

# UE 3b

## ÉQUILIBRE ACIDO-BASIQUE



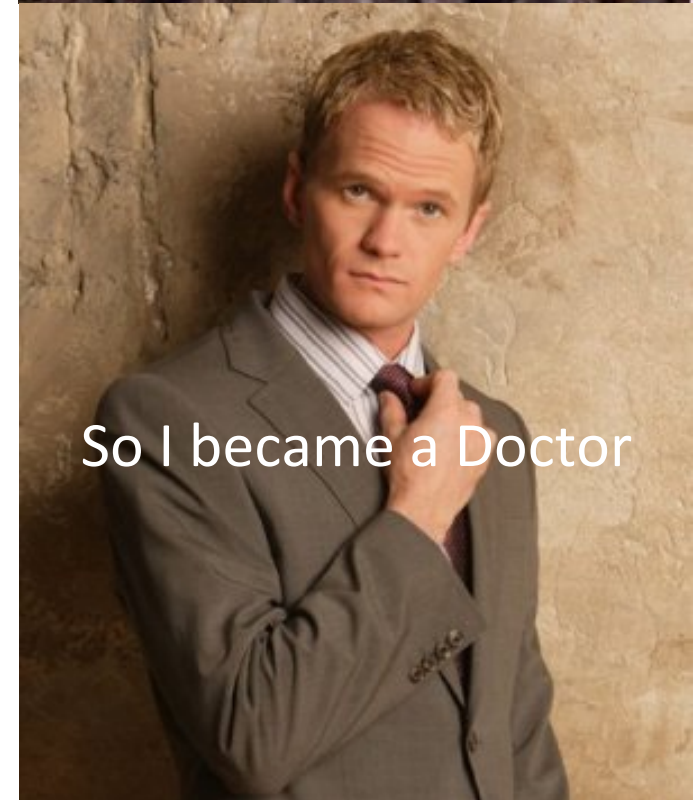
# Sommaire

## III - Pouvoir tampon de l'organisme

- Définition
- Rôle central de l'acide carbonique

## IV – Analyse du pouvoir tampon

- Solution contenant de l'acide carbonique
- Organisme vivant
- Diagramme de Davenport
- Application en médecine



# III-1 :Protection passive contre les variations de pH

De manière passive, l'organisme limite les variations de pH des cellules et du milieu extracellulaire par des systèmes *tampons*.

- **Définition d'un tampon**

Couple acido-basique dont la capacité de fixer des protons limite les variations de pH des milieux extracellulaire et cellulaire

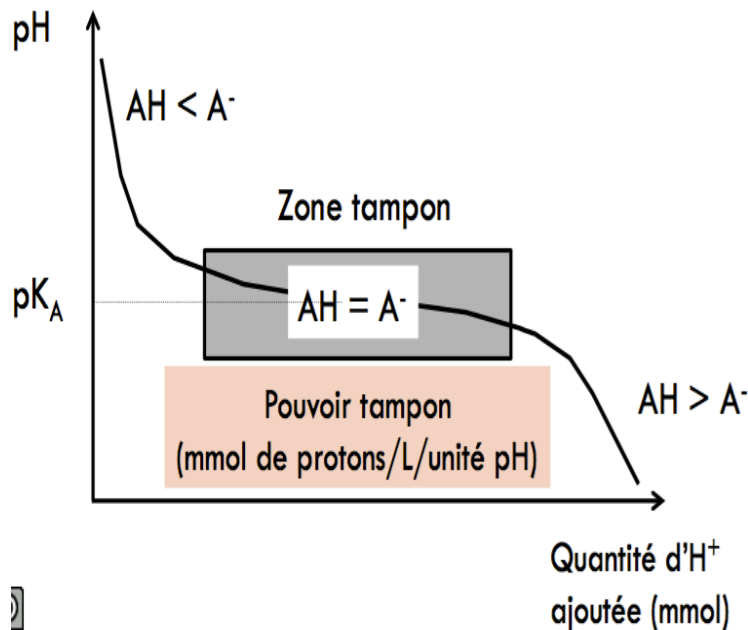
- **Pouvoir Tampon**

Quantité de protons fixés par un couple acido-basique par unité de pH et par litre de solution

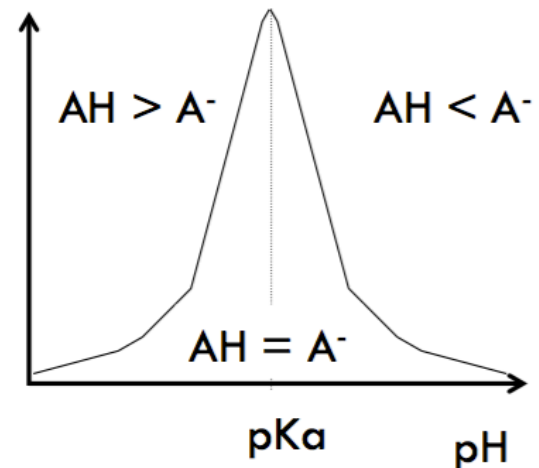
# III-1 : Zone Tampon – Pouvoir Tampon

Dans la zone tampon, il faut beaucoup de protons pour modifier le pH

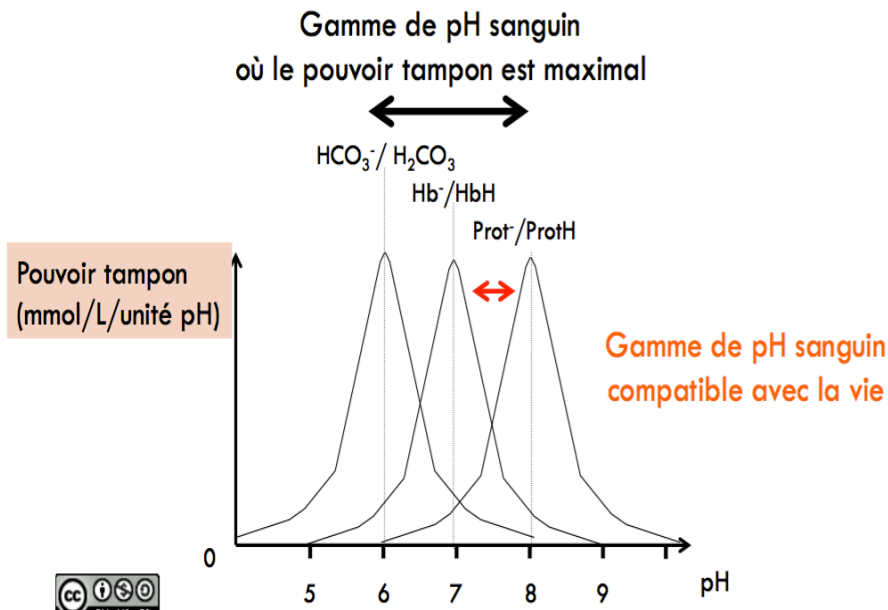
Le **pouvoir tampon** d'un couple est maximum pour **pH=pKa**



Pouvoir tampon  
(mmol/L/unité pH)



# III-1 : Pouvoir tampon de plusieurs couples



On remarque que les pouvoirs tampons des différents couples s'additionnent, c'est exactement ce qui se passe dans le sang, permettant de conserver une gamme de pH sanguin compatible avec la vie



Remarque : Les tampons ont tendance à protéger d'avantage de l'acidose que de l'alcalose. (pH sanguin 7,40)

## III- 2 : Les Tampons Sanguins

- Bicarbonate / Acide Carbonique
- Hémoglobine (Hb/HbH)
- Protéines (Prot<sup>-</sup>/ProtH) +++ Albumine

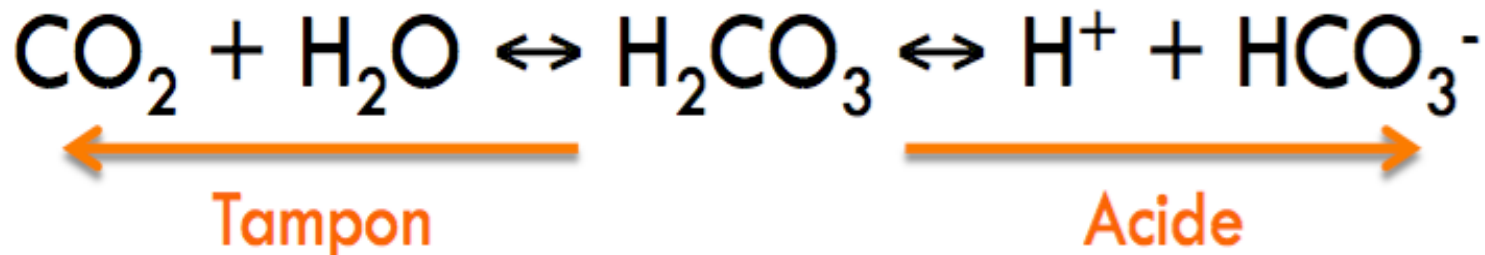
## III - 2 : Double aspect de l'acide carbonique

L'acide carbonique est un couple acido-basique :

-  Il peut acidifier l'organisme.
-  Il peut agir comme tampon dans l'organisme.

Réaction d'hydratation  
accélérée par  
l'anhydrase carbonique

Dissociation  
ionique



## III- 2 : Quantité des principaux tampons

- **Tampon bicarbonate = tampon volatil**

[HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]moyenne dans le sang et les cellules = 25 mmol/l

Volume de distribution : 50% du poids du corps

Quantité de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> = 70 kg x 0,5 x 25 mmol = 1050 mmol

- **Autres tampons = tampons fixes**

Les protéines acceptent des protons sur leurs résidus histidine.

Un individu de 70 kg peut fixer 1200 mmoles de protons sur ses protéines.



## III – 2 : Pouvoir tampon global de l'organisme

Tissu/ compartiment	Système tampon	Pouvoir tampon (mmoles H <sup>+</sup> /l/unité pH)
Milieu extracellulaire	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	55
	Acide phosphorique	0,5
	Protéines	7
Milieu cellulaire	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	18
	Protéines	60
Hématies	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> Hémoglobine	30

L'acide carbonique H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> assure l'essentiel de pouvoir tampon du milieu extracellulaire qui est le seul secteur accessible aux mesures. ++

## III- 2 : Rôle fondamentale de l'acide carbonique

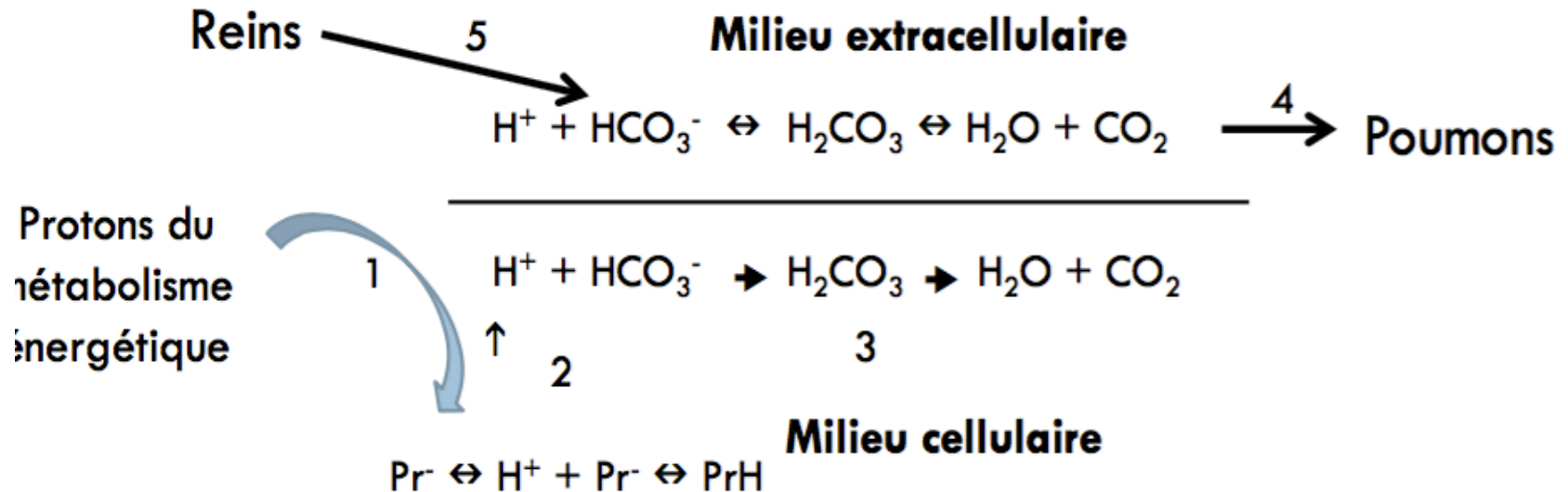
Reprenons l'équation de départ :

- pKa et coefficient de solubilité sont des valeurs connues
- pH et PCO<sub>2</sub> sont des paramètres mesurables
- On peut donc calculer le dernier terme : Le Bicarbonate

$$pH = pKa \times \frac{[HCO_3^-]}{\alpha PCO_2}$$

L'état acido-basique d'un patient s'apprécie par le **dosage** de la concentration d'H<sup>+</sup>, la **mesure** de la PCO<sub>2</sub> (gazométrie) pour aboutir au **calcul** de la concentration d'HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>  
(→→résultat à 2 chiffres près)

## III- 2 : Continuité des tampons entre les différents milieux

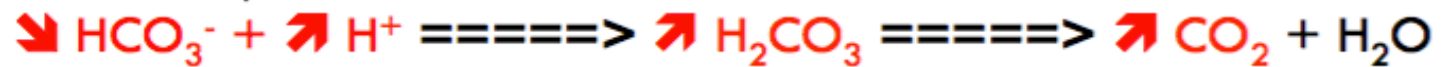
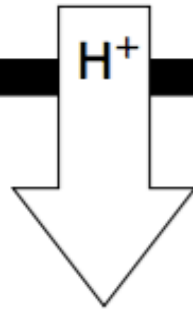


- 1/ les nouveaux protons se fixent aux groupements histidines  $Pr^-$
- 2/ les groupements histidines  $Pr^-$  sont « déprotonés »
- 3/ les bicarbonates du milieu cellulaire sont consommés
- 4/ le  $CO_2$  diffuse vers le milieu extracellulaire, il est éliminé par voie pulmonaire
- 5/ le  $HCO_3^-$  est restitué par les reins et gagne le milieu cellulaire

# IV- 1 : Étude du pouvoir tampon d'une solution contenant d'acide carbonique

Milieu fermé :

Etat final



$$6,20 = 6,10 + \log \frac{14}{11,7}$$

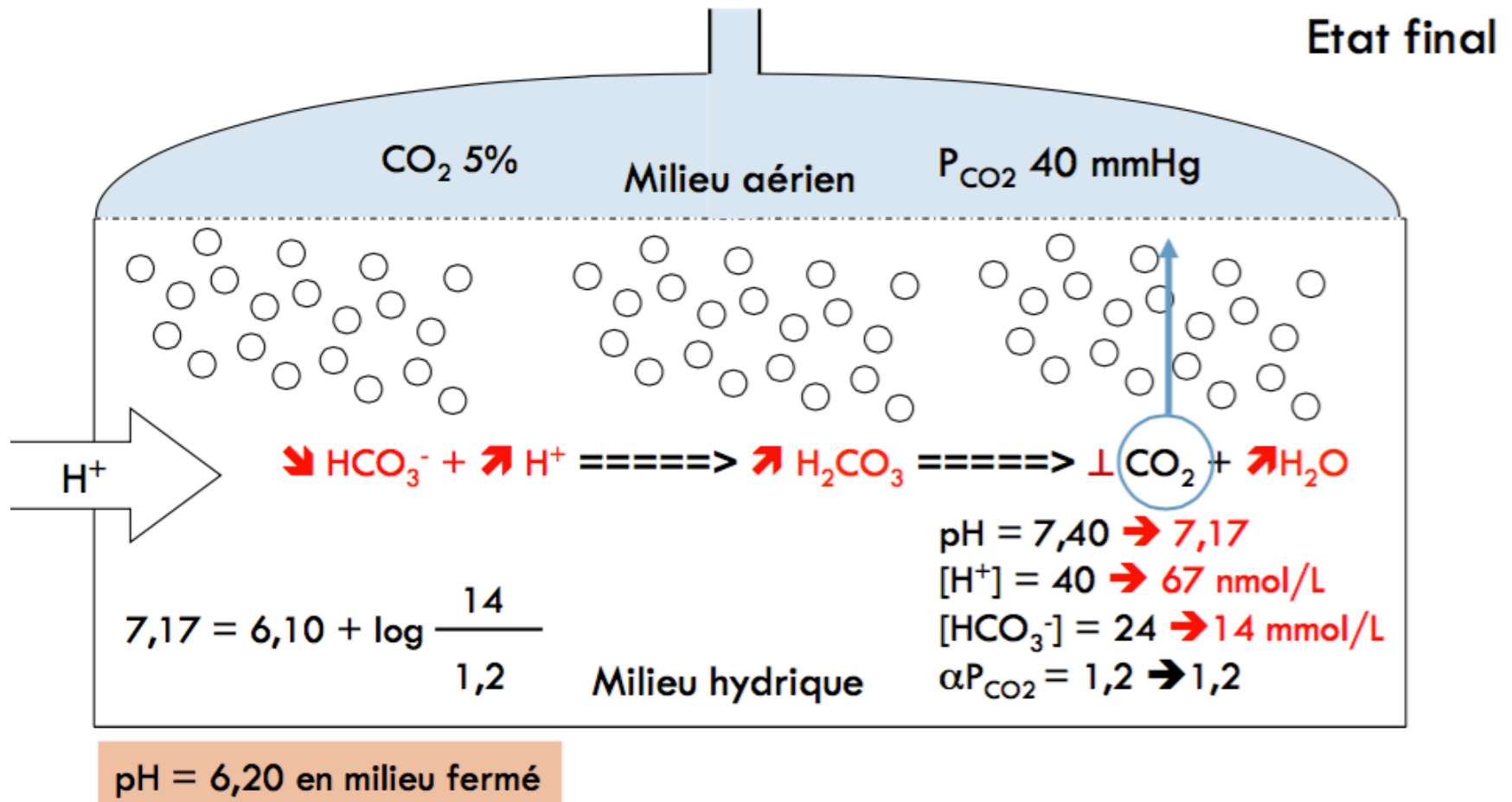
$$\text{pH} = 7,40 \rightarrow 6,20$$

$$[\text{H}^+] = 40 \rightarrow 630 \text{ nmol/L}$$

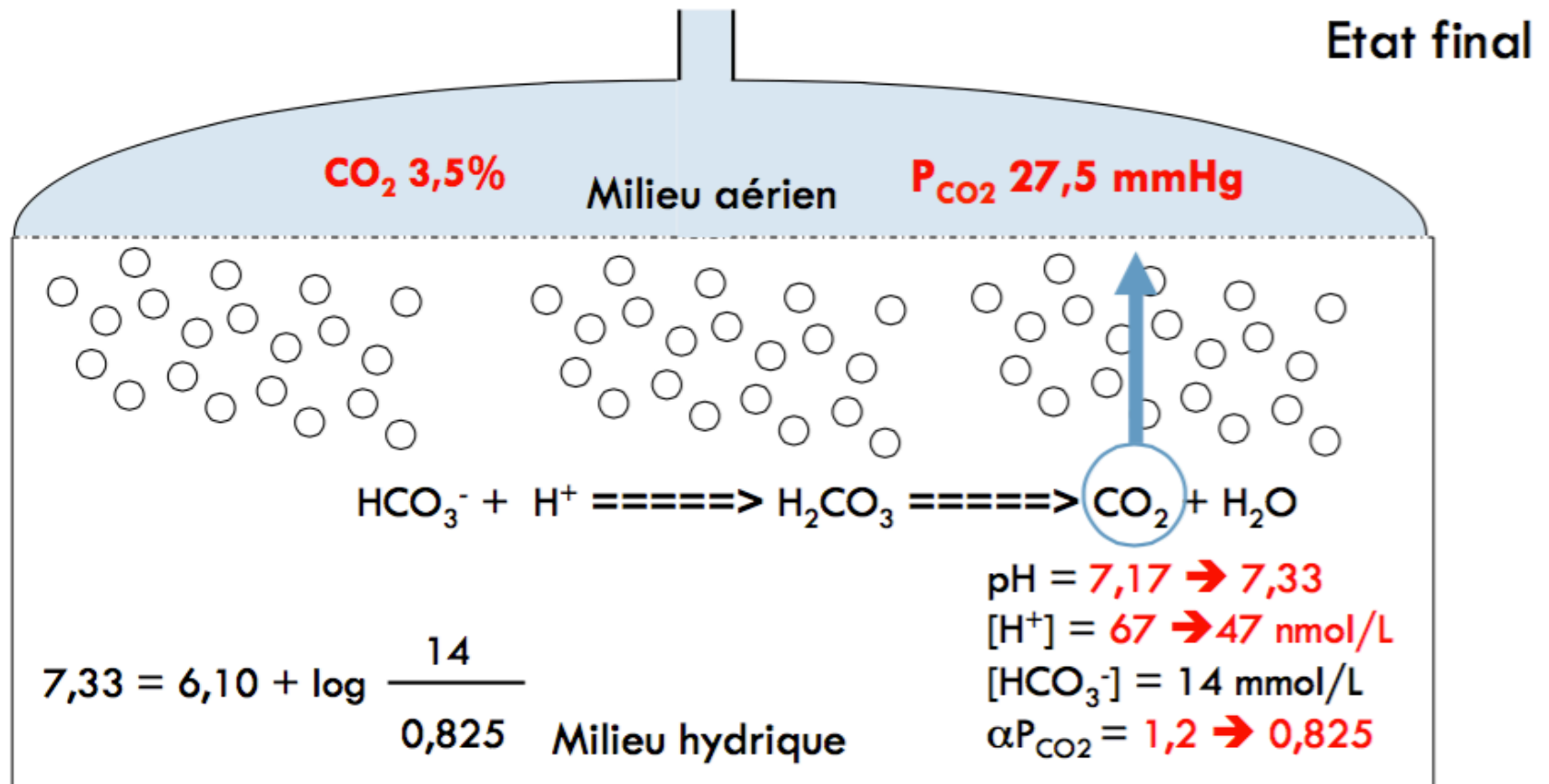
$$[\text{HCO}_3^-] = 24 \rightarrow 14 \text{ mmol/L}$$

$$\alpha P_{\text{CO}_2} = 1,2 \rightarrow 11,7$$

# Milieu ouvert :



# Diminution de la pression partielle en CO<sub>2</sub>



pH = 7,17 en l'absence de variation de P<sub>CO2</sub>

# À retenir ++

Le sang est au contact de l'air alvéolaire :

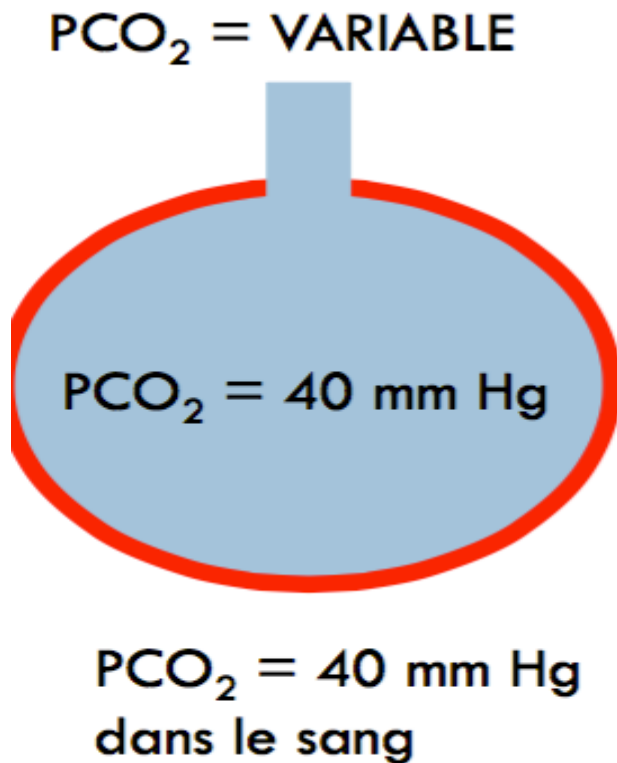
L'organisme utilise le tampon bicarbonate en **milieu ouvert**.

La diffusion du  $\text{CO}_2$  vers l'extérieur de l'organisme augmente avec la fréquence ventilatoire.



# IV – 2 : Étude du pouvoir Tampon de l'organisme

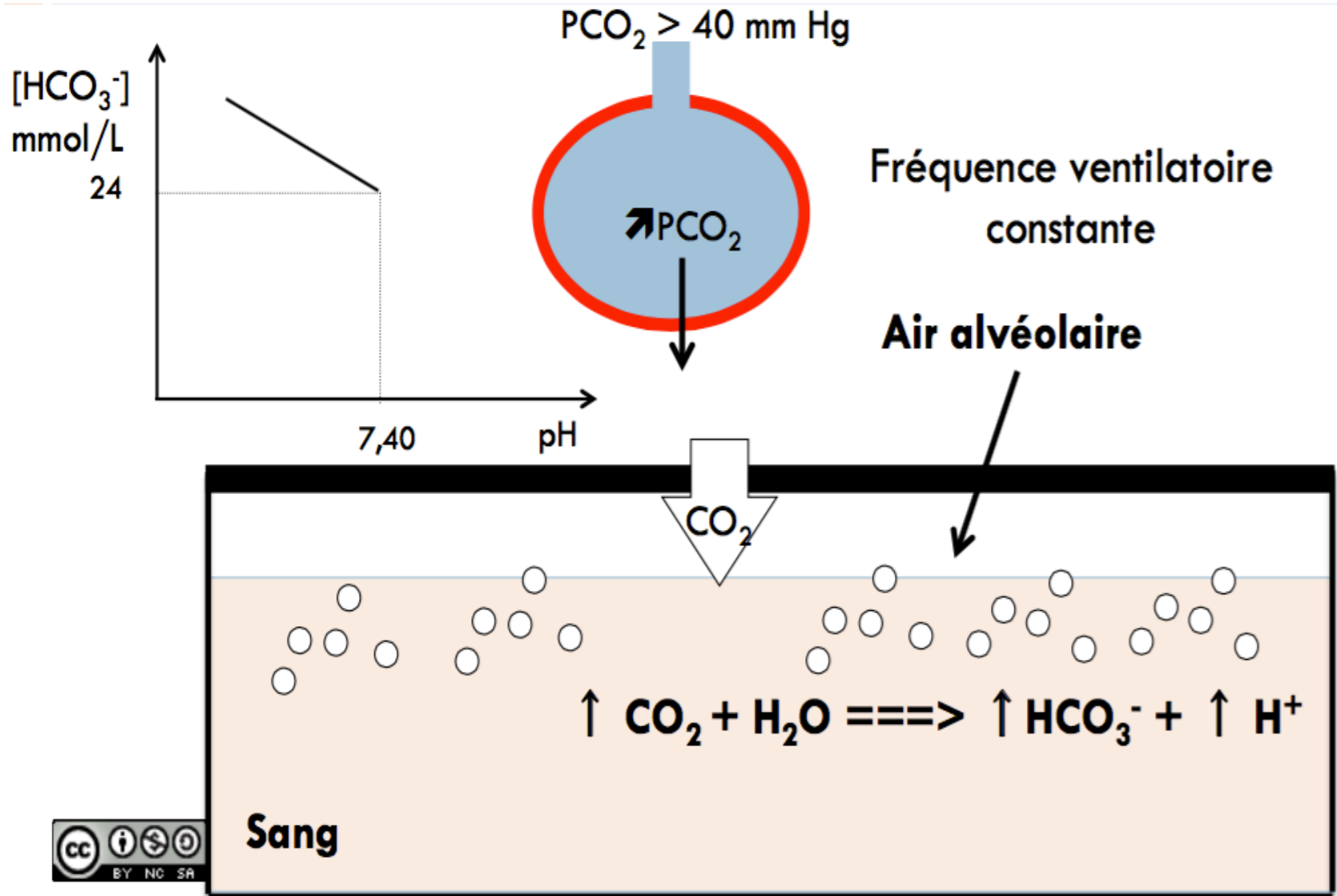
Approche expérimental chez l'animal endormi et ventilé artificiellement



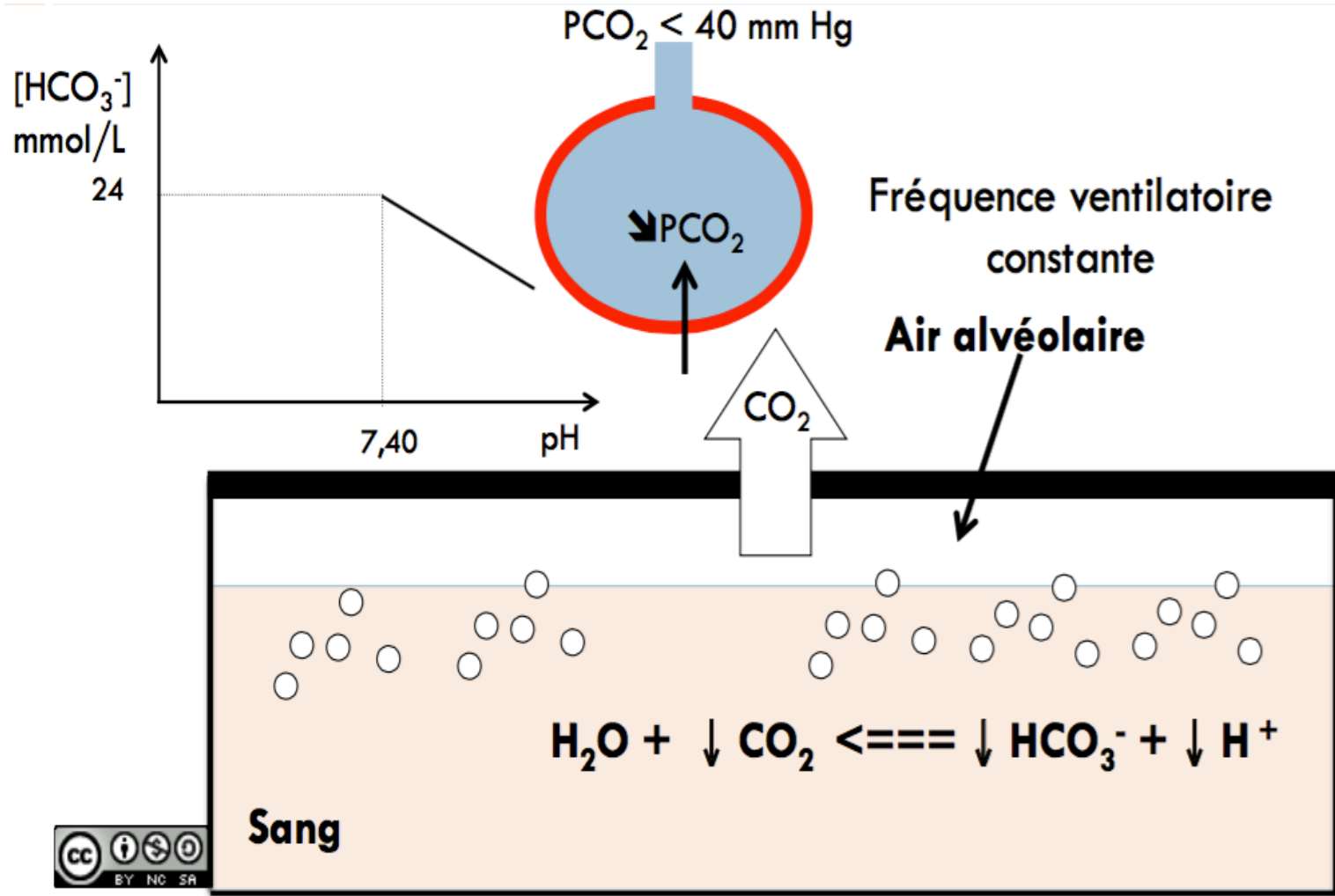
Fréquence ventilatoire constante



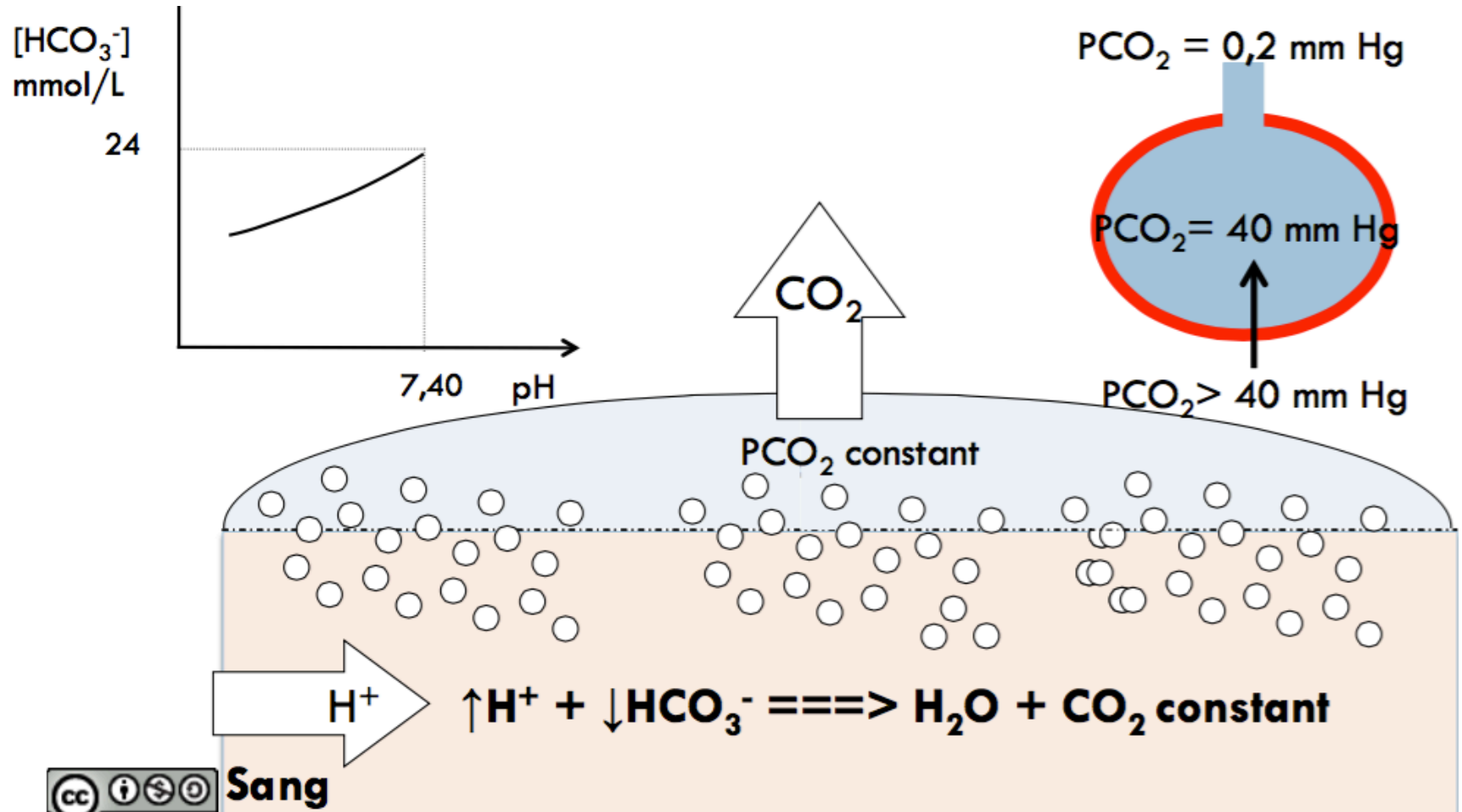
# Milieu Fermé :



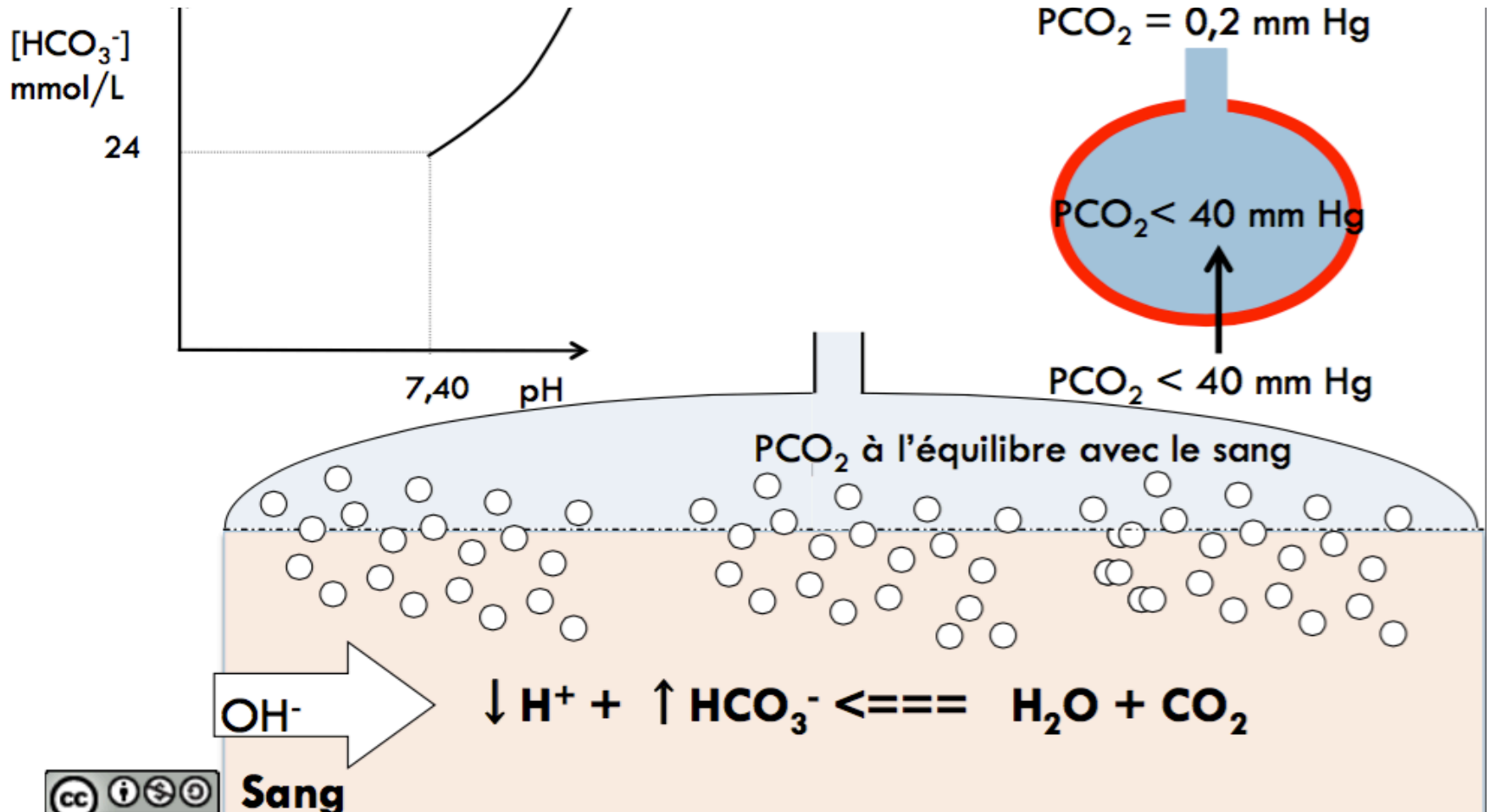
# Milieu Fermé :



# Milieu Ouvert :

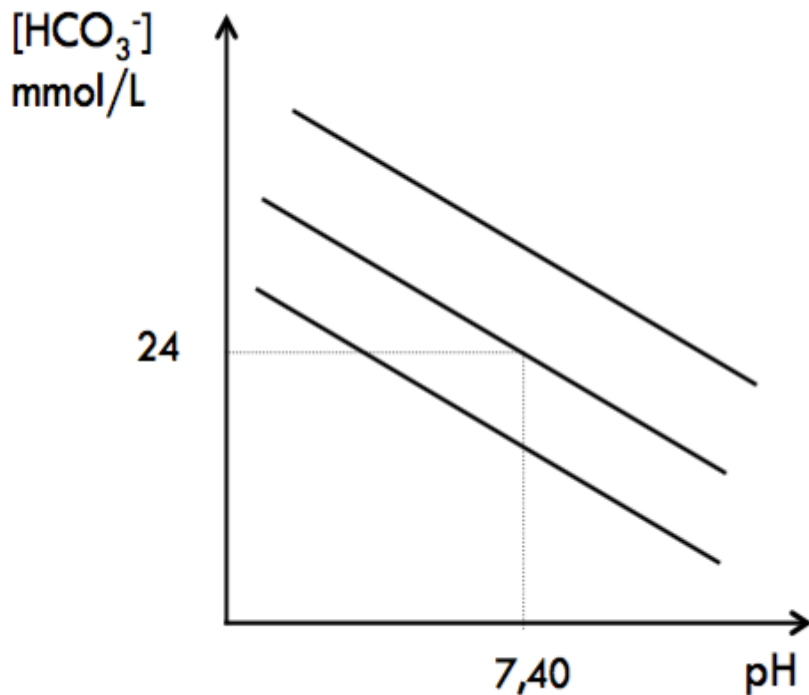


# Milieu Ouvert :



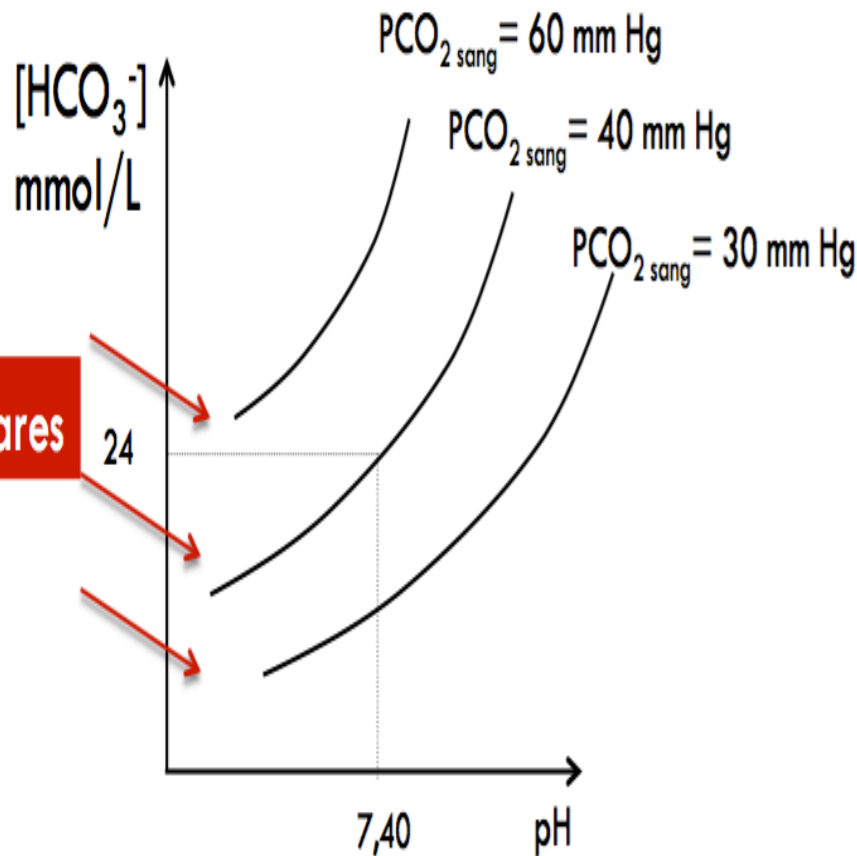
## IV – 2 : Modélisation

### Milieu Fermé :



En situation fermée, la relation entre le pH et les bicarbonates est linéaire.  $[\text{HCO}_3^-] = 24 - k(\text{pH} - 7,40)$  où  $k$  représente le pouvoir tampon des tampons non volatils.

## Milieu Ouvert :



En situation ouverte, la relation entre la bicarbonatémie et le pH est exponentielle.  $[\text{HCO}_3^-] = \alpha \text{ PCO}_2 \times 10^{(\text{pH}-6,10)}$ . On obtient des courbes isobares c-a-d des courbes à pressions constantes en  $\text{PCO}_2$

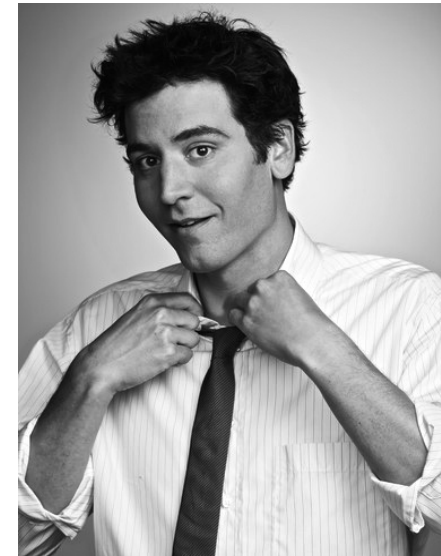
# IV – 3 : Description des variations de l'état acido-basique

Henderson et Hasselbach ont attribué un rôle central à l'acide carbonique pour modéliser les variations pathologiques de l'état acido-basique.



Lawrence J. Henderson  
(1878-1942)

Karl Albert Hasselbalch  
(1874-1962)



# IV – 3 : Diagramme de Davenport

Il s'agit de la représentation de l'équation de Henderson et Hasselbach

$$pH = pKa + \frac{[HCO_3^-]}{\alpha PCO_2}$$

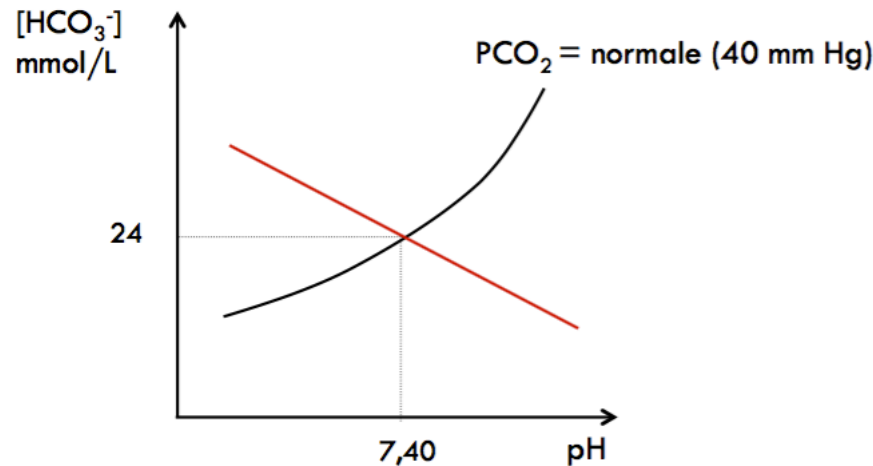


Diagramme de Davenport



## IV – 3 : Définition des troubles acido-basique de l'organisme

Acidose = ↓ pH



Métabolique

si ↓  $[\text{HCO}_3^-]$

Respiratoire

si ↑  $\text{PCO}_2$

Alcalose = ↑ pH



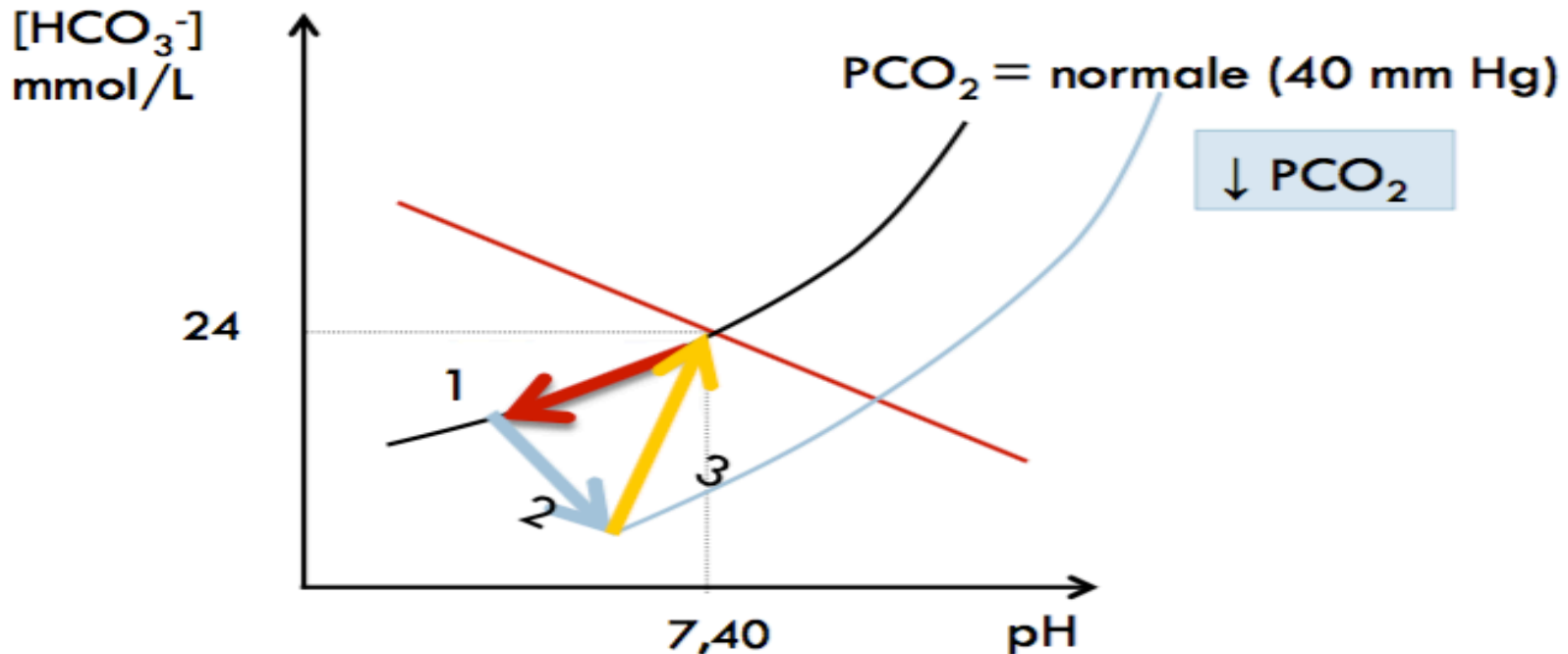
Métabolique

si ↑  $[\text{HCO}_3^-]$

Respiratoire

si ↓  $\text{PCO}_2$

## IV – 3 : Acidose métabolique



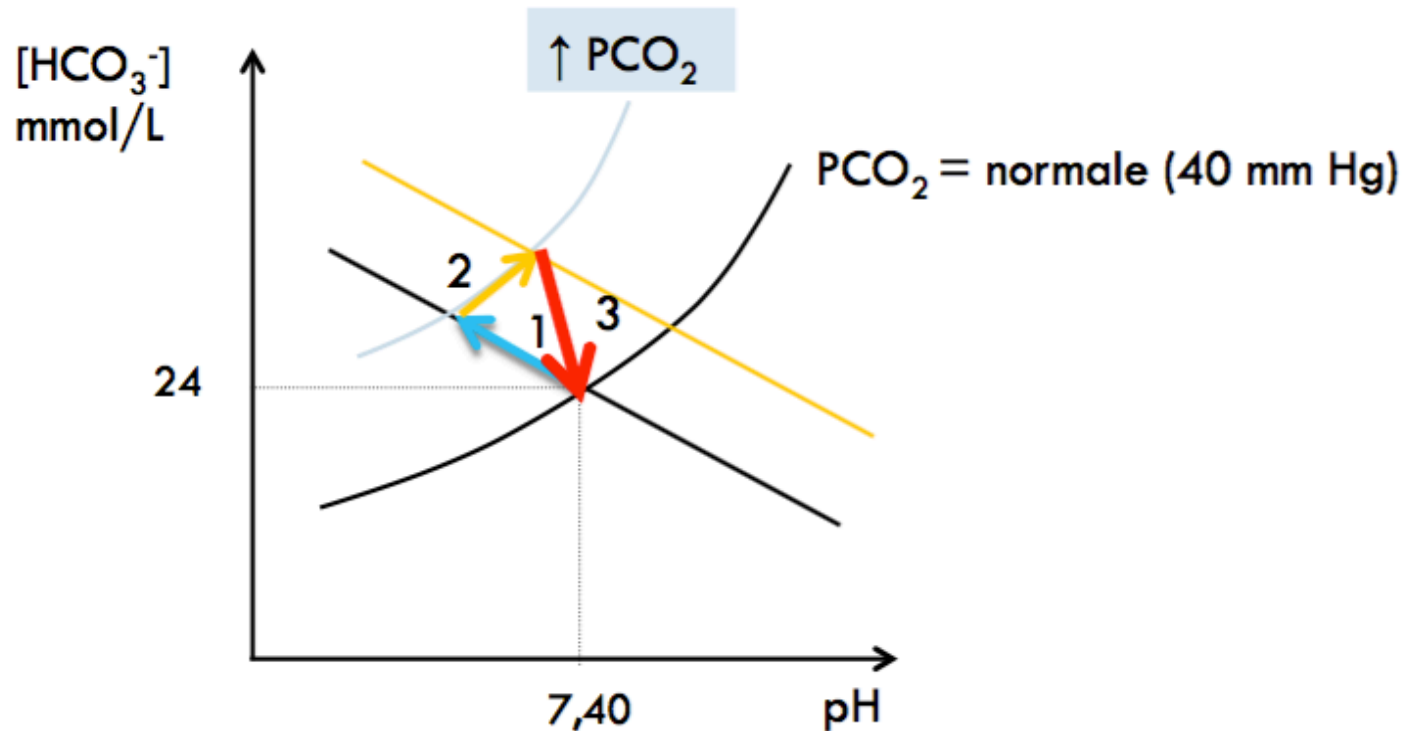
1/ acidose métabolique aiguë :  $\uparrow \text{H}^+ + \downarrow \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

2/ hyperventilation pulmonaire :  $\downarrow \text{H}^+ + \downarrow \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \downarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

3/ augmentation de l'excrétion rénale de protons

et de la fabrication des bicarbonates :  $\text{H}^+ + \uparrow \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \uparrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

# IV – 3 : Acidose Respiratoire

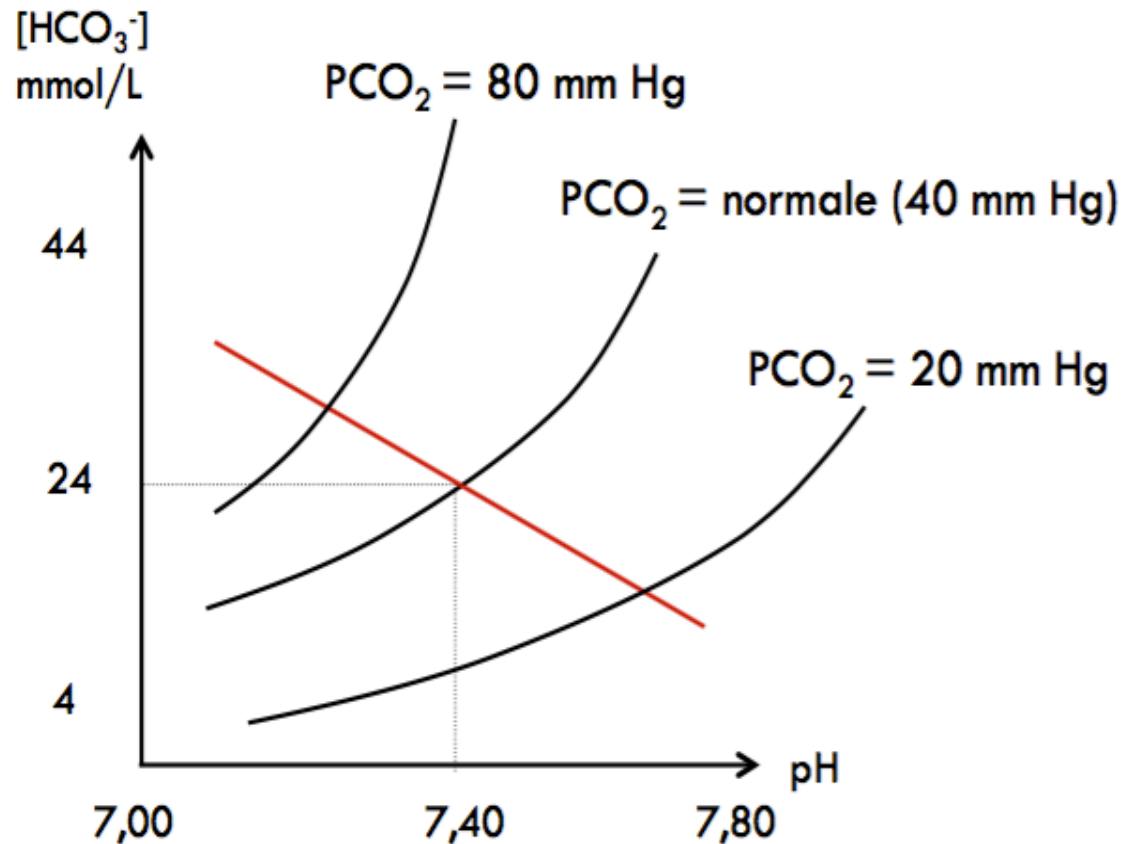


1/ acidose respiratoire aiguë  $\nearrow H^+ + \nearrow HCO_3^- \rightleftharpoons \nearrow\nearrow CO_2 + H_2O$

2/ augmentation de la fabrication rénale de bicarbonate  $\searrow H^+ + \nearrow HCO_3^- \rightleftharpoons \downarrow CO_2 + H_2O$

3/ Disparition de la cause de l'acidose respiratoire, élimination des bicarbonates

## IV – 4 : Valeurs Critiques



Pour éviter la mise en place de manœuvre de réanimation il est impératif de conserver une  $\text{PCO}_2$  entre 20 et 80 mmHg et un pH entre 7,00 et 7,80

# IV – 4 Origine des Acidose

## **Acidose Métabolique**

- Diminution des bicarbonates par excès de production d'acide non volatils
- Insuffisance rénale
- Pertes de bicarbonates : Diarrhée ++++

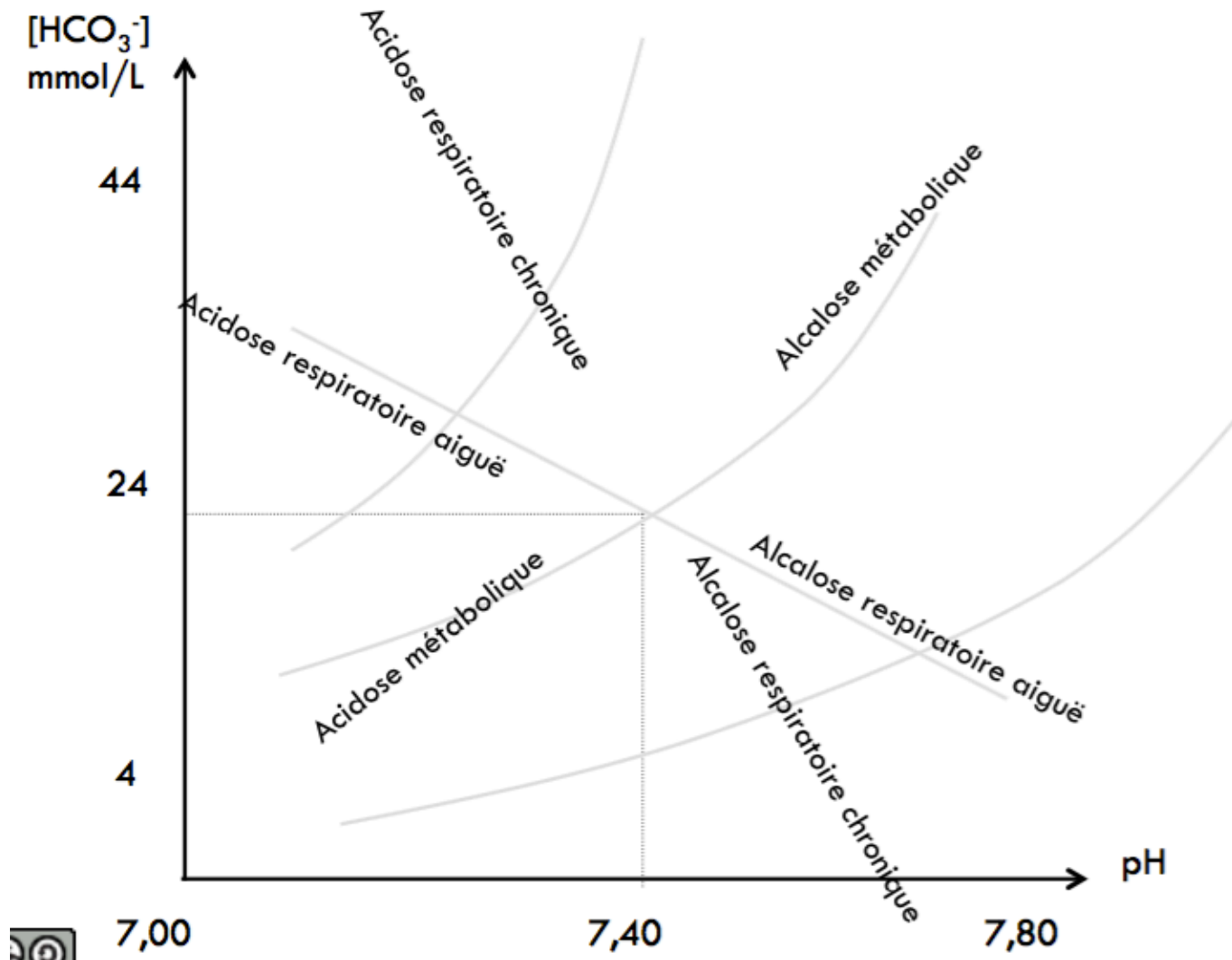
## **Acidose Respiratoire**

- Diminution de la surface d'échange alvéolo-capillaire
- Diminution de la force musculaire

# IV – Origine des Alcalose

<b>Alcalose Métabolique</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- <b>Excès de sécrétion rénale de protons</b></li><li>- <b>Apports excessifs de bicarbonates intraveineux (réanimation)</b></li></ul>
<b>Alcalose Respiratoire</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Augmentation de la ventilation notamment lors d'une crise de tétanie ou par ventilation mécanique (réanimation)</li></ul>

## IV – 4 Localisation des déséquilibres



## IV – 4 : Limites d'utilisation du Diagramme de Davenport

- Diagramme bâti à partir de modèles expérimentaux  
→ Transposition imparfaite à l'être humain.
- Diagramme basé sur l'existence de trouble simples soit respiratoires soit métabolique, cependant dans la réalité les troubles mixtes sont très courant.



FIIIIIIIIN !



PACES ?

Challenge Accepted !