



Les échanges Alvéolo-Capillaires

Dr. Martani

Université Constantine 3

**Service de physiologie clinique et des explorations
fonctionnelles CHU Constantine**

PLAN

II- La ventilation alvéolaire

1 - Définition

2 - Différents types d'espaces morts

3 -Composition de l'air atmosphérique, inspiré et alvéolaire

II- Les échanges alvéolo-capillaires

1- Introduction

2- La membrane alvéolo-capillaire

3- Lois physique de diffusion

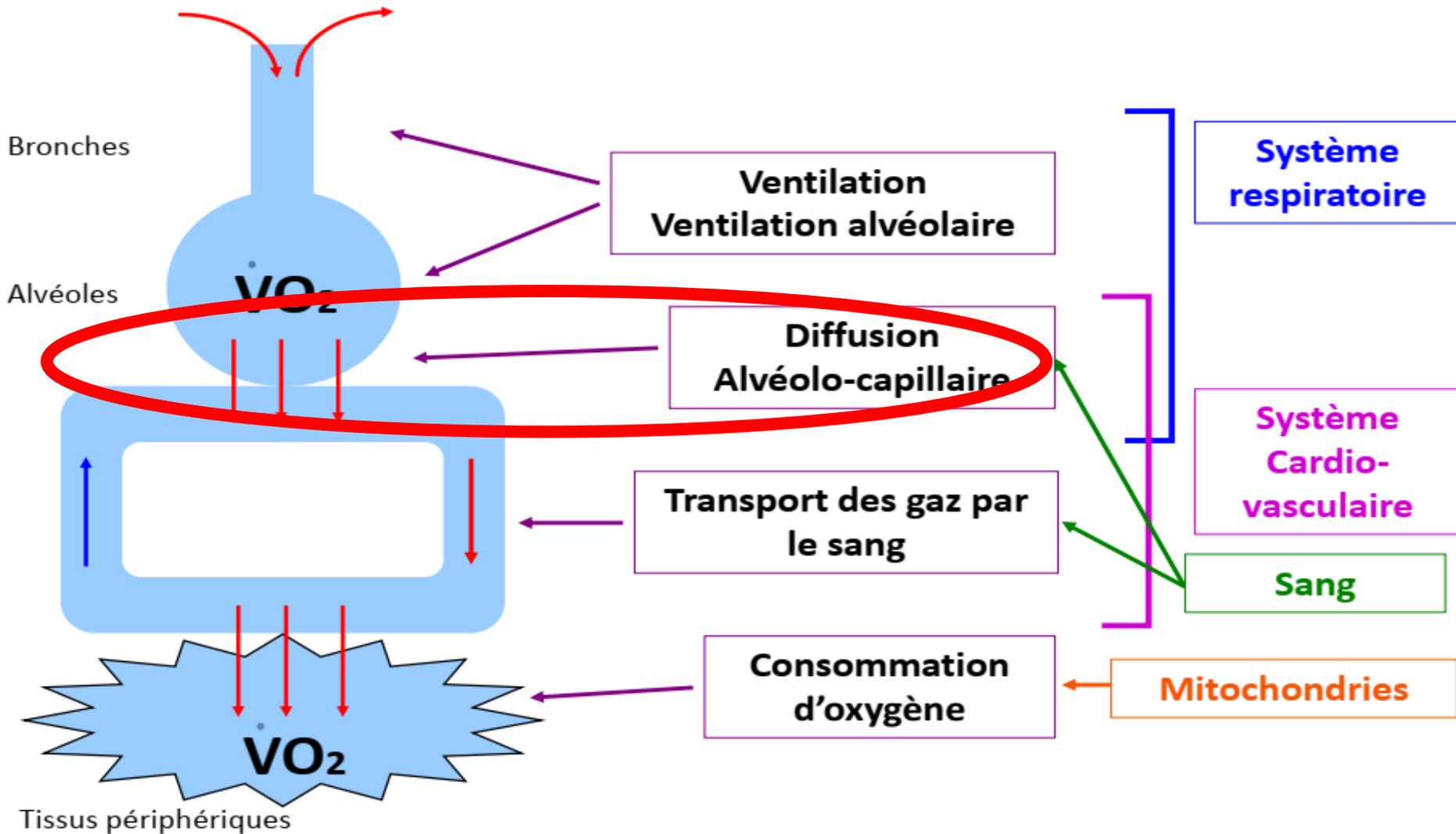
4- Diffusion de l'O₂ et du CO₂

5- Capacité de transfert de l'O₂

6- Mesure de la capacité de transfert

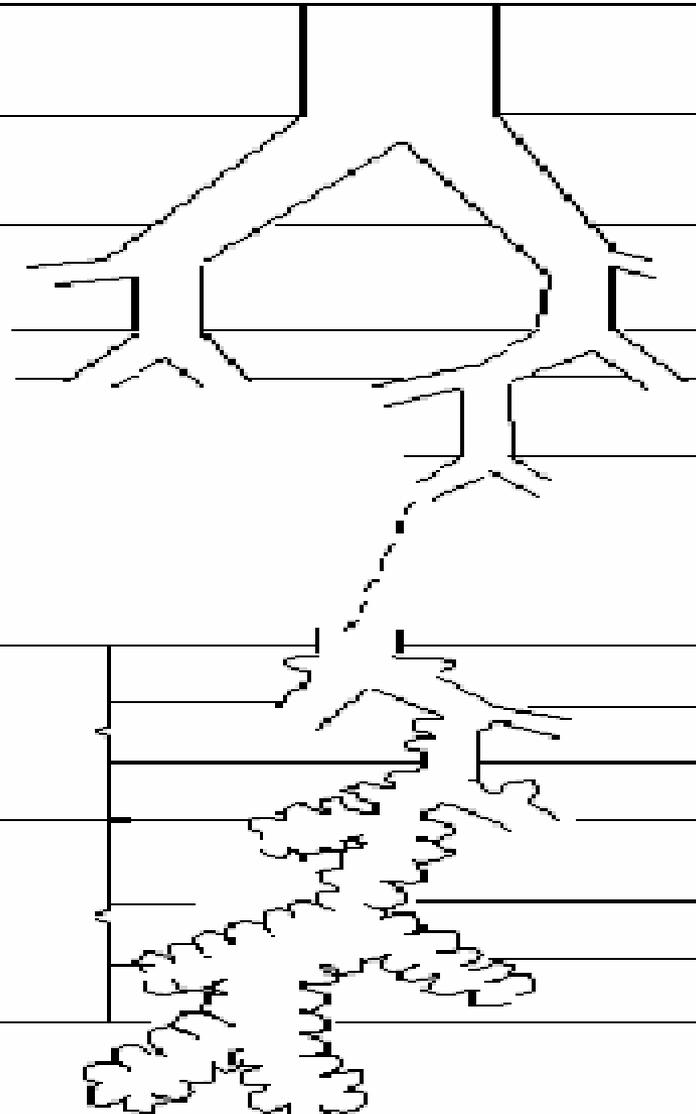
7- Perturbation de la TLCO

Les étapes de la respiration



Zones respiratoires

ZONE DE CONDUCTION	Trachée		0
			1
	arbre bronchique		2
	bronchioles		3
	bronchioles terminales		4
TRANS.			↓
	bronchioles respiratoires		17
			18
		19	
ZONE RESP.	conduits alvéolaires		20
			21
	sacs alvéolaires		22
			23



The diagram illustrates the human respiratory system, showing the trachea at the top, branching into bronchi and bronchioles, and finally into alveolar sacs at the bottom. The diagram is overlaid on a table that categorizes these structures into zones and assigns them numerical values from 0 to 23.

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 : $VE = 6 \text{ L/min}$

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 ($VD = 150 \text{ ml}$)

2 - Différents types d'espaces morts:

Est défini comme espace mort tout espace ventilé mais non perfusé.

a- Espace mort anatomique:

Correspond à la zone de conduction et la partie non alvéolisée de la zone de transition (sa valeur moyenne est de **150 ml**)

b- Espace mort alvéolaire:

Correspond aux alvéoles ventilés mais non perfusés (sa valeur est de **10 ml**)

c- Espace mort physiologique ou total :

correspond à la somme des deux espace mort anatomique et alvéolaire (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 N₂**
- **oxygène O₂**

Mais également d'autres gaz dont les pressions partielles sont infimes et donc négligeables (Dioxyde de carbone CO₂, Argon, Néon, Hélium, Méthane, Krypton, Hydrogène).

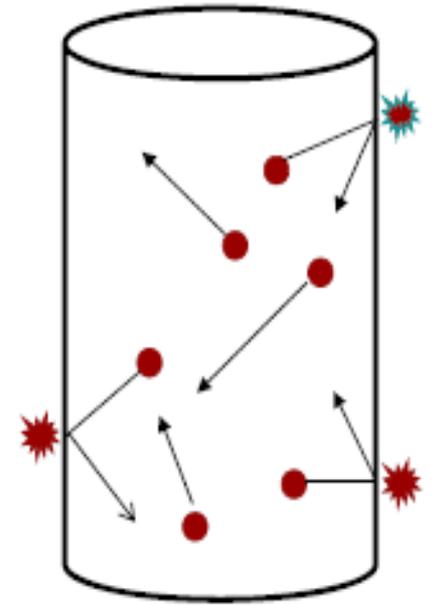
– Leur concentration (« fraction ») simplifiée:

- **F N₂ = 79 %**
- **F O₂ = 21 % (20,93%) , F CO₂ ≈ 0 %**

Notion de pression partielle (Pp)

- **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

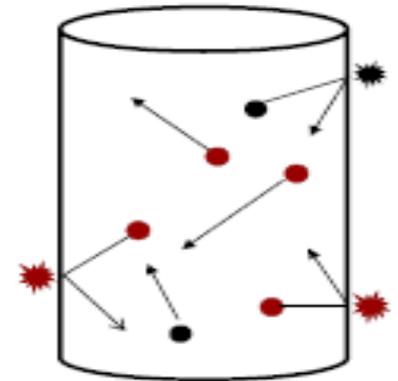


Gaz 1 → P1

Notion de pression partielle (Pp)

- Pression totale (PTOT) = pression atmosphérique (**P_{atm}**) ou **barométrique (PB)**
- **P_{atm} = 760 mm Hg au niveau de la mer**
- Chaque gaz contribue à la pression totale proportionnellement à sa fraction

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



Gaz 1 → P₁
Gaz 2 → P₂
P_{TOT} = P₁ + P₂

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 (PIO₂) = 159 mmHg

- En altitude, le pourcentage d'oxygène ne varie pas, contrairement à la pression barométrique qui diminue
- 1800 m \longrightarrow la PIO₂ = 127 mmHg
- 5000 m \longrightarrow la PIO₂ = 84 mmHg
- 8884 m (Mont Everest) \longrightarrow la PIO₂ = 50 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**
- $PI O_2 = (P_{atm} - 47) \times 0,023 = 149 \text{ mmHg}$
- 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) = $(760-47) \times 0,14 = 100 \text{ mmHg}$
- $PACO_2 = (760-47) \times 0,055 = 40 \text{ mmHg}$

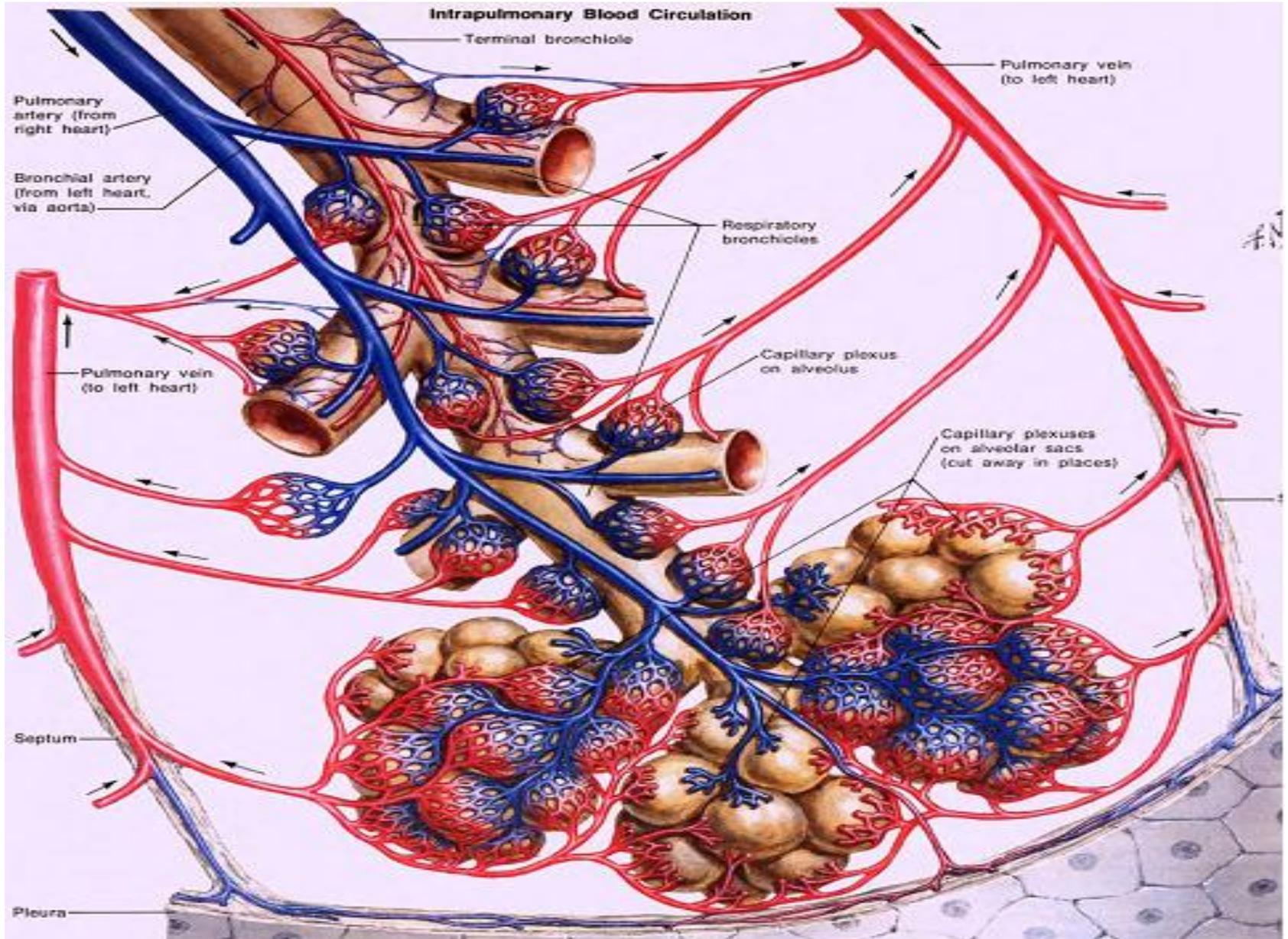
	O_2		CO_2		N_2	
	Fraction	Pression	Fraction	Pression	Fraction	Pression
Air atmosphérique	0.21	159	0	0	0.79	601
Air inspiré trachéal	0.21	149	0	0	0.79	563
Air expiré	0.175	117	0.035	28	0.8	569
Air alvéolaire	0.14	100	0.055	40	0,8	-

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 (CO₂) 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



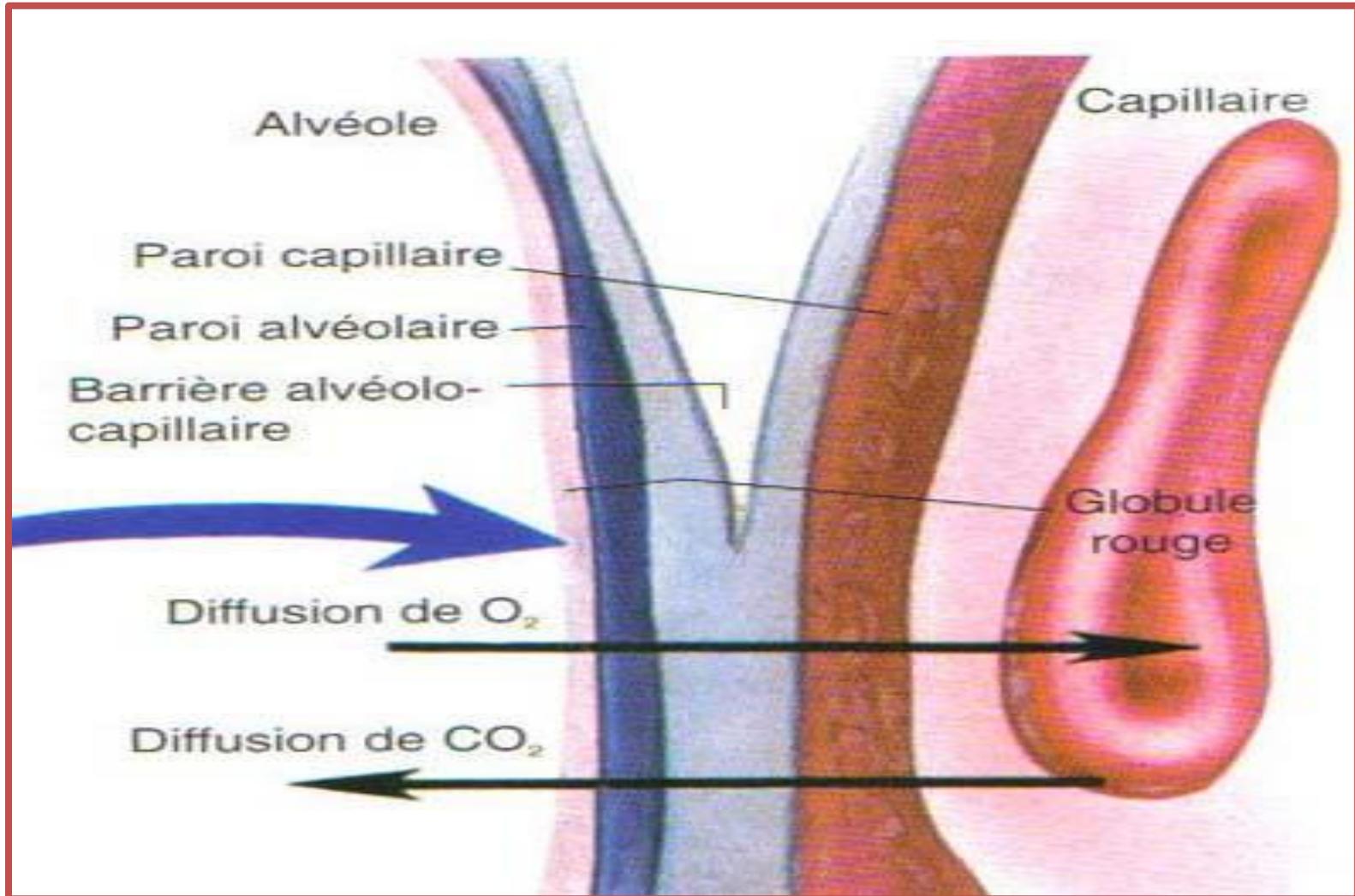
2- La membrane alveolo-capillaire (MAC)

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 m²** pour une épaisseur inférieure à **0.5 micromètre**

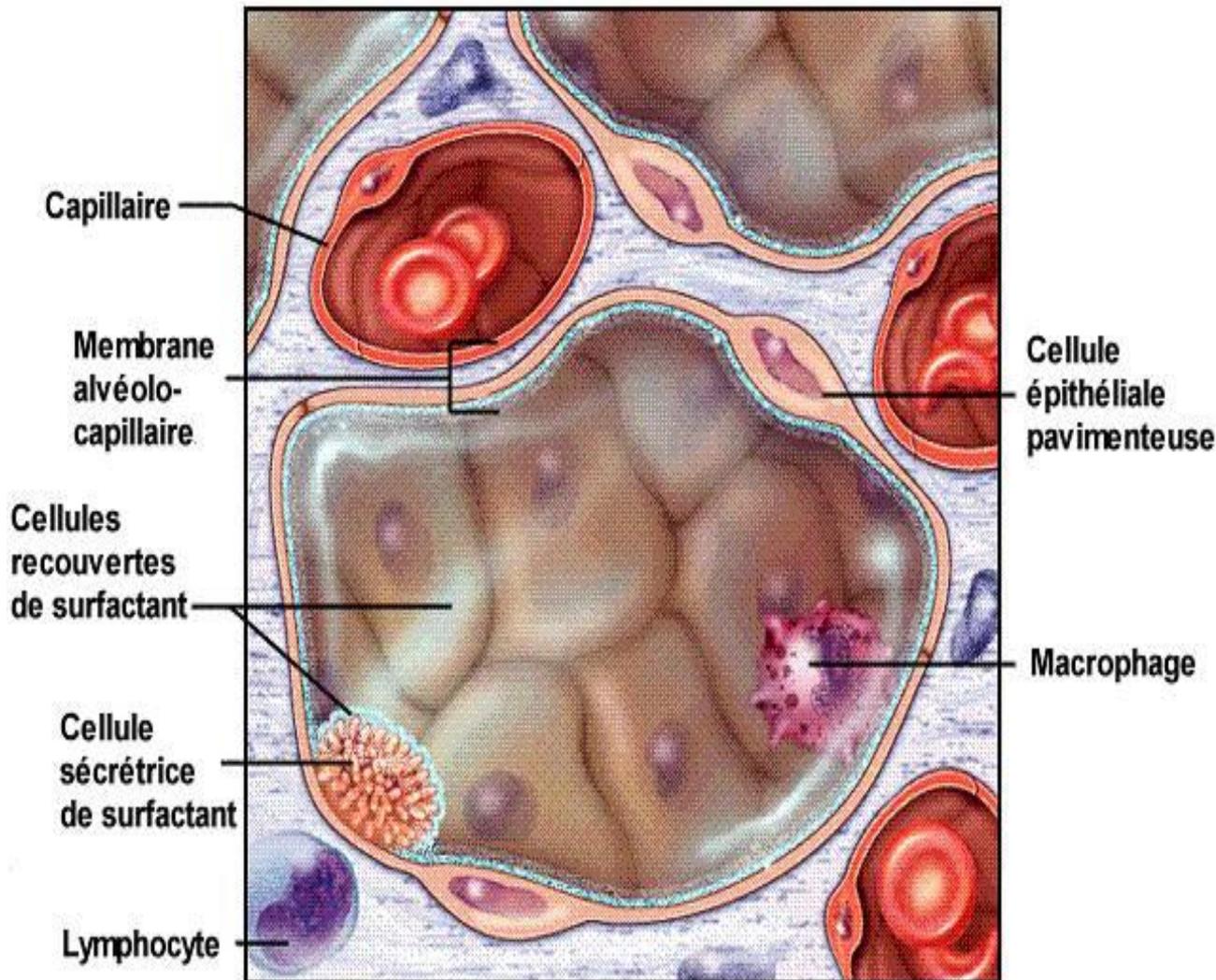
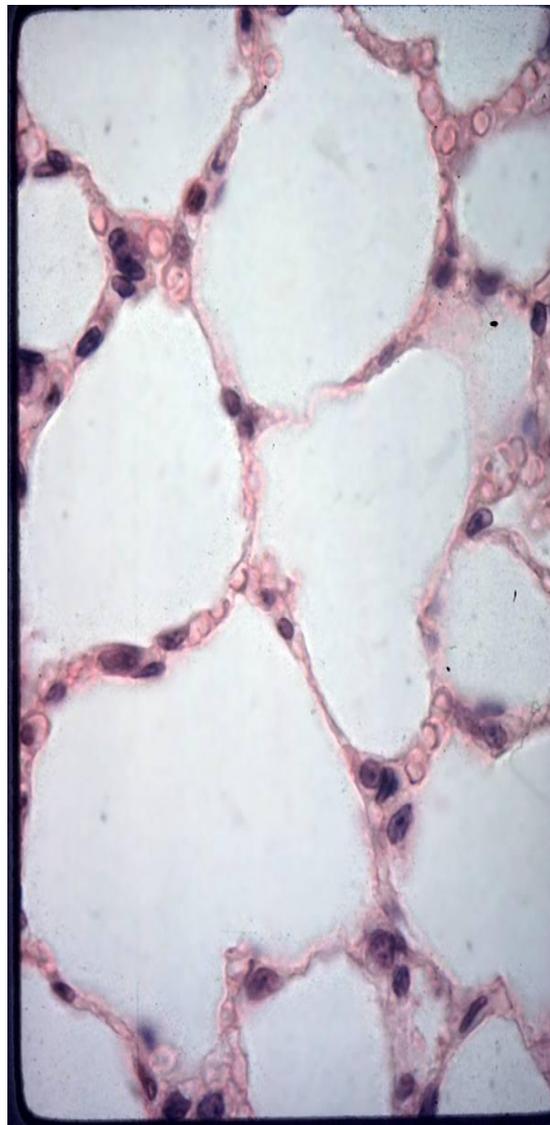
Elle est successivement composée par les structures suivantes :

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

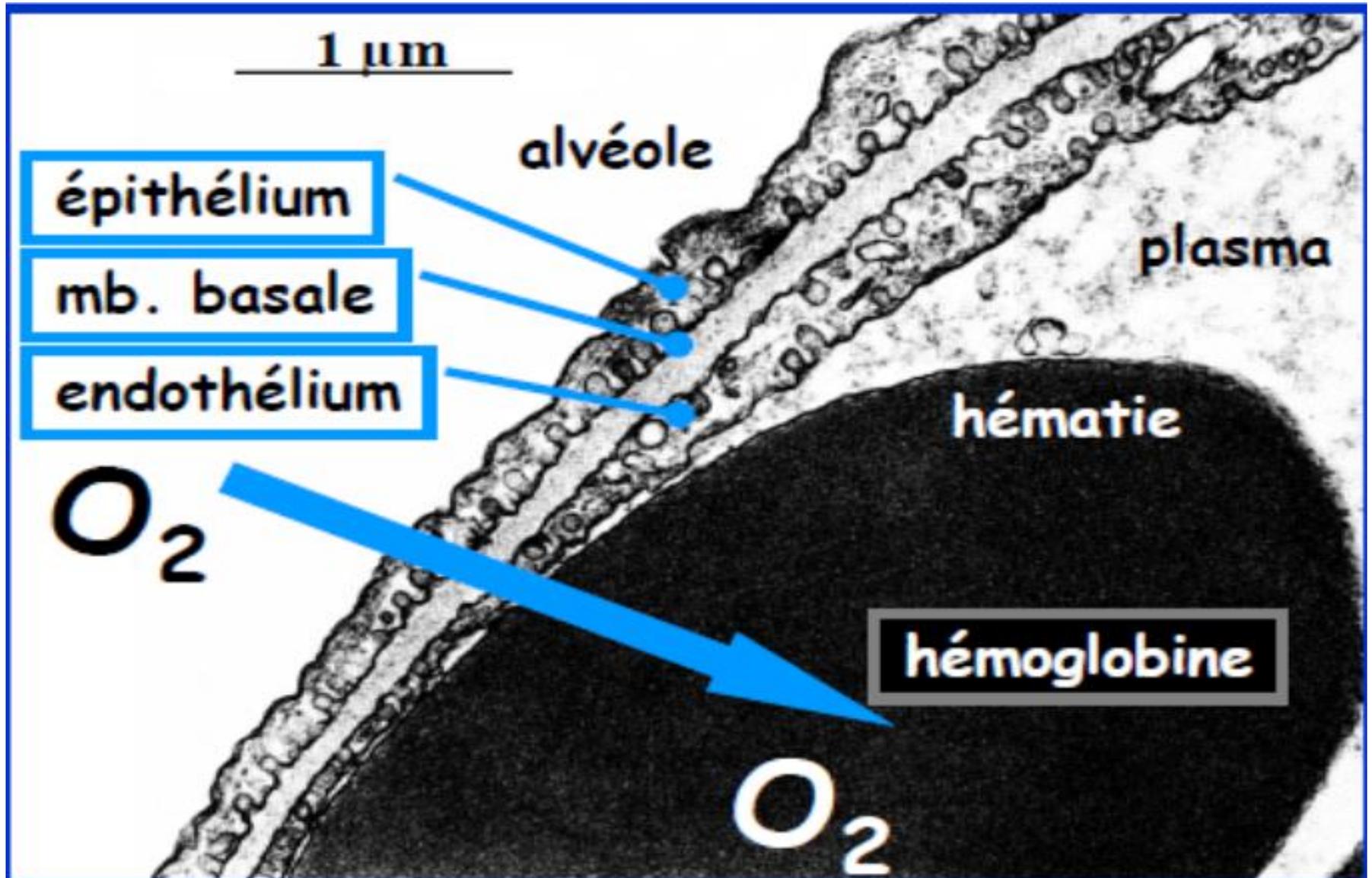
La membrane alvéolo-capillaire



La membrane alvéolo-capillaire

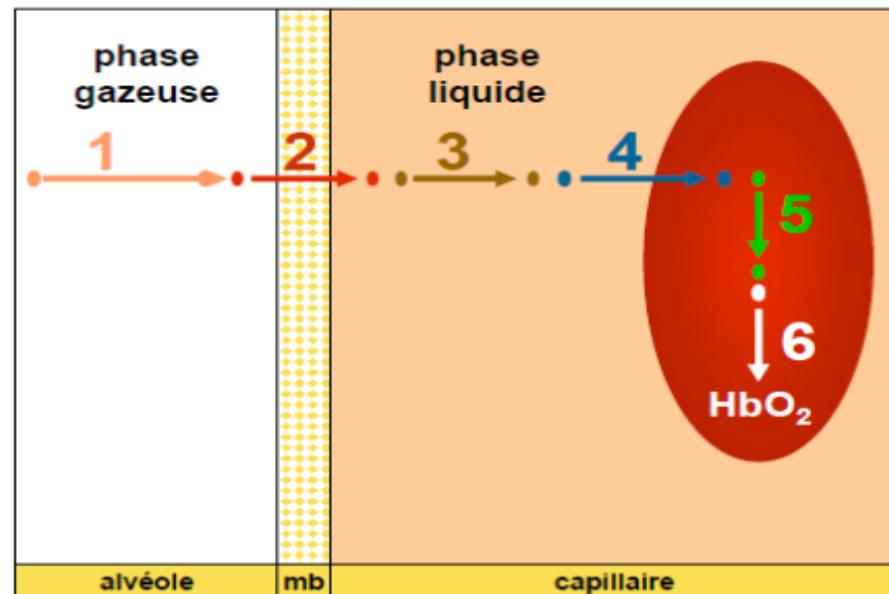


La membrane alvéolo-capillaire



- 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

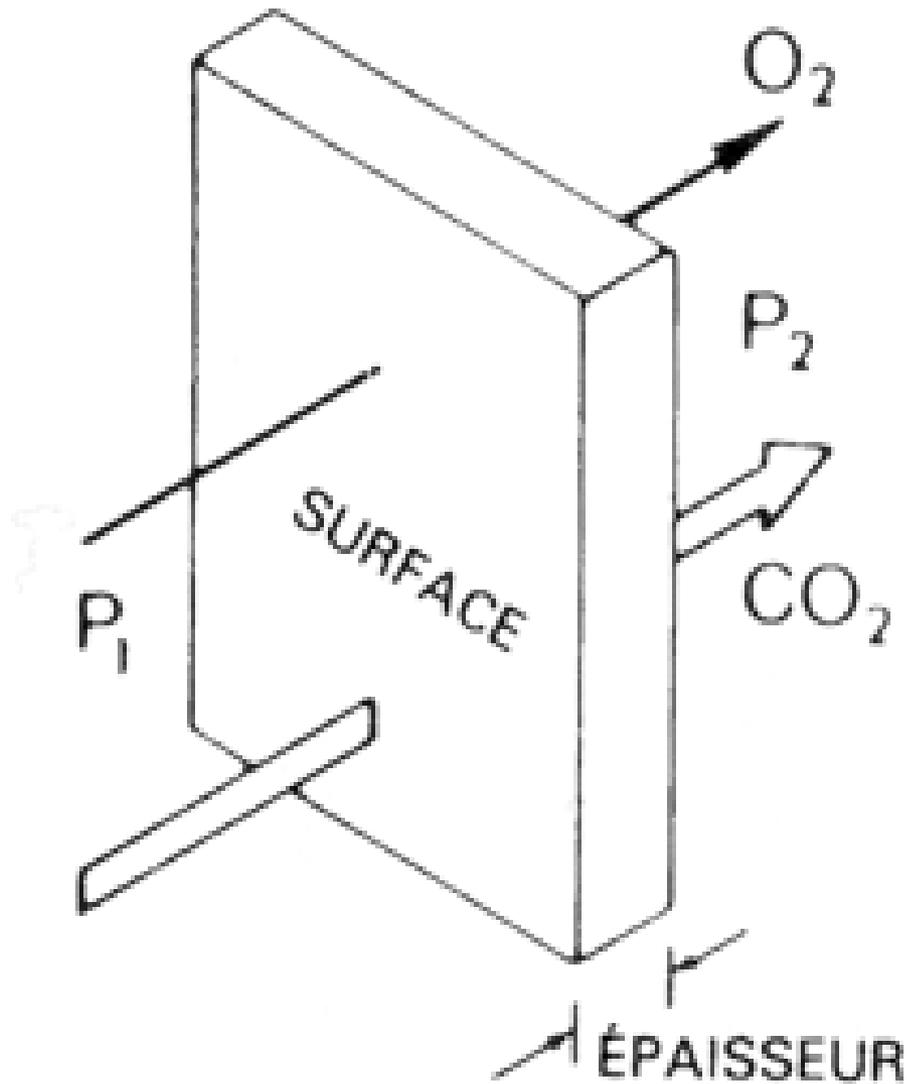
Les gaz rencontrent ainsi deux résistances en série, la membrane et le sang.

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

3- Lois physique de diffusion

- Le transfert des gaz à travers la barrière alvéolo-capillaire se fait par un mécanisme de **diffusion simple** : les gaz se déplacent des zones de haute pression vers les zones où la pression est moins élevée.
- Selon la **loi Fick** la vitesse de transport d'un gaz à travers une couche de tissu est :
 - proportionnelle à la surface du tissu
 - proportionnelle à la différence de pression du gaz de part et d'autre du tissu
 - inversement proportionnelle à l'épaisseur de la couche tissulaire
 - proportionnelle à la solubilité du gaz
 - inversement proportionnelle à la racine carré du poids moléculaire du gaz

Loi de Fick



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

$$D \propto \frac{\text{Sol}}{\sqrt{PM}}$$

Loi de Fick

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

S= Surface d'échange (50-100 m²),

E= épaisseur de la membrane (0,5 μm),

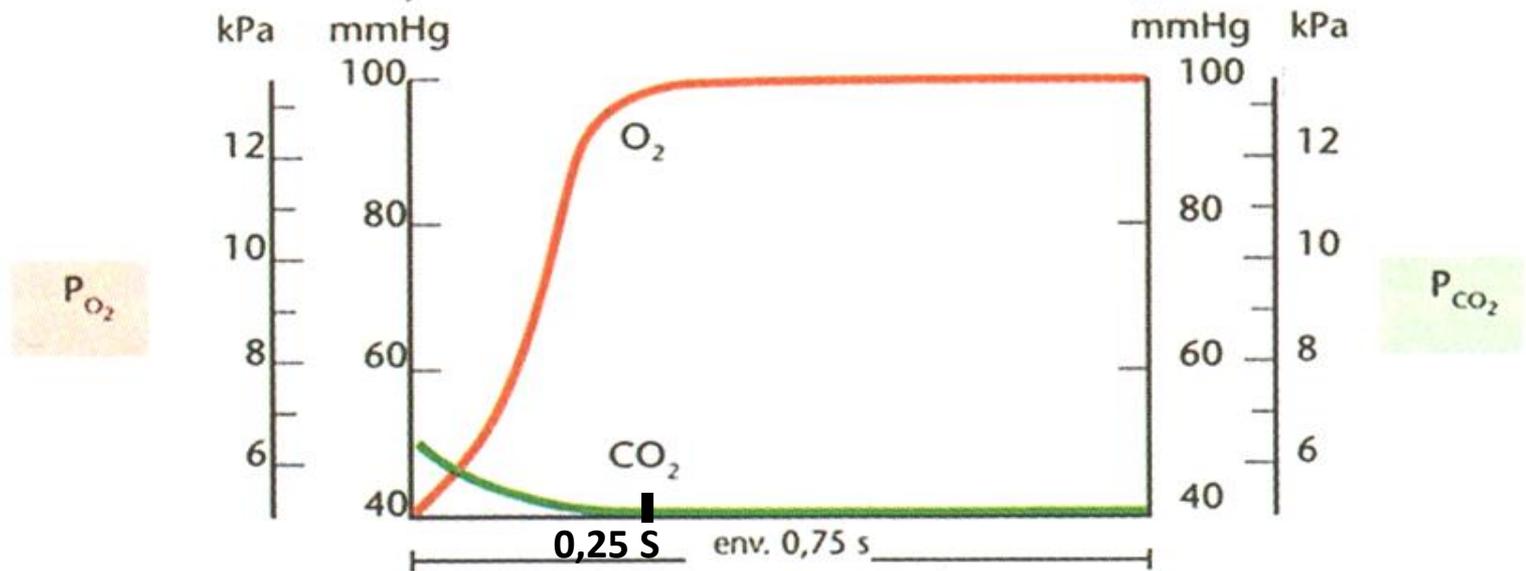
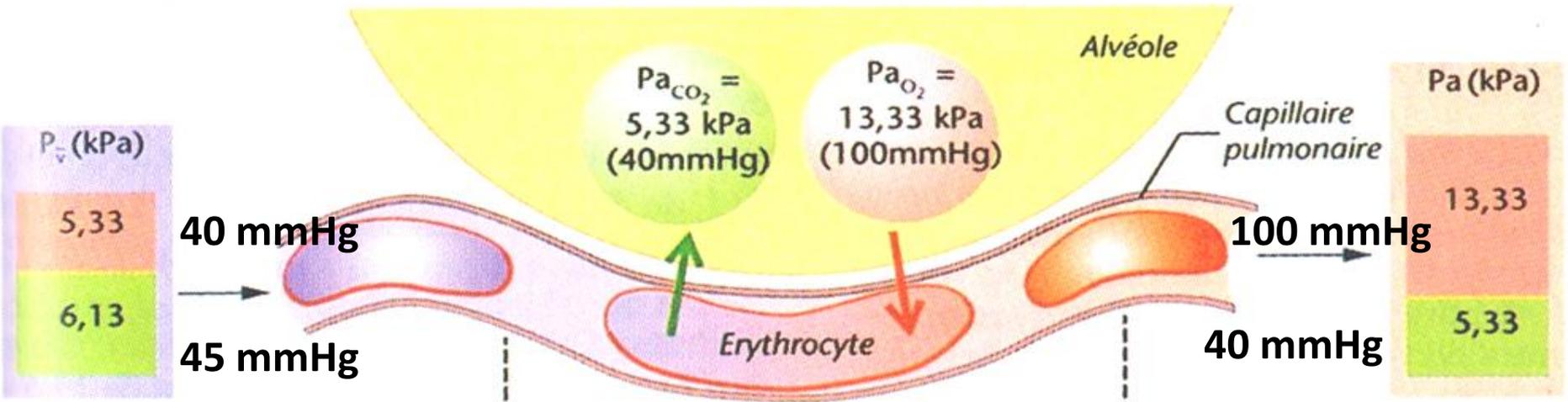
D= Constante de diffusion = solubilité/ \sqrt{PM} (PM: Poids moléculaire du gaz)

**P1-P2 = la différence de pression partielle de part et d'autres de
la membrane**

4- Diffusion de l'oxygène

- La diffusion de l'O₂ se fait de l'alvéole vers le sang capillaire.
- La pression partielle de l'O₂ dans l'alvéole (**PAO₂**) est en moyenne **100 mmHg**, la pression partielle d'oxygène à l'entrée du capillaire pulmonaire (Pression veineuse) est de **40 mmHg** : l'oxygène suit donc ce gradient de pression.
- **Le gradient de pression est important (DP = 100 - 40) favorisant la diffusion rapide de l'O₂** entre l'alvéole vers le capillaire pulmonaire)
- Le sang parcourt le capillaire pulmonaire en **0,75 seconde**.
- L'équilibre des pressions d'O₂ est atteint rapidement **en 0,25 seconde**.

Diffusion de l'oxygène



Temps de transit et temps d'équilibre

- **Temps de transit:**

C'est le temps que met le sang veineux arrivant de l'artériole pulmonaire pour parcourir le capillaire pulmonaire avant de pénétrer dans la veinule pulmonaire qui lui fait suite (égale à 0.75 secondes au repos , il est aux environ de 0.25 secondes à l'exercice physique).

- **Temps d'équilibre:**

définit par le temps nécessaire pour que les pressions partielles d'oxygène au niveau de l'alvéole et le sang capillaire s'équilibrent (de l'ordre de 0.25 seconde)

5- Diffusion du CO₂

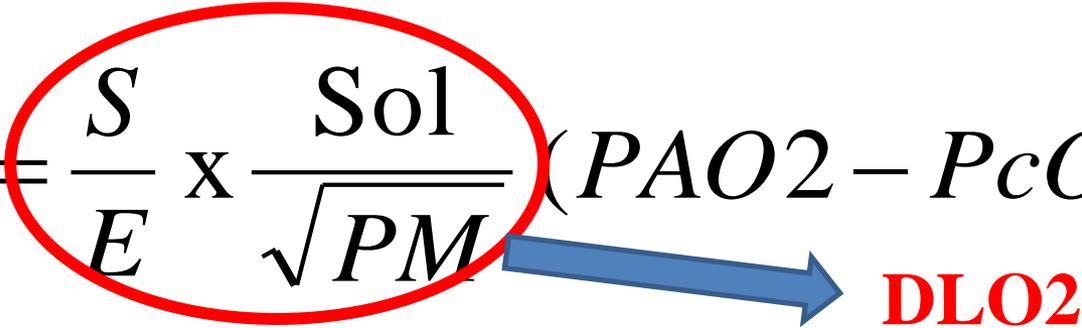
- La Pression du CO₂ à l'entrée du capillaire pulmonaire est égale à environ **45** mmHg, par contre elle est de **40** mmHg au niveau alvéolaire (PACO₂ = 40 mmHg) : le CO₂ diffuse par conséquent du capillaire vers l'alvéole.

Du fait de sa *grande solubilité* (**25 fois** supérieure à celle de de l'oxygène), le CO₂ diffuse facilement à travers la membrane alvéolocapillaire malgré le faible gradient de pression entre les deux compartiments (45-40 mmHg).

6- Capacité de diffusion pulmonaire de l'oxygène

$$\dot{V}_{gaz} = \frac{S}{E} \times \frac{Sol}{\sqrt{PM}} (P_1 - P_2)$$

$$\dot{V}O_2 = \frac{S}{E} \times \frac{Sol}{\sqrt{PM}} (PAO_2 - PcO_2)$$

$$\dot{V}O_2 = \frac{S}{E} \times \frac{Sol}{\sqrt{PM}} (PAO_2 - PcO_2)$$


DLO₂

PAO₂: Pression alvéolaire en O₂

PcO₂: Pression capillaire en O₂

6- Capacité de diffusion pulmonaire de l'O₂

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

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

DLO₂ : Capacité de diffusion pulmonaire de l'O₂

Elle est définie comme la quantité d'O₂ 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'O₂

- 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.

$$TL_{O_2} = \frac{\dot{V}O_2}{(PAO_2 - P_{cO_2})}$$

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

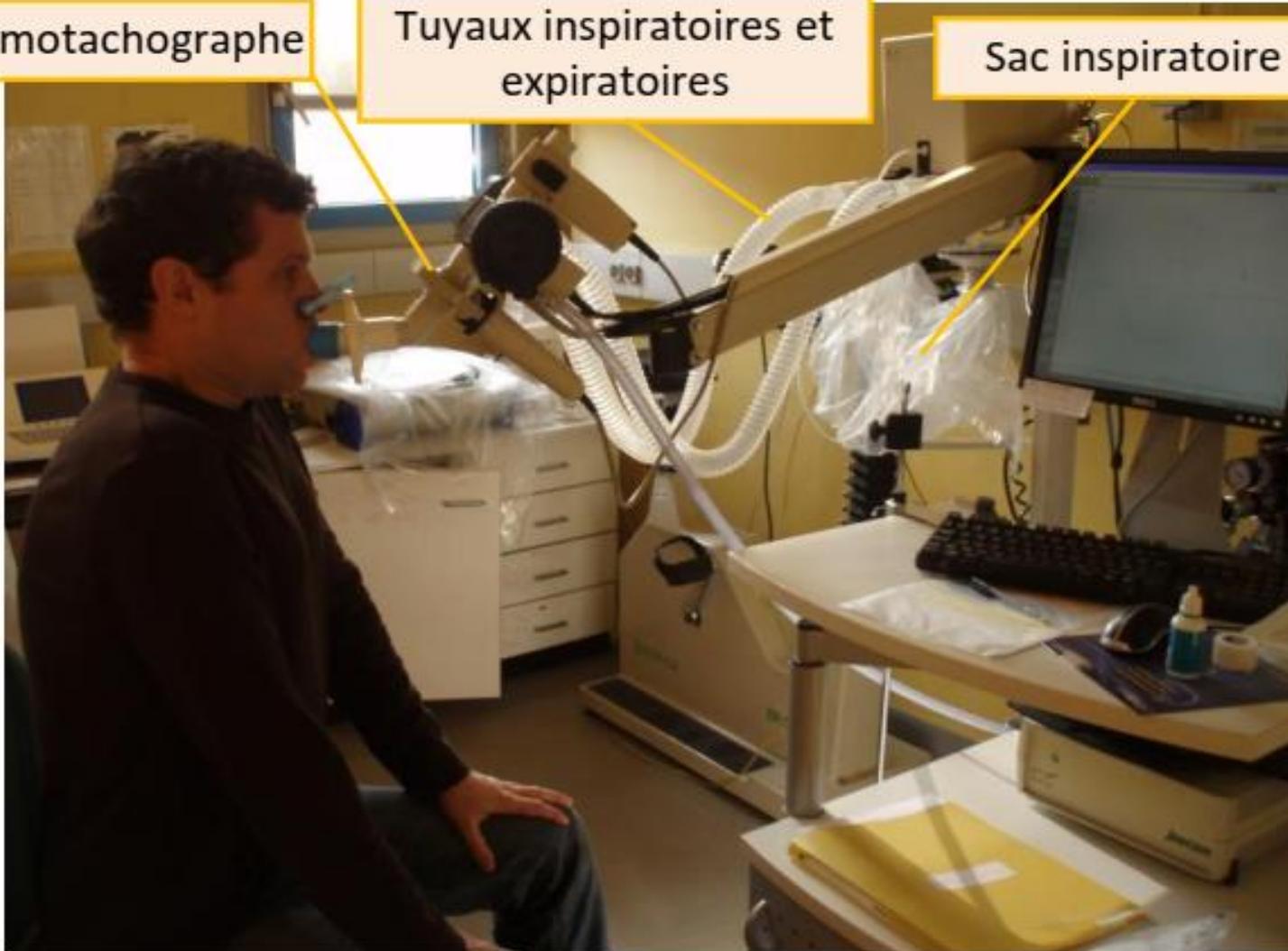
Chez l'homme jeune de 20 ans d'une taille de 1.75 mètres, la **TL_{CO}** est égale à environ **35 ml/ mn/ mmHg**.

Mesure de la DLCO

Pneumotachographe

Tuyaux inspiratoires et
expiratoires

Sac inspiratoire



8 -Perturbation de la TLCO

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