



FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE  
UNIVERSITÉ HASSAN II DE CASABLANCA



## Biophysique : Respiration

### Résumé

**Module :** Biophysique

**Basé sur :** Le cours

-> Ce résumé est un complément de cours, il contient suffisamment d'informations, mais ne remplace pas le polycopié du professeur.

-> Merci d'envoyer toutes vos remarques via l'adresse mail suivante :  
[mahdikettani1@gmail.com](mailto:mahdikettani1@gmail.com)

-> Bon courage et bonne lecture !

**Auteur :** Kettani El Mahdi, étudiant de la promotion médecine 2019

اللهم أستودعك ما قرأت و ما حفظت و ما تعلمت، فردّه عند حاجتي إليه، إنك على كل شيء قدير

# LA RESPIRATION

## I) Introduction :

-> Rôle de la respiration :

- Apport de O<sub>2</sub>
- Élimination de CO<sub>2</sub>
- Stabilité du pH sanguin

-> Se déroule en plusieurs étapes :

- Ventilation (inspirer O<sub>2</sub> et expirer CO<sub>2</sub>)
- Diffusion de O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> entre sang et alvéole
- Transport de O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> depuis et vers les tissus
- Diffusion de O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> entre sang et tissus

-> Les voies aériennes :

- Nez et bouche
- Pharynx et larynx
- Trachée (20 mm)
- 2 bronches principales (12 mm)
- Bronchioles (0,5 mm)
- Alvéoles (0,2 mm)

## II) La ventilation :

-> Pénétration de l'air dans les poumons

-> 6 Litres d'air par minute sont pompés par les poumons avec 16 cycles (inspiration + expiration)

-> L'inspiration est un phénomène actif, l'expiration est un phénomène passif

->  $P \times V = cte$  : si quantité de matière et température restent fixes.

-> Étapes de la ventilation :

- Contraction des muscles inspiratoires (M intercostaux + diaphragme)
- Augmentation du volume du thorax donc des alvéoles => Diminution de la pression dans les alvéoles
- Une fois  $P_{alv} < P_{atm}$  => Inspiration = pénétration de l'air dans le poumon
- Fin de l'inspiration  $P_{alv} = P_{atm}$
- Décontraction des muscles inspiratoires
- Diminution du volume du thorax donc des alvéoles
- Une fois  $P_{alv} > P_{atm}$  => Expiration = sortie de l'air des poumons
- Fin d'expiration  $P_{alv} = P_{atm}$

## A) Compliance ou distensibilité :

-> La compliance C est l'aptitude du poumon à se dilater

-> Plus C augmente, plus le poumon est distensible

$$C = \frac{dV}{dP}$$

## B) Tension superficielle :

-> Minimise la surface d'échange de gazs O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> et exerce une pression de rétraction sur l'alvéole pour se fermer

->  $E_s = T \times S$  avec :  $E_s$  : énergie (J) /  $T$  : tension superficielle (J/m<sup>2</sup>) /  $S$  : surface (m<sup>2</sup>)

-> L'alvéole subit donc 2 pressions opposés :

- $P$  : pression de distension : l'entrée d'air dans l'alvéole
- $T$  : pression de rétraction : Tension superficielle exercée par les cellules pulmonaires sur les alvéoles

-> Si :  $\frac{2T}{r} = P$  => équilibre = alvéole ouvert / Si :  $\frac{2T}{r} > P$  => rétraction de l'alvéole

-> Or, l'alvéole ne se ferme pas grâce au surfactant

## C) Surfactant :

-> Son rôle est de diminuer  $T$  la tension superficielle => réduire la rétraction des alvéoles afin de les maintenir

ouverts =>  $\frac{2T}{r} = P = \text{constante}$

-> Il limite donc les dépenses d'énergie lors de l'inspiration

-> Homogénéise la pression dans les alvéoles de taille différentes

-> Il est donc sécrété plus dans les petits alvéoles ( $r$  petit) que dans les gros alvéoles ( $r$  grand) (car les petits alvéoles ont une pression élevée)

## 4) Résistance des voies aériennes à l'écoulement :

-> Nez + bouche

-> Trachée et grosse branches

-> Bronchioles -> Vacuoles

Écoulement turbulent

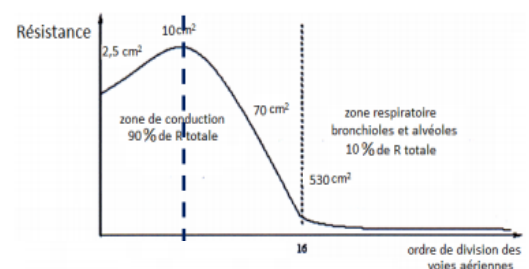
Écoulement laminaire

Entre les 2, il y a un écoulement transitionnel

-> On considère que le débit d'écoulement est globalement laminaire et on utilise la loi

$$D = \Delta P \times R = \Delta P \frac{\pi R^4}{8\eta l}$$

(Ici tout est cte à part  $R$  qui diminue de la trachée au bronchiole)



Réalisé par Kettani Mahdi

### III) Echange alvéolo-capillaire :

#### A) Pression partielle :

-> Si on a un mélange de plusieurs gazs,  $P_i$  la pression partielle d'un gaz, est sa contribution à la pression totale du mélange

->  $P_i = x_i \times P_{tot} = \frac{n_i}{n} \times P_{tot}$  avec :  $x_i$  : en mol /  $P_{tot}$  : en mmHg

-> Exemple : Un mélange contient : 2mmol CO<sub>2</sub> (60% du mélange) + 3 mmol O<sub>2</sub> et la pression totale = 2 atm  
 $P_{O_2} = 3/5 \times 2 = 0,6 \times 2 = 1,2 \text{ atm}$  = pression partielle de O<sub>2</sub> dans ce mélange.

#### B) Diffusion :

-> Les molécules se déplacent spontanément du milieu le plus concentré vers le moins concentré jusqu'à égalisation des concentrations selon la loi :  $dq = D \times S \times \frac{dc}{dx} dt$

- dq : quantité de matière qui diffuse
- D : coefficient de diffusion ( $\eta, r, T$ )
- S : section traversée
- dx : distance traversée
- $\frac{dc}{dx}$  : gradient de concentration

-> Air atmosphérique au niveau de la mer à 25° :

- $P_{env} = 1 \text{ atm} = 1 \text{ bar} = 760 \text{ mmHg} = 10^5 \text{ Pa}$
- Composé de : 78% N<sub>2</sub>, 20% O<sub>2</sub>, 0,02% CO<sub>2</sub>
- $P_{O_2} = 0,2 \times 760 = 152 \text{ mmHg}$
- $P_{CO_2} = 0,0002 \times 760 = 0,15 \text{ mmHg}$

-> Dans l'alvéole, l'air inspiré est :

- Réchauffé à 37° et humidifié = mélangé avec vapeur d'eau.  $P_{vapeur \text{ d'eau}} = 47 \text{ mmHg}$
- Composé de : O<sub>2</sub> (14%) + N<sub>2</sub> (80,4%) + CO<sub>2</sub> (5,6%) + H<sub>2</sub>O

Gaz inspiré                      En vapeur

- $P_{tot \text{ alvéole}} = P_{gaz \text{ inspiré}} + P_{vapeur \text{ d'eau}} = P_{environnante}$
- Pression partielle d'un gaz dans l'alvéole :  $P_i = x_i \times (P_{environnante} - P_{vapeur \text{ d'eau}})$   
 $P_i = x_i \times (P_{environnante} - 47)$

-> NB : Si  $P_{env} = P_{atm} = 760 \text{ mmHg} \Rightarrow P_{O_2} = 100 \text{ mmHg}$  et  $P_{CO_2} = 40 \text{ mmHg}$

-> Les échanges alvéolo-capillaires = hématose, se font par diffusion simple en fonction (en suivant) le gradient de concentration

-> La diffusion concerne uniquement la part dissoute de chaque gaz et non pas la forme combinée à l'hémoglobine

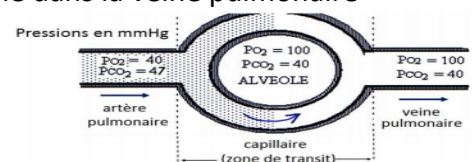
-> La diffusion continue jusqu'à égalisation des pressions dans l'alvéole dans la veine pulmonaire

-> La durée de passage du sang au voisinage de l'alvéole = 0,8s

-> La durée nécessaire aux échanges se fait en 0,3 – 0,4 s

-> La diffusion ou quantité qui diffuse est influencé par :

- Epaisseur de la membrane ( $\approx 0,3 - 0,5 \mu\text{m}$ ) (épaisseur augmente, débit diminue)
- S : surface de diffusion ( $\approx 80 - 100 \text{ m}^2$ )
- Pressions partielles
- Si : coefficient de solubilité  $SCO_2 = 0,48$  /  $SO_2 = 0,0235$
- Durée de passage du sang devant l'alvéole ( $\approx 0,8\text{s}$ , mais échange nécessite que 0,3 – 0,45s)



-> Certes,  $SCO_2 > SO_2$  (demande + de pression)  
-> Or,  $dPO_2 > dPCO_2$  (quantité diffuse)  
-> Donc, il y a équilibre

## IV) Transport des gaz par le sang :

-> Le transport se fait dans le plasma ou dans les globules rouges

-> O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> se trouvent sous 2 formes : dissoute et combiné

-> Forme dissoute libre :

- Participe à la pression partielle
- Peut diffuser à travers une membrane
- Quantité Vi sous forme dissoute :  $V_i = S_i \times P_i$  avec :  $S_i$  : coefficient de solubilité /  $P_i$  : pression partielle
- Exemple : S<sub>O2</sub> = 0,0235 et PO<sub>2</sub> dans sang artériel = 100 mmHg =>  $V_{O_2} = 0,0235 \times \frac{100}{760} = 3.10^{-3}$  ml O<sub>2</sub>/ml sang
- Ne représente pas 1% de l'O<sub>2</sub> sanguin -> 0,3 ml/100ml

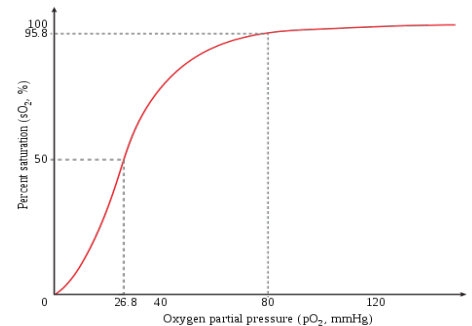
-> Forme combiné :

- Ne participe pas à la pression partielle
- Ne peut diffuser à travers une membrane
- Lié à une molécule ou transporteur, en l'occurrence l'Hb
- O<sub>2</sub> dissout peut vite se lier à Hb et devenir combiné
- Ce phénomène est réversible et peut-être déclenché en cas où O<sub>2</sub> dissout diminue
- Représente 99% de l'O<sub>2</sub> sanguin
- C'est donc une réserve d'O<sub>2</sub>
- 1 Hb peut fixer jusqu'à 4 O<sub>2</sub> et devient oxyhémoglobine

### A) O<sub>2</sub> :

-> Quantité totale d'O<sub>2</sub> dans le sang = [O<sub>2</sub> lié à Hb] + [O<sub>2</sub> dissous]

- 1g d'Hb = 1,39 ml d'O<sub>2</sub>
- Pour 100 ml de sang, il y'a 15 g d'Hb
- Pour 100 ml de sang, il y'a 0,3 ml d'O<sub>2</sub>
- Quantité totale maximale d'O<sub>2</sub> dans 100 ml de sang = (15 x 1,39) + 0,3 = 21,15 ml/100 ml



-> Courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine :

- PO<sub>2</sub> < 15 mmHg => diminue l'affinité de Hb pour O<sub>2</sub>
- 15 < PO<sub>2</sub> < 40 mmHg = augmente l'affinité de Hb pour O<sub>2</sub> (Faible diminution de PO<sub>2</sub> => Forte dissociation)
- PO<sub>2</sub> > 60 – 70 mmHg -> site de fixation tous saturés (Forte diminution de PO<sub>2</sub> => Faible dissociation)

-> Lorsque Hb est saturé à 50% => PO<sub>2</sub> = P<sub>50</sub>

-> L'affinité de l'Hb pour O<sub>2</sub> est influencé par :

- Pression partielle du CO<sub>2</sub>, PCO<sub>2</sub> (Effet de Bohr)
- ΔpH (métabolique, respiratoire)

-> Si PCO<sub>2</sub> augmente et/ou pH diminue -> diminution affinité de Hb pour O<sub>2</sub> : capillaire tissulaire

-> Si PCO<sub>2</sub> diminue et/ou pH augmente -> augmentation de Hb pour O<sub>2</sub> : capillaire alvéolaire

### B) CO<sub>2</sub> :

-> Forme dissoute = 5%

-> Forme combiné = 55%

- 65% combiné à l'eau :  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
- 30% combiné à l'Hb dans les globules rouges => Hb carbaminé

-> La quantité de CO<sub>2</sub> transporté par Hb est influencé par :

- Pression partielle de O<sub>2</sub>, PO<sub>2</sub> (effet Haldane)
- Si PO<sub>2</sub> diminue, Hb fixe plus de CO<sub>2</sub> => donc Hb désoxygéné fixe plus de CO<sub>2</sub> que Hb oxygéné

-> L'association de l'effet Bohr et Haldane assure un équilibre lors du transport de O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> dans le sang