



# EQUILIBRE ACIDO-BASIQUE

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.

# DEFINITIONS

- **couple acido-basique** : molécules capables de déplacer l'équilibre entre les ions  $H^+$  et les ions  $OH^-$  en solution aqueuse en s'ionisant dans l'eau
- **Acide** : espèce capable de céder un ou plusieurs protons.
- **Base** : espèce capable de capter un ou plusieurs protons



# RAPPELS

- $\text{pH} < 7$  Solution acide  $[\text{H}^+] > 10^{-7} \text{ mol/L}$  ou  $100$
- $\text{pH} > 7$  Solutions basiques  $[\text{H}^+] < 10^{-7} \text{ mol/L}$  ou
- $\text{pH} = 7$  Solutions neutres  $[\text{H}^+] = 10^{-7} \text{ mol/L}$  ou  $10$
- L'eau à  $25^\circ$  définit la neutralité acido-basique



# IONISATION



- L'eau est une molécule faiblement ionisée en H<sup>+</sup> et OH<sup>-</sup>
- Sa constante de dissociation  $K_{\text{H}_2\text{O}}$  permet de quantifier cette ionisation.

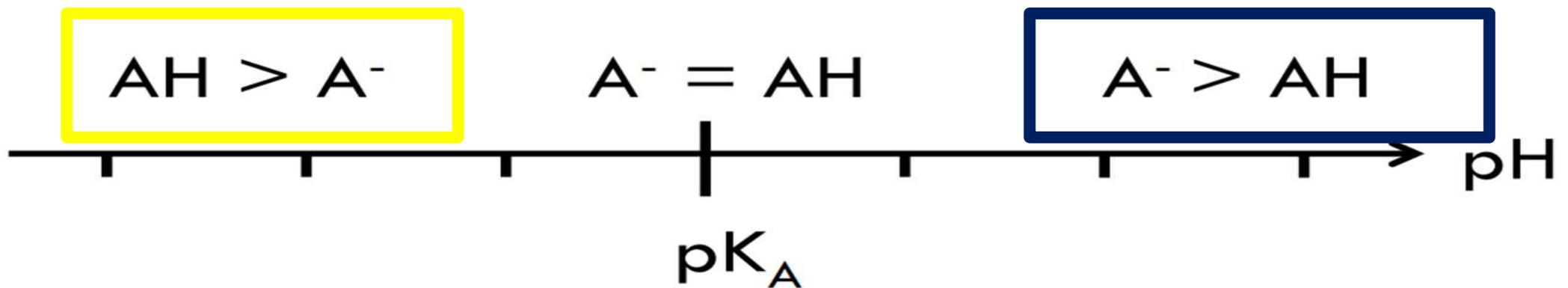
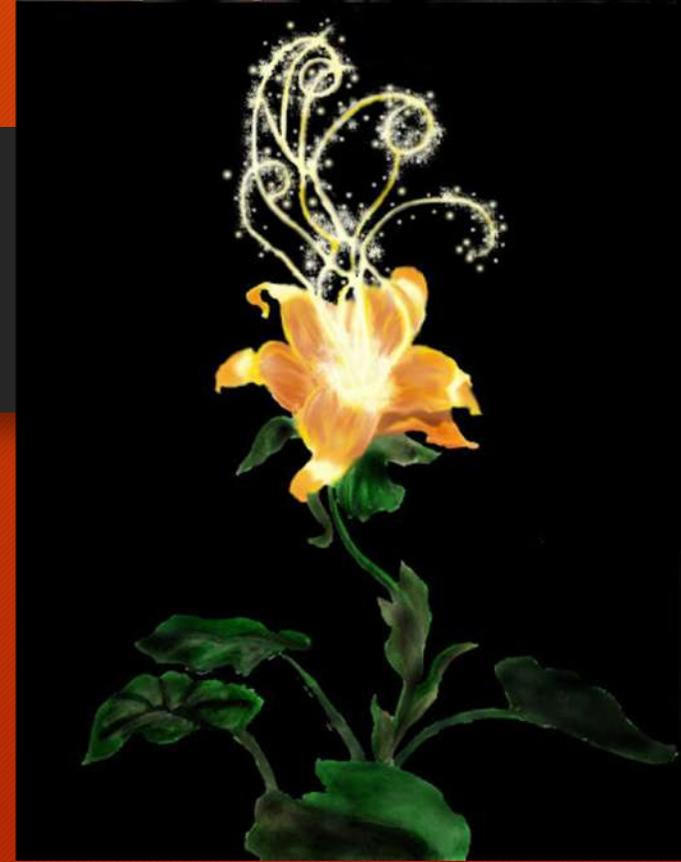
$$K_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{[\text{H}^+] \times [\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}$$



# ECHELLE DE PH

On peut situer le  $pK_A$  sur une échelle de pH pour matérialiser la prédominance d'une forme sur une autre

- Si le  $pH < pK_A$  alors la forme **liée AH** prédomine
- Si le  $pH > pK_A$  alors la forme, **dissocier  $A^-$**  prédomine



# ECHELLE LOGARITHMIQUE

- La concentration de protons dans les fluides biologiques varie beaucoup en fonction du milieu de 100 mmol/L à 10 nmol/L soit  $10^7$  fois.
- C'est pourquoi on utilise une échelle logarithmique pour la mesurer.



$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.

$$\text{pK} = -\log K$$

# LIQUIDES BIOLOGIQUES

- Dans **l'estomac** le pH est très bas , environ 100 mmol/L donnant un **pH à 1**, c'est l'endroit le plus acide de l'organisme.
- Dans **les cellules** la concentration en protons est à 100 nmol/L , ce qui donne un **pH de 7**.
- Dans **le milieu extracellulaire** est 40 nmol/L soit un pH de 7,40
- L'**Urine** à un pH extrêmement **variable** compris entre **5 et 8** , elle est un émonctoire variant sa composition selon les besoins de l'organisme

# IMPORTANCE EQUILIBRE ACIDO-BASIQUE

- Le milieu intérieur est **EXTREMEMENT** régulé et varie dans une fourchette très étroite entre

**7,38 et 7,42.**

- La survie de l'individu peut être compromise si le

**$\text{pH} \leq 7,00$  ou  $\text{pH} \geq 7,80$ .**

# INFLUENCE EQUILIBRE ACIDO-BASIQUE

- Ouverture des canaux membranaires
- Vitesse des réactions enzymatiques
- Conformation et interaction de certaines protéines
- Transport de l'oxygène par l'hémoglobine

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.



# ACIDE CARBONIQUE

L'acide carbonique est un couple acido-basique qui peut acidifier ou alcaliniser l'organisme.

- Il **acidifie** via l'ionisation de l'acide carbonique
- Il **alcalinise** via l'hydratation du gaz carbonique

Réaction réversible d'hydratation  
accélérée par  
l'anhydrase carbonique

Dissociation  
ionique



Base

Acide

# CHARGE ACIDE DE L'ORGANISME

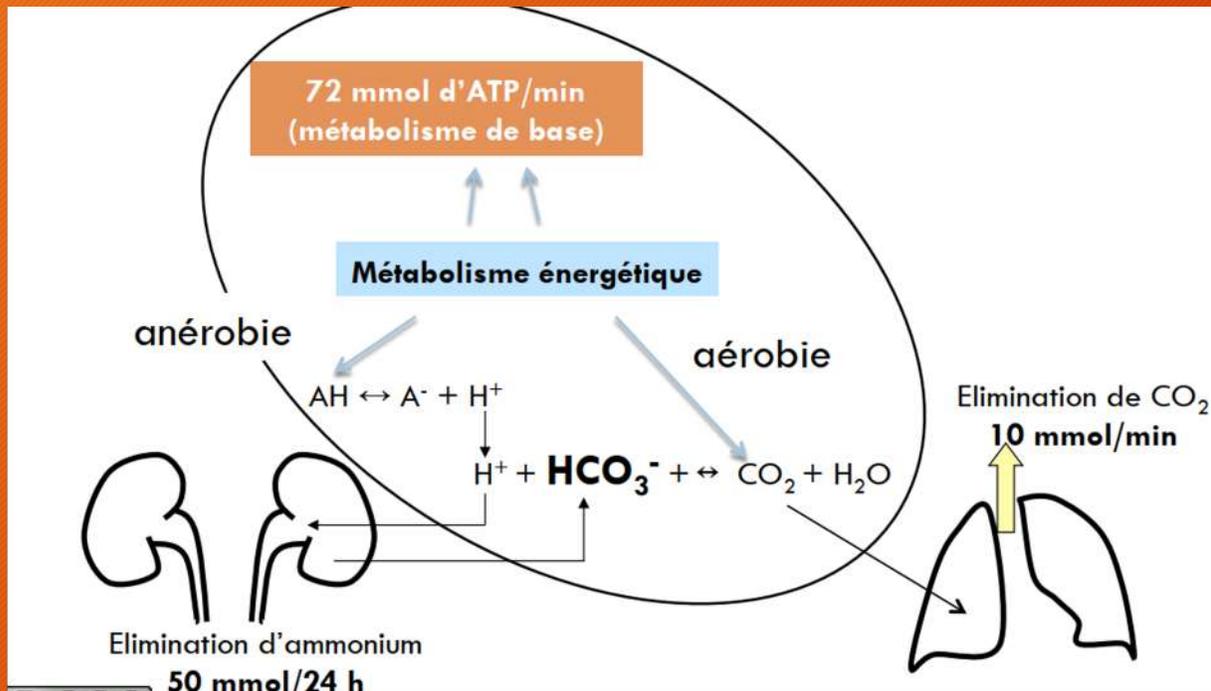
- L'organisme est soumis à une charge acide permanente.

la charge acide provient du métabolisme énergétique /

- Lors d'un métabolisme **aérobie** : production de CO<sub>2</sub> exclusivement (acide volatil)
- Lors d'un métabolisme **anaérobie** : production de CO<sub>2</sub> et d'acide lactique+++ (acide fixe)



**AU REPOS** = métabolisme de base

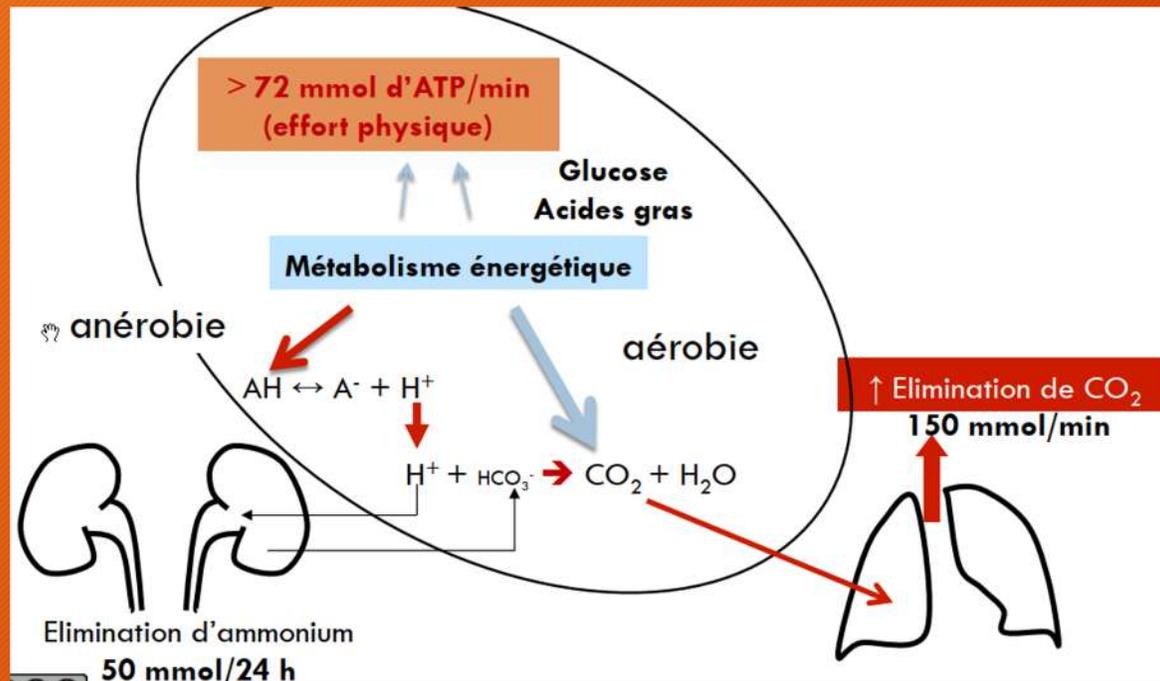


**Poumons** éliminent le  $CO_2$

**Reins** excrètent les  $H^+$  dans l'urine  
sécrètent  $HCO_3^-$  dans le M.I

La capacité de régulation  
des poumons est plus  
grande que celle des reins

# PENDANT L'EFFORT

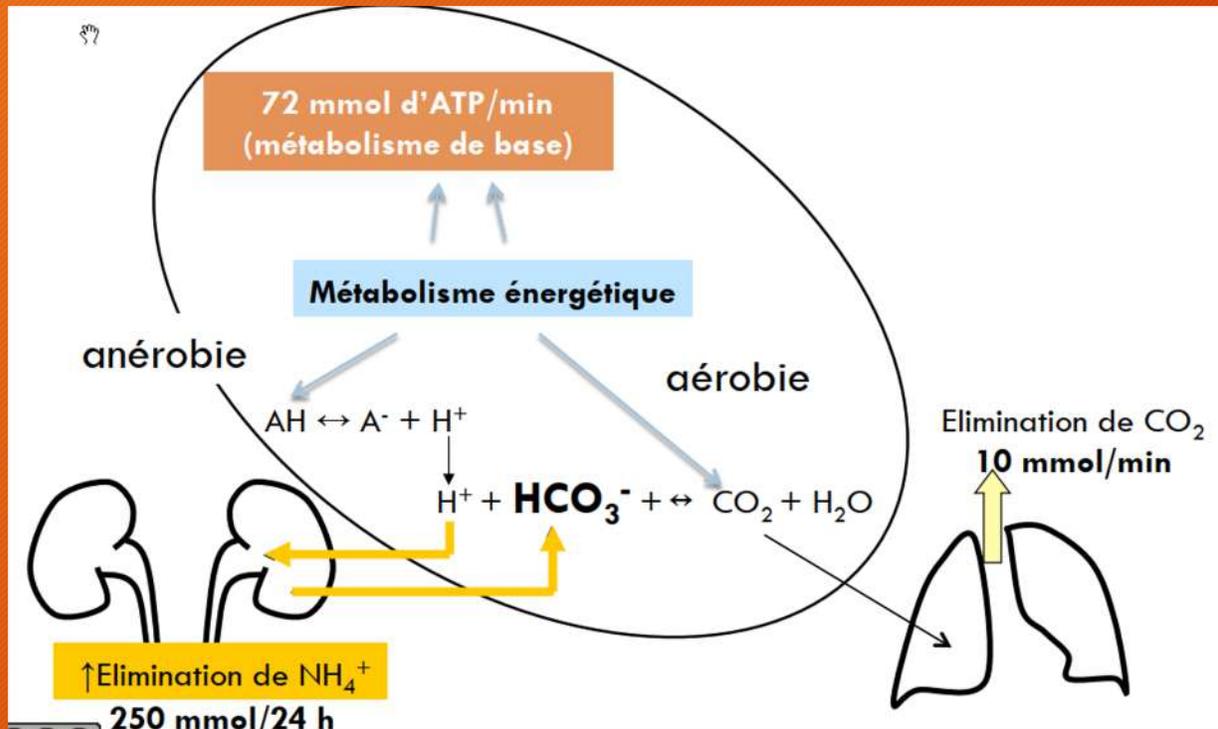


**Poumons** s'ADAPTENT élimination du  $CO_2$  x15 par hyperventilation

**Reins** ne s'adaptent PAS  
Leur activité est constante

Les bicarbonates sont plus consommés et ne sont pas régénérés  
Le pouvoir tampon du Bicarbonate diminue

# APRES L'EFFORT

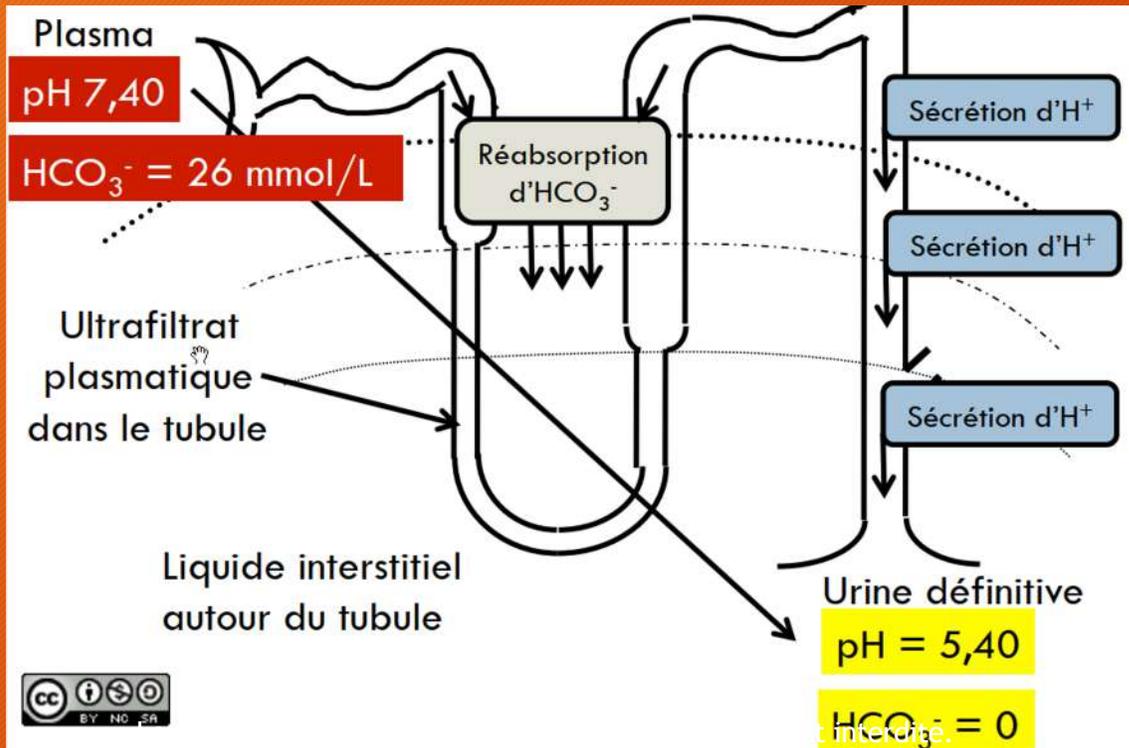


**Poumons** activité revient à la normale  
arrêt de l'hyperventilation

**Reins** augmentent leur élimination de  $H^+$  x5 et régénèrent les bicarbonates (tampon précédemment amputé)

1  $H^+$  excrète = 1  $HCO_3^-$  sécrété

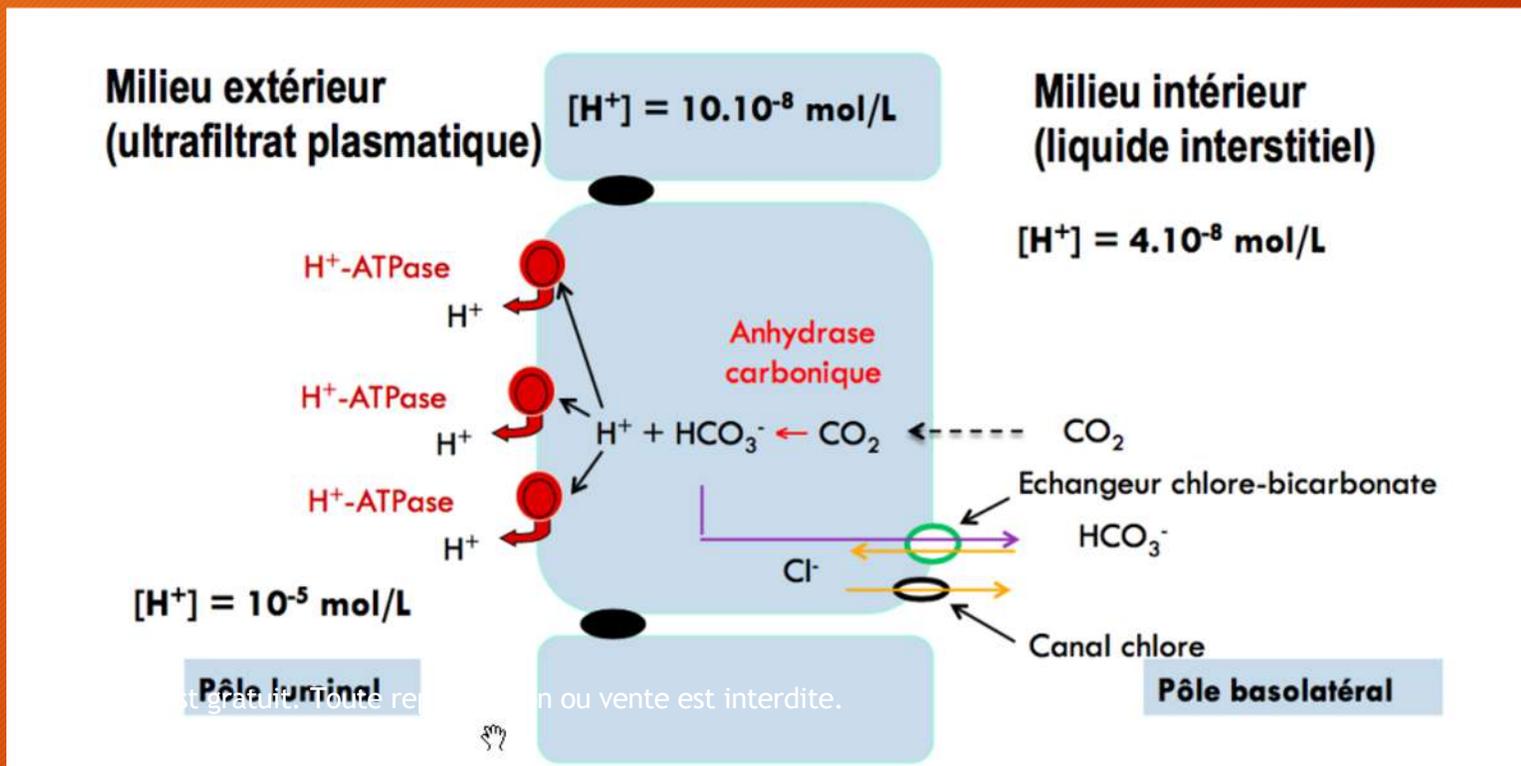
# REABSORPTION BICARBONATES SECRETION PROTONS



- Les reins réabsorbent les bicarbonates plasmatiques filtrés dans les glomérules et sécrètent des protons dans l'urine de manière active.
- La réabsorption des bicarbonates se fait vers le liquide interstitiel, le liquide sécrété dans l'urine définitive est dépourvu de bicarbonate.
- En distale du tubule les protons vont être sécrétés vers le fluide tubulaire, le pH de l'urine passe de 7,40 à 5.

# SECRETION RENALE DE PROTON

phénomène actif utilisant les pompes H<sup>+</sup>-ATPases

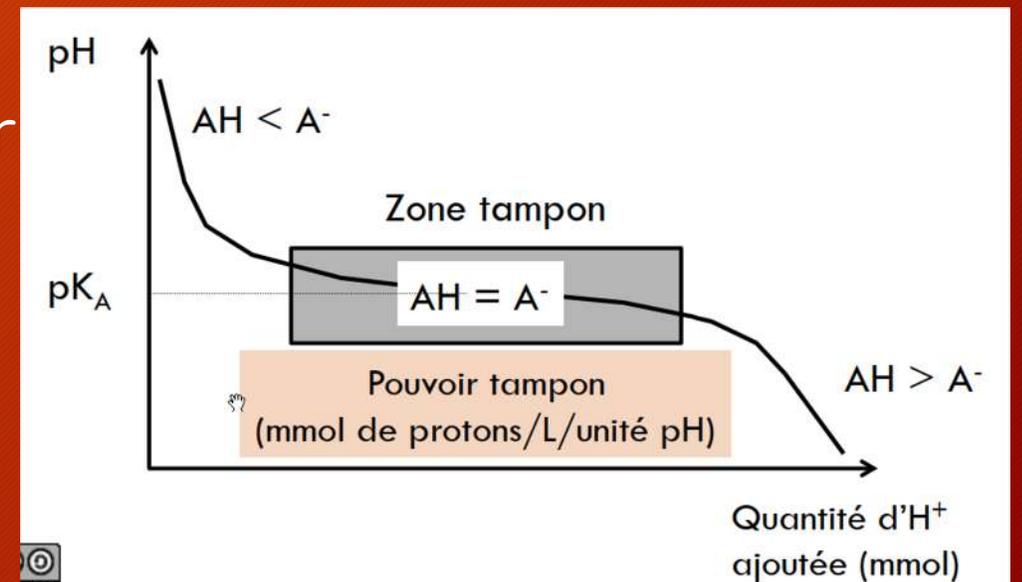


# FIXATION DES PROTONS DANS L'URINE

- les protons dans l'urine ne restent pas ionisés , ils sont trappés par l'ammoniac ou l'acide phosphorique.
- La quantité d'acide phosphorique ne varie pas en fonction des besoins de l'organisme (pas de fabrication par l'organisme, il provient de l'alimentation)
- EN REVANCHE, la quantité d'ammoniac peut être multipliée par 5 suite à un effort.
- L'ammoniac a un pouvoir tampon plus important que l'acide phosphorique.

# SYSTÈMES TAMPONS

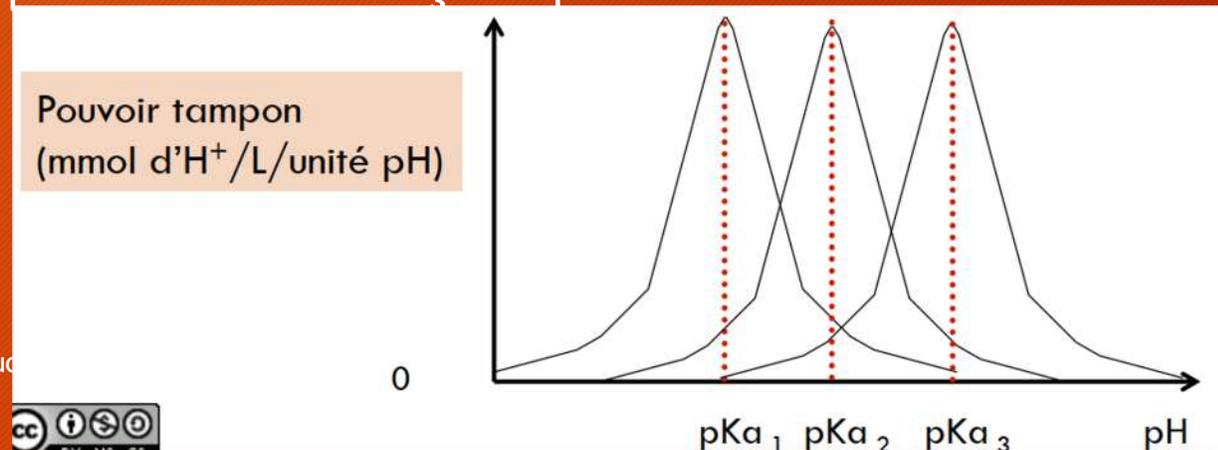
- Les différents couples tampons assurent une protection passive contre les variations de pH, ils sont **MULTIPLES** et **INTERDEPENDANTS**.
- **Tampon** : couple acido-basique dont la capacité de fixer les protons limite les variations de pH des milieux cellulaires et extracellulaires
- **Zone tampon** : zone dans laquelle il faut ajouter beaucoup de protons pour modifier légèrement le pH.
- **Pouvoir tampon** : quantité de protons fixés par un couple acido-basique par unité de pH et par litre de solution.



# POUVOIRS TAMPONS



- Le pouvoir tampon d'un couple acido-basique est maximal lorsque le  $\text{pH}$  de la solution est égal au  $\text{pKa}$  du couple.
- Dans le milieu extracellulaire, il existe plusieurs tampons. Si les  $\text{pKa}$  de ces couples sont différents, la zone tampon s'élargit et le pouvoir tampon aussi.
- Les différents systèmes sont donc en collaboration et en équilibre afin de trapper les protons de façon plus efficace.



# POUVOIR TAMPON DU SANG

- Dans le sang TROIS couples acido-basiques coexistent , ce qui permet d'avoir une zone tampon relativement large.

- Acide carbonique/Bicarbonate ( $pK_a = 6,10$ )
- Hémoglobine protonée/Hémoglobine ( $pK_a$ )
- Protéines ( $pK_a = 8$ )

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.



# QUANTITÉ DES PRINCIPAUX TAMPONS

- BICARBONATES : ils se distribuent dans 50 % du poids du corps , à une concentration moyenne de 25 mmol/L , nous avons 1050 mmol de bicarbonate disponible pour tamponner les protons.  
Forme du CO<sub>2</sub> éliminé par les poumons
- Les résidus d'histidines des protéines et les anions organiques faibles comptent une concentration moyenne de 1200 mmol.  
Éliminé dans l'urine

# POUVOIR TAMPON GLOBAL

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

- Dans le milieu extracellulaire le principal tampon est le bicarbonate on a très peu de protéine.
- Dans le milieu cellulaire à contrario le principal tampon est les protéines.
- Dans les globules rouges, l'hémoglobine circule, elle est un système tampon extrêmement efficace.
- Tous ces tampons fonctionnent ENSEMBLE, et sont tous en communication .



# ETAT ACIDO-BASIQUE NORMAL

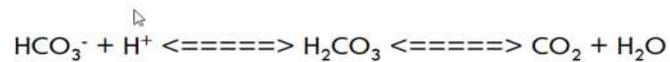
L'état acido-basique d'un individu se détermine via 3 grandeurs

- pH : 7,38 - 7,42
- PCO<sub>2</sub> : 36-44 mmHg
- [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>] : 22 - 26 mmol/L



# MILIEU FERME

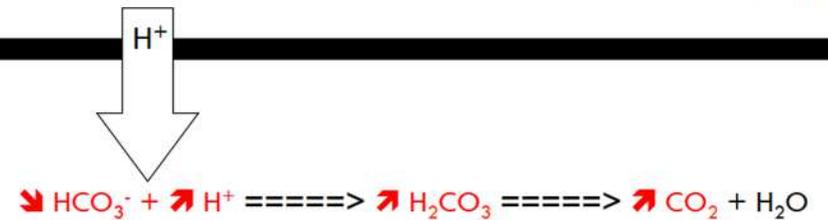
Etat initial



$$7,40 = 6,10 + \log \frac{24}{1,2}$$

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 7,40 \\ [\text{H}^+] &= 40 \text{ nmol/L} \\ [\text{HCO}_3^-] &= 24 \text{ mmol/L} \\ \alpha P_{\text{CO}_2} &= 1,2 \end{aligned}$$

Etat final

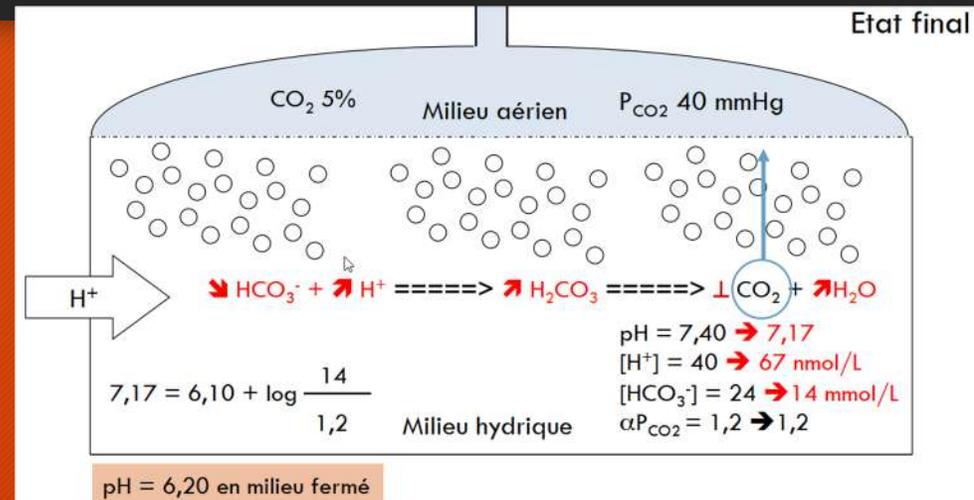
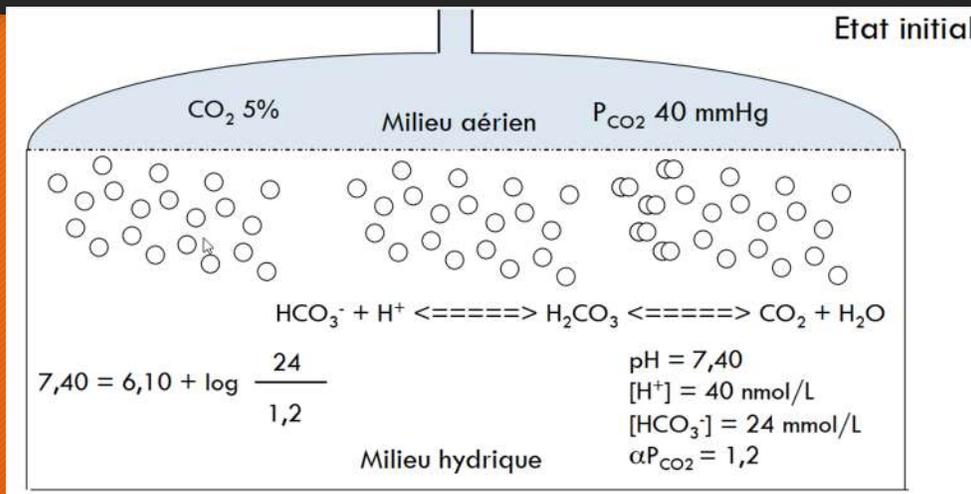


$$6,20 = 6,10 + \log \frac{14}{11,7}$$

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 7,40 \rightarrow 6,20 \\ [\text{H}^+] &= 40 \rightarrow 630 \text{ nmol/L} \\ [\text{HCO}_3^-] &= 24 \rightarrow 14 \text{ mmol/L} \\ \alpha P_{\text{CO}_2} &= 1,2 \rightarrow 11,7 \end{aligned}$$

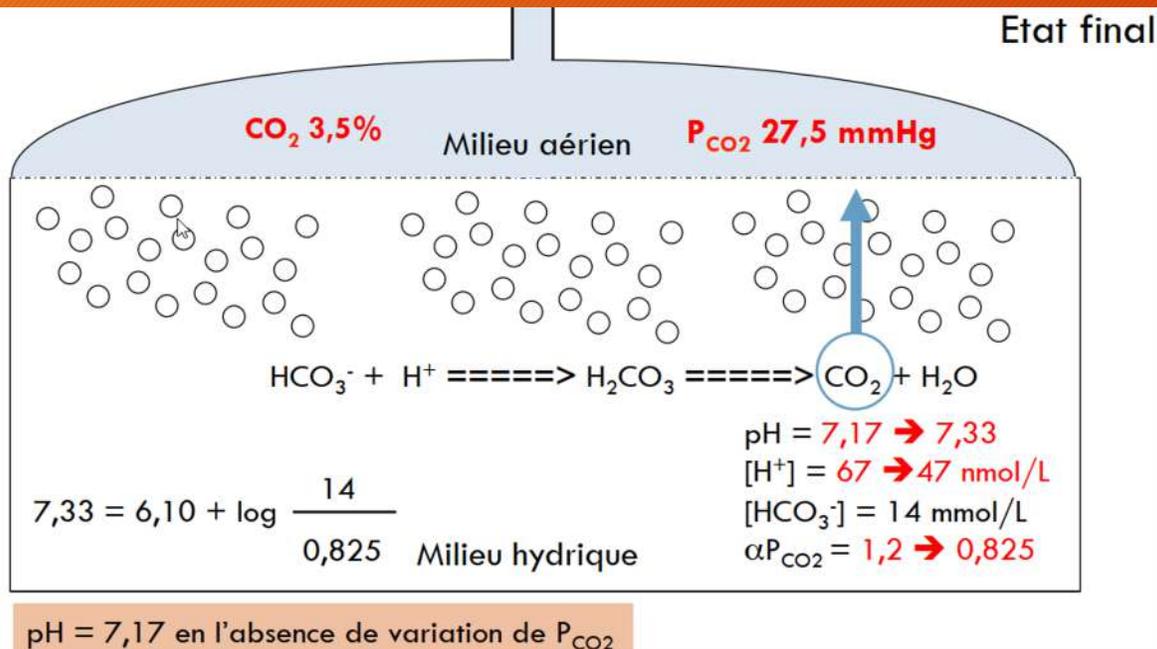
Dans une cuve on ajoute des protons  
La concentration en protons augmente  
Les bicarbonates sont consommés  
La pression en CO2 a fortement augmenté.  
Le pH diminue 6,20

# MILIEU OUVERT



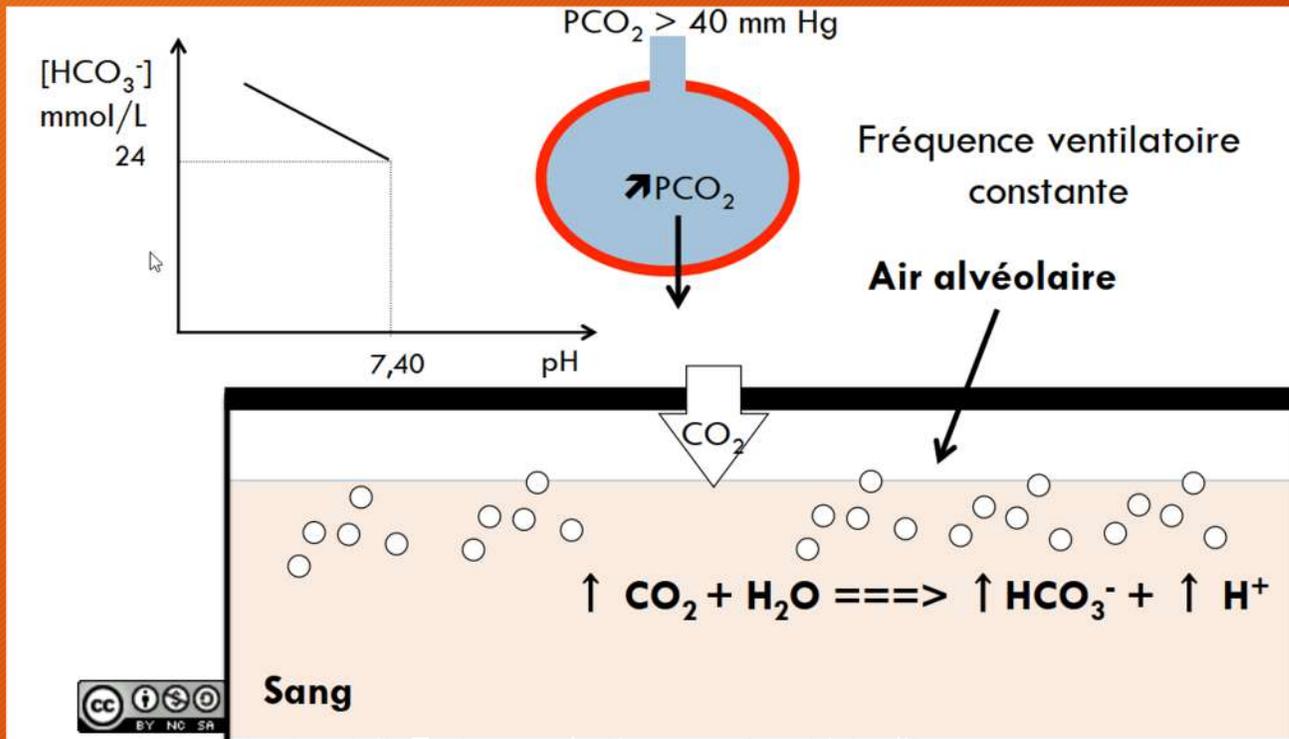
- Dans une cuve on ajoute des protons
- la pression partielle en CO<sub>2</sub> ne change PAS
- le pH varie plus légèrement

# MILIEU OUVERT AVEC DIMINUTION DE LA PCO2



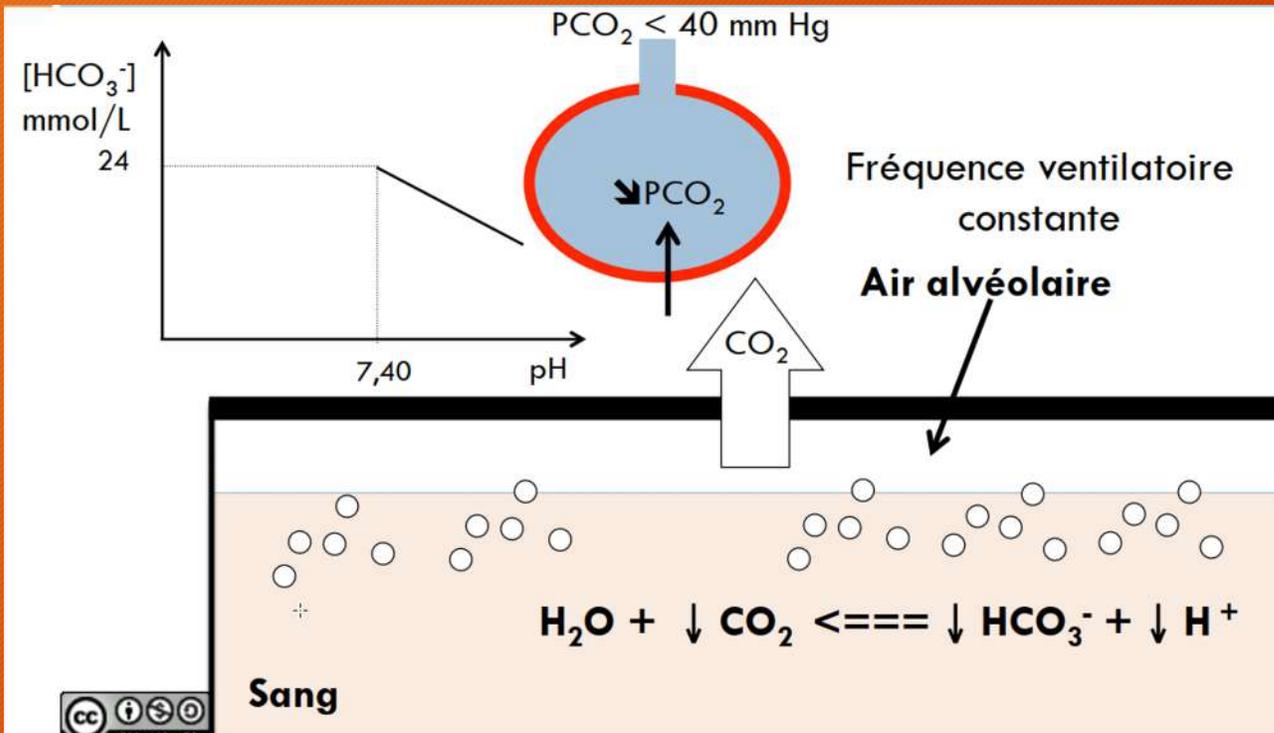
- La Pco2 va alors baisser ,par rapport à l'expérience précédente, car on va favoriser la diffusion en CO2 vers l'extérieur
- Le gradient de diffusion est augmente vers le milieu aérien.

# AUGMENTATION DE LA PCO2 MILIEU FERME



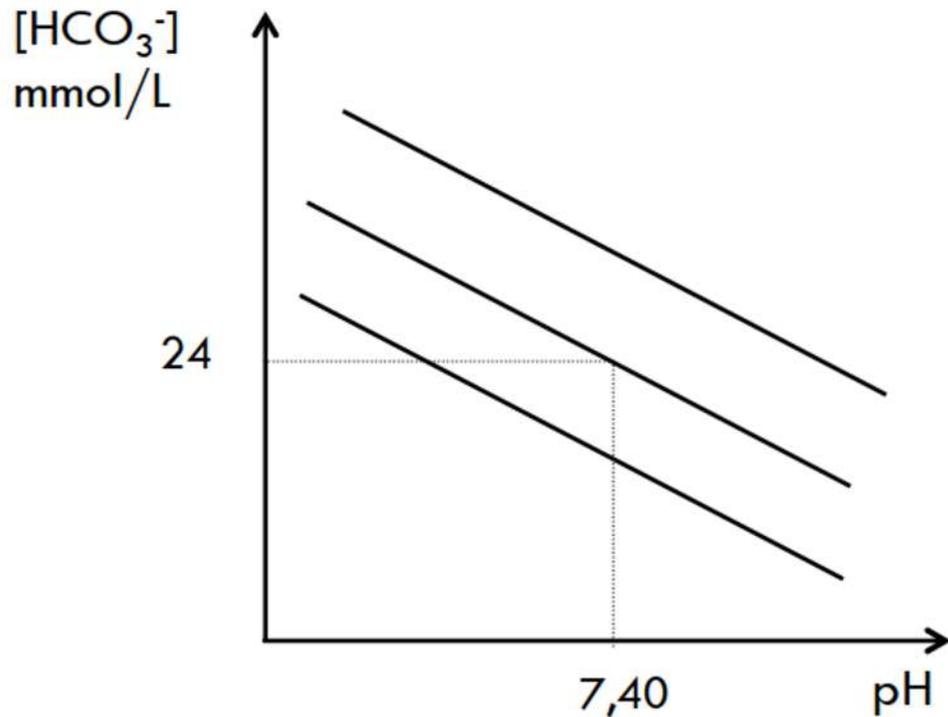
- Le CO<sub>2</sub> se distribue dans le sang cela entraîne une augmentation des bicarbonates et des protons .
- Le pH diminue l'équilibre est déplacé vers le haut et la gauche

# DIMINUTION DE LA PCO2 MILIEU FERME



- La diminution de la PCO<sub>2</sub> aboutit alors à une diminution des protons des bicarbonates et une diminution de CO<sub>2</sub> dissout dans le sang
- Le pH augmente l'équilibre est déplacé vers le et la droite

# MODELISATION



- En milieu fermé la relation entre le pH et la concentration plasmatique de bicarbonates est linéaire.
- La constante  $K_A$  représente le pouvoir tampon des tampons non volatils comme les protéines et les acides faibles non organiques.

# APPLICATION EN MEDECINE

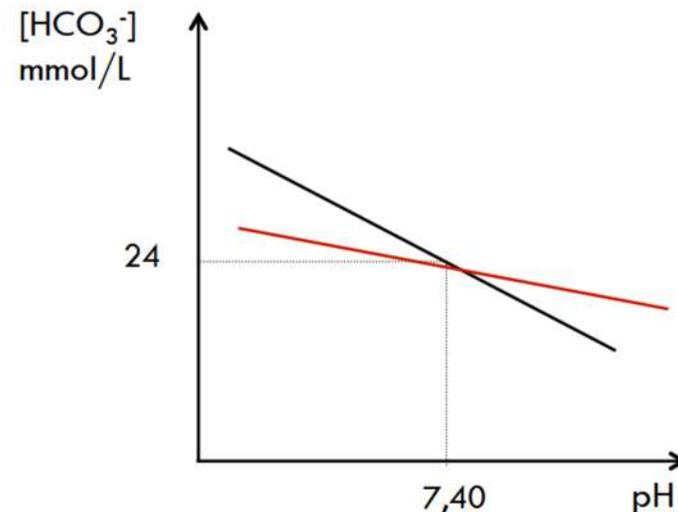
## Diminution des tampons non volatils (les protéines) :

Hypoalbuminémie

Anémie =

↓ globules rouges

↓ hémoglobine

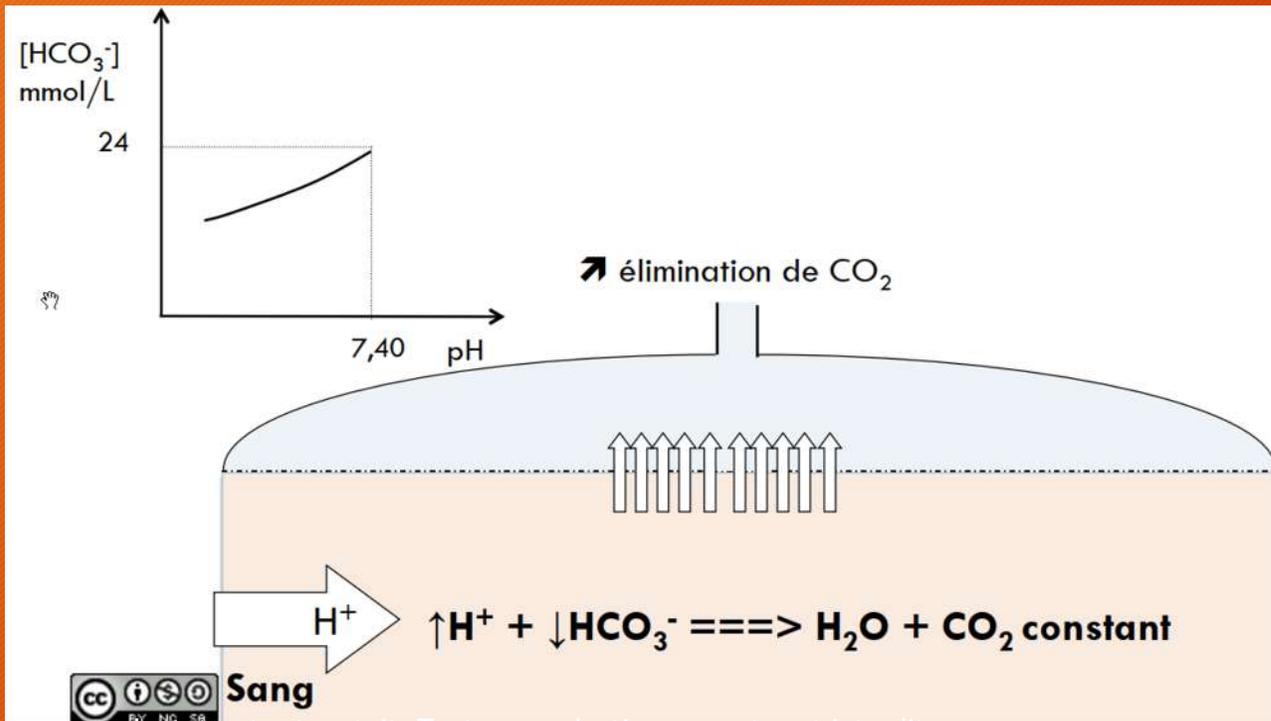


Pour la même variation de  $[\text{HCO}_3^-]$ , la variation du pH est plus grande.

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.

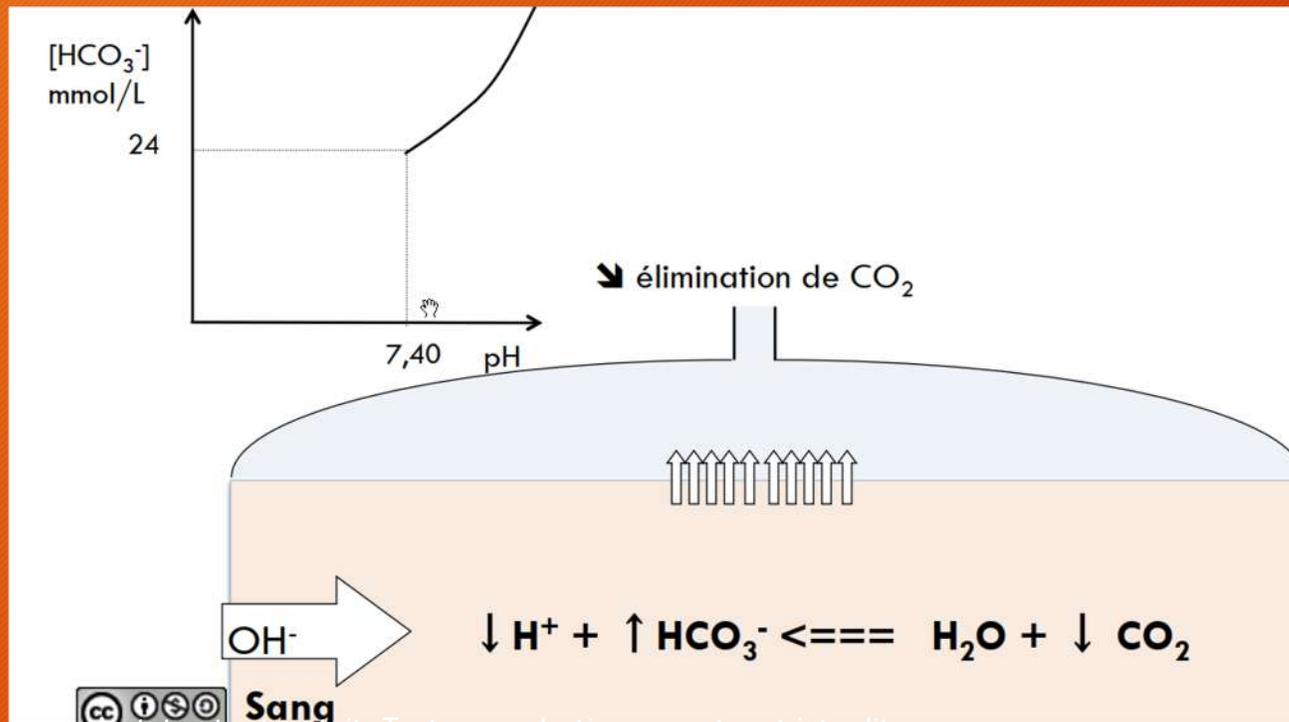
- Lorsque le patient est en anémie, la relation s'aplatit
- Pour une plus faible variation de bicarbonate, la variation de pH sera plus importante.

# AJOUT PROTONS MILIEU OUVERT



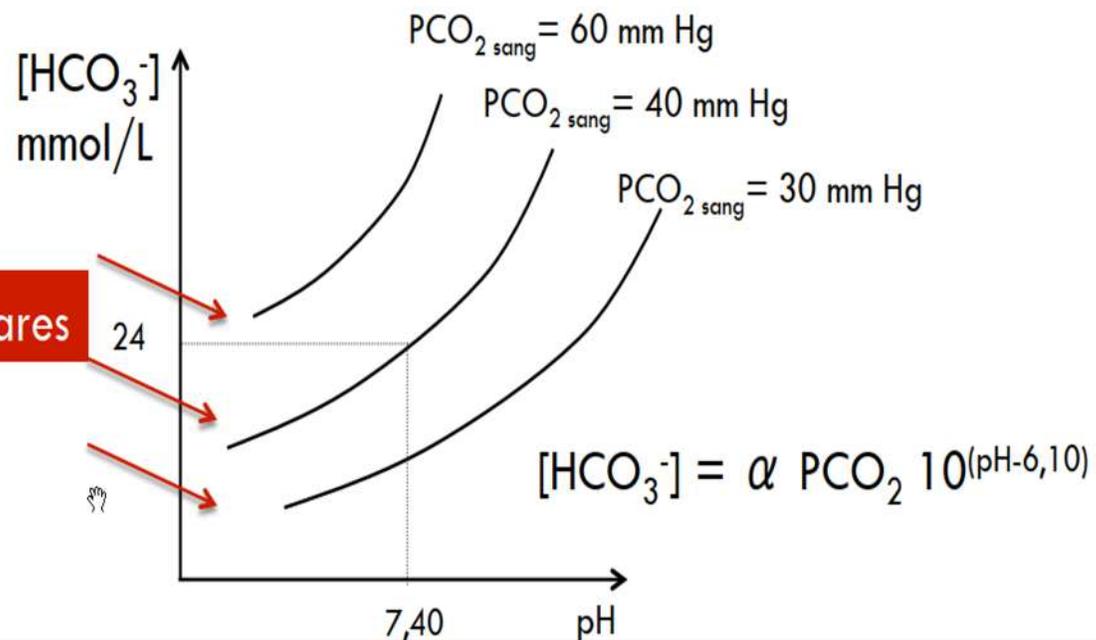
- les bicarbonates sont consommés
- formation de  $CO_2$
- Equilibre déplacé vers le bas et la gauche, car on a une augmentation des protons et une diminution des bicarbonates.
- relation NON linéaire  $\neq$  milieu ferme

# AJOUT BASES MILIEU OUVERT



- La quantité de protons diminue, car les ions OH<sup>-</sup> captent les protons.
- Création de bicarbonates
- L'équilibre est déplacé vers le haut et la droite, car on a une augmentation des bicarbonates et du pH

# MODELISATION



La relation entre  $[HCO_3^-]$  et le pH est exponentiel en milieu ouvert et dépend de l'évacuation du  $CO_2$  (acide volatil)

Tous les tampons qu'ils soient volatils ou fixent fonctionnent de manière synergique.

Ils ne sont pas indépend

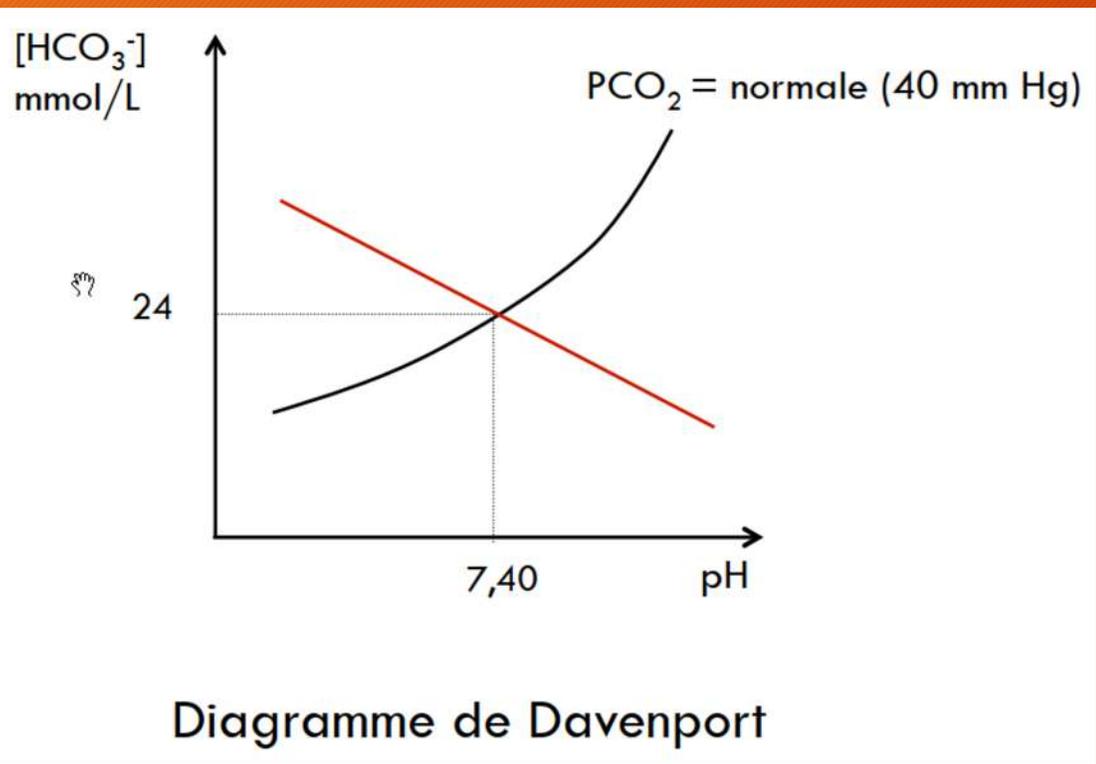


# MODELISATION D'HENDERSON ET HASSELBACH

- Henderson et Hasselbach ont attribué un rôle central à l'acide carbonique pour modéliser et caractériser les variations de l'état acido-basique chez l'homme.
- Cette équation met en relation le pH du milieu extracellulaire, la concentration sanguine en bicarbonate et la PCO<sub>2</sub> sanguine.

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

# DIAGRAMME DE DAVENPORT



- Ce diagramme représente graphiquement l'équation d'Henderson et Hasselbach.
- Il permet la compréhension des troubles acido-basiques chez l'homme.
- Les variations pH et bicarbonate sont mis en avant, par la relation linéaire (milieu fermé) et la courbe (milieu ouvert).

# DESEQUILIBRE ACIDO-BASIQUE



Acidose = ↓ pH



Métabolique

si ↓  $[\text{HCO}_3^-]$

Respiratoire

si ↑  $\text{PCO}_2$

Alcalose = ↑ pH



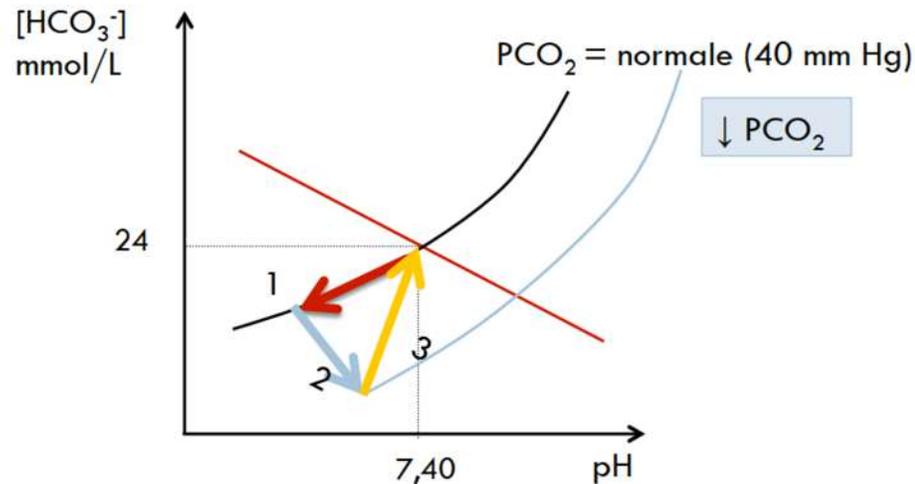
Métabolique

si ↑  $[\text{HCO}_3^-]$

Respiratoire

si ↓  $\text{PCO}_2$

# ACIDOSE METABOLIQUE



1/ acidose métabolique aiguë :  $\uparrow H^+ + \downarrow HCO_3^- \leftrightarrow CO_2 + H_2O$

2/ hyperventilation pulmonaire :  $\downarrow H^+ + \downarrow HCO_3^- \leftrightarrow \downarrow CO_2 + H_2O$

3/ augmentation de l'excrétion rénale de protons

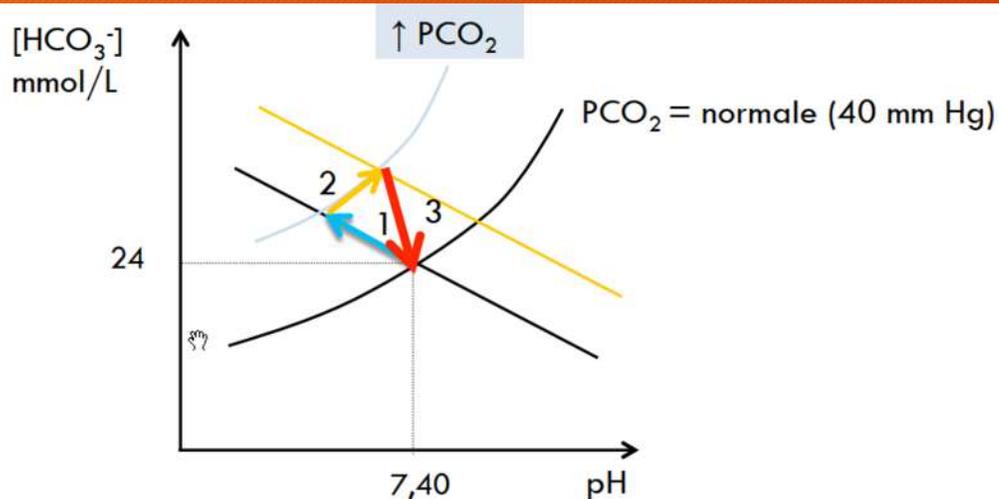
et de la fabrication des bicarbonates :  $H^+ + \uparrow HCO_3^- \leftrightarrow \uparrow CO_2 + H_2O$

Phase 1 : trouble initial

Phase 2 : adaptation immédiate et rapide des poumons

Phase 3 : adaptation tardive des reins

# ACIDOSE RESPIRATOIRE



- 1/ acidose respiratoire aiguë  $\nearrow H^+ + \nearrow HCO_3^- \leftrightarrow \nearrow \nearrow CO_2 + H_2O$
- 2/ augmentation de la fabrication rénale de bicarbonate  $\searrow H^+ + \nearrow HCO_3^- \leftrightarrow \downarrow CO_2 + H_2O$
- 3/ Disparition de la cause de l'acidose respiratoire, élimination des bicarbonates

Phase 1 : trouble initial

Phase 2 : adaptation des reins

Phase 3 : disparition de la cause initiale du trouble, retour à l'état normal

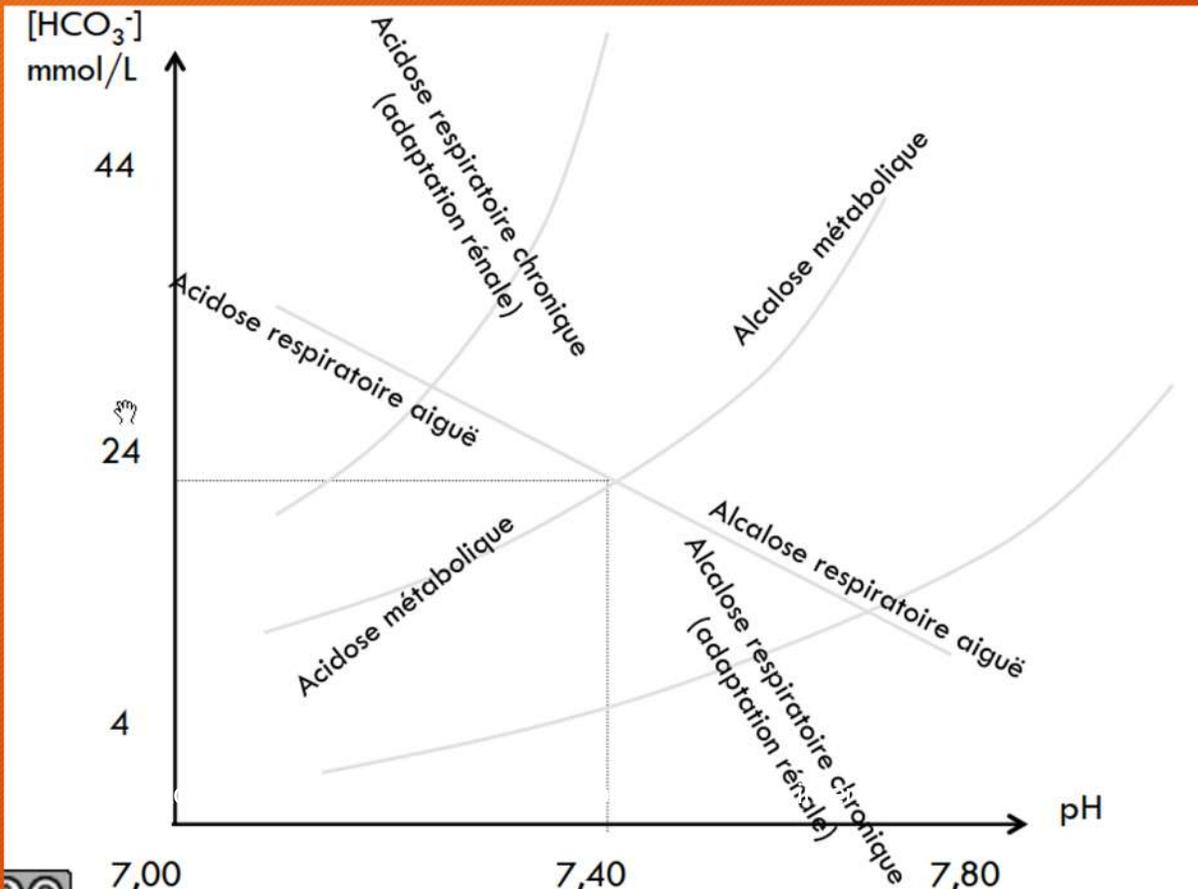
# GAZOMETRIE



- C'est un prélèvement sanguin sous anticoagulant
- La gazométrie nous permet de mesurer le pH et la  $PCO_2$  , et à partir de ces données on peut calculer la concentration en bicarbonates
- Permet de caractériser l'état acido-basique d'un patient

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction ou vente est interdite.

# LIMITE AU DIAGRAMME DE DAVENPORT



- Le diagramme de Davenport est adapté pour des troubles simples respiratoires ou métaboliques.
- Or en médecine on a régulièrement des troubles mixtes par exemple, coexistence d'une insuffisance respiratoire et métabolique.
- En pratique courante ce diagramme n'est pas utilisé.

# QCM 1

- A propos du cours acide/base
  - A. Le pH du milieu intérieur n'est pas régulé
  - B. L'équilibre acido-basique influe le transport de l'oxygène par l'hémoglobine
  - C. L'organisme est rarement soumis à une charge acide
  - D. L'acide carbonique peut acidifier ou alcaliniser l'organisme

# REPONSE QCM 1

- A propos du cours acide/base
  - A. Le pH du milieu intérieur n'est pas régulé
  - B. L'équilibre acido-basique influe le transport de l'oxygène par l'hémoglobine
  - C. L'organisme est rarement soumis à une charge acide
  - D. L'acide carbonique peut acidifier ou alcaliniser l'organisme

# QCM 2

A propos de l'adaptation de l'organisme :

- A. Au repos les reins et poumons sont pépouze ils n'ont rien à faire
- B. Pendant l'effort les poumons s'adaptent ils éliminent jusqu'à 5x plus de CO<sub>2</sub>
- C. Après l'effort les reins s'adaptent ils éliminent les protons et régénèrent les bicarbonates
- D. Les reins ont une plus grande capacité d'adaptation que les poumons

# REPONSE QCM 2

- A propos de l'adaptation de l'organisme :
  - A. Au repos les reins et poumons sont pépouze ils n'ont rien à faire
  - B. Pendant l'effort les poumons s'adaptent ils éliminent jusqu'à 5x plus de CO<sub>2</sub>
  - C. Après l'effort les reins s'adaptent ils éliminent les protons et régènèrent les bicarbonates
  - D. Les reins ont une plus grande capacité d'adaptation que les poumons

# QCM 3

Suite à de gros problème respiratoire Oskour est admis dans votre service. Que pouvez-vous déduire de son état acido-basique

pH= 6,96  $[\text{HCO}_3^-]=25\text{mmol/L}$   $\text{PCO}_2 = 76 \text{ mmHg}$

- A. Il est en alcalose respiratoire
- B. Il est en acidose métabolique
- C. Il est en acidose respiratoire
- D. Son pronostique vital est engagé ( RIP oskour)

# REPONSE QCM 3

Suite à de gros problème respiratoire Oskour est admis dans votre service. Que pouvez-vous déduire de son état acido-basique

pH= 6,96 [HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>]=25mmol/L PCO<sub>2</sub> = 76 mmHg

- A. Il est en alcalose respiratoire
- B. Il est en acidose métabolique
- C. Il est en acidose métabolique
- D. Son pronostic vital est engagé ( RIP oskour)