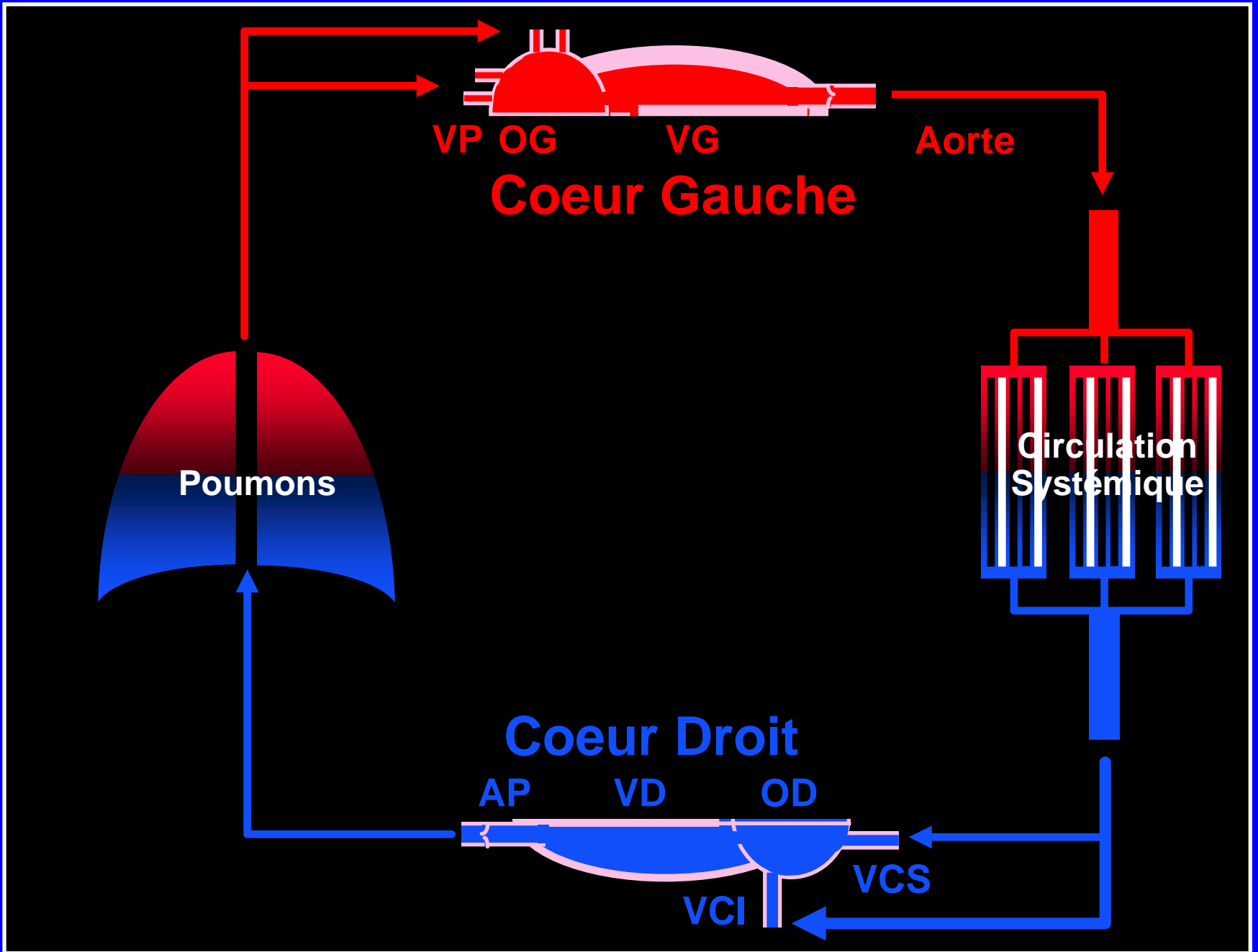


Physiologie Respiratoire

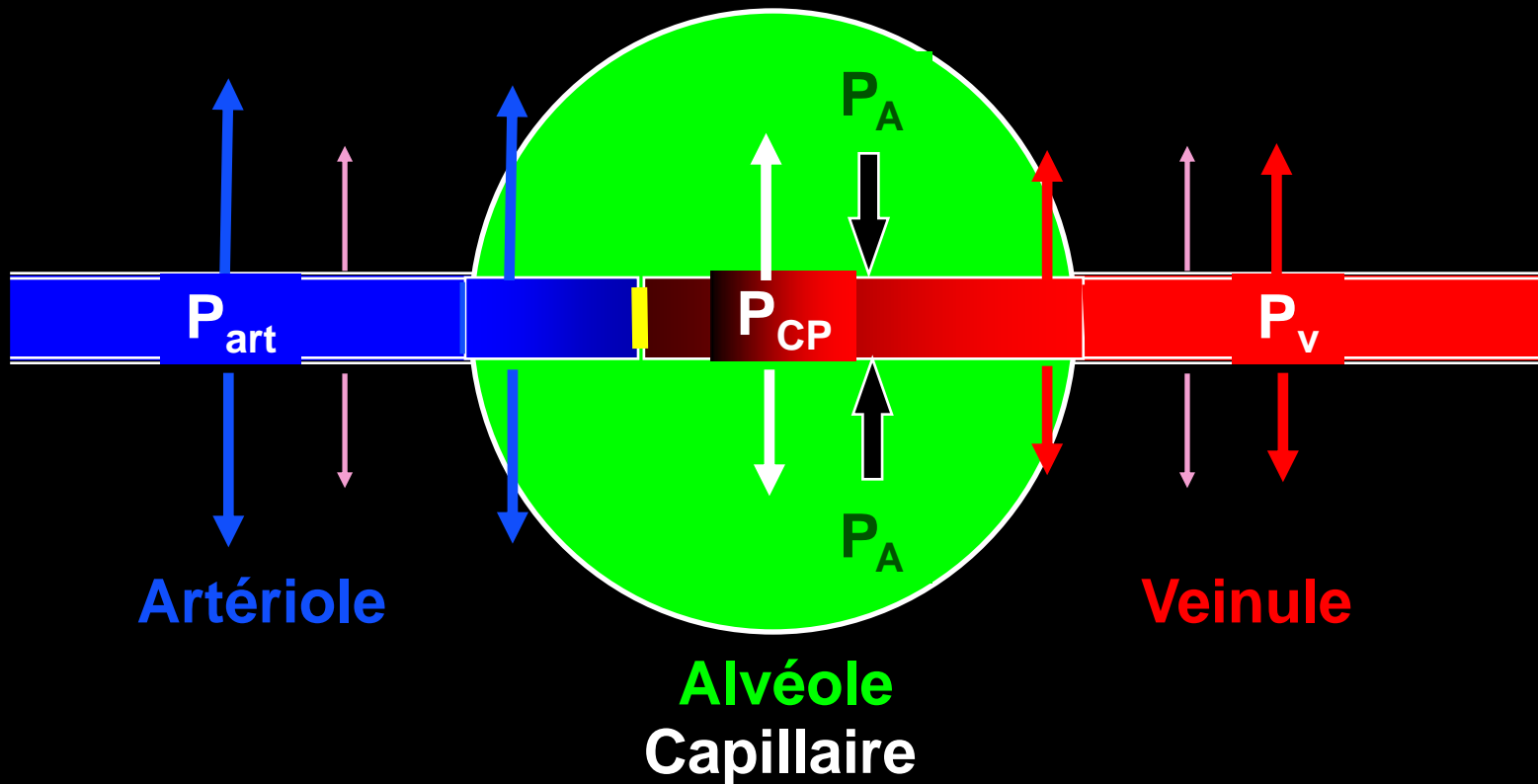
Cours n° 2 – D. MAILLARD

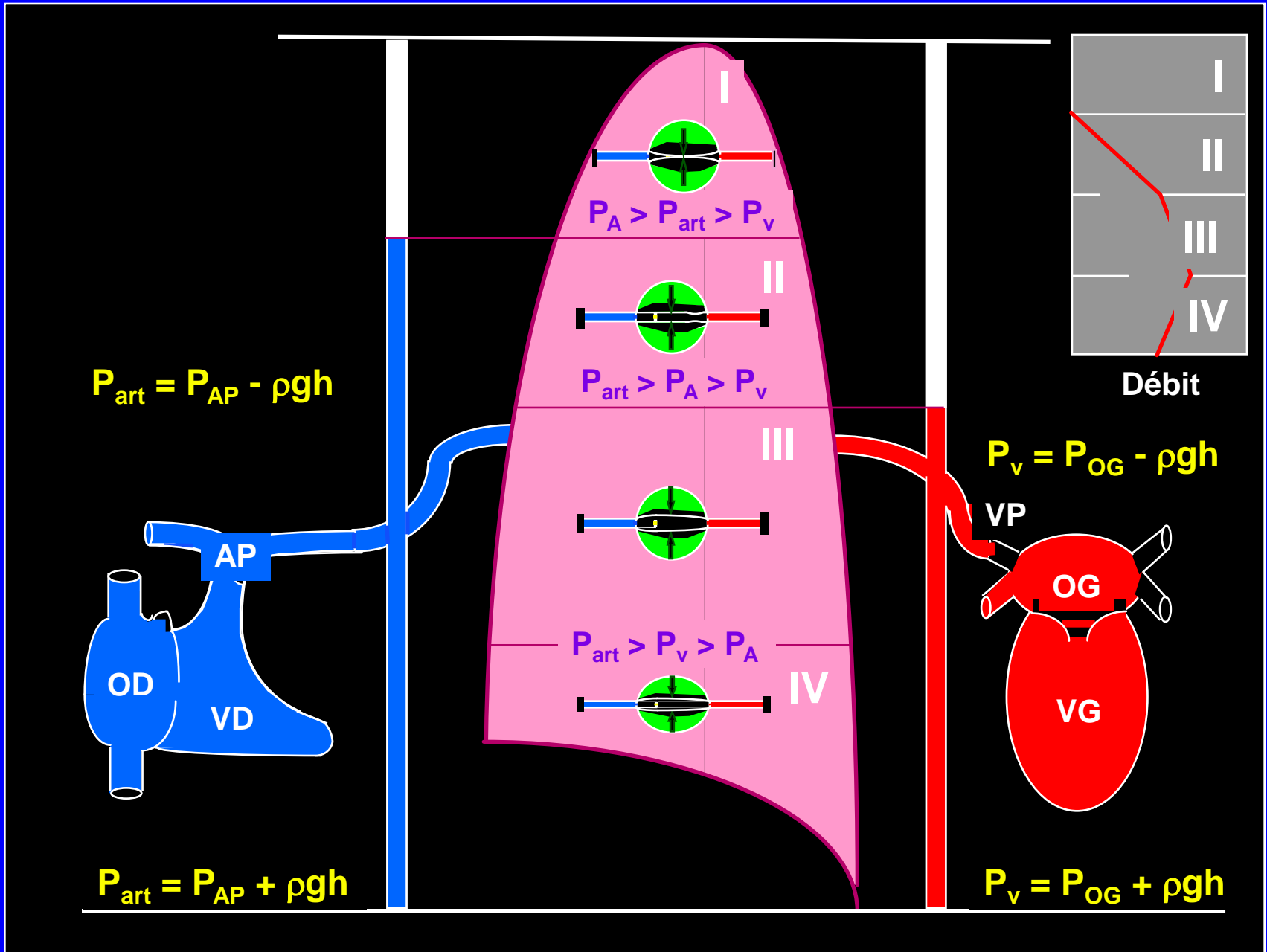
- Circulation pulmonaire
- Physiologie et physiopathologie des échanges gazeux

Circulation Pulmonaire



Perfusion pulmonaire intra et extra alvéolaire - Hémodynamique





Résistances Vasculaires Pulmonaires

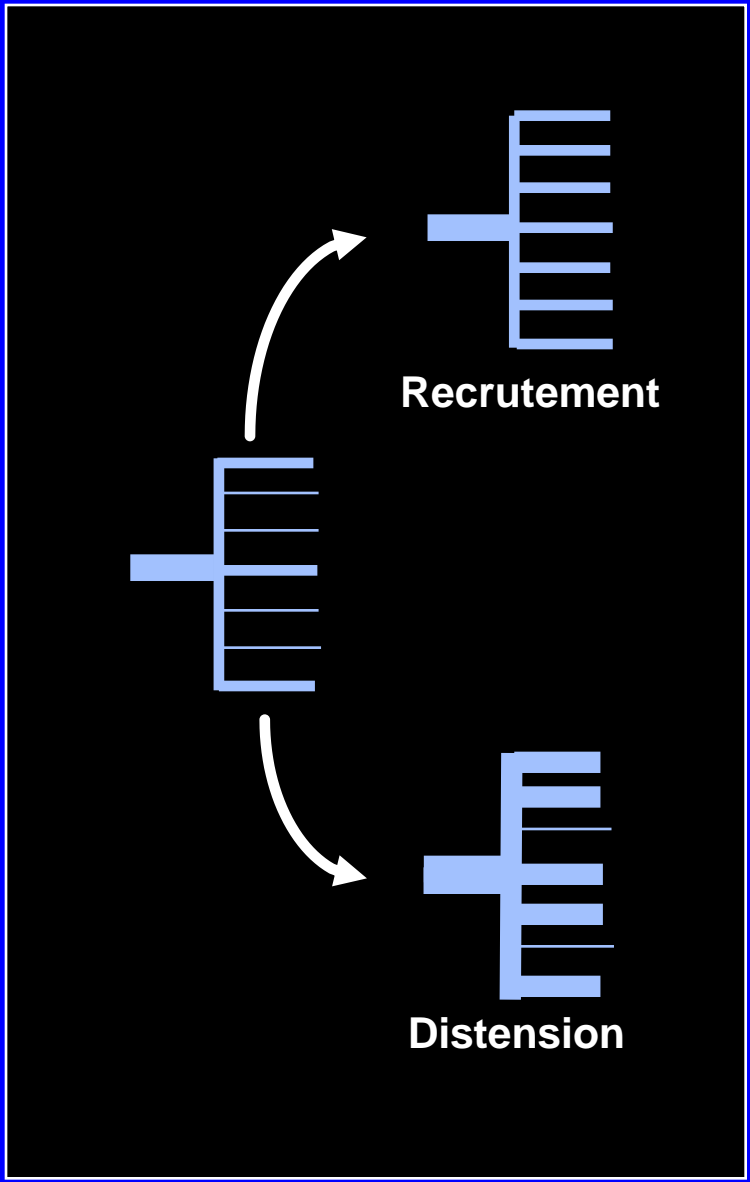
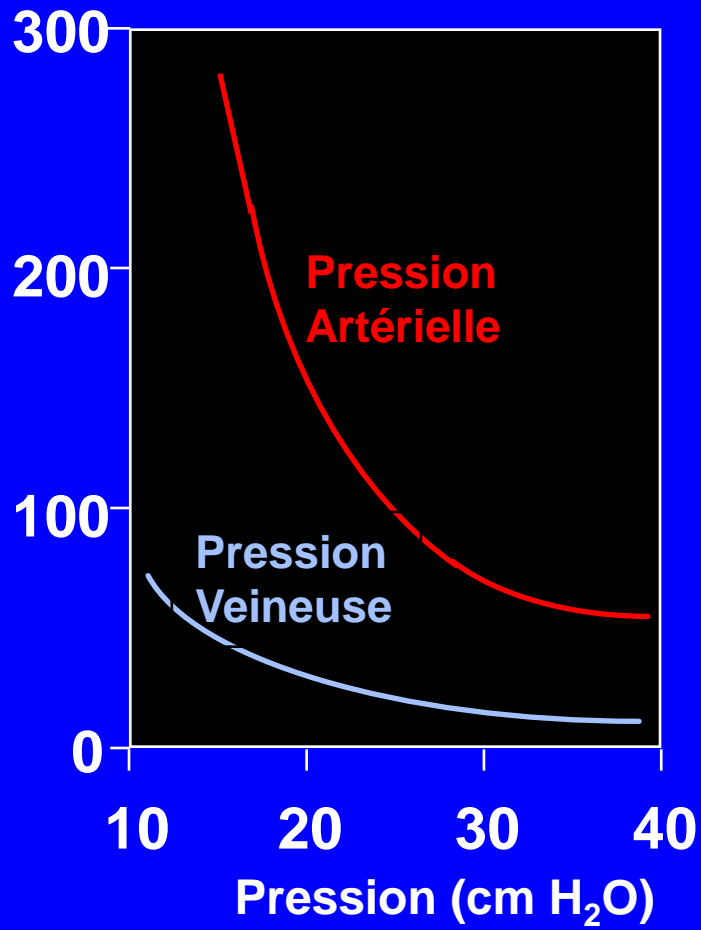
Pression Artérielle Pulmonaire Moyenne - Pression Moyenne de l'Oreillette Gauche (mmHg)

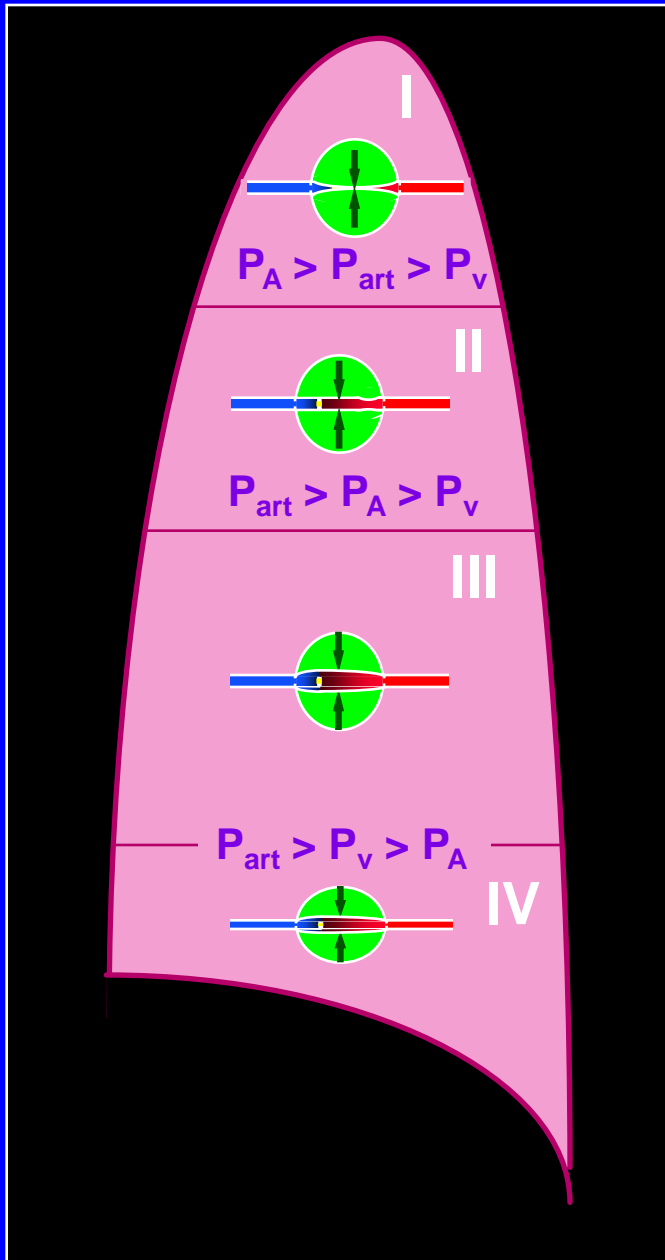
Débit Cardiaque (L/min)

$$\frac{\bar{P}_{AP} - \bar{P}_{CP}}{\dot{Q}_C} = \frac{12 - 6}{5} = 1,2 \text{ mmHg/L/min (UR)}$$

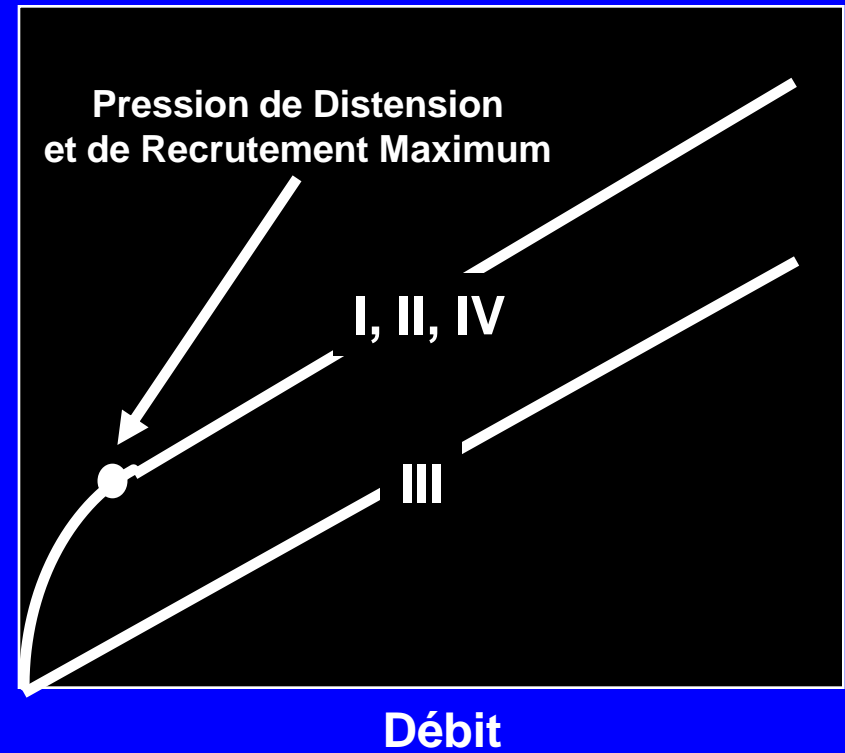
Facteurs modifiant les résistances vasculaires pulmonaires

Résistances Vasculaires Pulmonaires (cm H₂O/L/min)



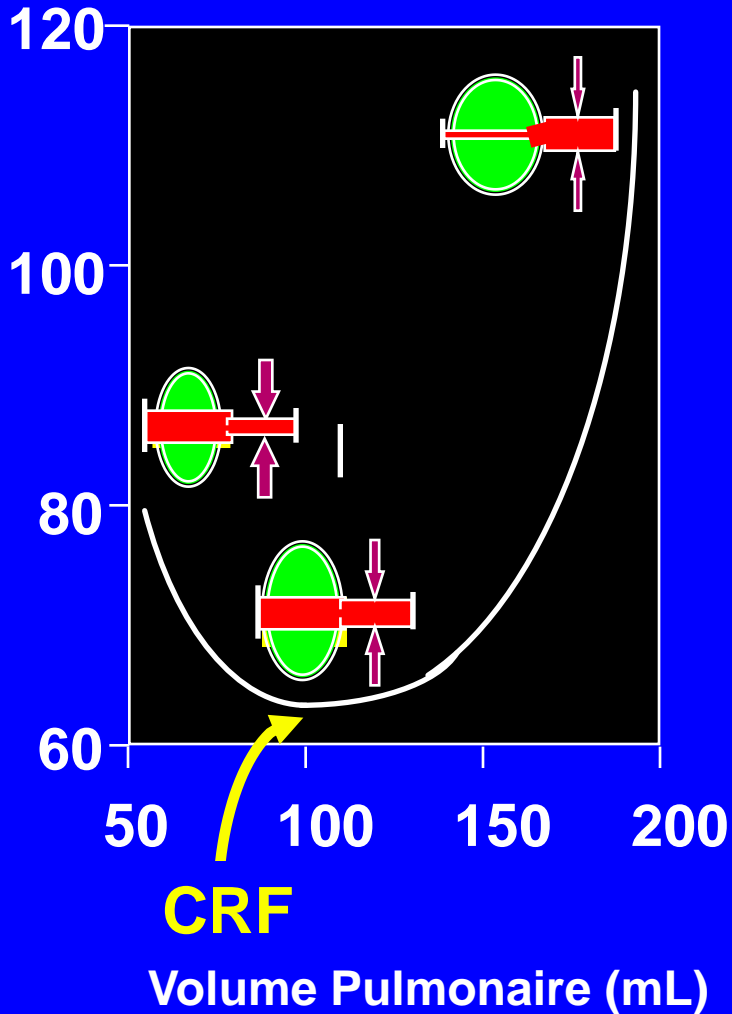


Pression

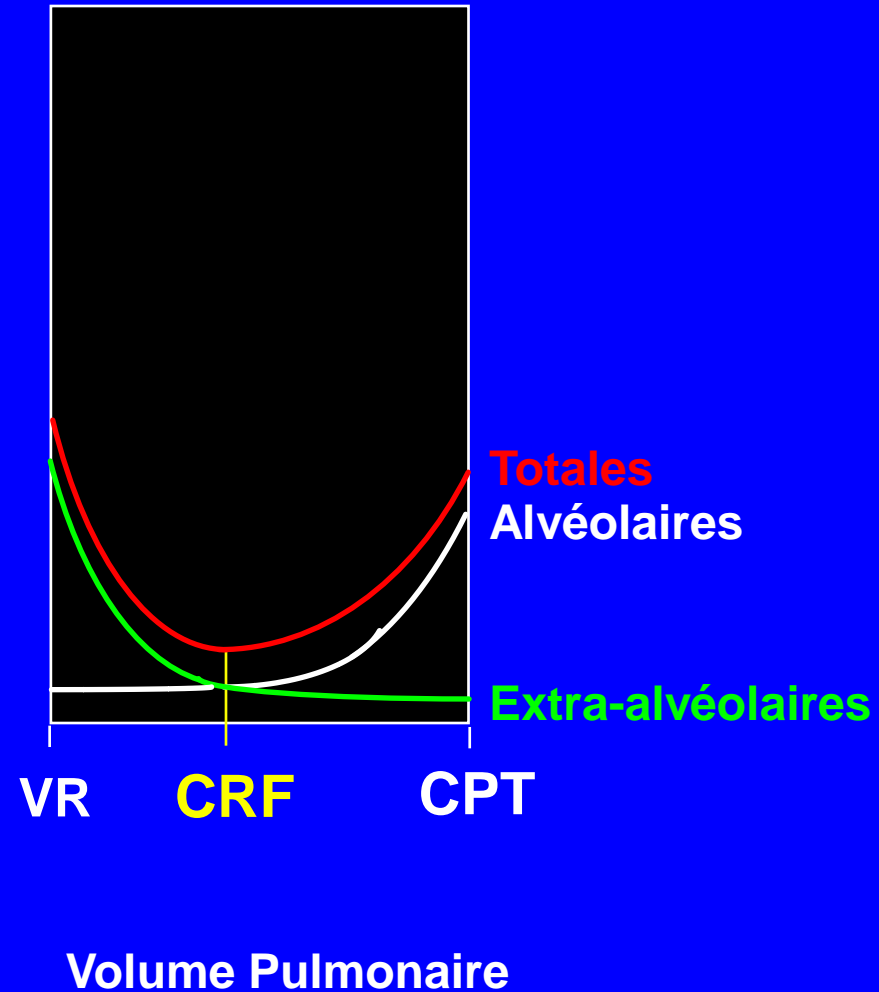


Facteurs modifiant les résistances vasculaires pulmonaires

Résistances Vasculaires Pulmonaires (cm H₂O/L/min)

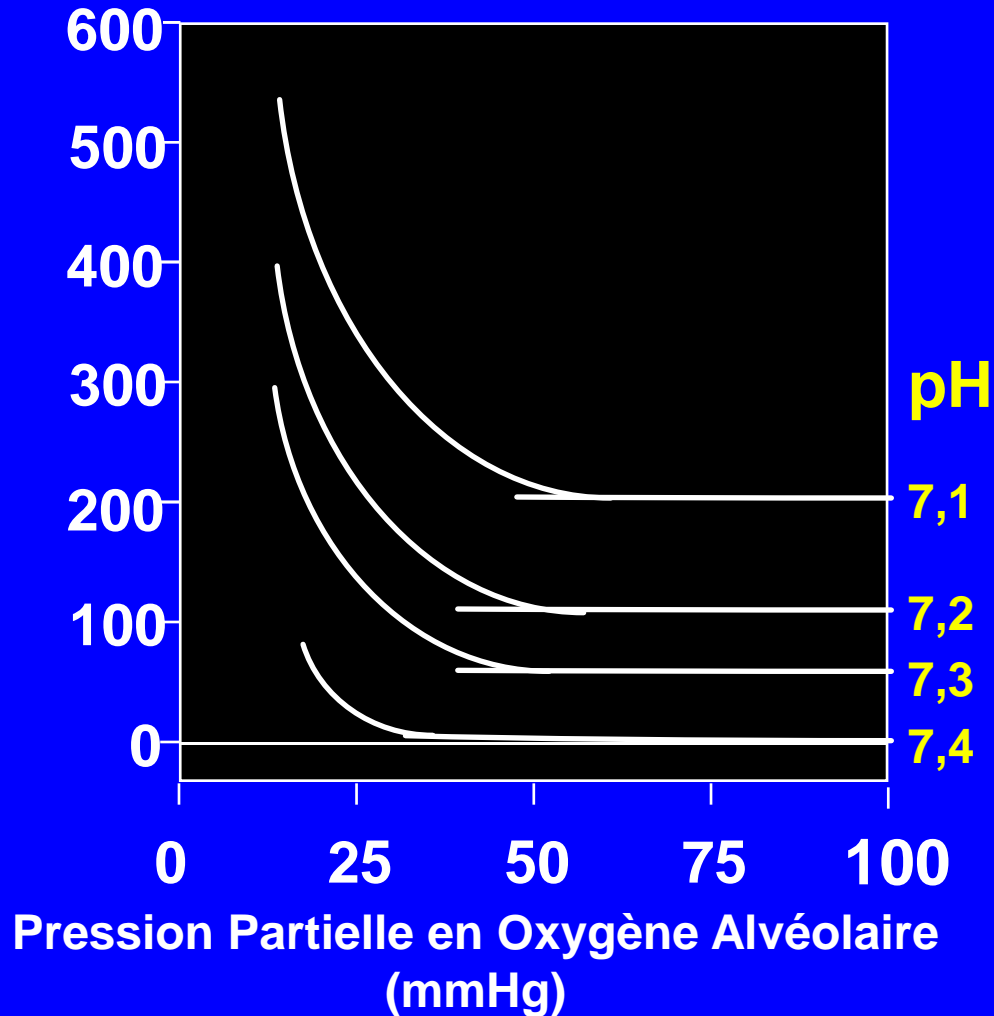


Résistances Vasculaires Pulmonaires



Facteurs modifiant les résistances vasculaires pulmonaires

Augmentation des Résistances Vasculaires Pulmonaires (%)



Facteurs modifiant les résistances vasculaires pulmonaires

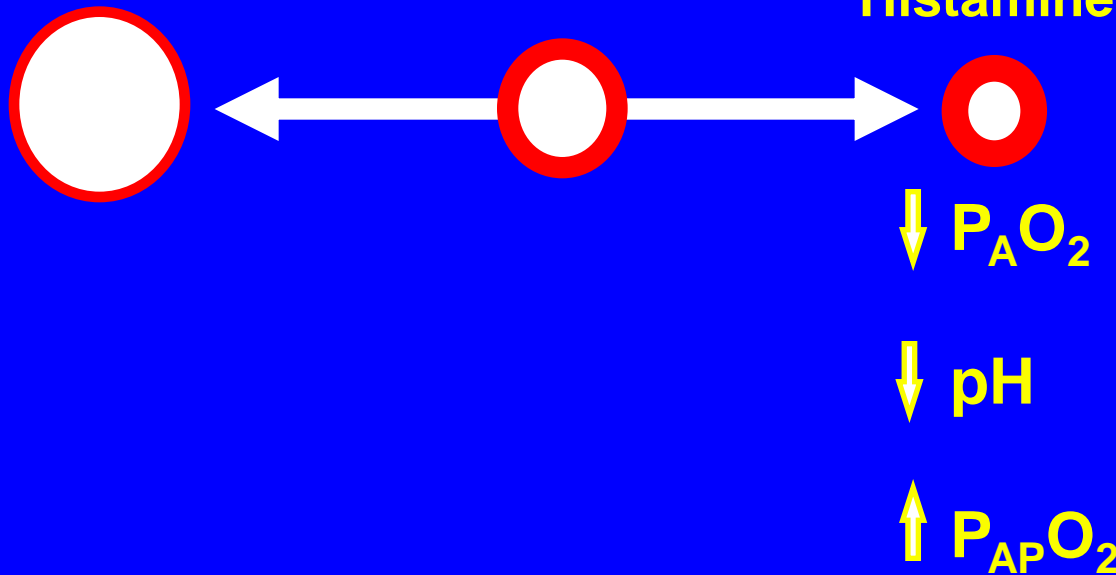
Vasomotricité des Artérioles Pulmonaires

Substances Circulantes

Acétylcholine
Prostaglandine E
Bradykinine

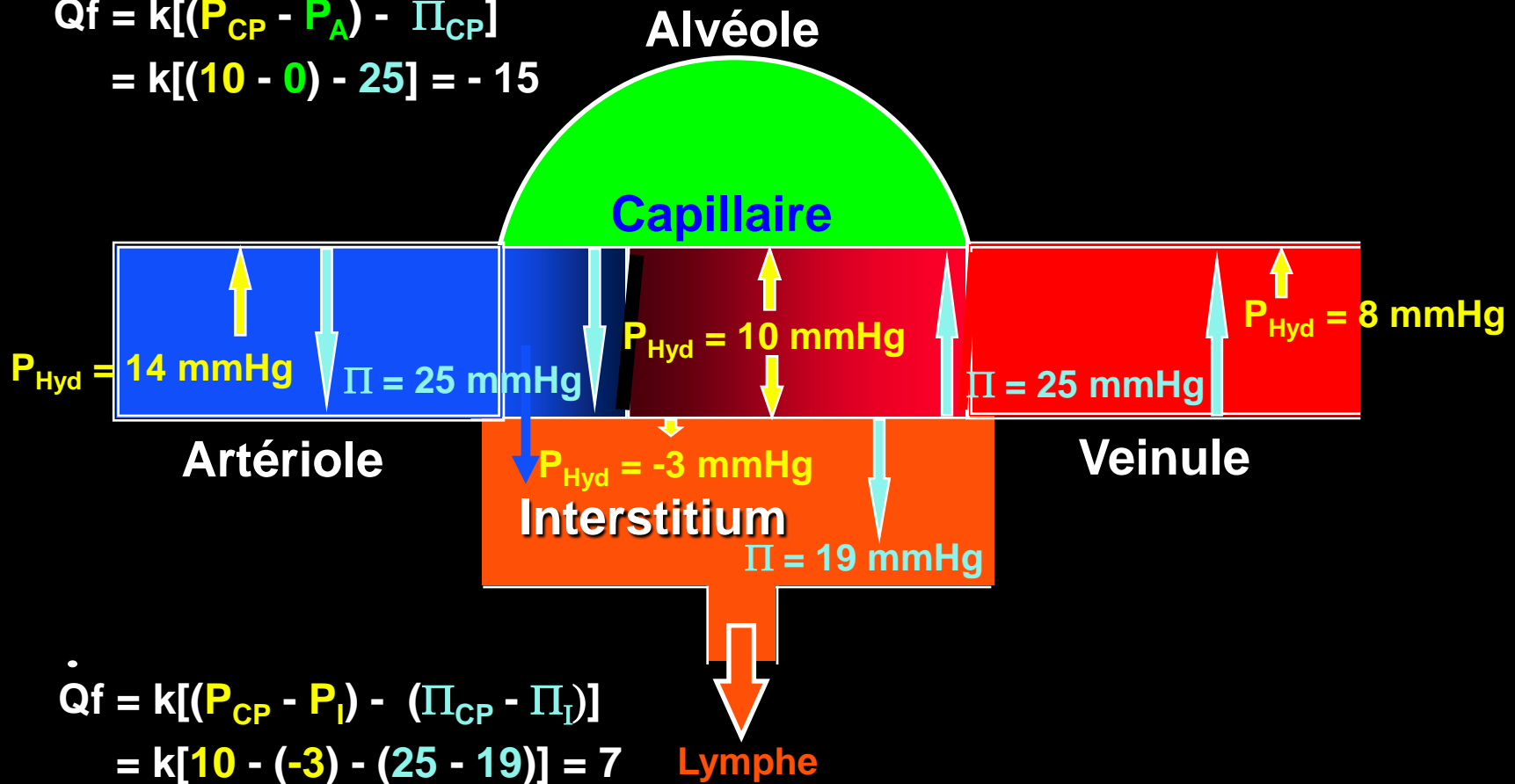
Substances Circulantes

Catécholamines
Prostaglandine F
Angiotensine II
Histamine



Échanges liquidiens intra pulmonaires

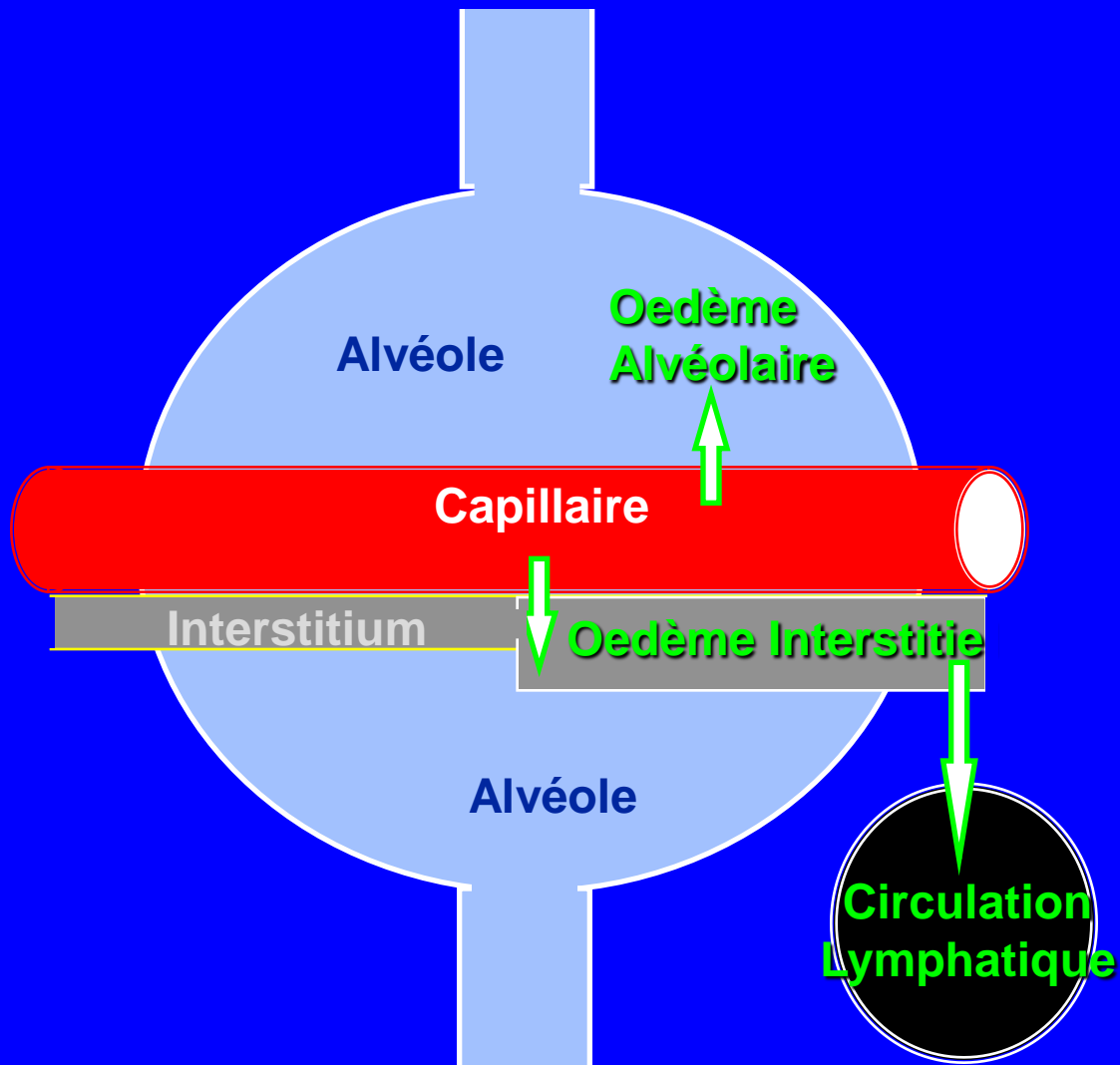
$$\begin{aligned}\dot{Q}_f &= k[(P_{CP} - P_A) - \Pi_{CP}] \\ &= k[(10 - 0) - 25] = -15\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\dot{Q}_f &= k[(P_{CP} - P_I) - (\Pi_{CP} - \Pi_I)] \\ &= k[10 - (-3) - (25 - 19)] = 7\end{aligned}$$

Lymphhe

Oedème Pulmonaire



Etiologies

↑ P_{cap}

↓ Π

Lésion

Physiologie et physiopathologie des échanges gazeux

- La ventilation alvéolaire
- La diffusion alvéolo-capillaire
- Le court-circuit droit-gauche
- Les anomalies de distribution des rapports V_A/Q_C

La ventilation alvéolaire

Fréquence respiratoire 15/min

Ventilation totale 7500 ml/min

Volume courant
500ml

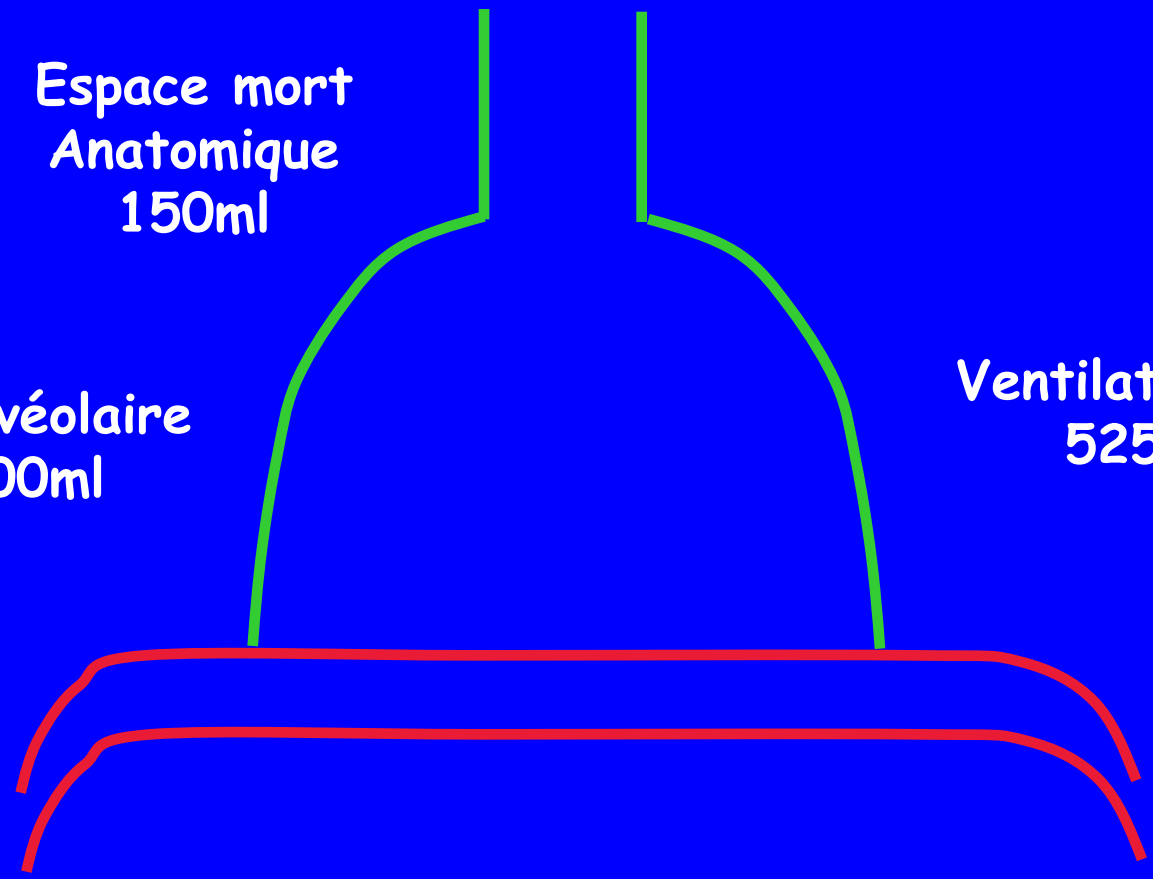
Espace mort
Anatomique
150ml

Gaz alvéolaire
3000ml

Ventilation alvéolaire
5250 ml/min

Sang Capillaire
Pulmonaire
70 ml

Débit sanguin
Pulmonaire
5000 ml/min



Trachée
1ère génération

Zone de conduction

(espace mort anatomique)

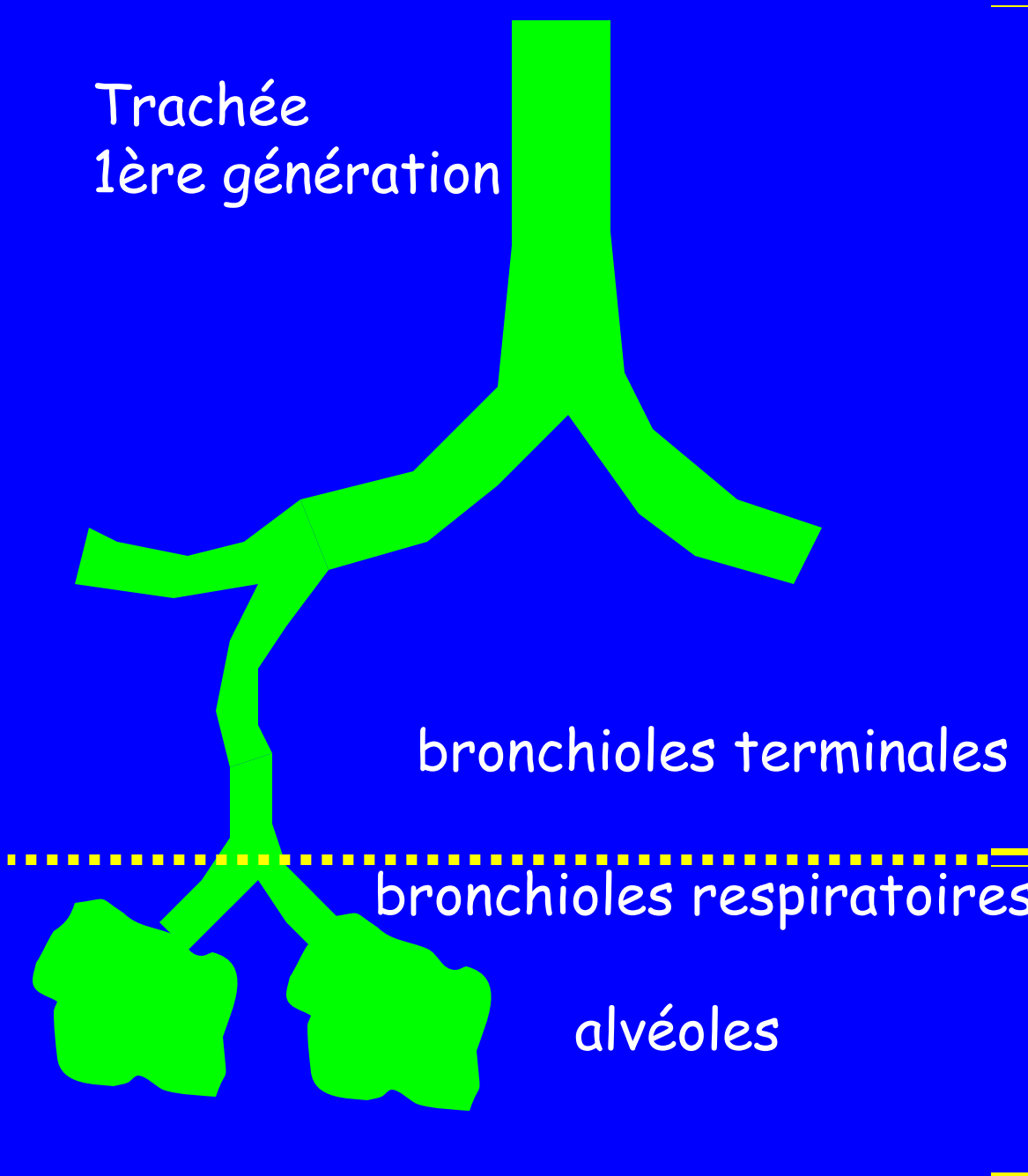
bronchioles terminales

bronchioles respiratoires

**Zone des échanges
Gazeux**

(espace alvéolaire)

alvéoles



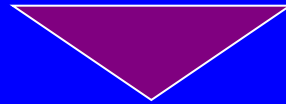
Espace mort anatomique VD

- Ne participe pas aux échanges gazeux
- Zone de conduction : environ 150 ml (2ml/kg)
- Rôle +++
 - Réchauffer et humidifier l'air inspiré
 - Epurer l'air inspiré des grosses particules
- En série entre la bouche et les alvéoles
- Altère l'efficacité de la ventilation
 - Une fraction de l'air inspiré ne parvient pas aux alvéoles

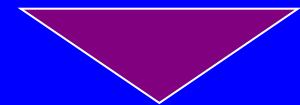
Espace Mort (V_D)

Zones ventilées mais non perfusées = pas d'échanges gazeux

$$V_D \text{ physiologique} = V_D \text{ anatomique} + V_D \text{ alvéolaire}$$



Trachée
Bronches
Bronchioles terminales



Alvéoles ventilées
Non perfusées

Gaz Inspiré

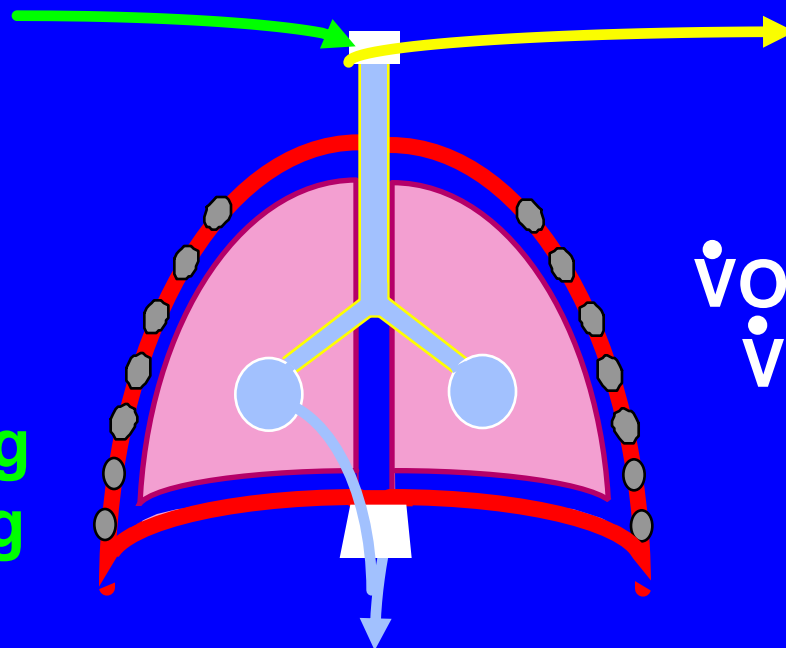
$$F_I O_2 = 21\%$$

$$F_I CO_2 = 0\%$$

$$F_I N_2 = 79\%$$

$$P_I O_2 = 150 \text{ mmHg}$$

$$P_I CO_2 = 0 \text{ mmHg}$$



Gaz Expiré

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

$$\dot{V}O_2 = \dot{V}_T (F_I O_2 - F_E O_2)$$

$$\dot{V}CO_2 = \dot{V}_T \cdot F_E CO_2$$

$$F_E O_2 = 17,5\%$$

$$F_E CO_2 = 3,5\%$$

Gaz Alvéolaire

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

$$\dot{V}O_2 = \dot{V}_A \cdot (F_I O_2 - F_A O_2)$$

$$\dot{V}CO_2 = \dot{V}_A \cdot F_A CO_2$$

$$F_A O_2 = 14\% \quad F_A CO_2 = 5,5\%$$

$$P_A O_2 = 100 \text{ mmHg}$$

$$P_A CO_2 = 40 \text{ mmHg}$$

Ventilation alvéolaire V_A

Équations des gaz alvéolaires

- La ventilation alvéolaire est la fraction de la ventilation totale (V_E) qui parvient aux alvéoles
- Aucun échange gazeux dans le V_D
- Tout le CO_2 expiré provient donc du gaz alvéolaire

$$\dot{V}CO_2 = \dot{V}_A \cdot F_{ACO_2} = \dot{V}_A \cdot P_{ACO_2} \cdot K$$

$$P_{ACO_2} = \frac{\dot{V}CO_2 \times 0.863}{\dot{V}_A}$$

Equation de l'air alvéolaire

$$PAO_2 = PIO_2 - PAO_2/R$$

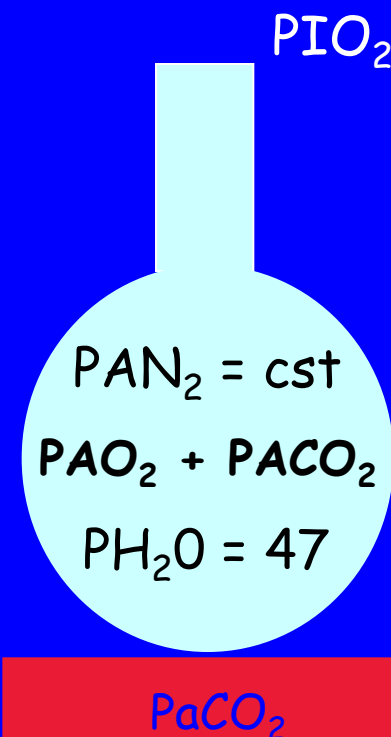
$$PA_{CO_2} = Pa_{CO_2}$$

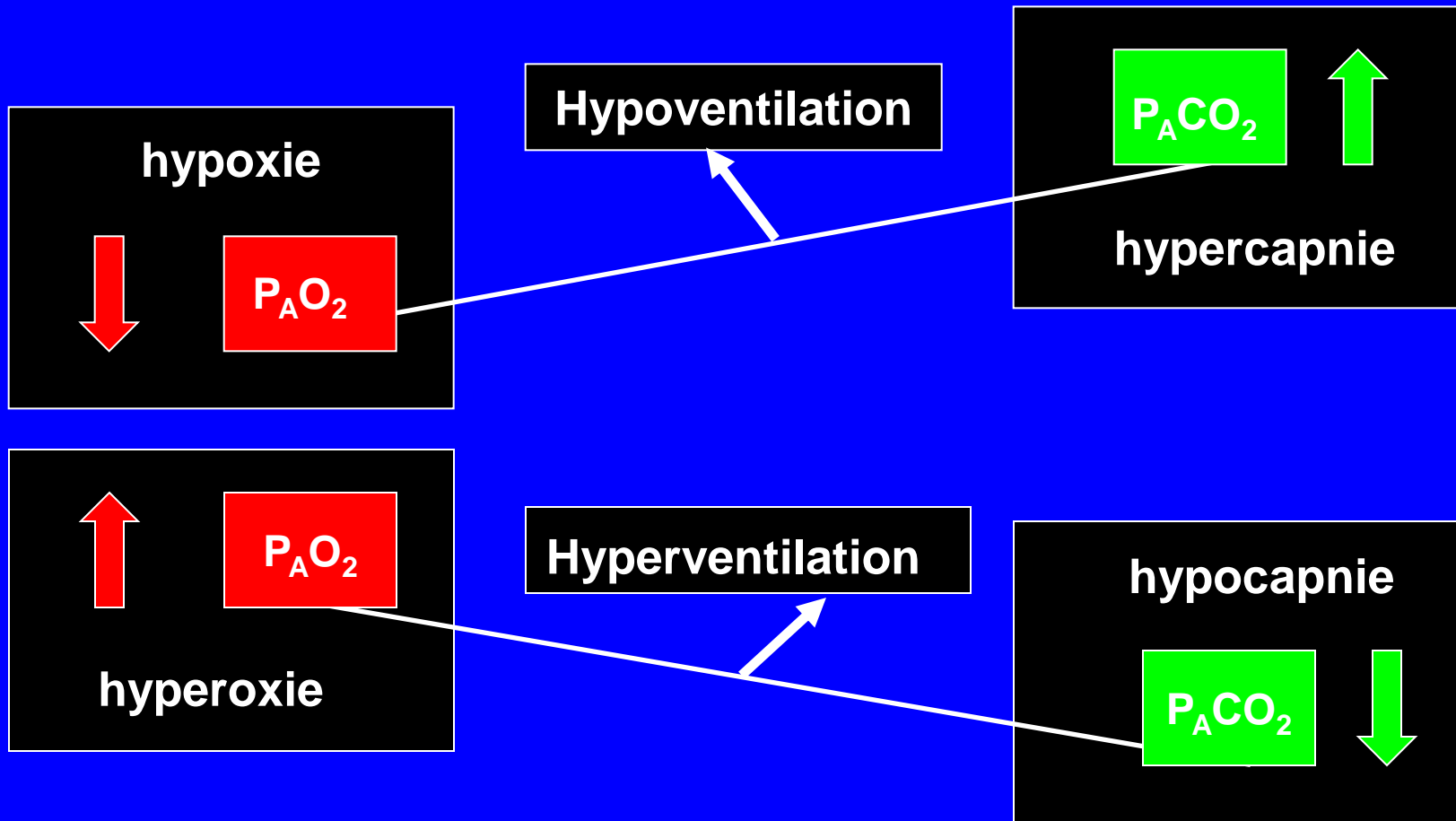
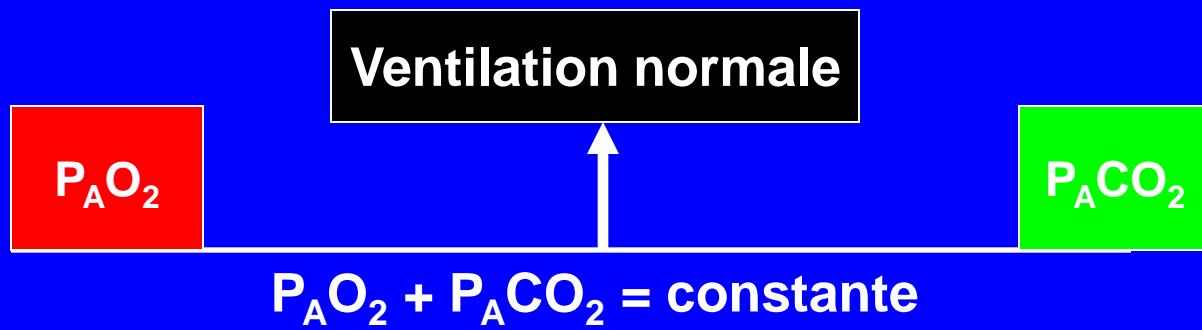
$$R = \text{quotient respiratoire} = \dot{V}CO_2 / \dot{V}O_2 = 0,8$$

$$PIO_2 = 150 \text{ mmHg}$$

En pratique clinique:

$$PAO_2 = 140 - PaCO_2$$





Causes d'hypoventilation alvéolaire

- Dépression des centres respiratoires par des drogues
- Atteinte des centres respiratoires par tumeur, hémorragie, encéphalopathie
- Atteinte de la moelle épinière (poliomyélite)
- Atteinte des racines nerveuses des nerfs moteurs (Guillain Barré, diphtérie) de la jonction neuromusculaire (myasthénie)
- Atteinte des muscles respiratoires
- Atteinte de la cage thoracique (cyphoscoliose)
- Trouble ventilatoire obstructif, compression trachéale
- Augmentation de l'espace mort alvéolaire

L'hypoventilation alvéolaire

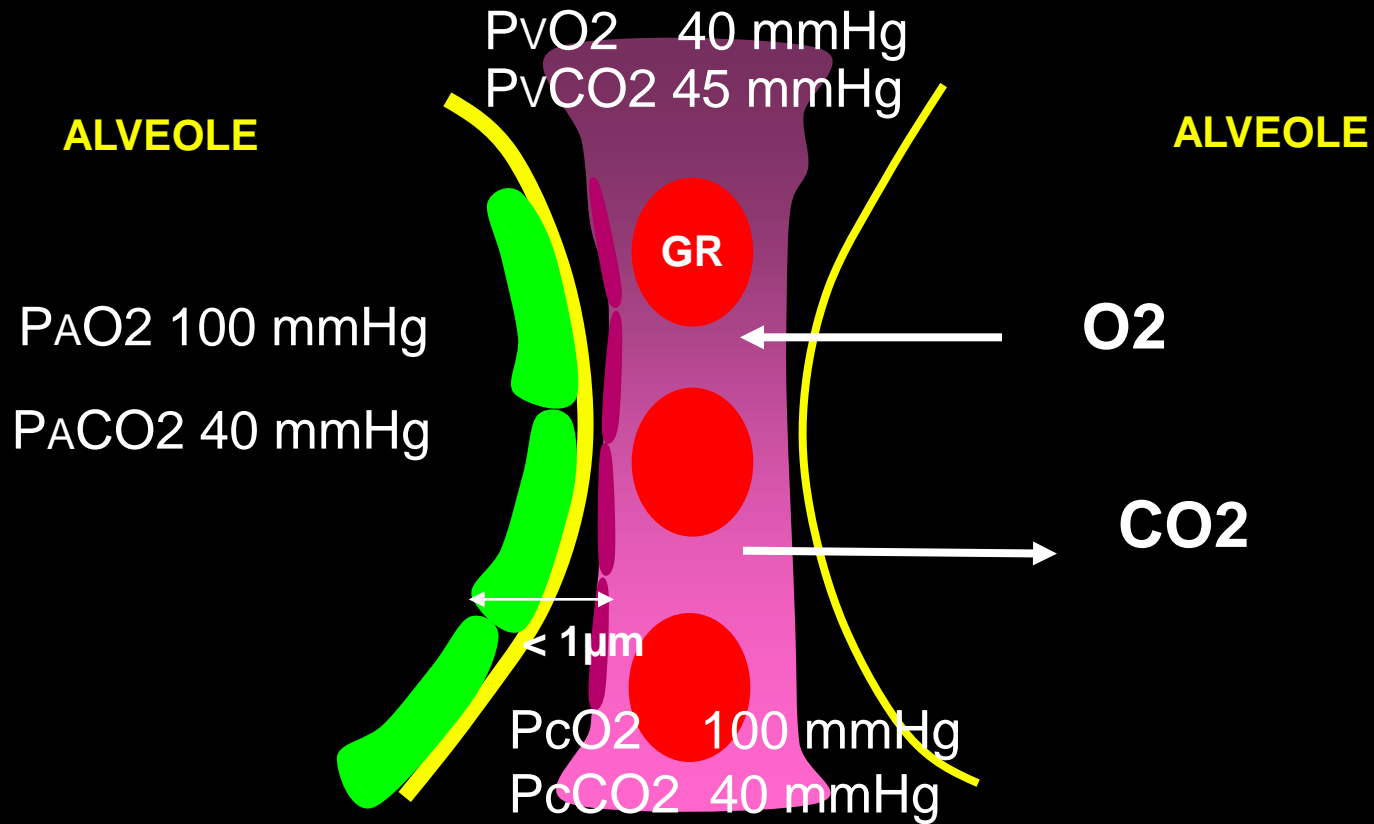
$P_aO_2 = 48 \text{ mmHg}$
 $P_aCO_2 = 80 \text{ mmHg}$
 $pH = 7,18$
 $HCO_3^- = 29,8 \text{ mmol/l}$

$$\begin{aligned} P_AO_2 &= P_I O_2 - 1,15 P_aCO_2 \\ &= (P_b - 47) F_I O_2 - 1,15(80) \\ &= [(760 - 47) 0,21] - 92 \\ &= 150 - 92 = 58 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

- Hypoxémie
 - Hypercapnie
 - Acidose respiratoire
 - $DA-a O_2 = 10 \text{ mmHg}$ (5 à 15 normale)
- Si $DA-a O_2$ normal = hypoventilation alvéolaire pure sans atteinte des bronches et parenchyme

La diffusion alvéolo- capillaire

DIFFUSION DES GAZ A TRAVERS LA MEMBRANE ALVEOLO CAPILLAIRE



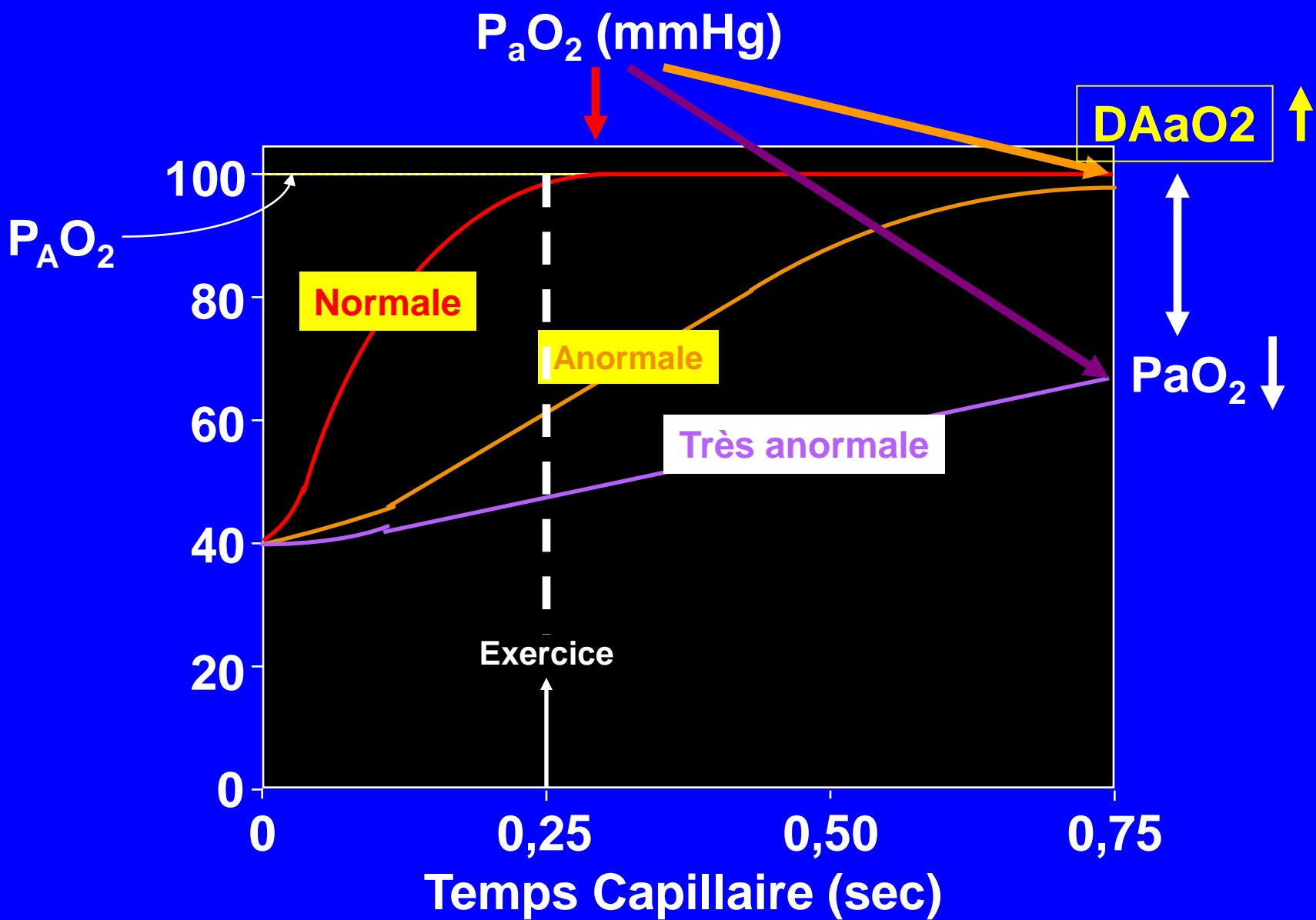
$$\dot{V}_{\text{GAZ}} = K \cdot (\text{PAO}_2 - \text{PVO}_2) \quad K \text{ dépend de } \text{sol, } e, S, \sqrt{PM}$$

Le transfert de gaz : loi de Fick

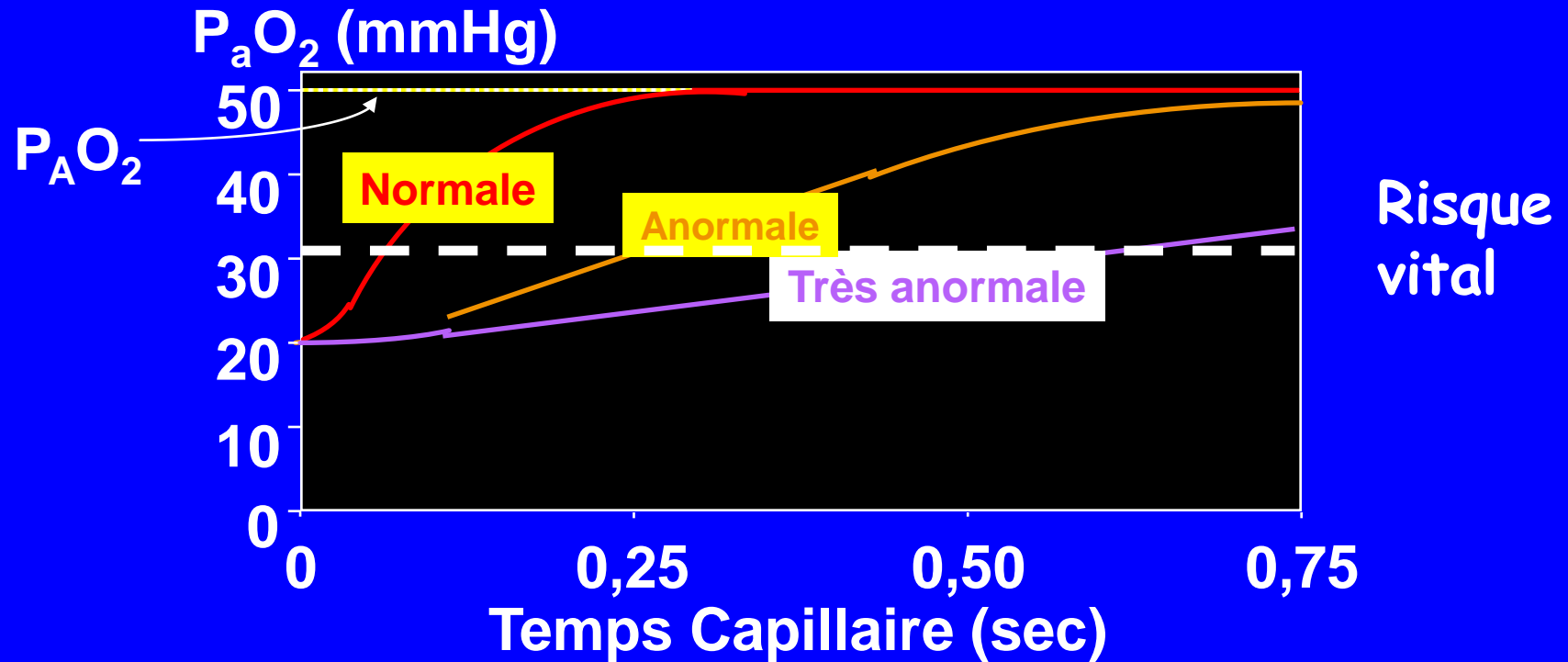
$$\dot{V}_{\text{gaz}} = S.d (P1-P2) / E$$

$$D = S.d / E$$

$$D = \dot{V}_{\text{gaz}} / P1-P2$$



Effet de l'altitude sur la diffusion

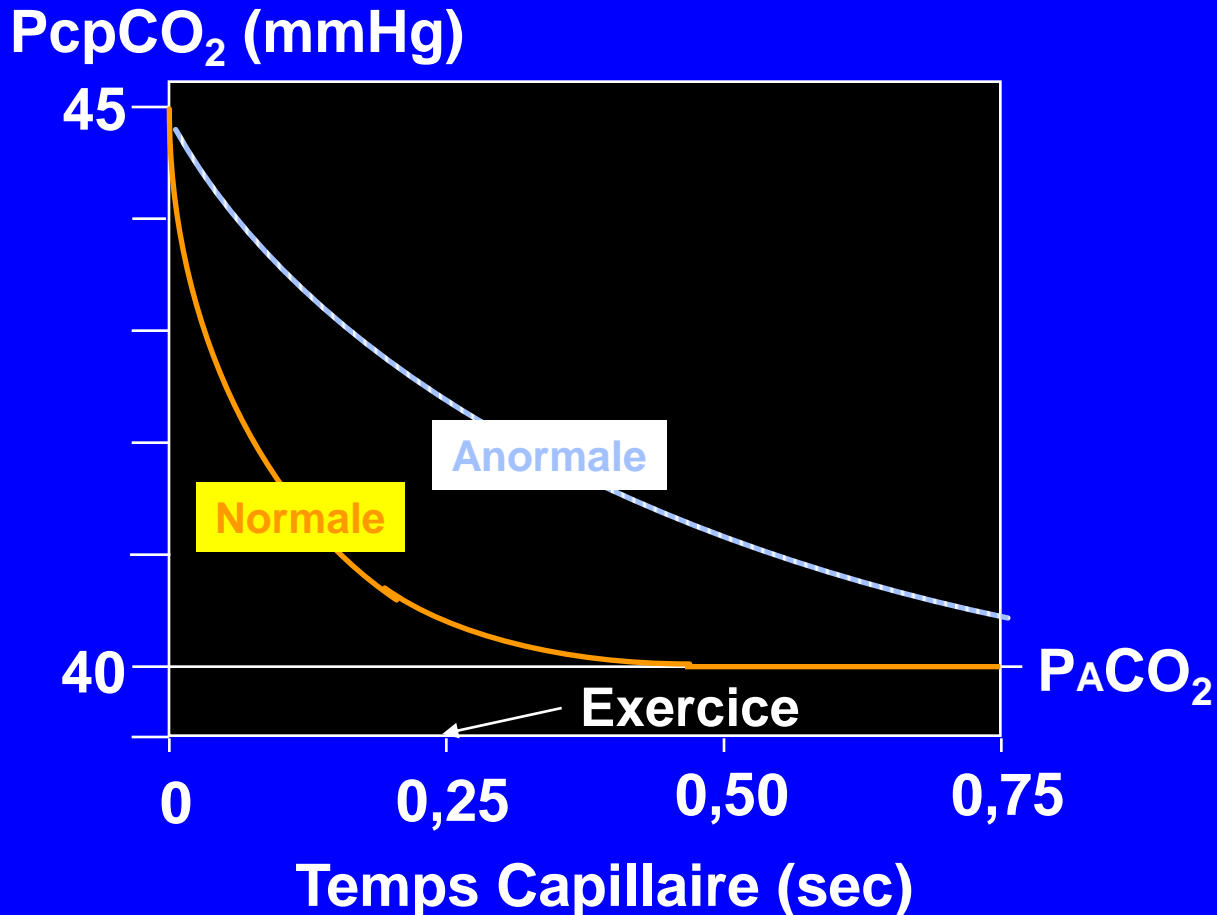


PAO₂ – PvO₂ diminué

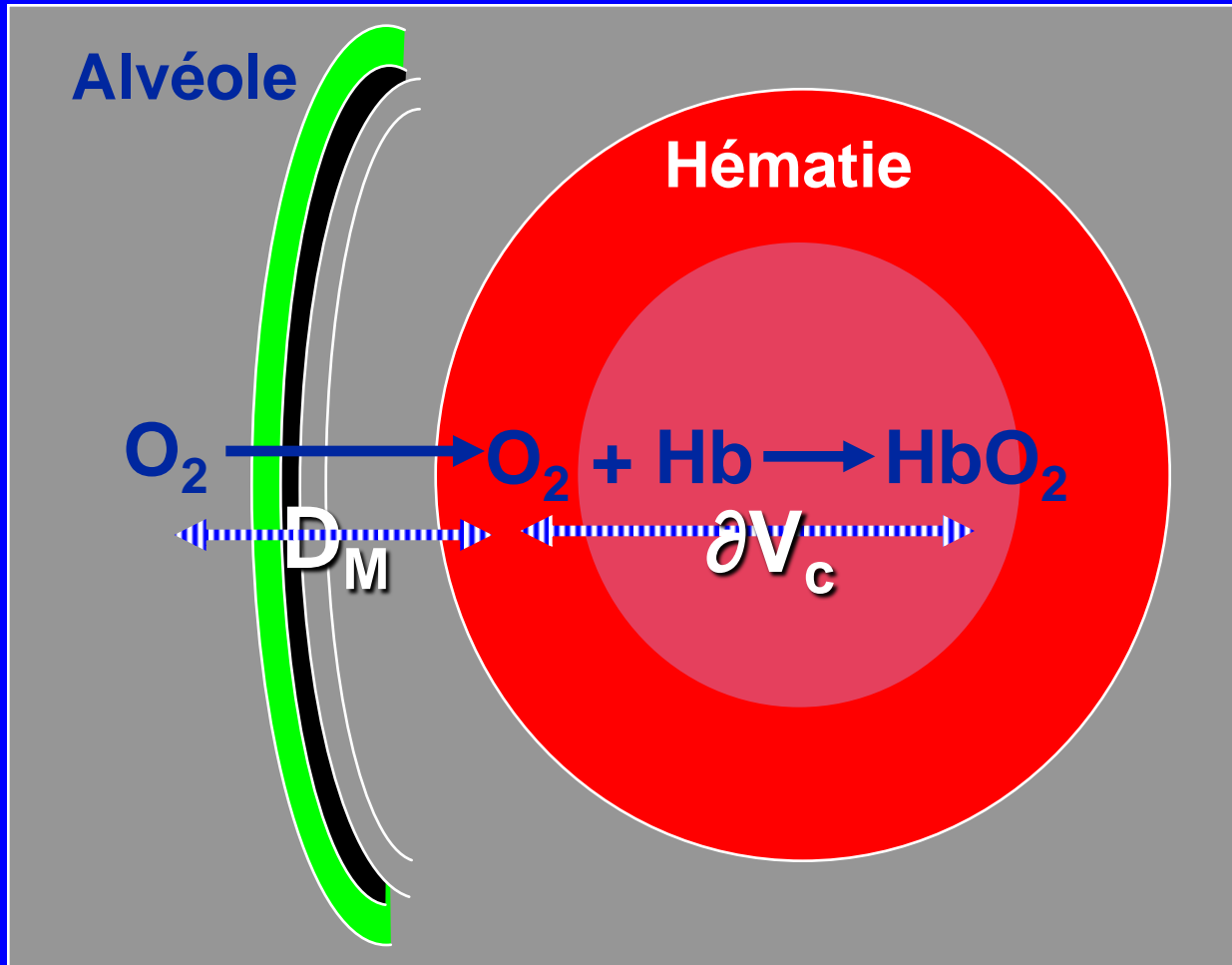
Vitesse de réaction Hb – O₂ diminué

Temps d'équilibre Alvéole – sang capillaire allongé

Diffusion capillaire – alvéole du CO₂



Le CO₂ a un coefficient de diffusion 20 fois plus grand que celui de l'O₂.



$$1/D_L = 1/D_M + 1/D_E$$

$$1/D_L = 1/D_M + 1/\partial V_c$$

Détermination du transfert alvéolo-capillaire chez l'homme

$$DL = \dot{V}(x) / P_A(x) - P_{cap}(x)$$

$$DLCO = \dot{V}(CO) / P_A(CO)$$

$$DLO_2 = 1,23 DLCO$$

Mesure du coefficient de transfert du CO par méthode en apnée

Causes de troubles de diffusion

1. Anomalies de la barrière

- Épaississement de la paroi dans les pathologies interstitielles (fibroses)
- Réduction de la surface d'échange (emphysème, pneumonectomie)

2. Anomalies vasculaires

- Réduction du volume sanguin (embolie)
- Réduction de la concentration en hémoglobine (anémie)

Le trouble de diffusion

<i>Repos :</i>		<i>Exercice :</i>	
PaO ₂	75 mmHg	55 mmHg	
PaCO ₂	34 mmHg	30 mmHg	
pH	7,44	7,50	
HCO ₃ ⁻	23,1 mmol/l	23,4	
DA-aO ₂	36 mmHg	60,5 mmHg	

- Hypoxémie
- DA-aO₂
- Aggravation avec l'exercice
- DLCO↓

s ↓

Surface de diffusion

e ↑

Distance de diffusion

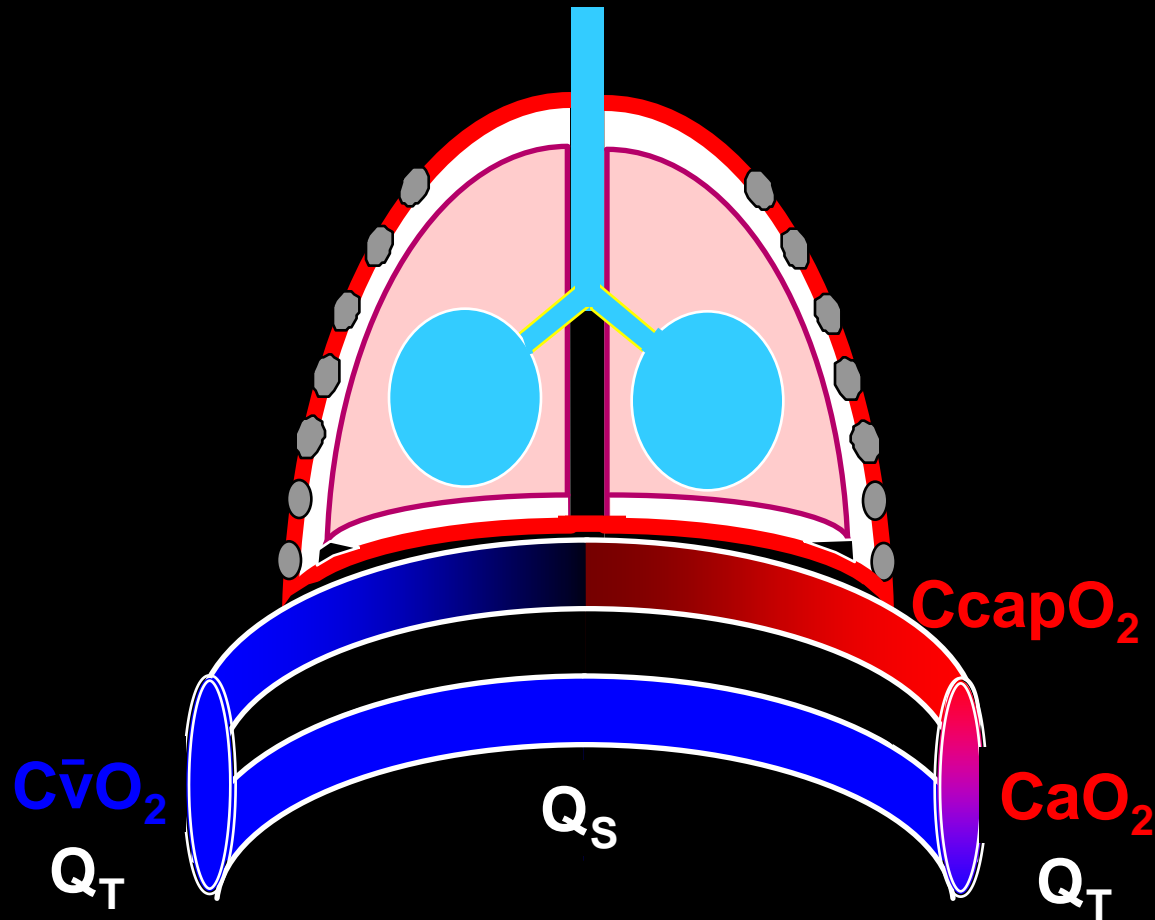
K ↓

Perméabilité

Q_c ↑

Débit cardiaque

Le court-circuit droit-gauche



$$Q_T \cdot CaO_2 = Q_S \cdot C_{\bar{v}O_2} + (Q_T - Q_S) \cdot C_{capO_2}$$

$$Q_S/Q_T = C_{capO_2} - CaO_2 / C_{capO_2} - C_{vO_2}$$

Causes de court circuit

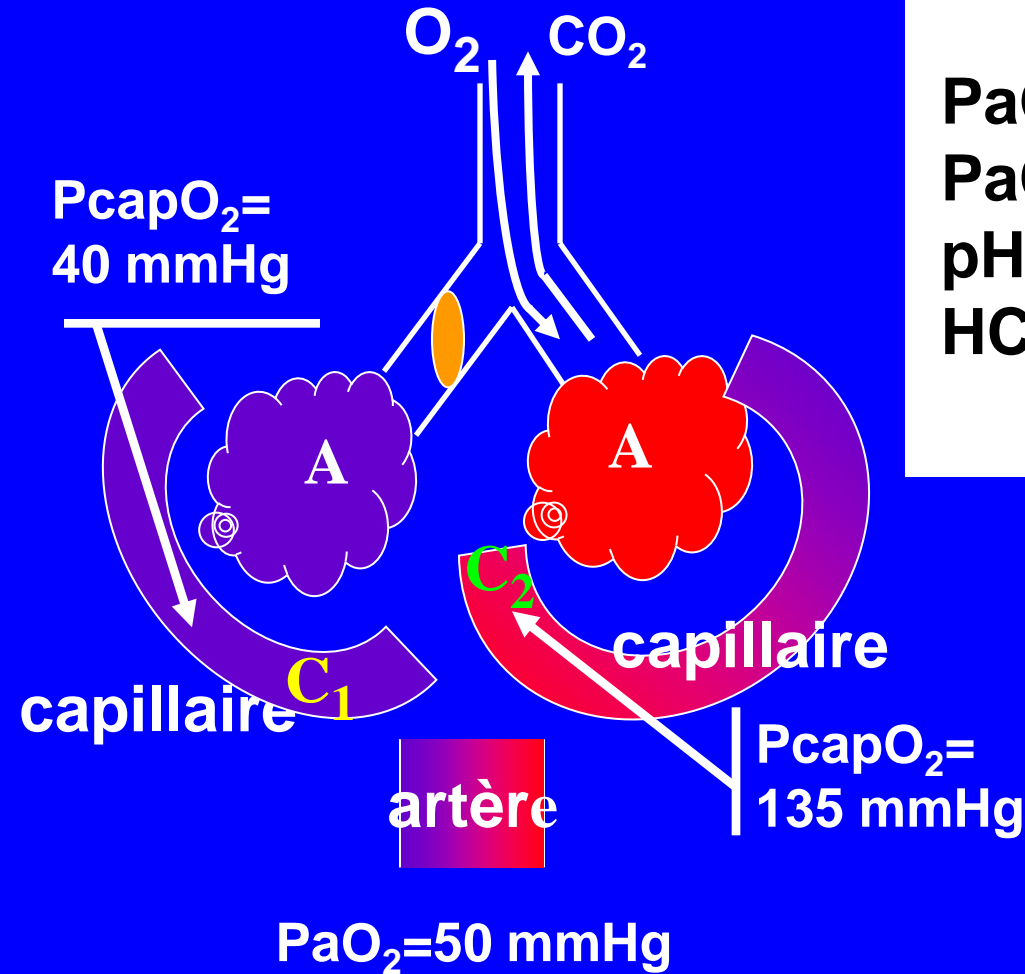
1. Physiologique :

- Anastomoses vraies entre les systèmes veineux et artériel intra pulmonaires
- Veines bronchiques débouchant dans les veines pulmonaires
- Veines de Thébésius drainant une partie du sang veineux myocardique dans le ventricule gauche

2. Pathologique :

- Pneumonie
- Œdème pulmonaire
- Ouverture d'anastomoses intra pulmonaire (cirrhose hépatique)

Le court-circuit droit-gauche



	A.A	$\text{O}_2 = 100\%$
P_{aO_2}	50	65 mmHg
P_{aCO_2}	38	42 mmHg
pH	7,42	7,38
HCO_3^-	24,6	24,8
shunt D-G		50 % de Q_c

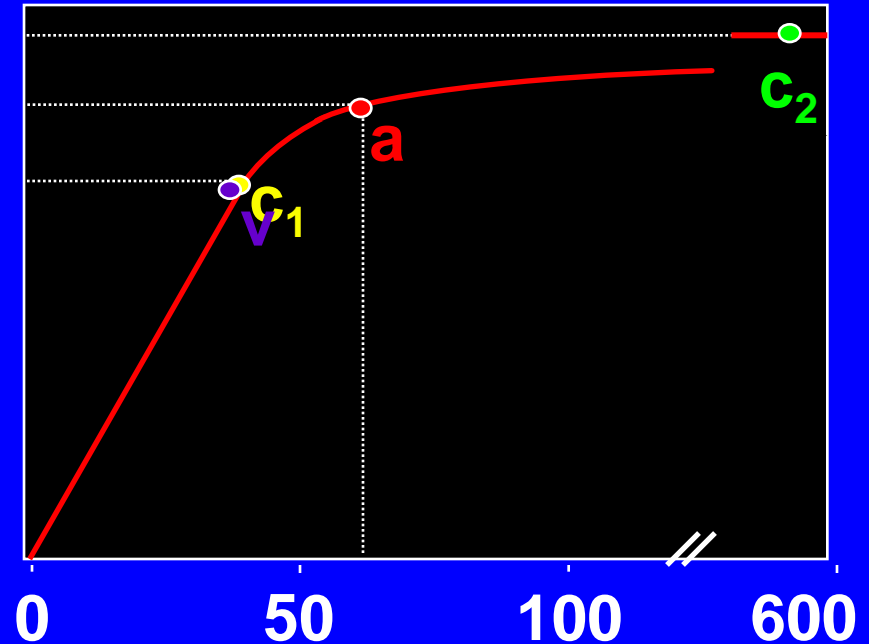
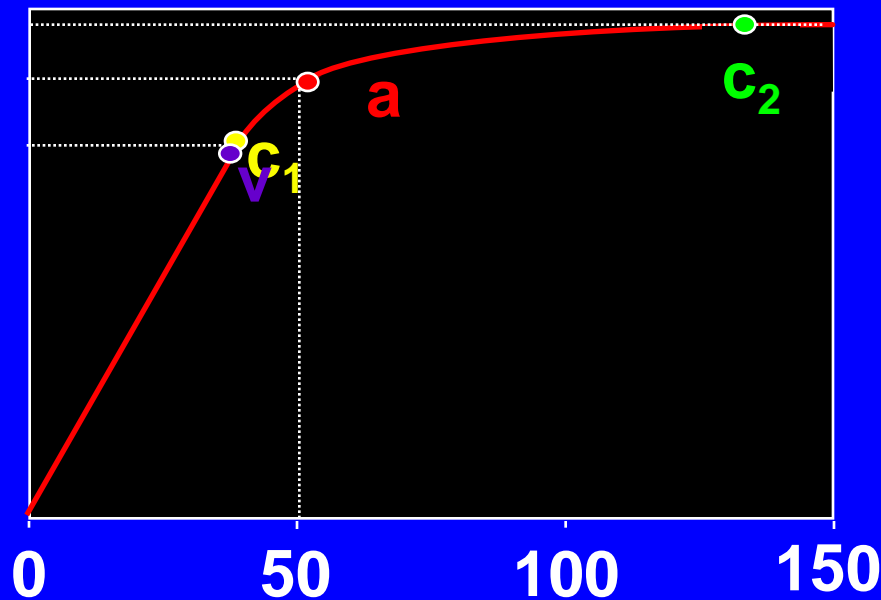
- Hypoxémie
- Normocapnie
- Epreuve d'hyperoxie anormale

Le court-circuit droit-gauche

Oxygénation (21 %)

Oxygénation (100 %)

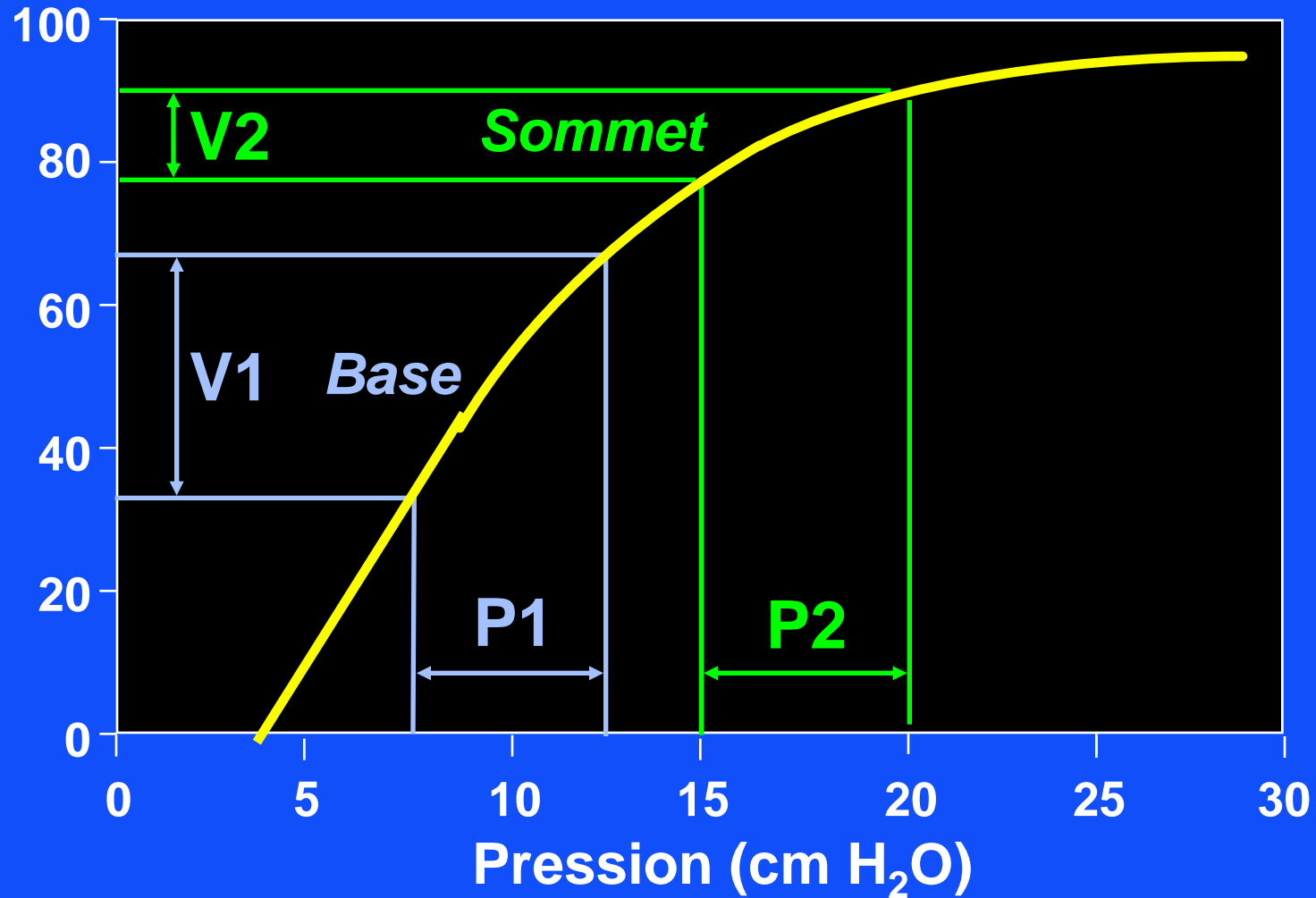
Concentration en O_2



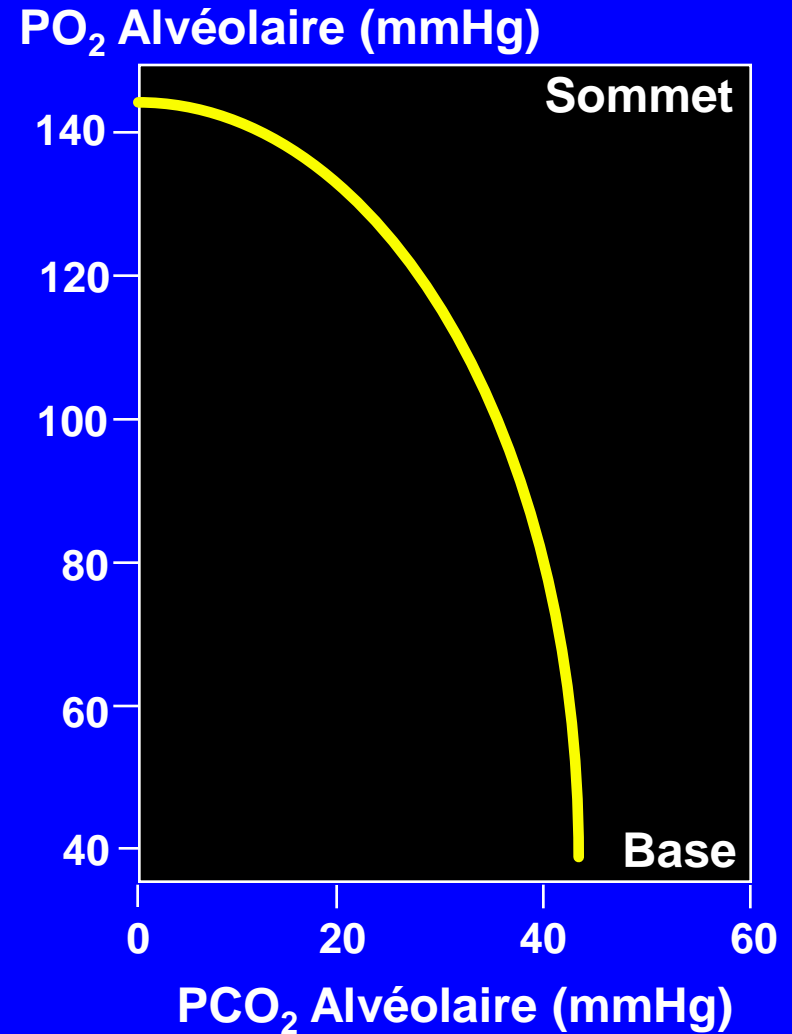
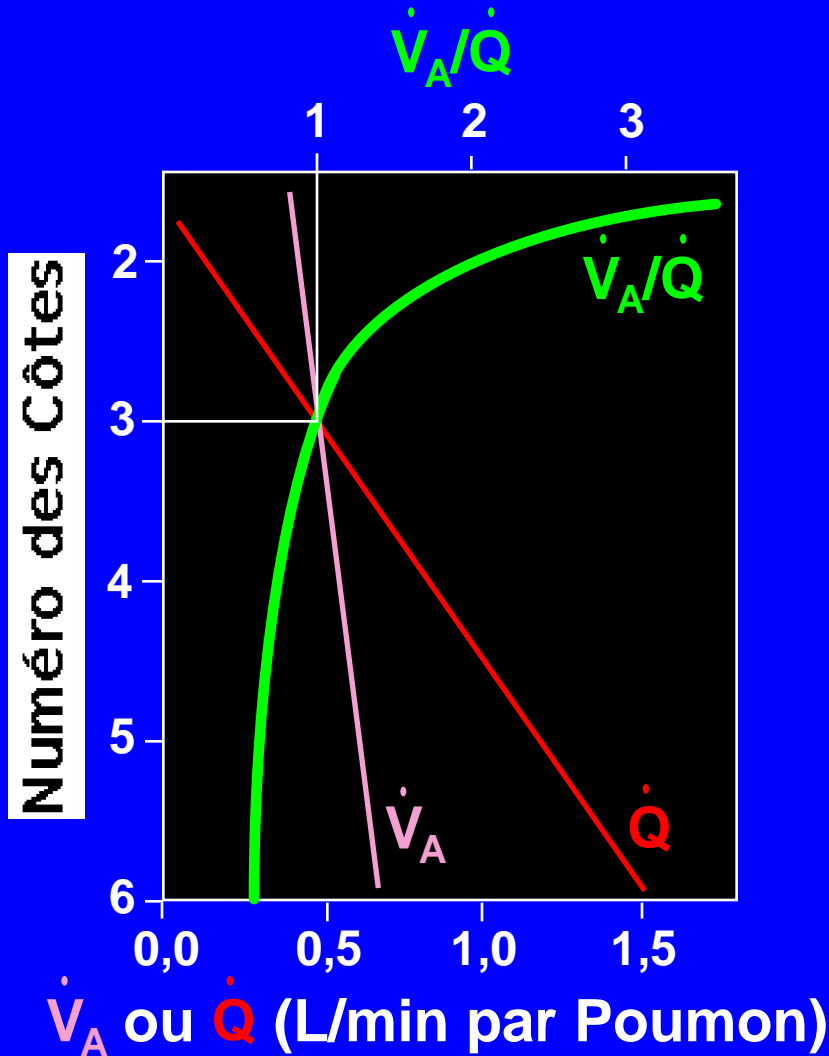
Pression Partielle en Oxygène (mmHg)

**Les anomalies de distribution
des rapports \dot{V}_A/\dot{Q}_C**

Capacité Vitale (%)



Rapport Ventilation-Perfusion: \dot{V}_A/\dot{Q}

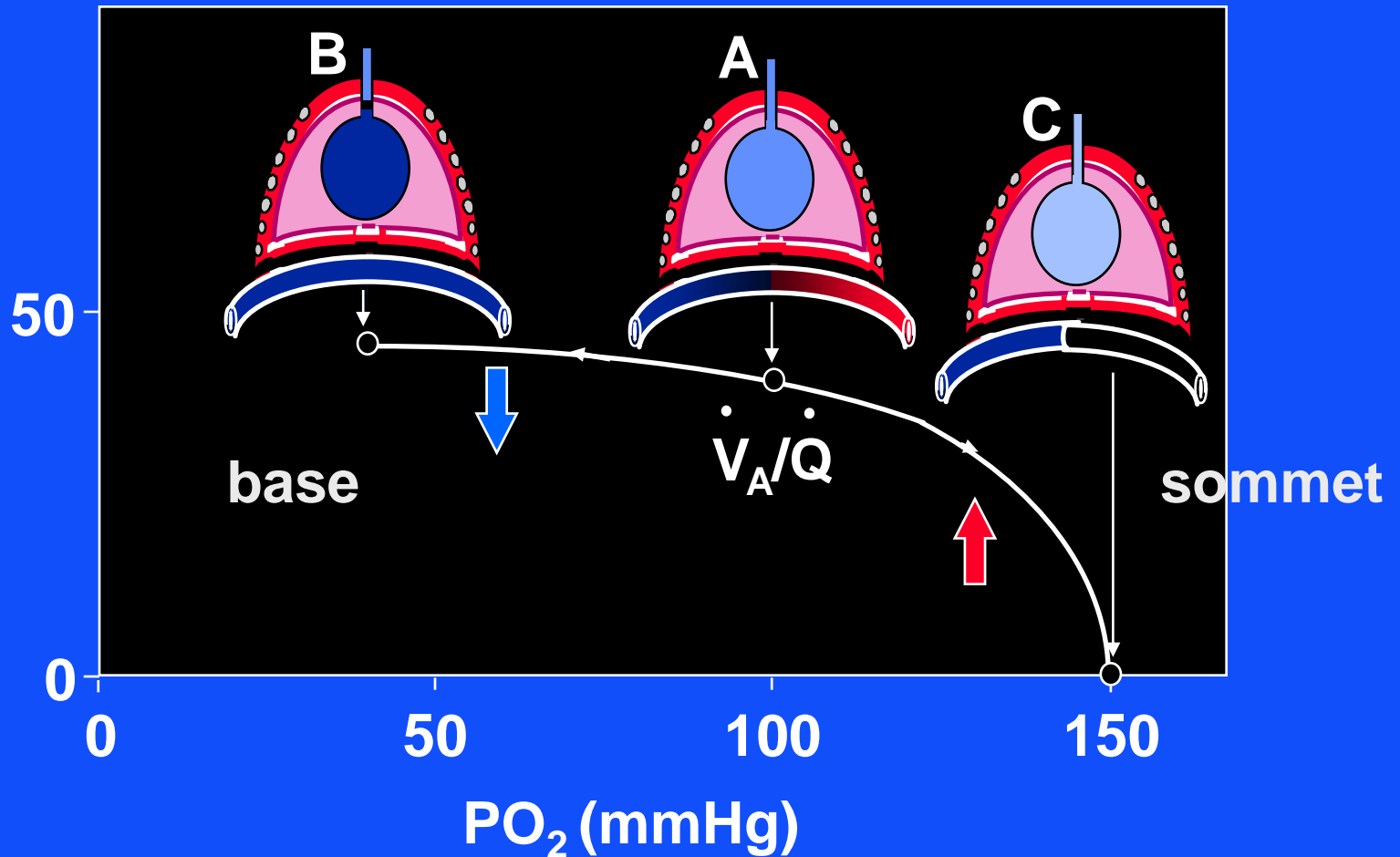


La distribution des rapports ventilation/perfusion

- Physiologiquement non homogène
- En pathologie, on observe une inhomogénéité plus grande dans tous les troubles ventilatoires obstructifs et restrictifs avec apparition d' :
 - Effet shunt par trouble de distribution de la ventilation (tendance au shunt)
 - Effet espace mort par trouble de distribution de la perfusion (tendance à l'espace mort)

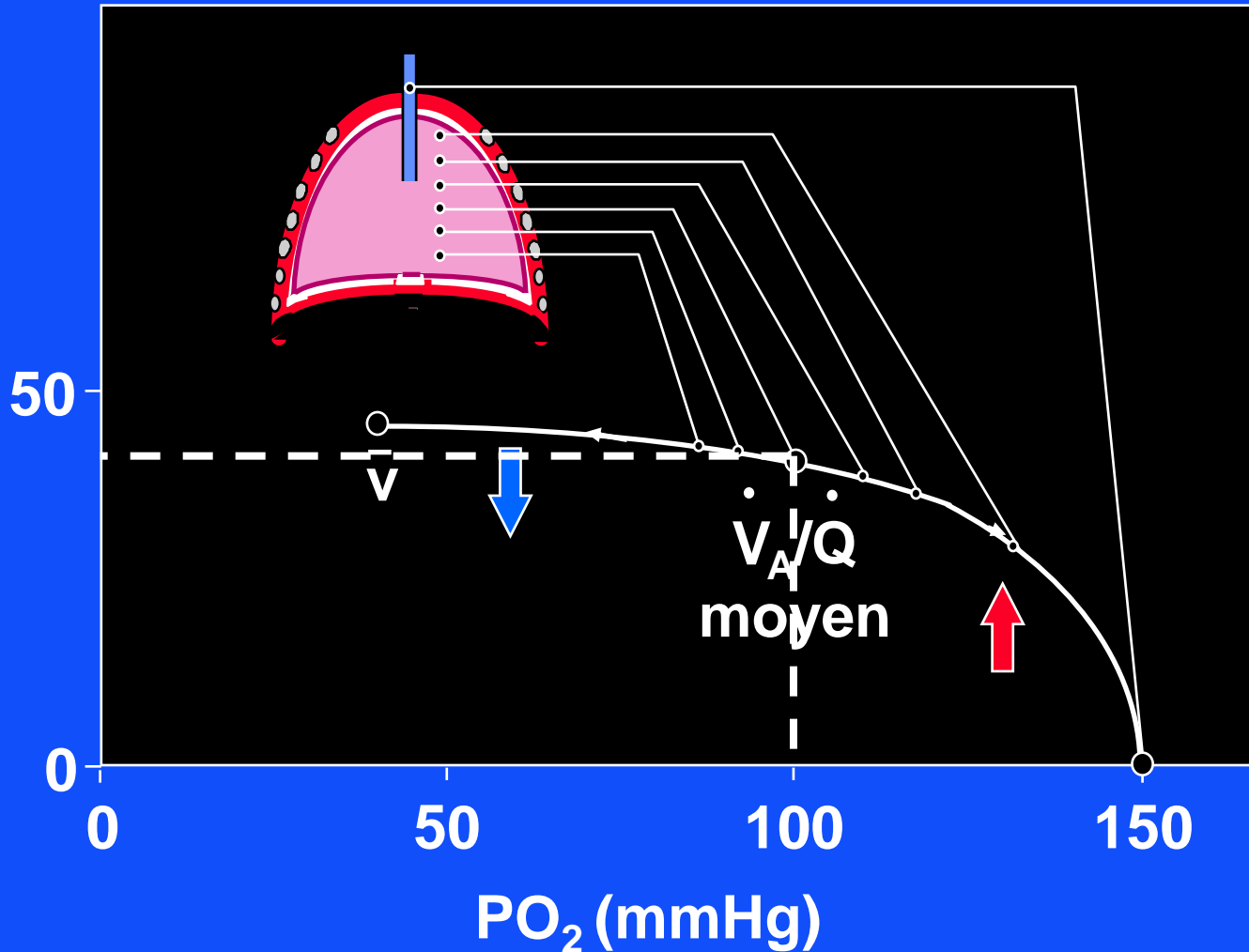
Conséquences sur les gaz du sang

PCO₂ (mmHg)



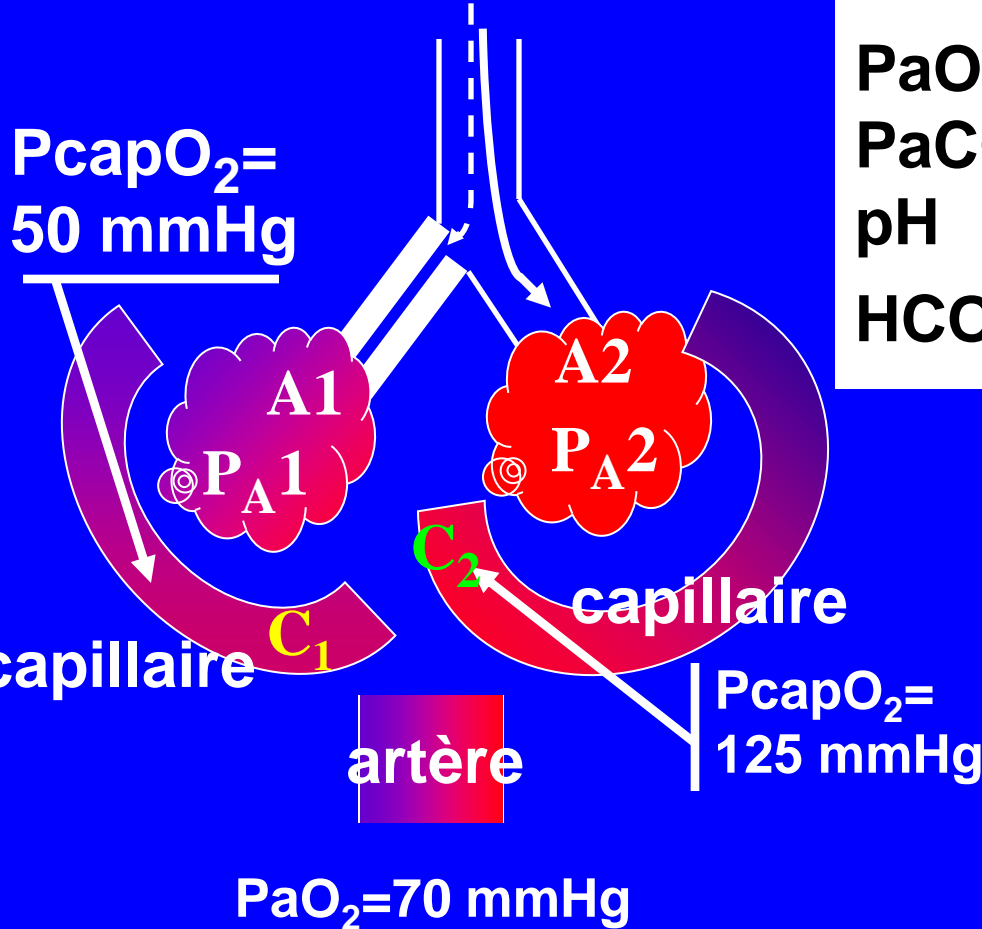
Conséquences sur les gaz du sang

PCO₂ (mmHg)



L'effet shunt par trouble de distribution de la ventilation (asthme)

Distribution de la ventilation

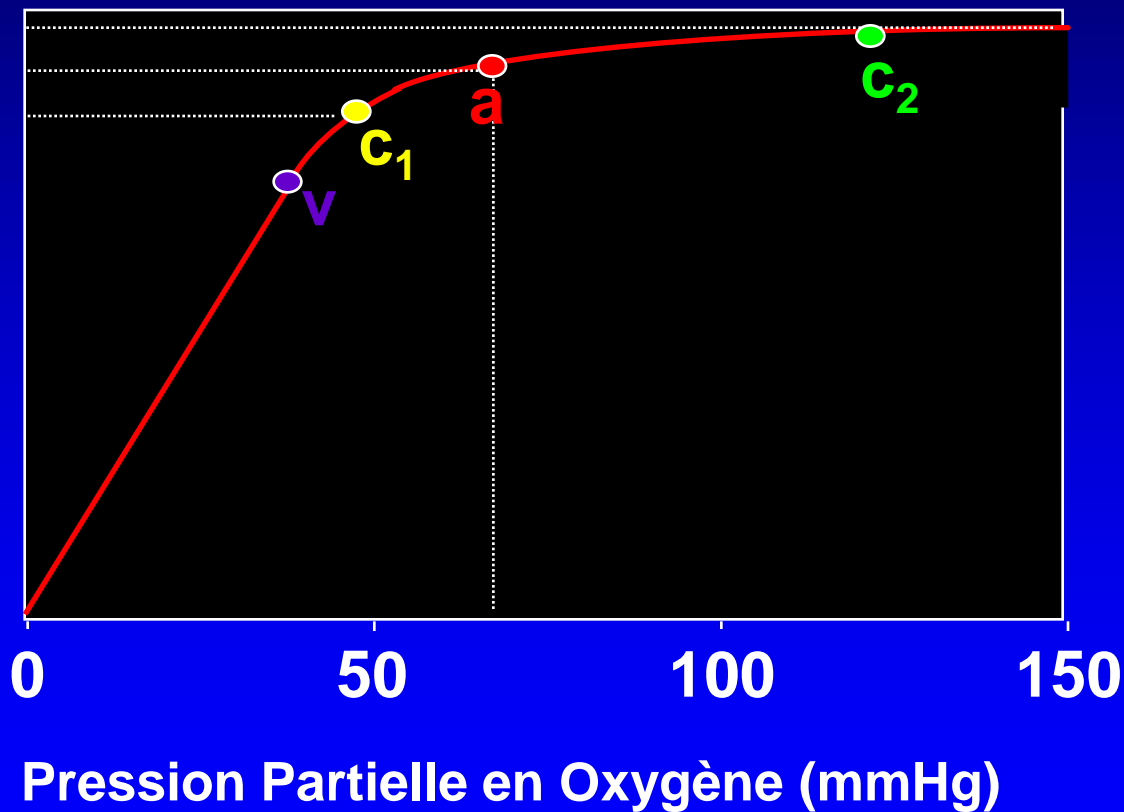


	A.A	$O_2 = 100\%$
PaO_2	70	600 mmHg
$PaCO_2$	38	42 mmHg
pH	7,42	7,40
HCO_3^-	24,6	24,8 mmol/l

- Hypoxémie
- Normocapnie
- Epreuve d'hyperoxie normale

L'effet shunt par trouble de distribution de la ventilation

Concentration en O_2



Les causes d'hypoxémie

Troubles des Échanges Gazeux	PaO ₂	PaCO ₂	D(A - a)O ₂ mmHg	Diagnostic
Hypoventilation	diminuée	augmentée	< 10	PaCO ₂ augmentée DO ₂ < 10
Diffusion	diminuée	diminuée	> 10	DLCO et Épreuve d'effort
Shunt Droite-Gauche	diminuée	normale ou diminuée	> 10	Épreuve en oxygène pur
Anomalies V _A /Q	diminuée	normale ou diminuée	> 10	
. . .				