

Equilibres acido-basiques

I) Généralités

Rappels : définitions

Acide : espèce capable de céder un ou plusieurs protons.

Base : espèce capable de capter un ou plusieurs protons.



Couple acido-basique et ionisation de l'eau

L'eau est une molécule faiblement ionisée en H^+ et OH^- .

L'eau à 25°C permet de définir la neutralité acido-basique.

Couple acido-basique : molécule capable de déplacer l'équilibre entre les ions H^+ et les ions OH^- :

- En libérant des protons : acidifie la solution
- En acceptant des protons : alcalinise la solution.

Echelle logarithmique

La concentration des protons dans les fluides biologiques varie beaucoup :



Estomac : pH = 1 – Cellules : pH = 7 – Milieu intérieur : pH = 7,40

Pour cette raison pratique, on utilise une échelle logarithmique pour l'exprimer :



$pH = -\log [H^+]$

L'urine primitive est un émonctoire de l'organisme. Sa gamme de pH varie entre 5 et 8 et dépend des besoins de l'organisme. Le rein est donc capable d'éliminer plus ou moins de protons pour réguler la composition du milieu intérieur.

Equilibre acido-basique

Le pH du milieu intérieur (milieu extracellulaire) est **extrêmement régulé** et varie très peu dans une fourchette normale étroite comprise entre **7,38 et 7,42 (A connaître +++)**.

En dessous de pH = 7,00 et au-dessus de pH = 7,80, votre patient est très mal en point : **SA SURVIE EST COMPROMISE.**



L'organisme est soumis à une charge acide permanente

L'organisme est soumis à **une charge acide permanente**. En effet, l'oxydation des nutriments produit des acides (lactiques, phosphoriques, corps cétoniques (cc la bioch)).

Lors d'un métabolisme **aérobie** : production de **CO₂ exclusivement (acide volatil)**

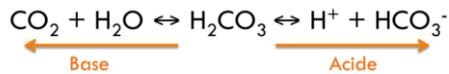
Lors d'un métabolisme **anaérobie** : production de CO₂ et d'**acide lactique (acide fixe)**

Acide **volatil** : éliminé par les poumons (Exemple : **+++ CO₂ +++**)
Acide **fixe (organique)** : éliminé sous forme dissoute, par voie urinaire grâce aux reins



L'acide carbonique H₂CO₃

L'acide carbonique H₂CO₃ peut acidifier ou alcaliniser l'organisme, c'est un **couple acido-basique**.



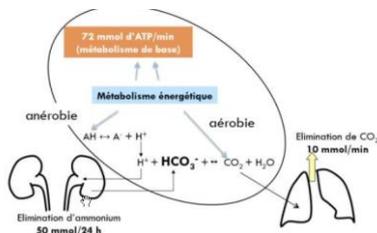
Régulation de ce couple acido-basique par l'organisme

Le couple bicarbonates/protons est au **cœur de la régulation du pH du sang et des cellules** : il est extrêmement abondant et régulé par **les poumons et les reins** :

- Les reins fabriquent les bicarbonates
- Le CO₂ est éliminé par les poumons .

II) Rôle des reins et des poumons

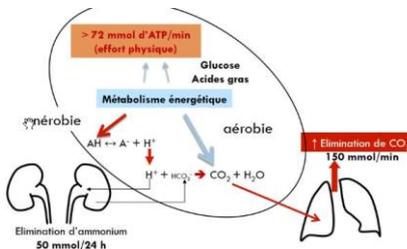
Repos



Au **repos**, le bicarbonate est bien présent dans le sang, le proton s'associe donc au bicarbonate pour former du CO₂. Ce CO₂ produit par le métabolisme aérobie est **directement exhalé (poumons)**

Les protons vont également réagir avec **les reins** pour être éliminés sous forme **d'ammonium (NH₄⁺)**
La capacité de régulation des poumons est plus grande que celle des reins +++

Effort

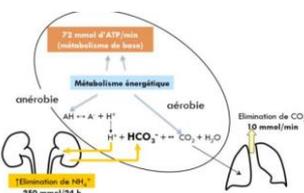


A l'effort, la production de CO₂ et d'acide lactique augmente. L'organisme doit donc évacuer une importante charge acide.

Les poumons vont s'adapter **immédiatement**, leur activité va augmenter d'un **facteur 15** pour évacuer plus de CO₂.

Le rein, lui, continue à sécréter des protons dans l'urine, en revanche **son activité n'est pas modifiée**. Il n'a pas la capacité de s'adapter rapidement.
 La concentration en bicarbonates va diminuer. On parle alors de **diminution du pouvoir tampon des bicarbonates**.

A l'arrêt de l'effort



A l'arrêt de l'effort, la ventilation revient à **la normale** et les reins vont commencer à excréter plus de protons (multiplication d'un **facteur 5** de leur activité).

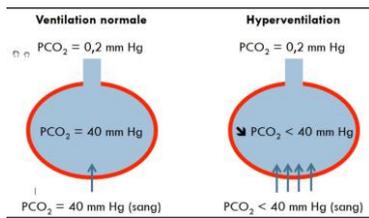
A chaque proton éliminé, un bicarbonate est régénéré dans le milieu intérieur.

Poumons : diffusion du CO₂

La diffusion du CO₂ dépend de la **surface** de la membrane, de la **différence de pression partielle** entre l'air alvéolaire et le sang et de l'**épaisseur** de cette membrane.

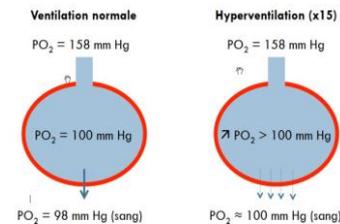
$$\text{Flux de CO}_2 (\text{Sang} \rightarrow \text{air}) = \frac{\text{Surface} \times \Delta \text{pression partielle}}{\text{épaisseur}}$$

Diffusion du CO₂ et ventilation



L'hyperventilation va causer la forte diminution de la PCO₂ alvéolaire ce qui augmente le gradient de diffusion du CO₂.

Diffusion de l'O₂ et ventilation



La PO₂ atmosphérique est quasiment égale à la PO₂ alvéolaire, un reflexe d'hyperventilation va donc apporter très peu d'oxygène au sang car le gradient de diffusion de l'O₂ n'est que très peu modifié.

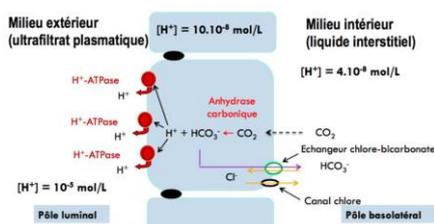
L'hyperventilation est donc un moyen de lutte efficace contre l'acidose. Elle va diminuer la pression partielle en CO₂ de façon conséquente, en revanche, elle n'affectera pas significativement la pression partielle en O₂.

(Cf. diapo TTR pour applications médicales)

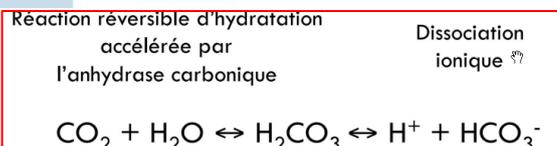
Reins : fabrication du HCO₃⁻

Les reins **réabsorbent tout le bicarbonate présent dans l'urine primitive** au niveau du glomérule, puis dans la partie la plus distale du néphron a lieu **la sécrétion de protons**. C'est à ce niveau que le pH de l'urine diminue.

On rappelle que : **pour un proton sécrété dans l'urine on a un bicarbonate qui est régénéré dans le MI +++**



Le milieu extérieur a une concentration en H⁺ plus élevée le milieu intérieur, c'est pourquoi l'organisme utilise ici un transport actif.



Le CO₂ va subir une réaction d'hydratation grâce à l'anhydrase carbonique.

- A l'issue de cette réaction on a un bicarbonate et un proton créés, c'est ce qui explique qu'à chaque proton sécrété, un bicarbonate est régénéré.
- Le proton va donc être sécrété dans l'urine grâce aux pompes H⁺/ATPase (transport actif consommant de l'ATP)
- Le bicarbonate passe dans le milieu intérieur par l'échangeur chlore-bicarbonate
- Le chlore ressort librement par un canal chlore

Les protons une fois arrivés dans l'urine peuvent être trappés par 2 couples acido-basiques :

- **L'acide phosphorique** : régulé par l'alimentation, **pas de fabrication, pas d'augmentation d'élimination possible grâce à ce couple.**
- **L'ammoniAC** : le rein peut **multiplier par 5** la quantité de protons éliminés par l'ammoniac car c'est lui-même qui fabrique l'ammoniac. Les protons, une fois associés à l'ammoniac forment de l'ammonium NH_4^+ .

III) Pouvoir tampon de l'organisme

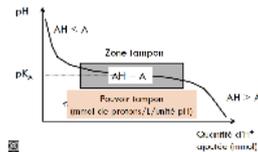
Définition

L'organisme lutte de façon **passive** contre les variations de pH des cellules et du MI grâce à des **systèmes tampons.**

Tampon : couple acido-basique dont la capacité de fixer des protons **limite** les variations de pH des milieux cellulaires et extracellulaires en dehors des fourchettes physiologiques définies.

Pouvoir tampon : quantité de protons fixés par un couple acido-basique par unité de pH et par litre de solution.

Zone tampon : zone dans laquelle il faut ajouter beaucoup de protons pour modifier légèrement le pH.



Le pouvoir tampon d'un **est égal au pKa du couple.**

couple acido-basique est maximal lorsque le **pH de la solution**

Dans le milieu extracellulaire, on a **plusieurs tampons**, si les pKa sont différents, **la zone tampon s'élargit et le pouvoir tampon aussi.**

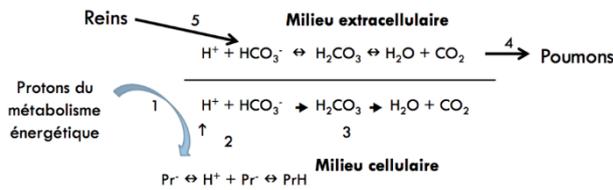
Le bicarbonate est un **tampon volatil** qui se distribue dans **50% du poids du corps.**

Les principaux tampons de l'organisme+++

- **Milieu extracellulaire** : couple acide carbonique/bicarbonate ($\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$)
- **Milieu cellulaire** : protéines
- **Hématies (globule rouge)** : hémoglobine

Même si certains tampons prédominent dans

Continuité des tampons entre milieu cellulaire et extracellulaire



Détail du mécanisme :

- ✓ Les protons fabriqués dans la cellule **se fixent aux protéines**
- ✓ Les protéines sont déprotonées
- ✓ Les protons **s'associent aux bicarbonates**, ceux-ci sont donc **consommés**
- ✓ Cela forme alors du CO_2 qui diffuse vers le milieu extracellulaire
- ✓ Le bicarbonate (HCO_3^-) est restitué par les reins et gagne le milieu cellulaire.

Connaître l'état acido-basique d'un individu

L'état acido-basique d'un individu ne se **définit que par 3 grandeurs** (valeurs à connaître) :

Grandeurs	+++Valeurs physiologiques +++
pH	7,38 – 7,42
PCO ₂	36 – 44 mmHg
[HCO ₃ ⁻]	22 – 26 mmol/L

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

Analyse du pouvoir tampon de l'organisme

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

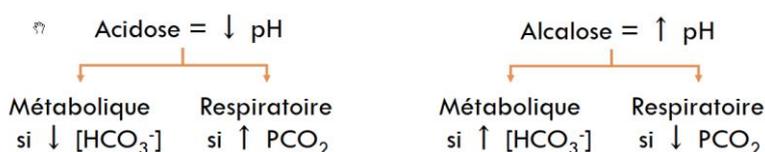
La diffusion du CO_2 vers l'extérieur **augmente avec la fréquence ventilatoire.+++**

En effet, l'hyperventilation permet **d'abaisser la PCO₂ alvéolaire** et ainsi **d'augmenter le gradient de diffusion du CO₂** du sang vers l'air alvéolaire.

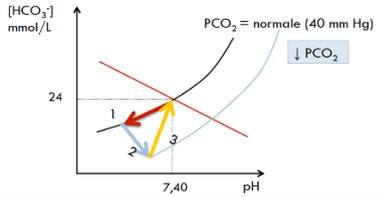
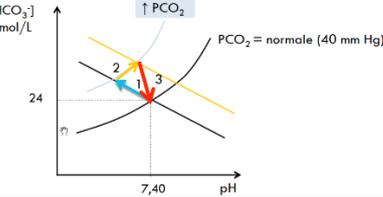
Définition des déséquilibres acido-basique

Lorsque le **pH < 7,38**, l'organisme entre en **acidose**.

Lorsque le **pH > 7,42**, l'organisme entre en **alcalose**.



On distingue les troubles **métaboliques** relatifs aux **reins** et les troubles **respiratoires** relatifs aux **poumons**.

Acidose métabolique	Acidose respiratoire
	
<p>Étape 1 : L'acidose métabolique correspond à une diminution du pH associée à une diminution des bicarbonates (pb rénal). L'hyperventilation n'a pas encore commencé, on reste donc sur le même courbe isobare.</p> <p>Étape 2 : L'individu commence à hyperventiler donc la PCO₂ diminue, on change d'isobare.</p> <p>Étape 3 : Les reins finissent par s'adapter, ils augmentent leur sécrétion de protons et la régénération de bicarbonates pour revenir à l'équilibre. L'hyperventilation s'arrête.</p>	<p>Étape 1 : Diminution de la capacité pulmonaire à éliminer le CO₂. La PCO₂ sanguine augmente, on change d'isobare.</p> <p>Étape 2 : Les reins vont augmenter leur activité pour compenser la défaillance des poumons. Ils augmentent leur sécrétion de protons et la régénération de bicarbonates.</p> <p>Étape 3 : La cause d'acidose respiratoire disparaît, les poumons se remettent à fonctionner normalement et à évacuer le CO₂. La PCO₂ revient à la normale et les reins reprennent leur fonctionnement normal.</p>

Valeurs critiques à connaître

Valeurs au-delà desquelles la survie de l'individu est compromise :

- pH < 7 ou > 7,80
- PCO₂ < 20 mmHg ou > 80 mmHg
- [HCO₃⁻] < 4 mmol/L ou > 44 mmol/L

Origine des alcaloses

✓ Alcaloses métaboliques :

- **Excès de sécrétion rénale de protons** : restitution accrue de bicarbonates
- **Apport excessif de bicarbonates intraveineux (réanimation)**

✓ Alcaloses respiratoires :

- **Augmentation de la ventilation lors d'une crise de tétanie ou par ventilation mécanique (réanimation)**

+++Origine des acidoses+++

Origine des acidoses		
Type d'acidose	Mécanisme	Exemples
METABOLIQUE	Perte de bicarbonates	Fuite rénale, fuite intestinale (diarrhée)
	Diminution de bicarbonates par excès de production d'acides non volatils	Acidose céto-diabétique, intoxication alcoolique aiguë, acidose lactique
	Incapacité à régénérer les bicarbonates	Insuffisance rénale
RESPIRATOIRE	Diminution de la surface d'échange alvéolo-capillaire	Insuffisance respiratoire
	Diminution de la force musculaire	Diminution de la ventilation (épuisement)
	Augmentation de la PCO ₂	Maladie des caissons étanches