

TROUBLES ACIDO-BASIQUES PHYSIOLOGIE

Dr Mokline. A & Dr Bousselmi. K
Sce Réa des Brulés. CHU B Arous

PLAN

- 1. Introduction
- 2. Concepts physiopathologiques des troubles acido-basiques
- 3. Physiopathologie des troubles acido-basiques
- 4. Régulation du pH: systèmes tampons
- 5. Conclusion

1. Introduction

- L'interprétation d'une acidose ou d'une alcalose nécessite une connaissance des notions physiopathologiques
- 2 concepts:
 - Concept classique d'Henderson-Hasselbach (1908 et 1916)
 - Concept électrochimique de Stewart (*Can J Physiol Pharmacol* 1983): mécanismes des troubles ac basiques (TAB) et Dg trouble complexe

2. Concepts physiopathologiques des troubles acido-basiques (1)

2.1. Equation d'Henderson-Hasselbach

Henderson (1908) : loi action de masse



Hasselbach (1916)



Henderson-Hasselbach (1916)



- Henderson-Hasselbach (1908 et 1916)
 - pH est dépendant de 2 variables
 - Concentration de HCO_3^- plasmatique
 - PaCO_2
 - Les changements de bicarbonate plasmatique influencent directement le pH: bicarbonate est CENTRAL

- Malgré son exactitude mathématique, cette équation présente des points faibles par ignorance de:
 - la dépendance entre PaCO_2 et Bicar
 - la présence des tampons non volatils, non-bicarbonates (protéines plasmatiques)
 - le rôle des acides faibles (phosphate, albuminate)

2. Concepts physiopathologiques des troubles acido-basiques (2)

2.2. Concept de Sigaard Andersen

- Base Excess (BE)
 - quantité d'acide ou de base fortes à ajouter pour atteindre pH normal (PCO_2 à 40 mmHg et température à 37°C).
- BE: - s'affranchit des variations de PaCO_2
 - mesure in vitro
 - Base Excess Standard (SBE): Hb 5 g/100ml
 - ne différencie pas entre variation acides faibles et acides forts

2. Concepts physiopathologiques des troubles acido-basiques (3)

2.3. Approche « physico-chimique » de Stewart

■ Raisons: Approche classique

- Ne prend pas en compte tampons non bicarbonate
- Non mécanistique
- Ne quantifie pas le trouble
- Limitée dans acidose de « dilution », désordres complexes en réa

■ Préceptes

- _ pH: dissociation de l'eau plasmatique
- Eau importante source d'ions H^+
- Force ionique : Ions forts et ions faibles
- Neutralité électrique
- Notion de variables dépendantes et de variables indépendantes

□ Concepts:

- Plasma : solution aqueuse exposée à une PaCO_2 constante + mélange d'ions fortement dissociés et d'acides faibles.
- Variations de $[\text{HCO}_3^-]$: pas cause mais conséquence d'un trouble métabolique acido-basique.
- pH ($= [\text{H}^+]$) et bicarbonates variables dépendantes résultant de l'effet de 3 variables indépendantes

Différence en ions forts: SID (Cations forts – Anions forts plasmatiques)

‣ Atot (masse total des ac faibles)

PaCO_2

- Respect de 3 lois physicochimiques élémentaires **SIMULTANEMENT**

Dissociation électrochimique

Electroneutralité des solutions

Conservation des masses

P .A. Stewart Resp. Physiol. 33 1978

Can J Physiol Pharmacol 1983

H.E. Corey Crit. Care 9 2005

Concept de Stewart à 6 équations

▪ **[H⁺] obéit à 6 équations simultanément**

- Équilibre de dissociation de l'eau
 - ✓ $[H^+] \times [OH^-] = K'_w$
- Équilibre de dissociation des acides faibles
 - ✓ $[H^+] \times [A^-] = [HA] \times K_A$
- Équilibre de formation des bicarbonates
 - ✓ $[H^+] \times [HCO_3^-] = K_c \times S \times PCO_2$
- Équilibre de formation des ions carbonates
 - ✓ $[H^+] \times [CO_3^{2-}] = K_3 \times [HCO_3^-]$
- Neutralité électrique
 - ✓ $[H^+] + [SID] = [HCO_3^-] + [A^-] + [CO_3^{2-}] + [OH^-]$
- Conservation de masse de A
 - ✓ $[HA] + [A^-] = [A_{TOT}]$



▪ Résolution

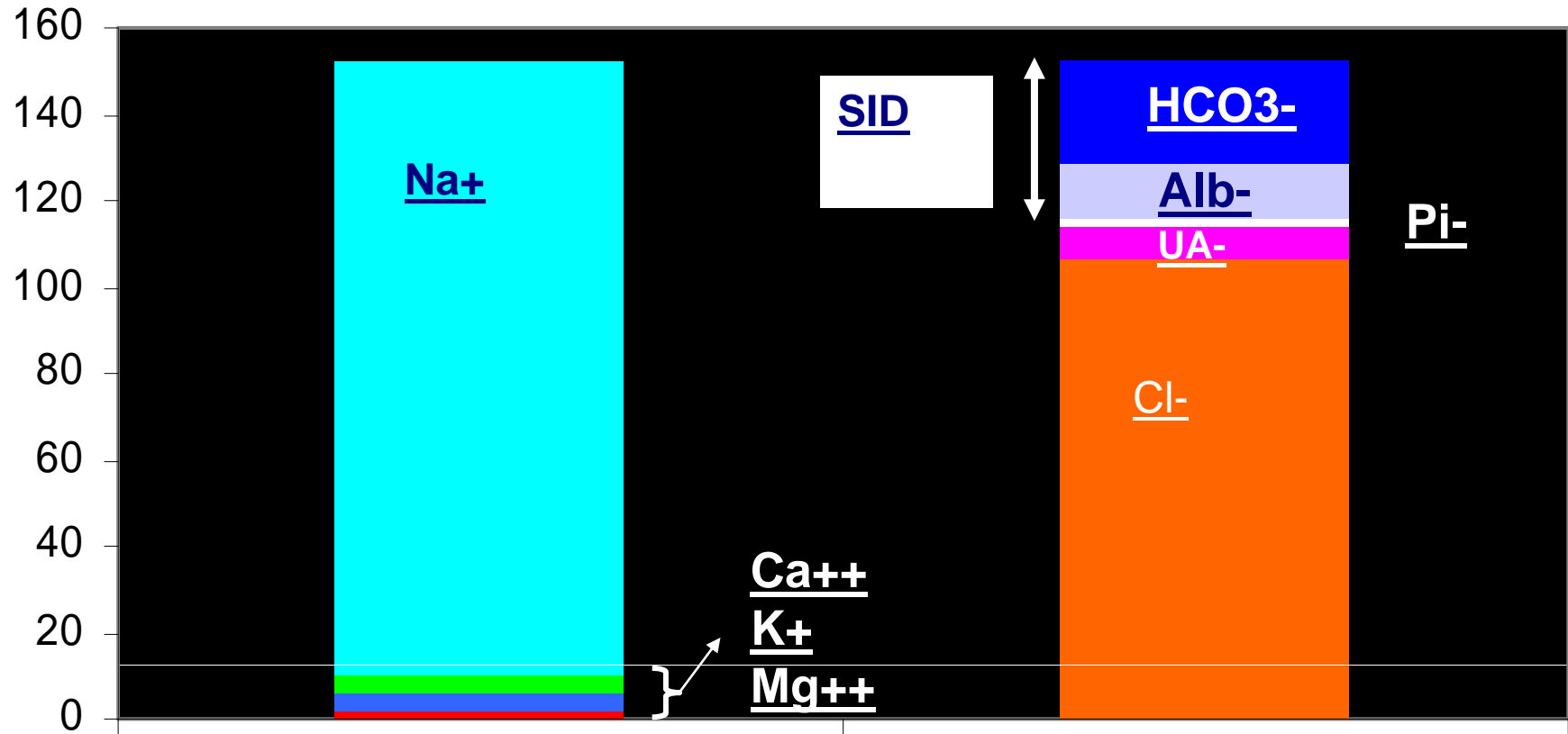
$$[H^+]^4 + ([SID] + K_A) \times [H^+]^3 + (K_A \times [SID] - [A_{TOT}]) \times [H^+]^2 - K'_w - K_c \times PCO_2 \times [H^+] - K_A \times K_3 \times K_c \times PCO_2 = 0$$

Stewart : $pH = pK_1 + \log [SID - A_{tot} / (1 + 10^{pK_a - pH}) / S PaCO_2]$

Calcul du SID

- Différence de charge entre l'ensemble des cations forts et l'ensemble des anions forts
- $SIDa = (Na^+ + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + UC^+) - (Cl^- + UA^-)$
 - $UC^+ =$ somme des cations forts autres que Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} (\pm négligeable)
 - $UA^- =$ somme des anions forts autres que Cl : sels d'acides organiques (lactate, acido-acétate, OH butyrate, citrate...) et anions minéraux (sulfates) et ...
- Valeur normale 40 ± 2 mEq/l
 - Si < 38 : acidose métabolique (Excès d'Ac forts ou baisse des cations)
 - Si > 38 : alcalose métabolique

Gamblegram du plasma



cations

anions

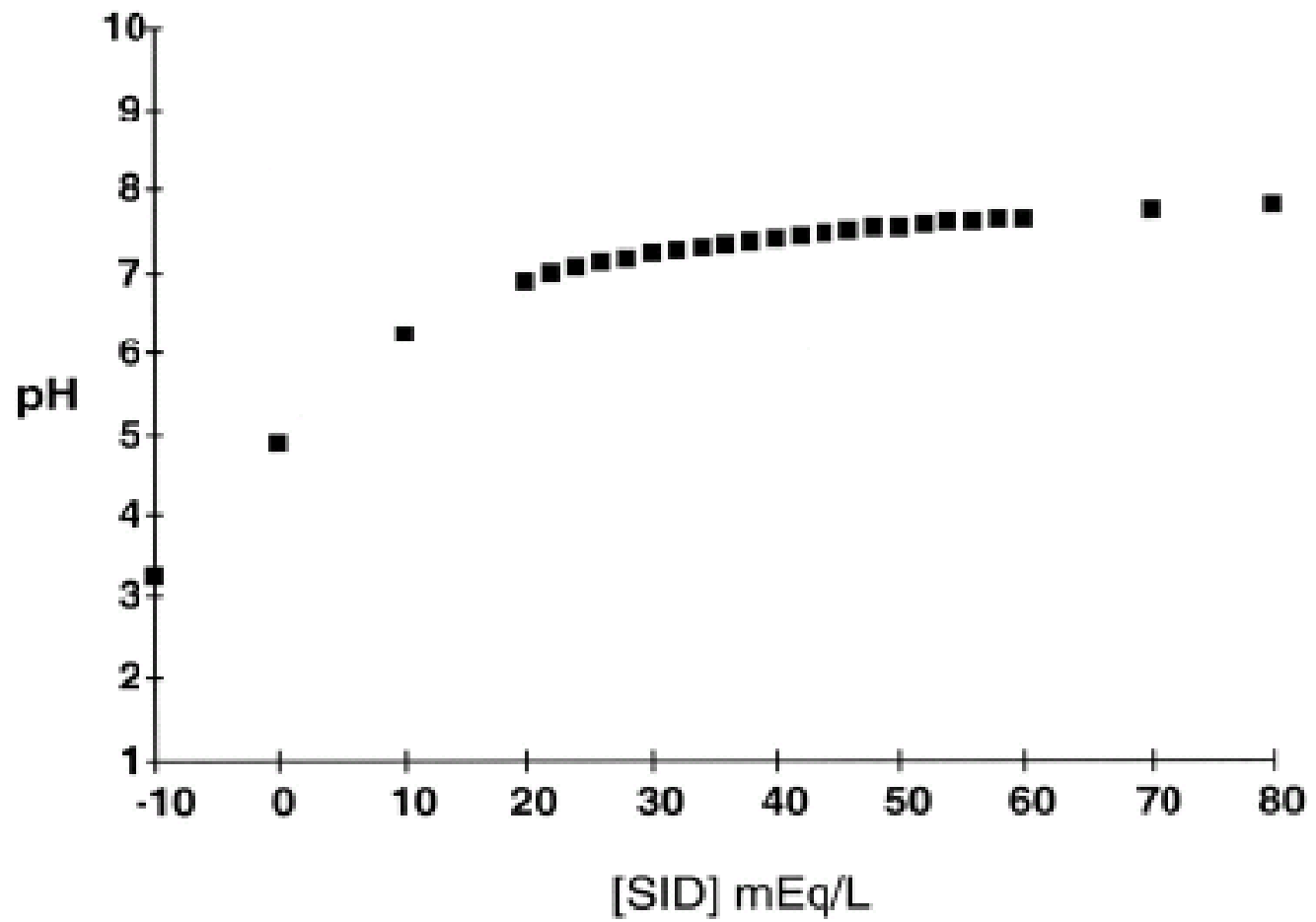
Le SID : comment cela marche ?

$\Sigma \text{ cations} < \Sigma \text{ anions} \Rightarrow \text{SID} < 0$

$+ < - \Rightarrow \uparrow +$ pour électroneutralité

$\Rightarrow \uparrow \text{H}^+ \Rightarrow \downarrow \text{pH} \Rightarrow \text{acidose}$

- Différence de charges \Rightarrow force sur les autres molécules non (totalement) dissociées \Rightarrow dissociation pour EQUILIBRE des charges
- Si toutes les molécules sont dissociées dans une solution aqueuse, la seule autre source d'ions est l'EAU qui se dissocie en H^+ et OH^-
- $\downarrow \text{SID} \Rightarrow \uparrow$ dissociation $\text{H}_2\text{O} \Rightarrow \uparrow \text{H}^+ \Rightarrow \text{acidose}$



Kellum Kidney Int
1998

Calcul de A_{TOT}

- CONCENTRATION TOTALE DES ACIDES FAIBLES NON VOLATILES DISSOCIES DANS LA SOLUTION
- CE QUI INTERVIENT EST LEUR FORME ANIONIQUE (A-)
- ALBUMINE
 - albuminate effet charge de l'albumine
 - = [albumine, g/L] x (0,123 x pH – 0,631) (*Figge J Lab Clin Med 1991*)
 - = [albumine, g/L] x 0,28
 - 75% des charges négatives du TA
 - Valeur normale = 12,1 mEq/L
- PHOSPHATE
 - $Pi^- = [Pi, \text{mmol/l}] \times (0,309 \times \text{pH} - 0,469)$ (*Figge L Lab Clin Med 1992*)
 - = [phosphore, mmol/L] x 1,8
 - Valeur normale = 2,1 mEq/L
- **ATOT = 14,2 mEq/L**

Approche de Stewart

AVANTAGES

- Mécanismes
- Débrouiller les situations complexes de réanimation
- Pourrait permettre un traitement plus adapté

INCONVENIENTS

- Calculs nombreux avec risque d'erreur
- Tout le NaCl n'est pas dissocié !
- Les variables indépendantes le sont-elles et jusqu'où ?
- Pas encore de niveau preuve suffisant montrant que son application en clinique change le devenir du patient

3. Physiopathologie et classification des troubles acido-basiques

3.1. Physiopathologie:

3.1.1. Troubles métaboliques:

Approche Henderson-Hasselbach : Variations de $[\text{HCO}_3^-]$ ← Variations $[\text{H}^+]$

Concept de Stewart: Variations SID et des ac faibles (Atot)

3.1.2. Troubles respiratoires:

La PaCO_2 est la variable déterminante des troubles respiratoires en se basant sur les 2 concepts

3.2. Classification des troubles acido-basiques:

Les outils nécessaires à l'établissement du diagnostic d'un déséquilibre acido-basique sont:

Gaz du sang artériels:

pH ($7,40 \pm 2$) Base Excess (0 meq/l); PaCO₂ (40 ± 4 mmHg); HCO₃⁻ calculés (24 ± 2 mmol/l)

Base Excess (0 meq/l) et Standard Base Excess (0 meq/l)

Albumine (40 g/l); *Phosphore* (0,8 – 1,2 mmol/l)

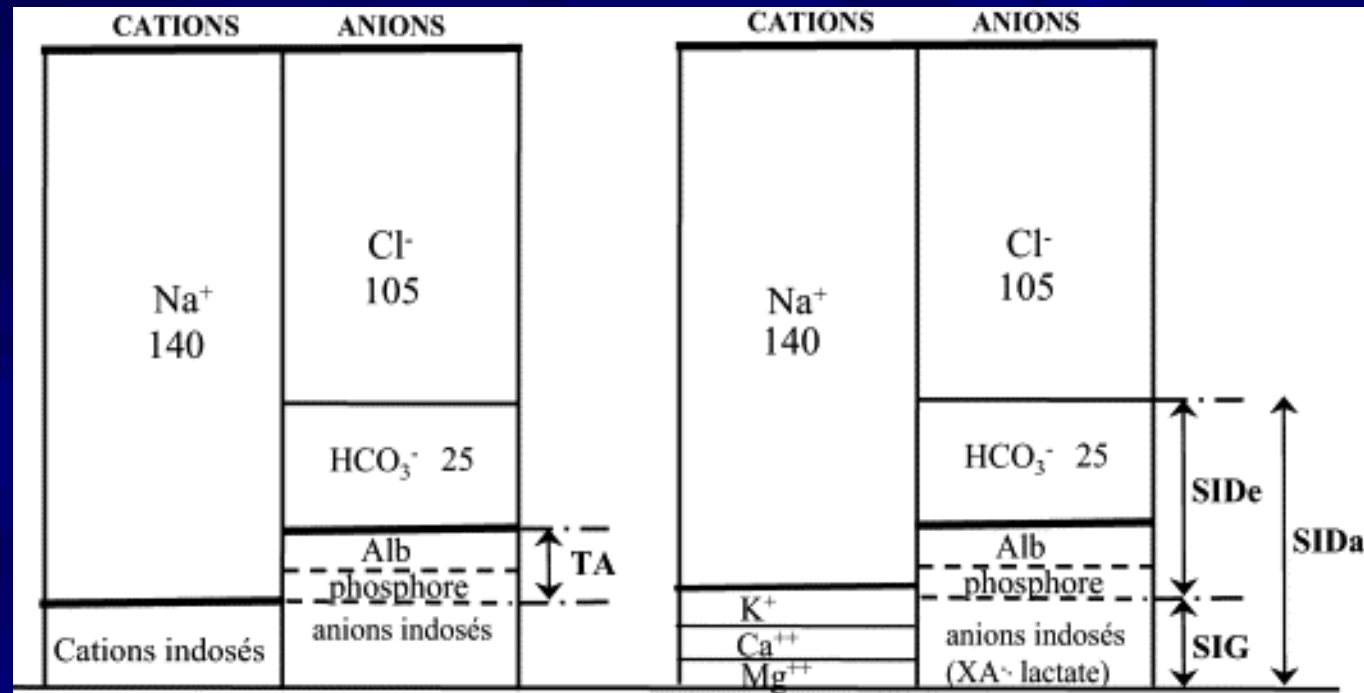
Ionogramme sanguin :

CO₂total (26 ± 2 mmol/l) Na⁺ (140 ± 2 mmol/l) ; K⁺ ($3,5 \pm 0,5$ mmol/l)

Cl⁻ (105 ± 2 mmol/l)

- **TA** = $Na^+ - (Cl^- + HCO_3^-) = 12 \pm 2 \text{ meq/l}$
- **TA corrigé** = $TA \text{ calculé} + 0,25 \times (40 - \text{albumine mesurée [g/l]})$
- **SIDe** = $[HCO_3^-] + [\text{albumine (g/l)} \times (0,123 \times pH - 0,631)] + \text{phosphore (meq/l)} \times (0,309 \times pH - 0,469) = 40 \pm 2 \text{ meq/l}$
- **SIDa** = $(Na^+ + K^+ + Ca^{++} + Mg^{++}) - (Cl^- + \text{lactate}^-) = 40 \pm 2 \text{ meq/l}$
- **SIG** = $SID - SIDe = 0 \text{ meq/l}$ (meilleur indicateur de la présence d'anions indosés)

Représentation de la balance des charges positives et négatives dans le plasma.



TA: trou anionique plasmatique ; **Les cations indosés** comprennent le Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺.

Le trou anionique est constitué d'anions indosés mais aussi d'acides organiques faibles, c'est-à-dire albuminate et phosphate. Ce TA est normalement égal à 12 meq/l ; il est normalement augmenté en cas d'accumulation plasmatique acides organiques (lactate, corps cétoniques).

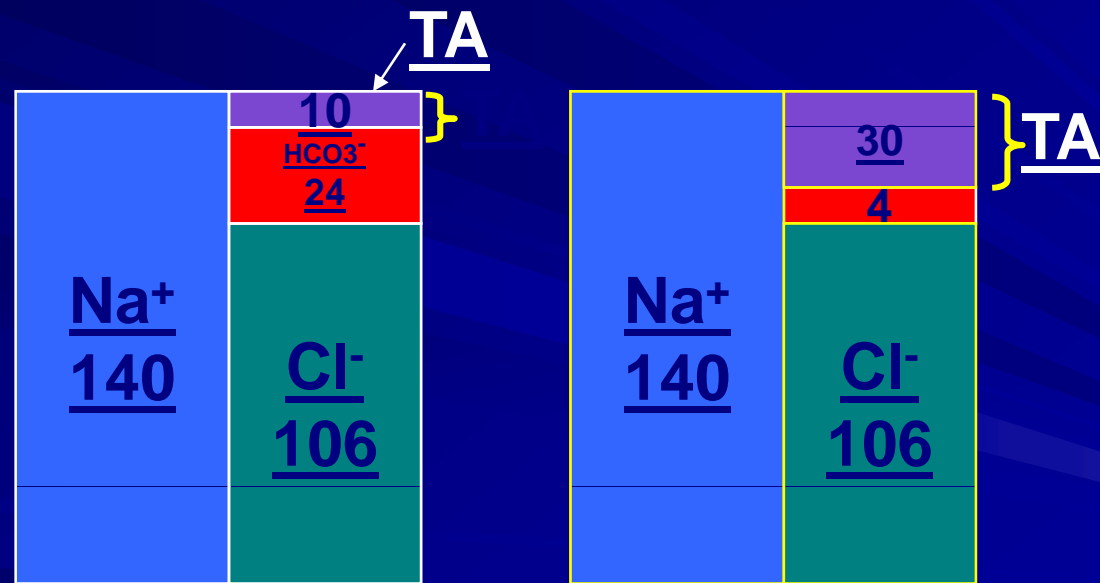
SIDa: « strong ion difference » apparent ; **SIDe:** « strong ion difference » effectif ; **SIG:** « strong ion gap ».

Le SID est toujours positif, normalement égal à 40 meq/l. La différence entre SIDe et SID est normalement égale à zéro sauf s'il y a accumulation d'anions indosés dont la présence sera attestée par la présence **d'un SIG**.

TROU ANIONIQUE PLASMATIQUE (1970)

$$\text{T.A.} = (\text{Na}^+ + \text{K}^+) - (\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-)$$

Normal 12 ± 2 (10-14 mmol/l)



paCO₂ 40
pH 7,40

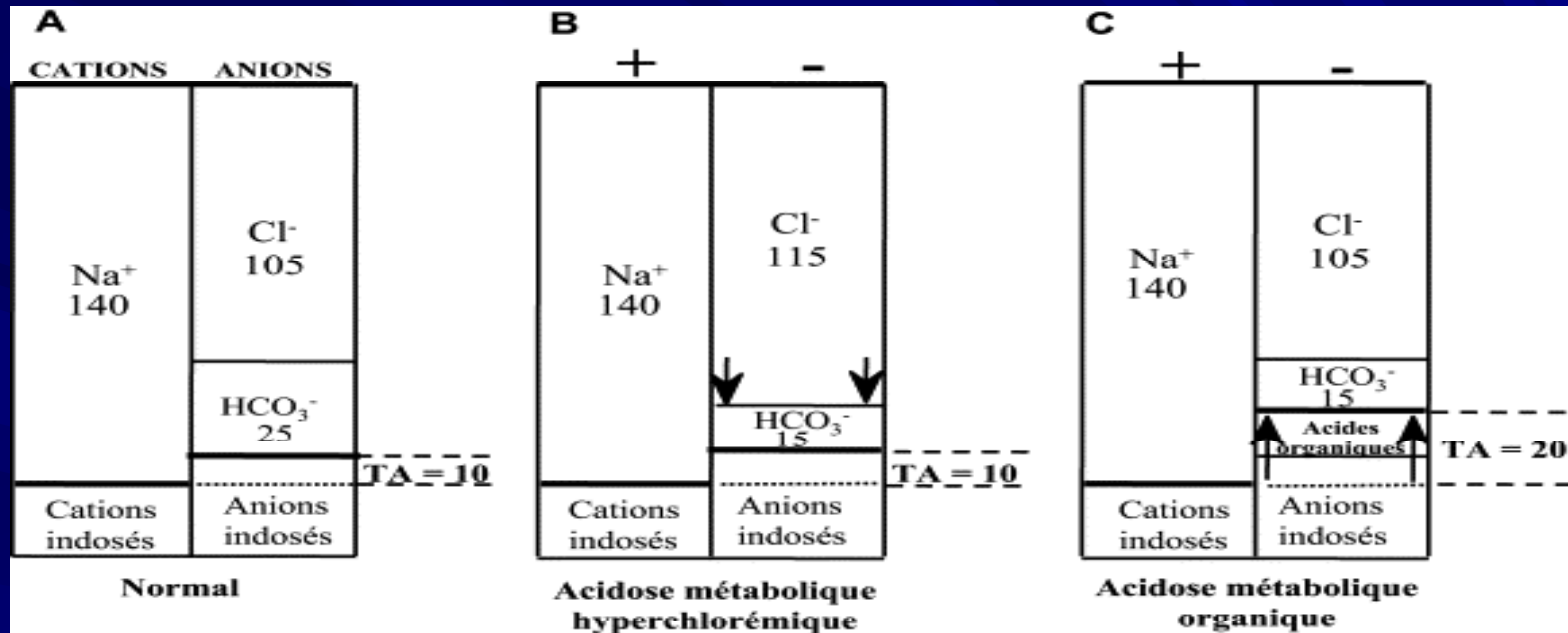
paCO₂ 15
pH 7,05

Rôle de l'hypoalbuminémie

- TA connaît des limites en rapport avec son principal constituant l'albumine d'où:
 - Hyperalbuminémie acidifie
 - Hypoalbuminémie alcalinise
 - Hypoalbuminémie sous-estime acidose
 - Hypoalbuminémie sous-estime le TA

$$TA_{\text{ajusté}} = TA_{\text{mesuré}} + 0,25 \times (\text{alb normale} - \text{alb mesurée}) \text{ (g/l)}$$

Représentation schématique des deux grandes catégories d'acidoses métaboliques



A. TA: la différence entre la somme des indosés anioniques et des indosés cationiques.

B. AM minérales: chaque HCl en excès libère un ion H⁺ tamponné par un ion HCO₃⁻ et un Cl⁻ ; le TA est donc normal.

C : AM organiques: chaque acide organique en excès libère un ion H⁺ tamponné par un ion HCO₃⁻ et un sel d'acide⁺ qui est un anion ; le TA est donc élevé supérieur à 12 mmol/l.

Classification des déséquilibres acido-basiques selon l'approche de Stewart

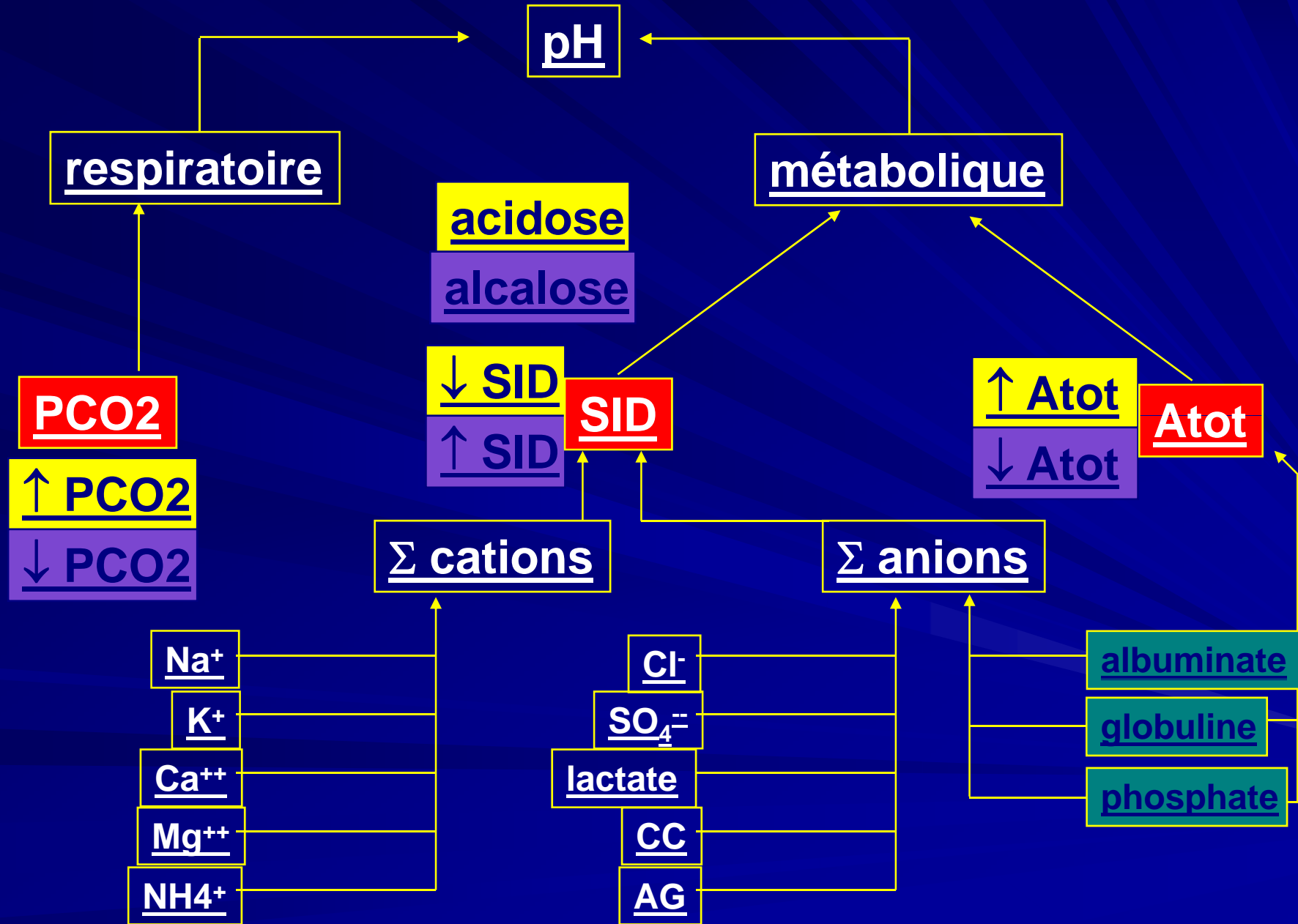
	Acidosis	<u>Conséquences thérapeutiques</u>
I. Respiratory	↑ Pco ₂	
II. Nonrespiratory (metabolic)		
1. Abnormal SID ↓		
a. Water excess	↓ SID, ↓ [Na ⁺]	↑ SID ↑ Na ⁺
b. Imbalance of strong anions		
i. Chloride excess	↓ SID, ↑ [Cl ⁻]	↑ SID ↓ Cl ⁻
ii. Unidentified anion excess [‡]	↓ SID, ↑ [XA ⁻]	↑ SID ↓ XA ⁻
2. Nonvolatile weak acids ↑		
a. Serum albumin	↑ [Alb] [§]	
b. Inorganic phosphate	↑ [Pi]	↓ A ⁻ ↓ Pi

$$\text{Cl}^- \text{ corr} = \text{Cl}^- \text{ obs} \times [\text{Na}^+]_{\text{norm}} / [\text{Na}^+]_{\text{obs}}$$

$$\text{Excès Cl} = \text{Cl}_{\text{obs}} - \text{Cl}_{\text{corr}}$$

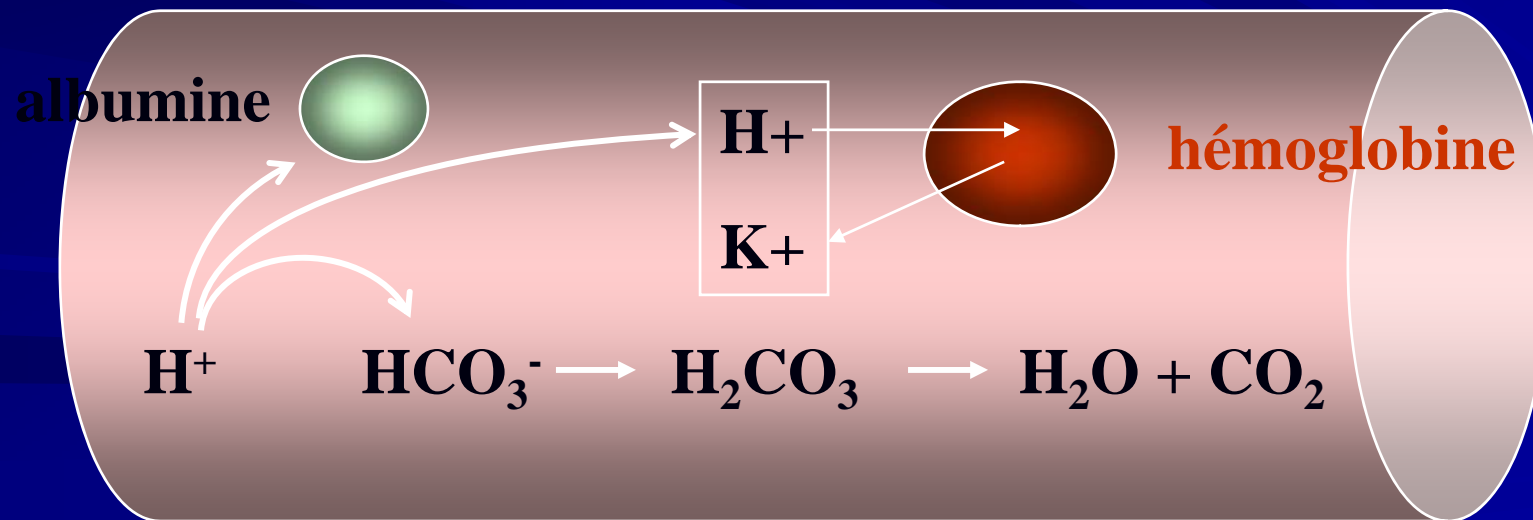
Fencl AJRCCM 2000

En Résumé

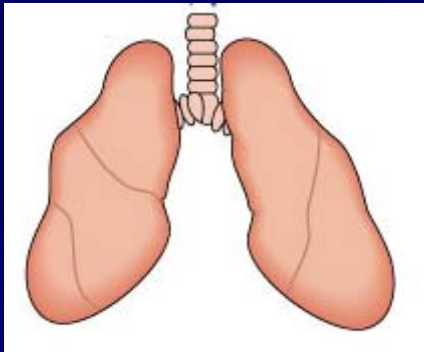


4. La régulation du pH: Systèmes tampons

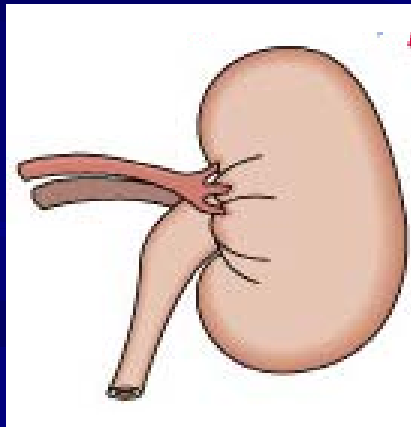
- intra-cellulaires : protéines (hémoglobine), phosphates, HCO_3^-
 - extra-cellulaires : HCO_3^- , protéines (albumine)
- défense immédiate



BILAN H⁺: sortie

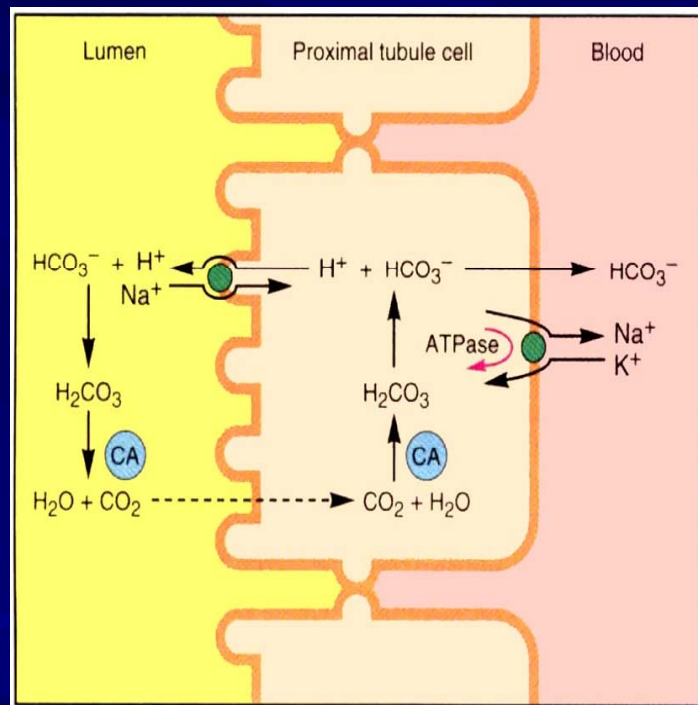


- Poumons: CO₂, protons volatils: défense semi-retardée



- Rein: défense tardive
- Réabsorption des HCO₃
- Excrétion des H⁺:
 - NH₄⁺
 - AT
 - H⁺ libres

BILAN H⁺: sortie



■ TUBE PROXIMAL:

■ réabsorber les HCO_3^- filtrés

– Role de l'anhydrase carbonique



– Tm HCO_3^- (28 mmol/l)

■ TUBE DISTAL ET COLLECTEUR:

– Eliminer les H^+

– Régénérer de nouveaux HCO_3^-

AMMONIURIE

- Sécrétion de H^+ la plus importante: 2/3
- Mécanisme très adaptable (X 6)
- Estimation par le calcul du trou urinaire:
 - $Ta U = Na + K - Cl (NH_4Cl)$
 - $TAU NI > 0$
- Si ammoniurie élevée (>70 mmol/l): $Ta U -$ (réponse adaptée du rein)  origine extra-rénale
- Si ammoniurie basse (< 50 mmol/l): $Ta U +$ (réponse inadaptée du rein)  origine rénale

5. Conclusion

- Prise en charge des désordres acido-basique métabolique «eminence-based medicine».
- L'approche traditionnelle d'Henderson reste toujours la plus utilisable
 - Les variables d'intérêt sont pH, PaCO₂ et SBE.
- Approche de Stewart peut apporter des informations pertinentes en cas de désordres complexes, en réanimation:
 - Distance sodium-chlore
 - Hypoalbuminémie

Et permet d'adapter les thérapeutiques les plus appropriées.