

RÉGULATION DU pH DU MILIEU INTERIEUR

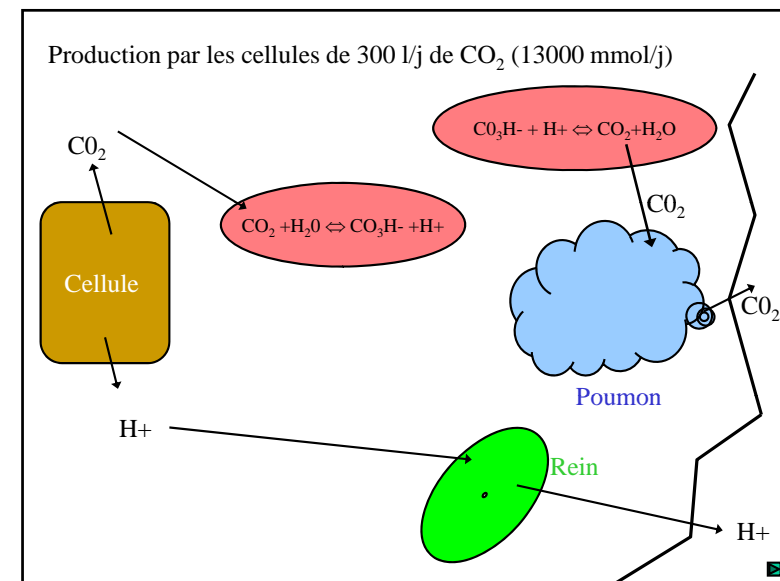
Équilibre Acido-Basique

Régulation des H⁺ liée à :

- Apport en H⁺
- Fonctions rénales
 - Elimination H⁺
 - Réabsorption des bicarbonates
- Fonctions pulmonaires
 - Elimination CO₂
 - Absorption O₂
- Dysfonctionnements si :
 - Dysfonctionnements rénal ou pulmonaire
 - Troubles métaboliques :
 - Excès de production d'H⁺
 - Excès d'élimination d'H⁺

Production des H⁺ :

- Catabolisme des protéines alimentaires : 50 – 70 mmol/j
- Lors du métabolisme des glucides, lipides et protides, des acides organiques sont produits et libèrent des H⁺, mais ils interviendront dans les chaînes d'oxydation cellulaire et seront transformés en CO₂ et H₂O.
- Acides métabolisables (ac. citrique, ac. lactique...) n'ont aucun effet sur le bilan des H⁺
- Certains acides seront très acidifiants (tartrique, benzoïque)



I – Transport des H⁺ dans l'organisme

1°) H⁺ libres :

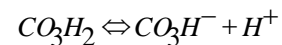
pH = 7,40 40 nmol/l (plasma)

2°) Les systèmes tampons de l'organisme :

- Permettent de s'opposer aux variations de pH et de transporter de grandes quantités d'H⁺.
- Constitués : d'un acide faible ou d'une base faible en équilibre avec un de ses sels : $AH \leftrightarrow A^- + H^+$

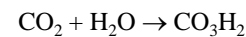
a) les systèmes tampons circulants :

- 1 - Le tampon acide carbonique/bicarbonate :



$$pH = pK + \log \frac{CO_3H^-}{CO_3H_2} \quad \text{HandersonHasselbach}$$

$$pK = 6,1$$



CO₂ représente le CO₂ dissous en équilibre avec le CO₂ gazeux

Loi de Henry : [CO₂ dissous] = k · Pression partielle du CO₂

$$[CO_2 \text{ dissous}] = 0,03 \cdot pCO_2$$

mmol/l

mmHg

ex : Si pH = 7.60 et CO₃H⁻ = 24 mmol/L

$$7.60 - 6.10 = \log \frac{24}{0.03 \times PCO_2} = 1.5$$

$$\frac{24}{0.03 \times PCO_2} = 10^{1.5} = 32 \rightarrow PCO_2 = 24 / 0.03 \times 32$$

$$PCO_2 = 25 \text{ mmHg}$$

Ce tampon est appelé "tampon ouvert"

[CO₃H₂] peut varier très rapidement en fonction du CO₂ éliminé ou retenu par les poumons.



b) Les tampons non circulants : (80% de l'effet total.)

Milieu extra cellulaire :

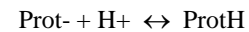
Tp Bicarbonates et Tp Phosphates

Milieu intracellulaire :

Tampons protéiques: ++++

H⁺ seront échangés contre Na⁺, K⁺

Tamponnés dans la cellule :

**c) Conclusion sur les systèmes tampons :**

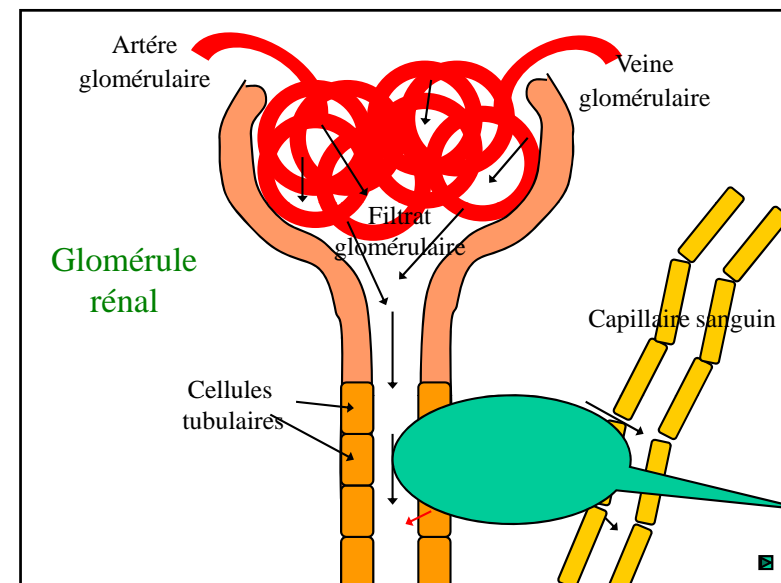
Les tampons du sang circulant et du liquide extra cellulaire sont le premier système de défense contre les modifications d'H⁺, leur action est immédiate.

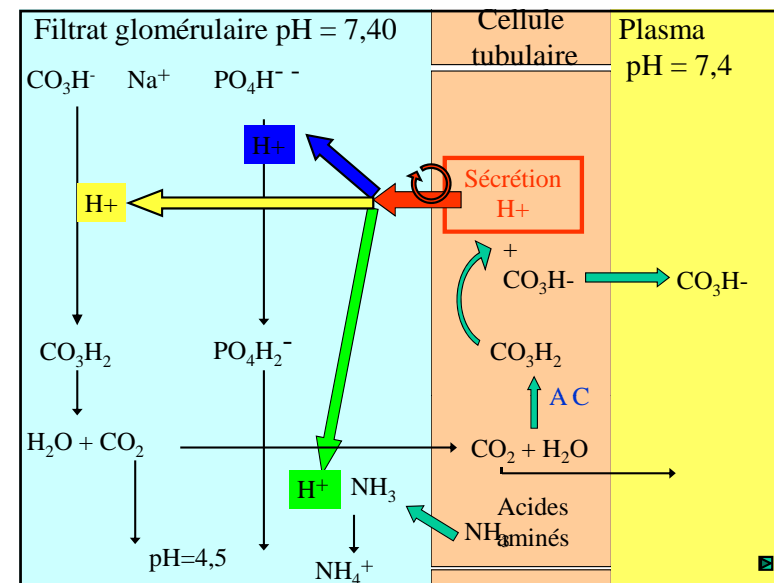
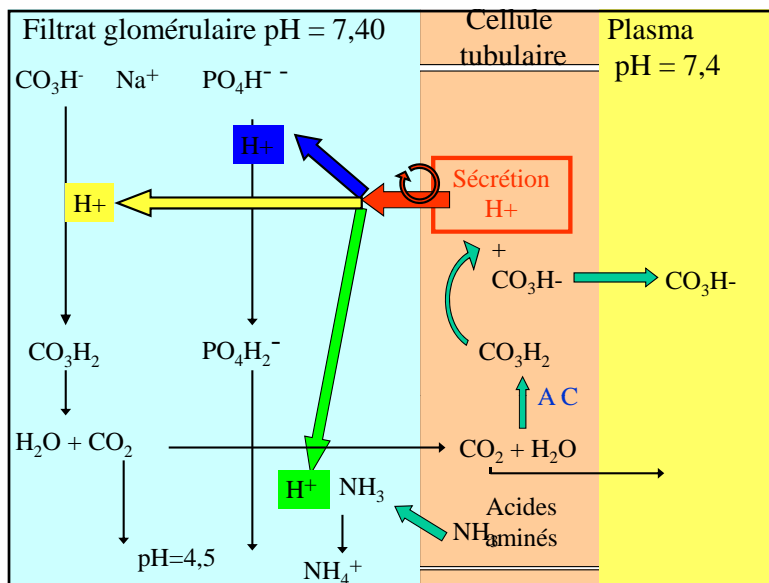
Le CO₂ et les H⁺ pourront ensuite être éliminés par les poumons ou les reins.



II – Rôle du rein

sur l'équilibre des ions H⁺





2) Devenir des H^+ dans urine tubulaire:

Le filtrat glomérulaire contient tous les ions filtrés :
 CO_3H^- PO_4H^- Na^+ Cl^- ...

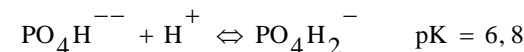
Filtrat (pH=7,40) : 180 l/j, CO_3H^- : 24 mmol/l donc 4500 mmol/j

- ☐ Une partie des H^+ se combine à $\text{CO}_3\text{H}^- \rightarrow \text{CO}_3\text{H}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Le CO_2 diffuse sous forme dissoute, traverse la cellule tubulaire vers le plasma.

- ☐ Une partie des H^+ se combine aux NH_3 formés par la cellule à partir d'acides aminés présents et qui diffusent vers l'urine tubulaire.

- ☐ Une autre partie des H^+ se combine aux PO_4H^- filtrés :



$$\text{pH}_{\text{filtrat}} = 7,40 \quad \frac{\text{PO}_4\text{H}^{--}}{\text{PO}_4\text{H}_2^-} = 10^{\text{pH}-\text{pK}} = 10^{0,6} = 4$$

$$\text{PO}_4\text{H}_2^- = 0,25 \cdot \text{PO}_4\text{H}^{--}$$

$$\text{pH}_{\text{urine}} = 4,5 \quad \frac{\text{PO}_4\text{H}^{--}}{\text{PO}_4\text{H}_2^-} = 10^{4,5-6,8} = 10^{-2,3} = 0,005$$

$$\text{PO}_4\text{H}_2^- = 200 \cdot \text{PO}_4\text{H}^{--}$$



En passant de PH = 7,40 à pH = 4,5

Le rapport $\text{PO}_4\text{H}_2^- / \text{PO}_4\text{H}^-$ a été multiplié par 800
ce qui absorbe une très grande quantité d'H+

La quantité d' H^+ éliminée par les reins est donc très importante,
alors que les H^+ libres dans l'urine sont en faible quantité.

(si pH = 4,5 $\text{H}^+ = 3.10^{-5}$)

Le pH urinaire ne mesure pas les H^+ éliminés par les reins.

Acidité titrable = quantité d' H^+ éliminée par les reins.

Valeur obtenue :

en titrant l'urine depuis son pH jusqu'au pH du sang (7,40)

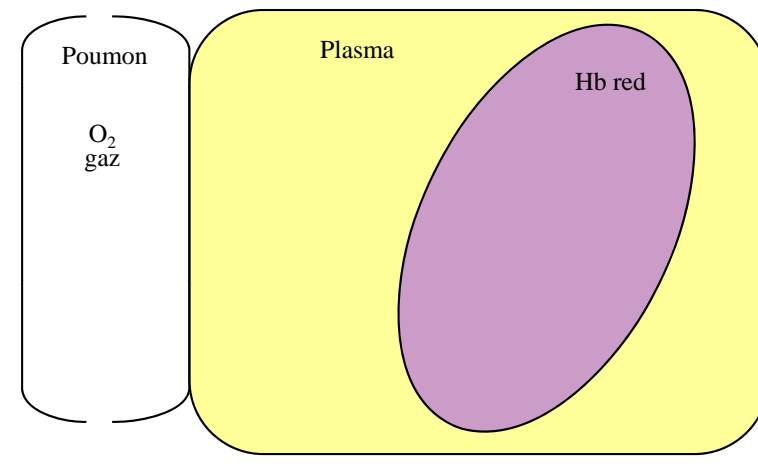
et en ajoutant les NH_4^+ trouvés dans l'urine.

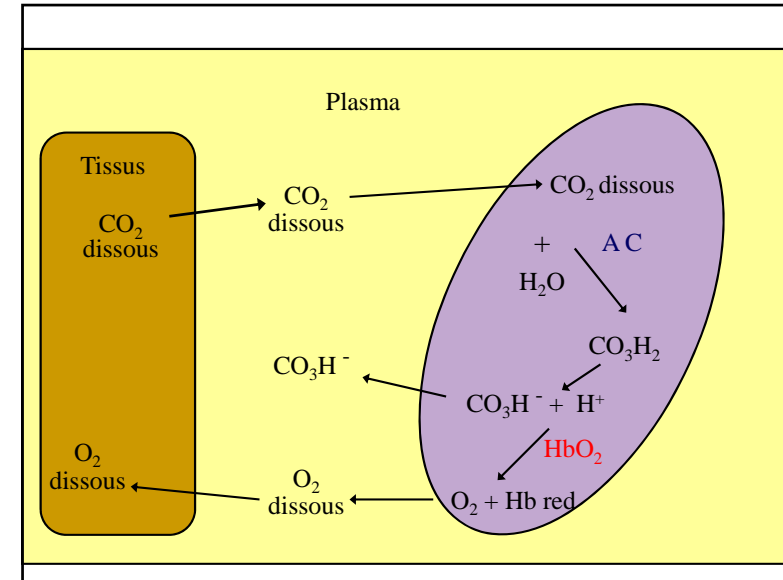
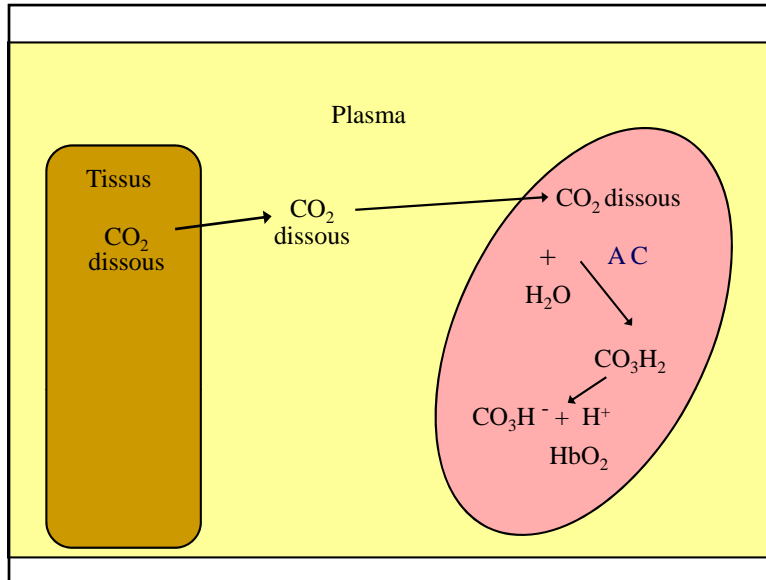
III - Rôle du poumon sur l'équilibre des ions H^+

Ventilation pulmonaire , Contrôlée par pCO_2 pH pO_2
⇒ Elimination ou Rétention de CO_2

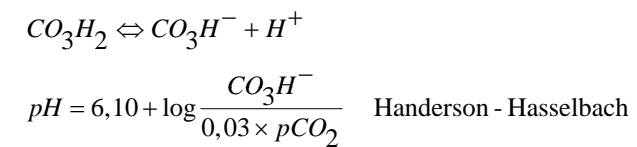
Action très rapide (10 – 30 s) / rein (qq h.)

III - Rôle du poumon sur l'équilibre des ions H^+





IV - Exploration de l'équilibre Acido-Basique



Bicarbonates : mmol/L
pCO₂ mmHg



1°) Prélèvement et paramètres mesurés

- Seringue avec anticoagulant (héparine)
- A l'abri de l'air, transport rapide (glycolyse)
- Sang artériel ou artériolisé (microméthode 100 µL)
- Paramètres mesurés : électrodes

Sang artériel : pH $7,40 \pm 0,03$
 pCO₂ 40 ± 3 mmHg
 pO₂ 95 ± 3 mmHg



2°) Paramètres déduits :

- Bicarbonates (bicar vrais), déduits à la pCO₂ et au pH du sujet

$$CO_3H^- = 10^{pH-6.10} \times 0,03 \times pCO_2$$

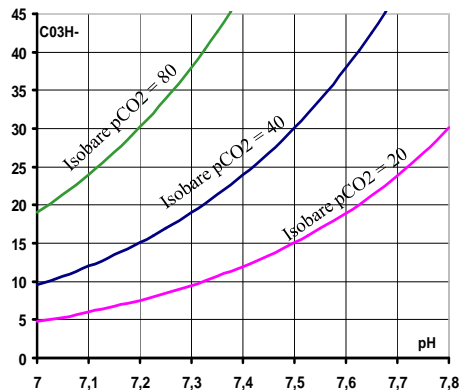
- Réserve alcaline : conc. en CO₃H⁻ du plasma (séparé des GR et ramené à pCO₂ = 40 mmHg.)
- CO₂ Plasmatique total () : CO₂ dissous + CO₃H⁻
 $0,03 pCO_2 + CO_3H^-$
- Excès de bases (Base Excess) > 0 ou < 0
 Quantité d'H⁺ nécessaire pour ramener 1 litre de sang complet (dans les conditions de prélèvement)
 à pH =7,40 à PCO₂ = 40 à 37°C

Remarque : Bases tampons du sang : 48 mmol/L
 CO₃H⁻ Pr plasm HbO₂⁻ PO₄H⁻
 Si >48 : Excès de base , Si <48 : déficit de base



3°) Le diagramme pH - Bicarbonates

a) Diagramme de Davenport $CO_3H^- = 10^{pH-6.10} \times 0,03 \times pCO_2$

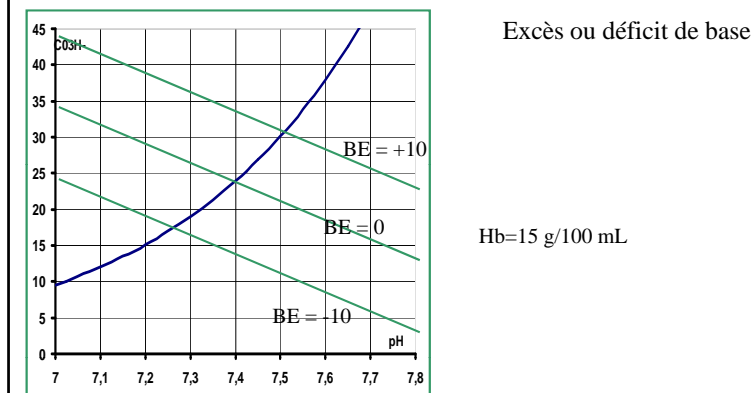
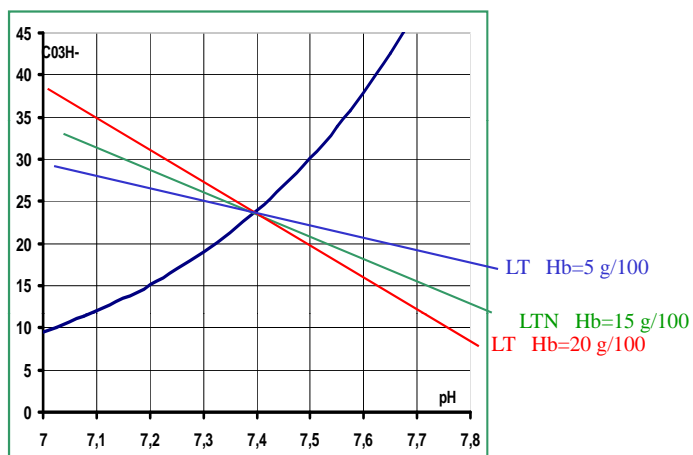


b) La ligne tampon normale :

- Sang total (pCO₂ = 40, pH = 7,40)
- + CO₂ Séparation plasma / GR
 Mesure pH et pCO₂ ex : 7.20 80 mmHg
- - CO₂ Séparation plasma / GR
 Mesure pH et pCO₂ ex : 7.60 19 mmHg
- pH et pCO₂ sont affectés par le pouvoir tampon de l'Hb



b) La ligne tampon normale :

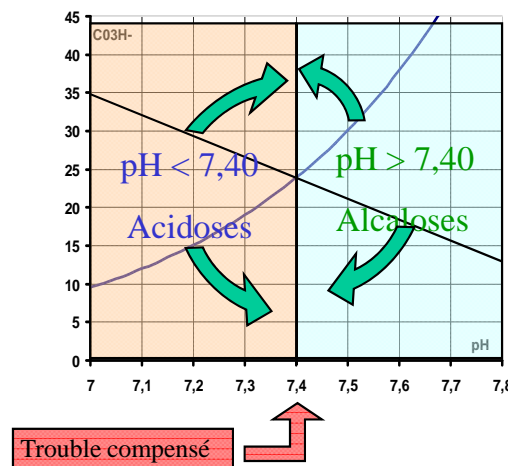


- Les tampons du sang gardent la même efficacité quel que soit l'excès ou le déficit de base.
- La LT reste parallèle à ce quelle était en l'absence de BE.

REGULATION DU pH DU MILIEU INTERIEUR

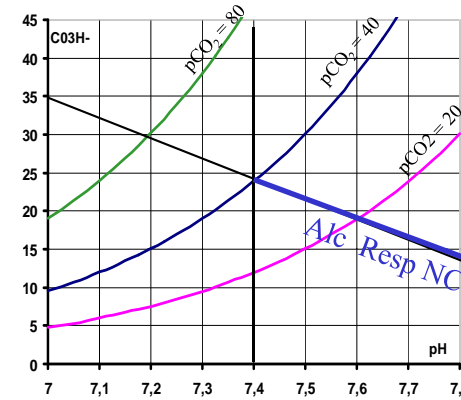
Equilibre Acido-Basique

c) Acidoses et alcaloses :



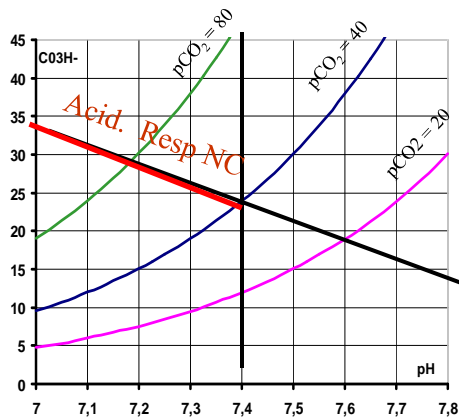
4°) Equilibre acido-basique sans compensation.

a) Hyperventilation : CO₂ éliminé ↓ pCO₂
 $CO_3H^- + H^+ \rightarrow CO_3H_2 \rightarrow CO_2$



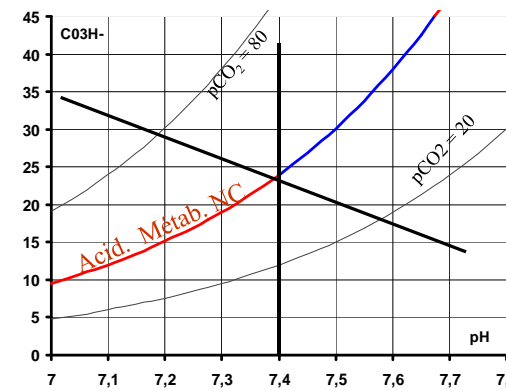
pCO₂ ↓
 ↓ H⁺ ↓ CO₃H⁻
Alcalose Respiratoire Non Compensée

b) Hypoventilation : CO₂ retenu ↑ pCO₂
 $CO_3H^- + H^+ \leftarrow CO_3H_2 \leftarrow CO_2 + H_2O$



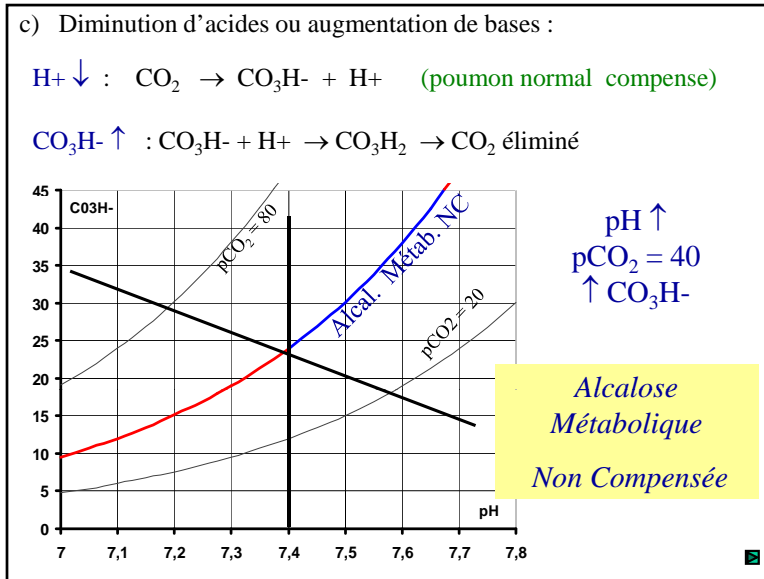
pCO₂ ↑
 ↑ H⁺ ↑ CO₃H⁻
Acidose Respiratoire Non Compensée

c) Augmentation d'acides ou diminution de bases :
 H⁺ ↑ : CO₃H⁻ + H⁺ → CO₃H₂ → CO₂ éliminé (poumon normal)
 CO₃H⁻ ↓ : CO₂ → CO₃H⁻ + H⁺ (poumon normal)



pCO₂ = 40
 ↓ CO₃H⁻ H⁺ ↑
Acidose Métabolique Non Compensée





5°) Equilibre acido-basique et compensation.

