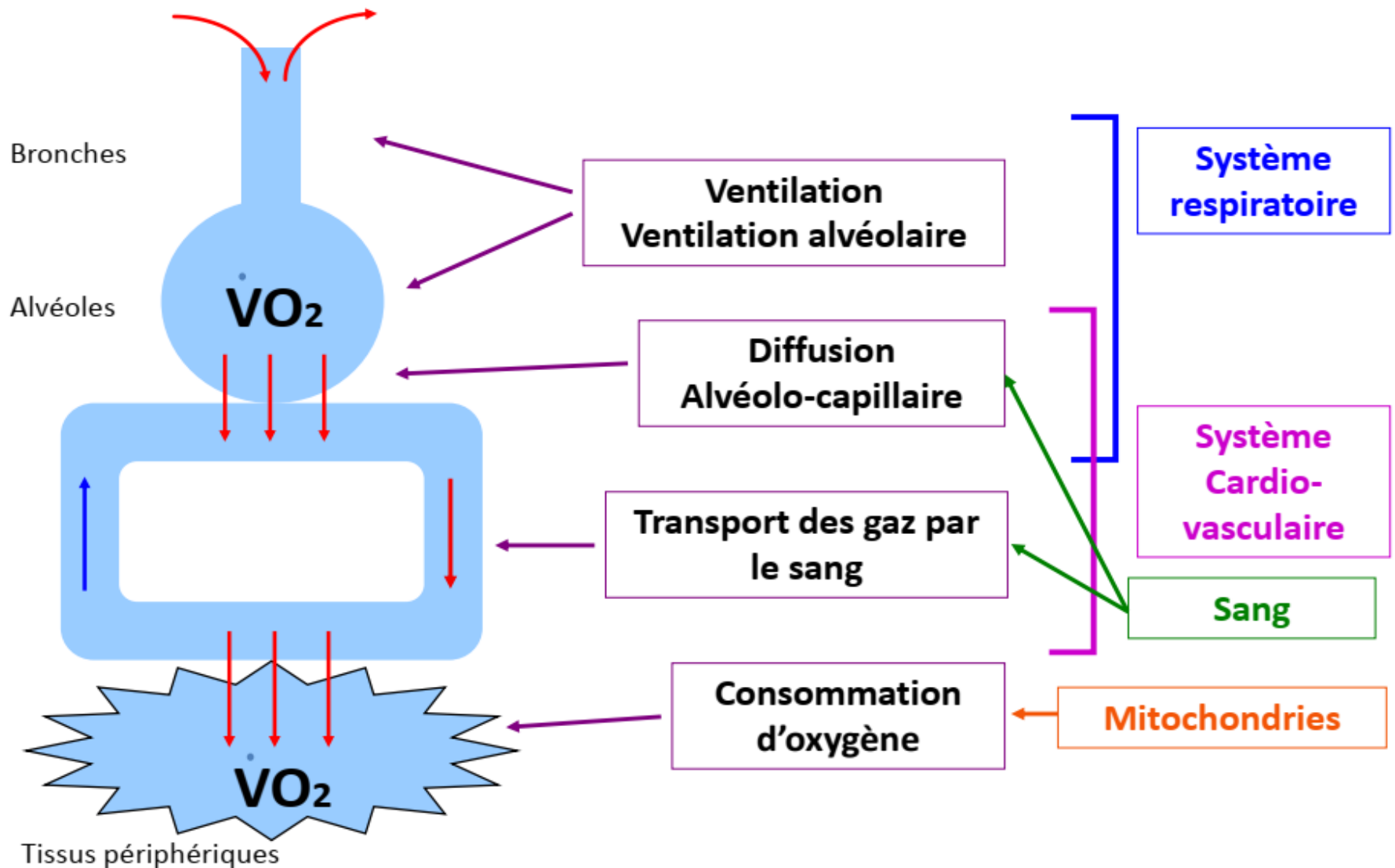


# **ECHANGES ALVEOLO-CAPILLAIRES**

## Respiration - Echanges gazeux



# II- La ventilation

**1- Définition de la ventilation:** Le renouvellement de l'air alvéolaire

**1-a La ventilation globale: VE**

C'est la quantité d'air qui par minute , pénètre au niveau du poumon.

$$VE = VT \times Fr$$

**VT** (Tidal volume) : Volume courant = 500 ml

**Fr** : La fréquence respiratoire par minute (12-16 cycles / min)

**Au repos : VE= 6 L/min**

**1-b La ventilation alvéolaire: VA:**

représente le volume d'air qui arrive effectivement au niveau des alvéoles

$$VA = (VT - VD) \times Fr$$

**VD = Espace mort :**

volume d'air qui n'atteint pas les alvéoles et ne participe pas aux échanges (VD = 150 ml)

## 2 - Différents types d'espaces morts:

**a.Espace mort anatomique:**

sa valeur moyenne est de **150 ml** )

**b.Espace mort alvéolaire:**

sa valeur est de **10 ml**)

**c.Espace mort physiologique**

sa valeur est de **160 ml**)

# 3 - Composition de l'air atmosphérique

- Atmosphère : mélange de gaz
- Les différents gaz de l'atmosphère (**Air sec**):

- **Azote N<sub>2</sub>**

- **oxygène O<sub>2</sub>**

Mais également d'autres gaz dont les pressions partielles sont infimes et donc négligeables (Dioxyde de carbone CO<sub>2</sub>, Argon, Néon, Hélium, Méthane, Krypton, Hydrogène).

– Leur concentration (« fraction ») simplifiée:

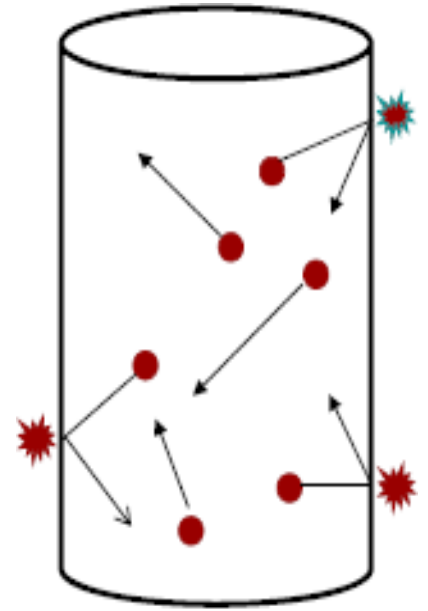
- **F N<sub>2</sub> = 79 %**

- **F O<sub>2</sub> = 21 % (20,93%) ,      F CO<sub>2</sub> ≈ 0 %**

# Notion de pression partielle ( $P_p$ )

- **Gaz** = molécules en mouvement
- Impact des molécules sur une surface = **pression**
- **Pression**: dépend:
  - Nombre de molécules/volume
  - Température

**La loi de Dalton** nous apprend que dans un mélange gazeux, la pression totale est égale à la somme des pressions partielles de gaz constituant le mélange

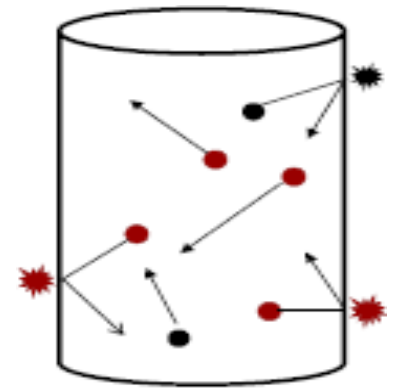


Gaz 1  $\rightarrow$   $P_1$

# Notion de pression partielle (Pp)

- Pression totale (PTOT) = pression atmosphérique (**P<sub>atm</sub>**) ou **barométrique (PB)**
- **P<sub>atm</sub> = 760 mm Hg au niveau de la mer**
- Chaque gaz contribue à la pression totale proportionnellement à sa fraction

$$P_{TOT} = (F_1 \times P_{TOT}) + (F_2 \times P_{TOT})$$



$$\begin{aligned} \text{Gaz 1} &\rightarrow P_1 \\ \text{Gaz 2} &\rightarrow P_2 \\ P_{TOT} &= P_1 + P_2 \end{aligned}$$

# Notion de pression partielle

- Pression partielle de  $N_2 = 760 \times 0,79 = 600 \text{ mmHg}$
- Pression partielle en  $O_2 = 760 \times 0,2093 = 159 \text{ mmHg}$
- Pression inspiratoire en  $O_2$  ( $PIO_2$ ) = 159 mmHg
- En altitude, le pourcentage d'oxygène ne varie pas, contrairement à la pression barométrique qui diminue
- 1800 m  $\longrightarrow$  la  $PIO_2 = 127 \text{ mmHg}$
- 5000 m  $\longrightarrow$  la  $PIO_2 = 84 \text{ mmHg}$
- 8884 m (Mont Everest)  $\longrightarrow$  la  $PIO_2 = 50 \text{ mmHg}$



### 3- Composition de l'air inspiré (Trachéal)

- Au niveau des voies aériennes supérieures , en plus des trois composants habituels de l'air atmosphérique oxygène, azote, dioxyde de carbone s'ajoute un nouveau gaz: **la vapeur d'eau**, puisque le mélange inhalé a été humidifié par les voies ariennes supérieures
- La pression de la vapeur d'eau à la température du corps = **47 mmHg**
- $PI\ O_2 = (P_{atm} - 47) \times 0,21 = 149\ mmHg$
- Le simple passage de l'air atmosphérique dans les voies ariennes supérieures a fait chuter la Pression partielle en  $O_2$  de 10 mmHg, c'est le début de **la cascade de l'oxygène**.
- Celle-ci se continue au niveau des alvéoles

# 3- Composition de l'Air alvéolaire

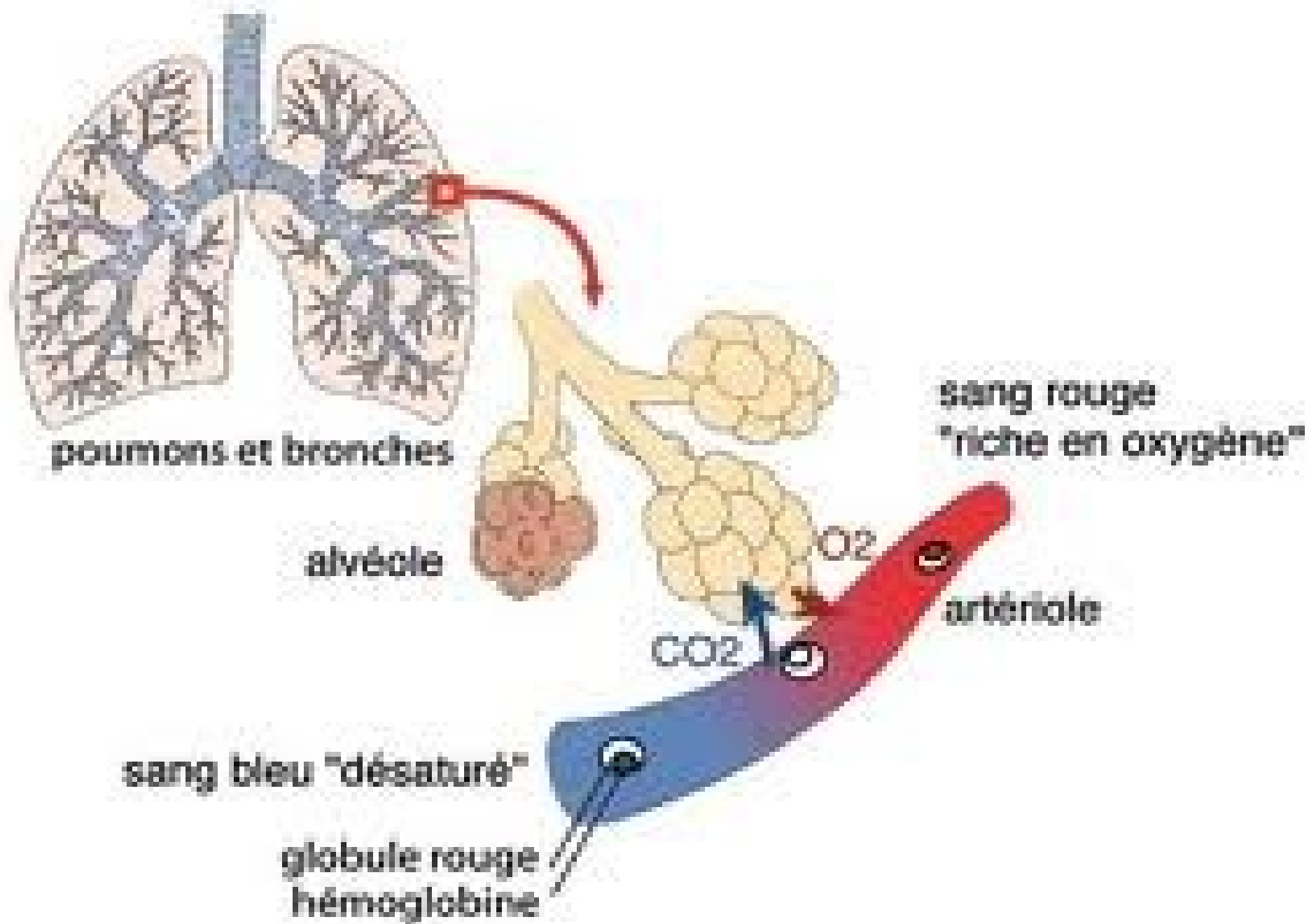
- Au niveau alvéolaire les fractions des gaz changent :
- $FO_2 = 14\%$
- $FCO_2 = 5,5\%$
- $N_2 = 80,5\%$
- $PAO_2$  (pression alveolaire en  $O_2$ ) =  $(760-47) \times 0,14 = 100 \text{ mmHg}$
- $PACO_2 = (760-47) \times 0,055 = 40 \text{ mmHg}$

	$O_2$		$CO_2$		$N_2$	
	Fraction	Pression	Fraction	Pression	Fraction	Pression
Air atmosphérique	0.21	159	0	0	0.79	601
Air inspiré trachéal	0.21	149	0	0	0.79	563
Air expiré	0.175	117	0.035	28	0.8	569
Air alvéolaire	0.14	100	0.055	40	0,8	-

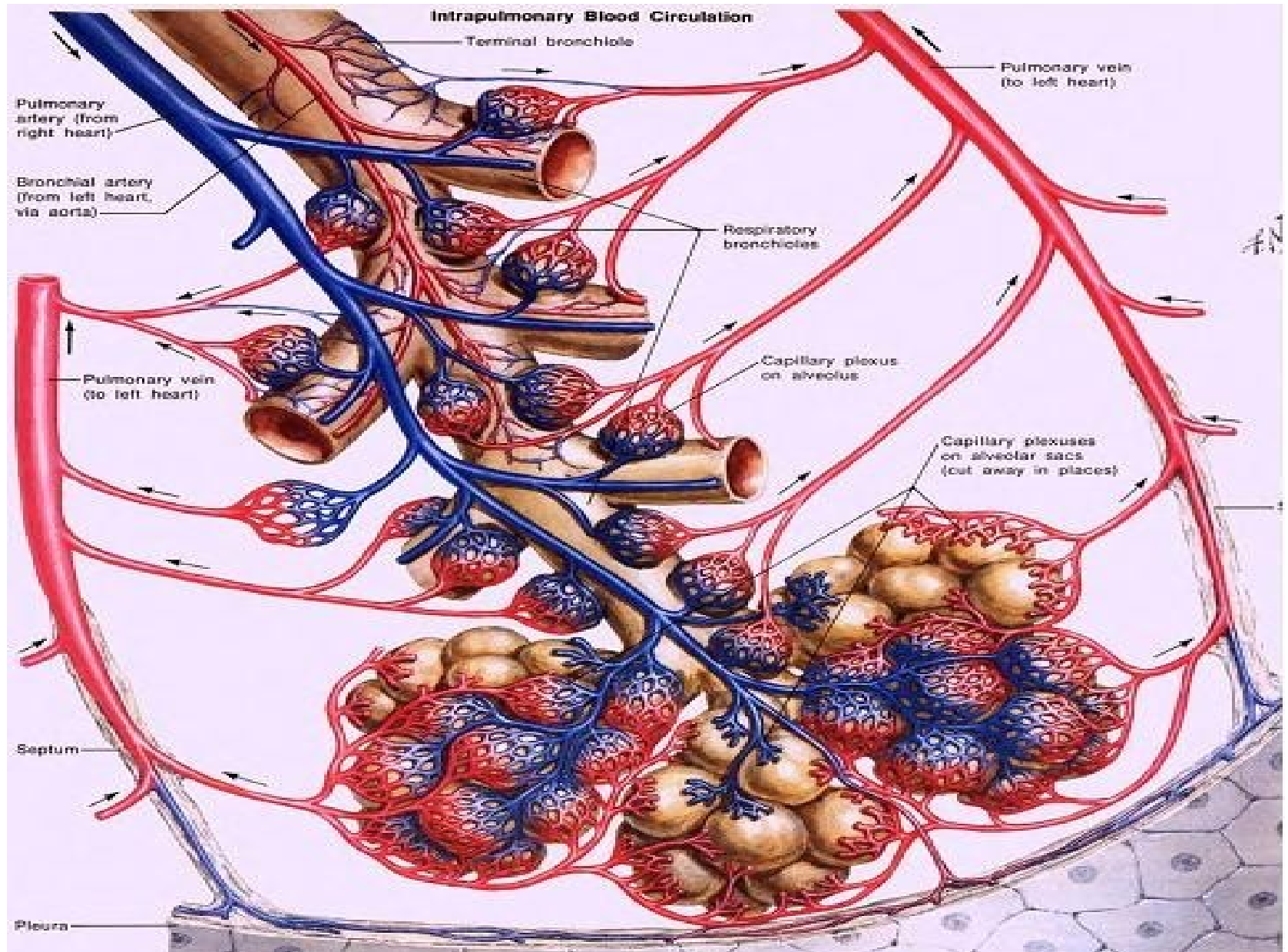
## **II- Les échanges alvéolo-capillaires**

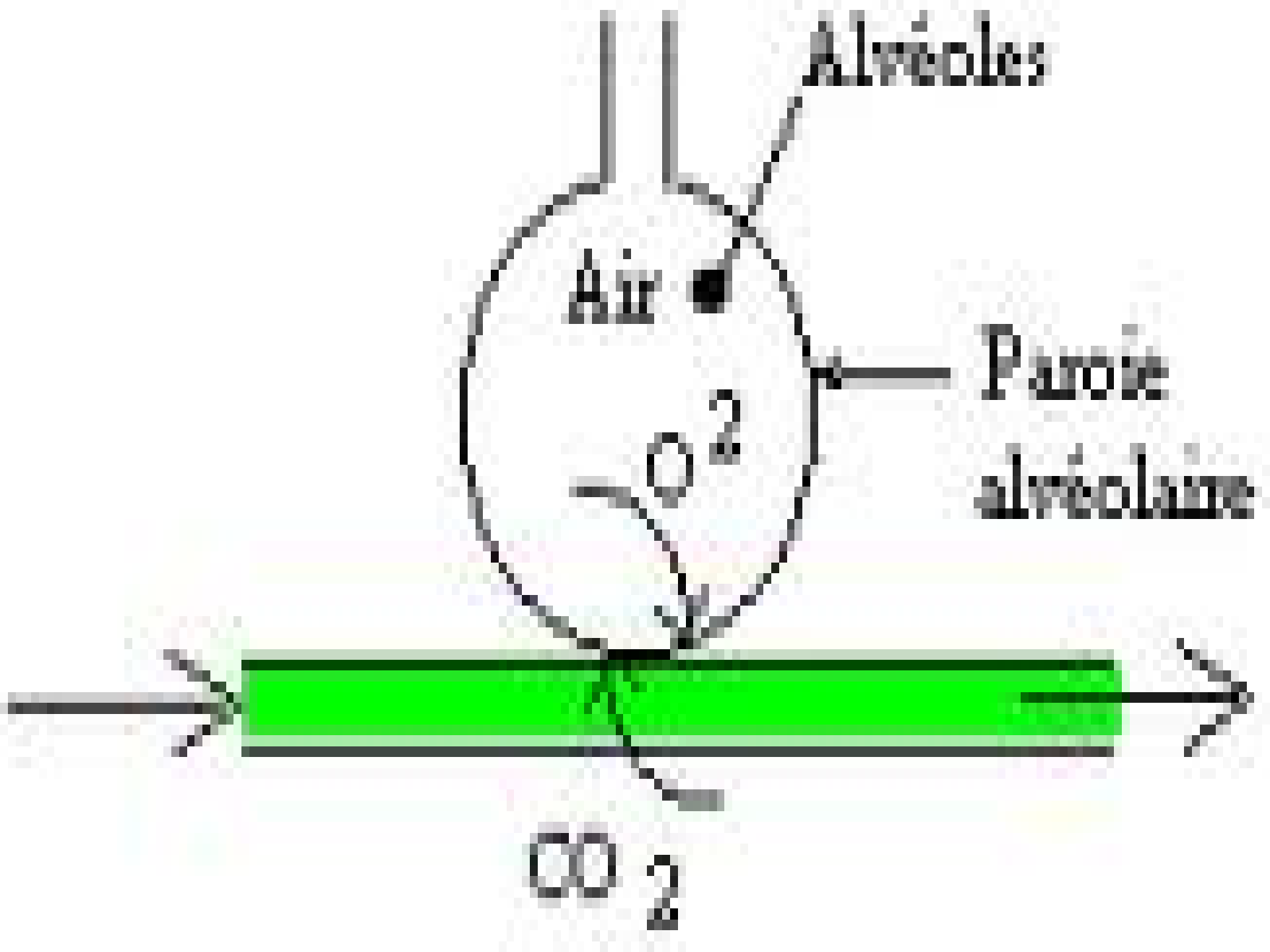
# 1- Introduction

- L'échangeur pulmonaire est la rencontre de deux circulations : aérienne (alvéolaire) et capillaire (sanguine) pulmonaire ;
- Il représente le lieu de *diffusion* de l'oxygène des alvéoles vers le sang, et le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) en sens inverse selon un gradient de pression entre les deux compartiments.
- Cette étape de diffusion fait suite à la ventilation alvéolaire dans le processus respiratoire. L'*hématose fonction principale des poumons* est par conséquent définie par l'ensemble des mécanismes physiologiques qui permettent l'enrichissement du sang veineux mêlé en oxygène.
- L'existence de pathologie perturbant cette diffusion aura des conséquences néfastes sur tout l'organisme tel que l'hypoxie tissulaire et la réduction du métabolisme cellulaire

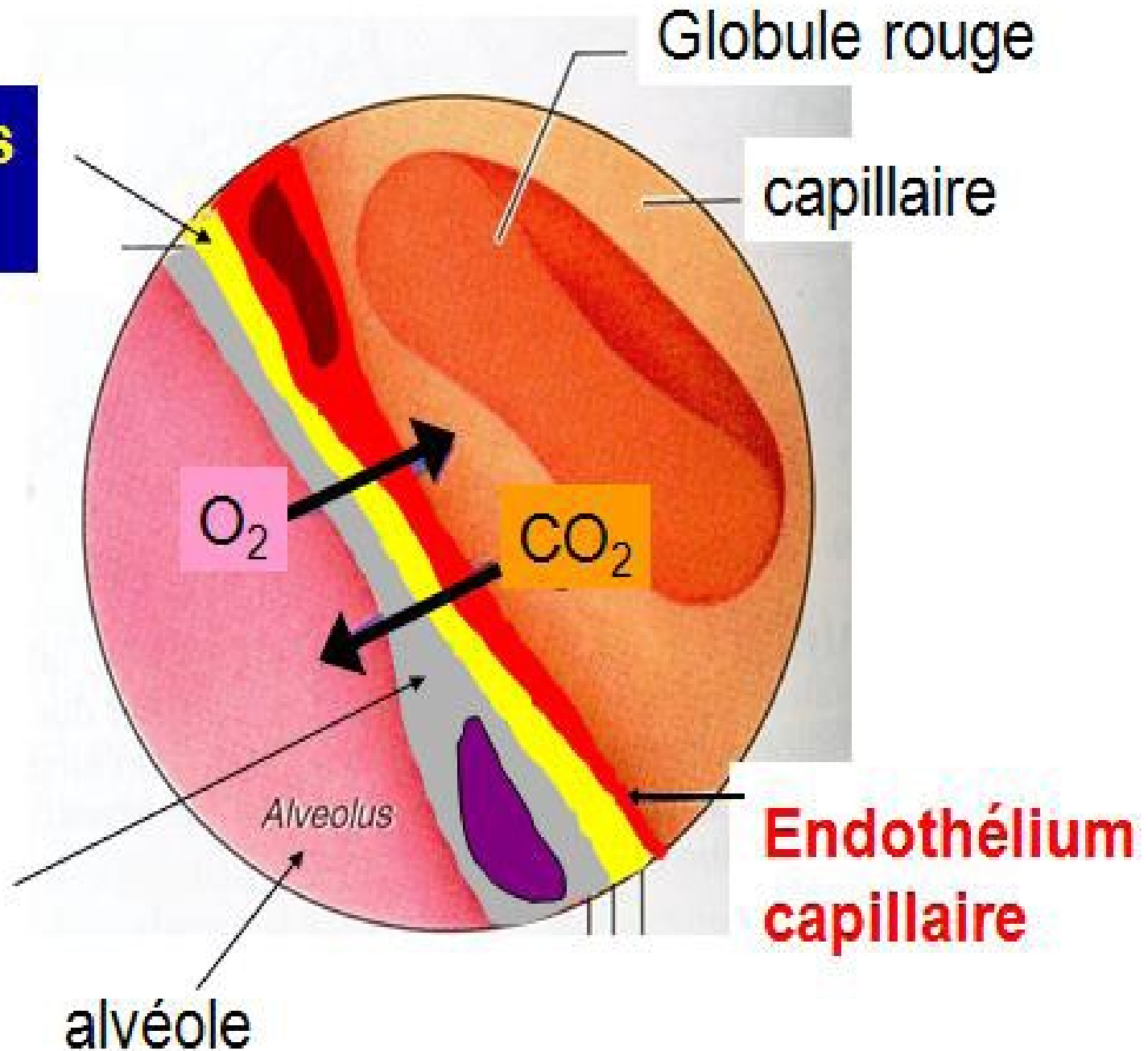


# L'échangeur pulmonaire

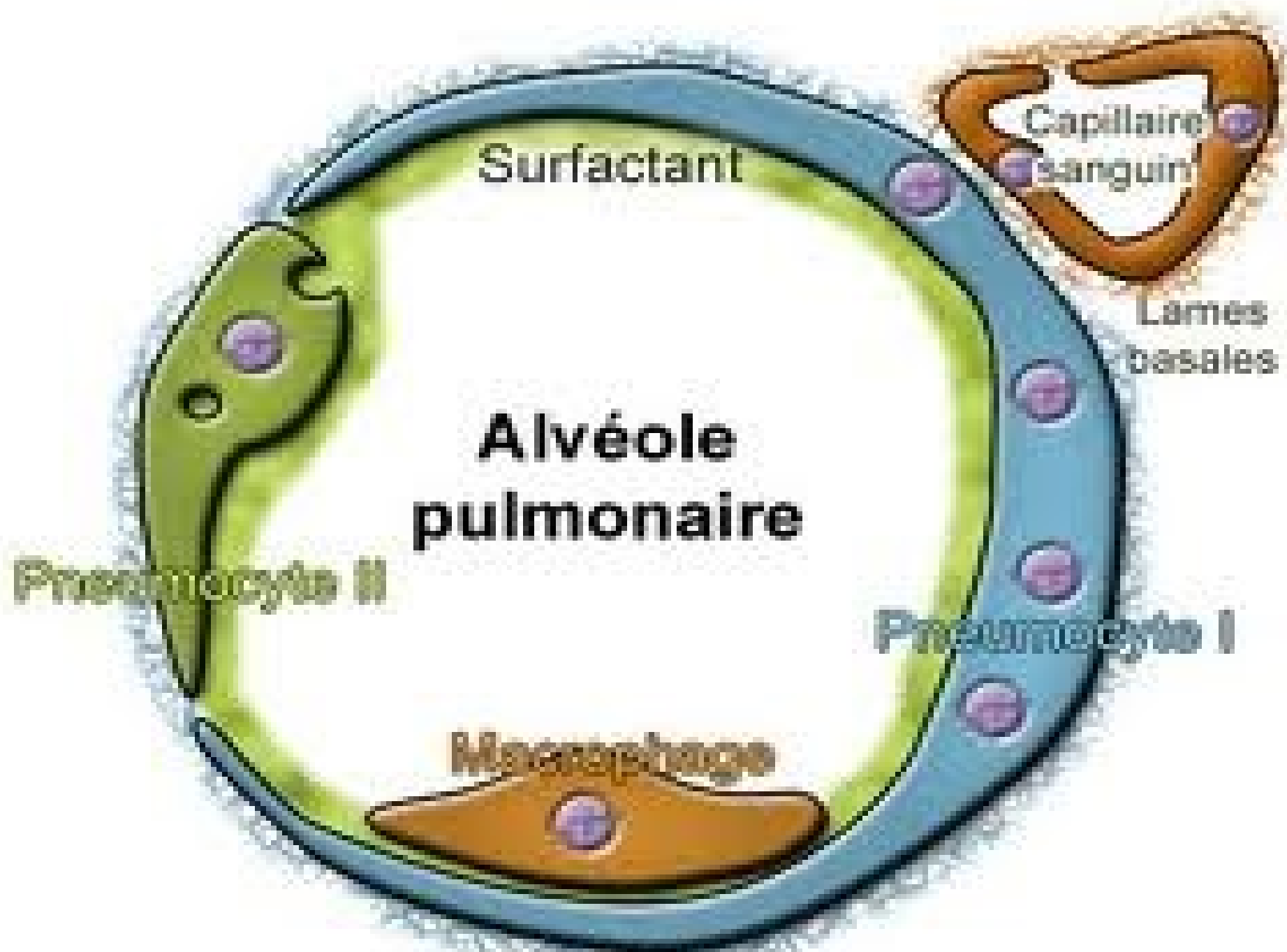


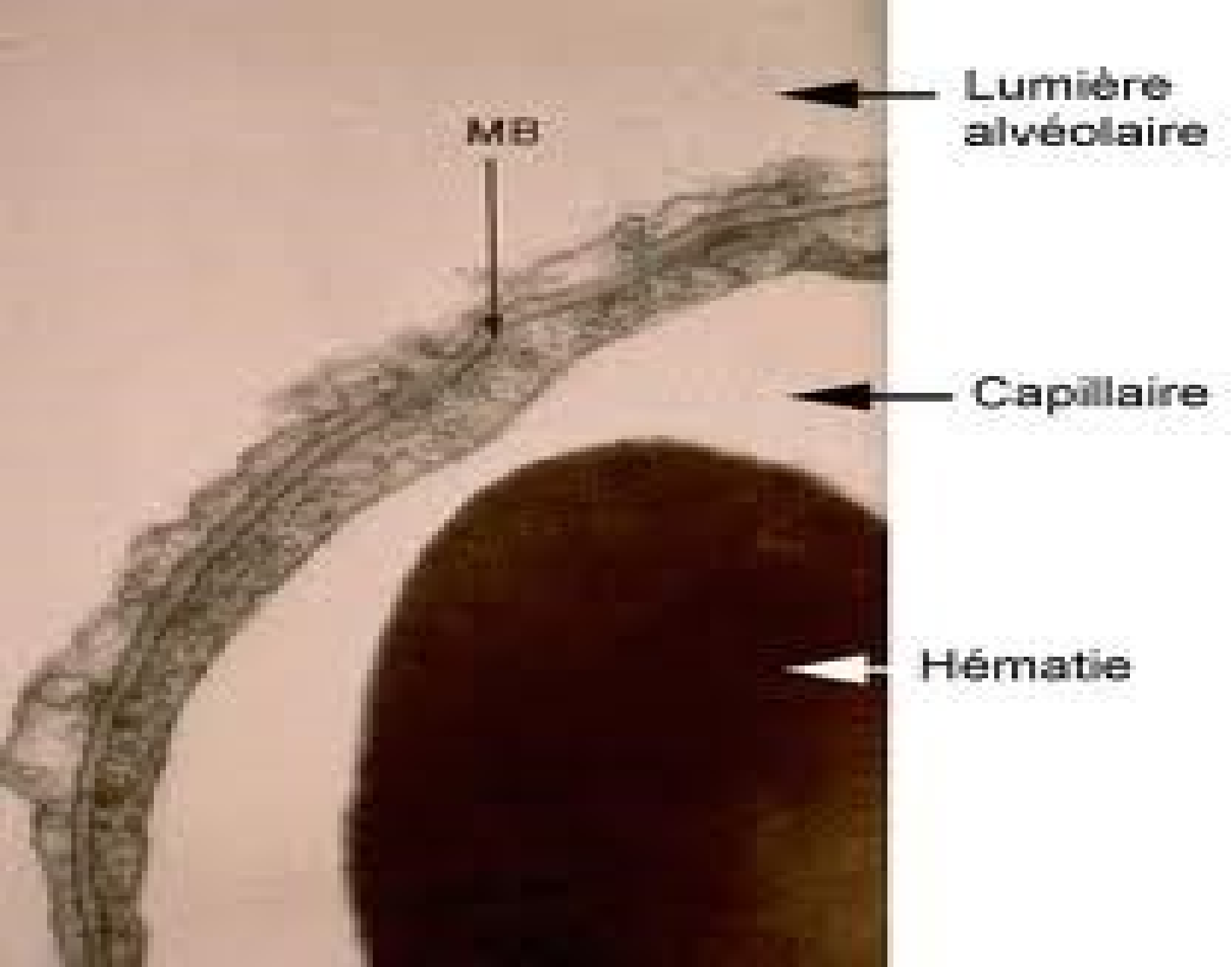


**Membranes  
basales**









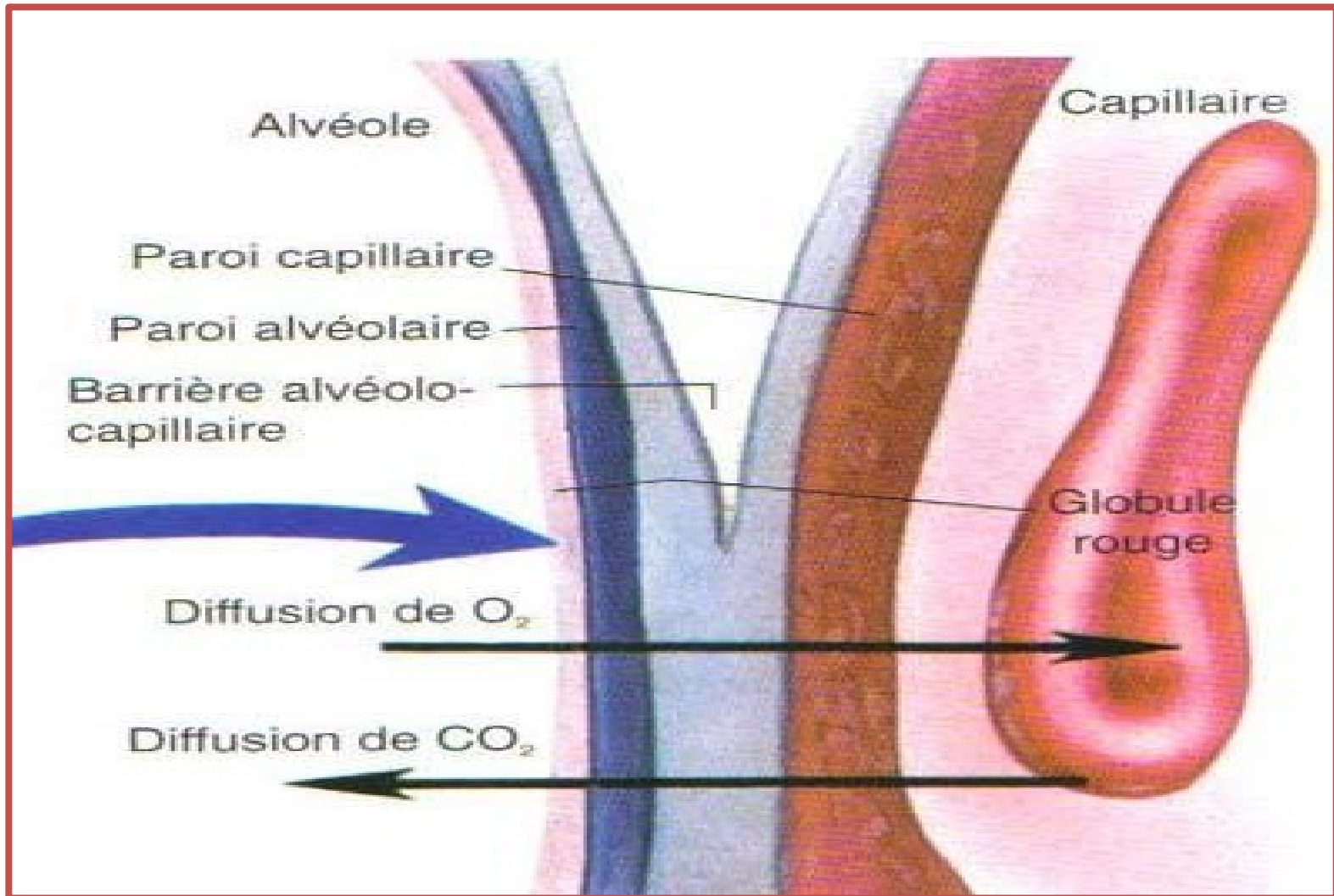
## 2- La membrane alveolo-capillaire (MAC)

La membrane alvéolocapillaire représente plus de 300 millions d'alvéoles et se caractérise par une surface (surface d'échange) considérable comprise entre **50 et 100 m<sup>2</sup>** pour une épaisseur inférieure à **0.5 micromètre**

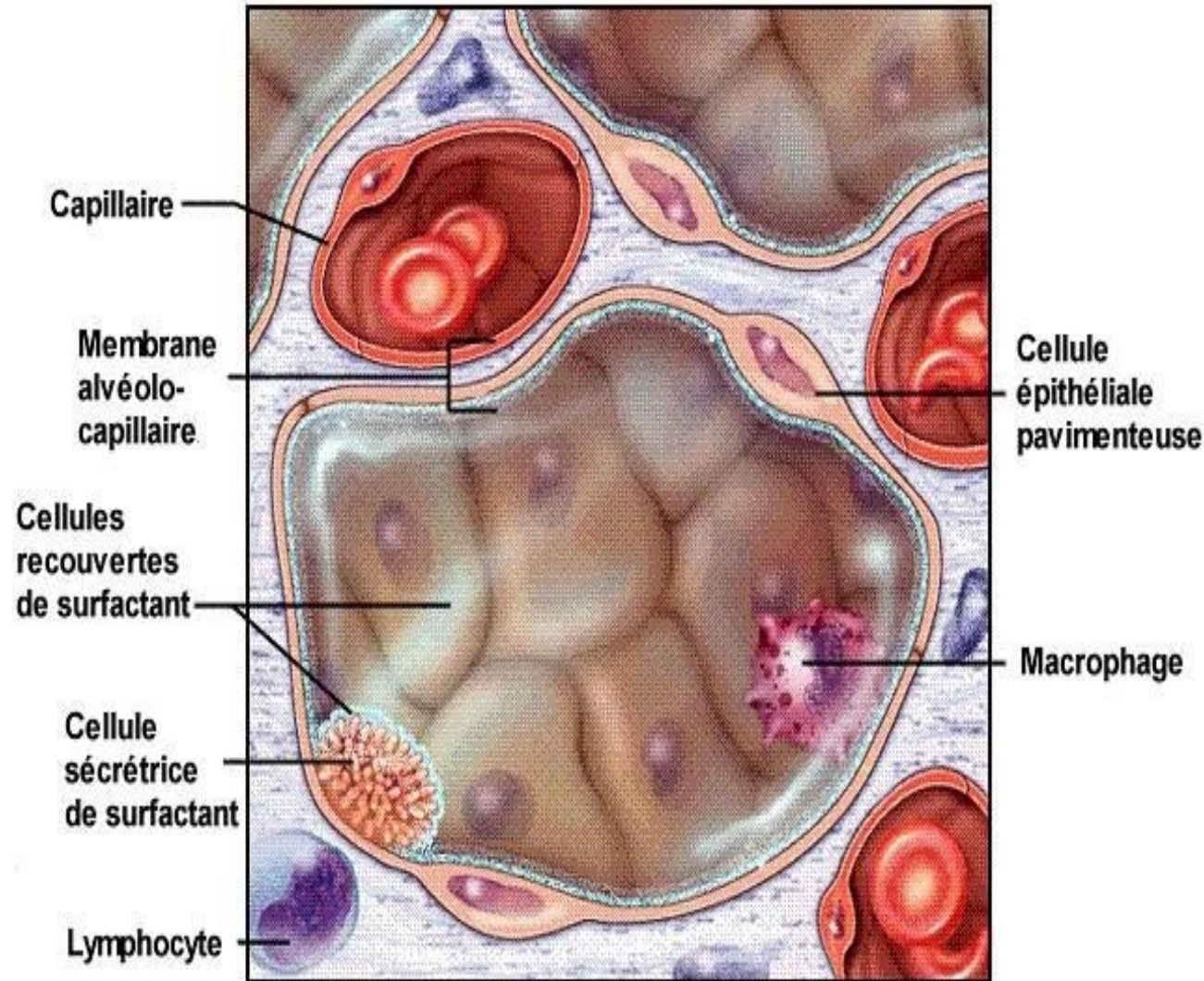
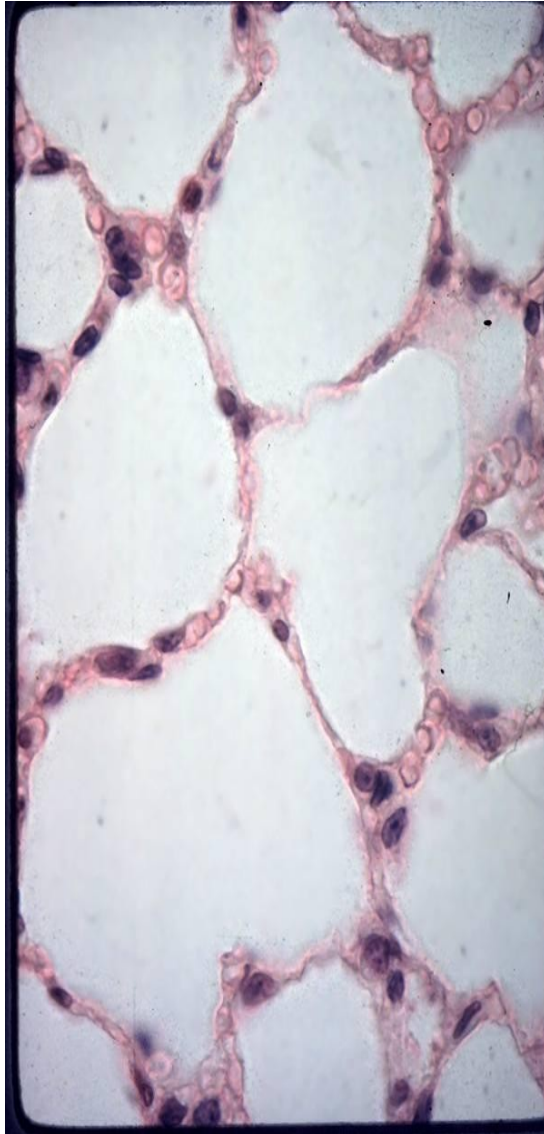
Elle est successivement composée par les structures suivantes :

- Film endo alvéolaire (Surfactant)
- Epithélium alvéolaire
- Interstitium
- Membrane capillaire (Endothélium)
- Plasma
- Membrane du globule rouge

# La membrane alvéolo-capillaire

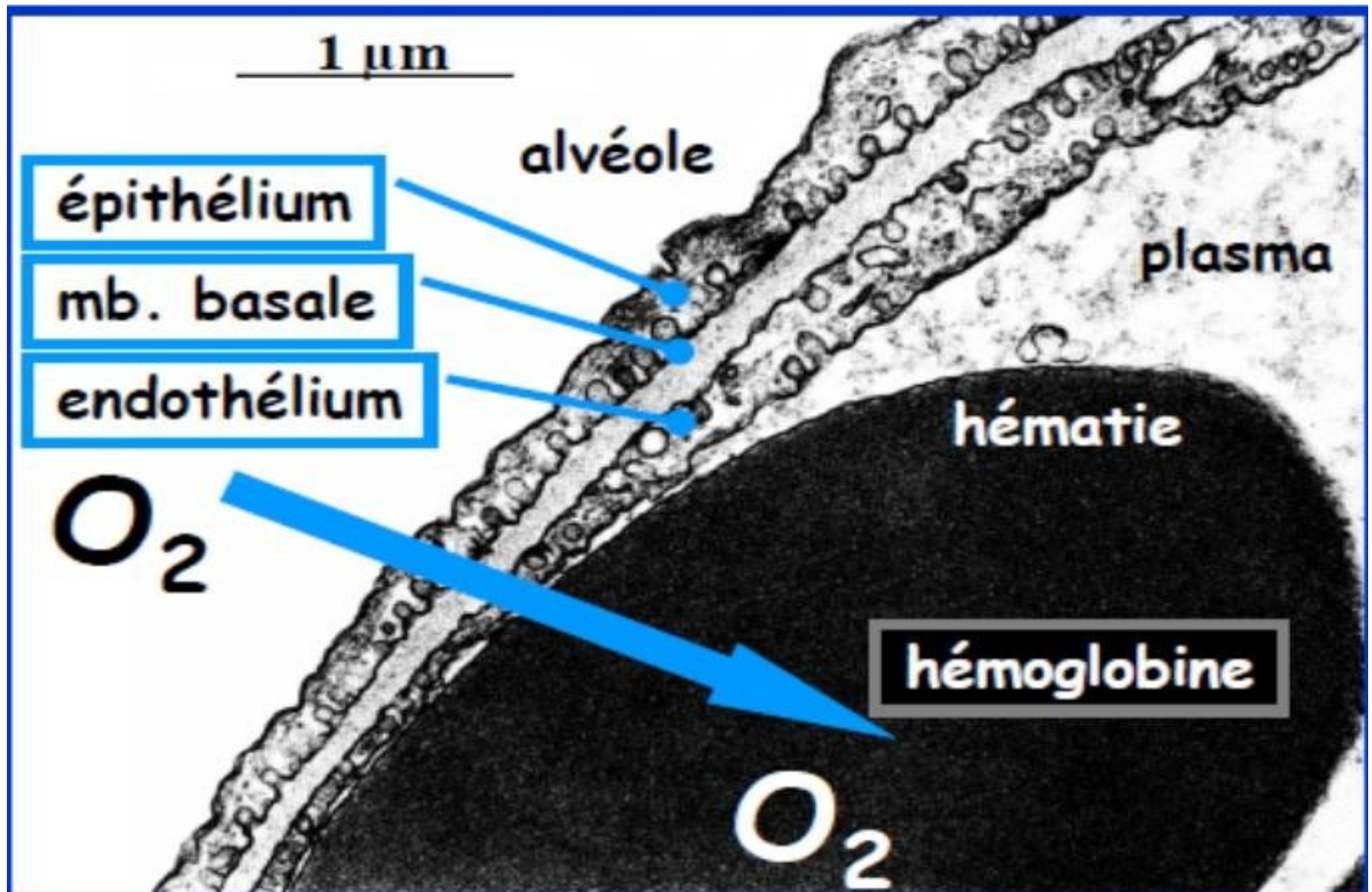


# La membrane alvéolo-capillaire



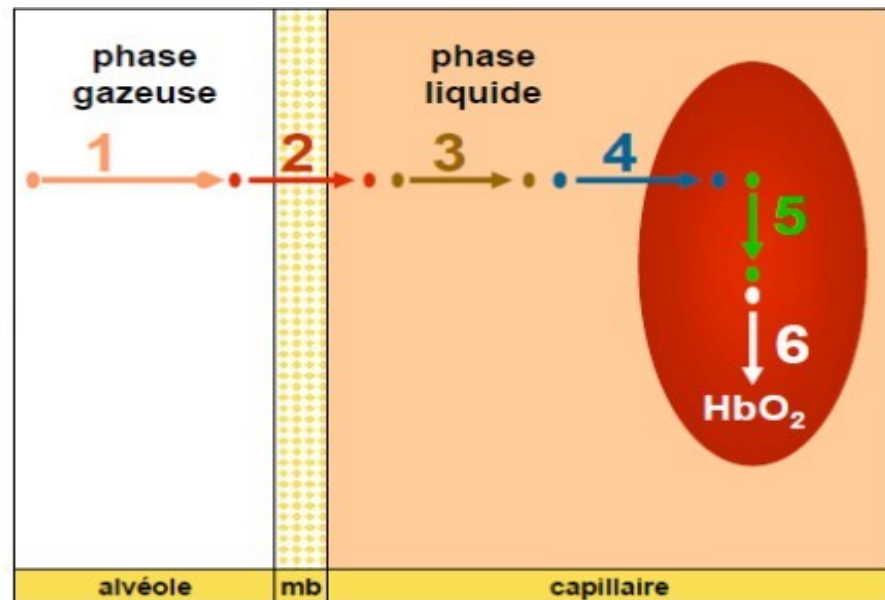


# La membrane alvéolo-capillaire



- Après avoir traverser l'ensemble de ces couche ( par simple diffusion ) l'oxygène doit réagir *chimiquement* avec l'hémoglobine pour être fixé puis transporté aux tissus, c'est pour cette raison qu'on ne parle plus de diffusion mais de **transfert alvéolocapillaire**.

- 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)

- Le transfert des gaz de l'alvéole vers le sang se fait en deux étapes :

**a – Diffusion membranaire:**

à travers la membrane alvéolo-capillaire qui présente les caractéristiques d'une très grande surface et d'une faible épaisseur .

**b-Diffusion sanguine et combinaison chimique avec l'hémoglobine**

**Les gaz rencontrent ainsi deux résistances en série, la membrane et le sang.**

La différence des pressions partielles entre l'alvéole et les capillaires assure le transfert à travers ces deux résistances.





## II \_ LOIS DE DIFFUSION:

---

- Les échanges gazeux pulmonaires intéressent l'O<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub> et s'accomplissent à travers la MAC en obéissant à la lois de diffusion
- La diffusion d'un gaz à travers un tissu est régie par la loi de FICK

$$VD \text{ ou } \dot{V}_{\text{gaz}} = (S/E).K(P_1 - P_2)$$

$K = \text{sol}/\sqrt{PM}$

S: surface du tissu, VN: 50 à 100m<sup>2</sup>

E: épaisseur, VN: 0,2 à 0,5μm

K: constante de diffusion du gaz,  
 $O_2=1$ ,  $CO_2=20,01$

P1-P2: gradient de pression de part et  
d'autre du tissu

Sol: solubilité du gaz

PM: poids moléculaire du gaz

---

# III \_ FACTEURS MODIFIANTS

## LA DIFFUSION:

- La capacité de diffusion membranaire dépend de deux facteurs placés en série:

### A - facteurs physiques:

#### 1 -l'épaississement:

- ✓ Augmentation des résistances membranaires
- ✓ Diminution de la vitesse de diffusion
- ✓ Exemple: fibrose

2 - réduction de la surface d'échange:

Exemple: \*exérèse thérapeutique d'un  
poumon ou d'une partie

\*Compression par  
déformation thoracique

3 - diminution du gradient de pression:

Exemple: altitude

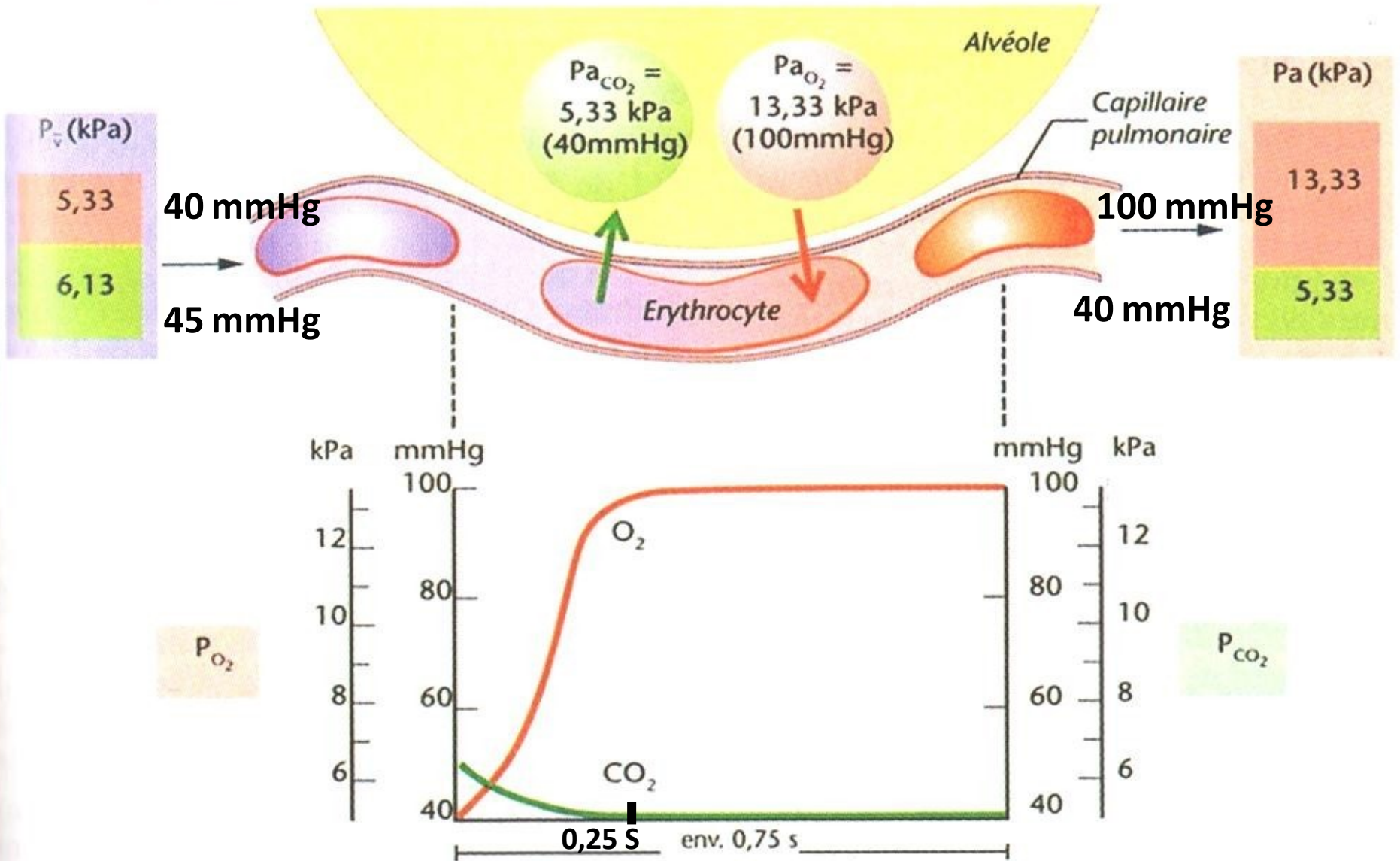
## B - facteurs chimiques:

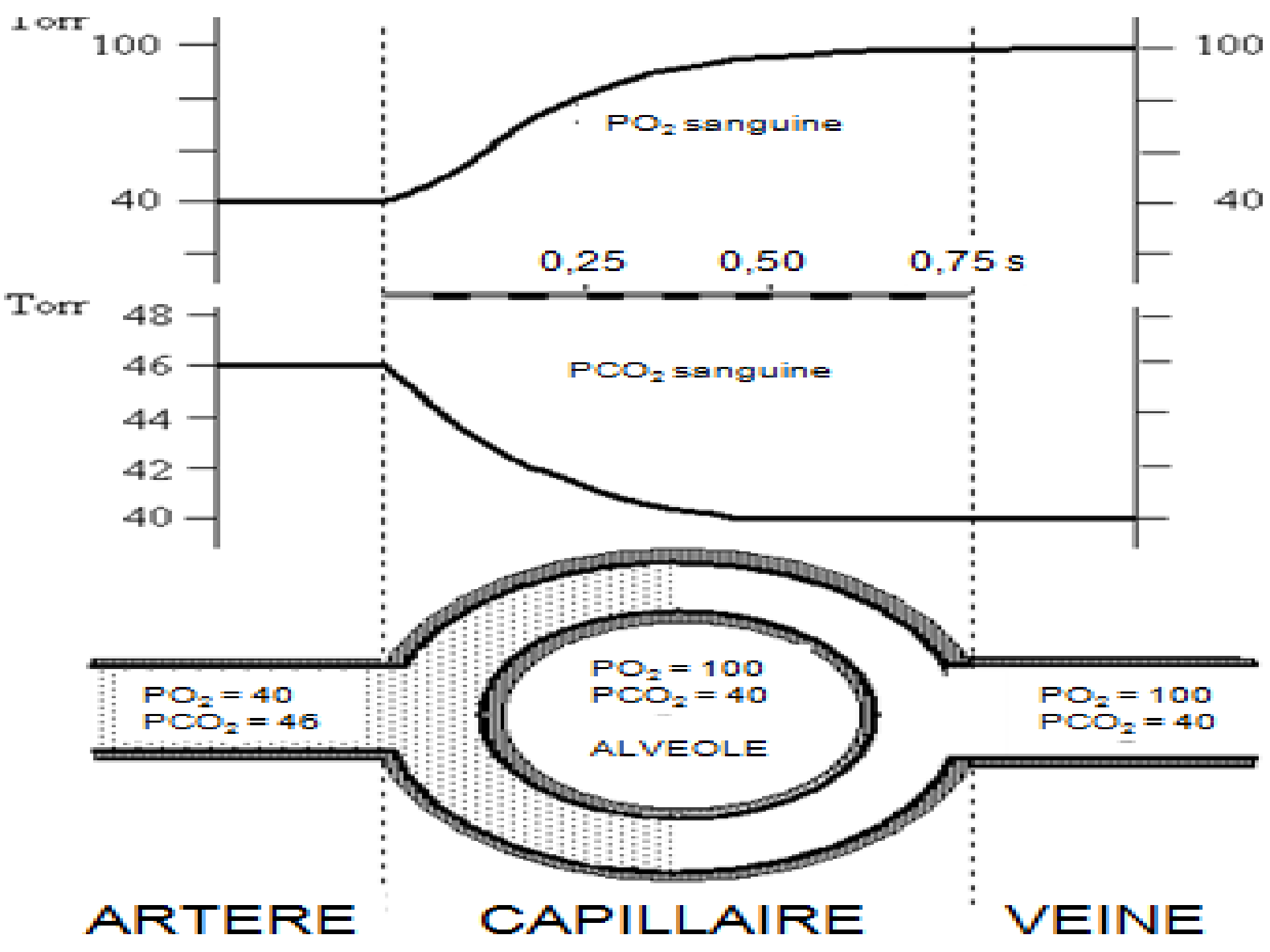
Diminution de la concentration  
de l'hémoglobine  $\Rightarrow$  diminution de la  
diffusion de l'oxygène

# 4- Diffusion de l'oxygène

- La diffusion de l'O<sub>2</sub> se fait de l'alvéole vers le sang capillaire.
- Le sang parcourt le capillaire pulmonaire en **0,75 seconde**.
- L' équilibre des pressions d'O<sub>2</sub> est atteint rapidement en **0,25 seconde**.

# Diffusion de l'oxygène







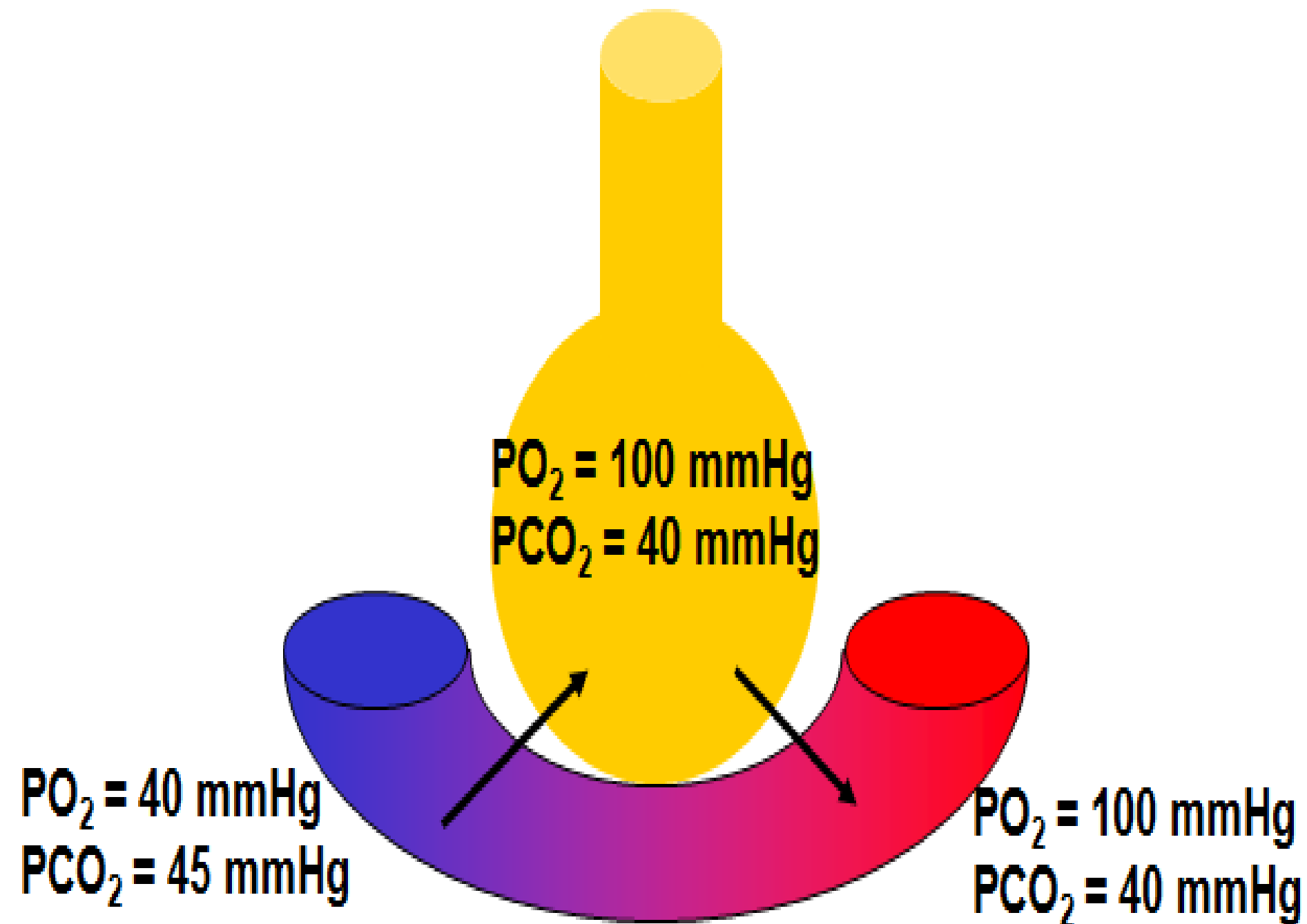
*Lors d'un exercice musculaire:*

- Diminution du temps de passage du sang et peut atteindre 0,35 sec sans jamais atteindre 0,25 sec

# 5- Diffusion du CO<sub>2</sub>

- le CO<sub>2</sub> diffuse du capillaire vers l'alvéole.

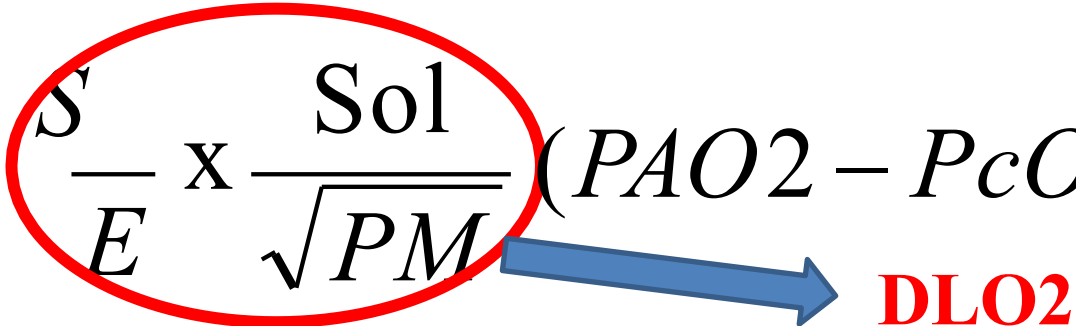
Du fait de sa *grande solubilité* (**20 à 25 fois** supérieure à celle de l'oxygène), le CO<sub>2</sub> diffuse facilement à travers la membrane alvéolocapillaire malgré le faible gradient de pression,



## 6- Capacité de diffusion pulmonaire de l'oxygène

$$V_{\text{gaz}} = \frac{S}{E} \times \frac{\text{Sol}}{\sqrt{PM}} (P_1 - P_2)$$

$$V_{\text{O}_2} = \frac{S}{E} \times \frac{\text{Sol}}{\sqrt{PM}} (PAO_2 - PcO_2)$$

$$V_{\text{O}_2} = \left( \frac{S}{E} \times \frac{\text{Sol}}{\sqrt{PM}} \right) (PAO_2 - PcO_2)$$


**DLO<sub>2</sub>**

PAO<sub>2</sub>: Pression alvéolaire en O<sub>2</sub>

PcO<sub>2</sub>: Pression capillaire en O<sub>2</sub>

## 6- Capacité de diffusion pulmonaire de l'O<sub>2</sub>

$$V_{O_2} = DLO_2 (P_{AO_2} - P_{cO_2})$$

$$DLO_2 = \frac{V_{O_2}}{(P_{AO_2} - P_{cO_2})}$$

### **DLO<sub>2</sub> : Capacité de diffusion pulmonaire de l'O<sub>2</sub>**

Elle est définie comme la quantité d'O<sub>2</sub> qui diffuse à travers la membrane alvéolo-capillaire en une minute et pour une différence de pression de 1 mmHg de part et d'autre de la membrane.

Elle est exprimée en **ml /min/mmHg**

## 6- Capacité de diffusion pulmonaire de l'O<sub>2</sub>

- Cette capacité de diffusion est assimilable à une conductance (débit/pression).
- Actuellement le terme de capacité de transfert du poumon (TL) est préféré à celui de capacité de diffusion (DL), parce que, comme on l'a vu, cette conductance ne dépend pas que de phénomènes de diffusion membranaire.

$$TL_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{(PAO_2 - PcO_2)}$$

# 7- Mesure de la capacité de transfert

- Si l'on reprend la formule  $TL_{O_2} = VO_2 (PA_{O_2} - P_c O_2)$ , le terme  $P_c O_2$  qui représente la pression capillaire de l'oxygène est très difficile à mesurer.
- On utilise alors le monoxyde de carbone « **CO** » qui:
  - Suit le même trajet que l'oxygène,
  - Présente une capacité majeure à se fixer à l'hémoglobine (affinité **250 fois** supérieure à celle de l'oxygène),
  - Donc il est absent au niveau capillaire ( **$P_c CO=0$** )

On écrit alors:  **$TL_{CO} = V_{CO} / PA_{CO} - P_c CO$**   
 **$TL_{CO} = V_{CO} / PA_{CO}$**

Chez l'homme jeune de 20 ans d'une taille de 1.75 mètres, la  **$TL_{CO}$**  est égale à environ **35 ml/ mn/ mmHg**.

# 8 -Perturbation de la TLCO

- **Augmentation de l'épaisseur de la MAC**
  - Fibrose pulmonaire (exemple: La Covid 19, sclérodermie, polyarthrite rhumatoïde....)
- **Diminution de la surface d'échange:**
  - Résection pulmonaire (pneumonectomie , cancer du poumon ....)
- **Atteinte vasculaire pulmonaire**
  - Emphysème pulmonaire, Embolie pulmonaire