

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 :

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

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)**



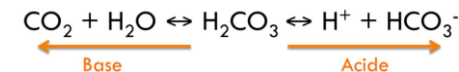
Acide **volatil** : éliminé par les poumons (Exemple : **+++ CO₂ +++**)

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**.



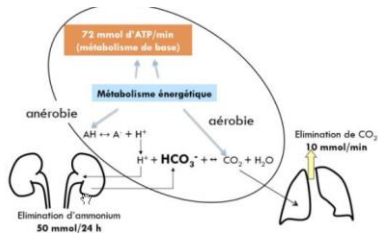
Régulation de ce couple acido-basique par l'organisme

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



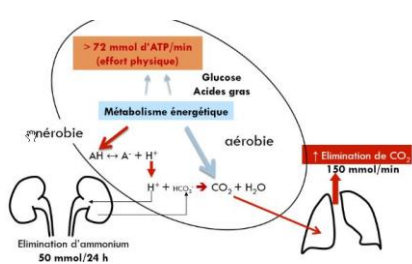
Au repos, le bicarbonate est bien présent dans le sang, le proton s'associe donc au bicarbonate pour former du CO₂. Ce CO₂ produit par le métabolisme aérobie est **directement exhalé (poumons)**

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



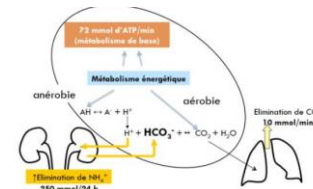
A l'effort, la production de CO₂ et d'acide lactique augmente. L'organisme doit donc évacuer une importante charge acide.

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).

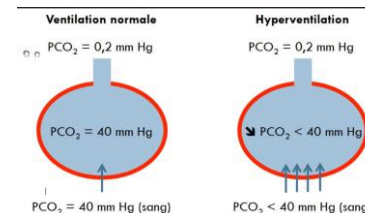
A chaque proton éliminé, un bicarbonate est régénéré dans le milieu intérieur.

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.

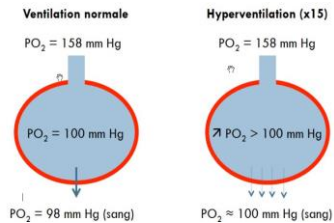
$$\text{Flux de CO}_2 (\text{Sang} \rightarrow \text{air}) = \frac{\text{Surface} \times \Delta \text{pression partielle}}{\text{épaisseur}}$$

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 réflexe 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.

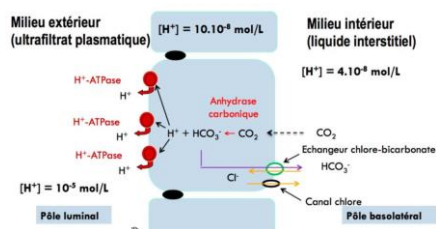
L'hyperventilation est donc un moyen de lutte efficace contre l'acidose. Elle va diminuer la pression partielle en CO₂ de façon conséquente, en revanche, elle n'affectera pas significativement la pression partielle en O₂.

(Cf. diapo TTR pour applications médicales)

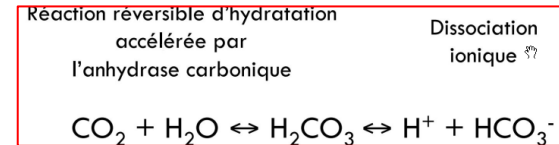
Reins : fabrication du HCO₃⁻

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 NH₄⁺.

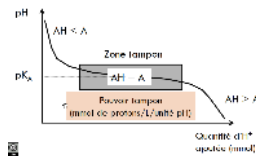
III) Pouvoir tampon de l'organisme Définition

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 couple acido-basique est maximal lorsque le **pH de la solution est égal au pKa du couple**.

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

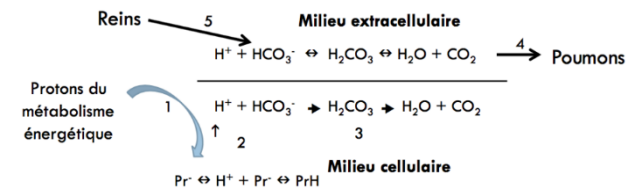
Le bicarbonate est un **tampon volatil** qui se distribue dans **50% du poids du corps**.

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 certains milieux, il est important de noter que tous ces tampons fonctionnent ensemble, de manière synergique.

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
$[\text{HCO}_3^-]$	22 – 26 mmol/L

$$pH = pKa + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{\alpha \text{PCO}_2}$$

Analyse du pouvoir tampon de l'organisme

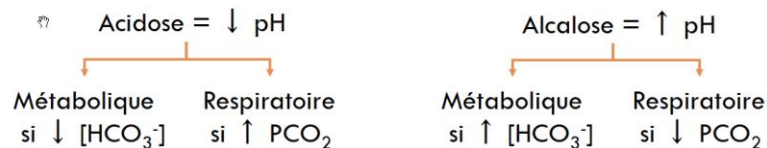
L'organisme **utilise le tampon bicarbonate** en milieu ouvert. La diffusion du CO_2 vers l'extérieur **augmente avec la fréquence ventilatoire.+++**

En effet, l'hyperventilation permet **d'abaisser la PCO_2 alvéolaire** et ainsi **d'augmenter le gradient de diffusion du CO_2** du sang vers l'air alvéolaire.

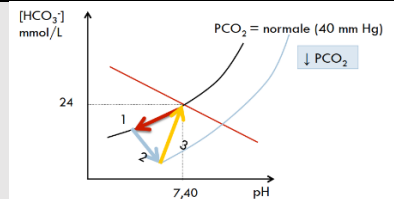
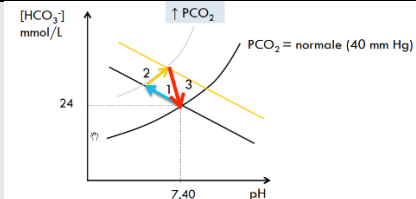
Définition des déséquilibres acido-basique

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>Le graphique illustre l'acidose métabolique. L'axe des ordonnées représente la concentration en bicarbonate $[\text{HCO}_3^-]$ en mmol/L, et l'axe des abscisses représente le pH. Une courbe isobare pour $\text{PCO}_2 = 40 \text{ mm Hg}$ est tracée. Le point 1 est à pH normal (7,40) et $[\text{HCO}_3^-] = 24$. Le point 2 est à pH plus bas (acidose) avec une diminution des bicarbonates. Le point 3 est sur la même courbe isobare mais à un pH plus élevé, montrant la compensation par l'hyperventilation.</p>	 <p>Le graphique illustre l'acidose respiratoire. L'axe des ordonnées représente la concentration en bicarbonate $[\text{HCO}_3^-]$ en mmol/L, et l'axe des abscisses représente le pH. Une courbe isobare pour $\text{PCO}_2 = 40 \text{ mm Hg}$ est tracée. Le point 1 est à pH normal (7,40) et $[\text{HCO}_3^-] = 24$. Le point 2 est à pH plus bas (acidose) avec une augmentation de PCO_2. Le point 3 est à pH plus élevé, montrant la compensation par la rétention rénale de bicarbonates.</p>
<p>Etape 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>Etape 2 : L'individu commence à hyperventiler donc la PCO_2 diminue, on change d'isobare.</p> <p>Etape 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>Etape 1 : Diminution de la capacité pulmonaire à éliminer le CO_2. La PCO_2 sanguine augmente, on change d'isobare.</p> <p>Etape 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>Etape 3 : La cause d'acidose respiratoire disparaît, les poumons se remettent à fonctionner normalement et à évacuer le CO_2. La PCO_2 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 aigüe, 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