

# EQUILIBRE ACIDO-BASIQUE

**Couple acido-basique** : Molécule capable de déplacer l'équilibre entre les ions  $H^+$  et les ions  $OH^-$  en solution aqueuse en :

- Libérant des proton (*il peut acidifier la solution*)
- Acceptant des protons (*il peut alcaliniser la solution*)

## Quelques paramètres constants du milieu intérieur

Estomac	pH très bas ( <i>une pompe à protons acidifie la lumière gastrique</i> )
Cellules	pH = 7
Milieu intérieur	pH très régulé = 7,40 en moyenne
Urine	pH très variable ( <i>de 5 à 8</i> )

**NB** : L'urine est le fluide qui permet de réguler le milieu intérieur, l'organisme y rejette ce qu'il a en trop. Ainsi, les reins sécrètent plus ou moins de protons dans l'urine, en fonction des besoins en régulation de l'organisme.

Le pH du milieu extra-cellulaire varie dans une fourchette très étroite :

- entre 7,38 et 7,42.

La survie est compromise :

- En dessous d'un pH = 7,00
- Au-dessus d'un pH = 7,80.

## Fonctions cellulaires influencées par l'état acido-basique

- Conformation et interaction de **certaines protéines**
- Vitesse des **réactions enzymatiques**
- Transport de l'oxygène par **l'hémoglobine**
- Ouverture des **canaux membranaires** (principalement les canaux ioniques)

L'Hémoglobine est sensible aux variations de pH ; cette propriété est utilisée par l'organisme pour libérer plus facilement de l'oxygène au niveau des tissus où le métabolisme est actif et donc où le pH est plus acide.

Au niveau des tissus -> le pH est **plus acide** => l'Hb **relâche l'oxygène**

Au niveau des poumons -> pH est **moins acide** => l'Hb **fixe l'oxygène**

## L'organisme est soumis à une charge acide en permanence

Cette charge acide permanente provient de **l'oxydation des nutriments**, nécessaire à la fabrication de l'ATP.

Dans l'organisme le métabolisme peut être aérobie ou anaérobie.

En métabolisme aérobie : production de  $CO_2$  exclusivement.

En métabolisme anaérobie : production de  $CO_2$  mais aussi **d'acide lactique** (qui est un acide organique).

Or, dans l'organisme, il y a toujours un endroit où il manque un peu d'oxygène et donc où la production d'ATP entraîne une production d'acide.

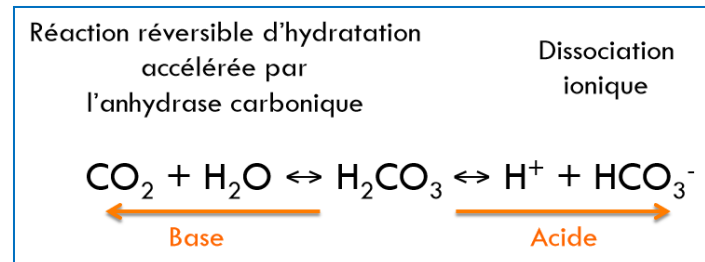
## 2 type d'acides :

- Acides **volatils** :  $CO_2$ , éliminé par voie pulmonaire
- Acides **organiques** (= **acides fixes**) : substances dissoutes (*acide lactique, corps cétonique...*)

## Les bicarbonates : $HCO_3^-$

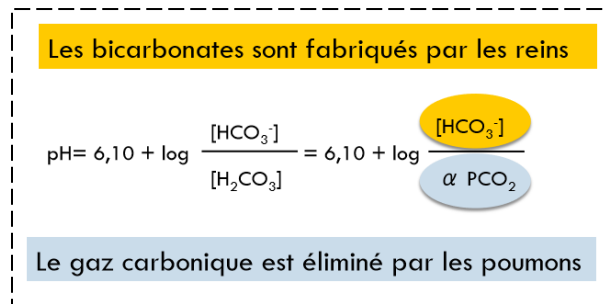
L'acide carbonique est un couple acido-basique qui peut :

- **acidifier** l'organisme via **l'ionisation** de l'acide carbonique
- **alcaliniser** l'organisme via la réaction d'**hydratation**, accélérée par **l'anhydrase carbonique**.



Le couple acido-basique de l'acide carbonique est au cœur de la régulation du pH du sang et des cellules.

Ainsi, le pH de l'organisme dépend notamment de sa concentration en bicarbonates  $\text{H}_2\text{CO}_3^-$  comme le montre la formule suivante.



NB : Bicarbonate  $\text{HCO}_3^-$  ; Acide carbonique  $\text{H}_2\text{CO}_3$

## Rôle des poumons dans la régulation du pH

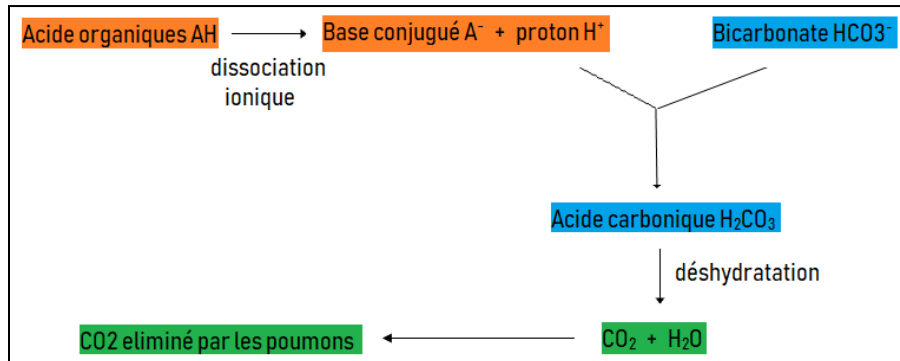
### Rôle des poumons

Le métabolisme anaérobie produit : des Acides organiques AH -> qui se dissocient en base  $\text{A}^-$  et en proton  $\text{H}^+$ .

Les protons vont réagir avec les bicarbonates (*présents en grande quantité dans l'organisme*), formant de l'acide carbonique.

L'acide carbonique est ensuite déshydraté, formant du  $\text{CO}_2$  et de l'eau  $\text{H}_2\text{O}$ .

Le  $\text{CO}_2$ , considéré comme un déchet, est **éliminé par les poumons**.



Le métabolisme aérobie produit : du  $\text{CO}_2$  qui est directement exhalé.

### Rôle des reins

Le métabolisme anaérobie produit : des Acides organiques AH -> qui se dissocient en base  $\text{AH}^-$  et en proton  $\text{H}^+$ .

1] Les reins perçoivent une augmentation de protons et **sécrètent alors plus de bicarbonates  $\text{HCO}_3^-$** . Les bicarbonates réagissent avec les  $\text{H}^+$ , formant de l'acide carbonique qui se déshydrate ensuite en  $\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{CO}_2$  qui sera éliminé par les poumons.

2] Les reins peuvent aussi **excréter des protons** dans l'urine sous forme d'**ammonium  $\text{NH}_4^+$** . L'**ammoniac  $\text{NH}_3$**  trappe les protons, se transforme alors en **ammonium  $\text{NH}_4^+$** , puis est éliminé dans l'urine.

En outre, à chaque proton éliminé, le rein sécrète un bicarbonate dans le milieu intérieur.

NB : La capacité de régulation des poumons est beaucoup plus grande que celle des reins.

## Régulation du pH à l'effort

A l'effort, les métabolismes aérobie et anaérobie augmentent. La fabrication d'ATP en anaérobie produit des acides organiques qui libèrent des protons (*et donc diminue le pH de l'organisme*). Les protons sont trappés par les bicarbonates et éliminés rapidement par les poumons sous forme de  $\text{CO}_2$ .

Pour s'adapter à la brusque augmentation de protons, la **ventilation pulmonaire** (et donc l'élimination de  $\text{CO}_2$ ) peut être **multipliée par 15**.

Cependant, les **reins** ne sont **pas capables de s'adapter rapidement**. Ainsi, la quantité de bicarbonates sécrétés n'augmente pas durant l'effort.

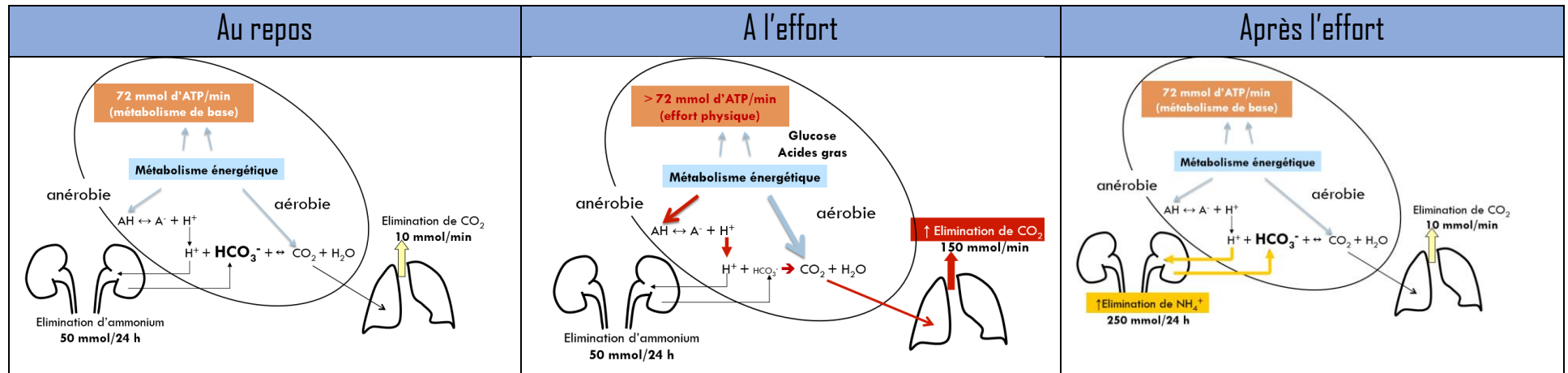
⇒ Élimination du  $\text{CO}_2$  par les poumons + Consommation de bicarbonates.

## Régulation du pH après un effort physique

A l'arrêt de l'effort, les reins sont capables de **multiplier par 5 leur capacité à éliminer des protons** sous forme d'ammonium.

En outre, en éliminant plus de protons, les reins **fabriquent plus de bicarbonates**. En effet, pour chaque proton éliminé, le rein sécrète un bicarbonate dans le milieu intérieur.

⇒ **Régénération des bicarbonates par le rein** (puisque une grande quantité de bicarbonates a été consommée durant l'effort pour trapper les  $H^+$ ).



## Diffusion du $CO_2$ au niveau des poumons

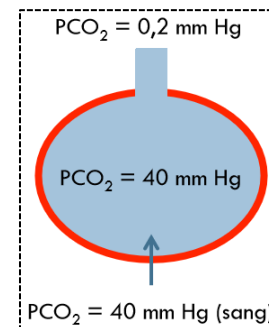
Les échanges gazeux se font au travers de la membrane alvéolo-capillaire, composée de : cellules endothéliales, d'un espace interstitiel, de pneumocytes (cellules épithéliales des alvéoles pulmonaires), du surfactant.

$$\text{Flux de } CO_2(\text{sang} \rightarrow \text{air}) = \frac{\text{Surface} \times \Delta \text{Pression partielle}}{\text{Epaisseur}}$$

La force motrice permettant le passage du  $CO_2$  vers le milieu extérieur, est la **différence de pression partielle en  $CO_2$  entre le sang et l'air alvéolaire**.

### Ventilation normale

Il y a un équilibre entre la pression partielle en  $CO_2$  alvéolaire et sanguine. L'air alvéolaire est un milieu extérieur conditionné par l'organisme ; il a une pression partielle en  $CO_2$  très supérieure à celle de l'air atmosphérique.

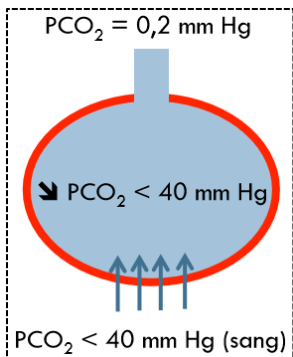


- Le gradient de  $PCO_2$  entre l'air alvéolaire et le sang = **presque nul**.
- Le gradient entre l'air alvéolaire et l'air atmosphérique = **énorme**.  
 La  $PCO_2$  atmosphérique est presque 200 fois moins importante que la  $PCO_2$  alvéolaire.

⇒ Le gradient de diffusion du  $CO_2$  est donc sortant.

## Hyperventilation

En cas d'hyperventilation : la **fréquence respiratoire augmente** => l'air alvéolaire est renouvelé plus fréquemment => la **PCO<sub>2</sub> dans l'alvéole diminue** => le gradient de pression partielle en CO<sub>2</sub> entre l'alvéole et le sang augmente => **augmentation de la diffusion du CO<sub>2</sub> du sang à l'alvéole** => la PCO<sub>2</sub> sanguine diminue.



Lors d'un effort physique, la quantité de CO<sub>2</sub> produit augmente. Ainsi, grâce au mécanisme d'**hyperventilation**, l'organisme peut éliminer davantage de gaz carbonique (= CO<sub>2</sub>).

La **diminution du pH** est détectée par des osmorécepteurs (situés au niveau du tronc cérébral) sensibles aux protons. Cette diminution du pH déclenche alors un **mécanisme réflexe d'hyperventilation** afin d'éliminer plus de CO<sub>2</sub> et ainsi de réguler le pH.

(NB :  $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ \leftrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  ; une diminution de CO<sub>2</sub> favoriserait la réaction chimique dans le sens direct, donc cela entraînerait une consommation de H<sup>+</sup> et de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> afin de former de l'eau et du CO<sub>2</sub> qui sera ensuite éliminé.)

## Dyspnée de Kussmaul

= **Trouble ventilatoire** secondaire à l'**acidose métabolique persistante**.

- **Augmentation de la Fréquence ventilatoire** (mécanisme réflexe)  
Car : Acidose = diminution du pH -> stimulation des chémorécepteurs du Tronc cérébral -> hyperventilation permettant d'évacuer plus de CO<sub>2</sub> et donc de diminuer l'acidité.
- **Mouvement ventilatoire amples et symétriques/réguliers**  
Normalement, la respiration est asymétrique avec une expiration plus longue que l'inspiration.

NB : acidose métabolique = due à une défaillance des reins ; acidose respiratoire = due à une défaillance du système respiratoire.

Marine00

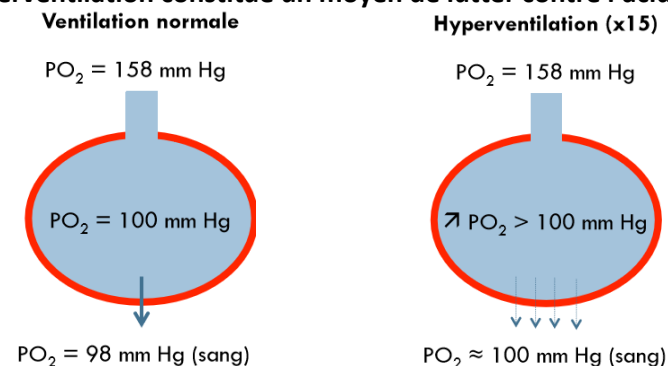
Dans le cas où les reins **ne sont plus capables de fabriquer des bicarbonates** (ex : en insuffisance rénale)

- > des **HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>** sont **consommés** pour fixer les protons. Mais les reins ne peuvent plus fabriquer de nouvelles molécules de bicarbonates HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>
- > les **protons ne sont pas trappés** par les bicarbonates et **restent dans l'organisme**
- > la concentration en protons et donc l'**acidité** du milieu intérieur augmente
- > L'organisme rentre en **acidose métabolique**.
- > Pour lutter contre cette acidose, se met en place : une **hyperventilation permanente** permettant d'évacuer plus de CO<sub>2</sub> et donc plus d'acide via les poumons.
- > Le patient ressent une **dyspnée** (= essoufflement) avec des mouvements amples et symétriques du thorax.
- > C'est la **dyspnée de Kussmaul**.

## Diffusion de l'O<sub>2</sub> et ventilation

Contrairement au CO<sub>2</sub>, il existe un **faible gradient de PO<sub>2</sub> entre l'air alvéolaire et atmosphérique**. Comme la diffusion de l'oxygène est très bonne, la **PO<sub>2</sub> sanguine est quasiment la même que celle de l'alvéole**. Le renouvellement de l'air alvéolaire à partir de l'air atmosphérique augmente peu la PO<sub>2</sub> dans les alvéoles. Donc, une hyperventilation entraînerait une faible augmentation de la PO<sub>2</sub> sanguine.

- ➔ **L'hyperventilation diminue beaucoup la pression partielle en CO<sub>2</sub> dans le sang, sans affecter significativement la pression partielle de l'O<sub>2</sub>.**
- ➔ **L'hyperventilation constitue un moyen de lutter contre l'acidose.**

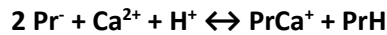


## Hyperventilation et crise de tétanie

Dans l'organisme, **50% du calcium est sous forme liée à des anions ou des protéines**. Les protéines peuvent capter :

- un ion **calcium** pour former du protéinate de calcium
- ou un **proton**.

Les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{H}^+$  sont en équilibre avec les anions protéiques.



En cas de panique, une **hyperventilation non régulée** (= pas déclenchée par une acidose) peut se mettre en place :

- ⇒ Elimination pulmonaire du  $\text{CO}_2$
- ⇒ Diminution  $[\text{H}^+]$  plasmatique
- ⇒ Les sites anioniques des protéines sont libérés des  $\text{H}^+$  et disponibles pour les  $\text{Ca}^{2+}$
- ⇒ La **calcémie ionisée diminue rapidement** (puisque des ions calcium vont se fixer sur les protéines) et devient inférieure à 50%.
- ⇒ Hypocalcémie relative (car diminution de la quantité de calcium dissous = hypocalcémie, mais la quantité totale de calcium reste cependant inchangée).
- ⇒ **Spasmes, fasciculations, contractures** par **anomalie de relaxation du muscle strié squelettique** = **CRISE DE TETANIE**.

La crise de tétanie n'est donc pas issue d'un phénomène pathologique, elle est simplement provoquée par l'anxiété. Pour l'arrêter, il faut :

- calmer l'anxiété du patient afin qu'il **cesse d'hyperventiler**
- faire respirer le patient dans une **atmosphère confinée**.

*La quantité de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère confinée va augmenter, le gradient de diffusion du  $\text{CO}_2$  sera moins important et donc moins de  $\text{CO}_2$  sera évacué.*

## Rôle des reins dans la régulation du pH

### Fabrication de bicarbonates $\text{HCO}_3^-$

La **concentration plasmatique en bicarbonates** est **constante**, autour de 25 mmol/L. Les reins :

- filtrent les **bicarbonates** plasmatiques, mais les réabsorbent immédiatement. L'urine définitive est donc dépourvue de  $\text{HCO}_3^-$ .
- **sécrètent des  $\text{H}^+$**  dans l'urine primitive.

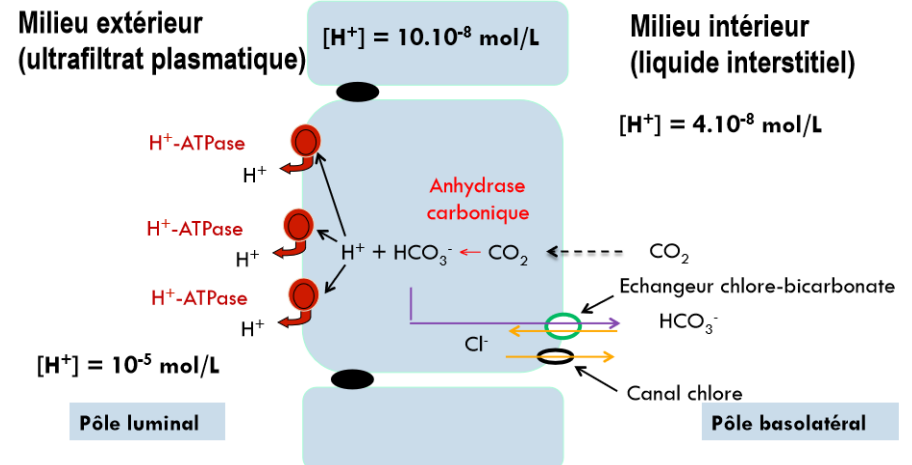
En sécrétant des protons, les reins fabriquent des bicarbonates pour l'organisme. En effet, **à chaque proton sécrété dans l'urine primitive, un bicarbonate est ajouté dans le milieu intérieur**.

### Sécrétion rénale de protons

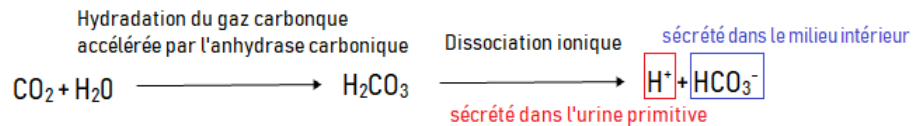
Les cellules épithéliales du rein ont :

- un pôle basolatéral en contact avec le milieu intérieur/plasma
- un pôle luminal en contact avec l'urine primitive (= ultrafiltrat plasmatique).

L'ultrafiltrat est plus concentré que le plasma. Or, le rein filtre les protons du plasma pour les ajouter dans l'ultrafiltrat. Le rein va donc contre l'effet du gradient de concentration, il utilise donc un système actif : la **pompe  $\text{H}^+$ /ATPase**.



Grâce à la réaction d'hydratation du  $\text{CO}_2$  (accélérée par l'anhydrase carbonique) permet au rein de : sécréter un proton et de fabriquer un bicarbonate.



Au niveau de la cellule rénale :

- 1] La réaction enzymatique d'hydratation du gaz carbonique, suivie d'une dissociation ionique permet la **formation de protons et de bicarbonates**. (cf. réaction chimique ci-dessus)
- 2] Les pompes  $\text{H}^+/\text{ATPase}$  sécrètent les **protons dans l'urine primitive** en consommant de l'ATP.
- 3] Les **bicarbonates** sont sécrétés **dans le sang** grâce à un échangeur chlore-bicarbonate.
- 4] Le chlore ressort librement de la cellule via un canal chlore.

### Fixation des protons par les couples acido-basiques

Une fois dans l'urine, les protons ne restent pas ionisés : ils sont trappés par des couples acido-basiques *afin de rester à l'état dissous et pouvoir être éliminés*.

Dans l'urine, les couples acido-basiques pouvant trapper les protons sont : l'**acide phosphorique** et l'**ammoniac**.

En cas d'augmentation de l'élimination des protons dans l'urine, il faut augmenter le nombre de molécules capables de fixer les protons. En conséquence, le nombre de molécules d'**ammoniac augmente** ; cependant, le nombre de molécules d'**acides phosphoriques reste constant**.

Couple de l'acide phosphorique : $\text{H}_2\text{PO}_4^-/\text{HPO}_4^{2-}$	Ammonium/Ammoniac : $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$
La quantité de phosphate dans les urines est régulée par l' <b>alimentation</b> .	Le rein fabrique de l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) par la <b>dégradation des acides aminés</b> .

Ils proviennent des protéines phosphorylées que l'on mange et sont éliminés par les reins.

→ L'organisme ne peut pas augmenter la quantité de  $\text{H}^+$  éliminés grâce à ce couple.

→ Le rein peut **multiplier** la quantité de protons éliminés sous forme d'ammonium **par 5**.

En acidose, le rein fabrique plus d'ammoniac, *ce qui permet l'adaptation rénale à l'augmentation de l'acidité dans l'organisme*.

### Pouvoir tampon de l'organisme

De **manière passive**, l'organisme limite les variations de pH des cellules et du milieu extracellulaire par des **systèmes tampons**.

Ces systèmes tampons sont très variés et sont en communication les uns avec les autres.

### Définitions

**Un tampon** = un couple acido-basique dont la **capacité à fixer des protons limite les variations de pH** des milieux extracellulaires et cellulaires.

**Zone tampon** ; Dans la zone tampon, il faut **beaucoup de protons pour modifier le pH**.

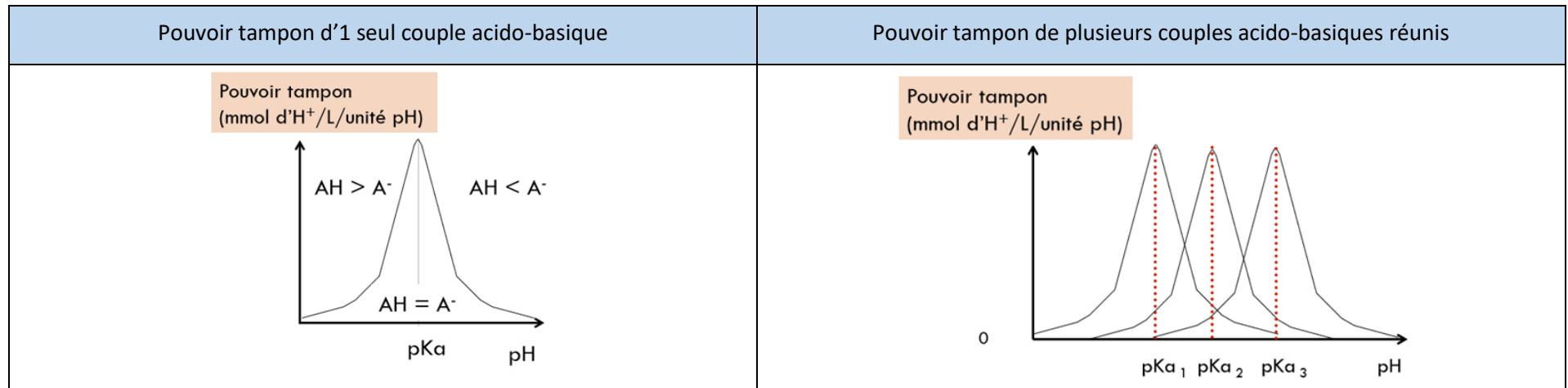
**Pouvoir tampon** = **quantité de protons fixés par un couple acido-basique** par unité de pH et par litre de solution. *C'est un paramètre mesurable. Donc plus le pouvoir tampon est important, plus le couple acido-basique fixe de  $\text{H}^+$  et permet de maintenir un pH constant malgré l'ajout de protons.*

**NB** : Le **pouvoir tampon est maximal** lorsque le **pH** de la solution est **égal au  $\text{pK}_A$  du couple acido-basique**.

**NB bis** : Lorsque l'on est dans la **zone tampon**, le **pH** de la solution est **proche du  $\text{pK}_A$**  du couple acido-basique.

*En effet, zone tampon = zone où il faut bcp de protons pour modifier le pH => zone où le pouvoir tampon est le plus important => pH proche du  $\text{pK}_A$ .*

Dans l'organisme, il existe **plusieurs couples acido-basiques** ayant des  $pK_a$  différents. Les pouvoirs tampon des couples s'additionnent et la **zone tampon s'élargit**.



Il y a 3 couples acido-basiques dans le sang :

- **Acide carbonique/Bicarbonate**
- **Hémoglobine protonée/Hémoglobine**
- **Protéines**

Le tampon bicarbonate se distribue dans **50% du poids de l'organisme**.

Les protéines acceptent des protons au niveau de leur **résidu histidines**.

Les protéines et les acides organiques sont des tampons fixes.

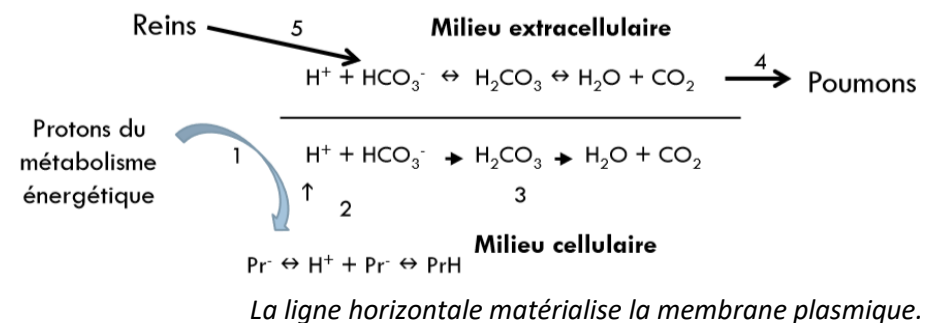
**NB :** On a beaucoup plus de tampons que ce dont on a besoin pour le métabolisme de base, ce qui laisse une large marge pour l'adaptation.

Ces tampons se distribuent dans différents compartiments.

Tissu/compartiment	Système tampon	Tampon principal
Milieu extracellulaire	$\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ Acide phosphorique Protéines	$\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$
Milieu cellulaire	$\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ Protéines	Protéines
Hématies	$\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ Hémoglobine	Hémoglobine

### Continuité des tampons entre les cellules et le milieu extracellulaire

- 1/ Les **nouveaux protons** produits par le métabolisme cellulaire **se fixent aux protéines** pour diminuer la concentration en proton.
- 2/ Les groupements histidines des **protéines sont ensuite déprotonés**.
- 3/ Les **bicarbonates du milieu cellulaire** sont consommés pour s'associer aux protons et **former du  $\text{CO}_2$  (et de l' $\text{H}_2\text{O}$ )**.
- 4/ Le  $\text{CO}_2$  étant un gaz, il **diffuse librement vers le milieu extracellulaire** puis est **éliminé** par voie pulmonaire.
- 5/ Le  $\text{HCO}_3^-$  est restitué/**fabriqué** par les reins et **gagne le milieu cellulaire**.



## Evaluer un désordre acido-basique

Rappel (ronéo 1) : Seul le milieu extracellulaire est accessible à des mesures. (Les milieux extérieurs sont aussi accessibles mais ils n'ont pas d'intérêt ici.)

Les grandeurs mesurables permettant d'évaluer un état acido-basique sont :

- Le **pH**
- La **PCO<sub>2</sub> sanguine**

Sachant que  $\alpha$ , le coefficient de solubilité du CO<sub>2</sub> dans le sang est constant, il est possible de **calculer la concentration en bicarbonates**.

Grandeurs mesurables

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

coefficient de solubilité du CO<sub>2</sub> dans l'eau      pression partielle du CO<sub>2</sub> dans le sang

## Valeurs normales du sang artériel

pH	PCO <sub>2</sub>	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]
<b>7,38 - 7,42</b>	<b>36 - 44 mmHg</b>	<b>22 - 26 mmol/L</b>

**Gazométrie** = examen des gaz du sang. Pour cela, on prélève du sang artériel dans une seringue avec anti-coagulant (héparine de sodium). Il faut ensuite chasser les bulles d'air dans la seringue pour éviter la baisse de la PCO<sub>2</sub> au contact de cet air. La seringue doit ensuite être conservée dans de la glace, empêchant le métabolisme des globules rouges qui consomment de l'O<sub>2</sub> et produisent du CO<sub>2</sub>, faisant diminuer le pH.

## Modélisation chez l'Homme : diagramme de Davenport

L'équation d'Henderson et Hasselbach :

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

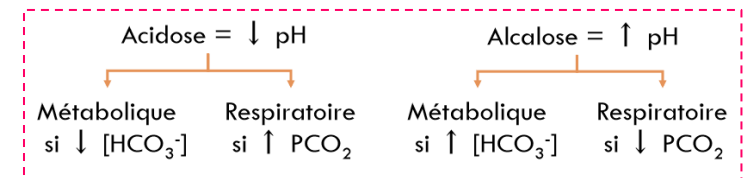
La **représentation graphique** de l'équation d'Henderson et Hasselbach est : le **Diagramme de Davenport**.

Henderson et Hasselbach ont compris le rôle fondamental du couple bicarbonate/acide carbonique dans la régulation du pH. Ils sont à la base des expériences que l'on vient de voir. Davenport arrive après eux et propose un système simple qui permet de comprendre les variations de pH dans un milieu vivant complexe.

## Définition des déséquilibres acido-basiques

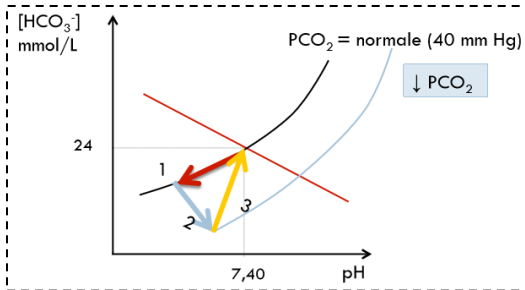
Lors d'un trouble de l'équilibre acido-basique, il faut définir son origine. Il peut s'agir d'un **trouble métabolique** (donc relatif aux reins) **ou respiratoire** (relatif aux poumons).

- **Acidose** : pH < 7,38
- **Alcalose** : pH > 7,42



	pH	PCO <sub>2</sub>	[HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ]
Acidose métabolique	< 7,38	Normale	< 22 mmol/L
Acidose respiratoire	< 7,38	> 44 mmHg	Normale
Alcalose métabolique	> 7,42	Normale	> 26 mmol/L
Alcalose respiratoire	> 7,42	< 36 mmHg	Normale

## Acidose métabolique



### 1. Acidose métabolique aiguë

L'acidose métabolique est la conséquence d'une **perte de bicarbonates** entraînant une diminution du pH (les protons ne s'étant pas associés aux bicarbonates pour être ensuite éliminés).

Dans la phase aiguë, **les poumons ne se sont pas encore adaptés** : ils n'ont **pas commencé à hyperventiler** afin de rejeter plus de  $\text{CO}_2$  (qui est un acide volatil). La  **$\text{PCO}_2$  n'est donc pas modifiée** : on reste donc sur la **même courbe isobare**.

- ⇒ Même  $\text{PCO}_2$  donc on se déplace sur la même courbe isobare.
- Diminution des bicarbonates donc on se déplace vers le bas.
- Diminution du pH donc on se déplace vers la gauche.

### 2. Hyperventilation pulmonaire

La diminution du pH est détectée par les osmorécepteurs du tronc cérébral, ce qui entraîne une **hyperventilation**. Cette adaptation est très rapide. L'hyperventilation permet d'**éliminer davantage de  $\text{CO}_2$** , qui est un acide volatil. Ainsi, la  **$\text{PCO}_2$  sanguine diminue**, on **change donc de courbe isobare**. Par ailleurs, la **quantité de bicarbonates et de protons diminue** puisqu'ils s'associent et forment du  $\text{CO}_2$  (et de l'eau) qui sera rapidement éliminé grâce à l'hyperventilation.

- ⇒ Changement de  $\text{PCO}_2$  donc on change de courbe isobare.
- Diminution des bicarbonates donc on se déplace vers le bas.
- Augmentation du pH car la quantité de protons diminue donc on se déplace vers la droite.

### 3. Augmentation de l'excrétion rénale de protons et de la fabrication de bicarbonates

Les reins s'adaptent plus lentement que les poumons. Le rein **fabrique de l'ammoniac** capable de fixer les protons dans l'urine. Chaque **proton qui reste dans l'urine** (donc est éliminé) correspond à un **bicarbonate ajouté**.

Marine00

**dans le milieu intérieur.** La quantité de bicarbonates augmente et redevient normale, le pH se normalise et l'hyperventilation cesse.

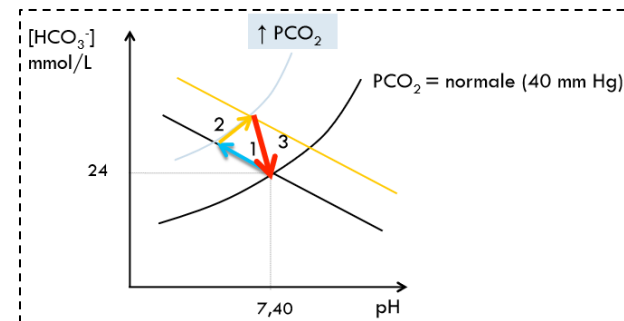
- ⇒ L'hyperventilation cesse donc la  $\text{PCO}_2$  réaugmente, on change donc de courbe isobare.
- Augmentation des bicarbonates donc on se déplace vers le haut.
- Augmentation du pH donc on se déplace vers la droite.

**NB :** Il existe des **situations pathologiques où les déséquilibres persistent**.

Par exemple, les **insuffisants rénaux** resteront au point 2 car ils seront incapables de sécréter davantage de bicarbonates.

Les **insuffisants respiratoires**, en cas d'acidose métabolique, seront incapables d'hyperventiler et auront un pH sanguin plus faible que s'ils avaient une fonction respiratoire normale.

## Acidose respiratoire



### 1. Acidose respiratoire aiguë

Une acidose respiratoire est une **accumulation de gaz carbonique** (= acide volatil), entraînant une **augmentation de la  $\text{PCO}_2$  sanguine**.

Par exemple, un patient avec une infection pulmonaire ne pourra pas jouer de l'entière surface alvéolaire puisqu'une partie de ses poumons est complètement affectée et ne peut permettre les échanges gazeux entre l'air alvéolaire et le sang. Ainsi, chez ce patient, le  $\text{CO}_2$  peut s'accumuler dans le compartiment sanguin sans être évacué.

Le  $\text{CO}_2$  s'accumule et s'associe avec des molécules d'eau pour **former des protons et des bicarbonates**.

- ⇒ Augmentation de la  $\text{PCO}_2$  donc changement de courbe isobare.
- Augmentation de la quantité de bicarbonates donc on se déplace vers le haut.
- Diminution du pH donc on se déplace vers la gauche.

## 2. Augmentation de la fabrication rénale de bicarbonates

La  $\text{PCO}_2$  ne change pas car le **poumon est malade** et ne peut donc pas hyperventiler. Cependant, les reins s'adaptent à cette diminution de pH : ils **éliminent davantage de protons** et **fabriquent plus de bicarbonates**. Ainsi, le **pH augmente** et l'acidose respiratoire est un peu compensée.

- ⇒ La  $\text{PCO}_2$  ne change pas donc on reste sur la même courbe isobare.  
Augmentation des bicarbonates donc on se déplace vers le haut.  
Augmentation du pH (*bien qu'il ne soit pas revenu à sa valeur normale*) donc on se déplace vers la droite.

## 3. Disparition de la cause de l'acidose respiratoire, élimination des bicarbonates

Si la cause de l'acidose respiratoire disparaît, alors le  $\text{CO}_2$  peut à nouveau **être évacué normalement** donc la  $\text{PCO}_2$  **diminue**. En conséquence, le **pH se normalise** et les reins **cessent de produire autant de bicarbonates**.

- ⇒ La  $\text{PCO}_2$  diminue donc on change de courbe isobare.  
Diminution des bicarbonates donc on se déplace vers le bas.  
Augmentation du pH donc on se déplace vers la droite.

*Suite ->*

## Origines des acidoses et alcaloses

La  $\text{PCO}_2$  compatible avec la vie est comprise **entre 20 et 80 mmHg**.

### Origines des acidoses

Type d'acidose	Mécanisme	Exemple
Métabolique	Perte de bicarbonates	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Fuite rénale</b> : incapacité à réabsorber des bicarbonates.</li> <li>➤ <b>Fuite intestinale</b> : le pancréas alcalinise la lumière du duodénum avec des bicarbonates. Si le transit s'accélère (diarrhée), on va perdre davantage de bicarbonates et se retrouver en acidose.</li> </ul>
	Diminution des bicarbonates par excès de production d'acides non volatils : le métabolisme anaérobie augmente, on produit trop de corps cétoniques et d'acides lactiques.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Acido-cétose diabétique</b> : quand un diabétique insulino-traité arrête son insuline, il se retrouve en acido-cétose.</li> <li>➤ <b>Intoxication éthylique/alcoolique aiguë</b> : L'organisme utilise les acides gras pour fabriquer des corps cétoniques (=source d'énergie). On se retrouve en acidose métabolique aiguë, c'est pour cela que le coma éthylique aboutit parfois au décès.</li> <li>➤ <b>Acidose lactique</b> : effort intense en anaérobie, entraînant la production d'acide lactique et de corps cétoniques.</li> </ul>
	Incapacité à régénérer les bicarbonates	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Insuffisance rénale</b> : diminution de la fabrication des bicarbonates.</li> </ul>
Respiratoire	Diminution de la surface d'échange alvéolo-capillaire : le $\text{CO}_2$ diffuse moins bien.	C'est le cas lors d'une <b>insuffisance respiratoire</b> qui peut être causée par de l'emphysème, une pneumonie, une lobectomie...
	Diminution de la force musculaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Si on est en acidose métabolique depuis longtemps, et que l'on <b>hyperventile sans cesse</b> : le <b>système va au fur et à mesure s'épuiser</b>. Donc, on va rentrer en insuffisance respiratoire et en acidose respiratoire.</li> <li>➤ <b>Maladies neurodégénératives</b> : il n'y a plus de motoneurones, ainsi la contraction du diaphragme permettant la ventilation, n'a plus lieu.</li> </ul>
	Augmentation de la $\text{PCO}_2$	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Caisson étanche</b></li> </ul>

## Origine des alcaloses

Les alcaloses sont généralement liées à des **erreurs de réanimation** ou des **erreurs de traitement** en phase aiguë.

### Origines des alcaloses métaboliques

- **Excès de sécrétion rénale de protons** : restitution accrue de bicarbonates.
- **Apports excessifs de bicarbonates intraveineux** (réanimation).

### Origines des alcaloses respiratoires

- **Augmentation de la ventilation** lors d'une **crise de tétanie** ou par **ventilation mécanique** (réanimation) : augmentation de la diffusion du CO<sub>2</sub>.

## Exploitation du diagramme de Davenport

Sur le diagramme de Davenport, on peut **localiser les différents troubles acido-basiques** : acidose et alcalose respiratoire ou métabolique.

On peut également **distinguer** les **acidoses respiratoires aiguës et chroniques**.

**NB** : On **ne caractérise pas les acidoses/alcaloses métaboliques d'aiguë ou chronique** parce que l'adaptation est immédiate. En effet, lorsqu'on est en acidose/alcalose métabolique, les **poumons réagissent tout de suite**.

En revanche, pour les **troubles respiratoires**, on **différencie les troubles chroniques et aigus**. En effet, les **reins réagissent doucement** : entre la phase aiguë et la phase chronique, quelques jours sont nécessaires.

Le diagramme de Davenport est une modélisation fondamentale pour pouvoir interpréter une gazométrie chez un patient.

## Limites à l'utilisation diagnostique du diagramme de Davenport

- Diagramme bâti à partir de modèles expérimentaux → **transposition imparfaite à l'organisme humain**.
- Diagramme **basé sur l'existence de troubles simples**, soit respiratoire, soit métabolique → les **troubles mixtes sont fréquents en médecine**.
- Le **diagramme se transpose très bien en terme qualitatif** mais **pas en terme quantitatif**. Ainsi, il ne faut pas chercher à situer un point précisément.

# FIN

*Ce cours est plutôt intéressant ! En outre, il introduit des notions qui vous serviront dans les années supérieures ++  
Donc, apprenez-le bien !!*