

## Exploration de l'équilibre acido-basique et des gaz du sang

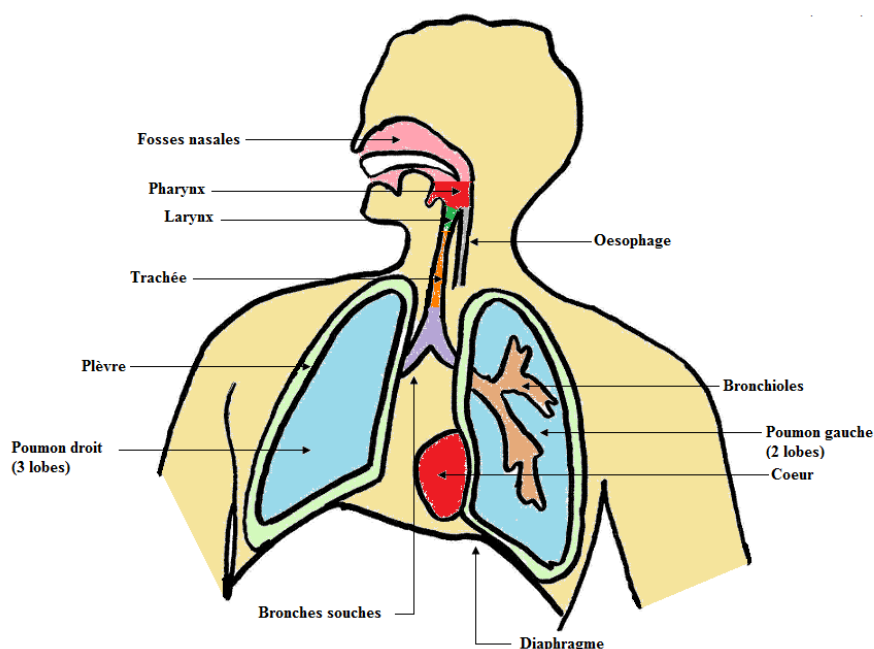
### 1° Physiologie :

La ventilation pulmonaire permet les échanges gazeux de  $\text{CO}_2$  et d' $\text{O}_2$  entre l'air ambiant et l'air alvéolaire.

Le sang assure le transport des gaz permettant les échanges entre :

- Le sang et l'air alvéolaire (hématose).
- Entre le sang et les tissus où l' $\text{O}_2$  est utilisé et le  $\text{CO}_2$  produit.

### 1.1. Appareil respiratoire :



### 1.2. Echanges gazeux respiratoires et tissulaires :

#### 1.2.1. Mécanisme des échanges gazeux :

Ces échanges se font par des phénomènes passifs de diffusion. La diffusion se fait grâce au gradient de pression partielle, le gaz diffusant du milieu à plus forte pression partielle vers le milieu à plus faible pression partielle.

- **Au niveau pulmonaire :**

Le dioxygène diffuse de l'air alvéolaire vers le sang et le dioxyde de carbone diffuse du sang vers l'air alvéolaire à travers la membrane alvéolocapillaire.

- **Au niveau tissulaire :**

Le dioxygène diffuse du sang vers les cellules et le dioxyde de carbone diffuse des cellules vers le sang.

### **1.2.2. CO<sub>2</sub> :**

C'est le principal produit de la dégradation du système aérobie. Il est transporté des cellules aux poumons par voie sanguine. Il est éliminé au niveau des poumons dans l'air atmosphérique.

#### **1.2.2.1. Transport du CO<sub>2</sub> dans l'organisme :**

- **Dans le sang total :**

- **Sous forme dissoute :**

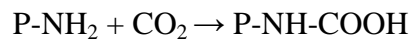


$$[\text{CO}_2\text{d}] = a \times \text{pCO}_2$$

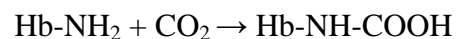
a est le coefficient de solubilité du CO<sub>2</sub> (0,23 mmol/L/kPa ou 0,031 mmol/L/mmHg).

- **Sous forme combiné aux protéines (carbonates) :**

CO<sub>2</sub> lié aux groupements NH<sub>2</sub> des protéines plasmatiques :

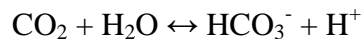


CO<sub>2</sub> combiné à l'hémoglobine sous forme de carbhémoglobine :



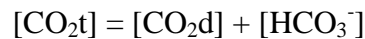
- **Sous forme d'hydrogénocarbonate :**

Il y a plus d' HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans le plasma que dans les hématies, mais ces HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> sont synthétisés dans les hématies grâce à l'anhydrase carbonique et ils peuvent ensuite passer dans le plasma, en échange avec les ions chlorures.



Le contenu sanguin en dioxyde de carbone est la somme des trois formes.

- **Dans le plasma :**



### **1.2.2.2. Fixation du CO<sub>2</sub> par le sang au niveau des tissus :**

Le CO<sub>2</sub> produit au niveau tissulaire passé dans le sang par diffusion passive suivant le gradient de pression partielle en CO<sub>2</sub>.

Il y a formation de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans les capillaires tissulaires. Cette formation d'hydrogénocarbonates est couplée à la dissociation de l'oxyhémoglobine.

### **1.2.2.3. Libération du CO<sub>2</sub> à partir des HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> au niveau des poumons :**

Ce sont des échanges alvéolocapillaires par des phénomènes inverses.

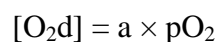
## **1.2.3. Le dioxygène :**

### **1.2.3.1. Rôle du dioxygène :**

Il est indispensable à la phosphorylation oxydative, principale voie permettant la formation d'ATP. En effet, la voie aérobie du métabolisme avec le cycle de Krebs et chaîne respiratoire permet de fournir l'essentiel de l'énergie dont la cellule a besoin.

### **1.2.3.2. Transport du dioxygène dans l'organisme :**

- **L'oxygène dissout :**



a est le coefficient de solubilité du O<sub>2</sub> (0,0105 mmol/L/kPa).

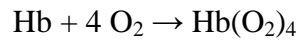
Cette forme est présente en très faible quantité mais son rôle est fondamental car c'est la forme d'échange par diffusion :

- Entre l'air alvéolaire et le plasma.
- Le plasma et les hématies.
- Le plasma et les tissus.

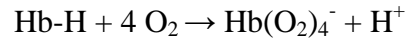
C'est la forme immédiatement disponible pour les cellules et en équilibre avec la forme combinée.

- **L'oxygène combiné :**

C'est l'oxygène combiné à l'hémoglobine dans les hématies sous forme d'oxyhémoglobine. Chaque molécule d'hémoglobine fixe quatre molécules d'O<sub>2</sub>.



Ou



### **1.2.3.3. Prise en charge de l'oxygène au niveau des poumons :**

Le dioxygène diffuse de l'air alvéolaire vers le sang à travers la membrane alvéolocapillaire, selon son gradient de pression partielle.

O<sub>2</sub> de l'air alvéolaire → O<sub>2</sub> dissous dans le plasma → O<sub>2</sub> dans l'hématie combiné à l'hémoglobine (oxyhémoglobine).

### **1.2.3.4. Libération de l'oxygène au niveau des tissus :**

Cette libération se fait par les phénomènes inverses.

Au niveau des tissus :

- L'augmentation de pCO<sub>2</sub>.
- La diminution du pH.
- L'augmentation de température.

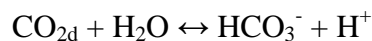
favorisent la dissociation de l'oxyhémoglobine.

## **1.3. Régulation de l'équilibre acido-basique :**

### **1.3.1. Les systèmes tampons du sang :**

- **Du plasma :**

- **Le système acide carbonique-hydrogénocarbonate :**

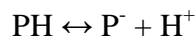


C'est le plus important quantitativement car il est présent en forte concentration (20-30 mmol/L) et de plus, il y a possibilité d'une régulation physiologique par les poumons.

Ce système est surtout efficace pour lutter contre l'acidose.

Equation d'Henderson Hasselbach :  $pH = 6,1 + \log \frac{(HCO_3^-)}{a \times P_{CO_2}}$

▪ **Le système protéines/protéinates :**

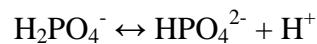


Ce système est non négligeable car les protéines sont en forte concentration dans le plasma.

En cas d'alcalose, les protéines libèrent des protons.

En cas d'acidose, les protéines fixent des protons.

▪ **Le système tampon phosphate :**



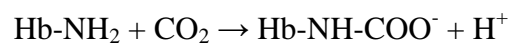
Ce système joue un rôle dans le plasma du fait de sa faible concentration. Mais le système est efficace dans les liquides intracellulaires.

• **Du globule rouge :**

Les globules rouges renferment de l'hémoglobine sous deux formes (non oxygénée et oxygénée).

L'hémoglobine intervient de deux façons dans le maintien du pH :

▪ **Par fixation de CO<sub>2</sub> sur les groupements aminés de la globine :**



▪ **Par fixation d'ions H<sup>+</sup> :**

En effet, au pH du sang, l'hémoglobine et l'oxyhémoglobine se comportent comme des acides faibles, pouvant se dissocier et existent sous forme de sels principalement de potassium.

On peut donc représenter la désoxyhémoglobine par l'HHb et l'oxyhémoglobine par HHb(O<sub>2</sub>).

Il existe deux systèmes tampons :

- HHb/Hb<sup>-</sup>.
- HHb(O<sub>2</sub>)<sub>4</sub>/Hb(O<sub>2</sub>)<sub>4</sub><sup>-</sup>.

Quand un excès d'ions H<sup>+</sup> arrive dans les globules rouges les réactions sont déplacées dans le sens de la libération de protons. En conséquence, au niveau des poumons l'hémoglobine libère des protons quand elle fixe le dioxygène, et au niveau des tissus la baisse du pH favorise la dissociation de l'oxyhémoglobine.

### **1.3.2. La régulation physiologique :**

- **La régulation pulmonaire :**

Les poumons interviennent en second lieu après la régulation par les systèmes tampons, en éliminant plus ou moins de  $\text{CO}_2$ .

Cette régulation est mise en jeu rapidement quand la régulation par les systèmes tampons est insuffisante.

Cette régulation est importante quand il y a de brusques variations de pH. La régulation est mise en jeu rapidement au bout de 1 à 3 minutes et optimale en 12 à 24 heures.

Le centre respiratoire ajuste la ventilation pulmonaire et donc l'élimination du  $\text{CO}_2$  aux variations du pH sanguin.

Une diminution du pH sanguin entraîne une augmentation de la ventilation pulmonaire, il y a augmentation du rythme et de l'amplitude des mouvements respiratoires, de façon à éliminer le  $\text{CO}_2$  en excès.

- **La régulation rénale :**

La régulation par les reins se met en place lentement mais elle est plus durable, la correction pouvant s'étaler sur plusieurs jours.

Les reins interviennent en éliminant les protons en couplant cette élimination à la réabsorption et à la production d'ions hydrogénocarbonates.

- **Sécrétion de protons permettant la réabsorption des ions hydrogénocarbonates :**

Le  $\text{CO}_2$  arrivant en excès du plasma se combine à l'eau dans la cellule du tubule pour former de l'acide carbonique.

Celui-ci se dissocie rapidement pour former les ions  $\text{H}^+$  et  $\text{HCO}_3^-$ .

Pour chaque proton sécrété dans le filtrat, un ion bicarbonate pénètre dans le capillaire péri-tubulaire par cotransport.

Les protons sécrétés peuvent se lier aux ions  $\text{HCO}_3^-$  présents dans le filtrat tubulaire et former  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Par conséquent, des ions  $\text{HCO}_3^-$  disparaissent du filtrat au fur et à mesure que d'autres entrent dans le sang du capillaire péri-tubulaire.

L'acide carbonique formé dans le filtrat se dissocie et libère du gaz carbonique et de l'eau.

Ensuite, le gaz carbonique diffuse dans les cellules tubulaires et il y accroît la sécrétion d'ions  $\text{H}^+$ .

### ▪ Formation de nouveaux ions hydrogénocarbonates :

Lorsque tous les ions  $\text{HCO}_3^-$  filtrés ont été utilisés pour tamponner les protons, tout nouvel ion  $\text{H}^+$  sécrété commence à être excrété dans l'urine. Mais le pH de l'urine doit rester dans les limites compatibles avec la vie et la sécrétion de protons cesse quand le pH urinaire atteint la valeur de 4,5.

Pour éviter ce phénomène, les protons excrétés doivent se lier à des tampons dans le filtrat :

- Action du tampon  $\text{HPO}_4^{2-}$  sur les protons sécrétés.
- Formation de nouveaux ions hydrogénocarbonates par le métabolisme de la glutamine et la sécrétion d'ions ammoniums.

### ▪ Conclusion :

En cas d'acidose, la concentration en protons dans le sang artériel augmente :

- Sécrétion de protons est stimulée ainsi que la production de  $\text{HCO}_3^-$ .
- La concentration en  $\text{HCO}_3^-$  plasmatique augmente.
- La production et l'excrétion de  $\text{NH}_4^+$  sont stimulées.
- Les ions potassium sont moins sécrétés par le TCD d'où une hyperkaliémie.

En cas d'alcalose, la concentration en protons dans le sang artériel diminue :

- Sécrétion de protons est inhibée ainsi que la production de  $\text{HCO}_3^-$ .
- La concentration en  $\text{HCO}_3^-$  plasmatique diminue.
- La production et l'excrétion de  $\text{NH}_4^+$  sont réduites.
- Les ions potassium sont plus sécrétés par le TCD d'où une hypokaliémie.

## 2° Désordres de l'équilibre acido-basique :

### 2.1. Nature des troubles :

#### • Acidose :

Quand le pH est inférieur à 7,37.

#### • Alcalose :

Quand le pH est supérieur à 7,43.

## 2.2. Origine des troubles :

### • Métabolique :

L'alcalose ou l'acidose correspondent à une perturbation de l'équilibre acido-basique, non engendrée par un trouble respiratoire. Le trouble primitif est dû à une augmentation ou une diminution de la concentration en  $\text{HCO}_3^-$ .

Quelques origines du trouble métabolique :

- Acidocétose des complications du diabète sucré.
- Acidose lactique due à une anaérobiose tissulaire.
- Acidose « rénale » au cours d'une mauvaise élimination des protons par le rein.
- Alcalose au cours de vomissements répétés.

### • Respiratoire :

Il y a variation de la ventilation pulmonaire avec modification de la  $\text{pCO}_2$ .

Quelques origines du trouble respiratoire :

- Paralysie partielle des muscles respiratoire.
- Obstruction des voies respiratoires.
- Atteinte des centres nerveux respiratoires.
- Mal des montagnes.

## 2.3. Stades :

Dès qu'il y a une acidose ou une alcalose, l'organisme met en place un système de compensation pour ramener le rapport  $\frac{[\text{HCO}_3^-]}{a \times \text{pCO}_2} = 20$

### • pH revenu à la normale :

Le trouble est compensé.

| pH       | $[\text{HCO}_3^-]$ | $\text{pCO}_2$ | Conclusion  |
|----------|--------------------|----------------|---|
| Diminué  | Augmentée          | Augmentée      | Acidose respiratoire qui sera compensée par l'augmentation des $\text{HCO}_3^-$ . |
| Augmenté | Diminuée           | Diminuée       | Alcalose respiratoire qui sera compensée par la diminution des $\text{HCO}_3^-$ . |
| Diminué  | Diminuée           | Diminuée       | Acidose métabolique qui sera compensée par la diminution de la $\text{pCO}_2$ .   |
| Augmenté | Augmentée          | Augmentée      | Alcalose métabolique sera compensée par l'augmentation de $\text{pCO}_2$ .        |

- **pH non revenu à la normale :**

Le trouble est dit non compensé.

#### **2.4. Autres pathologies :**

En dehors de la réanimation, le dosage des gaz du sang est surtout réaliser dans les services de Pneumologie pour :

- Déceler les insuffisances respiratoires.
- Déceler et étudier les maladies moléculaires de l'hémoglobine.

- **Anoxie :**

Absence complète d'oxygène.

- **Hypoxie :**

Insuffisance de la quantité de dioxygène délivré aux tissus par rapport aux besoins des cellules.

- **Hypoxémie :**

Diminution de la quantité de dioxygène transportée par le sang.

- **Anoxie cellulaire :**

Les cellules ne reçoivent pas assez de dioxygène.

### **3° Analyses au laboratoire de biologie médicale :**

#### **3.1. Le prélèvement :**

Sang artériel, prélevé sur héparine, à l'abri de l'air, par un médecin au niveau des artères, à l'aide d'une seringue en verre.

#### **3.2. Les dosages :**

- **Doser par l'automate :**

Les appareils des gaz du sang mesurent le pH, la pO<sub>2</sub> et la pCO<sub>2</sub> grâce à des électrodes spécifiques.

|                        |                                  |  |
|------------------------|----------------------------------|--|
| <b>pH</b>              | 7,37 à 7,43                      | Electrode de verre (potentiométrique)        |
| <b>pO<sub>2</sub></b>  | 9,31 à 12,63 kPa<br>70 à 95 mmHg | Electrode de Clark (ampérométrique)          |
| <b>pCO<sub>2</sub></b> | 4,65 à 5,85 kPa<br>35 à 44 mmHg  | Electrode de Severinghaus (potentiométrique) |

- **Calculer par l'automate :**
  - **[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] réels ou actuels :**

Cette concentration est déduite de la pCO<sub>2</sub> et du pH par calcul grâce à l'équation d'Henderson Hasselbach.

Normes : 22 à 26 mmol/L

- **[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] standards :**

Concentration plasmatique en HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> qu'aurait le patient s'il était « équilibré » à une pCO<sub>2</sub> de 5,32 kPa (40 mmHg) à 37°C.

Normes : 22 à 26 mmol/L

- **Concentration en CO<sub>2</sub> totale :**

Concentration totale du CO<sub>2</sub> plasmatique pouvant être extrait du plasma par un acide fort :

$$(\text{CO}_2)_{\text{total}} = a \times p_{\text{aCO}_2} + (\text{H}_2\text{CO}_3) + (\text{HCO}_3^-) + (\text{CO}_2)_{\text{combiné}}$$

Normes : 25 mmol/L

- **Bases tampon :**

C'est la somme des concentrations, en mmol/L, de sang total, des anions tampons hydrogénocarbonates, protéinates, hémoglobines, désoxyhémoglobines, phosphates.

Normes : 46 à 48 mmol/L

- **Excès de bases :**

C'est la différence entre la valeur des bases tampons, calculée pour le patient, et la valeur d'un individu normal.

Normes :  $0 \pm 2$  mmol/L

- **Saturation en O<sub>2</sub> :**

$$S_aO_2 = \frac{Hb(O_2)_4}{Hb(O_2)_4 + HHb} \times 100$$

Normes : 95 à 98 %

- **Contenu en O<sub>2</sub> :**

Quantité d'oxygène totale réellement transportée par un litre de sang.

- **Capacité en O<sub>2</sub> :**

Quantité totale d'oxygène que transporterait un litre de sang si l'hémoglobine était totalement saturée en oxygène.