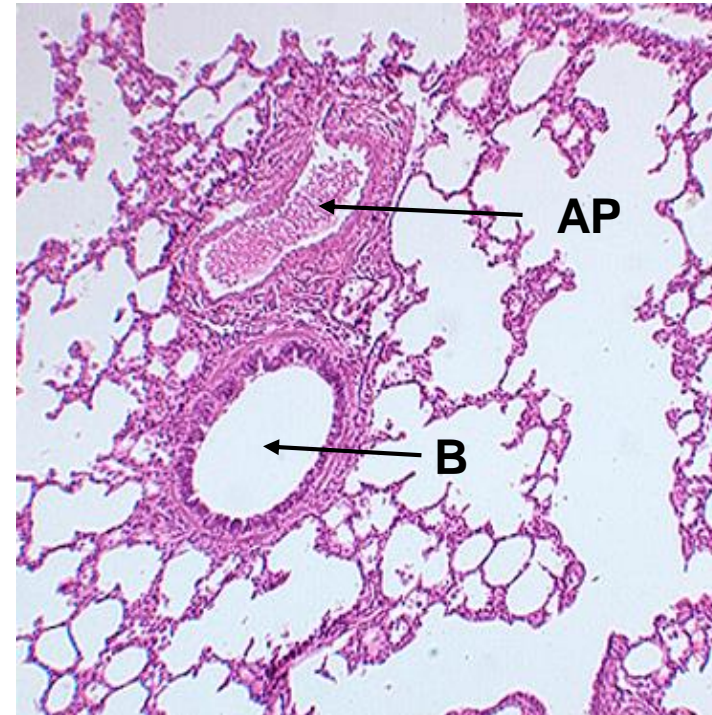
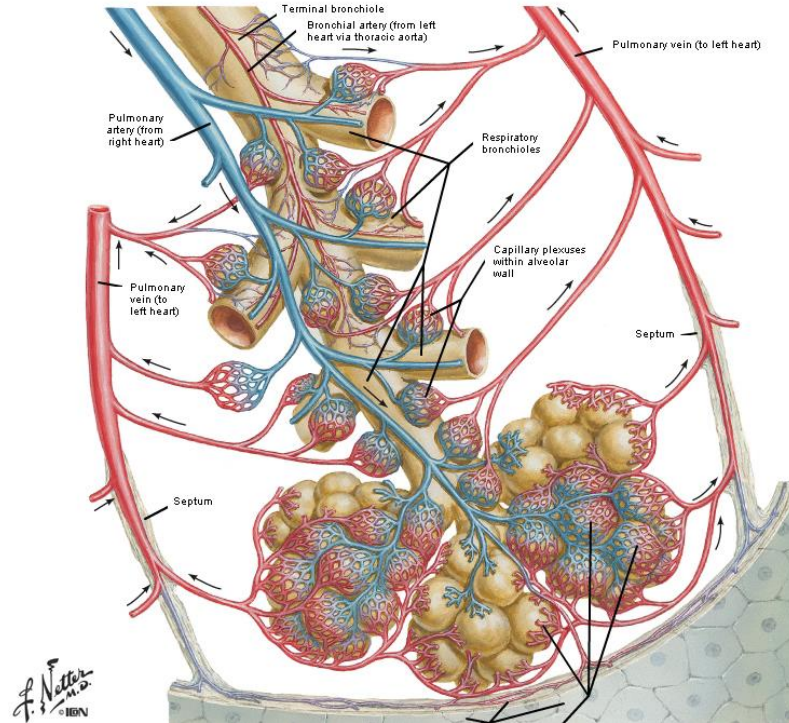


Angiographie



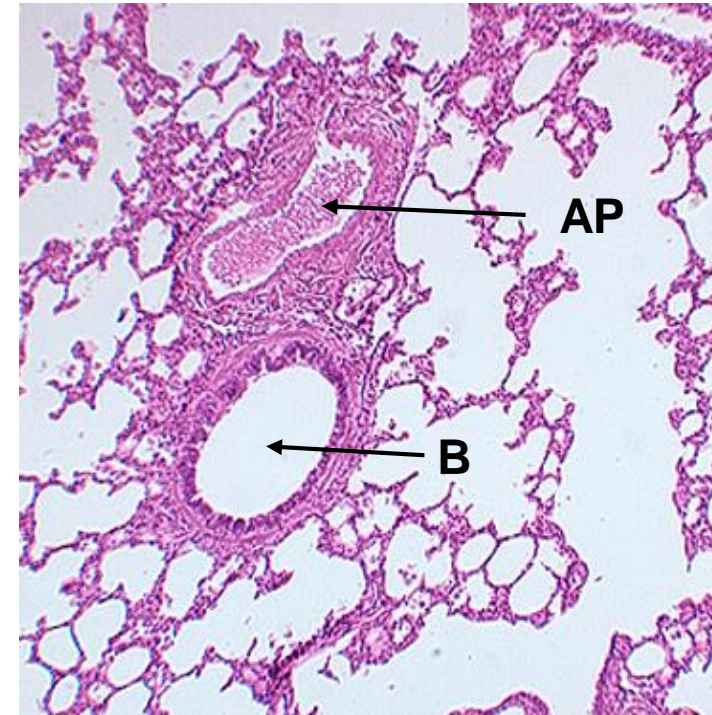
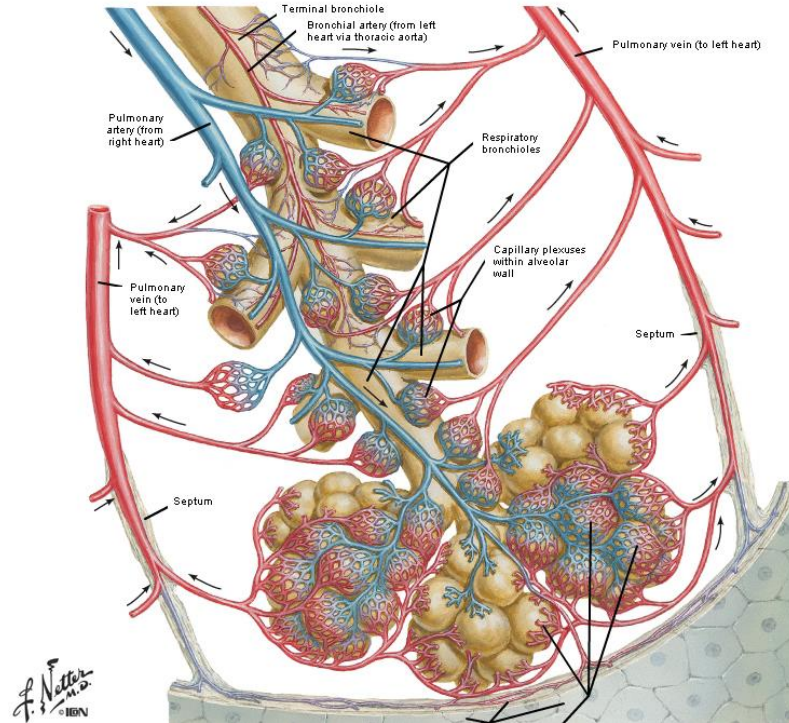
- Circulation pulmonaire
 - Les divisions artério-veineuses suivent celles du réseau bronchique

Anatomie fonctionnelle



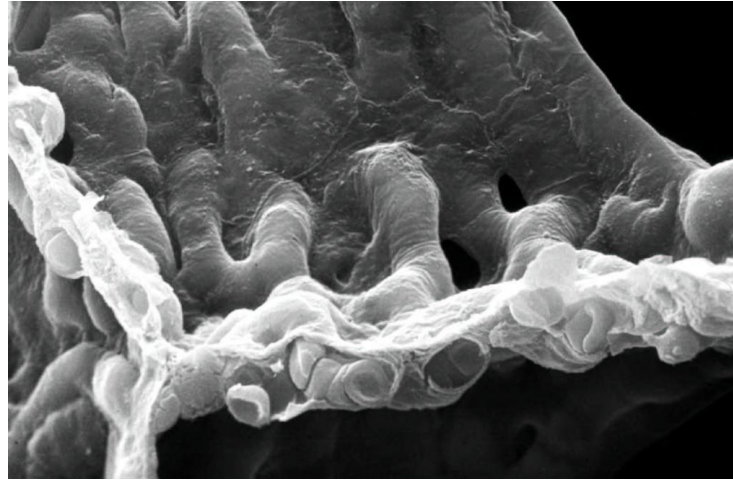
- Circulation pulmonaire
 - Les divisions artério-veineuses suivent celles du réseau bronchique
 - Artères proches des voies de conduction aérienne
 - Veines séparées de l'ensemble artère-bronche

Anatomie fonctionnelle



- Circulation pulmonaire
 - Les divisions artério-veineuses suivent celles du réseau bronchique jusqu'au niveau des **bronchioles terminales**
 - Au-delà: elles se ramifient pour constituer le lit capillaire

Anatomie fonctionnelle



Microscopie électronique à balayage (x1000)

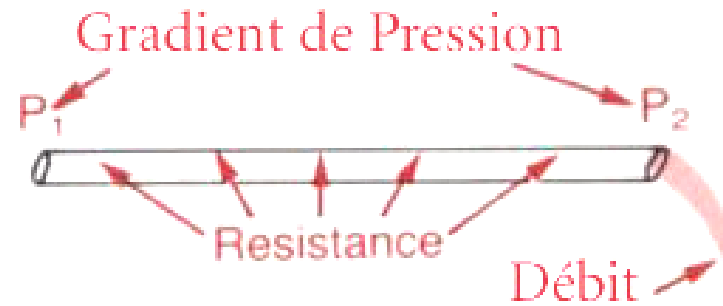
- Capillaires pulmonaires
 - Nb $\sim 280 \times 10^9$, disposés en réseau anastomotique autour des alvéoles
 - Diamètre $\sim 10 \mu$
 - épaisseur de ses parois $\sim 0,1 \mu$.
 - Volume sanguin capillaire ~ 70 ml pour $\sim 100 \text{ m}^2$ de surface d'échange
 - Recouvrent $\sim 75\%$ de la surface alvéolaire

Anatomie fonctionnelle

- Circulation pulmonaire
 - Particularités :
 - Artères pulmonaires : parois plus minces, compressibles et extensibles que leurs homologues systémiques
 - Artérioles pulmonaires : moins de muscles lisses que leurs homologues systémiques
 - Conséquences fonctionnelles :
 - Résistance à l'écoulement du sang est très inférieure à celle de la circulation systémique
 - Lit capillaire alvéolaire soumis à la pression aérienne alvéolaire
 - Une augmentation du volume aérien l'écrase et augmente sa résistance au passage du sang.
 - Vaisseaux extra-alvéolaires soumis à la Ppl

Hémodynamique pulmonaire: pressions

- Pressions
 - Ecoulement d'un fluide dans un système de conduction :
 - Pression
 - Débit
 - Résistance



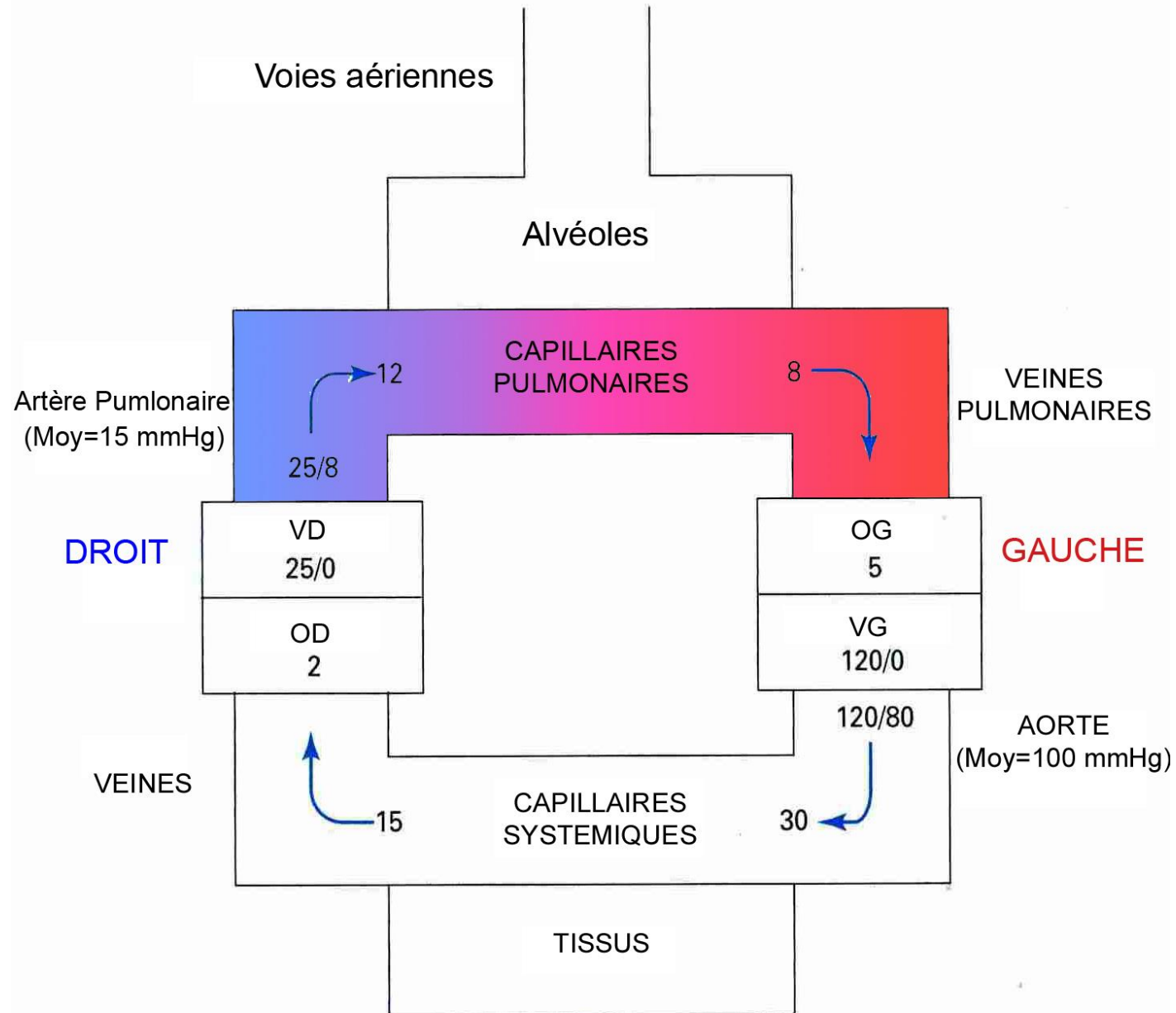
$$\Delta P = \dot{Q} \cdot R$$

(Poiseuille)

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

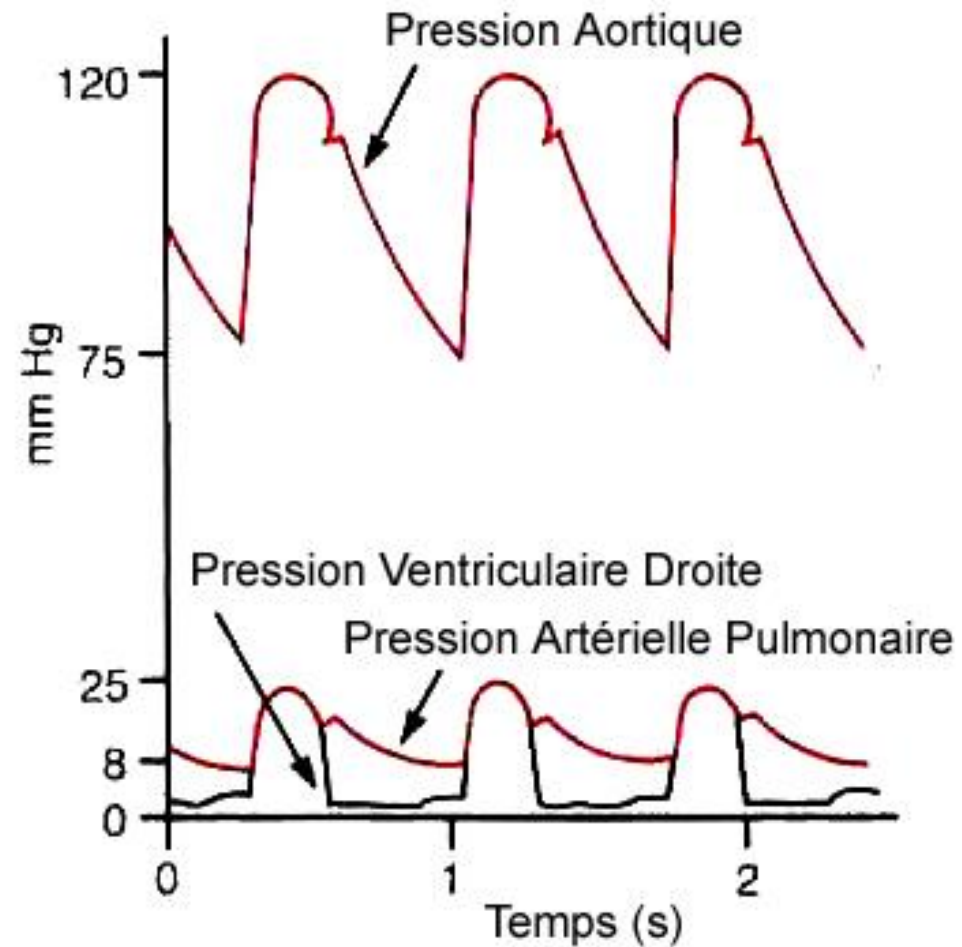
(cmH₂O/l/s)

Hémodynamique pulmonaire: pressions



Hémodynamique pulmonaire: pressions

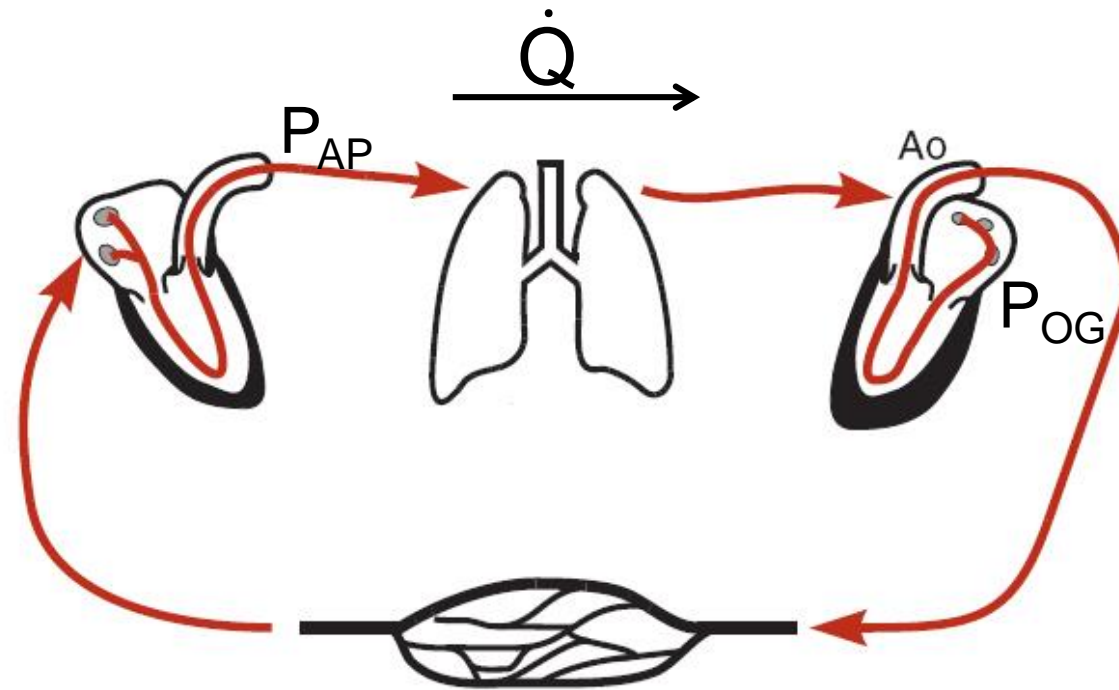
- Mesure des pressions dans la circulation pulmonaire = cathétérisme droit



Hémodynamique pulmonaire: **pressions**

- Pressions
 - Transposition à la circulation pulmonaire:

$$\Delta P = (P_{AP} - P_{OG}) = \dot{Q} \cdot R$$



Hémodynamique pulmonaire: résistances

- Au repos : débit sanguin pulmonaire = débit cardiaque ~ 6 l/min
- ΔP_{pulm} (PAP-POG) $\ll \Delta P_{\text{syst}}$ (PAM-POD)
 - Circulation **pulmonaire**: PAP – POG = 15 – 6 = **9**
 - Circulation **systémique**: PAO – POD = 100 – 2 = **98**

$$RVP = \frac{\Delta P}{\dot{Q}} = \frac{(\bar{P}_{AP} - \bar{P}_{OG})}{\dot{Q}_c}$$

- $(12 - 6) \text{ (mmHg)} / 6 \text{ (l/min)} = 1.0 \text{ mmHg} \cdot \text{min/l}$
- Donc: $R_{VP} \approx 1/10 \times R_{syst}$
- Unités: mmHg·min/l (Wood)

Hémodynamique pulmonaire: **résistances**

- Vaisseaux pulmonaires : **compressibles** et **extensibles**
 - Rayon (donc résistance) fortement déterminée par le gradient de **Pression transmurale (P_{tm})** :

$$P_{Tm} = \left(\begin{array}{c} \text{P}_{int} \\ \downarrow \end{array} \right) - P_{ext}$$

$$P_{Tm} = \left(\begin{array}{c} \downarrow \text{P}_{int} \end{array} \right) - P_{ext}$$

Hémodynamique pulmonaire: **résistances**

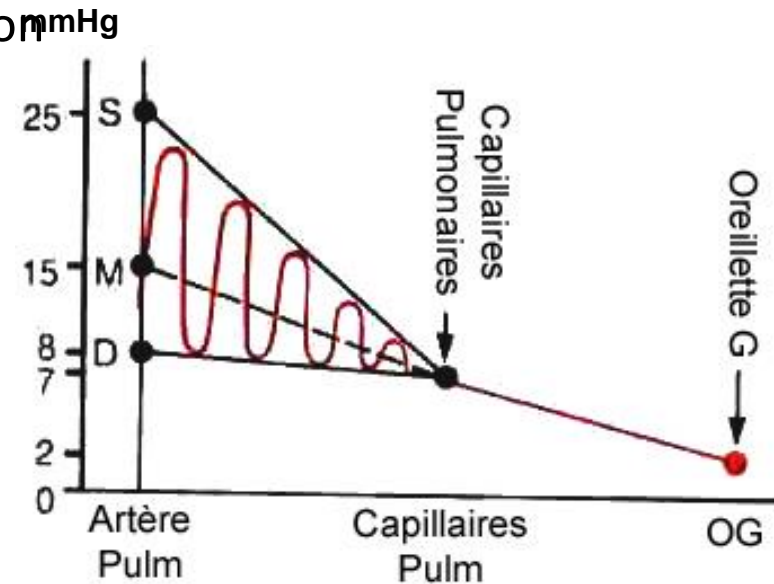
- La résistance de la circulation pulmonaire est déterminée par :
 - facteurs passifs
 - Débit cardiaque
 - Volume pulmonaire
 - Gravité
 - mécanismes actifs
 - Médiateurs vasoactifs
 - Hypoxie
 - Contrôle nerveux

Hémodynamique pulmonaire: **résistances**

- La résistance de la circulation pulmonaire est déterminée par :
 - facteurs passifs
 - **Débit cardiaque**
 - Volume pulmonaire
 - Gravité
 - mécanismes actifs
 - Médiateurs vasoactifs
 - Hypoxie
 - Contrôle nerveux

Hémodynamique pulmonaire: résistances

- Répartition des résistances dans la circulation pulmonaire :
 - 1/3 Artères, 1/3 Capillaires, 1/3 Veines
 - Chute de pression similaire entre :
 - AP et capillaires pulm (≈ 7 mmHg)
 - Capillaires pulm et OG (≈ 6 mmHg)
- \neq circulation systémique
 - 70% R Artérielles (artériolaires+++)



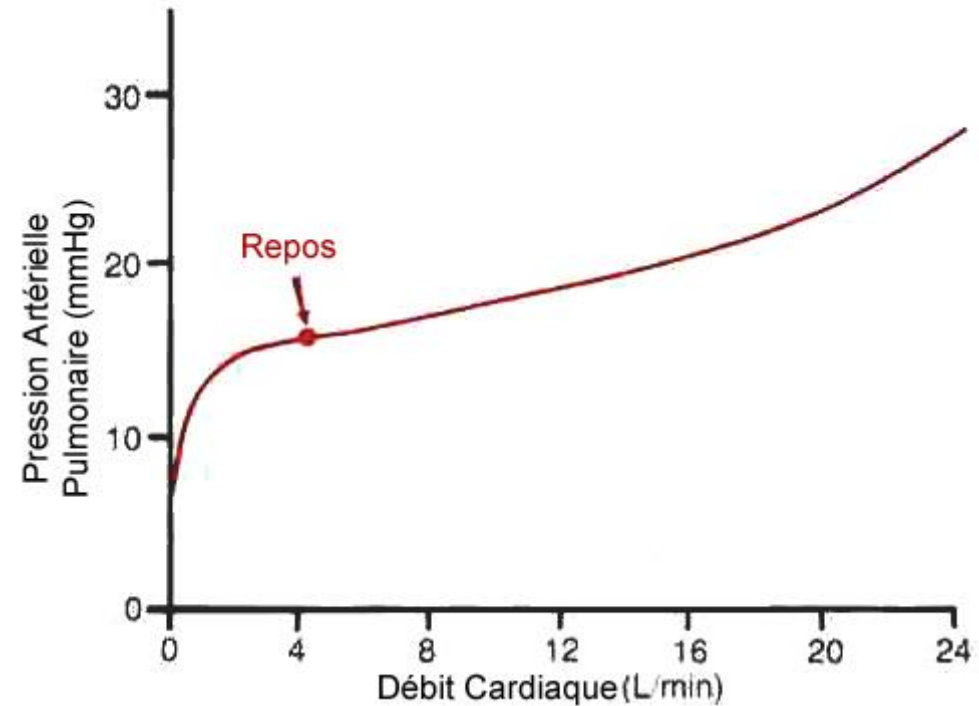
Hémodynamique pulmonaire: **résistances**

- Relation entre Q et R dans la circulation pulmonaire :

- Lorsque le débit cardiaque augmente (exercice) :
 - ΔP_{pulm} ($P_{AP} - P_{OG}$) varie peu

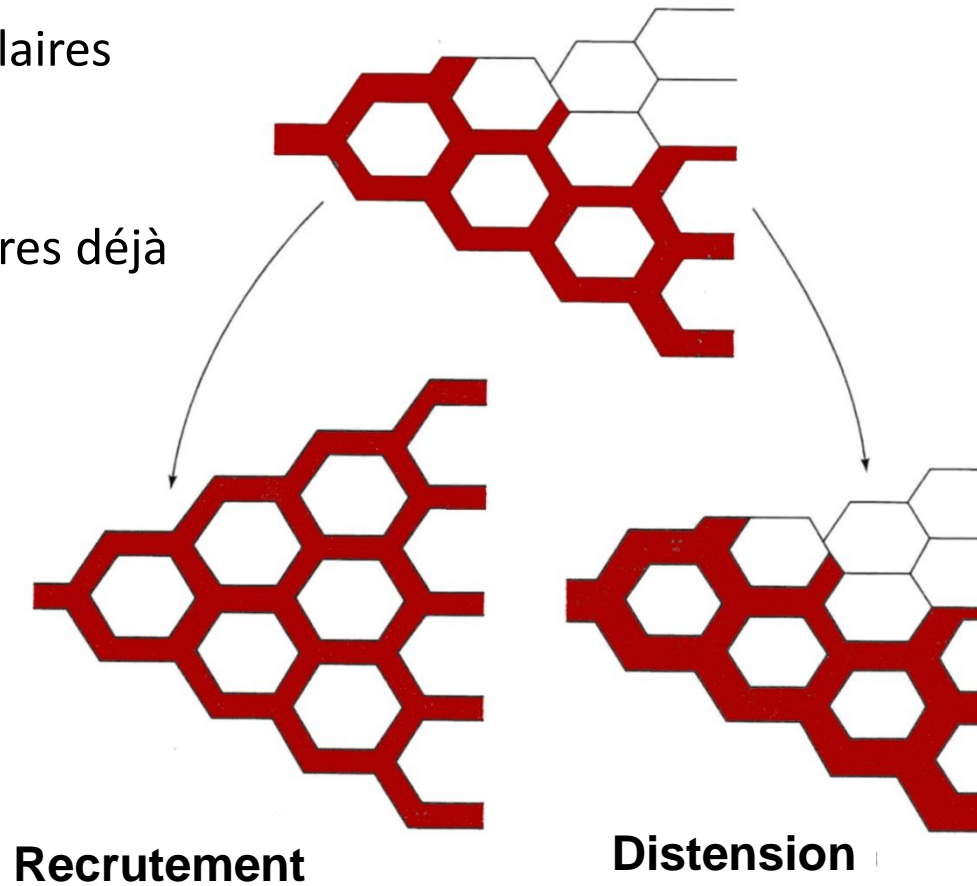
- $\Delta P_{pulm} = \dot{Q}_c \cdot RVP$

- Si Débit \uparrow et ΔP varie peu, alors la RVP diminue!



Hémodynamique pulmonaire: **résistances**

- 2 mécanismes:
 - **recrutement** de capillaires fermés
 - **distension** de capillaires déjà ouverts

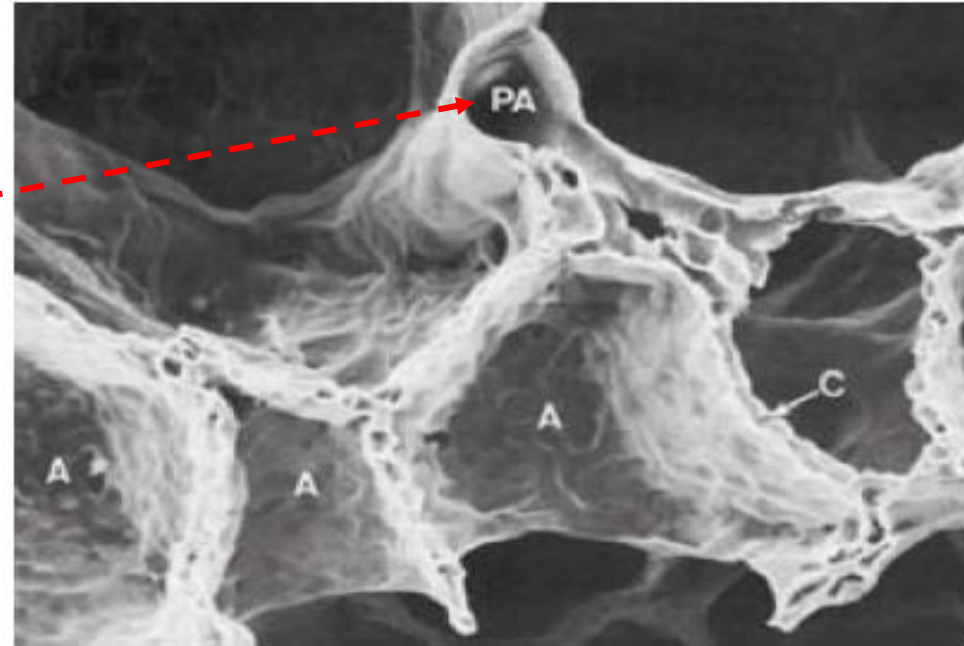


Hémodynamique pulmonaire: **résistances**

- La résistance de la circulation pulmonaire est déterminée par :
 - facteurs passifs
 - Débit cardiaque
 - **Volume pulmonaire**
 - Gravité
 - mécanismes actifs
 - hypoxie
 - Médiateurs vasoactifs
 - Contrôle nerveux

Hémodynamique pulmonaire: **résistances**

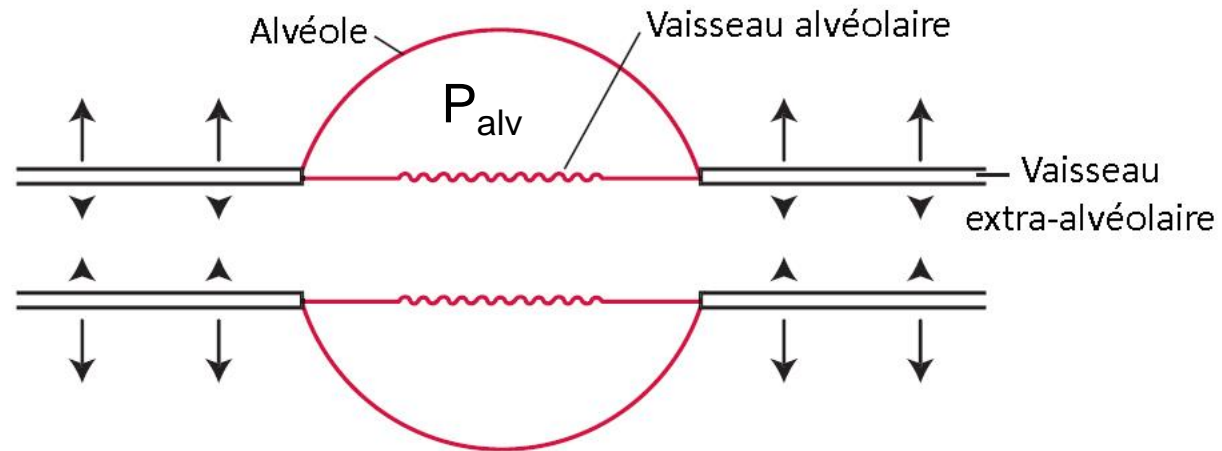
- 2 types de vaisseaux pulmonaires :
 - Alvéolaires: capillaires
 - **extra-alvéolaires**
 - À la jonction des septa alvéolaires
- Le volume pulmonaire a un effet opposé sur ces deux types de vaisseaux



Hémodynamique pulmonaire: **résistances**

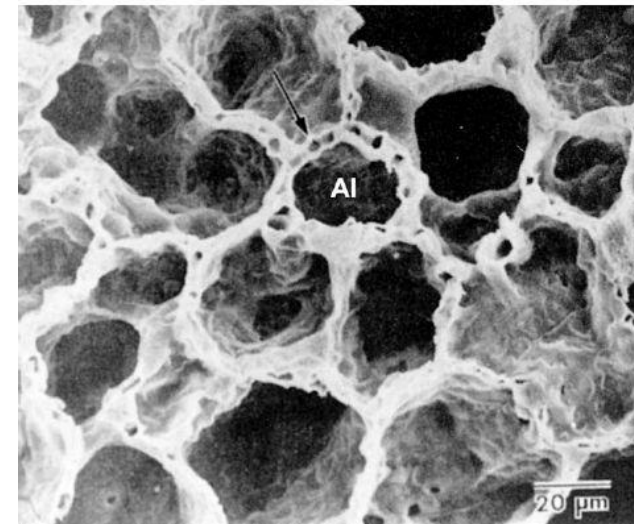
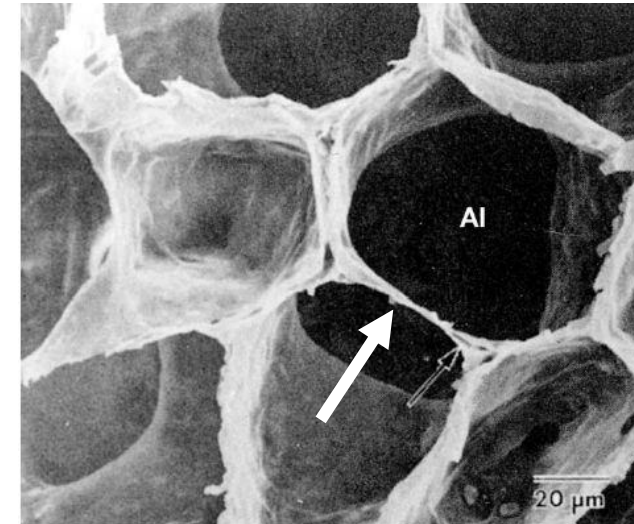
- Vaisseaux alvéolaires :
 - Soumises à la **P Alvéolaire**

$$P_{Tm} = (P_{cap} - P_{alv})$$



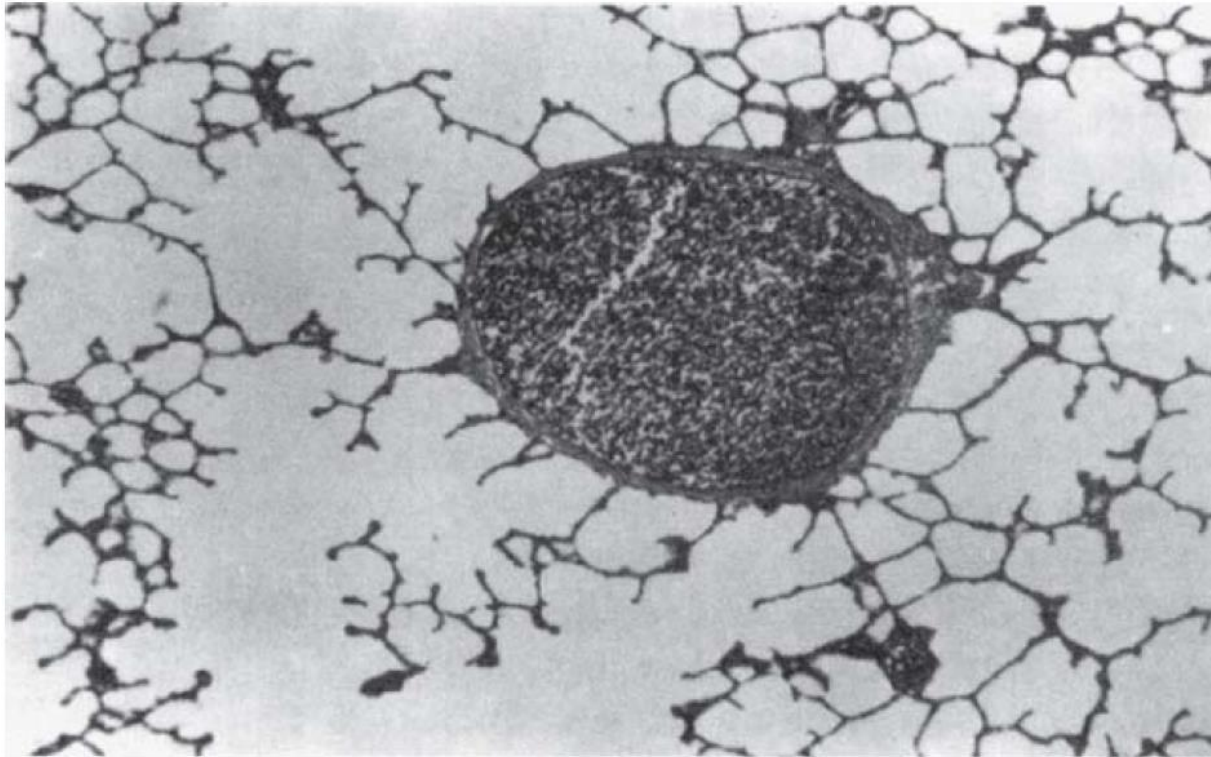
Hémodynamique pulmonaire: **résistances**

- Vaisseaux alvéolaires :
 - Soumises à la **P Alvéolaire**
 - le Volume Pulmonaire \uparrow : $L \uparrow$
 - $P_A \uparrow$: $P_{TM} \downarrow$ et $r \downarrow$
 - **Donc Résistances \uparrow**



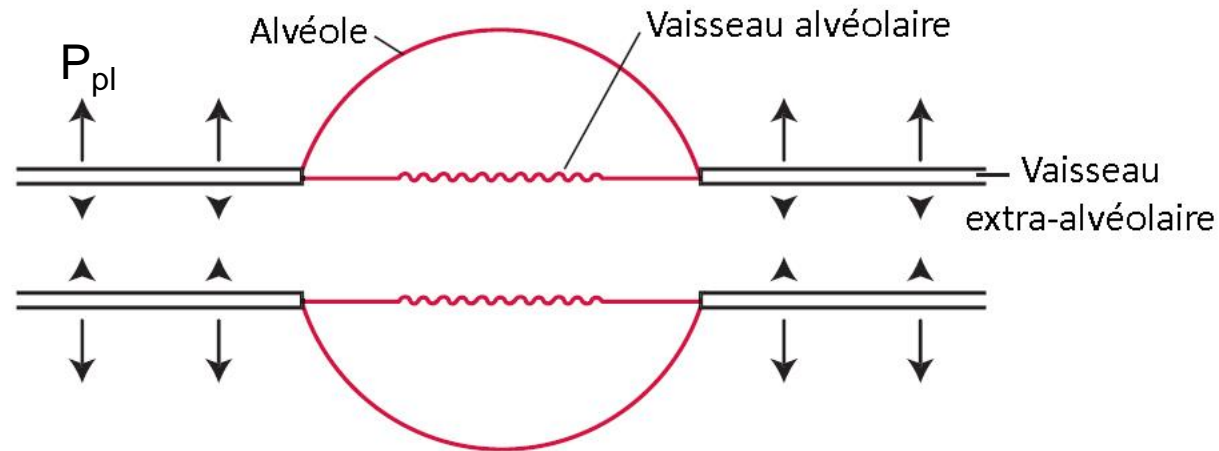
Hémodynamique pulmonaire: **résistances**

$$P_{Tm} = \textcircled{P_v -} P_{Pl}$$



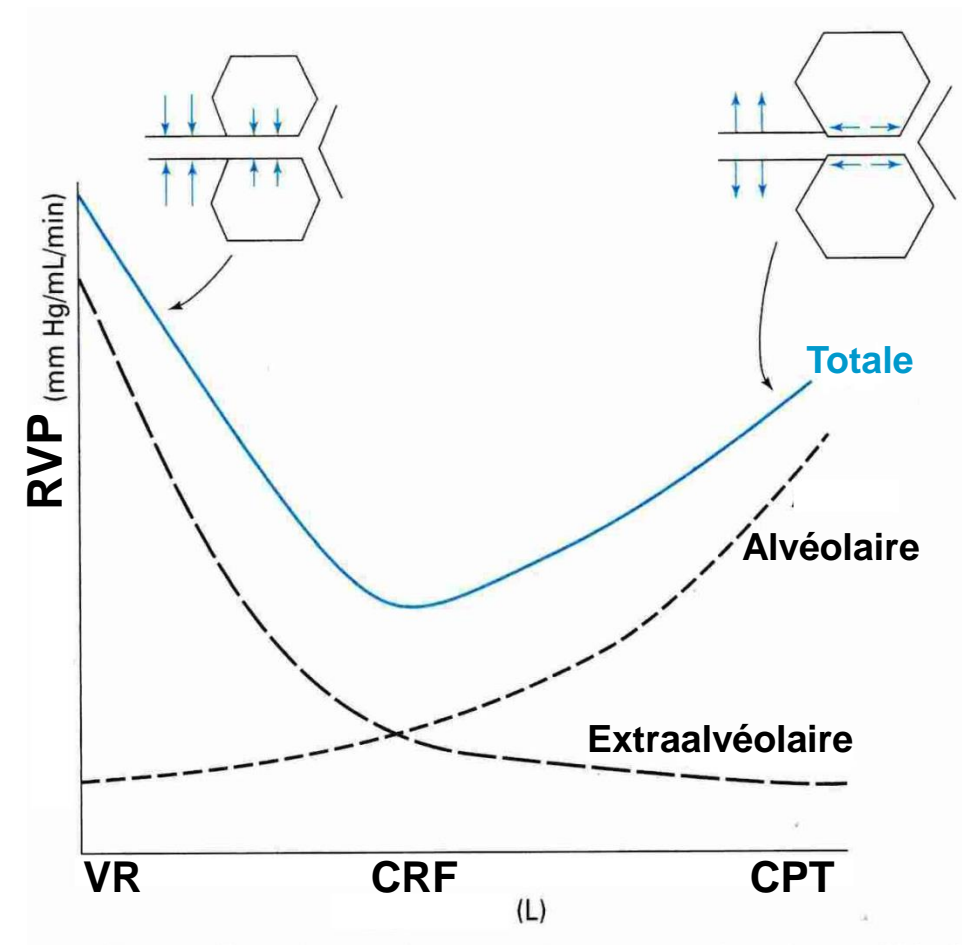
Hémodynamique pulmonaire: **résistances**

- Vaisseaux extra-alvéolaires :
 - Soumises à la **P pleurale** et à la **traction radiale tissulaire**
 - En inspiration: $P_{pl} \downarrow$
 - En inspiration: rayon \uparrow car la $P_{Tm} \uparrow$
 - Donc leurs **R** \downarrow



Hémodynamique pulmonaire: **résistances**

- Effet global du volume pulmonaire sur les RVP :
 - Du **VR à la CRF: RVP↓**
 - $\uparrow P_{TPulmonaire}$
 - Traction radiale du tissu pulmonaire
 - De la **CRF à la CPT: RVP↑**
 - compression des vaisseaux alvéolaires
 - **RVP minimum à la CRF**

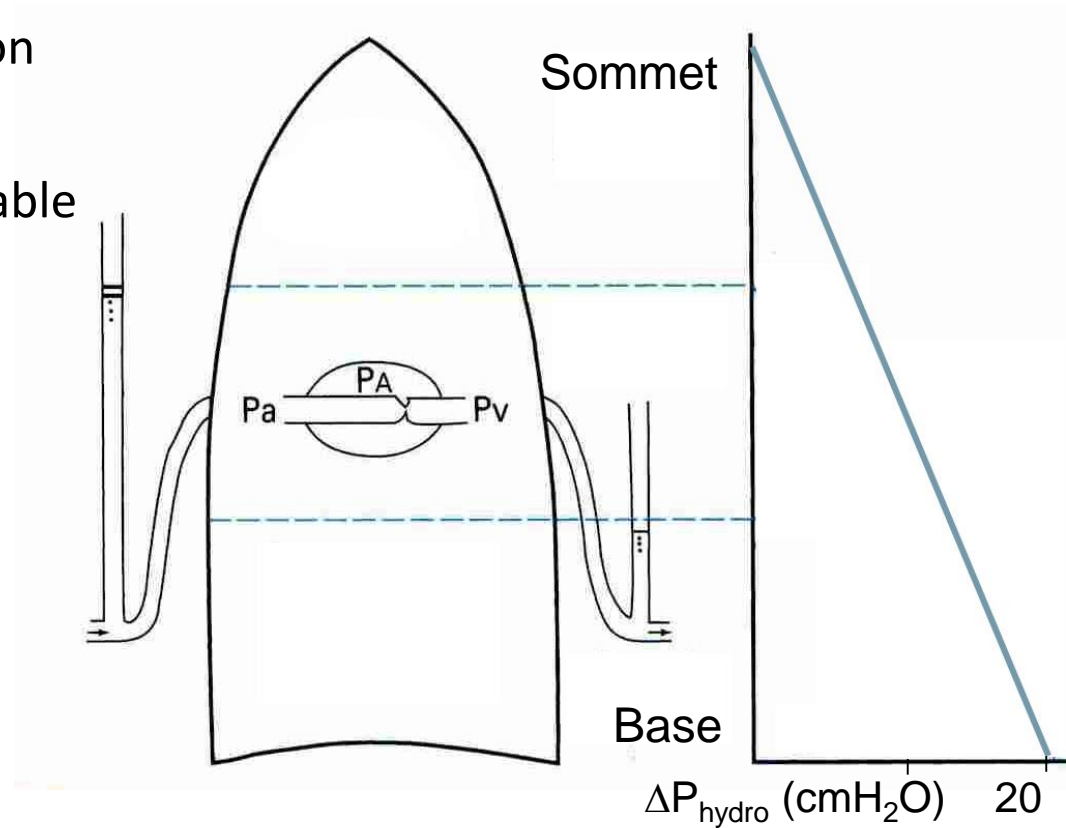


Hémodynamique pulmonaire: **résistances**

- La résistance de la circulation pulmonaire est déterminée par :
 - facteurs passifs
 - Débit cardiaque
 - Volume pulmonaire
 - **Gravité**
 - mécanismes actifs
 - Médiateurs vasoactifs
 - Hypoxie
 - Contrôle nerveux

Hémodynamique : distribution régionale de la perfusion

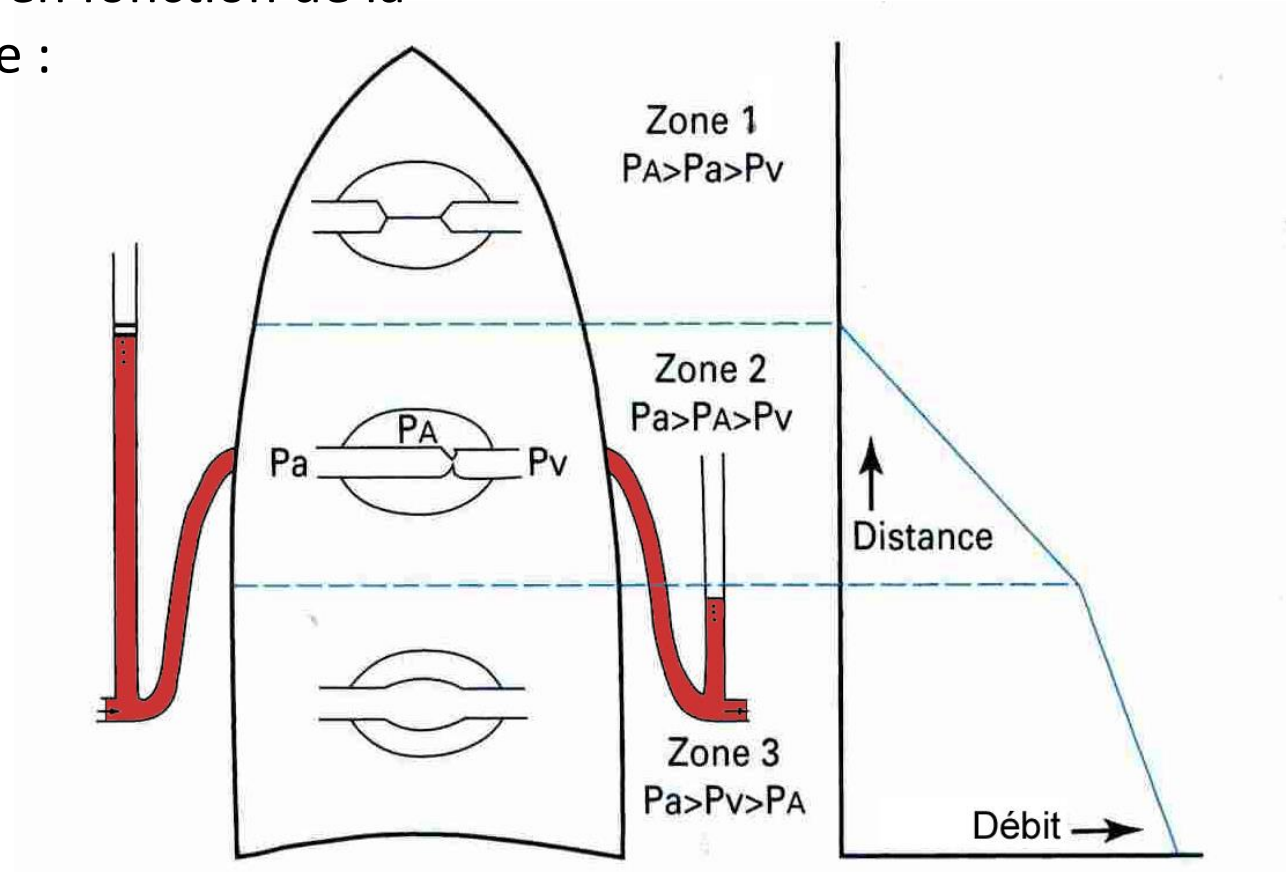
- Gravité → les pressions vasculaires augmentent du sommet à la base du poumon
- La pression alvéolaire est stable (faible densité de l'air)



Hémodynamique : distribution régionale de la perfusion

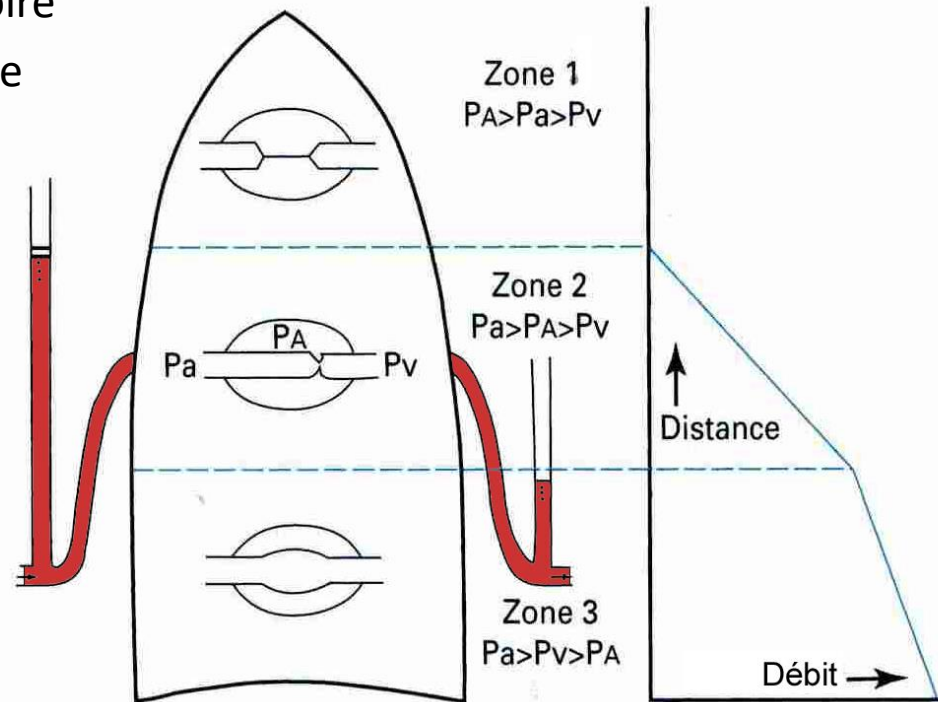
- On distingue 3 zones pulmonaires en fonction de la relation entre :

- P_a
- P_A
- P_v



Hémodynamique : distribution régionale de la perfusion

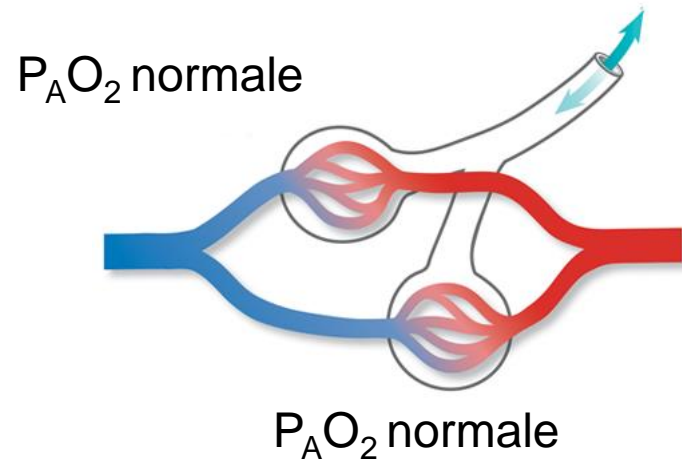
- Les limites entre ces 3 zones ne sont pas fixes
- Elles varient :
 - En fonction de la position, exercice
 - Au cours du cycle respiratoire
 - Au cours du cycle cardiaque



Hémodynamique pulmonaire: **résistances**

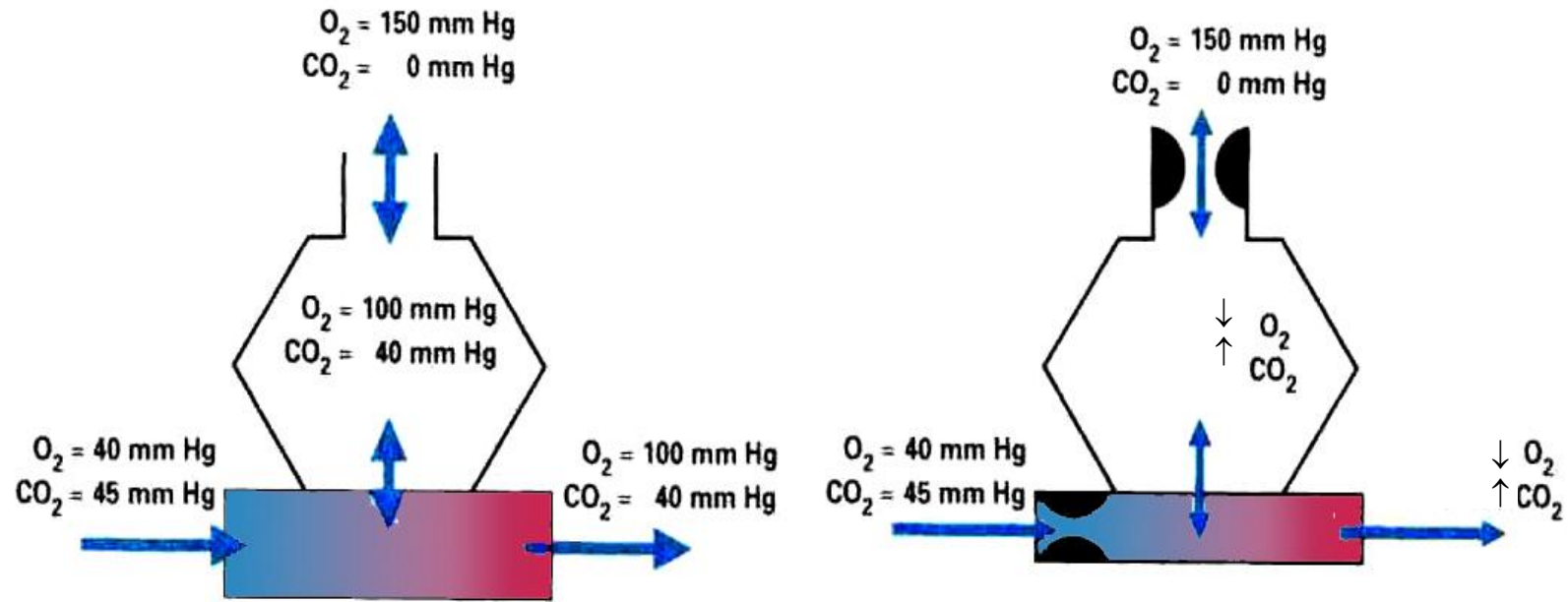
- La résistance de la circulation pulmonaire est déterminée par :
 - facteurs passifs
 - Débit cardiaque
 - Volume pulmonaire
 - Gravité
 - mécanismes actifs
 - **hypoxie**
 - Médiateurs vasoactifs
 - Contrôle nerveux

Hémodynamique : vasoconstriction hypoxique



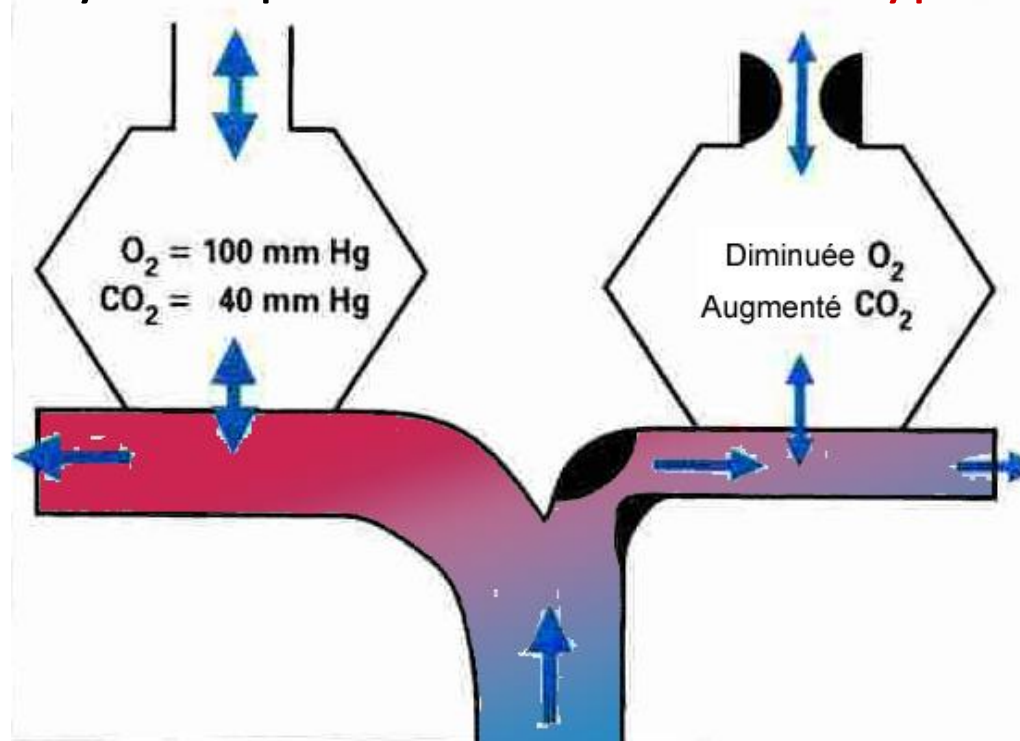
- Hypoxie **alvéolaire** → vasoconstriction des artérioles pulmonaires
 - Seuil $\approx 9,4$ kPa (70 mmHg)
 - Si $P_AO_2 \downarrow \downarrow \downarrow$ dans un territoire alvéolaire donné, la perfusion peut s'interrompre

Hémodynamique : vasoconstriction hypoxique



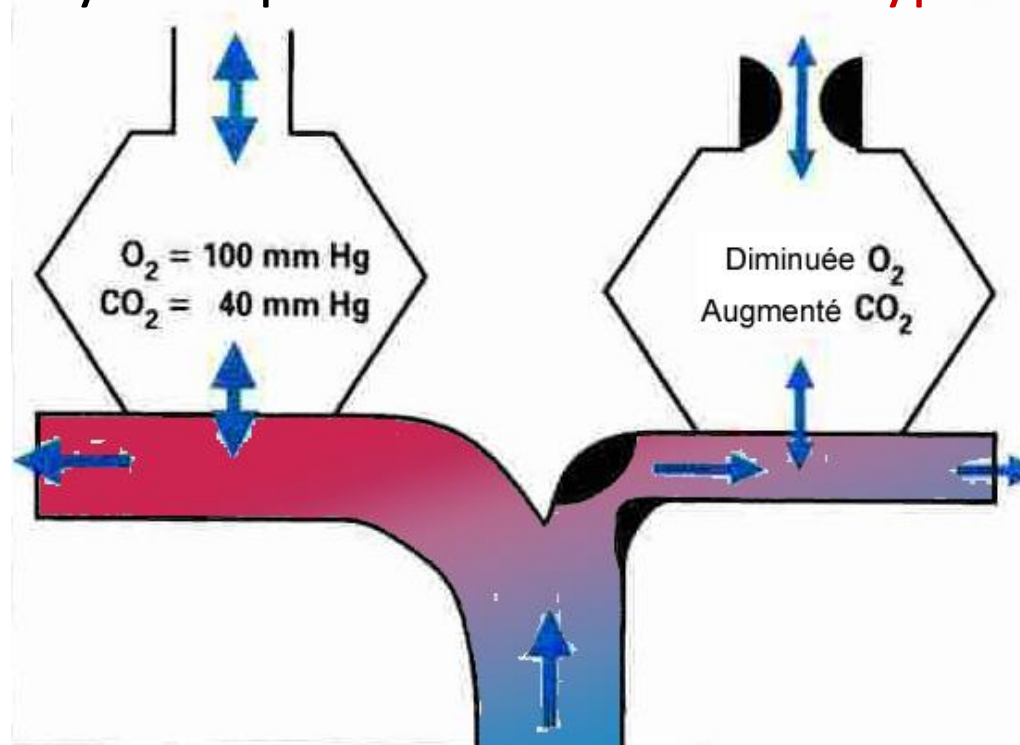
- Mécanisme:
 - contraction des fibres musculaires lisses
 - Persiste sur vaisseaux pulmonaires isolés
 - Récepteur? médiateur(s)?

Hémodynamique : vasoconstriction hypoxique



- Réaction adaptative: permet de redistribuer la perfusion vers les zones bien ventilées
 - Bénéfique en cas d'hypoxie alvéolaire localisée
 - Pendant la vie foetale et à la naissance

Hémodynamique : vasoconstriction hypoxique



- Effet délétère en cas d'hypoxie généralisée (ex: altitude)
 - \uparrow PAP recrutement des zones mal perfusées
 - Lorsque $\uparrow\uparrow$ PAP : Favorise l'œdème pulmonaire d'altitude

Hémodynamique pulmonaire: résistances

- La résistance de la circulation pulmonaire est déterminée par :
 - facteurs passifs
 - Débit cardiaque
 - Volume pulmonaire
 - Gravité
 - mécanismes actifs
 - hypoxie
 - Médiateurs vasoactifs
 - Contrôle nerveux

Hémodynamique : médiateurs vasoactifs

↑ RVP

Système Nerveux Sympathique

- ↓ compliance artérielle
 - rôle minime en physiologie

Adrénaline, noradrénaline

PGF_{2α}, PGE₂

Thromboxane

Endothéline

Angiotensine II

Histamine

Hypoxie alvéolaire

Hypercapnie alvéolaire

Acidose du sang veineux mêlé

↓ RVP

Système Parasympathique

- Lorsque le tonus vasculaire est ↑
 - rôle minime en physiologie

Acétylcholine

PGE₁

Prostacycline (PGI₂)

NO (oxyde nitrique)

Bradykinine

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.