

Equilibre acido-basique

DR Charfeddine Salma

Pr agrégée en biophysique et médecine nucléaire

PCM1

OBJECTIFS DU COURS

- 1 - Résumer le bilan des ions H^+ (physiologique et en cas d'agressions AB)
- 2 - comprendre le mécanisme de stabilité du pH
- 3 - analyser à l'aide du diagramme de DAVENPORT les dysfonctionnements de l'équilibre AB

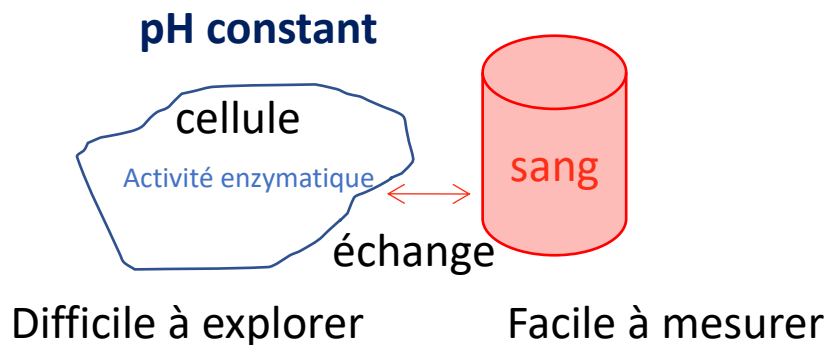
EQUILIBRE ACIDO-BASIQUE

I - INTRODUCTION

L'étude des troubles de l'équilibre acidobasique fait partie intégrante de l'activité hospitalière en milieu médical et chirurgical.

L'équilibre acido- basique est une des fonctions essentielles de l'organisme.

La stabilité du pH étant indispensable au fonctionnement cellulaire et enzymatique.



Le pH ou potentiel d'hydrogène = $-\log (H^+)$.

L'organisme contient des composés acides et des composés basiques qu'il doit maintenir en état d'équilibre constant.

Le pH extracellulaire est maintenu à 7.4 malgré un afflux d'acides par l'alimentation et la respiration cellulaire.

La concentration d' H^+ est étroitement régulée car

- a) Protéines intracellulaires, enzymes et canaux membranaires sont très sensibles au pH*
- b) La variation de pH entraine des modifications de l'excitabilité neuronale.
acidose → Dépression du système nerveux central
alcalose → hyperexcitabilité*
- c) Les échanges H^+ K^+ (au niveau du rein) entraine des modifications de la concentration en ions K^+ . Le déséquilibre potassique crée des troubles de l'excitabilité, cardiaque notamment.*

Le pH plasmatique est chez l'homme à 37°C compris entre :

7,38 et 7,42 = sang artériel

7,36 et 7,41 = pour le sang veineux plus riche en CO_2

En dehors de ces valeurs , des troubles graves peuvent survenir, mettant en jeu le pronostic vital. Les limites de pH compatible avec la vie sont 6, 7 et 7.8

Acidose < 7,4 < alcalose

Moyens de régulations:

- instantanés automatiques : systèmes tampons
- + lents et puissants : poumons et reins

II BILAN DES IONS H^+

II.1 Etat normal

- Il y a un contraste entre l'irrégularité des apports et la constance du pH.
- L'ingestion et la production d'acides est supérieure à celle des bases
- Tendance à s'acidifier : s'enrichir en H^+

Origine des ions H^+ ?

- ✓ *acides volatils* : CO_2 . La combustion métabolique dans mitochondries
→ CO_2 . La production d' H^+ à partir de CO_2 et d' H_2O est la source d'acide la plus importante (environ 12500 meq/L chaque jour) : Le CO_2 dissous dans l'eau → H^+



- ✓ *Acides fixes* (non volatils, métaboliques)

Les ions H^+ proviennent de l'alimentation (protéines) et du catabolisme.. des glucides (**cycle de KREBS**). → **catabolisme des protéines** → H_3PO_4

→ **catabolisme du glucose** → acide lactique, acide

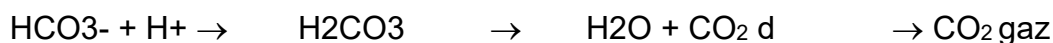
pyruvique

→ **lipolyse** → AG

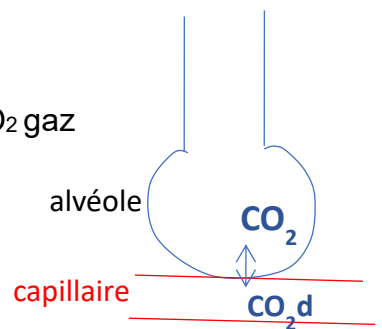
Elimination des H^+

Ils sont éliminés par les reins et les poumons.

Le poumon intervient dans l'élimination de la charge acide :



Le rein transporte H^+ → urines
+ réabsorption de HCO_3^-



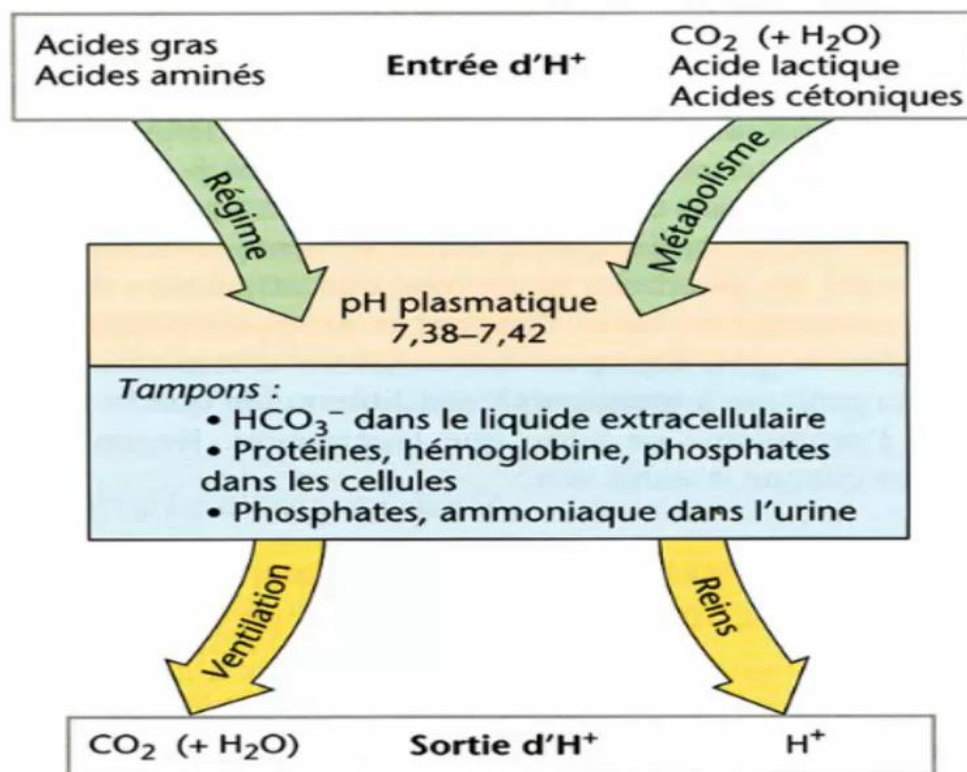
II.2 Etat pathologique

Certains états pathologiques sont responsables, si les mécanismes de régulation du pH sont débordés, de troubles.

- dérèglement métabolique/ diabète déséquilibré (production en excès d'acides organiques)
- fuite de base : diarrhée
- fuite d'acide : vomissements
- atteinte rénale et/ou respiratoire

Ces perturbations sont soit une acidose soit une alcalose. Elles sont aussi caractérisées par leur cause primaire respiratoire ou métabolique. La nature respiratoire provient d'une modification de la ventilation alvéolaire (hypo ou hyper). La nature métabolique provient d'une accumulation excessive d'acides ou de bases sans lien avec la ventilation quant à leur origine.

III MECANISMES CONTROLANT L'EQUILIBRE ACIDO-BASIQUE

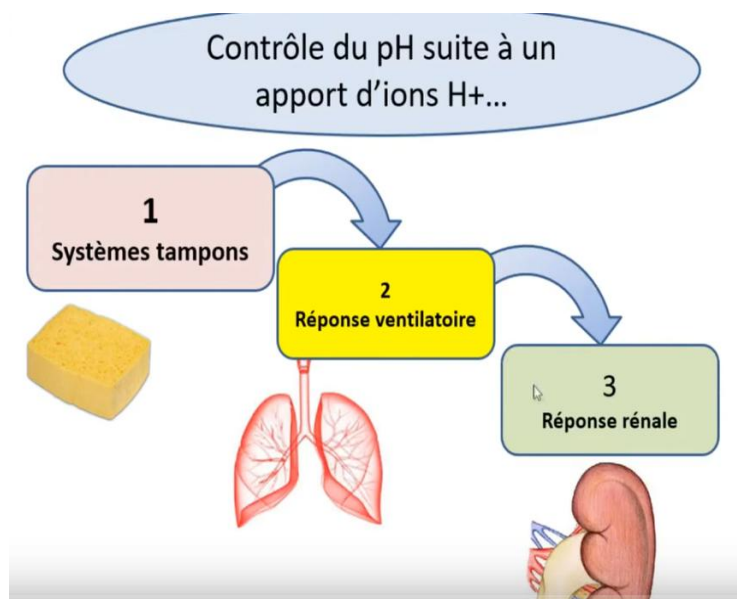


A une agression acide ou basique, l'organisme répond par trois lignes de défenses (délai croissant) :

Il existe une chronologie de la mise en œuvre. Les systèmes tampons sont la première ligne de défense, limitant de grandes variations.

L'augmentation de la ventilation est une réponse rapide, pouvant prendre en charge près de 75% des perturbations de l'équilibre acide-base.

Les reins sont beaucoup plus lents dans la mise en œuvre. Ils prennent en charge toutes les perturbations résiduelles du pH.

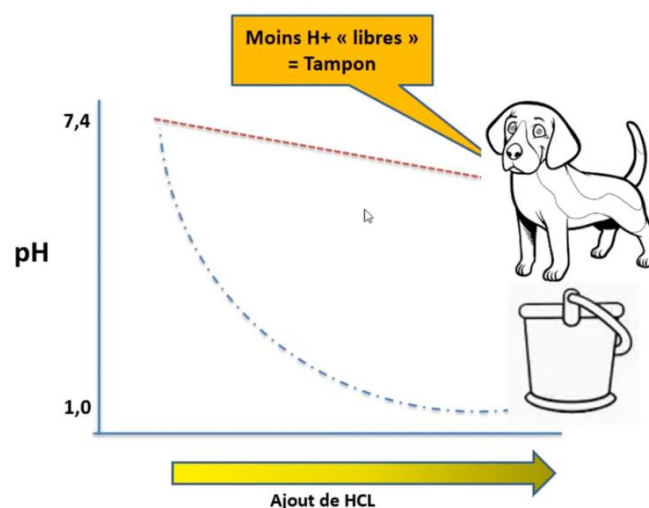


1 - Intervention immédiate des tampons physico-chimiques du milieu intérieur (amortissement des variations brusques des concentrations en H^+).

Définition d'un système tampon

une solution dont le pH varie peu quand on ajoute un acide fort ou une base forte : elle s'oppose aux variations de pH malgré la variation de la concentration en H^+ .

Une solution tampon est constituée par le mélange d'un acide faible (donneur H^+) et de sa base conjuguée (accepteur H^+), ou bien d'une base faible et de son acide conjugué.



- Si on ajoute un acide ou une base (fort) dans l'eau, on obtient une variation importante de pH.

- Si on ajoute un acide ou une base (fort) à une solution tampon, on obtient **une variation minimale de pH**.

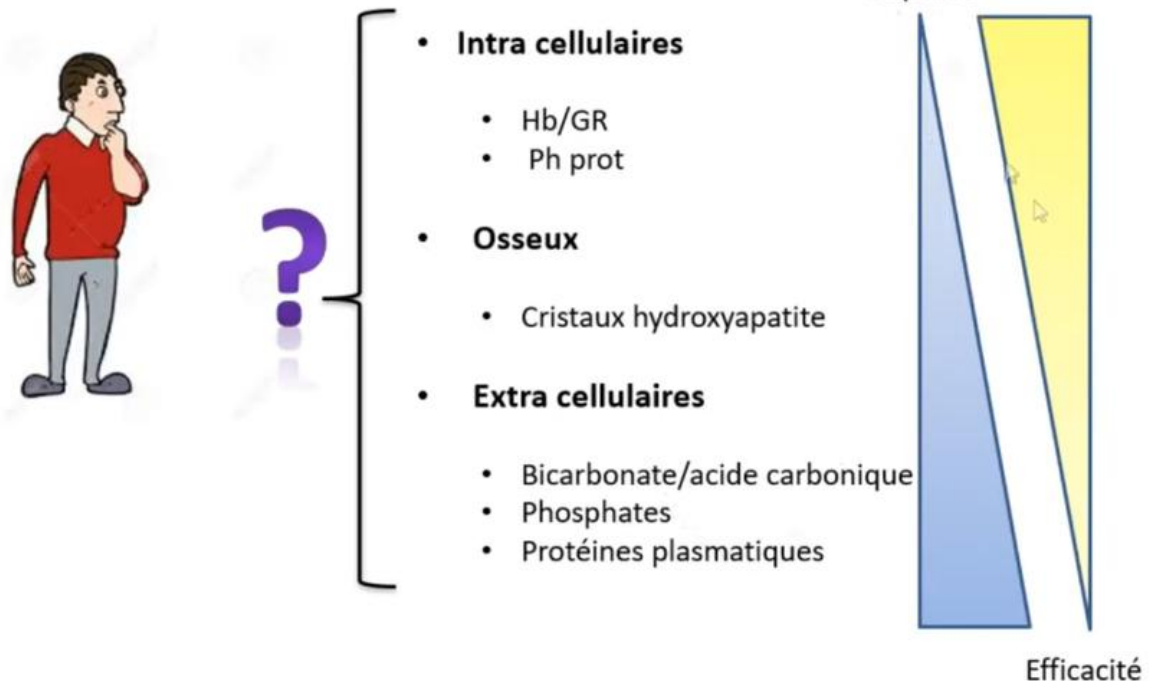
Cette variation minimale de pH correspond à l'effet tampon

- **Le pouvoir tampon**

la quantité de base forte ou d'acide fort nécessaire pour faire varier d'une unité le pH d'un litre de solution. (mole/l) Autrement dit :

$$T = \frac{\Delta b}{\Delta pH}$$

Systèmes tampons :



On distingue, selon qu'il y a un échange avec l'extérieur ou non :

- le tampon ouvert $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_2$ car CO_2 est volatil.

(HCO_3^-) + (CO_2) $\neq$ Constante.

- les tampons fermés : (A^-) + (AH) = Constante.

Rappel chimie $\text{AH} \rightarrow \text{B}^- + \text{H}^+$

La constante de dissociation : $K = ([\text{base}] [\text{H}^+] / [\text{acide}])$

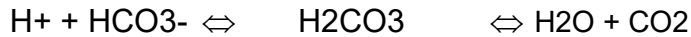
$\log K = \log \text{H}^+ + \log \text{B/A}$

$\text{pH} = \text{pK} + \log ([\text{base}] / [\text{acide}])$

Systèmes tampons du sang

a - Tampon ouvert du sang

Dans le tampon carbonique, HCO_3^- tamponne les H^+ (fixe H^+)



Le CO_2 est volatil

Il s'agit d'un tampon ouvert puisque le CO_2 est volatil.

D'après : $\text{pH} = \text{pK} + \log \left(\frac{[\text{base}]}{[\text{acide}]} \right)$, on a

$\text{pK} = 6,1$

$$\text{pH} = 6,1 + \log_{10} \left(\frac{(\text{HCO}_3^-)}{(\text{CO}_2)} \right)$$

Loi d'Henderson – Hasselbach

(HCO_3^-) en mmol/l

Sachant que :

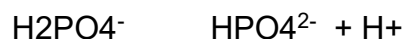
$\text{pCO}_2 = 40 \text{ mmHg}$ et que : (HCO_3^-) = 24 mM/l , $\text{pH} = 7,4$

Le tampon carbonique est important car

- abondant dans l'organisme (liquide extra cellulaire),
- c'est le seul tampon ouvert.
- Très efficace , ne se sature pas
- Système contrôlé par les poumons et les reins

b -Tampons fermés du sang

* *Système tampon phosphorique*



* *Système tampon protéique plasmatique*

Le pH_i des protéines plasmatiques est compris entre 4,7 et 6,3 :

a globuline : $\text{pH}_i = 4,9$

b globuline : $\text{pH}_i = 5,4$

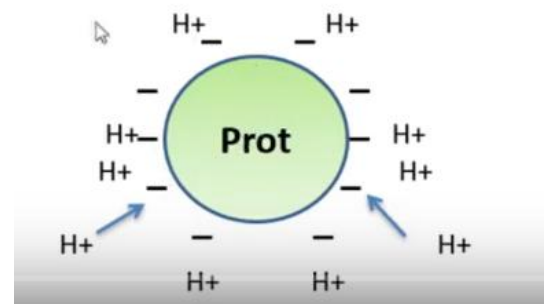
g globuline : $\text{pH}_i = 6,3$

Albumine : $\text{pH}_i = 4,7$

Etant donné que le pH sanguin de 7,4 est supérieur aux pH_i , les protéines, ampholytes, interviennent dans le sang en tant qu'acide faible :



* *Systèmes tampons érythrocytaires*

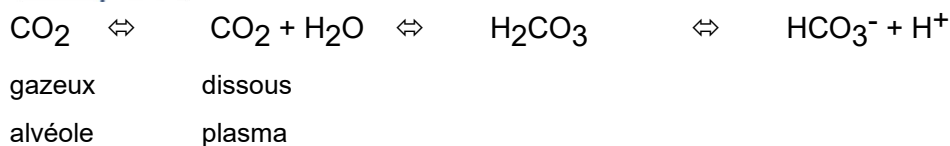


L'hémoglobine, de nature protéique est le système tampon érythrocytaire le plus important. Au pH sanguin ($\approx 7,4$), cette protéine se comporte comme un acide faible ($\text{pH} > \text{pH}_i$) . elle est chargée négativement

- 85 % du pouvoir tampon du sang est dû à l'Hb.
- **En cas d'anémie ce pouvoir tampon est diminué.**

2 - Intervention du système respiratoire (délai d'intervention : quelques minutes) : Il peut éliminer les ions H^+ au prix d'une élimination de CO_2 :

CO_2



L'échange passif entre l'alvéole et le plasma, à travers la membrane alvéolocapillaire se fait selon la **loi d'Henry** :

$$(\text{CO}_2) \text{ dissous} = \alpha \cdot \text{PCO}_2 \text{ où } \alpha = 0,03$$

α : Coefficient de solubilité

mmol/l

mmHg

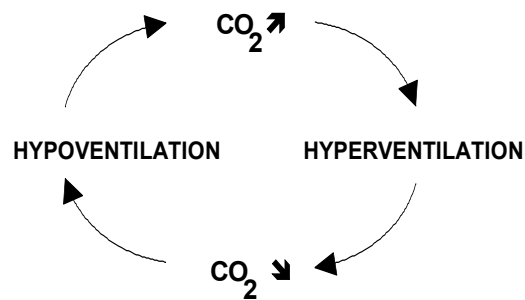
Normalement : - $\text{PCO}_2 = 40 \text{ mm Hg}$ soit $\text{CO}_2 = 1,2 \text{ mM/l}$

- Une hyperventilation diminue la PCO_2 . La diminution de la CO_2 qui en résulte entraîne un déplacement des équilibres des réactions (droite $\rightarrow$ gauche) avec abaissement des ions H^+ .
- Inversement une hypoventilation augmente la PCO_2 , et augmente la concentration en ions H^+ .

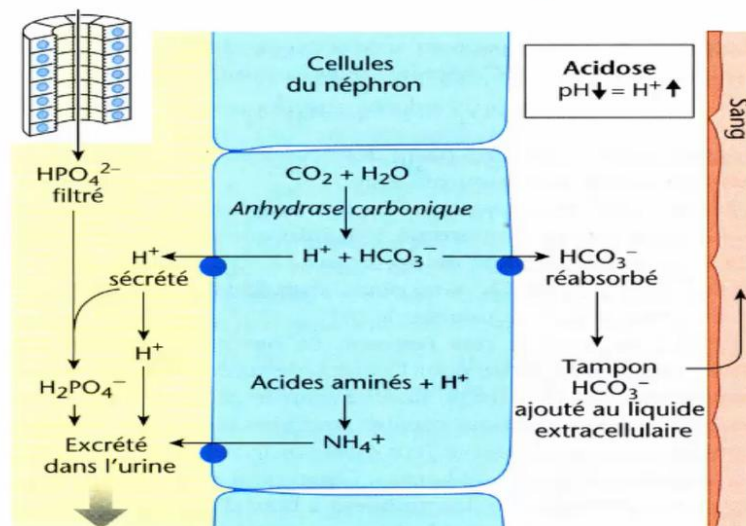
Régulation de la ventilation et le Ph

Il existe des récepteurs bulbaires sensibles aux taux de CO_2 et au pH (action au niveau des centres respiratoires).

- Si la PCO₂ augmente le pH diminue → hyperventilation
- Si la PCO₂ diminue le pH augmente → hypoventilation



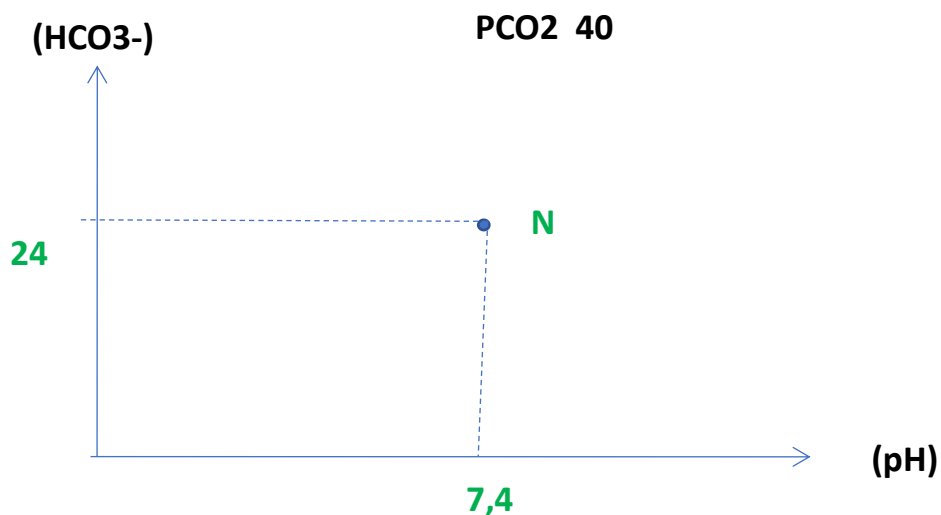
3 - Le Rein assure la correction finale des désordres en éliminant des ions H⁺ et en réabsorbant des ions HCO₃⁻ ; cela explique que le pH des urines soit compris entre 4 et 8 .



IV- DIAGRAMME DE DAVENPORT

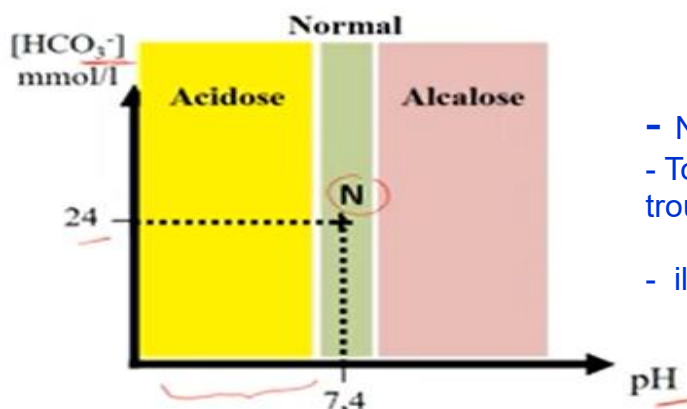
Représentation graphique / pH en abscisse
(HCO₃⁻) en ordonnée

⇒ Comprendre la variation du trouble acido-basique



Les valeurs normales de la gazométrie :

pH	7.40 (+/- 0.02) Si < à 7,38, on parle d' <u>acidose</u> Si > à 7,42, on parle d' <u>alcalose</u>
pCO ₂	5.3(+/- 0,5) kPa ou 40 (+/- 4) mmHg
pO ₂	11 kPa ou 85 (+/- 5) mmHg
Bicarbonate (HCO ₃ ⁻)	24 (+/- 2) mmol/l
Saturation O ₂	95 à 98% (taux d'oxygène contenu dans les GR)



- N : pH normal et (HCO₃⁻) normale EAB normal
- Tous les autres points correspondent à des troubles acido-basiques
- il s'agit de Trouble métabolique ou respiratoire?

V - EQUATIONS FONDAMENTALES

Le pH sanguin dépend de la pression P_{CO2} caractérisant le système tampon ouvert et de la quantité d'acides fixes caractérisant les systèmes tampons fermés. D'après la Loi d'Henderson - Hasselbach et la loi d'Henry on a :

$$\boxed{\text{pH} = 6.1 + \log_{10} \frac{(\text{HCO}_3^-)}{\alpha \cdot \text{P}_{\text{CO}_2}}} \quad \rightarrow \quad \text{pH} = f[(\text{HCO}_3^-), \text{P}_{\text{CO}_2}]$$

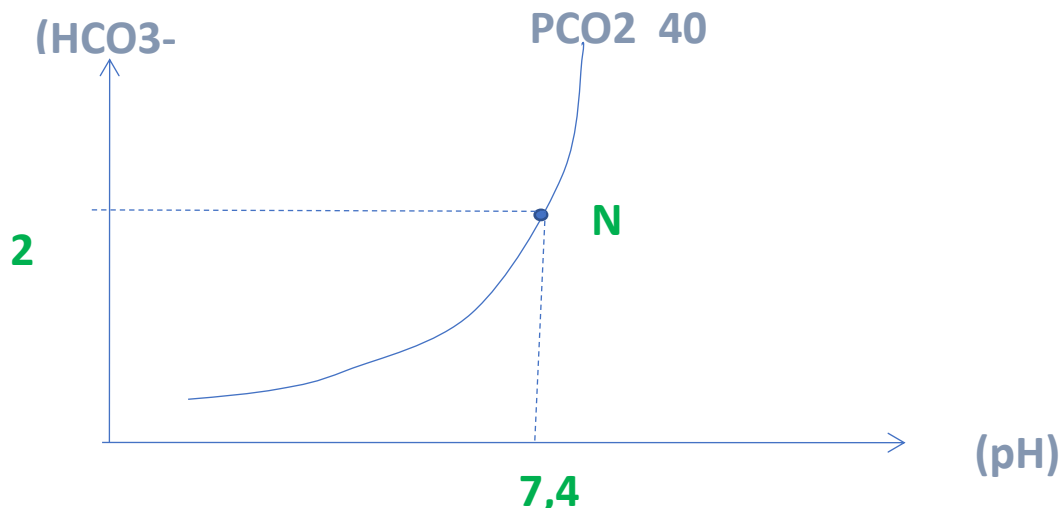
Etudions la variation de pH en fonction d'une des deux variables en considérant l'autre variable constante :

V.1 - Relation entre (HCO₃⁻) et pH à PCO₂ donné

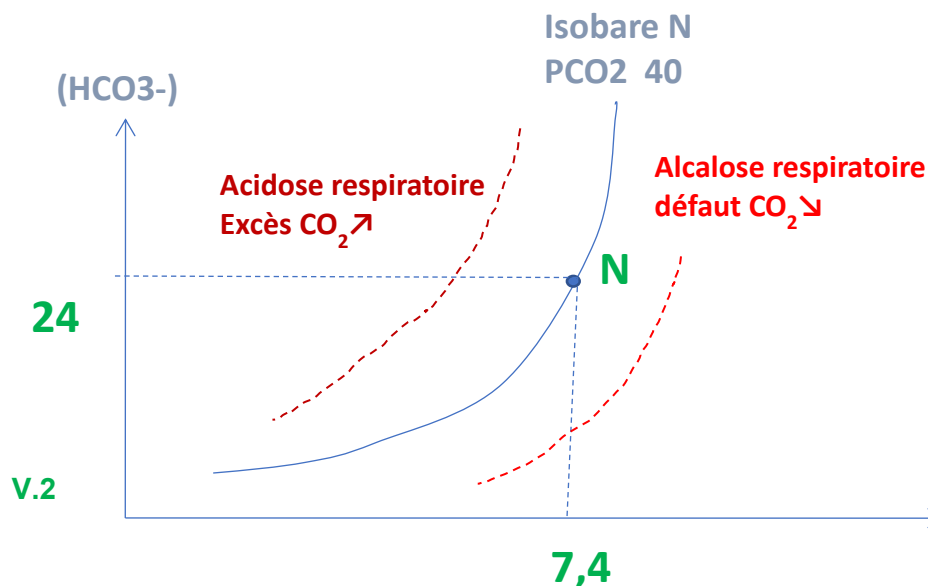
$$\begin{aligned} \text{pH} - 6.1 &= \log_{10} \frac{(\text{HCO}_3^-)}{\alpha \cdot \text{P}_{\text{CO}_2}} & 10^{\text{pH}-6.1} &= \frac{(\text{HCO}_3^-)}{\alpha \cdot \text{P}_{\text{CO}_2}} \\ & & \rightarrow (\text{HCO}_3^-) &= \alpha \cdot \text{P}_{\text{CO}_2} 10^{\text{pH}-6.1} \end{aligned}$$

A chaque valeur de P_{CO_2} correspond une valeur de (HCO_3^-) . Cette équation est représentée graphiquement par une **exponentielle**.

- $(HCO_3^-) = a.P_{CO_2} \cdot 10^{pH-6,1}$: une exponentielle pour chaque P_{CO_2} appelée Isobare



- L'isobare normale est la courbe à $PCO_2 = 40$ mm Hg
- Le point N (état AB Normal) $\in$ isobare N
 - abscisse pH = 7,4
 - ordonnée $(HCO_3^-) = 24$ mmol/l



V.2- Relation entre (HCO_3^-) et pH à quantité d'acide fixe donnée

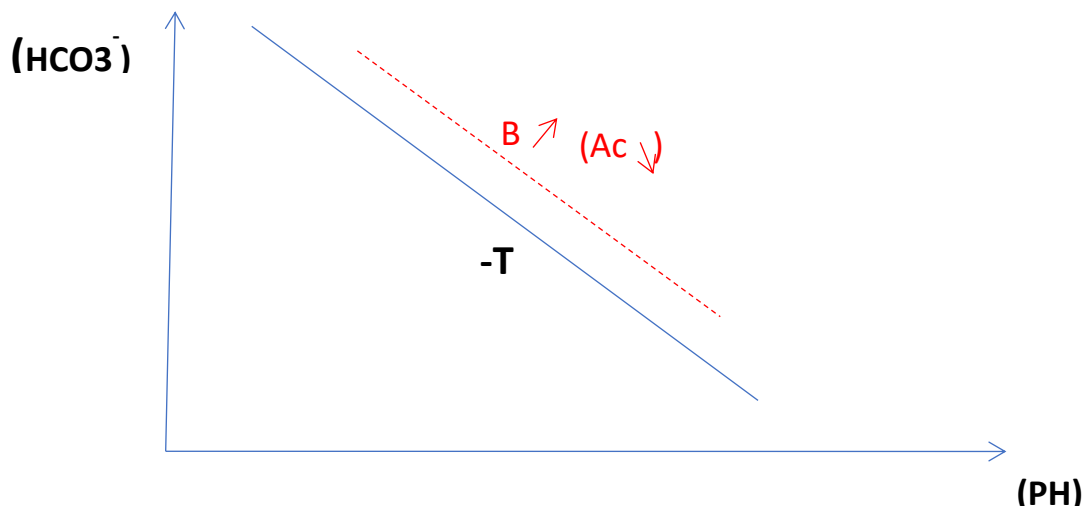
d'après électroneutralité des $\neq$ électrolytes pour une composition donnée en acides fixes

$(\text{HCO}_3^-) = -T\text{pH} + B$ où T pouvoir tampon de ces systèmes.

C'est l'équation d'une droite appelée **droite d'équilibration**.

Remarque : - la pente est égale au pouvoir tampon au signe près.

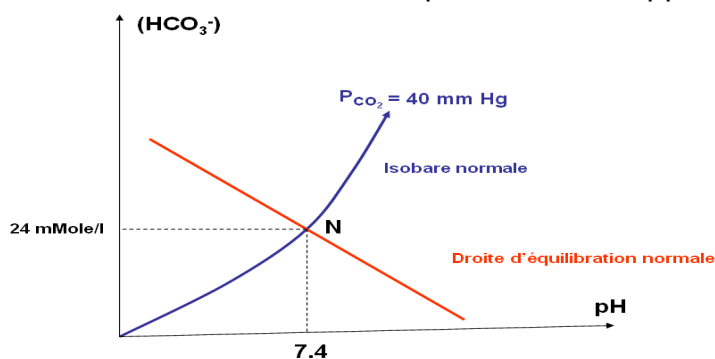
- B dépend de la quantité d'acides fixes : $\text{Ac} \downarrow \rightarrow B \uparrow$



→ famille de droites parallèles de pente $-T$;

→ pour chacune des droites, B est constante ($T \downarrow$ si quantité tampon $\downarrow$)

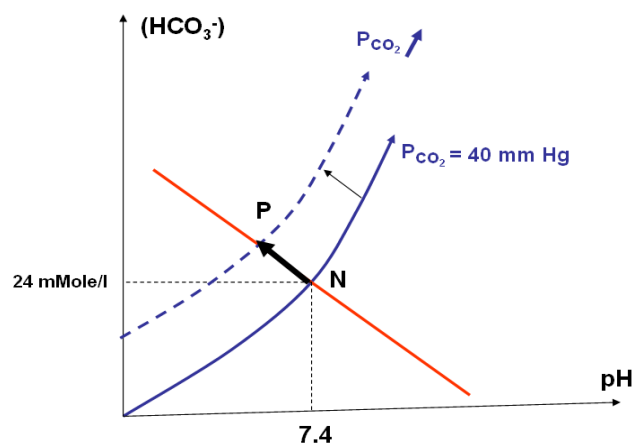
La représentation graphique $(\text{HCO}_3^-) = f(\text{pH})$ en prenant comme systèmes d'axe des ISOBARES et des droites d'équilibration est appelée diagramme de DAVENPORT.

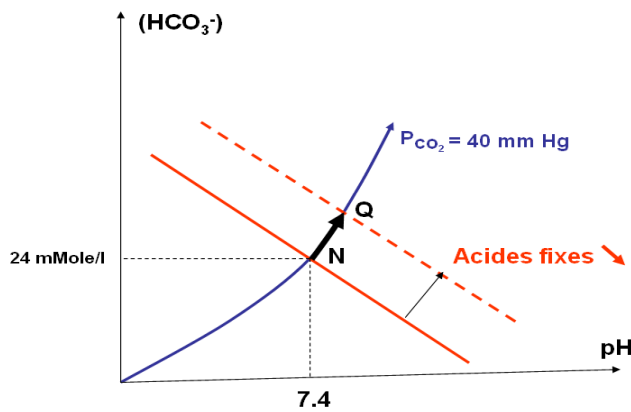


Chaque point représente un état acido-basique .

En partant du point N, on se déplace sur une isobare ou une droite d'équilibration.

En changeant d'isobare tout en se déplaçant sur une droite d'équilibration, la P_{CO_2} change alors que la quantité d'acides fixes reste constante. L'origine du trouble est respiratoire.





En se déplaçant sur une isobare, la PCO_2 reste Constante, et seule la quantité d'acides fixes change.
L'origine du trouble est métabolique.

VI. AGRESSIONS CONTRE L'EQUILIBRE ACIDO-BASIQUE

VI.1 Agression respiratoire

Les modifications de la ventilation sont responsables d'une modification de la P_{CO_2} .

* Hypoventilation

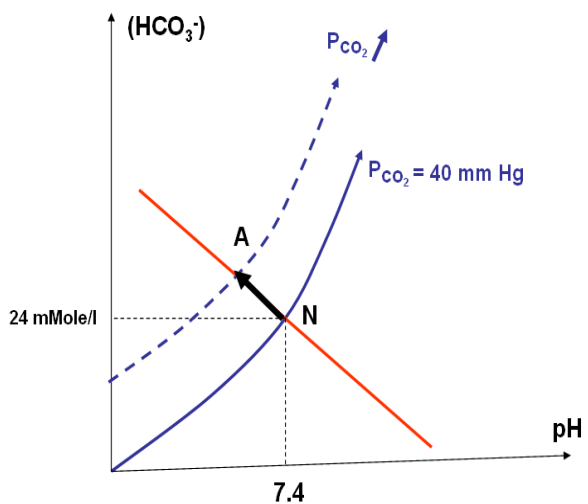
Causes / Mécanismes

(paralyse respiratoire., pneumopathie)

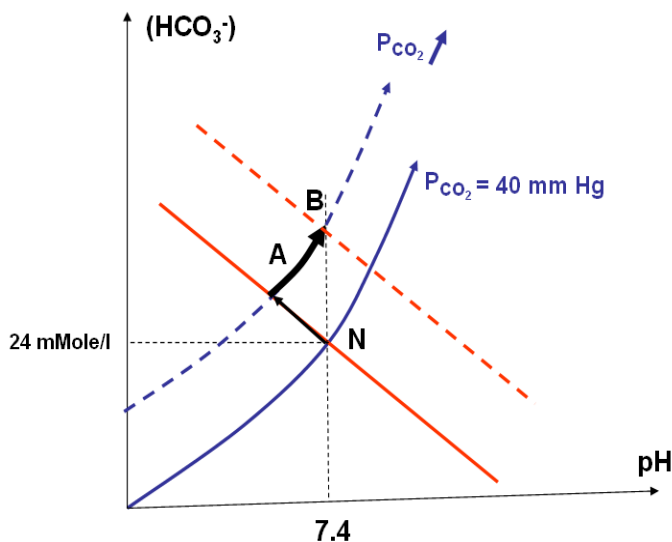
⇒ $\text{PCO}_2 \nearrow \rightarrow \text{pH} \searrow$

⇒ **Acidose respiratoire.**

(passage de N vers A)



Toute agression respiratoire modifiant le pH sanguin est suivie par des mécanismes de correction faisant intervenir les reins.



Correction rénale :

La réabsorption des ions bicarbonates HCO_3^- et augmentation de l'élimination des H^+ : → l'acidose respiratoire est compensée par une alcalose métabolique (passage de A vers B).

La compensation peut être totale ou partielle

*Hyperventilation

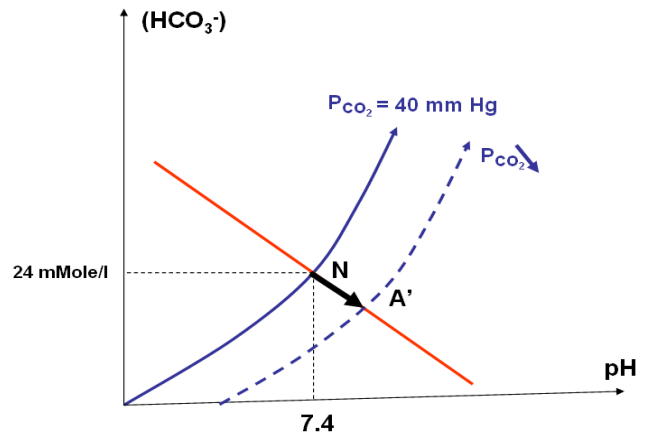
Causes / Mécanismes

(hypoxémie, système nerveux central)

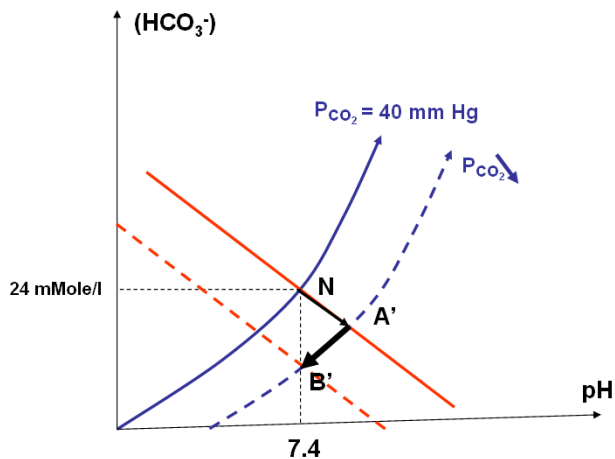
→ $PCO_2 \searrow \rightarrow pH \nearrow$

→ **Alcalose respiratoire.**

(passage de N vers A')



Correction rénale :



* A une alcalose respiratoire, les reins corrigent ces désordres en diminuant la réabsorption des ions bicarbonates HCO_3^- et en diminuant l'élimination des H^+ : donc l'alcalose respiratoire est compensée par une acidose métabolique (passage de A' vers B').

VI- 2 Agression métabolique

* Diminution de la quantité d'acides fixes

- Causes / Mécanismes

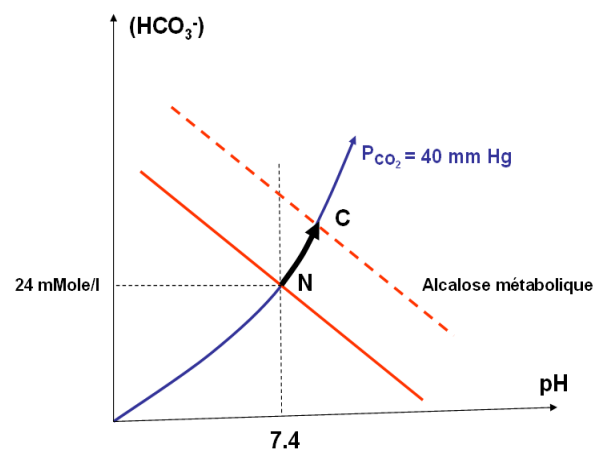
Causes :

vomissements, aspirations gastriques ou perfusion de bicarbonates.

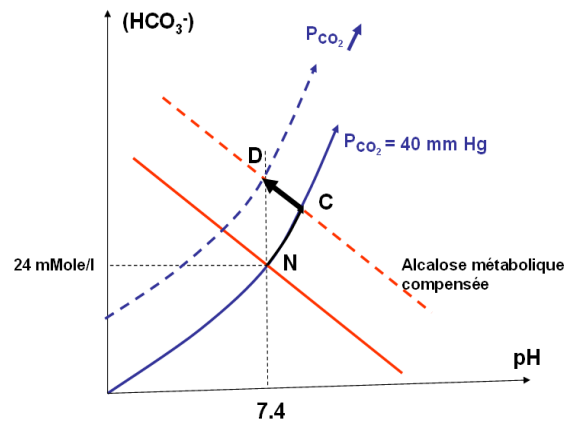
- conséquences :

pH sanguin $\nearrow$ avec Alcalose métabolique.

(passage de N vers C)



- Corrections



Les troubles du pH d'origine métabolique sont corrigés par une modification de la ventilation :

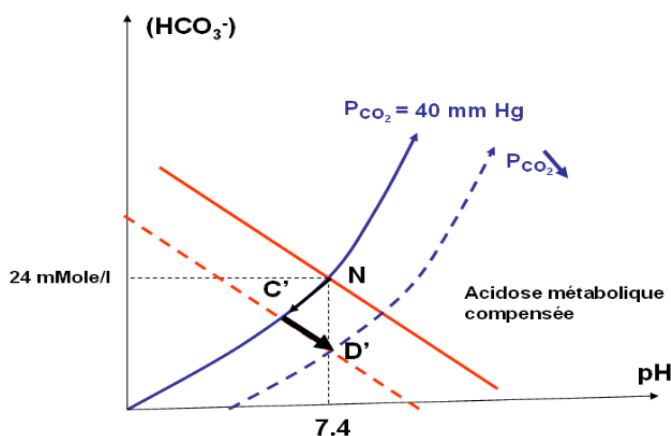
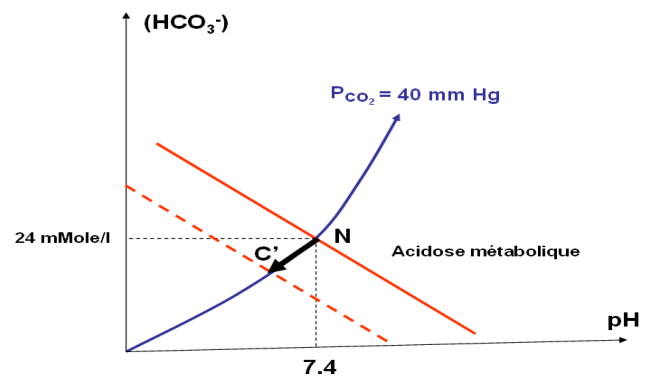
* **L'alcalose métabolique est compensée par une acidose respiratoire** provoquée par une hypoventilation : la **PCO2 augmente** (passage de C vers D).

* Excès d'acides Fixes

- Causes / Mécanismes

(jeun, insuffisance rénale, Diabète décompensé avec coma acido-cétonique,...)
ou **fuite de bases** (diarrhée, fistules pancréatiques, colopathies) :

- ⇒ pH ↓
- ⇒ Acidose métabolique.
(passage de N vers C')



- Corrections

Les troubles du pH d'origine métabolique sont corrigés par une modification de la ventilation :

* **L'acidose métabolique est compensée par une alcalose respiratoire** provoquée par une hyperventilation : la PCO2 diminue (passage de C' vers D').

VI.3 Troubles respiratoires et métaboliques associés

Dans certains cas pathologiques, les troubles respiratoires et métaboliques se surajoutent :

- acidose respiratoire et métabolique par insuffisance rénale associée à une insuffisance respiratoire (zone 2)
- alcalose respiratoire et métabolique : cette situation, rare en pratique, correspond à un malade en hyperpnée traité par une perfusion de bicarbonates (zone 4).

Les zones 1 et 3 correspondent à des troubles isolés (respiratoire ou métabolique) plus ou

moins compensés :

- zone 1 : acidose respiratoire compensée par une alcalose métabolique
alcalose métabolique compensée par une acidose respiratoire.
- zone 3 : alcalose respiratoire compensée par une acidose métabolique
acidose métabolique compensée par une alcalose respiratoire.

