

# Physiologie respiratoire

## Structure et fonctions de l'appareil respiratoire

### Mécanique ventilatoire

*Équilibre et mouvement du système thoraco-pulmonaire*

*Propriétés statiques*

*Propriétés dynamiques*

*Travail ventilatoire*

*Expiration forcée*

### Transport des gaz respiratoires

Ventilation alvéolaire

Diffusion alvéolo-capillaire

*Perfusion pulmonaire*

Rapports Ventilation-Perfusion

Transport sanguin

### Régulation de la ventilation

## Introduction

*Schéma général de la circulation*

*Caractéristiques de la circulation pulmonaire*

Réseau artériel

Réseau capillaire

Réseau veineux

## Hémodynamique de la circulation pulmonaire

*Les pressions dans la circulation pulmonaire*

Pression intravasculaires

Pressions extravasculaires

*Débit pulmonaire*

*Relation pression-débit*

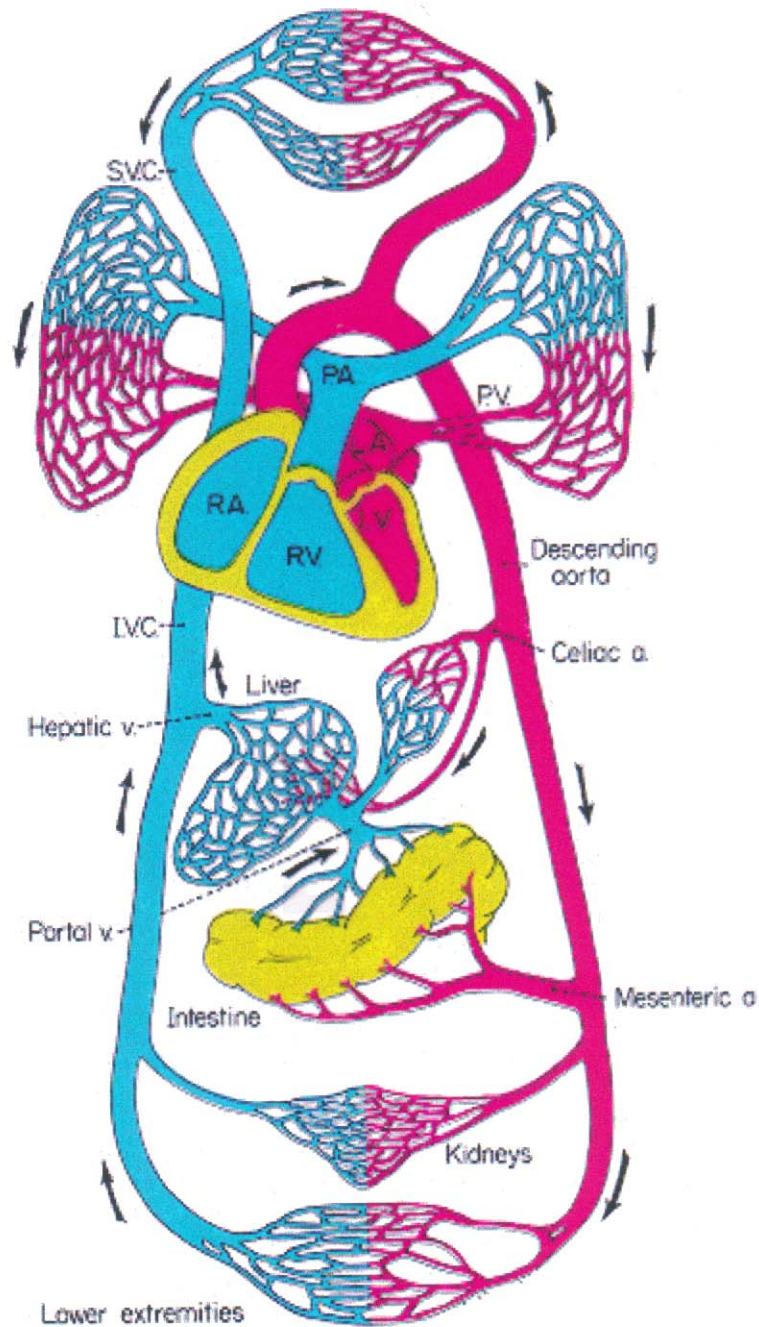
*Vasoconstriction hypoxique*

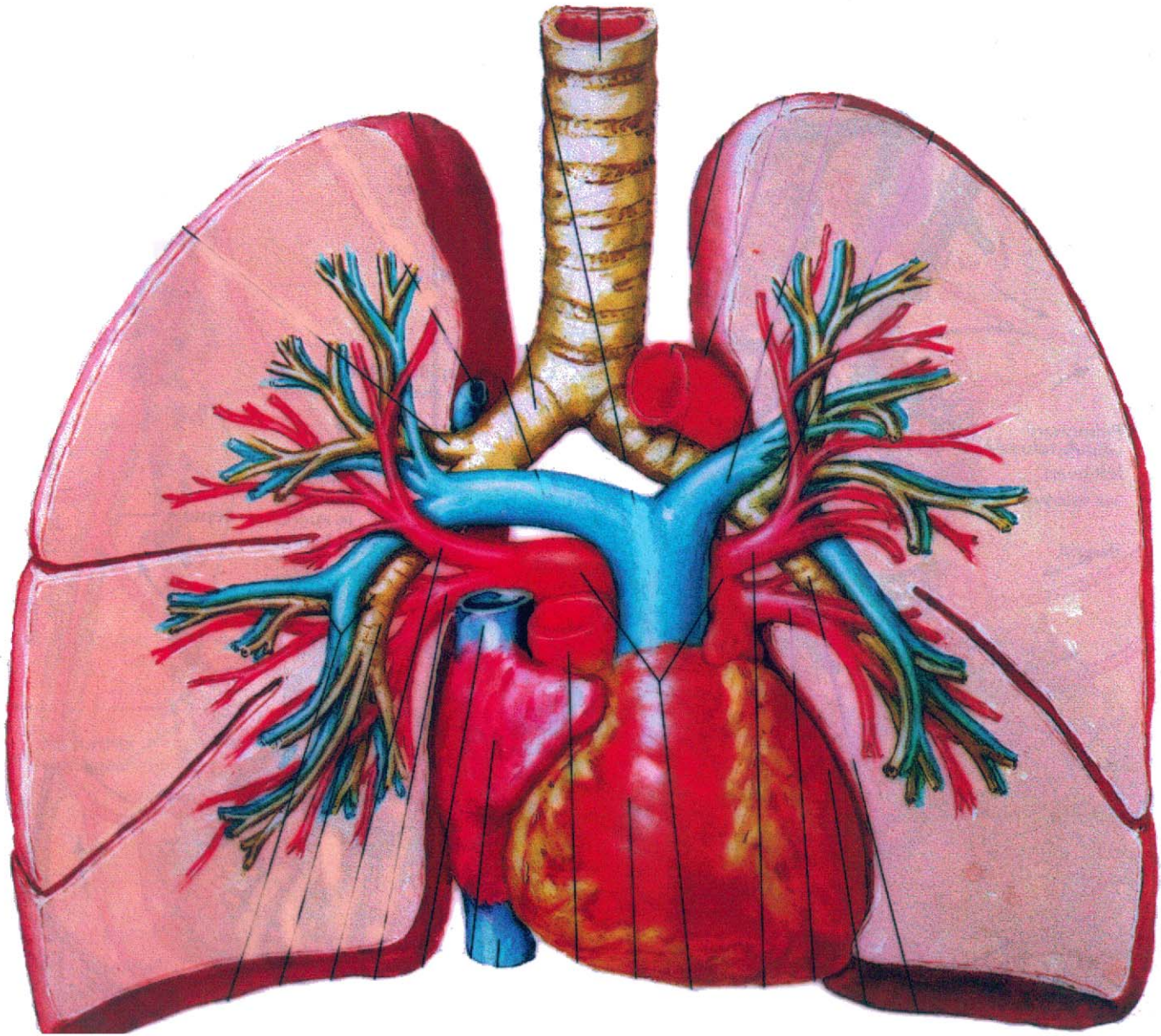
## Distribution du débit sanguin pulmonaire

*État des vaisseaux alvéolaires: les zones III et III de West*

*État des vaisseaux extra alvéolaires: La zone 4 de West*

*Rôle du volume pulmonaire*





## Introduction

*Schéma général de la circulation*

*Caractéristiques de la circulation pulmonaire*

Réseau artériel

Réseau capillaire

Réseau veineux

## Hémodynamique de la circulation pulmonaire

*Les pressions dans la circulation pulmonaire*

Pression intravasculaires

Pressions extravasculaires

*Débit pulmonaire*

*Relation pression-débit*

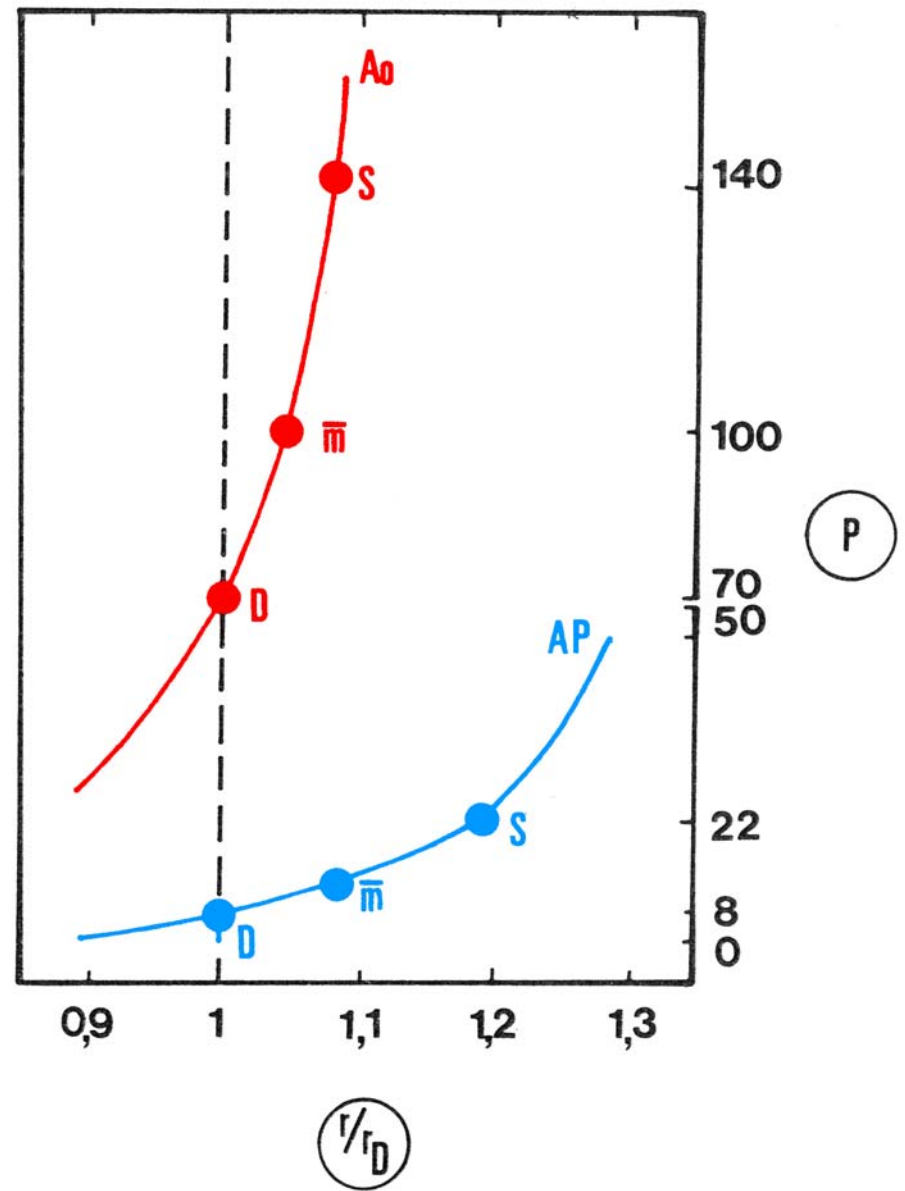
*Vasoconstriction hypoxique*

## Distribution du débit sanguin pulmonaire

*État des vaisseaux alvéolaires: les zones I, II et III de West*

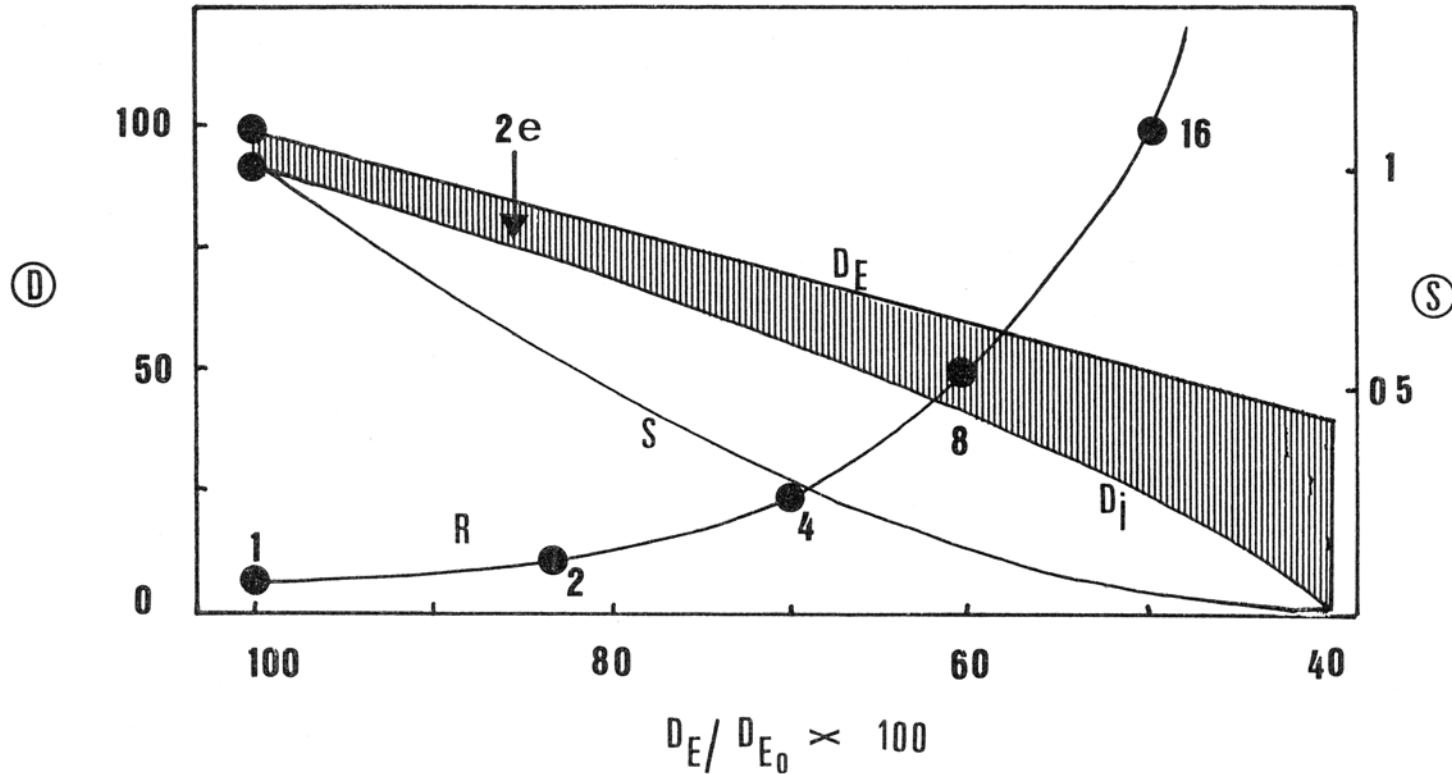
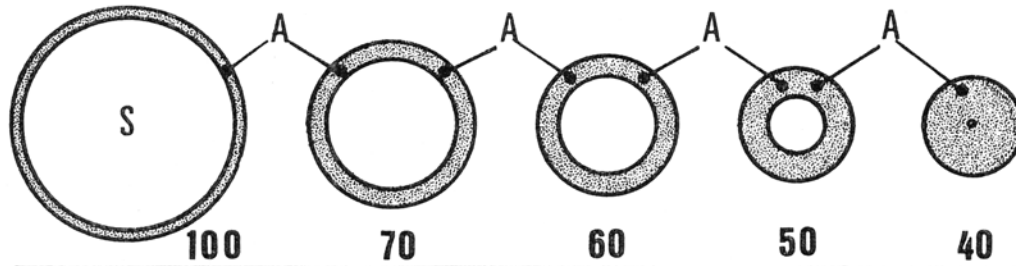
*État des vaisseaux extra alvéolaires~ La zone 4 de West*

*Rôle du volume pulmonaire*

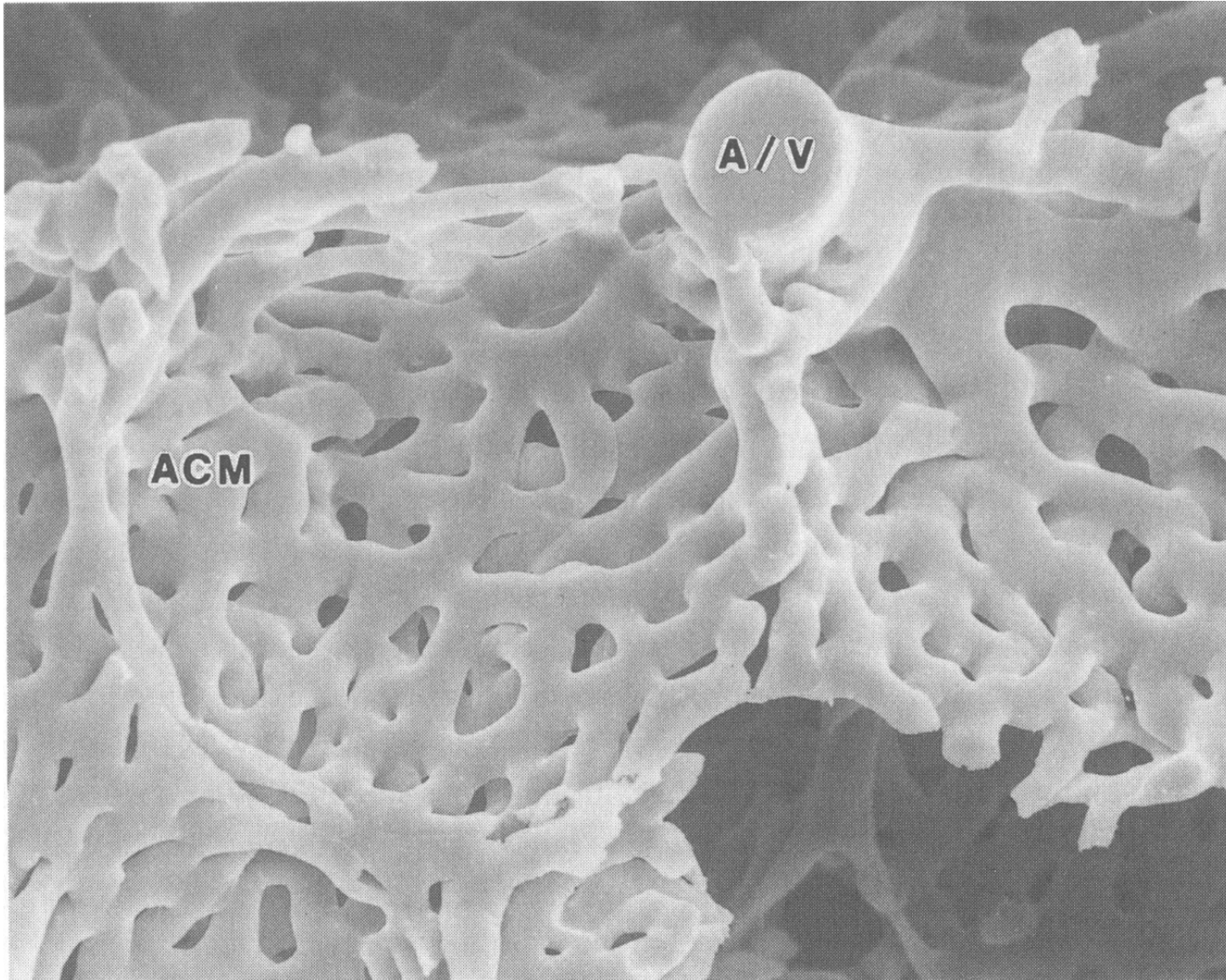


Even P. La respiration. In: *Physiologie Humaine*, edited by Meyer P. Paris: Flammarion-Médecine-Sciences, 1983, p. 1087-1358

Distensibilité de l'aorte ( $A_0$ ) et de l'artère pulmonaire ( $AP$ );  $r_D$  : rayon diastolique; D, S,  $\bar{m}$  : valeurs correspondant aux pressions diastoliques, systoliques et moyennes.



Variations des diamètres interne et externe ( $D_i$  et  $D_E$ ) des artères pulmonaires musculaires, de l'épaisseur de leur paroi ( $e$ ), de la section de la lumière ( $S$ ) et des résistances ( $R$ ) au cours de la contraction (surface  $A$  constante).



Hlastala MP and Berger AJ. *Physiology of Respiration*. New York: Oxford University Press, 2001



## Introduction

*Schéma général de la circulation*

*Caractéristiques de la circulation pulmonaire*

Réseau artériel

Réseau capillaire

Réseau veineux

## Hémodynamique de la circulation pulmonaire

*Les pressions dans la circulation pulmonaire*

Pression intravasculaires

Pressions extravasculaires

*Débit pulmonaire*

*Relation pression-débit*

*Vasoconstriction hypoxique*

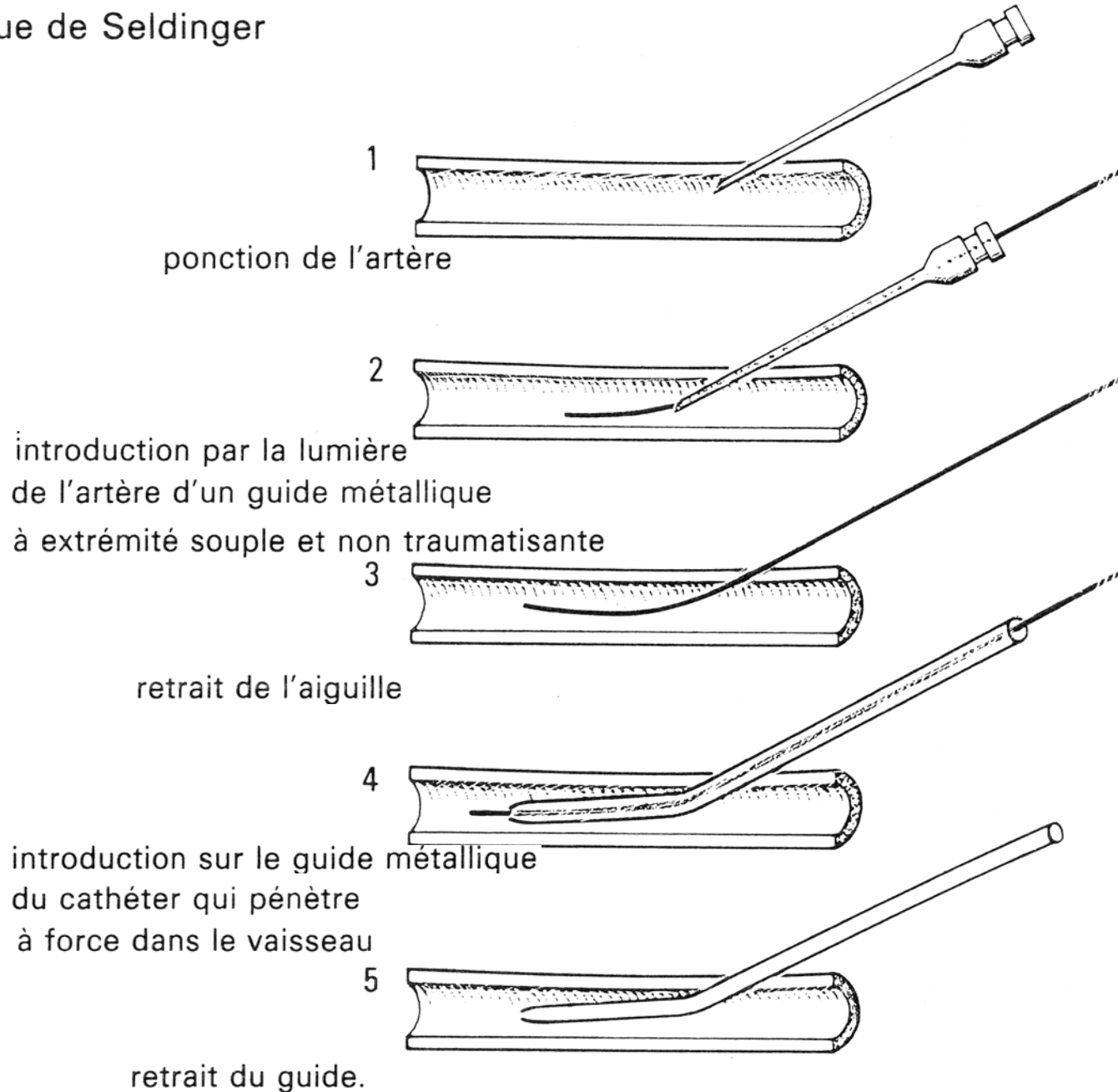
## Distribution du débit sanguin pulmonaire

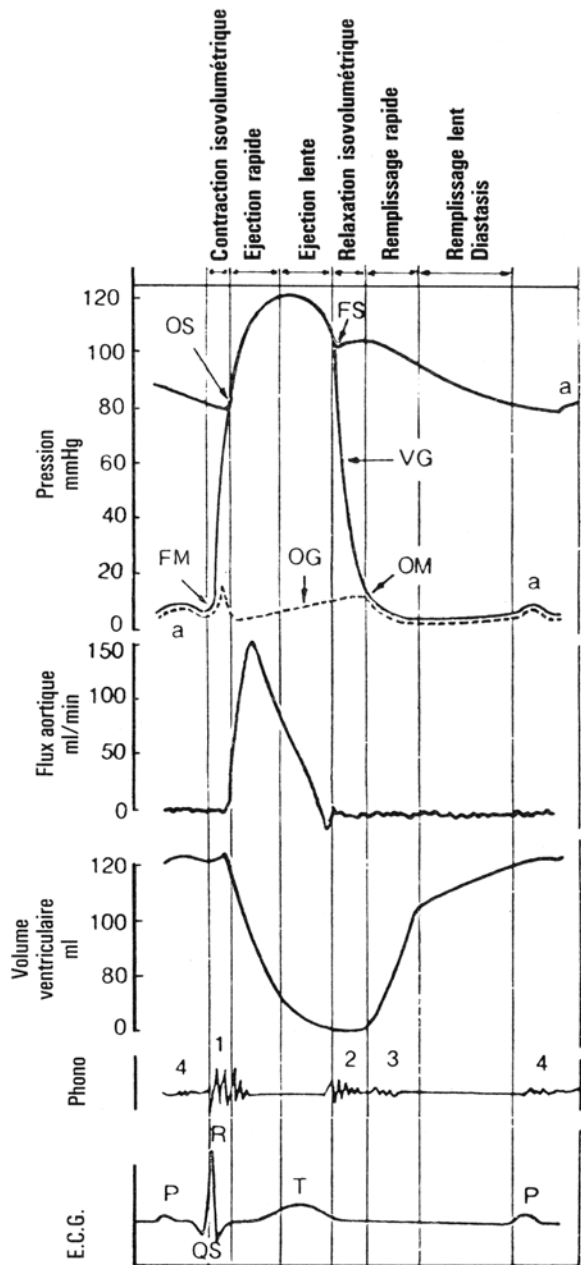
*État des vaisseaux alvéolaires: les zones III et III de West*

*État des vaisseaux extra alvéolaires: La zone 4 de West*

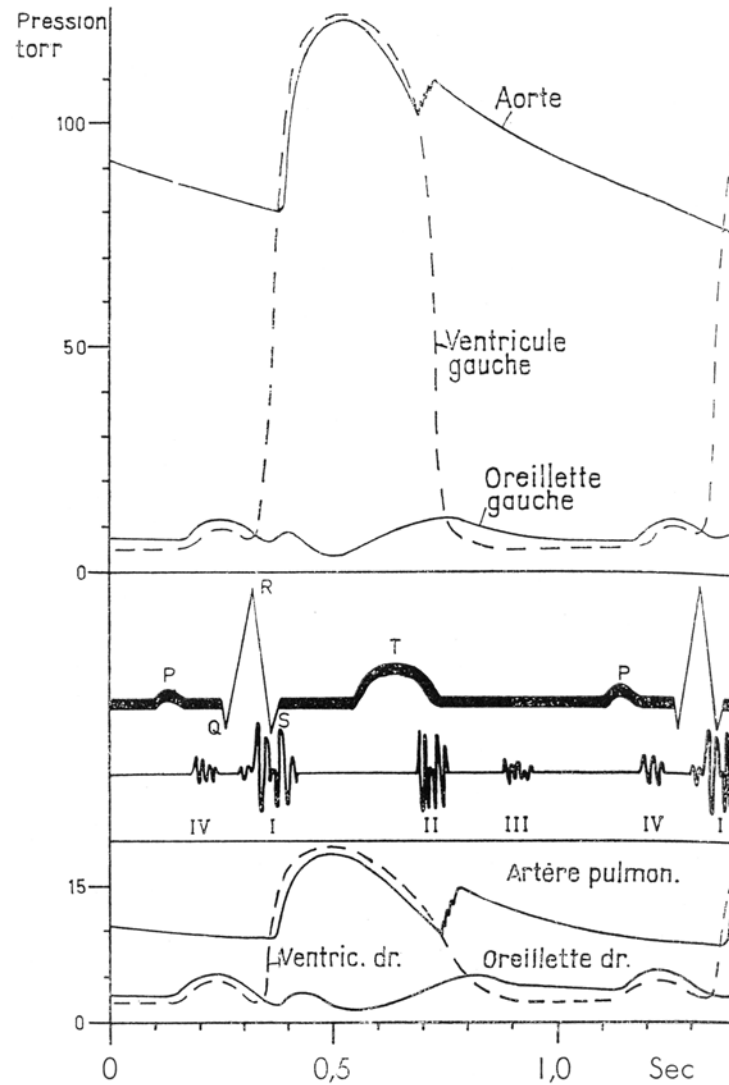
*Rôle du volume pulmonaire*

# Technique de Seldinger

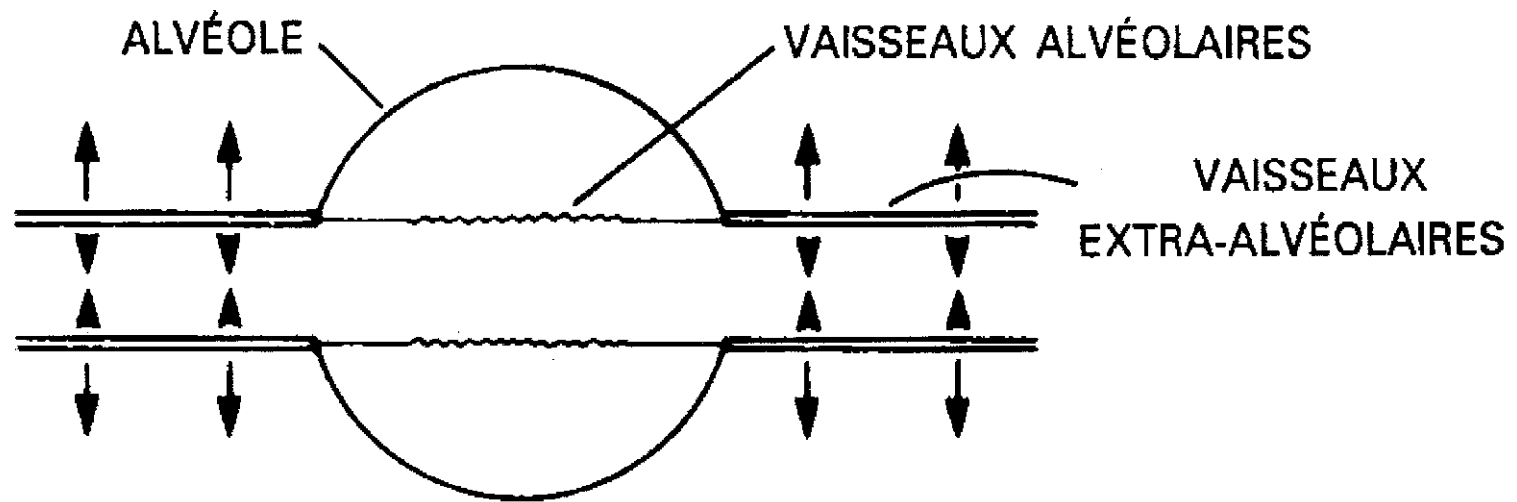




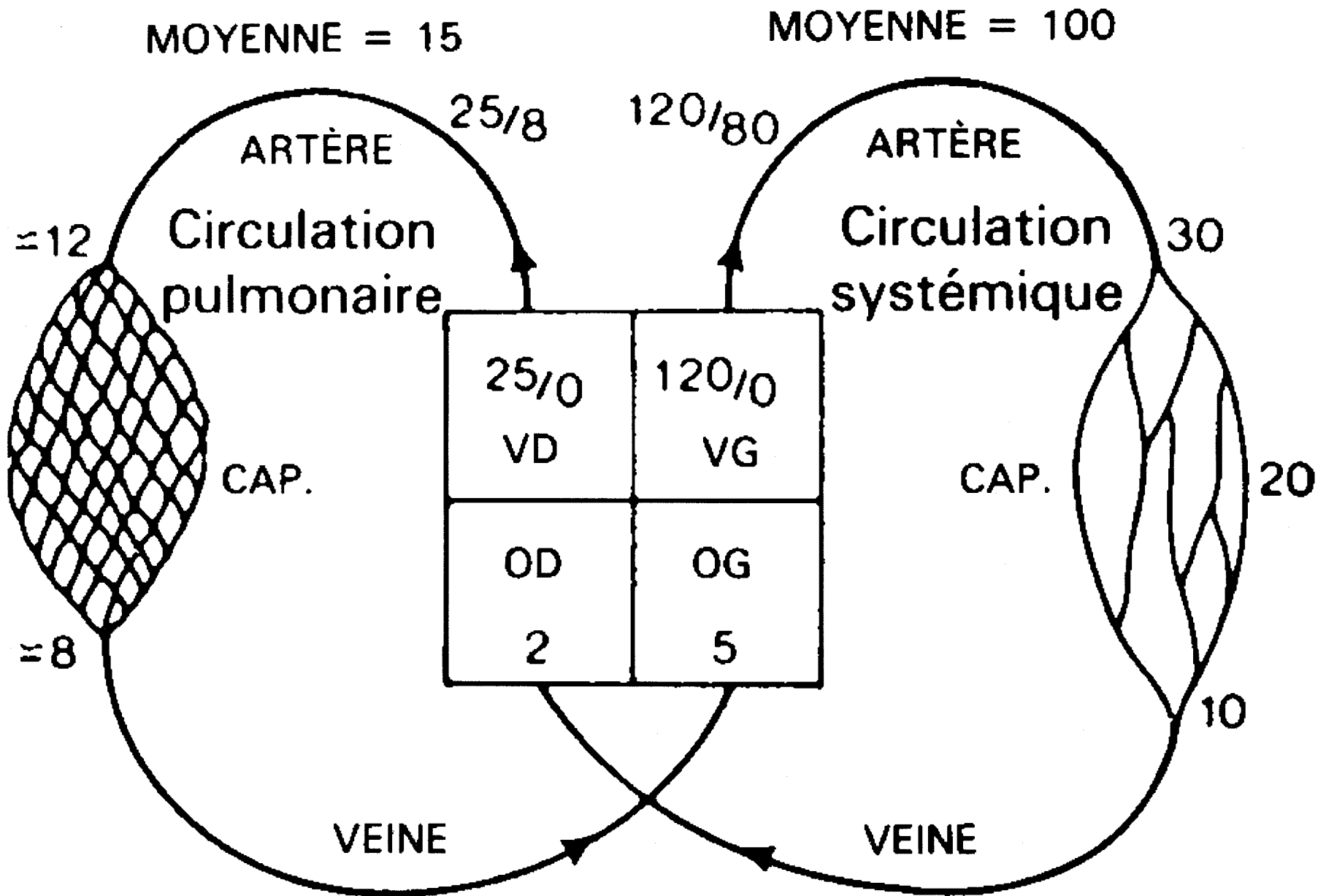
Chronologie des phénomènes mécaniques au cours du cycle cardiaque.



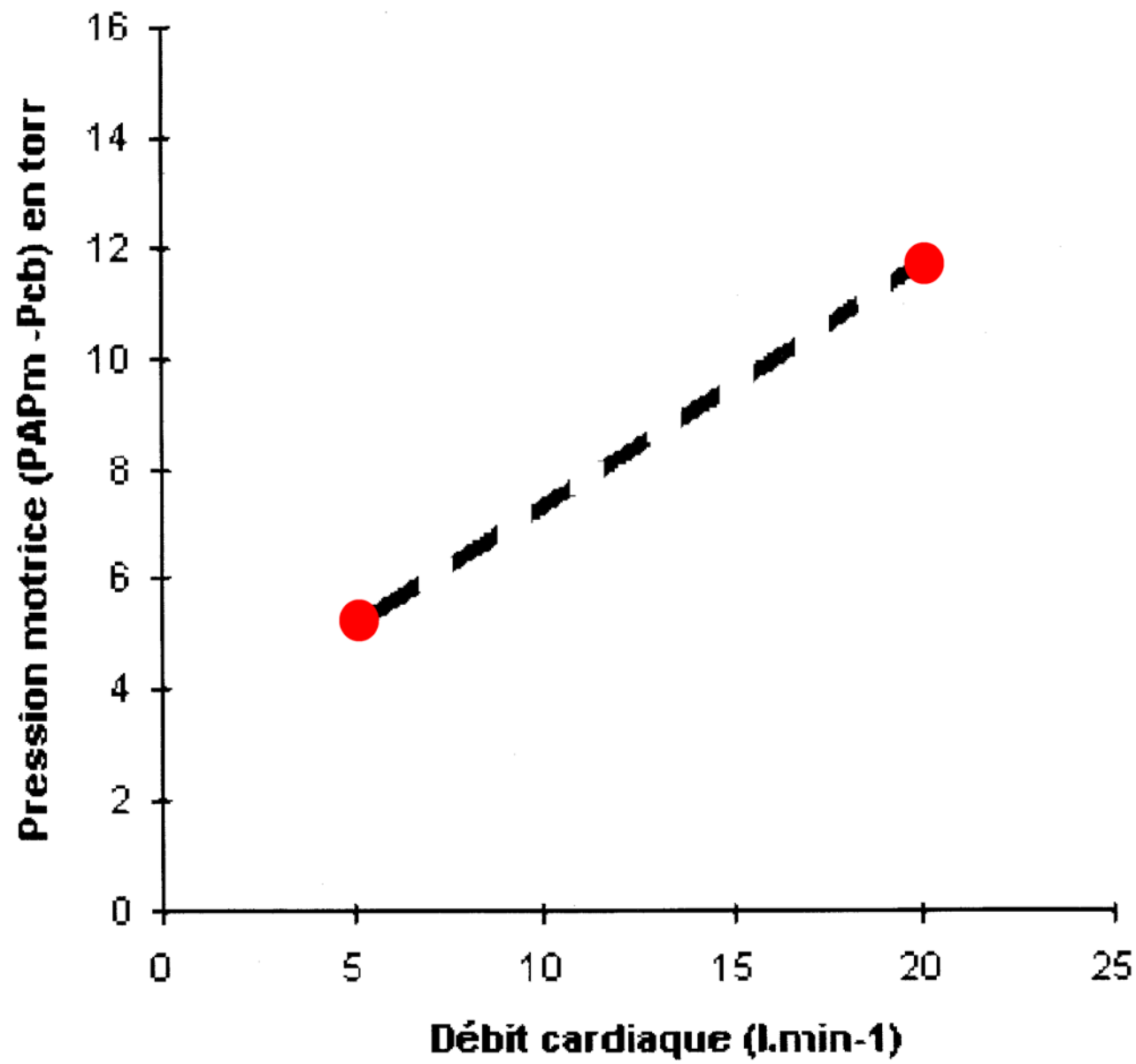
Chronométrage des bruits du cœur au cours de la révolution cardiaque avec référence aux pressions ventriculaires, auriculaires et artérielles, et à l'électrocardiogramme correspondant.

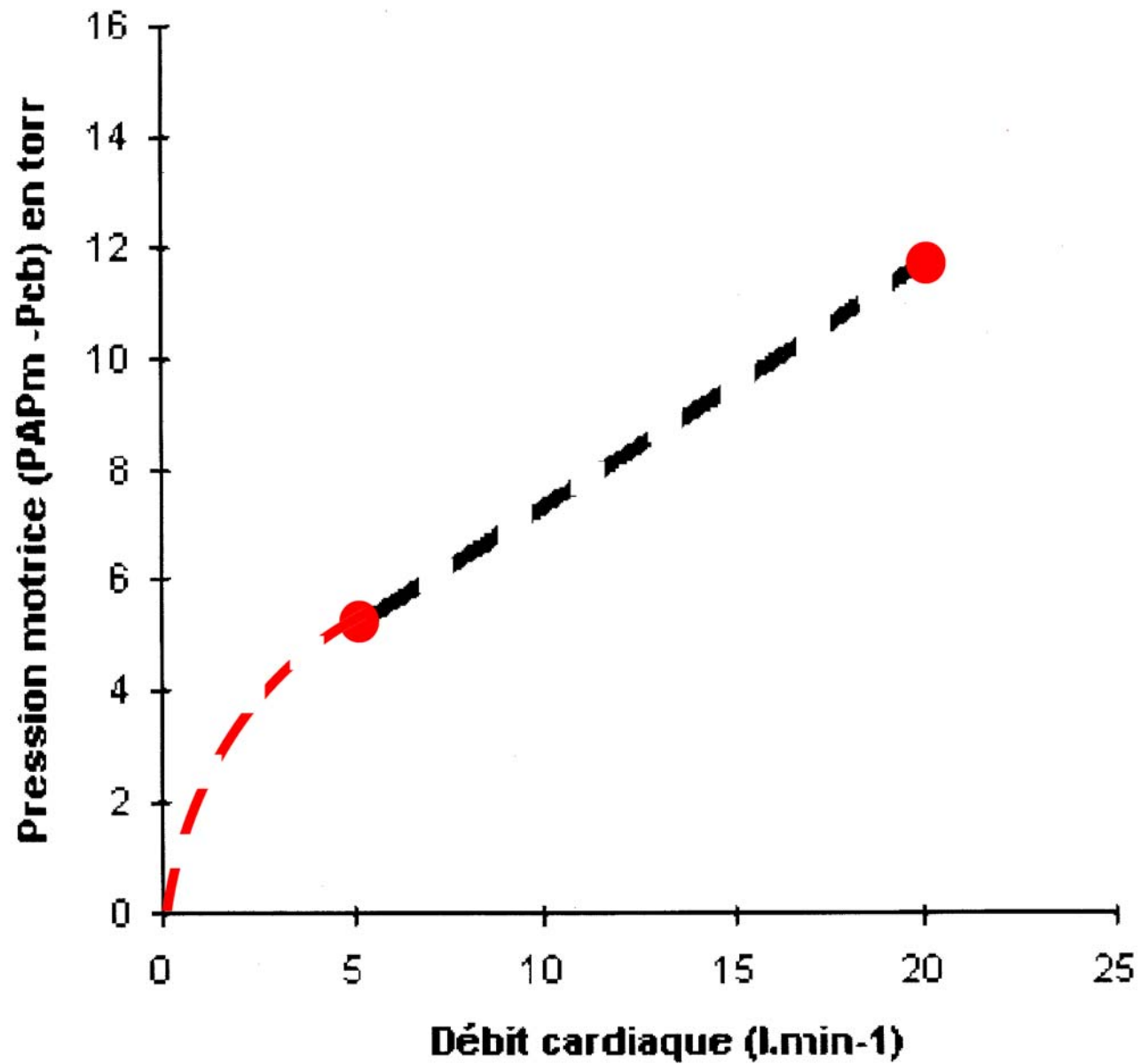


West JB. *Physiologie respiratoire. Notions essentielles*. Paris: Arnette, 1993

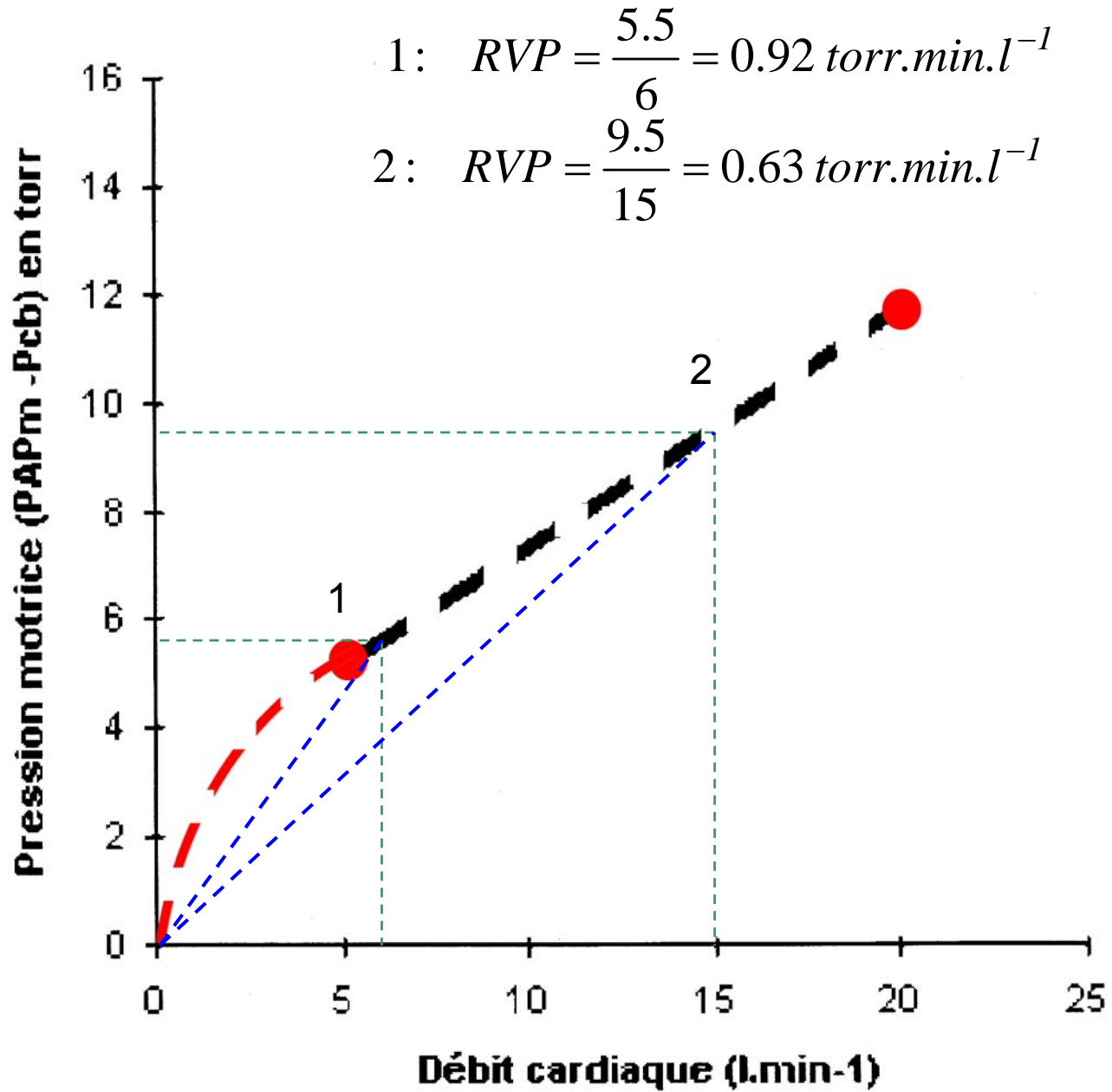


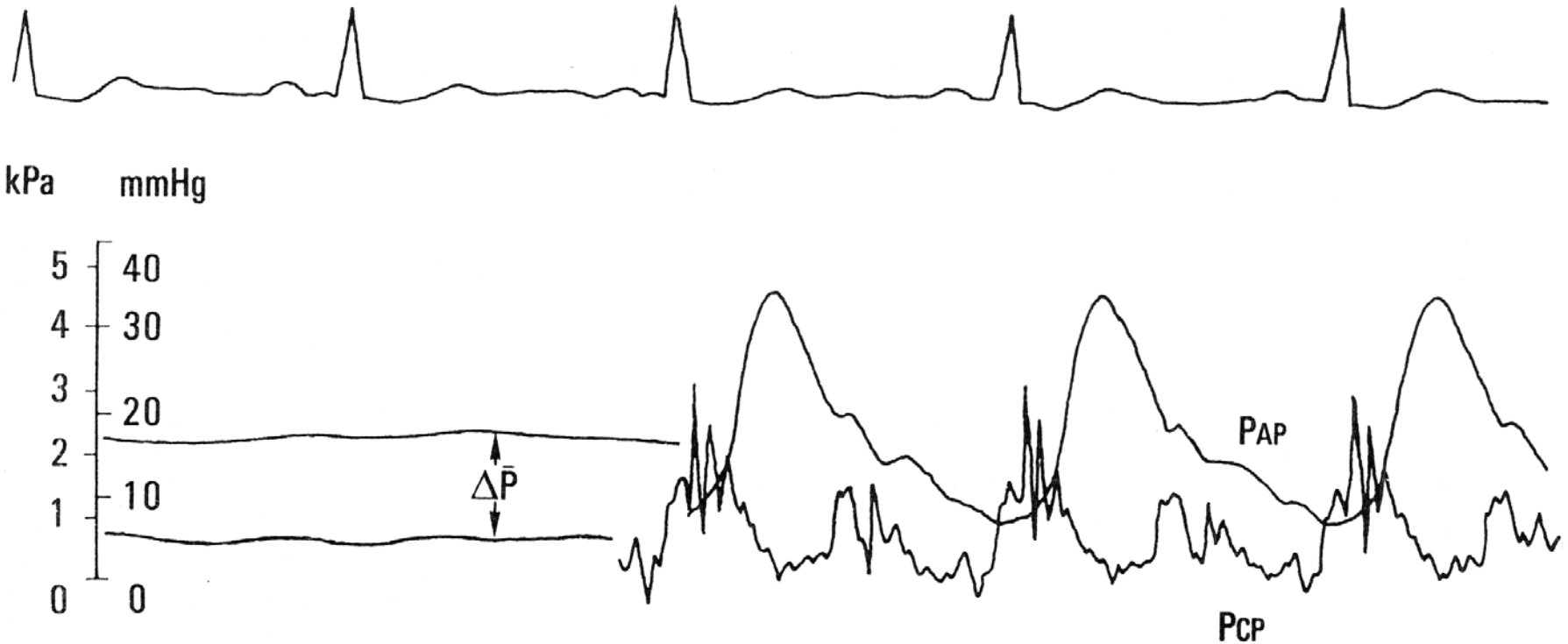










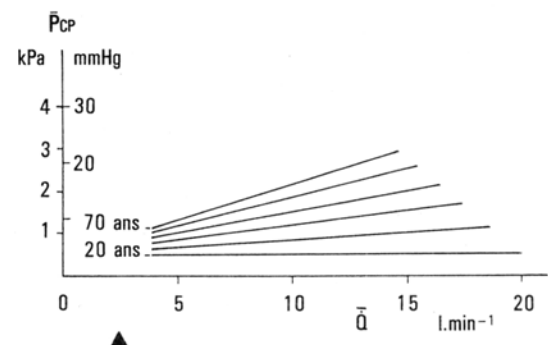
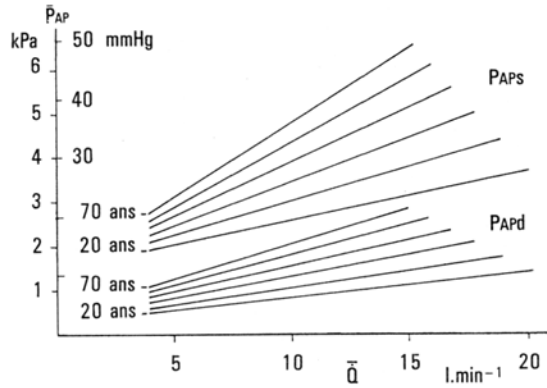


Enregistrement simultané par un cathéter à double voie de la pression en capillaire bloqué (Pcp) et de la pression artérielle pulmonaire (Pap).

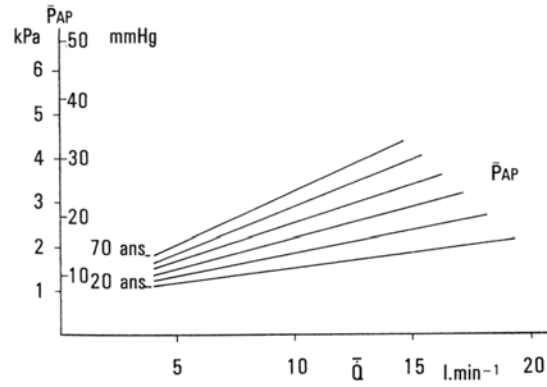
La morphologie de la courbe de pression artérielle pulmonaire ressemble à celle d'une artère systémique: pic systolique, dicrotisme et décroissance diastolique.

Les phases de Pcp ressemblent à celle de l'oreillette gauche.

Les pressions moyennes sont obtenues par intégration électronique.  $\Delta \bar{P}$  représente la pression motrice.

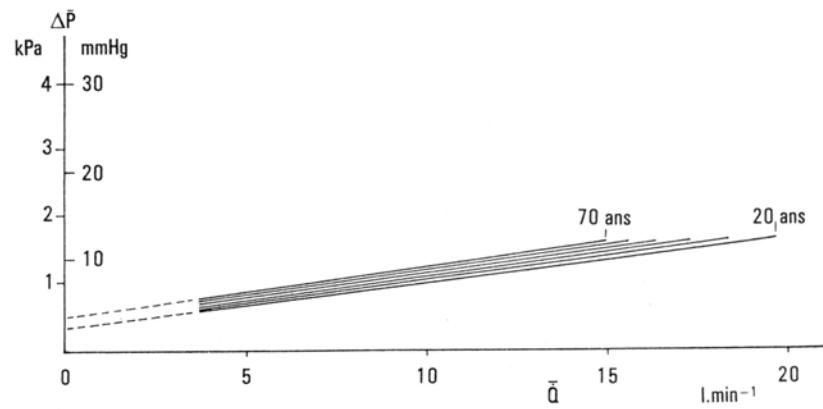


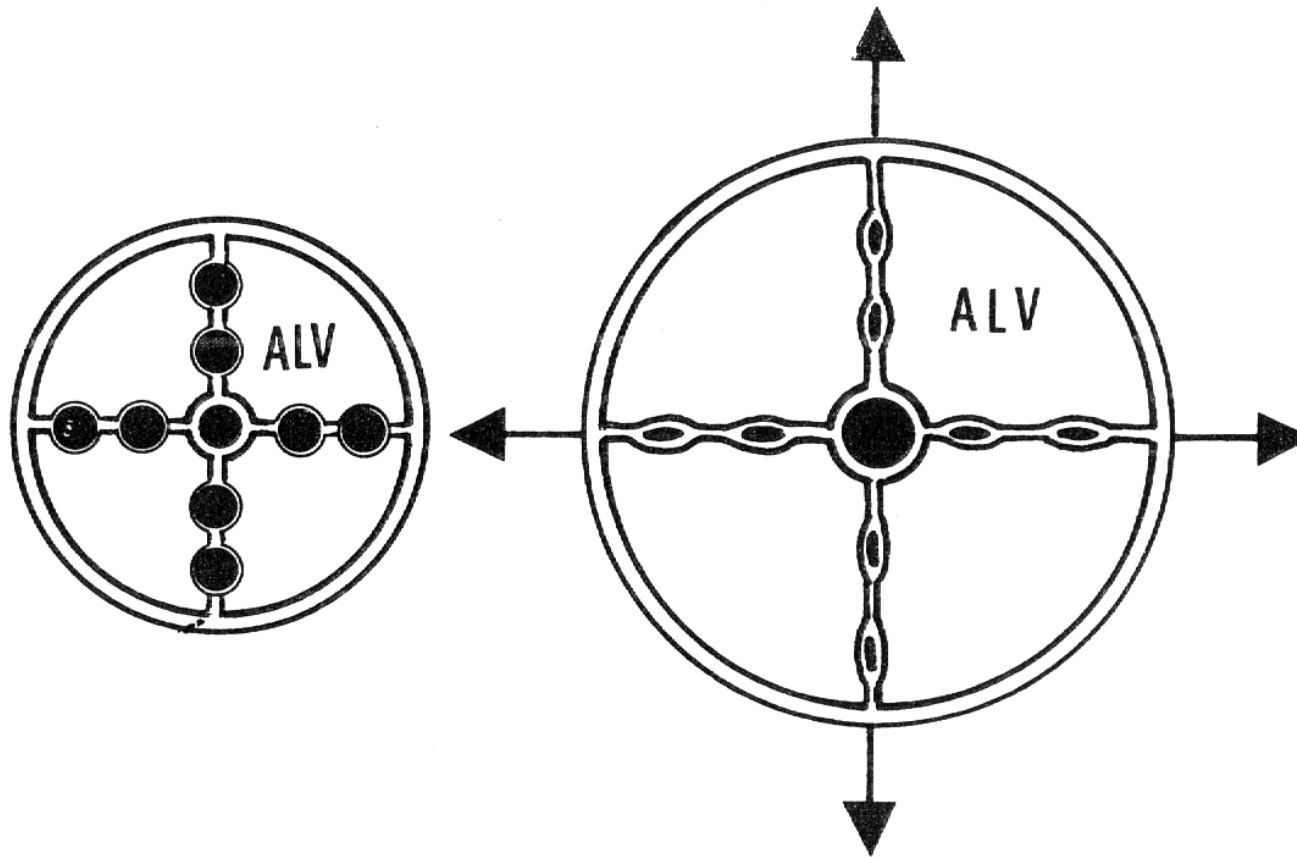
Variations de la pression capillaire pulmonaire moyenne ( $\bar{P}_{CP}$ ) en fonction du débit cardiaque ( $\bar{Q}$ ) et de l'âge. Conditions identiques à celles de la figure 25.5.



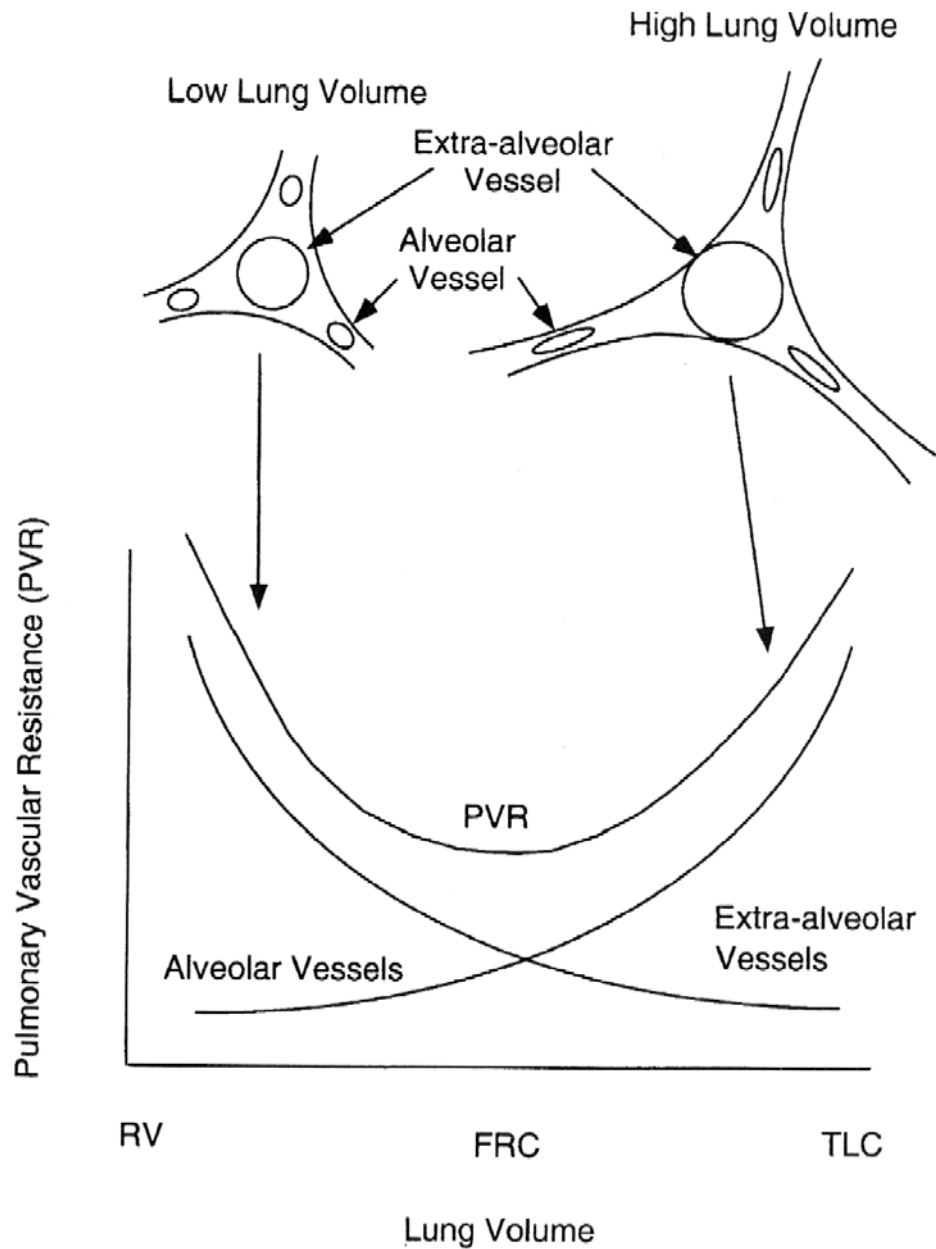
Variations des pressions artérielles pulmonaires systolique (PAPs), diastolique (PAPd) et moyenne (PAP) établies en fonction du débit cardiaque ( $\bar{Q}$ ) et de l'âge, au repos et au cours d'un exercice physique effectué sur pédalier ergométrique en position couchée. Données obtenues par régression multiple chez 40 sujets normaux de 12 à 83 ans.

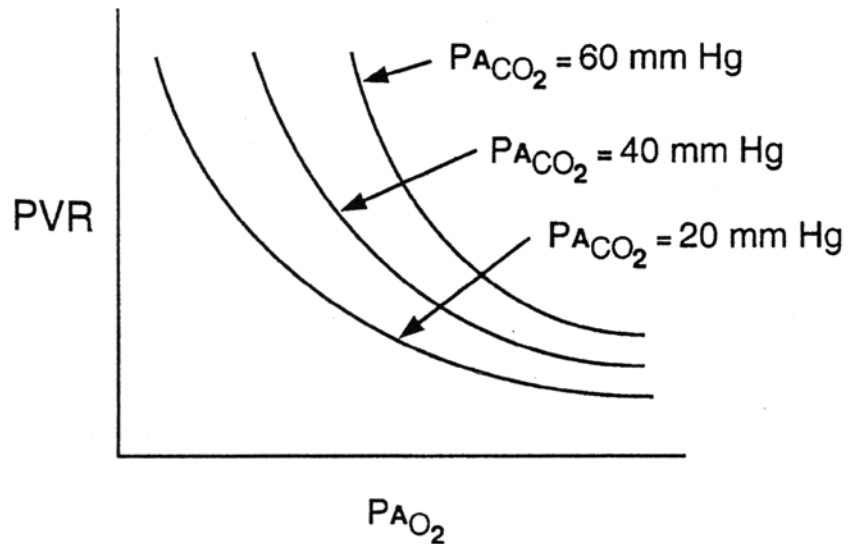
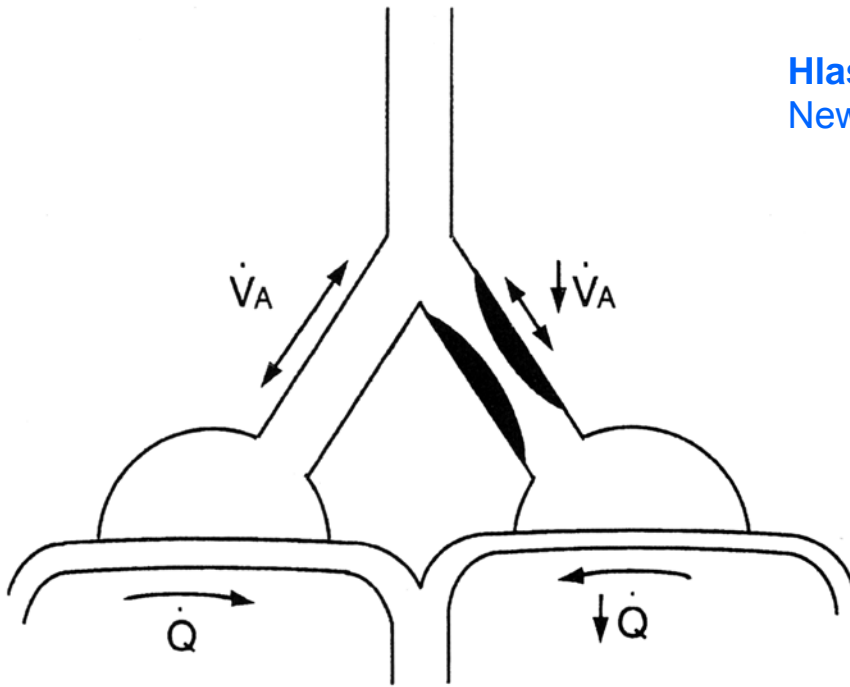
Variations de la pression motrice  $\Delta P = P_{AP} - P_{CP}$  en fonction du débit cardiaque ( $\bar{Q}$ ) et de l'âge. Conditions identiques à celles de la figure 25.5. La pente  $\Delta \Delta P / \Delta \bar{Q}$  représente les résistances vasculaires pulmonaires ; elle est évaluée à  $6 \pm 2 \text{ kPa l}^{-1}\text{s}$ . L'influence de l'âge n'est pas significative. L'intercept voisin du zéro suggère que les résistances vasculaires pulmonaires varient peu au cours de l'exercice effectué en position couchée.





Even P. La respiration. In: *Physiologie Humaine*, edited by Meyer P. Paris: Flammarion-Médecine-Sciences, 1983, p. 1087-1358





Pulmonary vascular resistance is plotted against  $PA_{O_2}$ . Curves for three different  $PA_{CO_2}$  values are shown. The upper schematic shows an alveolus with reduced ventilation due to bronchial constriction. Hypoxic vasoconstriction reduces the blood flow to that alveolus, returning its  $\dot{V}_A/\dot{Q}$  to normal.

## Introduction

*Schéma général de la circulation*

*Caractéristiques de la circulation pulmonaire*

Réseau artériel

Réseau capillaire

Réseau veineux

## Hémodynamique de la circulation pulmonaire

*Les pressions dans la circulation pulmonaire*

Pression intravasculaires

Pressions extravasculaires

*Débit pulmonaire*

*Relation pression-débit*

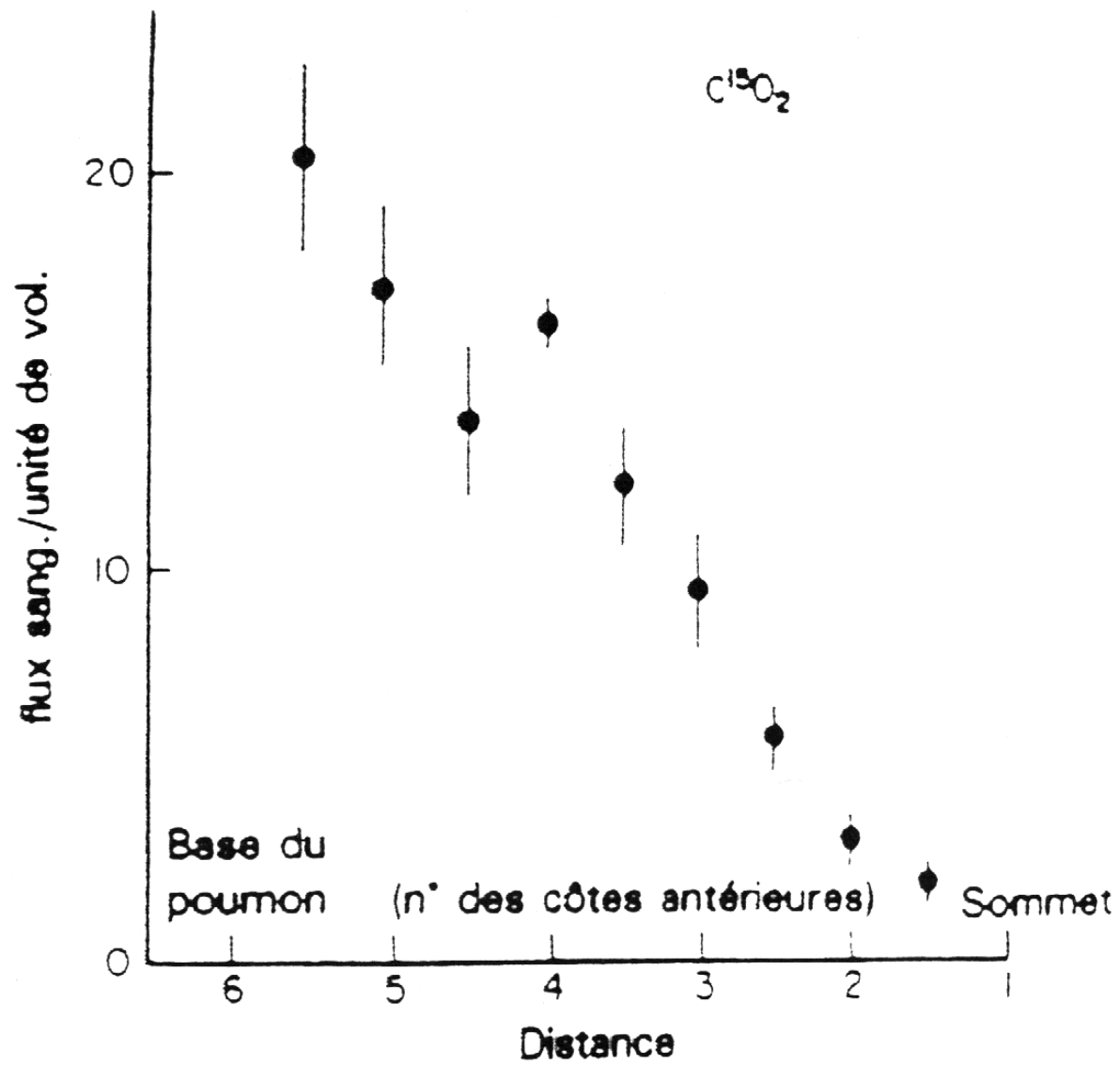
*Vasoconstriction hypoxique*

## Distribution du débit sanguin pulmonaire

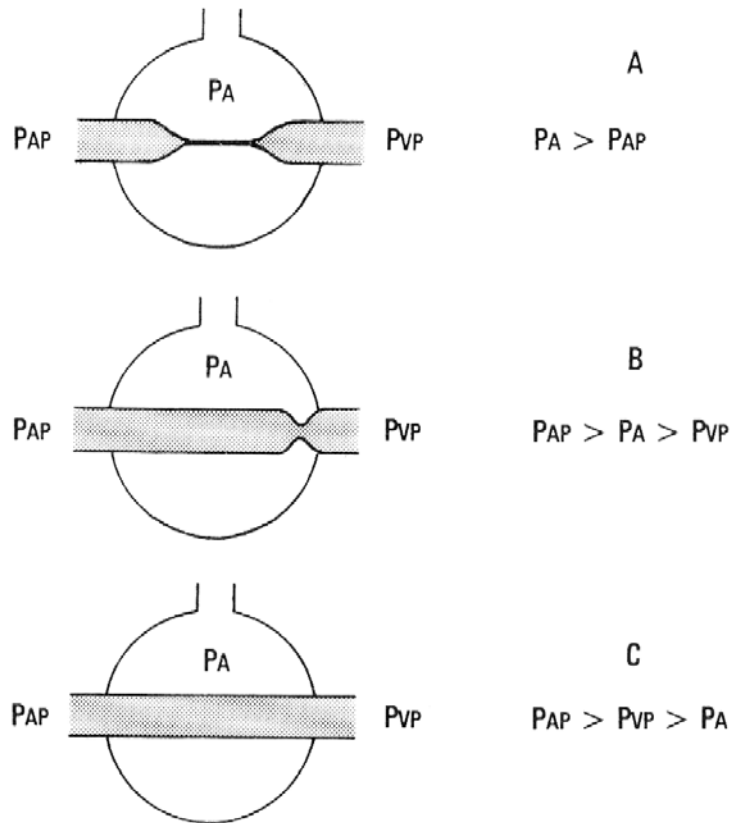
*État des vaisseaux alvéolaires: les zones III et III de West*

*État des vaisseaux extra alvéolaires: La zone 4 de West*

*Rôle du volume pulmonaire*







### Les trois états des vaisseaux alvéolaires.

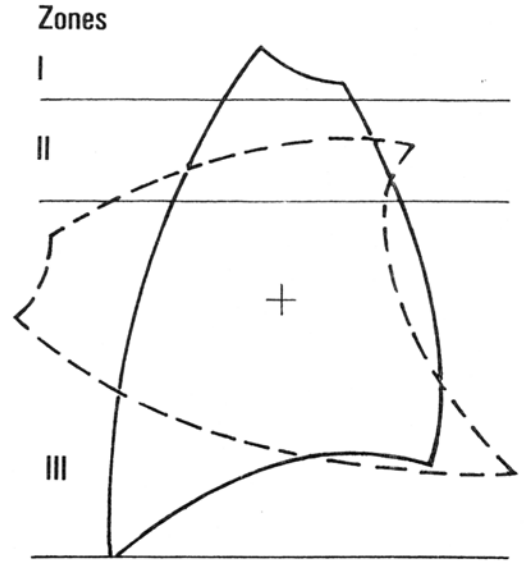
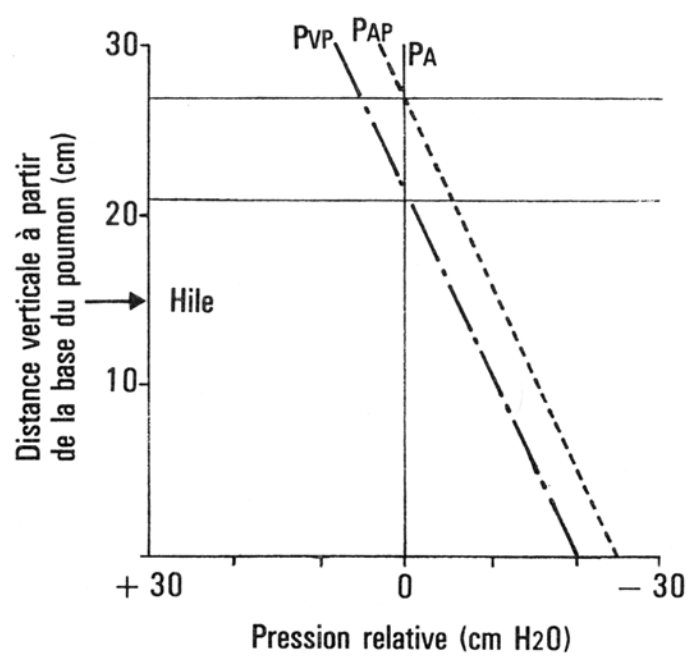
Il s'agit de vaisseaux collabables dont l'état dépend de la pression transmurale. Il y a trois états possibles selon les valeurs respectives de la pression extérieure, qui est la pression du gaz alvéolaire PA, et des pressions vasculaires à l'entrée (PAP) et à la sortie (PVP) du vaisseau alvéolaire collabable.

A : si  $PA > PVP$ , les vaisseaux sont écrasés et le débit est nul.

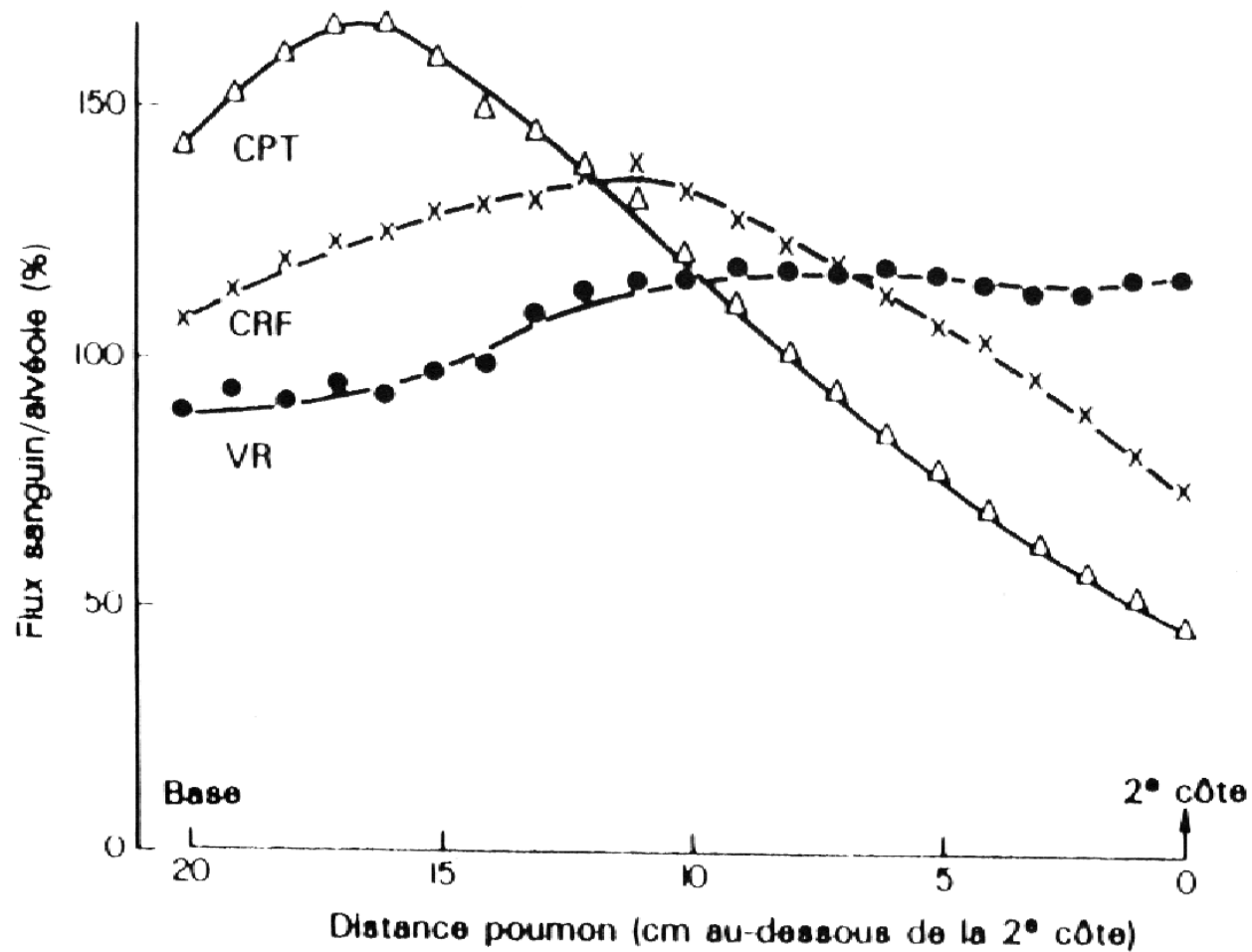
B : quand  $PAP > PA > PVP$ , la théorie et l'expérience montrent qu'il y a un rétrécissement près de la sortie du secteur collabable.

C : quand  $PVP > PA$ , les vaisseaux sont largement ouverts.

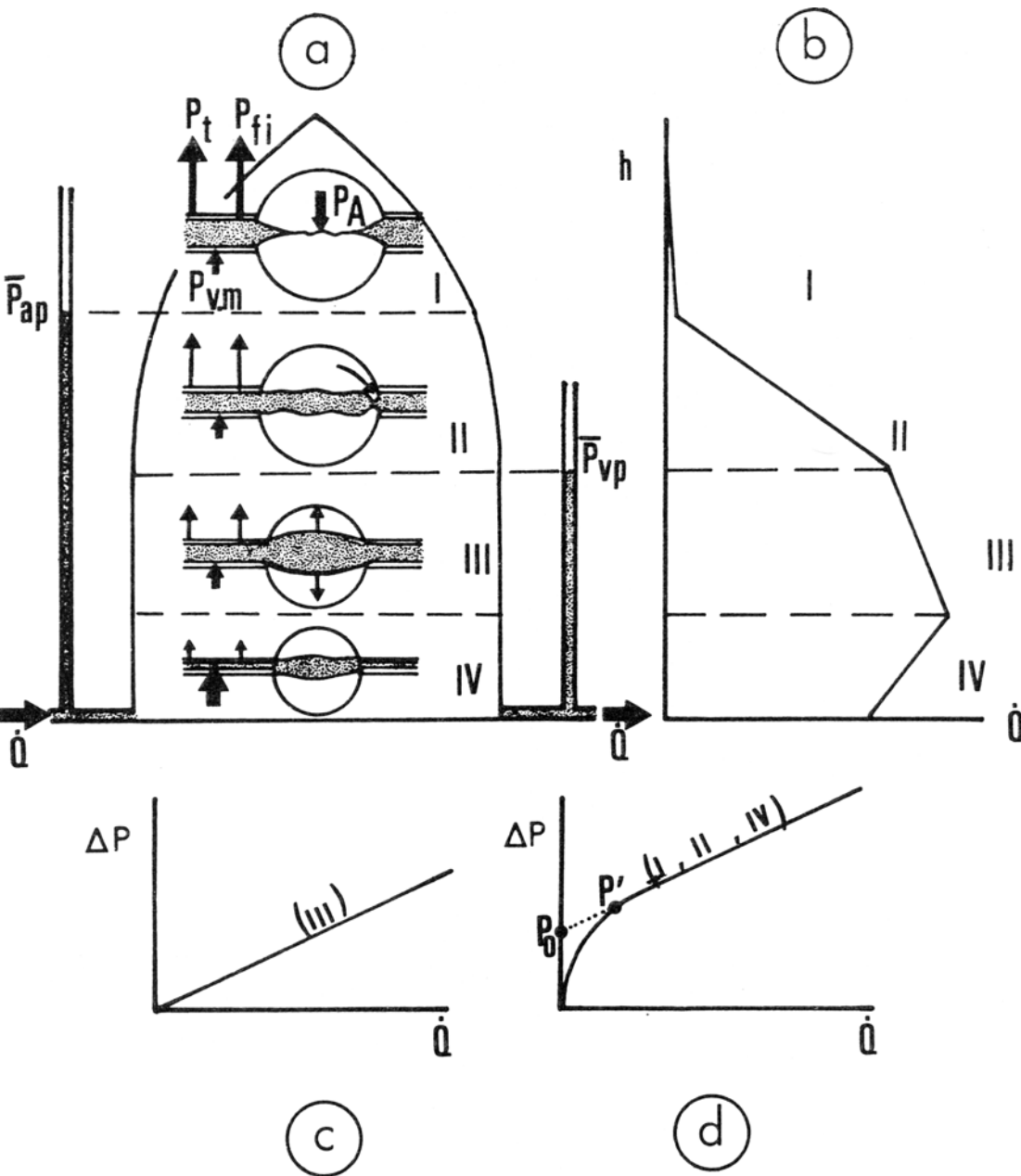
Influence de la position sur les pressions intravasculaires pulmonaires et sur la distribution du débit pulmonaire. La pression alvéolaire est en moyenne égale à  $P_B$ , si le sujet respire à l'air libre, et ne change pas de haut en bas du poumon ; elle est représentée sur la figure de gauche par la ligne verticale correspondant à la pression zéro. Les pressions à l'entrée et à la sortie des vaisseaux pulmonaires, pressions artérielle et veineuse pulmonaire augmentent de  $1 \text{ cmH}_2\text{O}$  ( $\approx 0,1 \text{ kPa}$ ) par cm de hauteur entre l'apex et la base du poumon (droites obliques PAP et PVP). Au-dessus de la ligne horizontale passant par l'intersection des droites PA et PAP, la pression alvéolaire est supérieure à PAP et les vaisseaux alvéolaires étant collabables sont écrasés (zone I). En dessous de la ligne passant par l'intersection des droites PA et PVP, l'inégalité  $PAP > PVP > PA$  montre que les vaisseaux alvéolaires sont largement ouverts, leur pression transmurale étant toujours supérieure à zéro (zone III). Entre les deux lignes horizontales,  $PAP > PA > PVP$  ; la théorie et l'expérience montrent que les vaisseaux alvéolaires sont rétrécis près de leur extrémité veineuse (zone II).



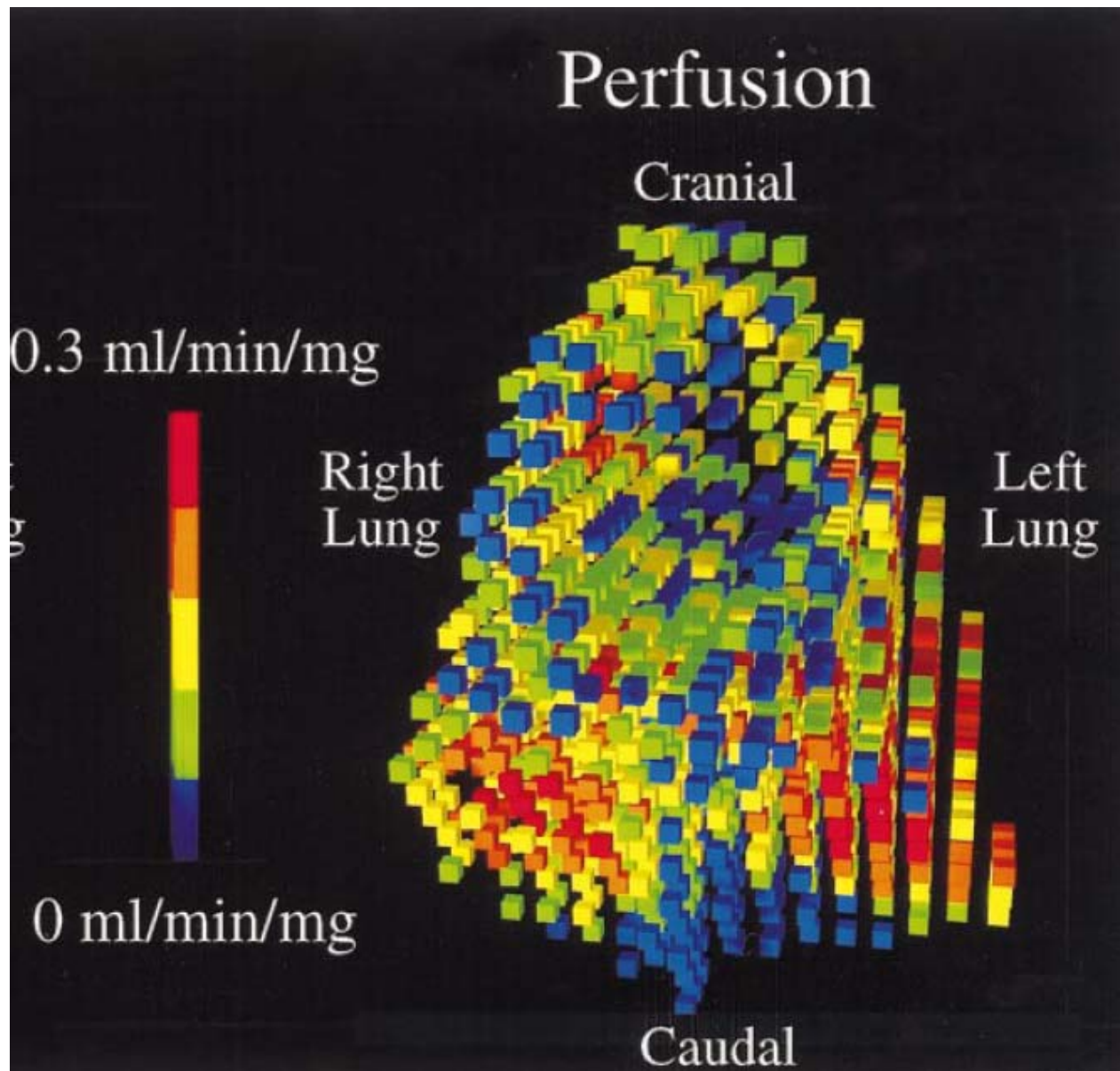
A droite de la figure, les silhouettes du même poumon vertical et couché ont été représentées après rotation de  $90^\circ$  autour d'un axe horizontal passant par le hile. Pour les pressions normales de ce cas de figure, la quasi-totalité du poumon couché est occupée par les zones III et II ; les vaisseaux alvéolaires sont donc pour la plupart largement ouverts. Dans le cas du poumon vertical, une partie du poumon est en zone I ; il y a donc fermeture (dite dérecrutement) des vaisseaux du sommet (d'après A. Lockhart).



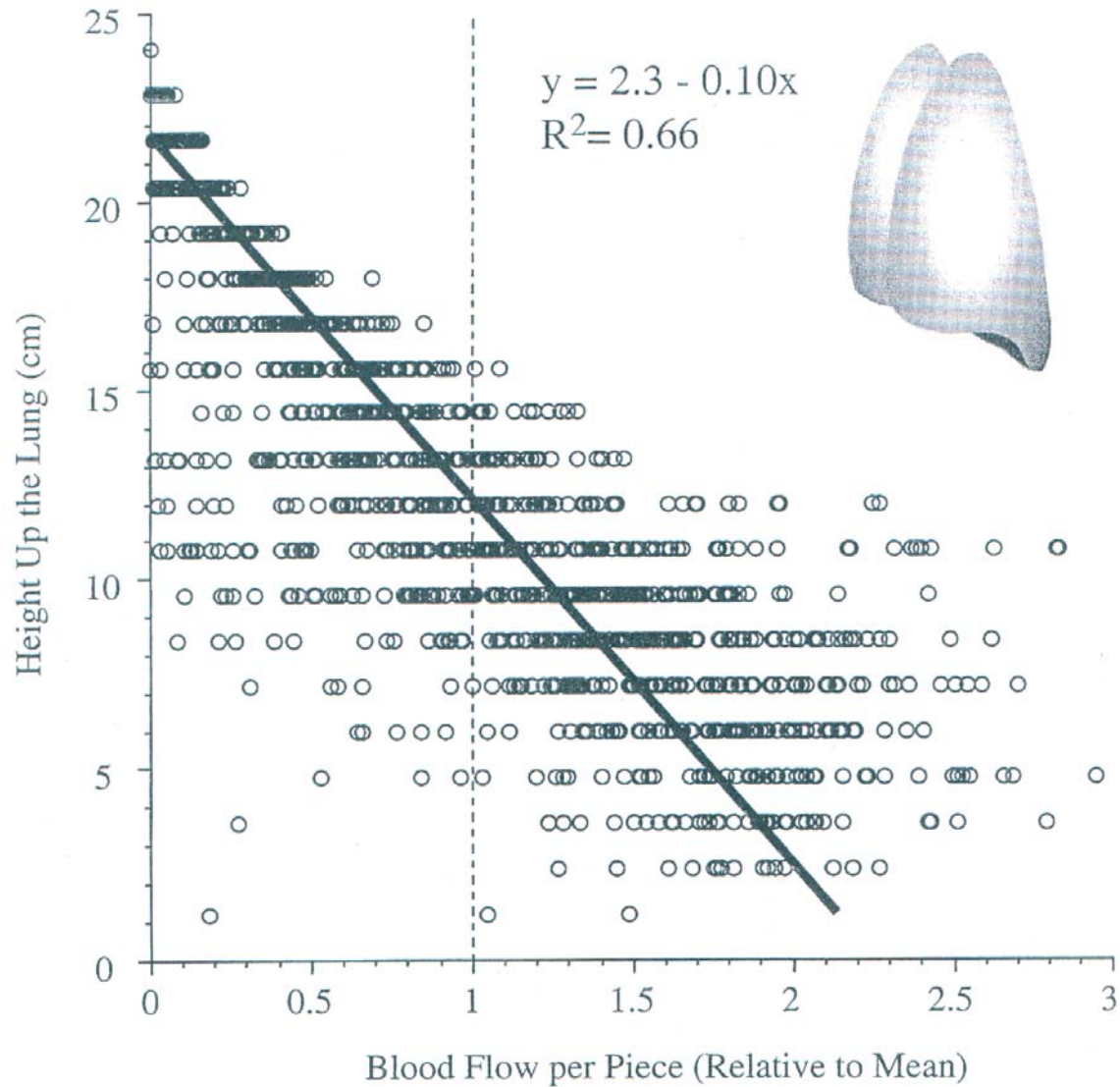
Effet du volume pulmonaire sur la répartition du flux sanguin chez l'homme. A noter alors qu'à la capacité pulmonaire totale (CPT), le flux sanguin augmente au fur et à mesure que l'on descend sur la majorité de la hauteur du poumon, il y a une zone de flux sanguin réduit au voisinage de la base à la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) et ce phénomène s'accroît au volume résiduel (VR). (Tiré de *Respiration Physiology*.)



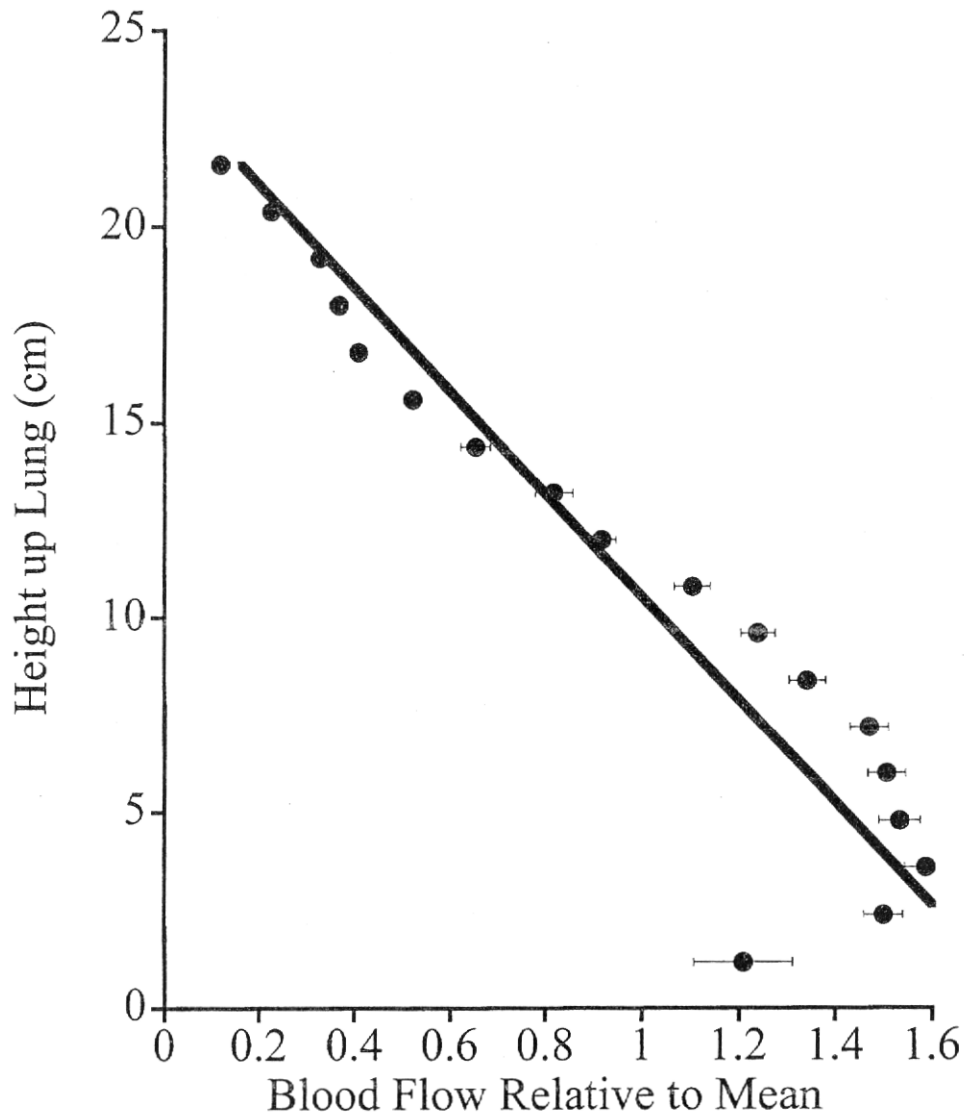
Relation entre la distribution du débit sanguin dans le poumon et la taille des vaisseaux résistifs alvéolaires et extra-alvéolaires : (a) le diamètre des vaisseaux alvéolaires dépend des valeurs respectives des pressions artérielle pulmonaire ( $\bar{P}_{ap}$ ), alvéolaire ( $P_A$ ) et veineuse pulmonaire ( $\bar{P}_{vp}$ ); trois zones sont définies : I : collapsus, II : collapsus partiel (*waterfall*), III : distension. Le diamètre des vaisseaux extra-alvéolaires dépend des forces de rétraction tissulaire ( $P_t$ ), de la pression fluide interstitielle ( $P_{fi}$ ) et du tonus vasomoteur ( $P_{vm}$ ). Il en résulte une zone de bas débit à la base des poumons (IV); (b) distribution du débit en fonction de la hauteur,  $h$ ; (c) si tout le poumon est en zone III (position couchée) la relation  $\Delta P = \bar{P}_{ap} - \bar{P}_{cp}$  en fonction du débit  $\dot{Q}$  est linéaire; (d) si le poumon est en partie en zone I, II ou IV, la relation est curvilinéaire jusqu'à une pression assurant l'ouverture maximale de tous les vaisseaux ( $P'$ ) peu différente de la pression  $P_0$  obtenue en extrapolant la portion linéaire de la courbe vers l'axe des pressions (d'après Hughes, 1968 et West, 1964 et 1965).



Altmeier, W. A., S. McKinney, et al. (2000). "Fractal nature of regional ventilation distribution." *J Appl Physiol* **88**(5): 1551-7.



Vertical distributions of blood flow in the baboon in the upright posture.



Height up the lung (cm) vs. blood flow relative to mean.

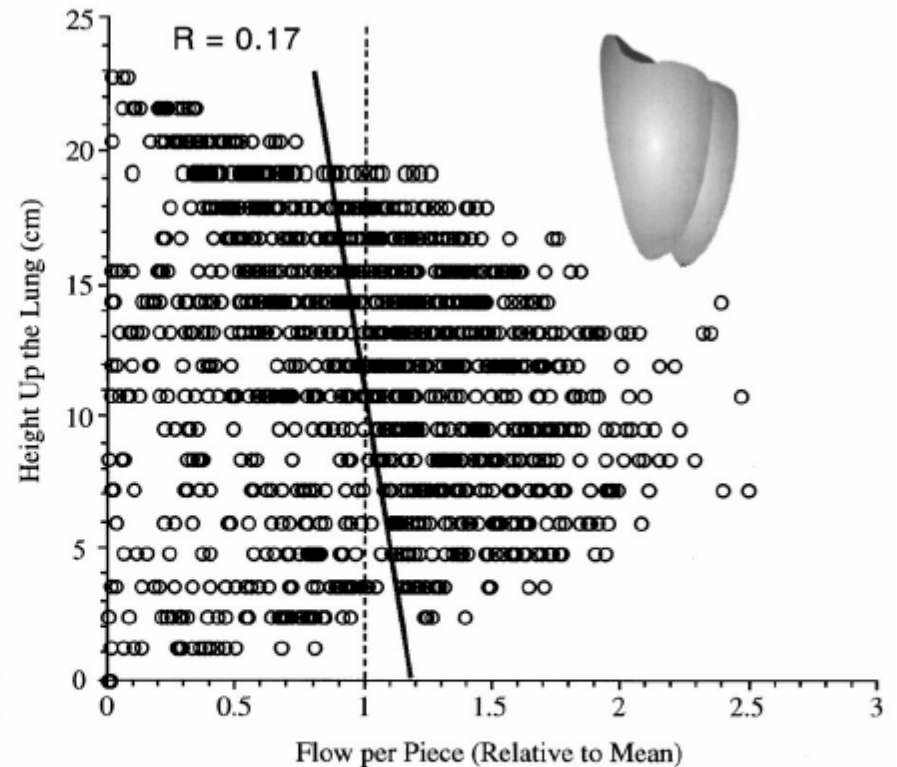
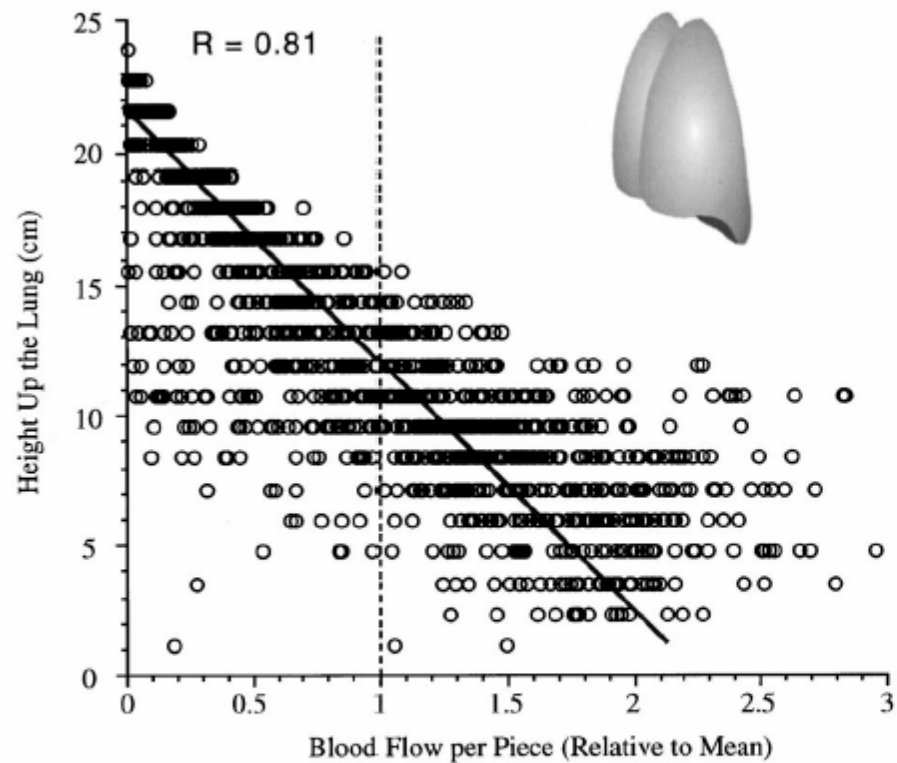
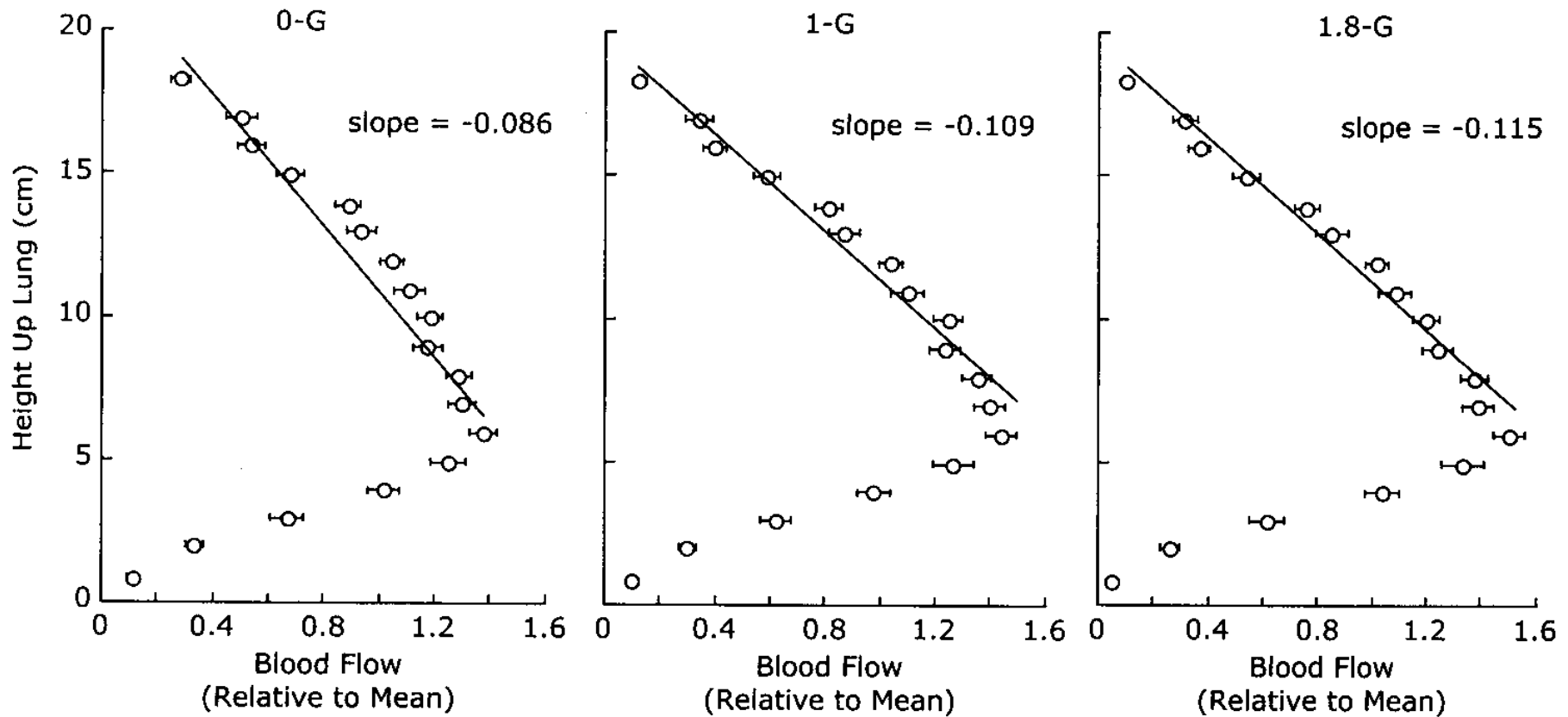


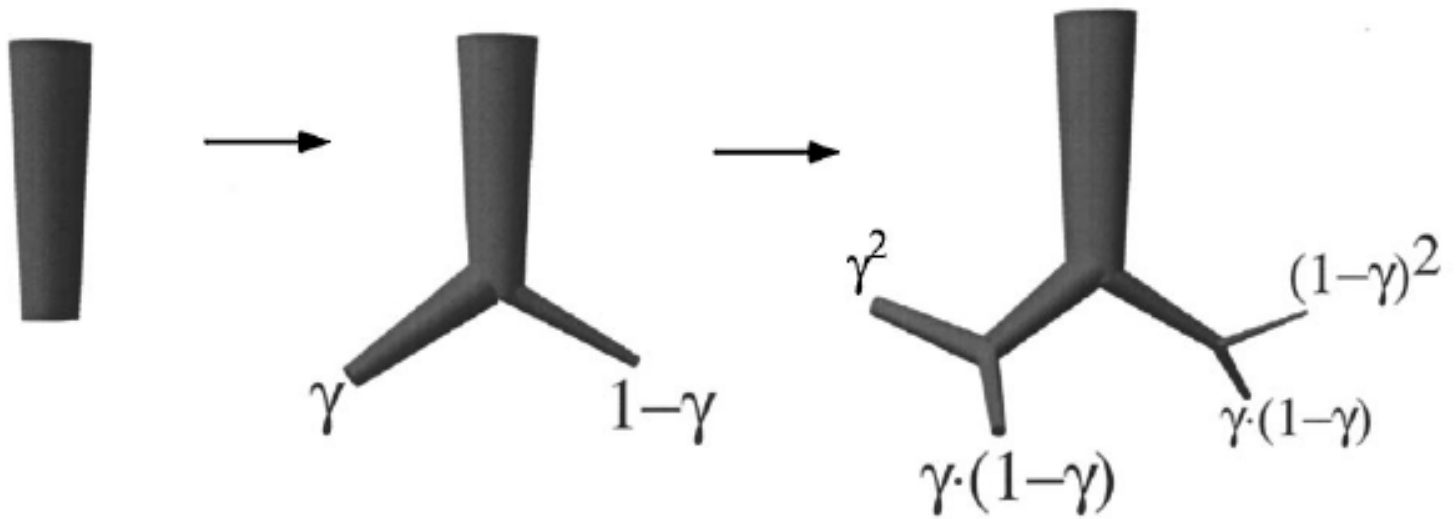
FIGURE 10. Regional distribution of pulmonary blood flow in an upright and head-down baboon. *Left*: blood flow and height up the lung are strongly associated in the upright posture, with height accounting for 65% of the variability in blood flow. There is considerable variability within isogravitational planes. *Right*: when the animal is turned to the head-down posture, height up the lung accounts for only 3% of the variability in blood flow.

Glenny, R. W. (1998). "Blood flow distribution in the lung." [Chest 114\(1 Suppl\): 8S-16S.](#)





Glenny, R. W., W. J. Lamm, et al. (2000). "Selected contribution: redistribution of pulmonary perfusion during weightlessness and increased gravity." *J Appl Physiol* **89**(3): 1239-48.



Glenny, R. W. (1998). "Blood flow distribution in the lung." [Chest](#) **114**(1 Suppl): 8S-16S.