

Les échanges alvéolo-capillaires

I-Généralités

Lors de la respiration, l'air expiré n'a pas la même composition que l'air inspiré, en effet il est plus riche en CO₂ et pauvre en O₂. Ce mécanisme d'échange mis ainsi en évidence a lieu au niveau de la membrane alvéolo-capillaire qui est le siège d'une diffusion des gaz respiratoires. Cette diffusion dépend des gradients de pression de part et d'autre de la membrane.

Notions élémentaires

1. **Le gaz inspiré:** Peut être décrit en termes de pression totale, de pression partielle des gaz qui le composent, et de concentration (fraction) de ces gaz.
 - **Pression totale barométrique:** au niveau de la mer elle est égale à 760mmHg (100K Pa) elle diminue à l'altitude.
 - **Concentration des gaz inspirés:** l'air atmosphérique comprend 21% d'oxygène, 0% de CO₂ et 79% d'azote. Les fractions correspondantes sont:

$$F_i O_2 = 0.21 \text{ soit } 21\%$$

$$F_i CO_2 = 0$$

$$F_i N_2 = 0.79 \text{ ou } 79\%$$

- La pression partielle des gaz inspirés peut se calculer facilement puisque pour un gaz placé dans un milieu gazeux: la pression partielle est égale à la pression totale multipliée par la fraction de ce gaz. Le gaz inspiré étant réchauffé à 37° et saturé en vapeur d'eau, la pression partielle de cette dernière est estimée à 47mmHg (6.2 Kpa).

Les fractions des gaz sont obtenues pour un gaz sec on doit donc déduire la pression de vapeur d'eau de la pression totale.

$$Pression\ partielle = (pression\ totale - 47) \times (fraction)$$

$$(mmHg) \qquad (mmHg)$$

2. Le gaz expiré: Après avoir relargué l'oxygène (consommation d'oxygène ou VO₂) et s'être chargé en CO₂ (production de CO₂ ou VCO₂) dans l'alvéole, le gaz est expiré.

La composition du gaz expiré est fonction:

- de la composition du gaz inspiré
- des besoins des tissus (VO₂, VCO₂)
- de la ventilation assurée par la ventilation pulmonaire

II-Ventilation alvéolaire et espaces morts :

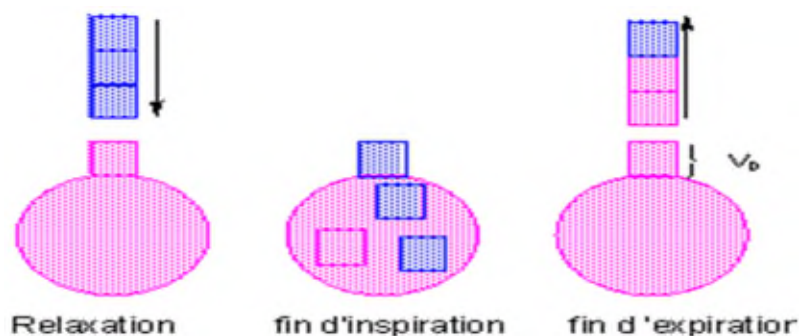
Les échanges gazeux ont pour objectif de modifier la composition du gaz contenu dans les alvéoles.

Le volume courant inspiré va donc se diluer dans la CRF mais en réalité, une partie de ce volume ne pourra pas participer aux échanges gazeux car elle va demeurer dans les voies aériennes sans pouvoir parvenir aux alvéoles. Le système ventilatoire peut être donc envisagé en deux parties :

- 1- Voie de conduction qui s'étend des voies aériennes supérieures jusqu'aux bronchioles terminales et qui va jouer un rôle dans l'humidification et le réchauffement de l'air inspiré.
- 2- Le siège des échanges gazeux représenté par les alvéoles pulmonaires.

A- Le volume mort anatomique :

C'est le volume d'air qui remplit la voie de conduction sans participer aux échanges gazeux. Le volume d'air qui arrive aux alvéoles sera égal au volume courant diminué du volume mort.



1- Méthodes de mesure :

La détermination du volume de l'espace mort anatomique est nécessaire pour l'étude de la ventilation alvéolaire.

1°) on peut le mesurer directement sur le cadavre à partir de la longueur et du diamètre de chacun de ses segments OU par moulage des canalisations (avec du plâtre).

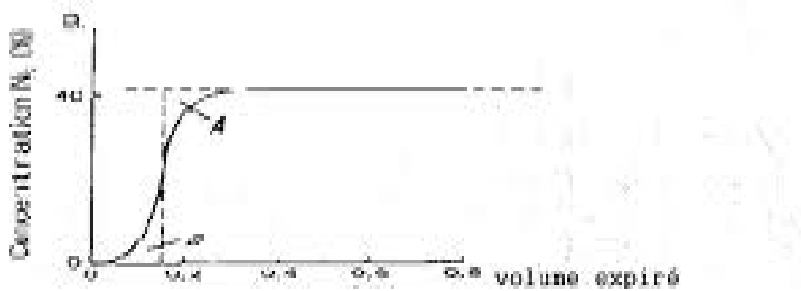
Dans les conditions normales il peut être mesuré chez l'homme grâce à l'enregistrement simultané de la composition en O_2 , CO_2 en N_2 et du volume expiré.

Chez l'adulte sa valeur normale est de 150ml. La méthode la plus utilisée est la méthode de Rinçage à l'azote.

2°) Méthode de rinçage à l'azote :

Le sujet prend une inspiration pure puis commence à expirer régulièrement. Le % d'azote dans le gaz expiré est tout d'abord nul du fait de l'inhalation de l' O_2 pur, puis commence à s'élever jusqu'à atteindre un plateau lorsque le sujet commence à expirer de l'air alvéolaire. On trace alors une ligne

verticale de manière à ce que les surfaces A et B soient égales. La distance sur l'axe des abscisses entre cette ligne et le trait en pointillé qui marque le début de l'expiration indique le volume du gaz qui occupe l'espace mort anatomique.



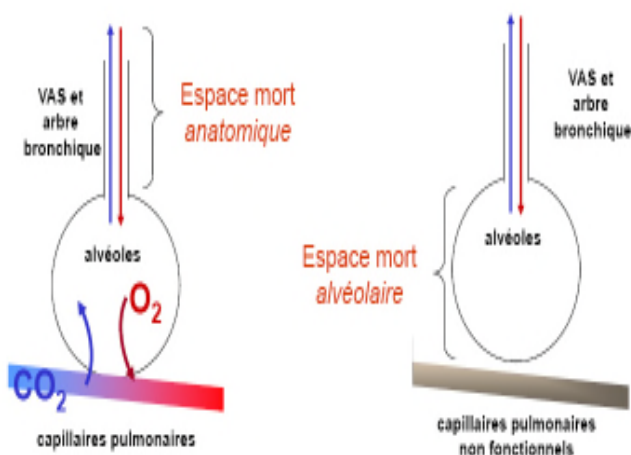
B- Le volume mort physiologique :

Les fosses nasales, pharynx, trachée et bronche ne sont pas des conduits inertes, mais ils sont le siège de variation vasomotrice parfois très importante.

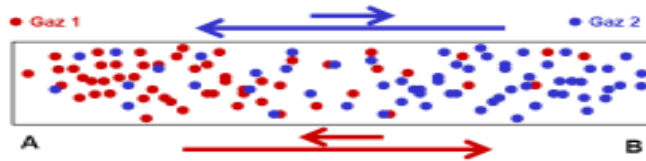
Les conduits trachéo-bronchiques riches en fibres musculaires peuvent par le jeu de la bronchomotricité présenter de grandes variations de leur calibre. Ces variations peuvent modifier le volume de l'espace mort.

Il peut exister des alvéoles contenant du gaz qui ne participent pas aux échanges gazeux par suite d'une inégalité dans la distribution soit du gaz perfusé soit du gaz ventilé. Cet espace mort surajouté appelé espace mort alvéolaire constitue avec l'espace mort anatomique : l'espace mort physiologique.

$$V_D \text{ physio} = V_D \text{ anat} + V_D \text{ alv}$$

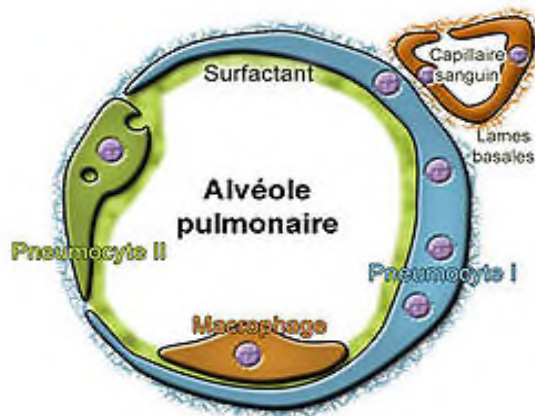


III-Mécanisme des échanges gazeux: la diffusion



Les échanges gazeux se font à travers la membrane alvéolo-capillaire par simple processus de diffusion sous l'effet des différences de pression des gaz de part et d'autre de cette membrane. Cette membrane alvéolo-capillaire a une épaisseur d'1 micron et est composée de plusieurs couches :

- Le film alvéolaire.
- Un pneumocyte
- Membranes fusionnées entre épithélium alvéolaire et endothélium capillaire
- Cellule endothéliale

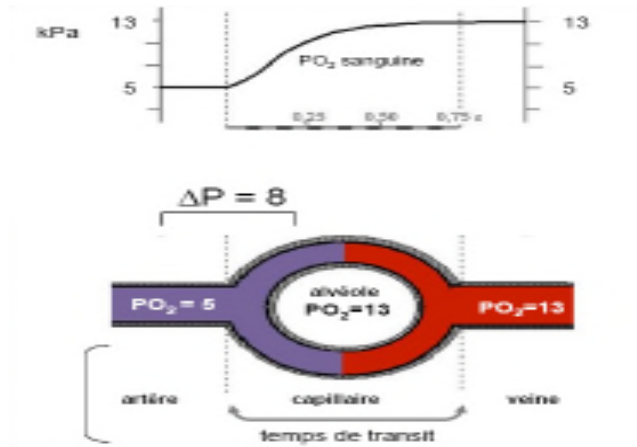


Ces 4 couches sont très riches en H₂O et qui constitue un facteur favorable à l'O₂ et du CO₂ ce qui constitue un facteur favorable à la traversée de l'O₂ et du CO₂.

A-Diffusion de l'oxygène :

La PO₂ étant de 104 mm hg dans les alvéoles et 40 mm hg dans les capillaires pulmonaires, l'O₂ diffusera donc des alvéoles vers les capillaires pulmonaires. Il faudra noter que c'est à l'entrée du capillaire que le flux de diffusion de l'O₂ est le plus rapide car la différence de pression initiale est très élevée (64 mm hg).

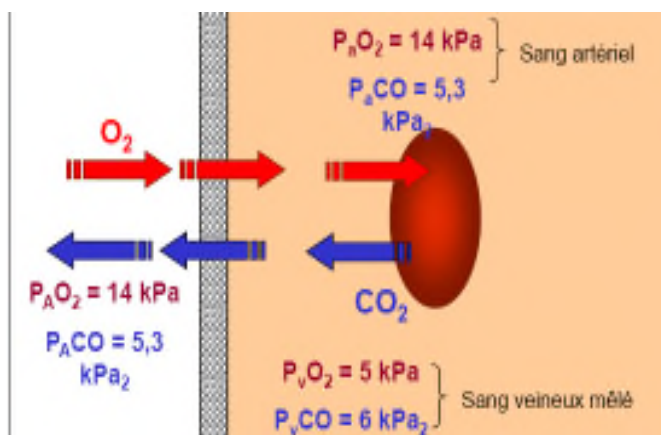
Ensuite la PO₂ du sang capillaire commence à augmenter ce qui diminue la différence de pression le long du capillaire et ralentit la diffusion de l'O₂. Cependant la PO₂ capillaire s'équilibre rapidement avec la PO₂ alvéolaire et les échanges s'arrêtent avant la sortie du capillaire.

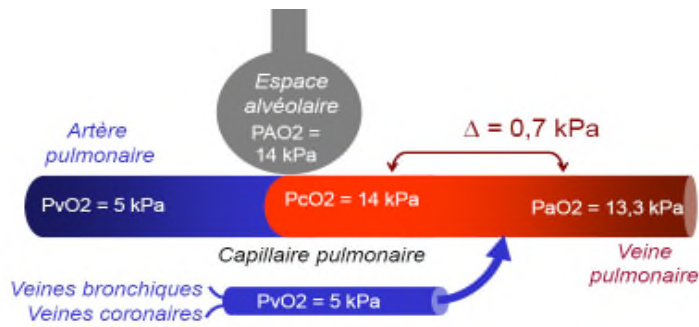


B- Influence de l'effet Shunt sur la PO₂ sanguine :

Une petite quantité de sang (1 à 2% du débit cardiaque) ne traverse pas les capillaires alvéolaires, elle est shuntée par vaisseaux mal aérés soit dans les veines pulmonaires, soit dans les tissus adjacents. Ce sang va être mêlé au sang artériel dans le ventricule gauche et diminue donc la PO₂ du sang de 104 à 95 mm hg. C'est la contamination veineuse qui provient :

- Des anastomoses vraies entre artères et veines pulmonaires.
- Des veines bronchiques se jetant directement dans l'aorte.
- Des veines de Thebesius drainant une partie du sang veineux coronaire.

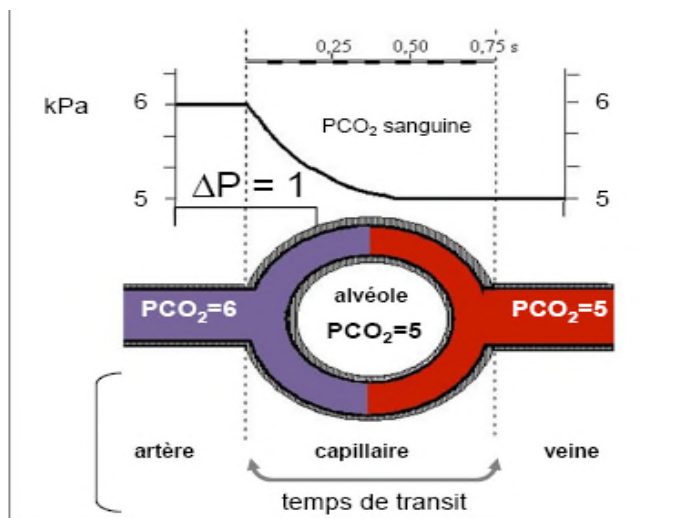




C- Diffusion du CO₂ :

La P_{CO_2} étant de 46 mm hg dans le sang capillaire et de 40 mm hg dans le gaz alvéolaire. Le CO₂ va donc diffuser du capillaire pulmonaire vers l'alvéole.

A l'entrée du capillaire la différence de pression initiale est de 6 mm hg, elle est donc très faible. Mais la diffusion du CO₂ est surtout facilitée par sa grande solubilité dans l'eau qui est 20 fois supérieure à celle de l'oxygène, c'est donc à l'entrée du capillaire pulmonaire que le rejet du CO₂ est le plus important.



D- La capacité de diffusion pulmonaire

C'est le volume de gaz exprimé en ml qui diffuse du gaz alvéolaire vers le sang capillaire (ou inversement) par minute et pour 1 mm hg de différence de pression entre les deux milieux.

V_{O_2}

$DL_{O_2} = \dots\dots\dots$

P_{O_2} alvéolaire – P_{O_2} capillaire

La capacité de diffusion correspond donc à la conductance du système de diffusion : c'est l'inverse de la résistance.

Si la résistance est élevée, la capacité de diffusion sera diminuée.

*Valeur normale de la capacité de diffusion :

-Pour l'oxygène elle est égale à 20ml/minute/mm hg.

-Pour le CO₂ elle est égale à 400ml/minute/mm hg.

*Valeurs normales des échanges gazeux :

-VO₂ varie entre 0.25 et 0.30 litres/minutes.

Vco₂ varie entre 0.20 et 0.24 litres/minute.

Efficacité des échanges alvéolo-capillaires

- La diffusion dépend :
 - Du gradient de pression entre le sang veineux mêlé et l'alvéole
 - De la surface alvéolo-capillaire
 - anatomique = 80-100m²
 - fonctionnelle = 1 alvéole + 1 capillaire
 - De l'épaisseur alvéolo-capillaire
 - anatomique = 0.5 – 1μm
 - fonctionnelle= toutes les étapes de la diffusion

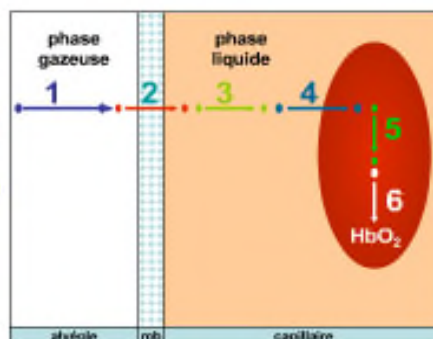
1 Diffusion intra-alvéolaire

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)

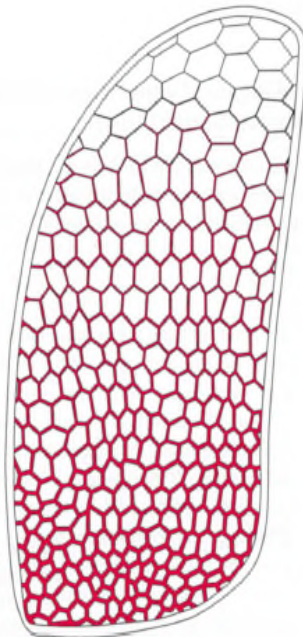
Rapport ventilation –perfusion :

- Rapport VA/Q
 - Aux sommets
 - ventilation > perfusion
 - rapport VA/Q élevé
 - Aux bases
 - ventilation < perfusion
 - rapport VA/Q bas
 - Partie médiane
 - ventilation = perfusion
 - rapport VA/Q idéal (= 1)

Ventilation

Alvéoles distendus,
moins compliants
Ventilation moindre

Alvéoles non distendus,
compliants
Ventilation plus élevée



Perfusion

P vasculaires plus basses
Moins de recrutement/distension
Résistances plus élevées
Perfusion moindre

P vasculaires plus hautes
Plus de recrutement/distension
Résistances moins élevées
Perfusion plus élevée