

ECHANGES GAZEUX ALVEOLO-CAPPILLAIRE

I. Introduction

Définitions et rappels

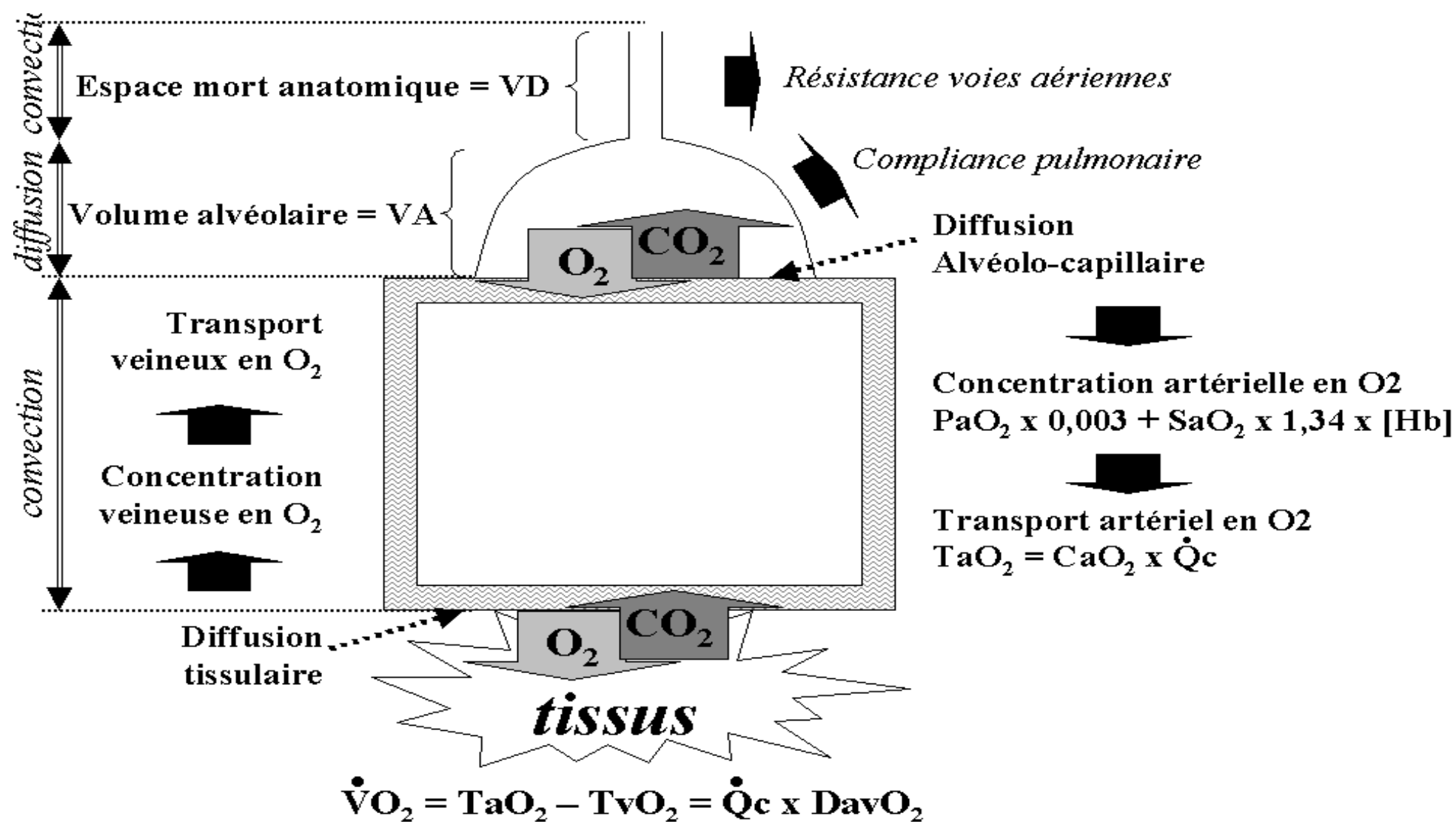
II. LA DIFFUSION ALVEOLO-CAPILLAIRE.

1. Lois de la diffusion
2. facteurs déterminants la diffusion
3. Diffusion de l'O₂
4. Diffusion du CO₂
5. Mesure de la capacité de diffusion

I. Introduction

- Les poumons permettent l'oxygénation du sang veineux et d'en retirer le CO₂, grâce à des **échanges gazeux**.
- Les alvéoles sont le lieu des échanges. Ces échanges gazeux ont lieu entre le **sang** (capillaires sanguins : veines pulmonaires) et l'air (provenant du milieu extérieur) contenu dans les **alvéoles** pulmonaires.
- Notons que les alvéoles sont séparées du milieu extérieur par une zone de conduction (l'arbre bronchique et les voies aériennes supérieures) qui ne participe pas aux échanges, c'est une zone inerte dite **espace mort anatomique**.
- Cet espace mort anatomique *réduit l'efficacité ventilatoire*.

II. Quelques définitions et rappels

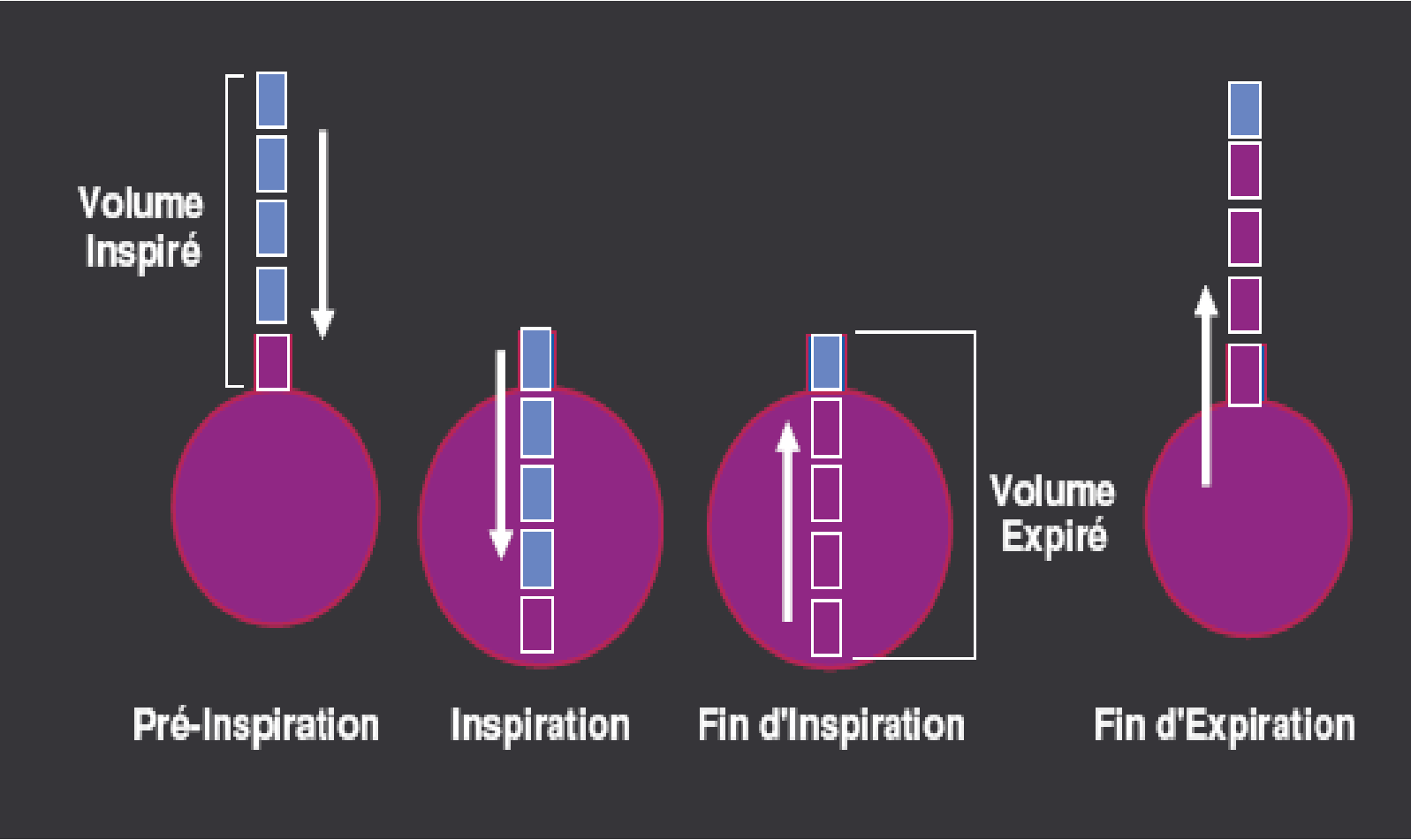


Comparaison de l'air inspiré et de l'air expiré

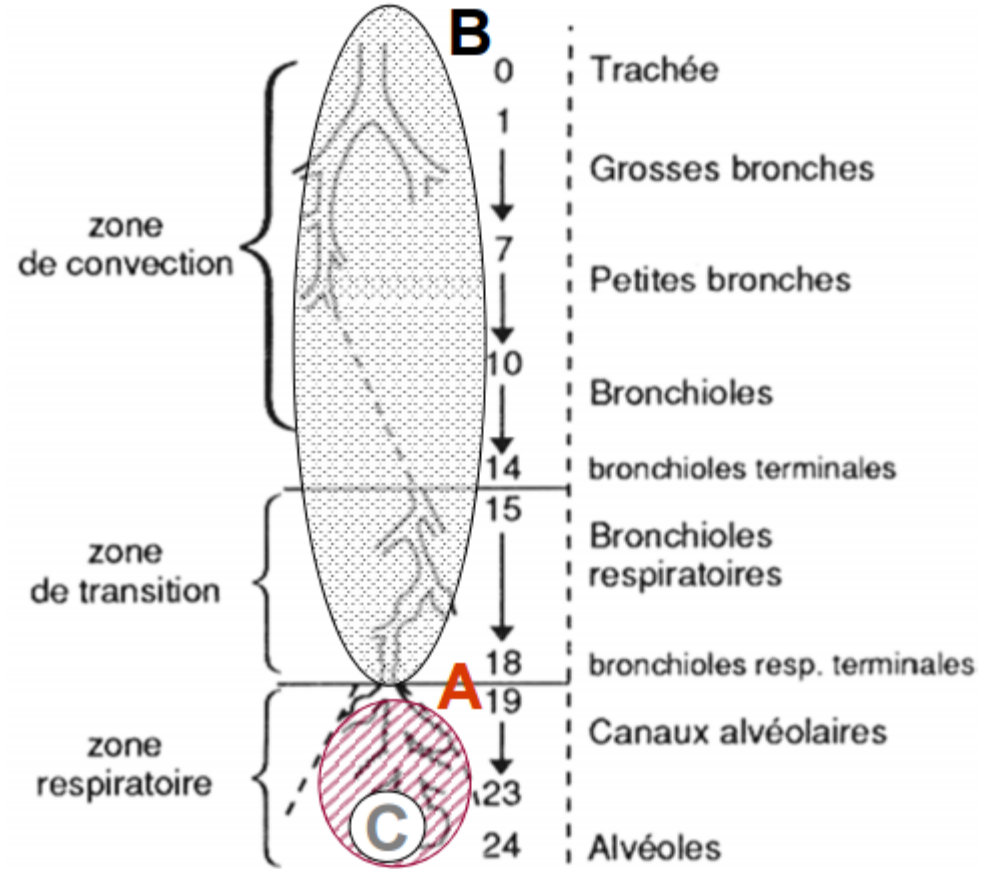
Gaz	Air inspiré (en %)	Air expiré (en %)
Diazote	79	79
Dioxygène	21	16
Dioxyde de carbone	0,03	4,5
Vapeur d'eau	Variable	Très abondante

Composition des gaz alvéolaires

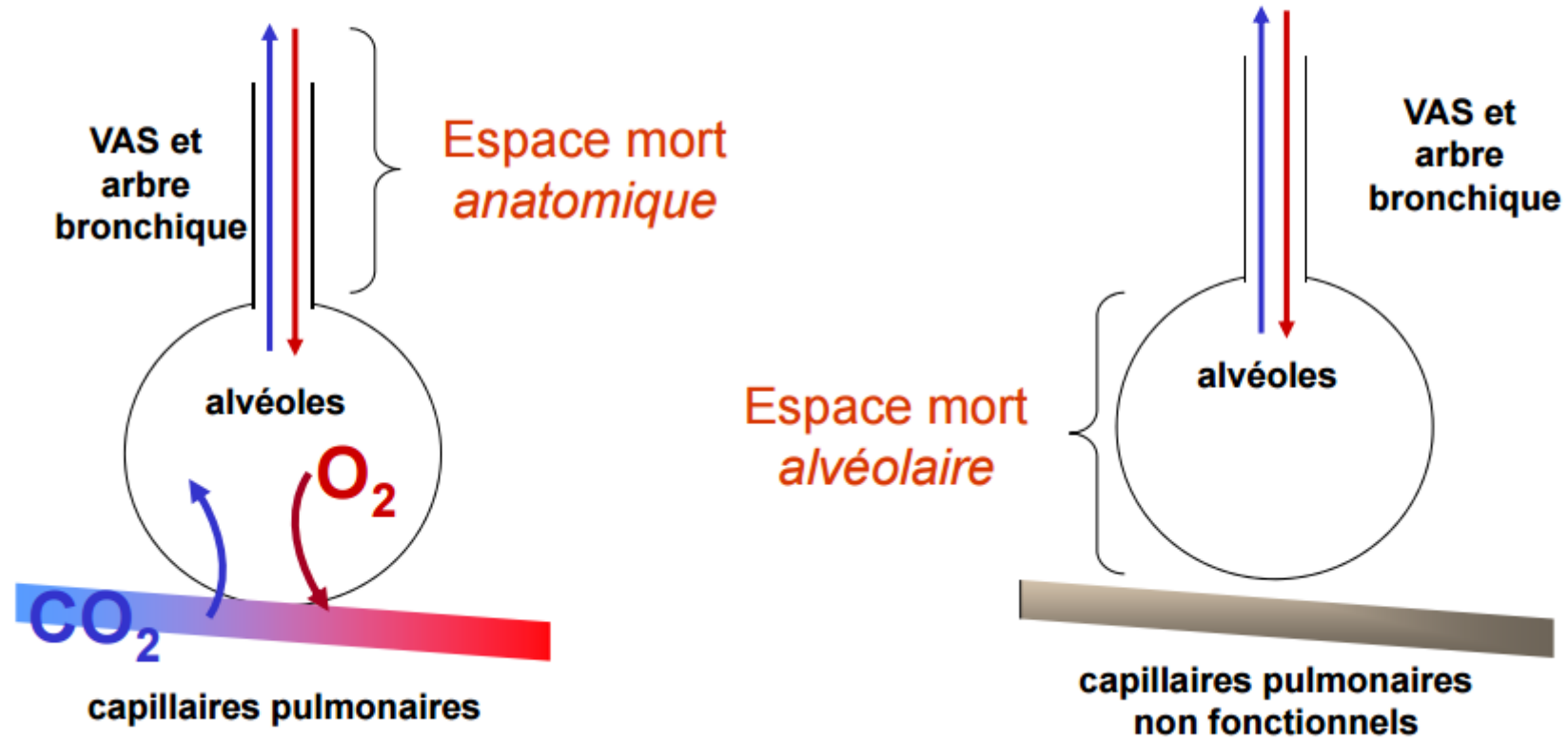
- Au cours d'un même cycle ventilatoire la composition du gaz alvéolaire varie,
- ceci est dû au fait que la **ventilation** est un phénomène **périodique** et les **échanges gazeux** alvéolo-capillaires sont un phénomène **continu**.



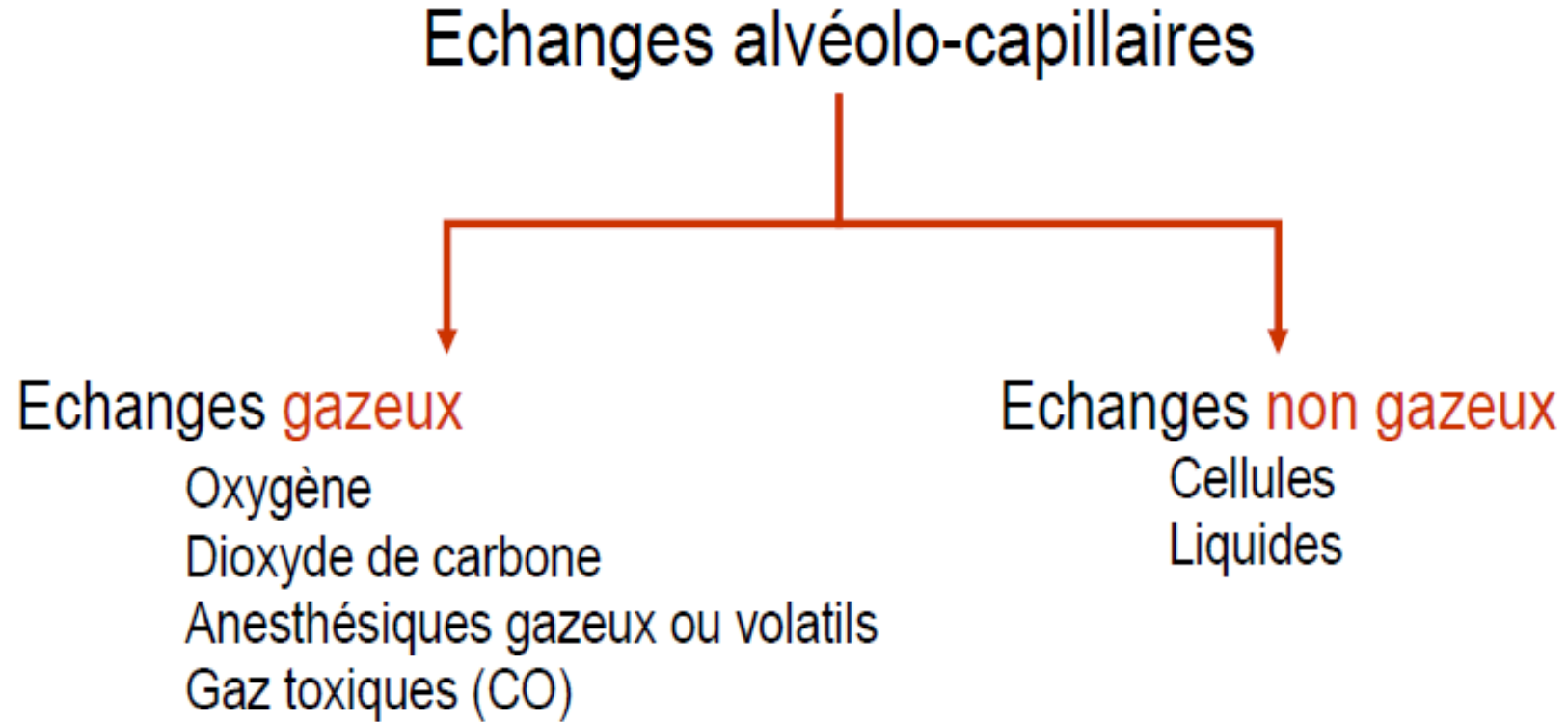
Ventilation Minute
=
Ventilation alvéolaire
(**A**)
+
Ventilation de
l'espace mort :
- anatomique (**B**)
- alvéolaire (**C**)

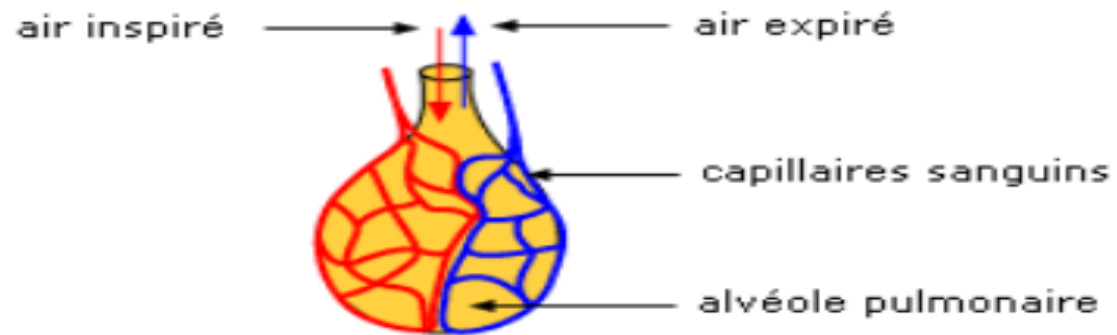


- Tout l'air mobilisé par la ventilation pulmonaire ne participe pas aux échanges gazeux: *espace mort*



III- Echanges alvéolo-capillaire gazeux



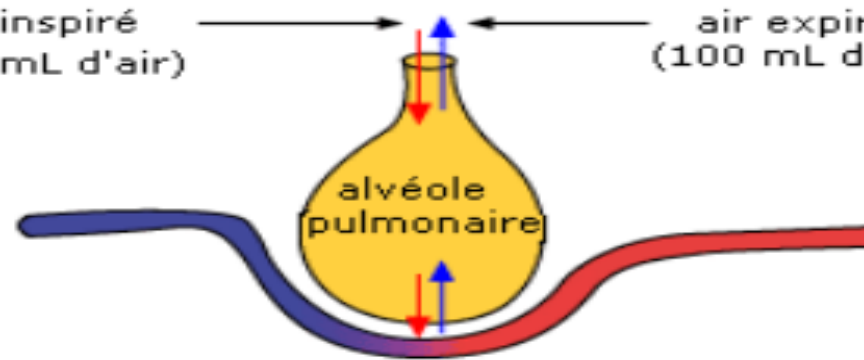


dioxygène : 20,5 mL
 diazote : 79 mL
 CO₂ : 0,03 mL

dioxygène : 16 mL
 diazote : 79 mL
 CO₂ : 4,5 mL

air inspiré (100 mL d'air)

← air expiré (100 mL d'air)

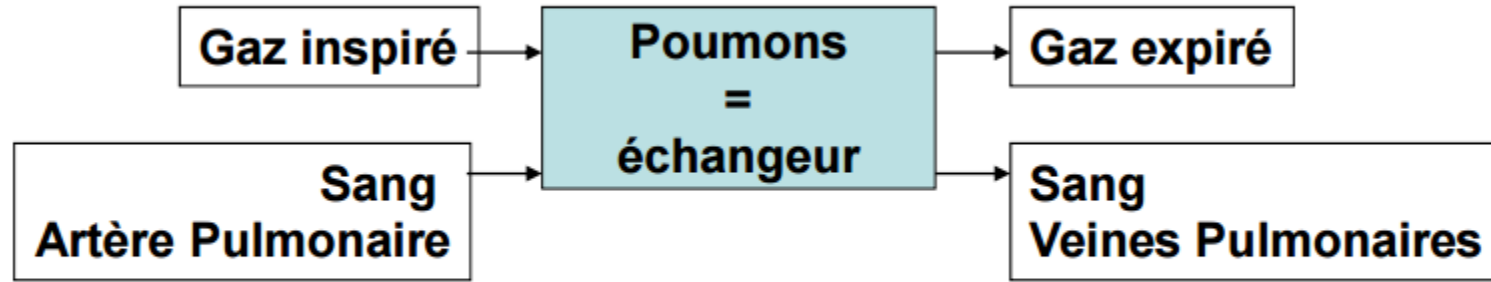


sang entrant
 dans les poumons
 (100 mL)

sang sortant
 des poumons
 (100 mL)

dioxygène : 15 mL
 diazote : 1 mL
 CO₂ : 53 mL

dioxygène : 20 mL
 diazote : 1 mL
 CO₂ : 49 mL



Quels sont les mécanismes de l'échange ?



Pressions partielles des gaz dans les milieux considérés
air alvéolaire & Sang

>>>

Mécanisme physique de diffusion libre par gradient de pression

- ❖ Les échanges se font par ***diffusion des gaz*** à travers la **membrane alvéolo-capillaire**,
- ❖ La différence de pression d'un gaz entre le sang et l'air alvéolaire conditionne la vitesse de diffusion

1 Diffusion intra-alvéolaire

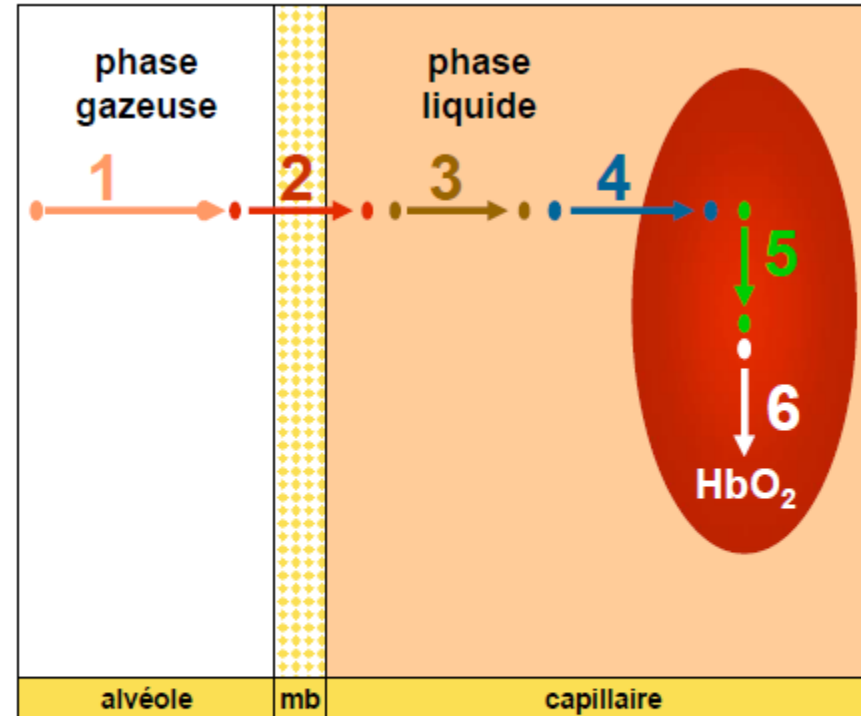
2 Diffusion à travers la membrane alvéolo-capillaire

3 Diffusion intra-plasmatique

4 Diffusion à travers la membrane érythrocytaire

5 Diffusion intra-globulaire

(6 Combinaison chimique avec l'hémoglobine)

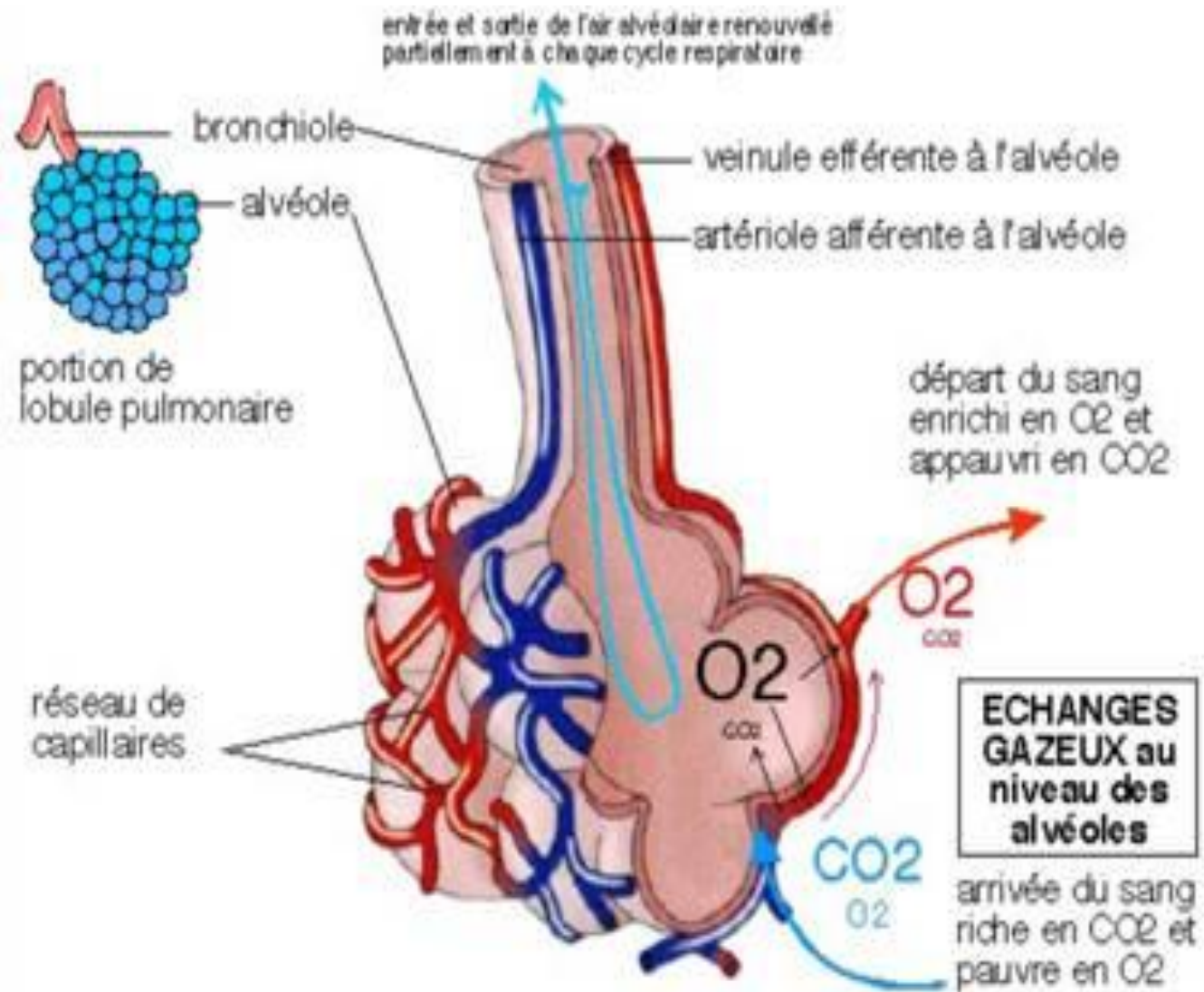


Diffusion alvéolo-capillaire :

4 facteurs interviennent

- la surface d'échange disponible (pneumonectomie, emphysème)
- la différence de pression partielle de part et d'autre de la barrière d'échange
- la solubilité du gaz ($\text{CO}_2 = 20 \times \text{O}_2$)
- l'épaisseur de la barrière alvéolo-capillaire (ex : fibrose)

a) Surface d'échange anatomique : 100-140m²



- Système respiratoire de l'adulte

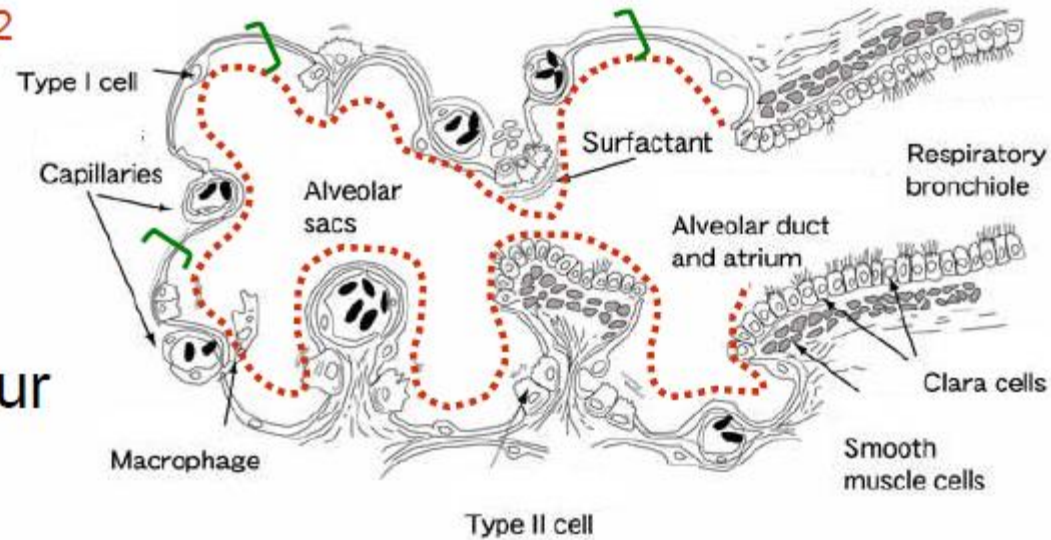
- $S \approx 80-100 \text{ m}^2$

- $e < 1 \mu\text{m}$

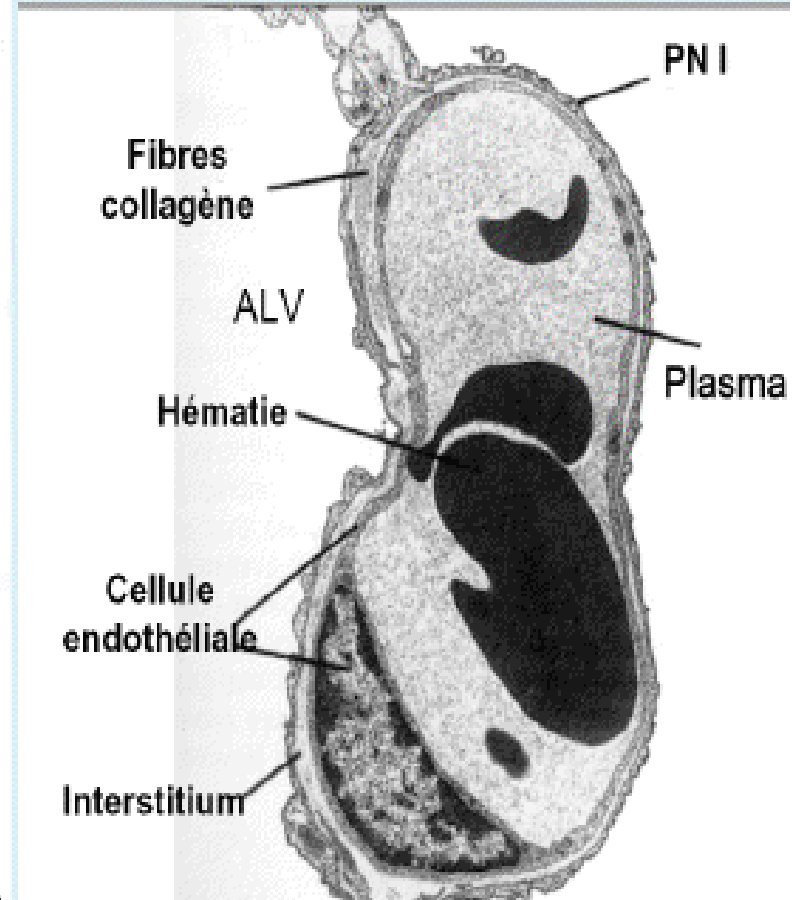
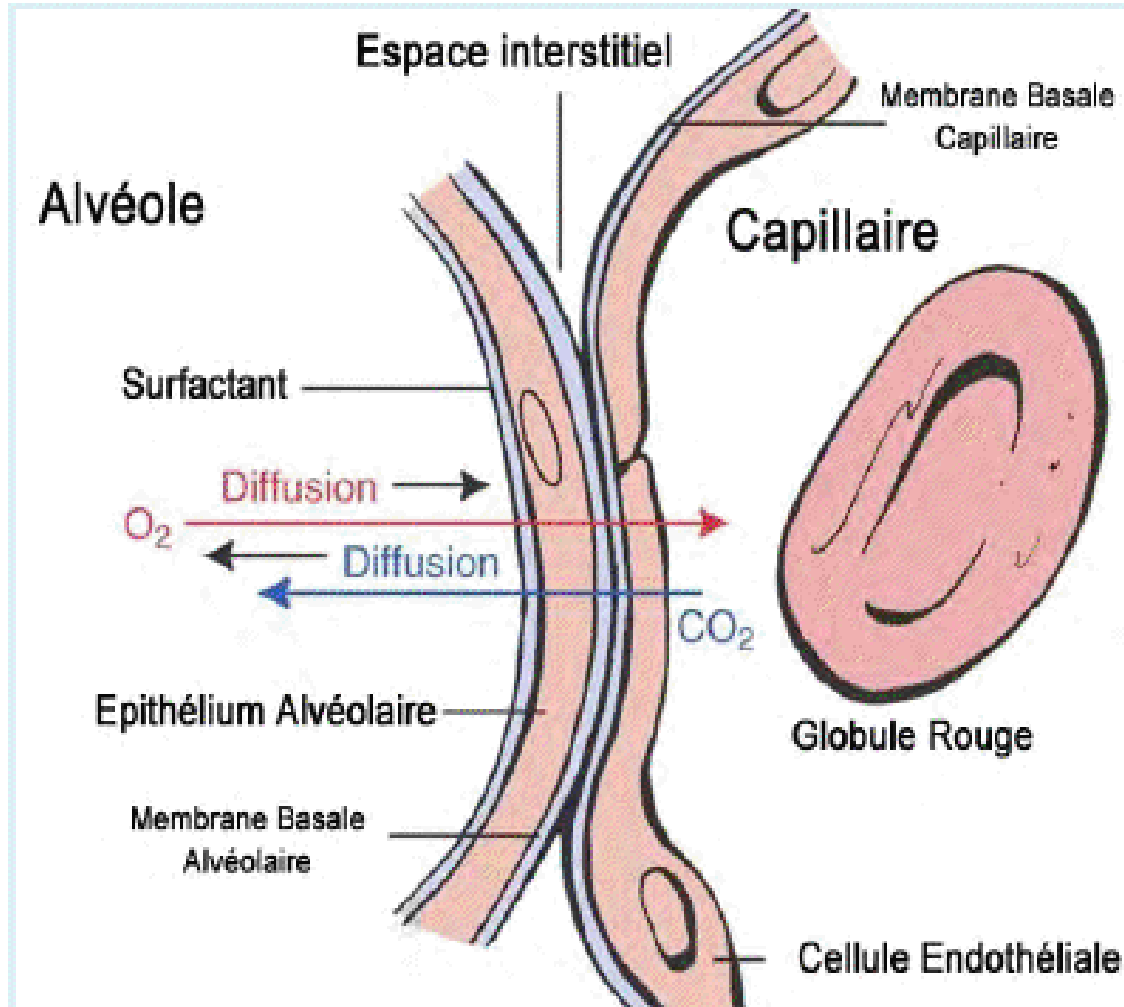
- Surface/épaisseur

- anatomique

- fonctionnelle



b) L'épaisseur: 0.3-0.5 μ m

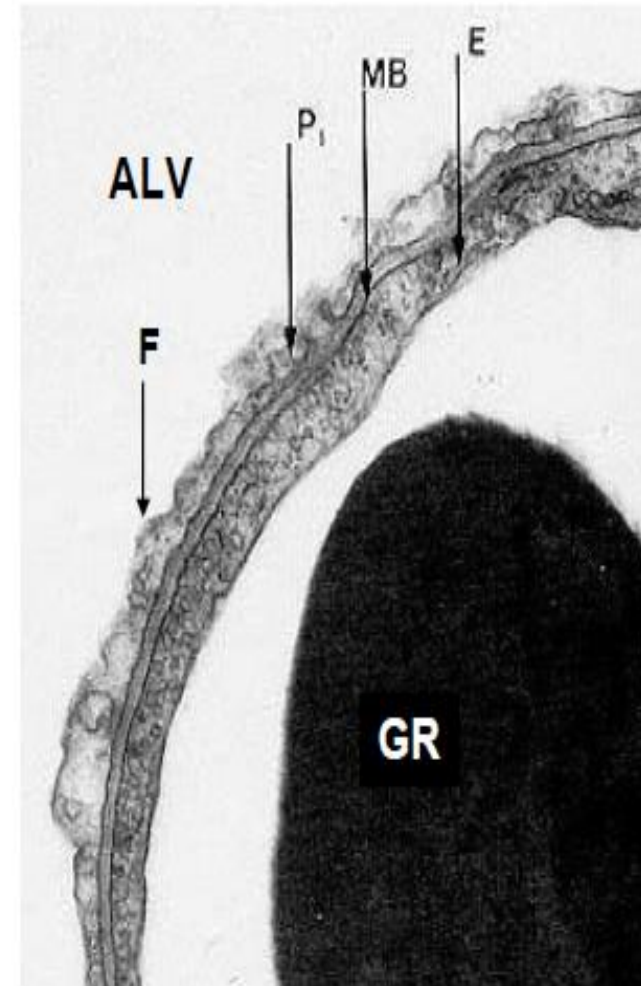


Le sang fixe l' O_2 et le CO_2 :

- ✓ de manière **réversible**
- ✓ sous l'influence d'un **gradient de pression**

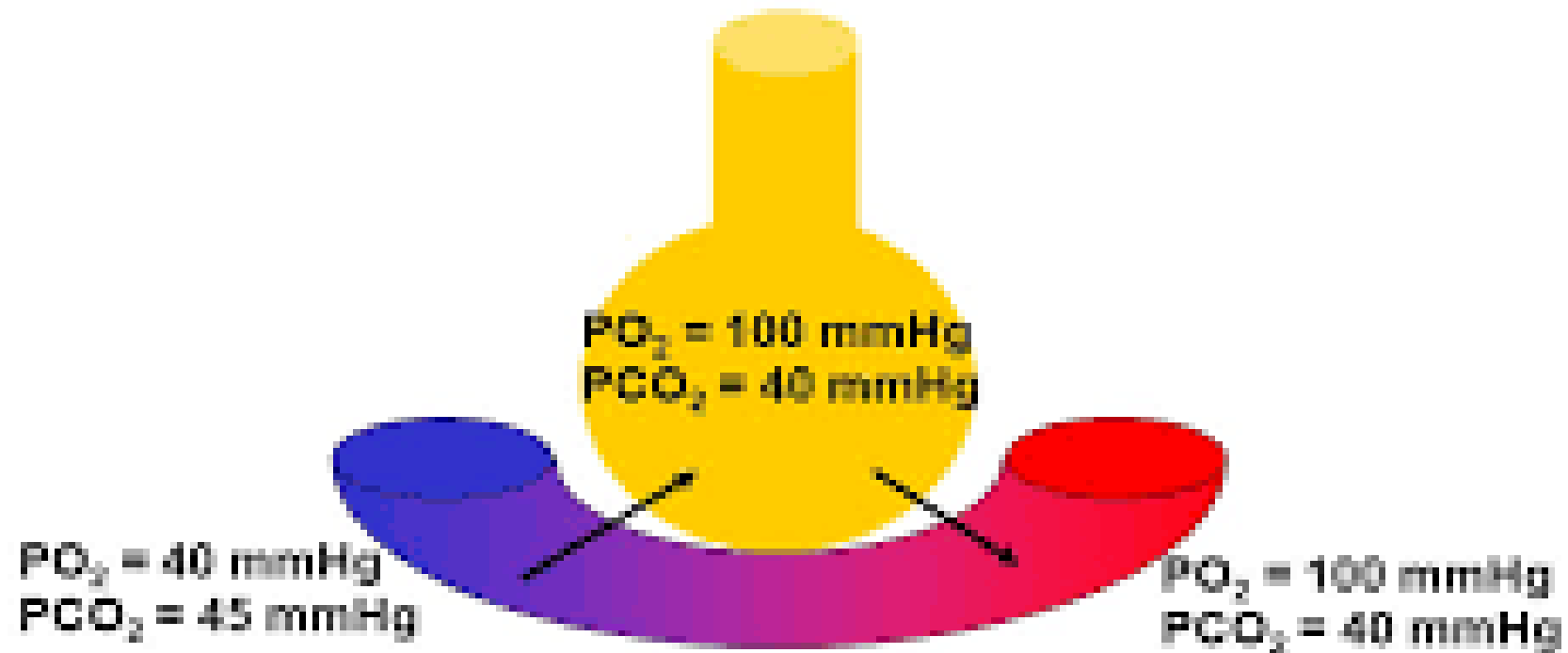
Membrane alvéolo-capillaire

- épaisseur variable ($\approx 0,3-0,5 \mu\text{m}$)
 - autour de chaque alvéole
 - pendant le cycle respiratoire
- au minimum:
 - film liquidien alvéolaire (F)
 - bras d'un pneumocyte I (P1)
 - membranes basales fusionnées entre épithélium alvéolaire et endothélium capillaire (MB)
 - cellule endothéliale (E)



c) pression des gaz

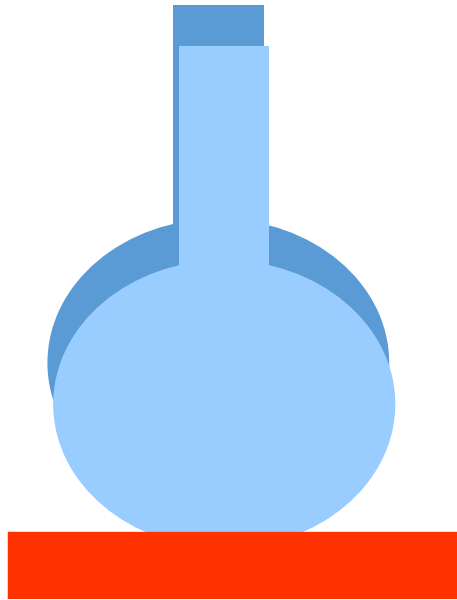
Echanges alvéolo-capillaires de l'O₂ et du CO₂



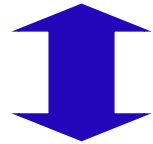
40 mmHg d'O₂ = réserve

40 mmHg CO₂ = participe à la
régulation du pH; stimulus
ventilatoire

*PAO_2 dépend de la façon dont est renouvelé
le gaz alvéolaire (ventilation alvéolaire)*

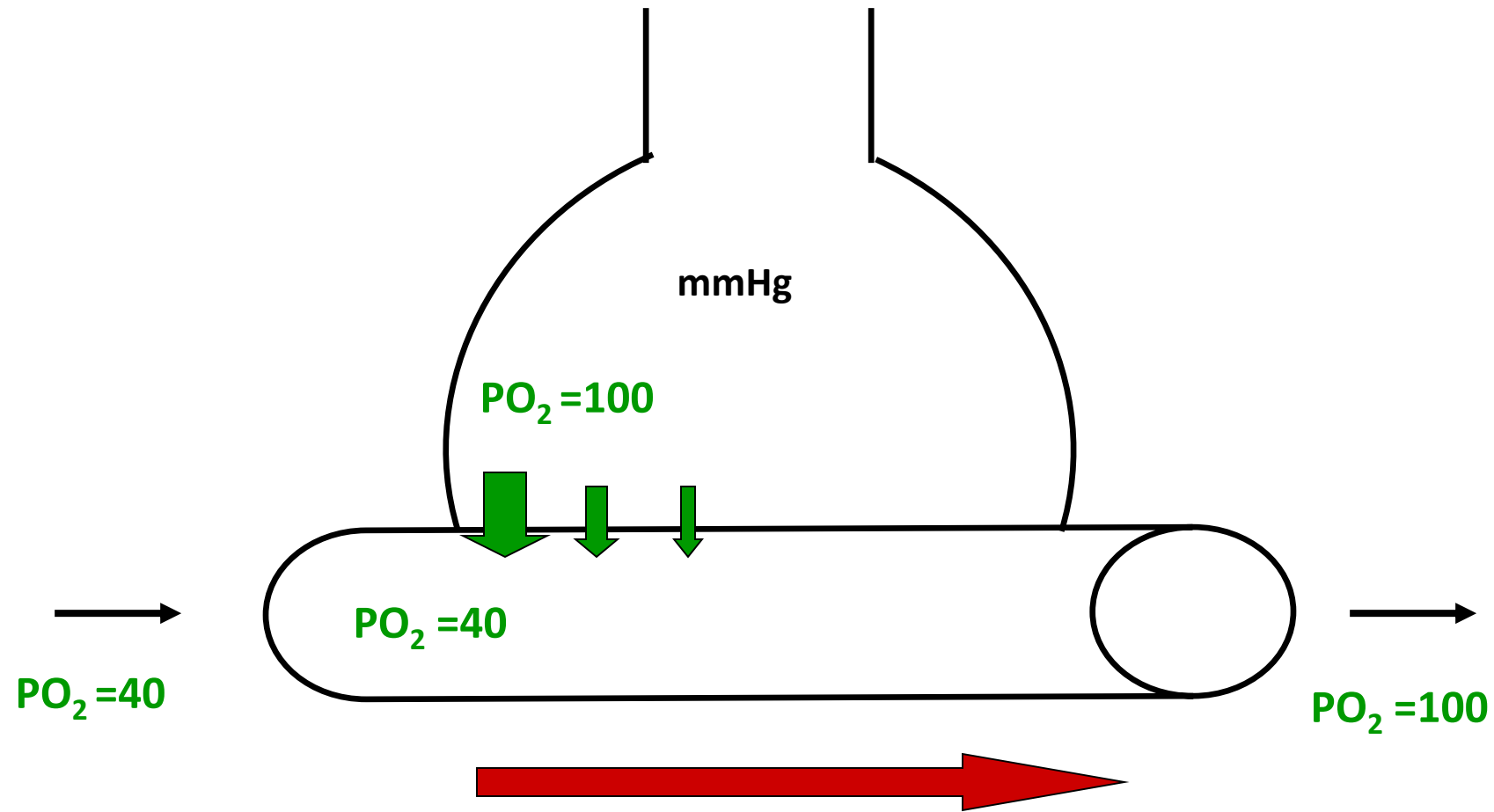


PAO_2 = Pression alvéolaire en O_2



$P_{cap}O_2$ = Pression capillaire pulmonaire

$P_{cap}O_2 = PAO_2$ si diffusion normale



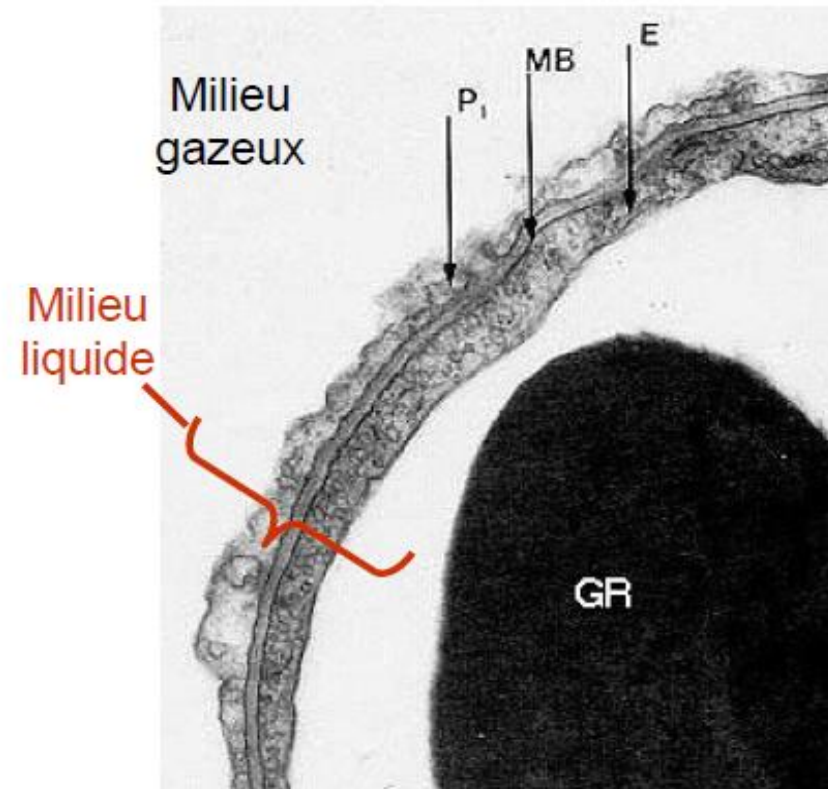
Diffusion de l' O2

**Pressions partielles en gaz du sang
de l'artère et des veines pulmonaires
(Mesurées par tonométrie)**

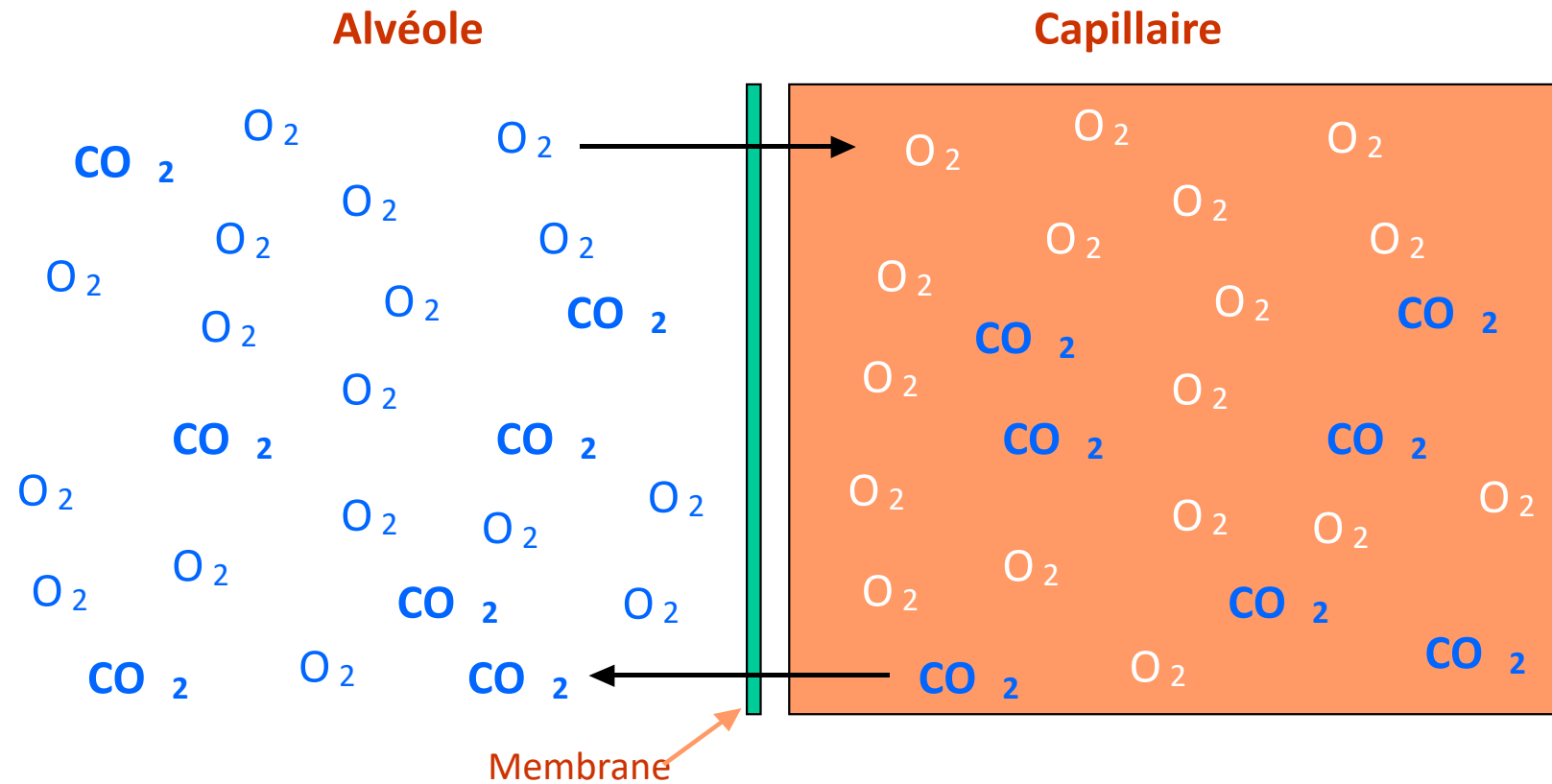
	O₂	CO₂
P_a (mmHg) Veines pulmonaires et aorte	95-100	40
P_v (mmHg) Artère pulmonaire (veineux mêlé)	40	45
P_a - P_v	60	- 5

Principes de la diffusion alvéolo-capillaire

- Un gaz diffuse toujours
 - d'une zone de pression partielle élevée vers une zone de pression partielle plus basse
 - jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint
- Diffusion d'un gaz d'un milieu gazeux vers un milieu liquide
 - mêmes lois qu'au sein d'un milieu gazeux homogène



Principes de la diffusion



Principes de la diffusion

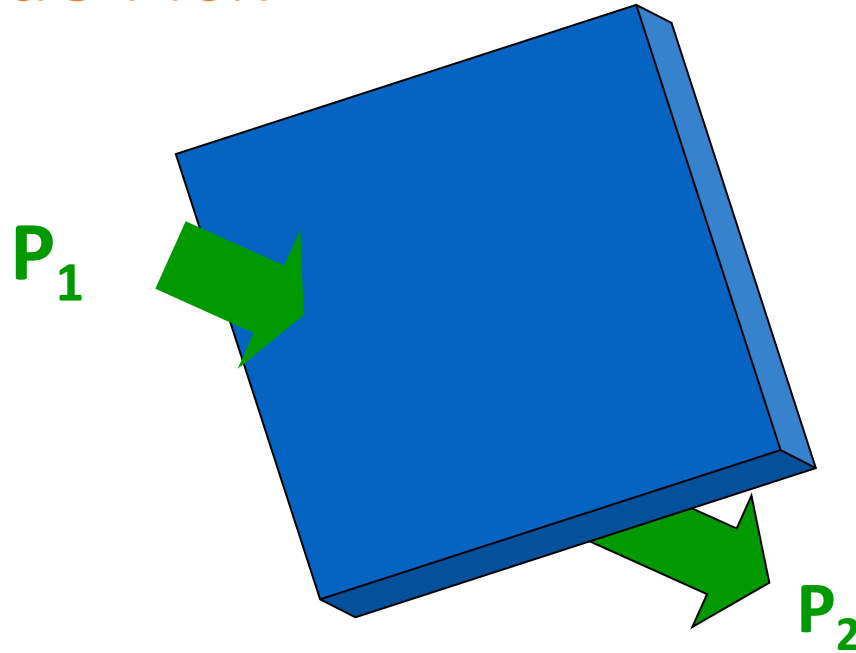
- Diffusion d'un gaz x dans un liquide
 - Surface d'échange = s
 - $\Delta P = P_1 - P_2$
 - Poids moléculaire du gaz = M_x
 - Coefficient de solubilité = α_x
- Diffusion d'un gaz x à travers une lame liquidienne d'épaisseur e

$$V_x = \frac{\alpha_x}{\sqrt{M_x}} \cdot s \cdot (P_1 - P_2) \cdot dt$$

$$V_x = d \cdot s \cdot (P_1 - P_2) \cdot dt$$

$$V_x = d \cdot \frac{s}{e} (P_1 - P_2) \cdot dt$$

❖ - La loi de Fick



Membrane :
épaisseur (e)
surface (s)

Gaz (D):
solubilité
PM

$$dQ / dt = (D \cdot s \cdot dP) / e$$

Surface membrane alvéolo-capillaire: 140 m²

Epaisseur membrane alvéolo-capillaire: 0,3 à 1,5 μm

Diffusion passive

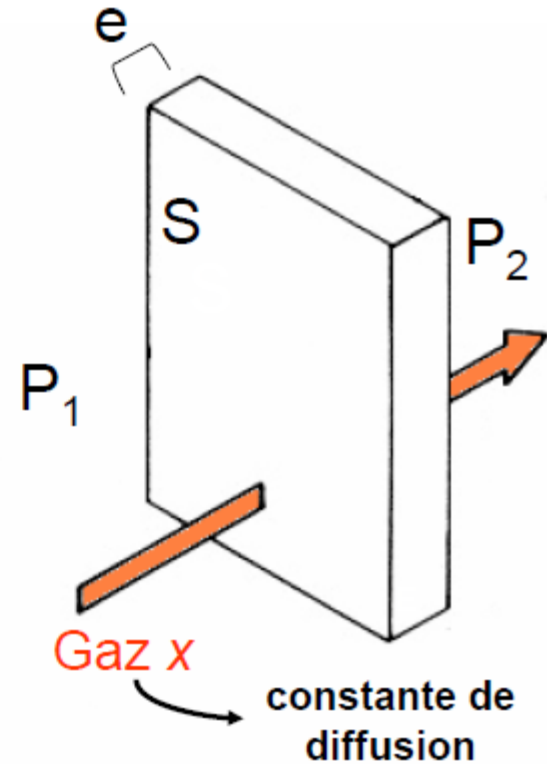
Principes de la diffusion

- Diffusion selon un gradient de pression
- La Loi de Fick:

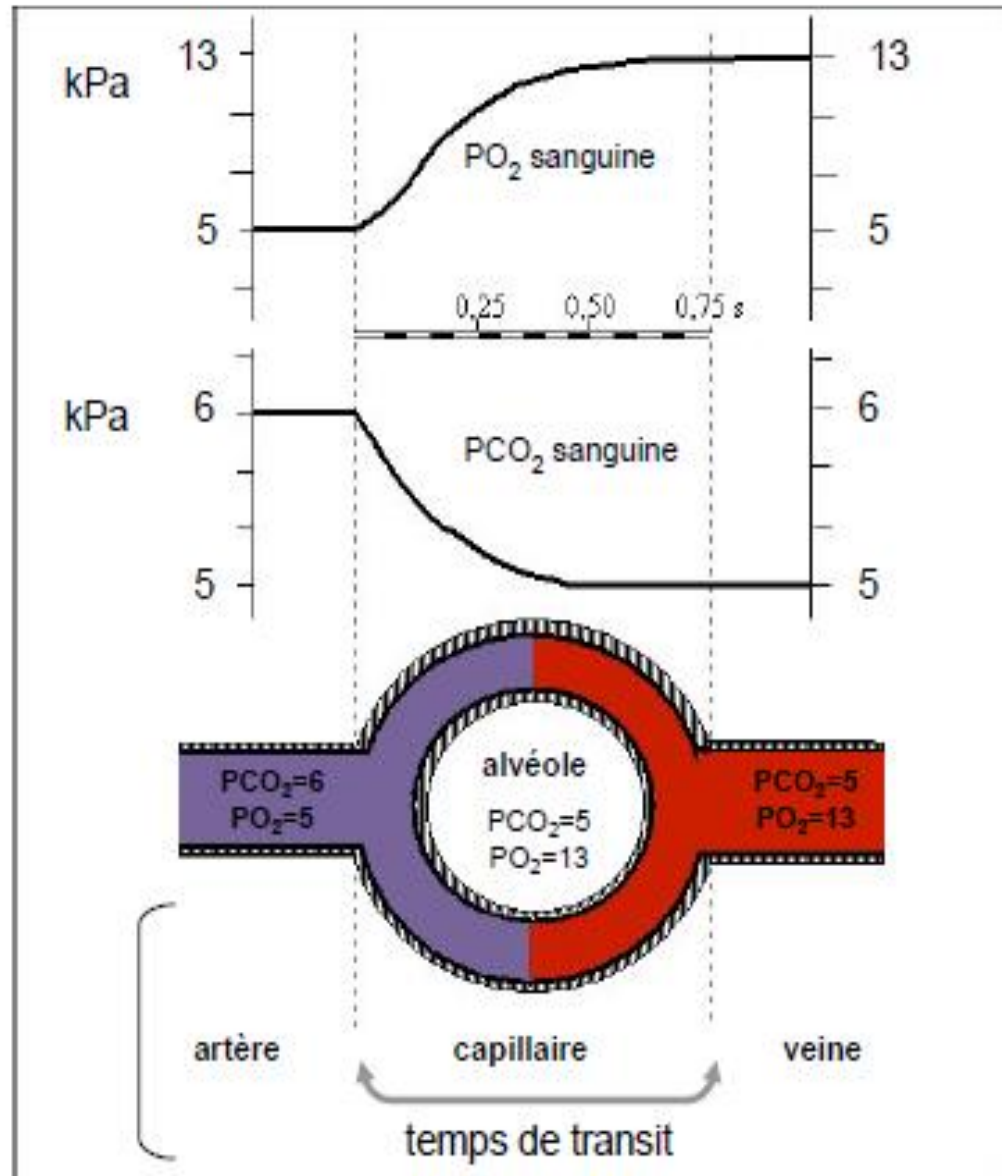
$$\dot{V}_{gaz} \propto \frac{S}{E} D (P_1 - P_2)$$

La diffusion alvéolo-capillaire

- Diffusion du gaz proportionnelle
 - à la **surface** S du tissu
 - à l'inverse de l'**épaisseur** e du tissu
 - à la **constante de diffusion** du gaz
 - proportionnelle à la **solubilité** du gaz
 - inversement proportionnelle à la racine carrée de son **poids moléculaire**
 - au **gradient de pression** de part et d'autre du tissu ($P_1 - P_2$)
 - au **temps de contact** (dt)



- Diffusion de l'O₂
 - grande ΔP entre le sang qui arrive dans les capillaires pulmonaires et l'air alvéolaire
 - équilibre atteint rapidement (0,3-0,4s)
- Diffusion du CO₂
 - faible ΔP entre le sang veineux mêlé et l'air alvéolaire mais **diffusibilité importante**
 - équilibre atteint rapidement (0,3-0,4s)



TEMPS DU TRANSFERE

✓ La pression partielle d' O² dans l'alvéole (PAO²) =100 mm Hg, et PVO²= 40 mm Hg.

✓ ≠ de pression Importante

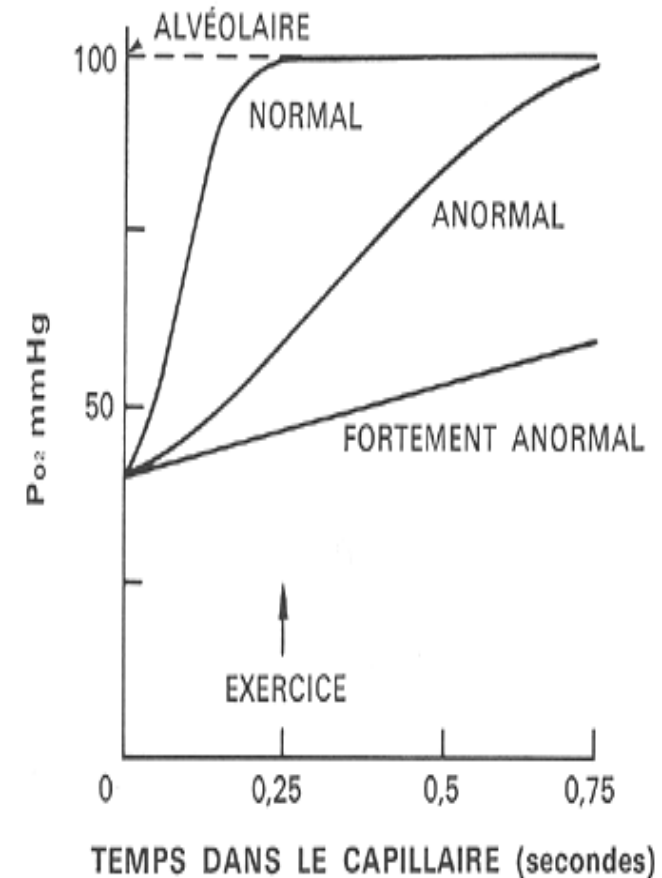
✓ Temps de **séjour** du GR est de **0.75s**

✓ Dans des conditions de repos, l'**équilibre est atteint après :**

➤ Que le globule rouge n'ait parcouru qu'un **tiers** de la longueur du capillaire.

➤ **0,3 sec**

❖ La diffusion ne devient alors anormale que si la barrière alvéolo-capillaire est épaissie et ralentit le passage de l'O².

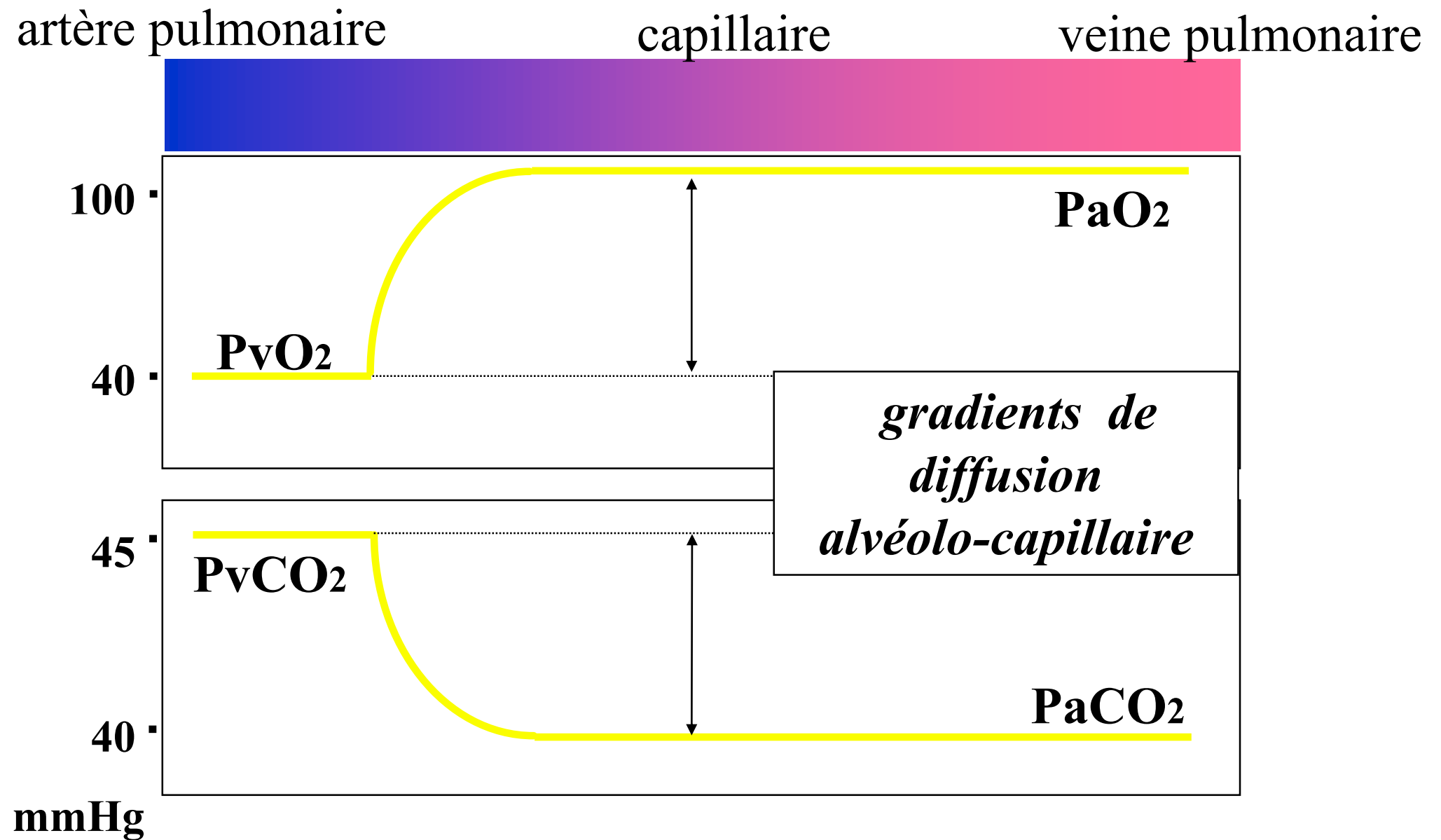


Diffusion du CO₂.

- Le CO₂ diffuse très facilement au travers de la membrane alvéolo-capillaire
- La concentration de CO₂ dans l'air ambiant est par ailleurs très faible.
- ≠ de pression partielle de CO₂: l'alvéole/ capillaire pulmonaire.
- Équilibre dans le premier tiers de la longueur du capillaire.

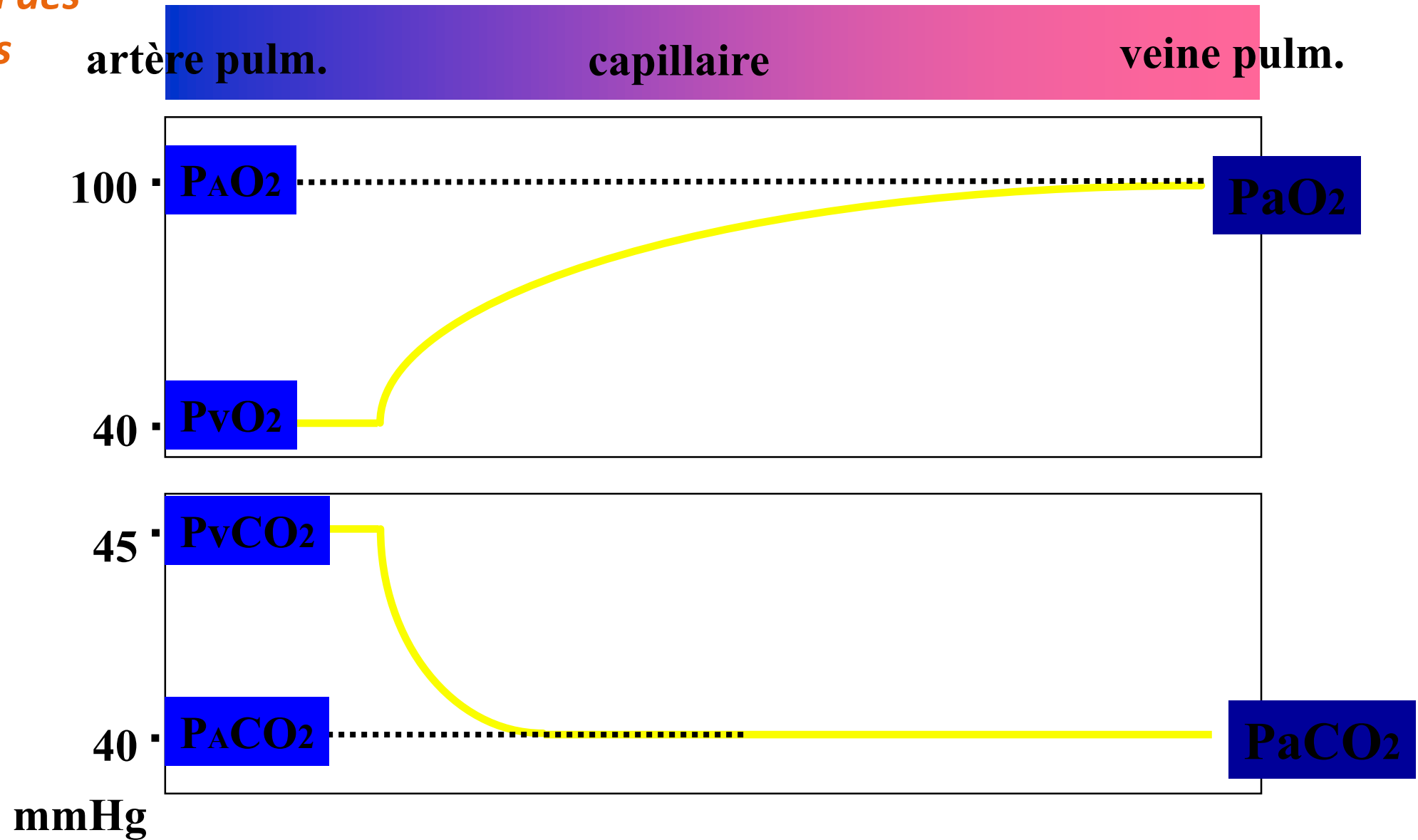
Il existe donc de bonnes réserves de diffusion pour le CO₂ aussi.

Capacité de transfère du sang



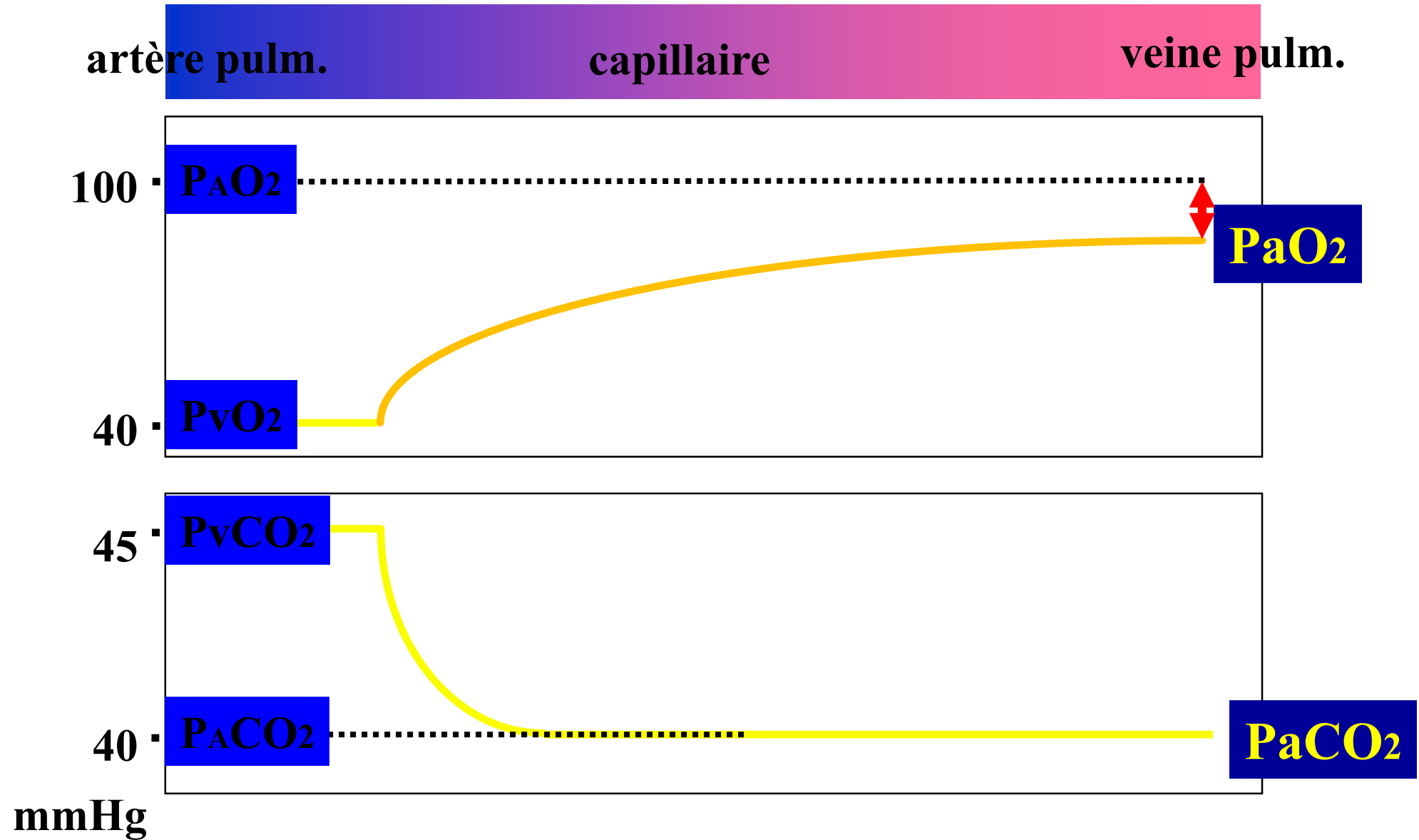
*Exemples de
variation des
échanges*

exercice, sujet sain



*Exemples de variation
des échanges*

exercice, sujet malade



Effacité des échanges alvéolo-capillaires

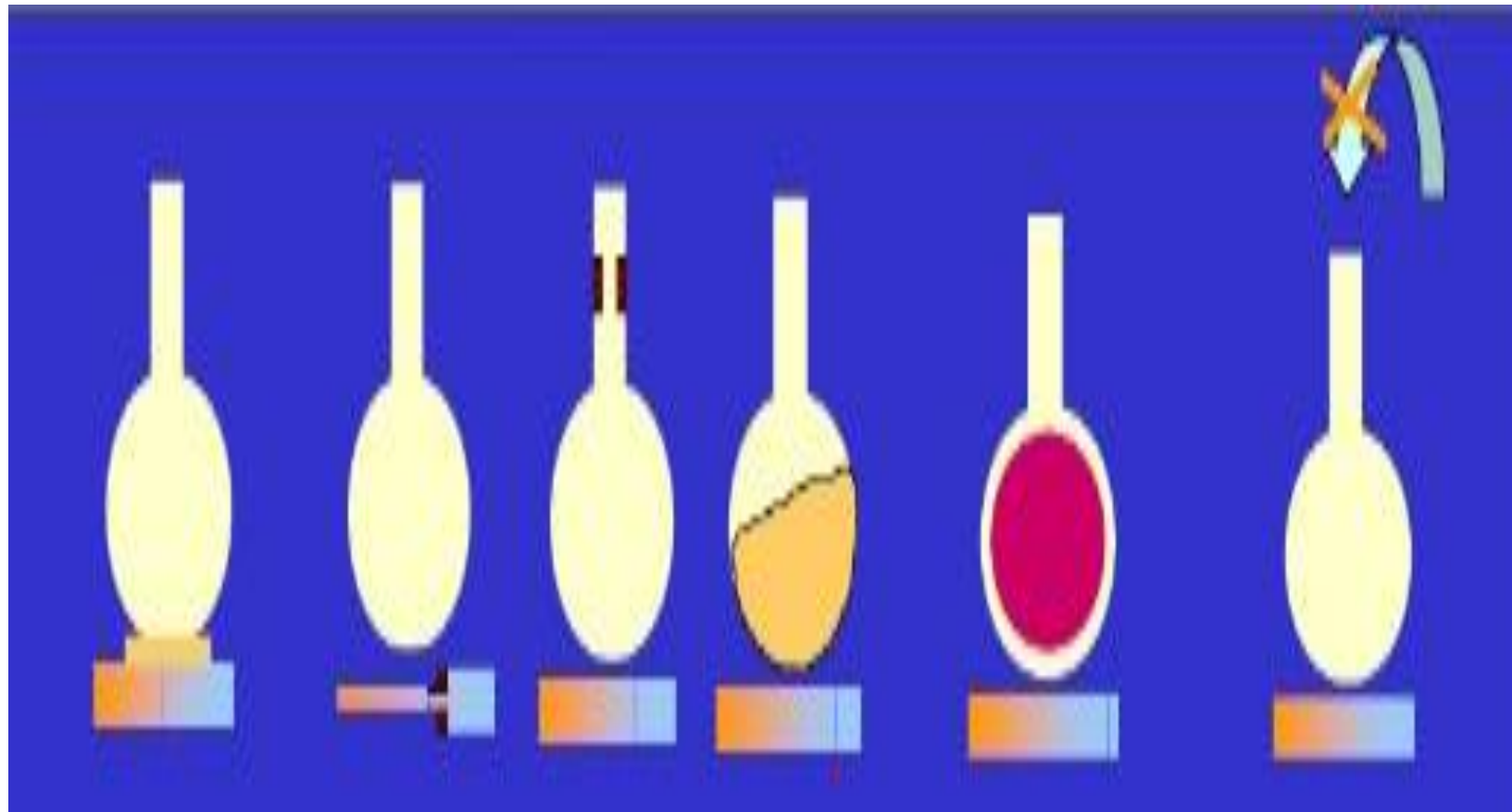
- *Modification de la taille de la surface d'échange*

- **Diminution de la surface d'échange**

Amputation
circulatoire

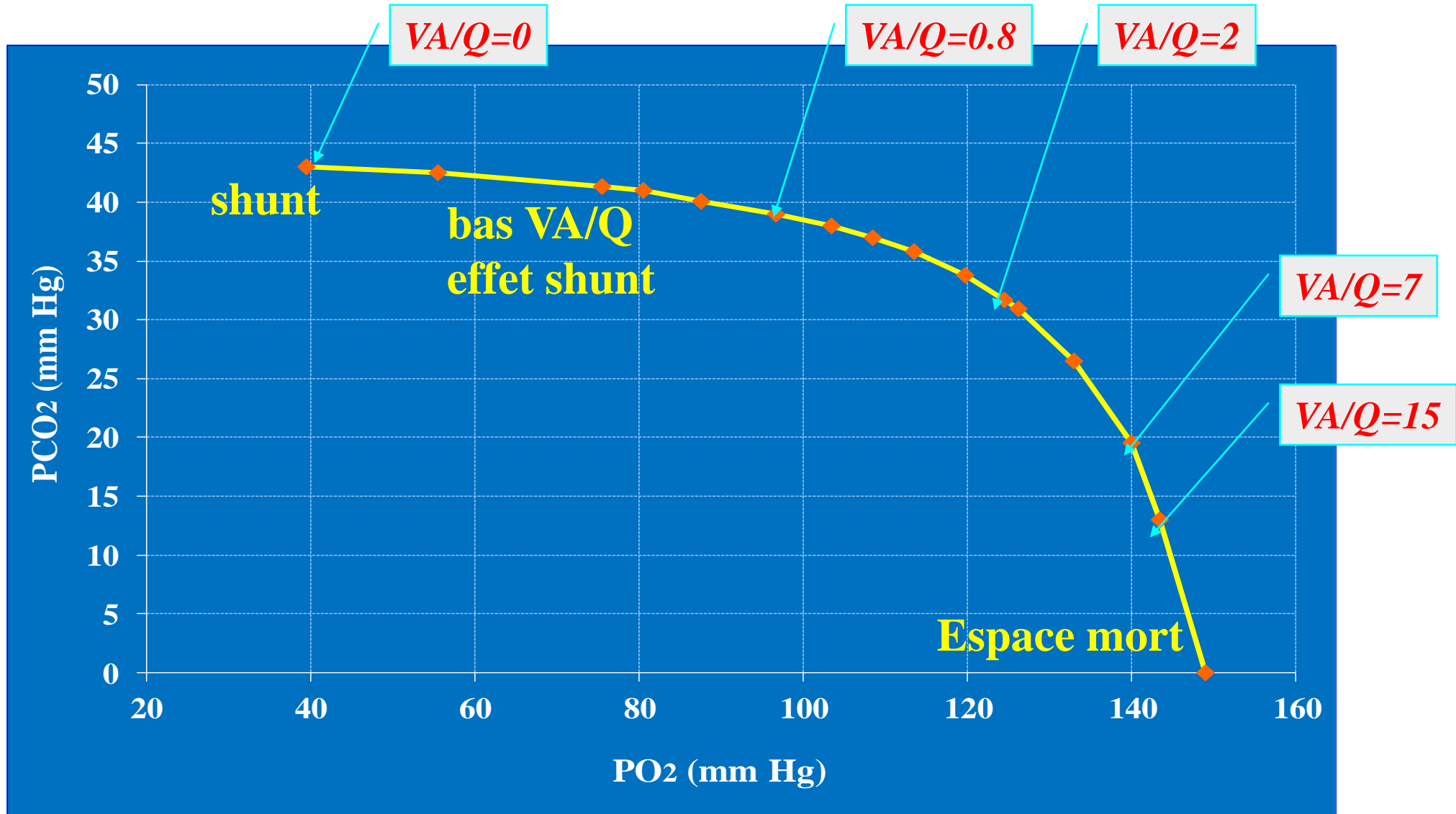
Amputation
globale

Amputation
ventilatoire



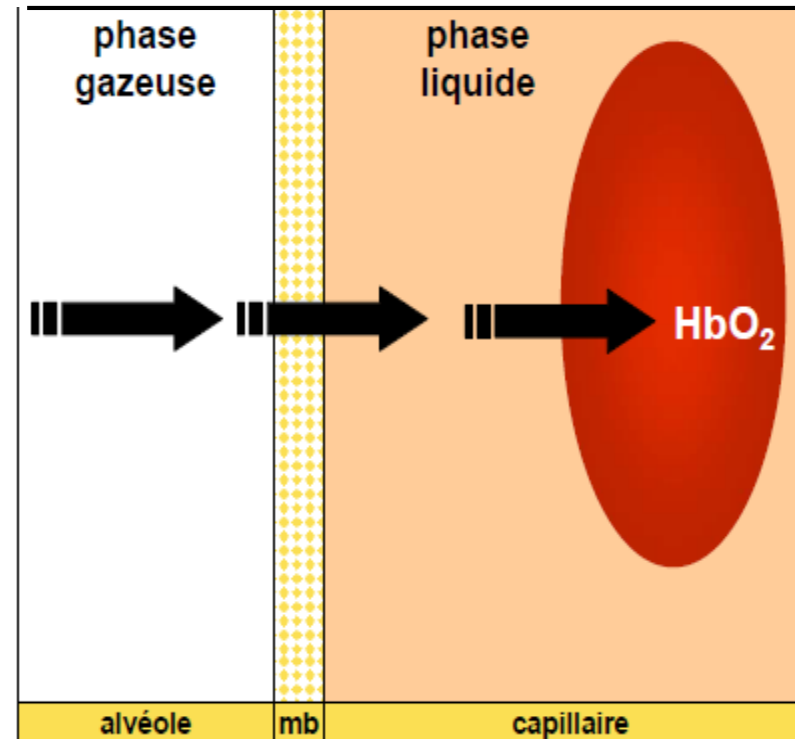
- Augmentation de la surface d'échange fonctionnelle
 - homogénéisation du rapport V_A/Q : exercice, position couchée

Dans un territoire donné, les transferts d'O₂ et de CO₂ dépendent du VA/Q



Modification de l'épaisseur de la membrane alvéolo-capillaire

- Diffusion alvéolaire
 - très rapide
 - peut ↓ si distension
- Diffusion membranaire
 - nombreuses pathologies ↑ épaisseur anatomique de la membrane
- Diffusion capillaire
 - vitesse limitée par combinaison chimique avec Hb
 - ↑ ou ↓ en fonction de Hb



Méthodes d'étude

- Capacité de diffusion pulmonaire de l'oxygène

$$DLO_2 = \frac{\dot{V}O_2}{(PAO_2 - PcO_2) \cdot dt}$$

- $DLO_2 =$ volume d' O_2
 - qui traverse la membrane alvéolo-capillaire
 - en 1 minute
 - pour une différence de pression de 0,133 kPa (1 mmHg) de part et d'autre de la membrane

- Mesure de la capacité de diffusion pulmonaire

- P_{cO_2} difficile à mesurer (shunt)

- CO:

- affinité ++ pour Hb
 - tout le CO se fixe sur Hb
 - $P_{c_{CO}} \approx 0$

$$DLO_2 = \frac{\dot{V}O_2}{(PAO_2 - P_{cO_2}) \cdot dt}$$

$$DLCO = \frac{\dot{V}CO}{(PACO - P_{cCO}) \cdot dt}$$

$$DLCO = \frac{\dot{V}CO}{PACO \cdot dt}$$

Étude des gaz inspirés et expirés

Étude du gaz alvéolaire

- DLCO
 - dépend de
 - sexe, âge, surface corporelle → exprimée en valeur théorique de la normale
 - fixation du CO sur Hb → exprimée en valeur corrigée pour [Hb] et taux d'HbCO
 - souvent rapportée à la ventilation alvéolaire ($DLCO/V_A$)
 - $DLO_2 = 1,23 DLCO$
 - $DLCO_2 = 20 DLO_2$

CONCLUSION

Dans les conditions physiologiques les échanges alvéolo-capillaires sont:

- ✓ optimaux.
- ✓ Sous l'effet de la différence de pression

Références

- **Traité de pneumologie** Auteur : **Michel AUBIER** | **Bruno CRESTANI** | **Michel FOURNIER** | **Hervé MAL** | Editeur : **LAVOISIER MÉDECINE SCIENCES** paru le : 02/2009 (2ème édition)
- **Atlas de poche de physiopathologie** Auteu: Stefan Silbernagl Florian Lang Editeur :Medecine-sciences Flammarion
- EMC de pneumologie **Physiologie respiratoire - 18/04/13** [6-000-A-70] - Doi : 10.1016/S1155-195X(13)53632-2 B. Degano
- Revue des Maladies Respiratoires Vol 18, N° 3 - juillet 2001 p. 227
- **Physiologie humaine** « guenard »