Pr Favre

Julianticorps

# Equilibre acido-basique

REEEEE PULL UP, c'est le retour de la physio en lau comme à son habitude, aujourd'hui cours sur l'équilibre Acido-basique, TOP 3 des meilleurs cours de P1 et il n'est pas troisième...

Il peut faire un peu peur à première vue MAIS il est trop cool à bosser puisque la on rentre vraiment dans du concret, tres interessant vous allez comprendre plein de truc qui se passe dans votre organisme et en plus ce cours tombe TOUT LE TEMPS à l'exam DONC on impasse pas... De toute facon personne n'impasse la physio ! (je vous retrouverai)

Il ne me reste plus qu'à vous souhaitez bonne dégustation. J'aimerais être vous pour le revoir pour la première fois... #cestlesemotions

Au boulot coquelicot !



*Mme Monet et son fils, Claude Monnet, 1875*

## I Généralités :

### 1) Définitions

Pour savoir de quoi on parle voici quelques définitions (*que vous avez du déja voir au lycée*):

- **Acide** : espèce capable de **céder** un ou plusieurs **protons**
- **Base** : espèce capable de **capter** un ou plusieurs **protons**
- **Couple acido-basique** : ensemble formé par un acide et sa base **conjuguée**, qui diffèrent d'un proton $H^+$.

### 2) Ionisation de l'eau :

lorsqu'une molécule d'eau se dissocie, elle va former deux types d'ions : un ion H+ et un ion OH-, le tout en **quantité très faible** ($10^{-7}$ mol/L à 25°C)
→ la constante de dissociation KH2O permet de quantifier cette ionisation :

$$KH2O = \frac{[H+] \times [OH-]}{[H2O]}$$

Comme vous pouvez le voir KH2O est **proportionnelle** au produit de la concentration des ions HO- et des ions H+, le tout divisé par l'activité d'un liquide (ici l'eau) **qui vaut toujours 1**
!! les crochets signifient concentration (*vu au lycée*)

IMPORTANT : dans le cadre du chapitre réaction acido-basique on peut faire face a **3 cas de figure differents !!**

**SOLUTION NEUTRE** : le pH = 7
$[H+] = 10^{-7}$ mol/L = 100 nmol/L
ces valeurs sont propres à une eau à 25°C, cela permet de définir la neutralité acidobasique

**SOLUTION ACIDE** : le pH < 7
$[H+] > 10^{-7}$ mol/L ou 100 nmol/L

**SOLUTION BASIQUE** : le pH > 7
$[H+] < 10^{-7}$ mol/L ou 100 nmol/L

**ATTENTION** ne vous emmelez pas les pinceaux avec les signes, prenez bien le temps de comprendre (*même si je pense que beaucoup d'entre vous ont déjà vu ça au lycée encore une fois*)

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

Pour résumer :

Une solution s'acidifie si la concentration en protons H+ augmente ==> **pH DIMINUE**
Une solution s'alcalinise si la concentration en protons H+ diminue ==> **pH AUGMENTE**

## 3) Echelle logarithmique :

les couples acido-basique possèdent une **constante de dissociation** que l'on exprime en échelle logarithmique pour son côté pratique :

$$pH = pKa + log\frac{[A-]}{[AH]}$$

On en déduit **2 formules** (*qu'il faut connaitre !!*) :

pH = -log[H+]

pK = -log(K)

## 4) Liquides biologiques :

comme vous vous en doutez, la concentration en proton n'est **pas uniforme** dans tout le corps, ces dernières varient :

| Lieu concerné | Caractéristique de pH |
|---|---|
| **Estomac** | Le pH est très bas, environ 100 mmol.L$^{-1}$. C'est l'endroit les plus acides de l'organisme<br>° **pH = 1** |
| **Cellules** | La concentration en protons est à 100 nmol.L$^{-1}$<br>° **pH = 7** |
| **Milieu extracellulaire** | La concentration en protons est à 40 nmol.L$^{-1}$<br>° **pH = 7,40** |
| **Urine** | Possède un pH extrêmement variable. Elle est un émonctoire variant sa composition selon les besoins de l'organisme<br>° **5 < pH < 8** |

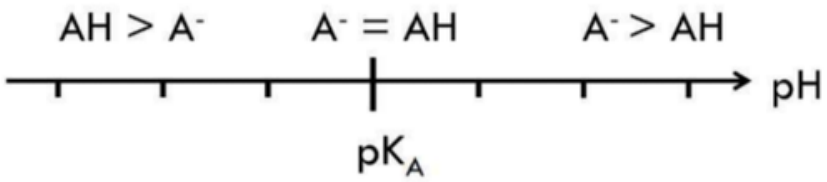
**!! les valeurs du tableau sont a connaitre**

## 5) Echelle de pH et pKa :

comme vu au lycée : on peut situer le pKa sur une **echelle de pH** pour matérialiser la **prédominance** d'une forme sur une autre

**Rappel** : vous pouvez calculer le **pKa** via les formules que je vous ai donné au dessus, cette constante permet de comparer la force des acides et des bases

vous avez juste ici un schéma qui illustre le principe :




comme vous pouvez le déduire à partir du schéma :

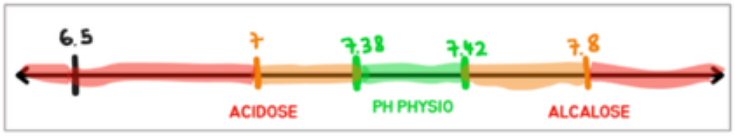
- Si le **pH < pKa** alors la forme liée AH (acide du couple) **prédomine**
- Si le **pH > pKa** alors la forme dissociée A- (base du couple) **prédomine**

## 6) Importance de l'équilibre acido-basique :

Le milieu intérieur de l'organisme est soumis à une régulation homéostatique constante, c'est a dire que le milieu intérieur est extremêment régulé, son pH varie entre **7,38 et 7,42** (**VALEURS IMPORTANTES**) ainsi la survie d'un patient peut être compromise SI :

pH >= **7,80**
pH <= **7,00**

ces valeurs sont importantes, vous devez les **retenir** !!! Je vous rajoute le schéma bonus de ma vieille YoungmiNa+ pour mieux visualiser :




Plusieurs fonctions dépendent et sont **influencés** par l'état **acido-basique** du milieu intérieur ainsi de trop grandes variations pourraient endommager leur fonctionnement :

ouverture des **canaux membranaires**

vitesse de réactions **enzymatiques**

conformation et interactions de certaines **protéines**

transport de l'oxygène par **l'hémoglobine**

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

comprenez bien le rôle du pH et comment est ce qu'on le **represente/quantifie**, il a un rôle primordial au sein du corps humain et participe à **l'homéostasie** générale

!! Variation de pH **trop importante** = réaction en chaine = problème = vous devez être capable de le voir/comprendre/identifier

comme le dit bien ma vieille : **!! ne confondez pas le milieu intérieur et exterieur !!**

RAPPEL

- M**ILIEU intérieur** : extremêment régulé, ou il y a de faibles variations de constantes (sinon il peut y avoir des conséquences graves sur la santé #onvapaslachercher)
- M**ILIEU EXTERIEUR** : composition variable (permet justement de maintenir les constantes du milieu intérieur)

## II. Vue d'ensemble de l'équilibre acido-basique :

### 1) Charge acide permanente

*la on va passer au coeur du sujet, en expliquant le mécanisme global qui englobe les réaction acide base qu'on observe dans notre corps*

HYPER IMPORTANT : **l'organisme est soumis à une charge acide permanente +++**

l'équilibre acido-basique de l'organisme est en permanence **menacé**. La charge acide provient de la dégradation des **AA et du métabolisme énergétique**. La charge acide est **inéluctable** !! Le pH va pouvoir être maintenu grâce à deux organes : **POUMONS** et **REINS** via l'intermediaire du couple acido-basique de **l'ACIDE CARBONIQUE.**

il existe deux types de métabolisme qui n'ont pas les mêmes déchets :

- métabolisme **AEROBIE** : production de CO2 exclusivement
- métabolisme **ANAEROBIE** : production de CO2 et d'ACIDE LACTIQUE

→ **IMPORTANT** :

CO2 = acide **volatil**

acide lactique = **acide fixe**

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

## 2) Acide carbonique H2CO3 :

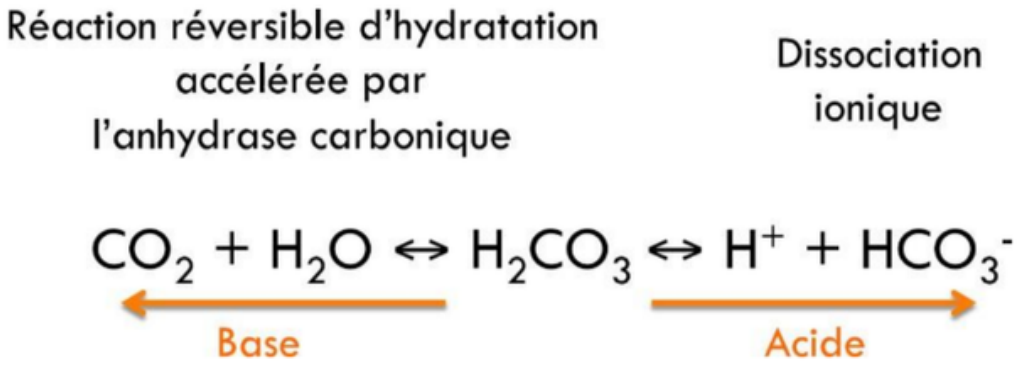
le couple **bicarbonate/proton** est au coeur de la régulation du pH du sang et des cellules, il est extrêmement abondant et régulé par les **reins** et les **poumons** :

- **REINS** = fabrication de bicarbonates ($HCO3^-$)
-**POUMONS** = élimination de CO2 (via l'expiration)

Les H+ (acide) vont :

- soit être **éliminé** par les reins sous forme d'ammonium ($NH4^+ = NH3 + H^+$) (éliminé par l'urine)
- soit s'associer à un bicarbonate ce qui donne un acide carbonique qui peut se dissocier en CO2 et H20

*je vous mets le schéma de la réaction tel qu'il est dans le cours, ça aide bien à comprendre ce qu'il se passe globalement, si ça ne vous parait pas clair tout de suite, essayez de passer un peu de temps à comprendre car ces réactions sont vraiment essentielles et à la base du chapitre !! en physio on comprend avant d'apprendre c'est vraiment super important !!!!*




**IMPORTANT** à comprendre : l'acide carbonique H2CO3 peut **ACIDIFIER** ou **ALCALINISER** l'organisme, c'est un couple acidobasique :

Il **acidifie** via **l'ionisation** de l'acide carbonique

Il **alcalinise** via **l'hydratation** du gaz carbonique

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

RAPPEL des differentes espèces chimiques qu'on croise dans ce cours pour ne pas s'emmêler les pinceaux :

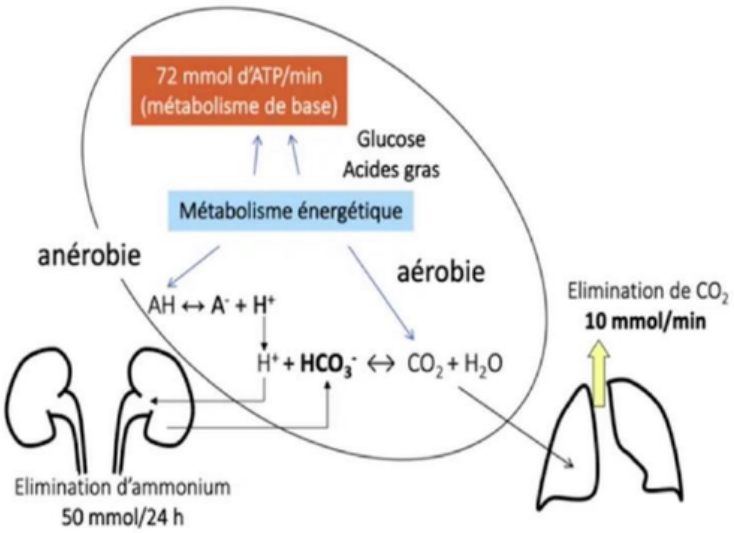
- bicarbonates : $HCO3^-$
- acide carbonique : H2CO3
- gaz carbonique : CO2

*faites bien la diff entre les espèces, ca peut aller vite de se tromper dans un qcm ou de tomber dans un piège si vous voyez ce que je veux dire !!!!!!!! ;)*

## 3) Rôles des reins et des poumons

### a) Au repos :

Au repos, l'organisme assure le métabolisme de **base** avec la fabrication d'ATP **minimale**. Le fonctionnement est principalement **aérobie**. L'acide produit par ce métabolisme de base (CO2) est principalement éliminé par les **poumons**. Une partie minime est **anaérobie**. A savoir que les bicarbonates sont en large **excès** dans le sang.




alors que deviennent les H+ produits ?

→ ils peuvent :

- s'associer à un NH3 ce qui donne un **NH4+** (ammonium) qui peut être éliminé par les **reins** +++

- être **piégé** par un bicarbonate ce qui donne un H2CO3 (acide carbonique) qui se dissociera en CO2 et H2O, le CO2 produit sera alors **éliminé par les poumons.**

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

## b) A l'effort :

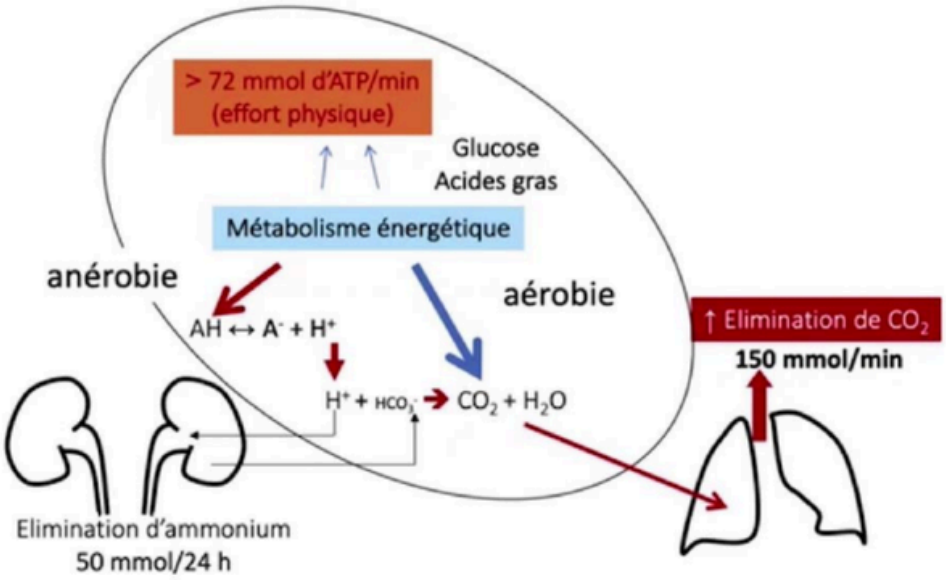
Lors d'un effort les **besoins énergétiques** augmentent on aura besoin de plus d'**ATP**. Ainsi la production de **CO2** et **d'acide lactique** augmente (ce sont des produits secondaires du métabolisme énergétique). Ainsi les métabolismes **aérobie** et **anaérobie** augmentent.

**INFO IMPORTANTE** : les poumons s'adaptent **immédiatement +++++++** et se mettent à éliminer jusqu'à **15 fois plus de CO2**, ce qui donne le phénomène **d'hyperventilation** (*on expire plus donc on élimine plus de CO2 qui, je le rappelle, est un acide*)

les reins continuent à sécréter les protons mais sont **incapables** d'augmenter l'élimination des protons dans l'immédiat !
**INFO IMPORTANTE** : **les reins ne s'adaptent pas à l'effort ++++++**

*retenez bien quels rôles à chaque organes et si oui ou non il s'adapte rapidement à l'effort, ca permet vraiment de comprendre le fonctionnement des mécanismes qui se cachent derrière ce cours*

Pour limiter la charge acide les $H^+$ vont être trappés par les bicarbonates pour former H2CO3 qui se dissociera en H2O et CO2 qui lui pourra alors être éliminé par les poumons. Le taux de bicarbonates va donc diminuer On dit que le pouvoir tampon du bicarbonate est **amputé**.




*Ainsi, chaque ion bicarbonate ($HCO3^-$) peut attraper un ion $H^+$, diminuant ainsi la charge acide. Donc si la concentration en bicarbonate diminue, le pouvoir tampon va diminuer. En gros, on a moins de marge pour corriger l'acidité, on pourra moins se permettre de diminuer le pH car l'organisme aura moins de bicarbonates en stock !*

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

*désolé il y a beaucoup de texte dans cette partie mais on est obligé d'y passer, l'important c'est de comprendre comment ça fonctionne, posez vous des questions pour voir si vous avez vraiment bien compris, ne passez pas a la suite sans être capable de vous expliquer à vous même ce que vous avez lu !!!*

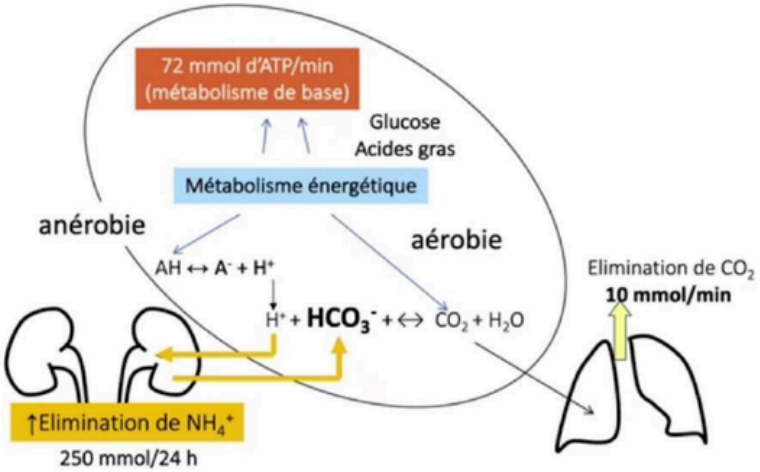
## c) Après l'effort :

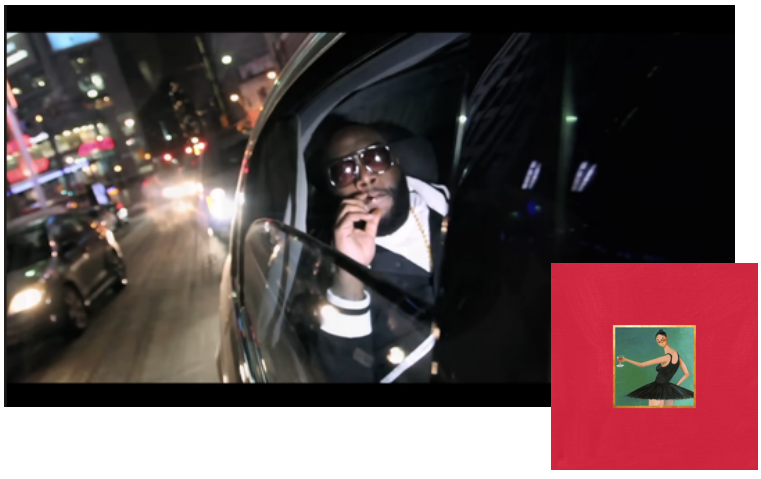
A **l'arrêt** de l'effort, la demande énergétique **diminue**, on a un retour à la normale de la ventilation.

Les reins eux sont des organes « **longue détente** », en effet c'est à l'arrêt de l'effort qu'ils s'adaptent (ils mettent du temps à s'adapter). Lorsque les reins éliminent un proton alors un bicarbonate est régénéré.

A l'arrêt de l'effort, les reins vont **éliminer jusqu'à 5 fois plus de protons** et ainsi **générer 5 fois plus de bicarbonates** (*si ce n'est pas très clair pour vous on revoie ça dans la suite*). A l'étape précédente les bicarbonates avaient été consommés et leur pouvoir tampon amputé. Grâce à l'adaptation des reins, les bicarbonates sont régénérés et le pouvoir tampon revient à la normale

INFO IMPORTANTE : **La capacité de régulation des poumons est plus importante que celle des reins (x15 contre x5)**



*Je me sentais comme Rick Ross dans le clip de Devil in a new dress en revenant de l'exam du S2, j'avais flingué les QCM, il faisait bon, le soleil commençait à se coucher, j'écoutais son couplet en boucle j'étais tellement bien, tellement libéré.*

*Bientôt c'est votre tour ! Vous verrez c'est la meilleure sensation du monde…*

*God bless the man I put this ice over*

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

## 4) Charge acide : aliments et métabolisme énergétique

La dégradation des acides aminés et le métabolisme énergétique produisent cette charge acide **permanente**. La phosphorylation oxydative (cf. bioch) produit des **acides**. On produit énormément de **gaz carbonique** (14 400 mmol/j) et de manière plus modeste, des anions organiques associés à des **protons** (70 mmol/j).

Petit tableau récap :

| | H+ et $HCO_3$- | H+ et anions organiques |
|---|---|---|
| Production | 14 400 mmol/jour | 70 mmol/jour |
| Elimination | Pulmonaire sous forme de $CO_2$ | Rénale sous forme d'ammonium et d'acide phosphorique |

La dégradation des nutriments produit une charge acide :

**Protéines** → glucose + urée + acide phosphorique + acide sulfurique + CO2

**Glucose** → CO2 ± acide lactique + ATP

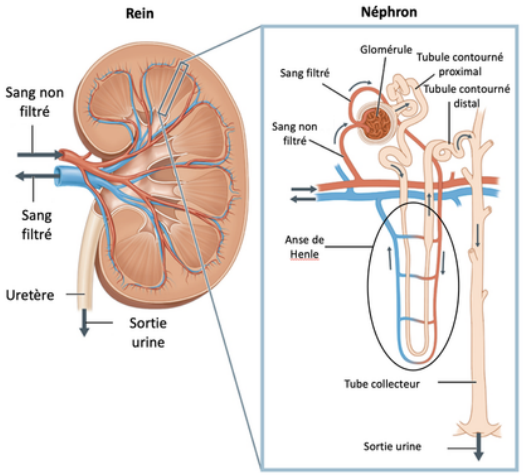
**Acide gras** → CO2 ± corps cétonique + ATP

# III. Rôle des reins

Les reins ont un rôle très **important** dans l'équilibre acido-basique notamment par la **réabsorption** de bicarbonates et la **sécrétion** de protons

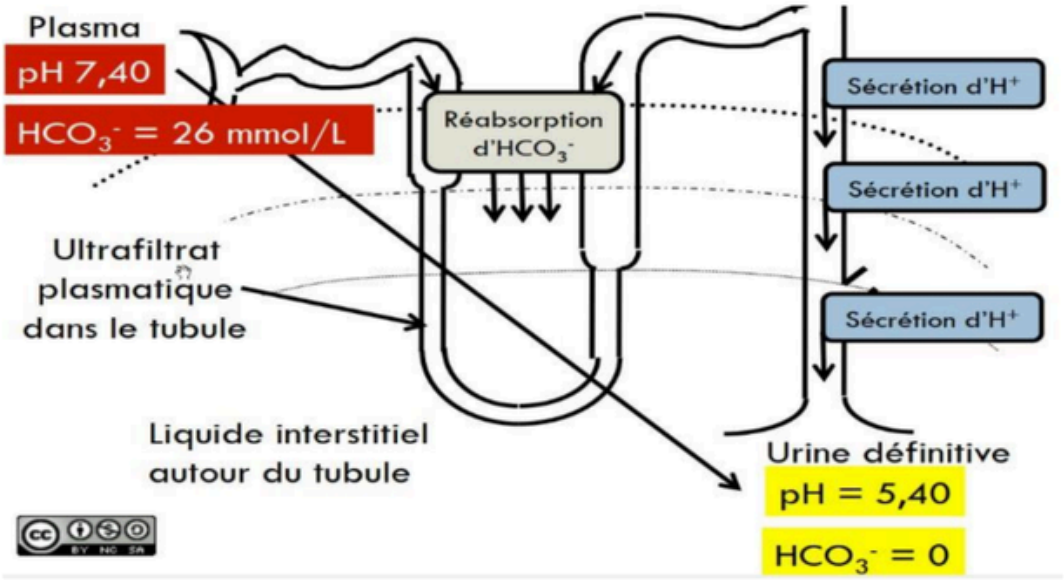
## 1) Réabsorption des bicarbonates et sécrétion des protons

Pour bien comprendre cette partie du cours, commençons par detailler un peu la structure du rein (*petit spoil d'anat PB du S2...*)




*Petite aide : Le néphron est l'unité fonctionnelle du rein. Glomérule et tubule sont des petites structures de filtration présentes dans les reins !*

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite




A l'intérieur du tubule il y a ce qu'on appelle de **l'ultrafiltrat plasmatique** qui circule et qui est voué à devenir **l'urine définitive**. Tout autour circule le **liquide interstitiel**.

La **réabsorption** des bicarbonates se fait du fluide dans le tubule **vers** le liquide interstitiel. Vous devez savoir que l'urine définitive est **dépourvu de bicarbonates** ainsi TOUS les bicarbonates sont réabsorbés !

En **distalité** du tubule, les protons vont être sécrétés du liquide interstitiel **vers** le fluide tubulaire ce qui explique le pH bas de l'urine (*entre 5 et 8 cf le tableau plus haut A CONNAITRE !!*). La sécrétion des protons est **variable** et dépend de **l'état acido-basique** de l'organisme. Ainsi, suivant les besoins de ce dernier, l'urine sera plus ou moins enrichie en **protons** (*s'il y en a beaucoup à éliminer, l'urine sera beaucoup plus acide et inversement…*)

La sécrétion rénale de protons est un phénomène **ACTIF** utilisant les pompes H+ ATPases situées aux pôles **lumineux** (*en gros proche de la lumière du milieu exterieur*) des cellules rénales et séparés par des **jonctions serrées**. Pourquoi utiliser un phénomène actif ? Et bien la sécrétion va pouvoir se faire **contre le flux de diffusion** (donc besoin de forcer les choses) c'est à dire vers l'urine primitive.

Rappel :

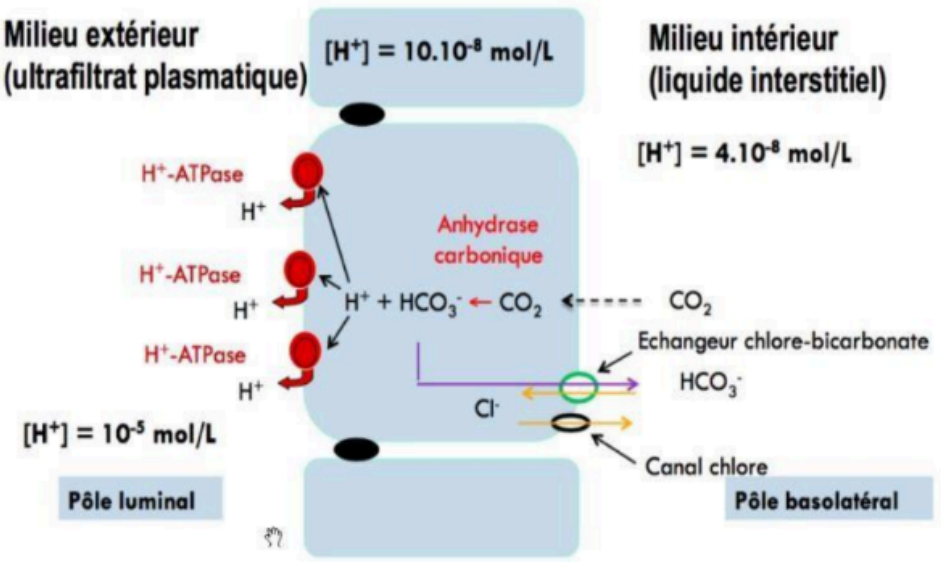
**Transport actif** → nécessite de l'ATP pour fonctionner

**Transport passif** → ne nécessite pas d'ATP pour fonctionner

(*je le fais pour la sécu mais normalement vous le savez… Attention je vous vois*)

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

*Encore une fois je vous donne un avant gout de mon cours sur les flux transépithéliaux car je suis un gars très généreux…*




*Je vous détaille le schéma parce que je suis aussi un mec sympa non je rigole c'est mon travail, suivez bien avec les explications !*

- Le CO2 (acide) produit par le **métabolisme** rentre dans la cellule et est **hydraté**, cela va donner de l'acide carbonique H2CO3 qui va donner lui même un bicarbonate et un proton.

- Le bicarbonate produit va être **sécrété** vers le milieu **intérieur** grâce à l'échangeur chlore bicarbonate.

- Le chlore peut ensuite diffuser **librement** grâce aux **canaux chlore**.

- Enfin, le proton va lui être sécrété vers l'ultrafiltrat plasmatique grâce aux pompes H+ ATPases situées du côté **luminal** des cellules rénales.

*Facile non ?*

## 2) Fixation des protons dans l'urine

Les protons vont alors rester dans l'urine car ils vont s'y retrouver sous forme **liée**. Ce phénomène s'explique par les **pKa des couples acido-basiques** favorables aux formes liées.

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

La fixation des protons dans l'urine est rendu possible grâce à **deux couples acido-basiques** :

**Le couple ammoniac/ammonium (NH3/$NH4^+$)**, ce dernier possède un pKa = 9,20. L'urine primitive possède elle un pKa inférieur donc la forme liée (acide) prédomine. Ainsi les protons vont s'associer à l'ammoniac qui va former de l'ammonium.

Ce couple est extrêmement **éfficace** pour fixer les **protons** dans l'urine, en effet, l'ammoniac étant produit par les reins, sa concentration **va pouvoir augmenter** afin de fixer plus de protons lors d'une **acidose**. Ce couple est donc responsable de la **capacité rénale d'adaptation** lors d'une acidose !

**L'acide phosphorique (H3PO4/$H2PO4^-$),** ce dernier possède un pKa = 6,80. L'urine définitive a généralement un pKa inférieur , ainsi les protons vont pouvoir s'associer à l'acide phosphorique.

Cet acide phosphorique provient de **l'alimentation**, il n'est donc pas fabriqué par **les reins**, on ne pourra donc **pas augmenter** le nombre de protons éliminés par ce couple !

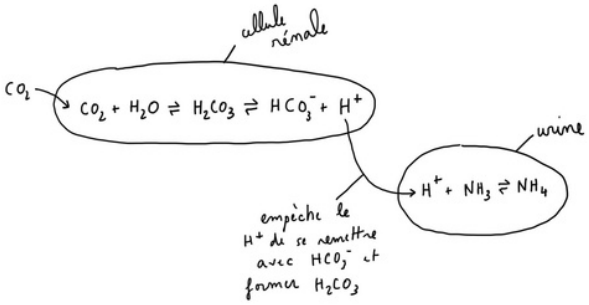
Dans le modèle présenté par le professeur, l'excrétion nette d'acide est principalement assurée par $NH_4^+$ et les acides titrables, notamment le phosphate :

- **NH3** (ammoniac) correspond **à 75% des bicarbonates**. On va avoir une augmentation possible **d'un facteur 5**, cela dépend de la production rénale.

- **$H2PO4^-$** (acide phosphorique) correspond **à 25% des bicarbonates**. Ici, **pas d'augmentation possible**, cela dépend des apports alimentaires.

Les protons issus de la dissociation de H2CO3 en $HCO3^-$ et $H^+$ vont être tamponnés à 75% et 25% par l'acide phosphorique et l'ammoniac. Ainsi, ces deux tampons permettent **indirectement** la fabrication de 75% et 25% de bicarbonates...

Pourquoi ? Parce que si le H+ n'était pas tamponné (emprisonné avec une autre molécule) il pourrait se réassocier avec le bicarbonate pour reformer H2CO3 !




*j'ai essayé de vous faire un dessin pour que ce soit plus parlant pour vous, si ça ne vous aide pas, ne vous attardez pas dessus*

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

RECAP :

Les reins réabsorbent les bicarbonates et sécrètent les protons

L'excrétion d'un $H^+$ sous forme de $NH_4^+$ ou d'acide titrable permet la génération d'un nouveau $HCO_3^-$ dans le sang

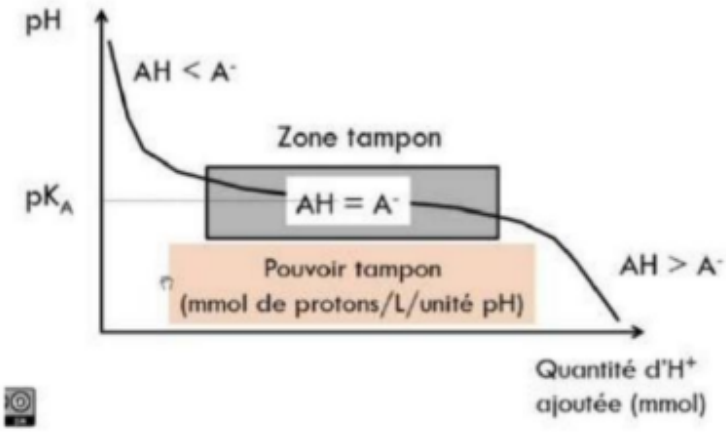
Dans l'urine, les protons sont principalement associés avec de l'ammoniac et de l'acide phosphorique

Le bicarbonate et son pouvoir tampon sont essentiels au maintien de l'équilibre acido-basique

## IV. Les systèmes de tampons plasmatique et cellulaire

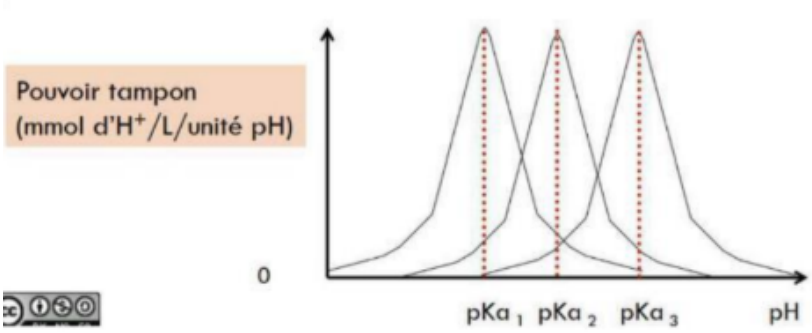
Les protons sont **fixés** par les **couples acido-basiques** dans l'urine, mais pas que. Cela est également valable dans **les cellules** et **les milieux extracellulaires**. Ces couples permettent un **système tampon** assurant une protection **passive** contre les variations de pH, ils sont multiples et interdépendants.

### 1) Zone tampon




**Zone tampon** : zone proche du **pKa** du couple acidobasique, c'est une zone ou il faut ajouter **beaucoup** de protons pour faire varier très légèrement le pH. Le pouvoir tampon est donc **maximal** au niveau du Pka, il correspond à la quantité de protons qui peuvent être **tamponnés** par unités de **pH** et par **litre** de solution.

### 2) Pouvoir tampon du sang




Si **plusieurs** couples acido-basique sont présents dans une même solution, la zone tampon va s'étendre sur une zone de pH beaucoup plus **large** que lorsqu'un seul tampon isolé est présent. Les différents systèmes sont donc en **collaboration** et en équilibre afin de trapper les protons de la manière la plus efficace.

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

Dans le sang **TROIS couples acidobasiques coexistent**, ce qui permet d'avoir une zone tampon relativement **large**. Ces principaux tampons cellulaires et plasmatiques sont le bicarbonate (HCO3-), l'acide carbonique (H2CO3), les protéines et acides organiques faibles.

| Tampons | Caractéristiques |
|---|---|
| Bicarbonates | Ils se distribuent dans **50 % du poids du corps,** à une concentration moyenne de **25 mmol.L-1** ,nous avons 1050mmol de bicarbonate disponible pour tamponner les protons |
| Protéines et acides organiques faibles | Les résidus histidine des protéines et les anions organiques faibles comptent une concentration moyenne de 1200mmol. La gamme de pH sanguin au pouvoir tampon maximal est aux alentours de 7,40. C'est à ce niveau que la capacité des tampons est maximale afin de limiter les variations de pH . |

## 3) Pouvoir tampon global

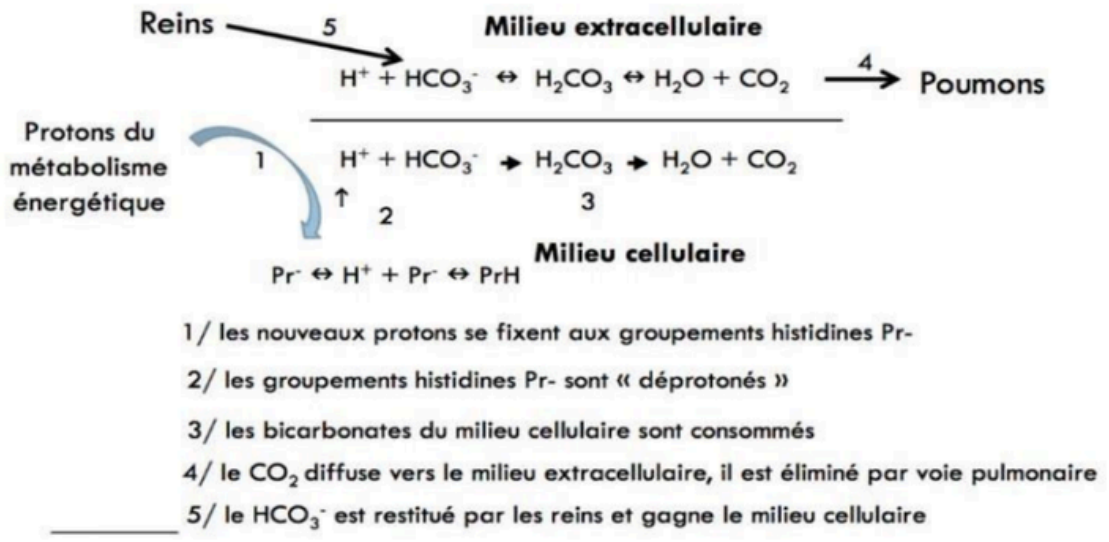
| **Tissu / Compartiment** | **Système tampon** | **Pouvoir tampon (mmol H+ / L / unité de pH)** |
|---|---|---|
| Milieu extracellulaire | $HCO_3^-$ / $H_2CO_2$<br>Acide phosphorique<br>Protéines | 55<br>0,7<br>7 |
| Milieu cellulaire | $HCO_3^-$ / $H_2CO_2$<br>Protéines | 18<br>60 |
| Hématies | $HCO_3^-$ / $H_2CO_2$<br>**Hémoglobine** | 30 |

- Dans le milieu **extracellulaire** le principal tampon est le **bicarbonate**, on a très peu de **protéines.**
- Dans le milieu **cellulaire** à contrario le principal tampon est formé par les **protéines.**
- Dans les **globules rouges**, **l'hémoglobine** circule, elle est un système tampon extrêmement efficace.

IMPORTANT : tous ces tampons fonctionnent ensemble et sont tous en communication !

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

## 4) Complémentarité des pouvoirs tampons




Lorsque le métabolisme énergétique dans la cellule produit des **protons**, les nouveaux protons vont se fixer **aux résidus histidine des protéines**

Puis les résidus histidine sont **déprotonés**

Les protons réagissant avec les **bicarbonates** vont accélérer la formation **d'acide carbonique et de gaz carbonique**

Le **gaz carbonique (CO2)** diffuse librement pour être éliminé par les **poumons**

Une petite acidité en résulte en intracellulaire lié à la **consommation d'un bicarbonate**, on va avoir alors une élimination des protons extracellulaires par les reins afin de contrer cette acidité !

Un bicarbonate est alors **régénéré** et il pourra diffuser en intracellulaire pour rétablir **le pouvoir tampon**.

### RECAP

Les systèmes tampons agissent avant même que les réactions des organismes pulmonaires et rénales aient lieu.

Les systèmes tampons sont interdépendants.

Les tampons sont maintenus grâce à l'activité des poumons et des reins.

La complémentarité des systèmes tampons est indispensable.

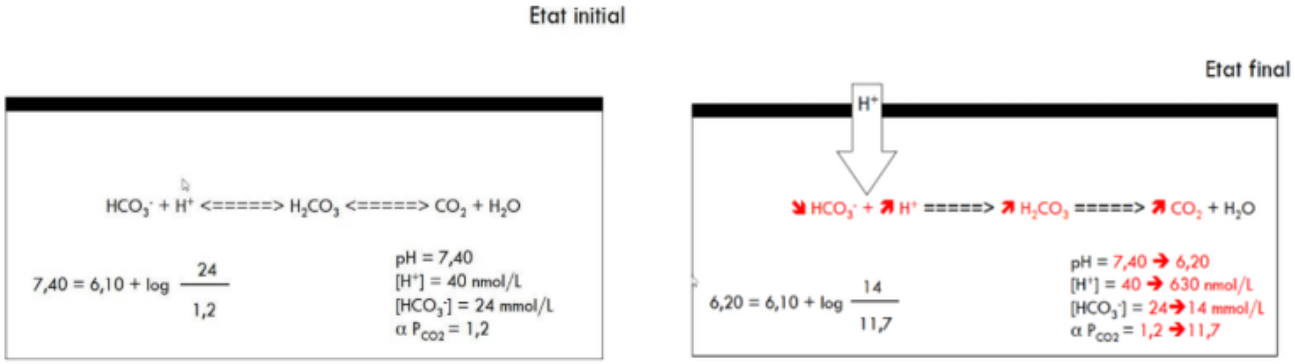
Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

## V. Pouvoir tampon d'une solution d'acide carbonique

### 1) Milieu fermé

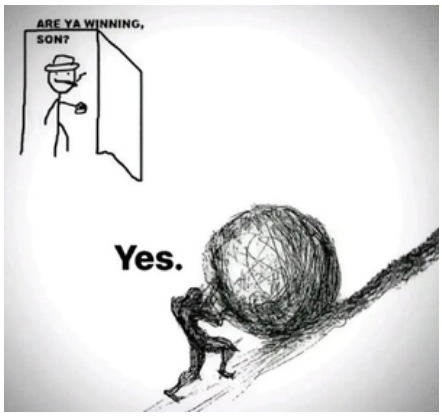
Dans cette partie du cours, on va se balader à travers **différentes** situations. Dans un premier temps nous allons ajouter des **protons** à une **solution d'acide carbonique** dans un **milieu fermé** ainsi le CO2 produit ne pourra **pas diffuser** vers l'exterieur.

*Les valeurs de pH que l'on va voir à travers les différents exemples ne sont pas à connaitre, ici l'idée c'est vraiment de comprendre les différents mécanismes qui sont calqués sur ce qui se passe dans notre organisme...*




A l'état **initial** nous avons un **pH de 7,40**, une concentration de **40 nmol de protons** et **24 mmol de bicarbonates**. Lors de l'ajout de **10 mmol de protons**, on consomme les bicarbonates et formons du **CO2 et H2O**. La concentration en protons **augmente** et passe à 630 nmol.L-1 . Le pH diminue jusqu'à **6,20**. Les bicarbonates ont été consommés il reste 14 mmol.L-1 . La pression en CO2 a **fortement augmenté**.

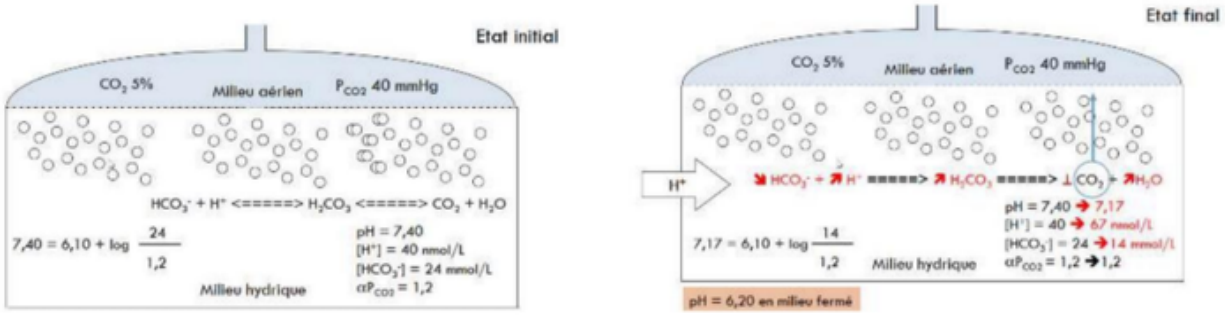
En effet, les bicarbonates servent à **équilibrer** la charge acide. Ainsi, leur concentration **diminue** à mesure que l'on **rajoute** des protons et cela forme de **l'acide carbonique**. L'acide carbonique se dissocie en gaz carbonique et en eau. Au final, on **perd** en bicarbonates et on **gagne** en CO2. De manière très simplifiée, la concentration en base (HCO3 -) **diminue** tandis que celle en acide (CO2) **augmente**. Le pH diminue donc beaucoup et la solution **s'acidifie**.




*Ne lachez jamais de vu votre objectif, c'est ça qui me faisait avancer en p1. Votre but c'est d'être efficace dans la durée, lorsque tout le monde sera fatigué VOUS serez toujours à fond et c'est là qu'on se démarque !*

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

## 2) Milieu ouvert

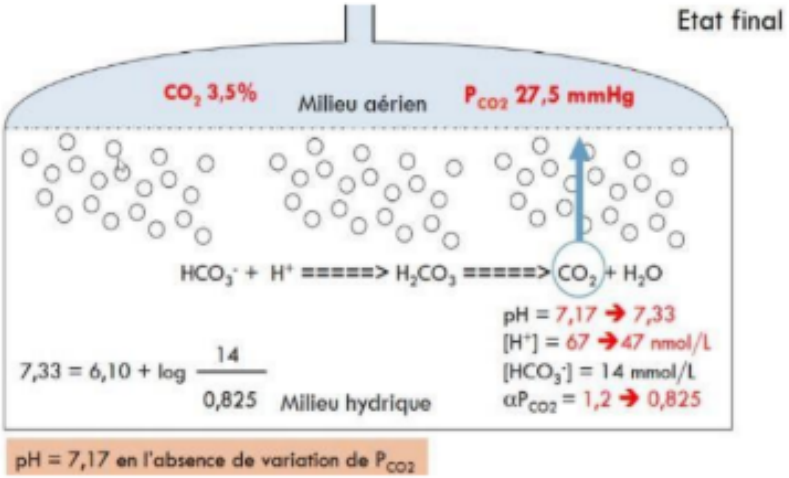



Dorénavant, on réalise la même expérience mais en **milieu ouvert** ainsi le CO2 pourra **diffuser** vers un milieu extérieur comme c'est le cas dans **le corps humain** grâce à notre système de **ventilation**.

Dans le milieu extérieur on maintient une pression partielle en CO2 correspondant à la **pression alvéolaire** 40 mmHg. Lors de l'ajout des protons, les bicarbonates vont être consommés, et du CO2 et H2O vont être produits. On va alors avoir une **augmentation** de H2O, mais la pression partielle en CO2 **ne change pas** car le gaz carbonique a **diffusé** vers le milieu aérien.

Ainsi, malgré l'ajout de **protons**, le pH ne varie que **très légèrement**, jusqu'a 7,17 car l'acide carbonique n'est **pas séquestré**, en effet le CO2 issu de sa dissociation peut **s'échapper**. La simple capacité du gaz carbonique à diffuser vers un milieu aérien permet une **variation moindre** du pH.

## 3) Ajout de protons en milieu ouvert avec diminution de la pression partielle en CO2 du milieu aérien




Ici l'expérience est toujours la même, cependant on a **diminué** la pression partielle en CO2 dans le milieu extérieur. La PCO2 va alors **baisser**, par rapport à l'expérience précédente, car on va favoriser la diffusion en CO2 **vers l'extérieur**. En effet, le gradient de diffusion est augmenté, le CO2 diffuse **mieux** vers le milieu aérien.

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

*Légère explications en plus : Ici, le CO2 va vouloir diffuser du côté où il est le plus concentré vers le côté où il est le moins concentré (son but est de se distribuer entre les 2 milieux de façon à atteindre un équilibre). Plus la différence de concentration est grande, plus le CO2 va être attiré vers le côté où il est le moins concentré. Ainsi, en diminuant la PCO2 dans le milieu aérien, on va accentuer sa diffusion vers ce dernier*

*Une dernière remarque, PCO2 = pression partielle en CO2 et c'est comme un équivalent de concentration pour les gaz. Donc en gros PCO2 = concentration en CO2.*

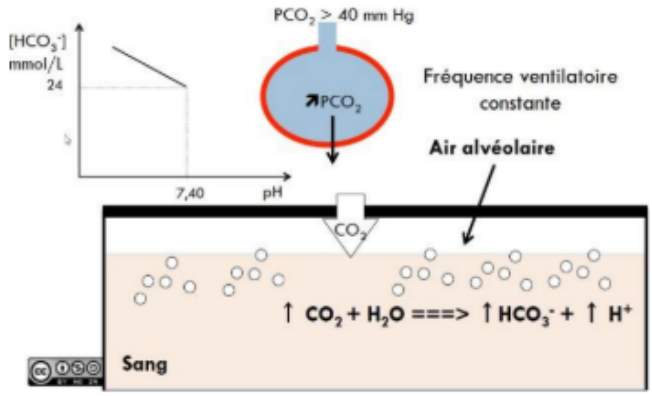
Tout ça pour dire que ces expériences permettent de comprendre le **fonctionnement** de l'organisme :

→ le sang est en **contact** avec l'air alvéolaire, le tampon acide carbonique peut être utilisé dans ce milieu ouvert

→ La diffusion du CO2 **augmente** avec la **fréquence respiratoire**, plus vous respirez vite, plus vous chassez rapidement le CO2 présent dans vos alvéoles on se retrouve alors dans le cas de la dernière expérience ou on retrouve une différence de PCO2 entre les deux milieux. Le CO2 va plus facilement **diffuser** du sang vers les alvéoles.

## VI. Etude du pouvoir tampon in vivo

### 1) Etude du pouvoir tampon de l'organisme en milieu fermé

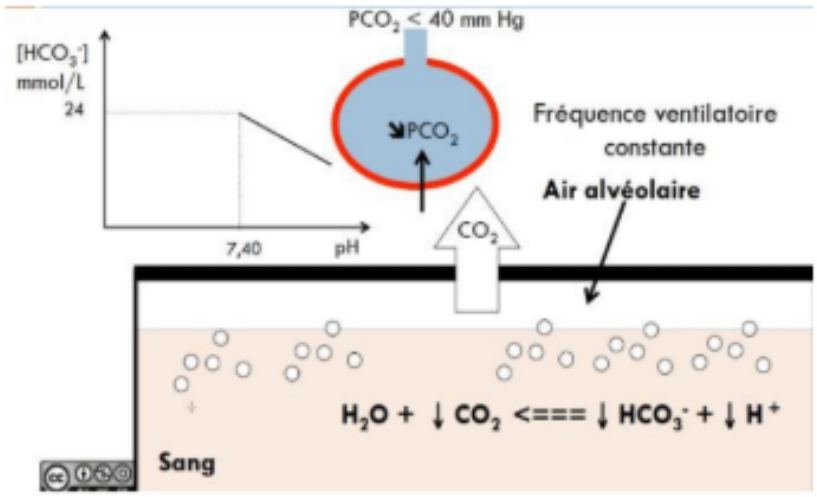



*On utilse le cas d'un animal anesthésié et ventilé ou nous modifierons la PCO2 afin de modéliser les différents diagrammes*

→ **Si on augmente la PCO2 dans les alvéoles**, on aura alors une **augmentation** du CO2 dissout dans le sang (en effet il diffuse moins bien vers l'extérieur, le gradient étant moins important). Le CO2 se distribue alors dans le sang, cela entraîne une **augmentation** des **bicarbonates** et des **protons**. Rappelez-vous, le CO2 s'hydrate en H2CO3 qui lui-même se dissocie en $HCO3^-$ + $H^+$ , c'est important à **comprendre** !

Le pH **diminue**, l'équilibre est déplacé vers le haut et la gauche du diagramme sur le schéma (c'est-à-dire qu'on aura une concentration en bicarbonate plus élevée et un pH plus faible). Plus la PCO2 est **élevée**, plus le pH **diminue**, plus on fabrique de **bicarbonates**, car l'hydratation du CO2 produit des $H^+$ et des $HCO3^-$ (indirectement, via la dissociation du H2CO3).

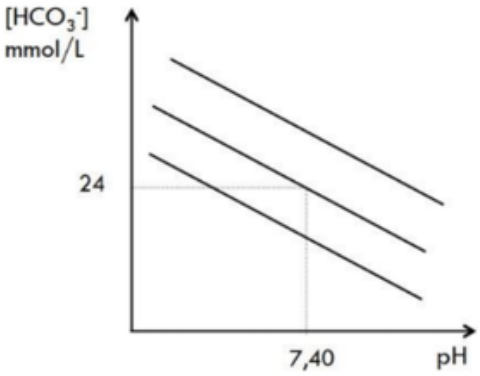
Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite




➔ **Si on diminue la PCO2 dans les alvéoles**, on aboutit alors à une **diminution** des protons et des bicarbonates ainsi qu'une **diminution** de CO2 dissout dans le sang (car le CO2 va pouvoir bien diffuser vers l'extérieur).

Le pH augmente ; l'équilibre est déplacé vers le bas et la droite du diagramme (c'est-à-dire qu'on aura une concentration en bicarbonate plus faible et un pH plus élevé : plus la PCO2 est faible, plus le pH augmente, moins on fabrique de bicarbonates).

## 2) Modélisation en milieu fermé




En milieu **fermé** la relation entre le pH et la concentration plasmatique de bicarbonate est **linéaire**. En milieu fermé, la **relation** entre pH et [$HCO_3^-$] dépend notamment des **systèmes tampons non volatils**, en particulier des **protéines**.

## 3) Application en médecine

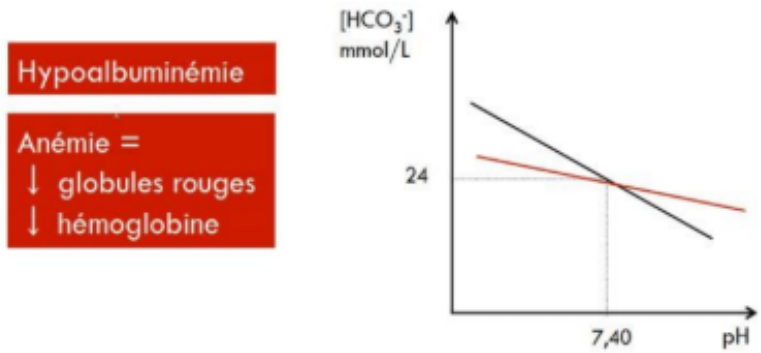
Commençons par une définition importante : la notion **d'Anémie**

Anémie : Diminution des globules rouges dans le sang impliquant une diminution de l'hémoglobine (qui est un **tampon** !)

Lorsque l'on fait face à un cas d'anémie on remarque un **applatissement** de la relation dont nous avons parlé avant. Ainsi pour une plus **faible** variation de la concentration en bicarbonates, la **variation** de pH sera plus importante. Vous comprenez donc l'importance du pouvoir tampon ! Une **carence** entraine de **plus grandes** variations du pH.

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

**Diminution des tampons non volatils (les protéines) :**



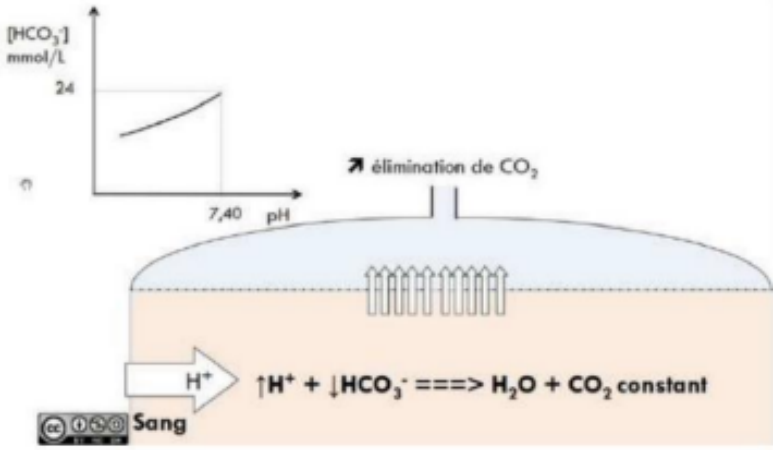

Pour la même variation de $[HCO_3^-]$, la variation du pH est plus grande.

Ici vous avez un schéma (diapo du professeur) qui reprend ce que l'on vient de dire

## 4) Etude du pouvoir tampon de l'organisme en milieu ouvert

*Je sais que ces parties du cours on l'air un peu chiantes mais elles sont fondamentales pour bien COMPRENDRE les mécanismes mis en jeu dans l'organisme. N'hesitez pas à passer du temps dessus si il le faut mais vous n'avez pas le droit de laisser des doutes subsister ! Celui qui réussira le jour de l'exam sera celui qui pourra rapidement remobiliser ces mécanismes !*

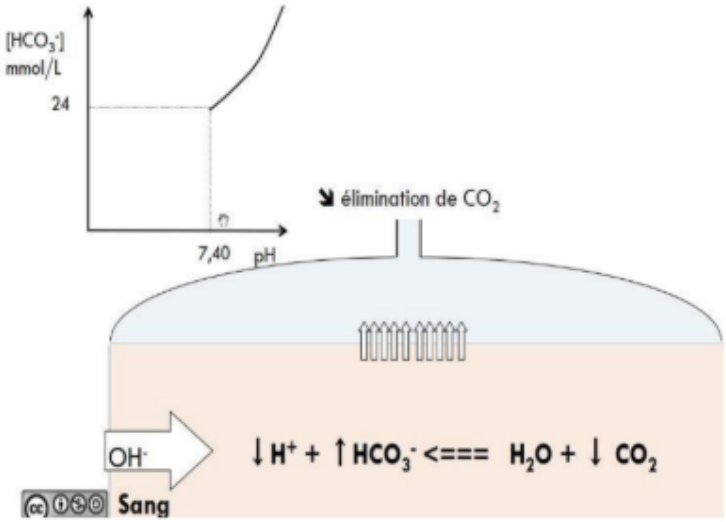
Reprenons: on se place dans un milieu ouvert et on introduit des **acides** ou des **bases** dans le sang par **intraveineuse.**




## Ajouts de protons :

Les bicarbonates vont être **consommés**, l'équilibre va tendre vers une formation de **CO2** qui pourra **diffuser librement**. Grâce à cette diffusion, la PCO2 sanguine reste **constante**. Notre équilibre va être déplacé vers le bas et la gauche car on a une augmentation des protons et une diminution des bicarbonates. Notre relation correspond à une courbe qui n'est **plus linéaire** comme pour le milieu fermé.

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

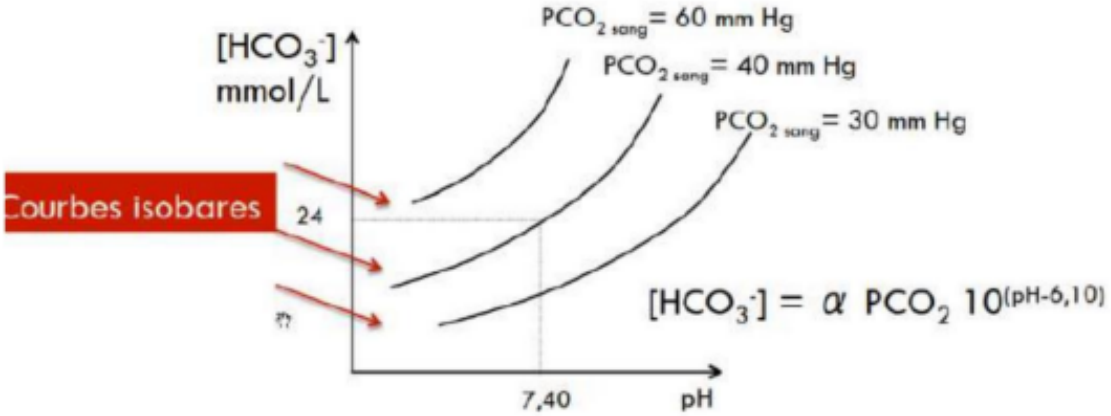



Ajout de bases :

La quantité de protons **diminue** en réagissant avec les ions $OH^-$ (base) formant ainsi de l'eau. L'équilibre de la réaction est **déplacé** vers la fabrication de bicarbonates. L'équilibre est déplacé vers le haut et la droite car on a une augmentation de la concentration de bicarbonates et du pH, la solution **s'alcalinise**.

5) Modélisation en milieu ouvert

Nous avons des relations **non linéaires** (courbes isobares) qui correspondent à des valeurs variables de pression partielle en CO2 obtenues par diffusion du gaz carbonique en **milieu ouvert**. La relation entre le pH et les bicarbonates est **exponentielle** et dépend de la capacité à **évacuer** les gaz carboniques.




Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

RECAP

Les variations de PCO2 en milieu fermé nous permettent de caractériser les tampons fixes, soit les tampons protéiques

Les ajouts des protons/bases dans le sang en milieu ouvert nous permettent de caractériser les tampons volatils

## VII. Analyse de l'équilibre acido-basique chez l'Homme

Pour commencer, l'état acido basique d'une personne est défini via **3 valeurs** (*ça c'est de l'ultra par coeur ça va tomber sûr à 100%!!!* ) :

7,38 < pH < 7,42

36 mmHg < PCO2 < 44 mmHg

22 mmol/L < [$HCO3^-$] < 26 mmol/L

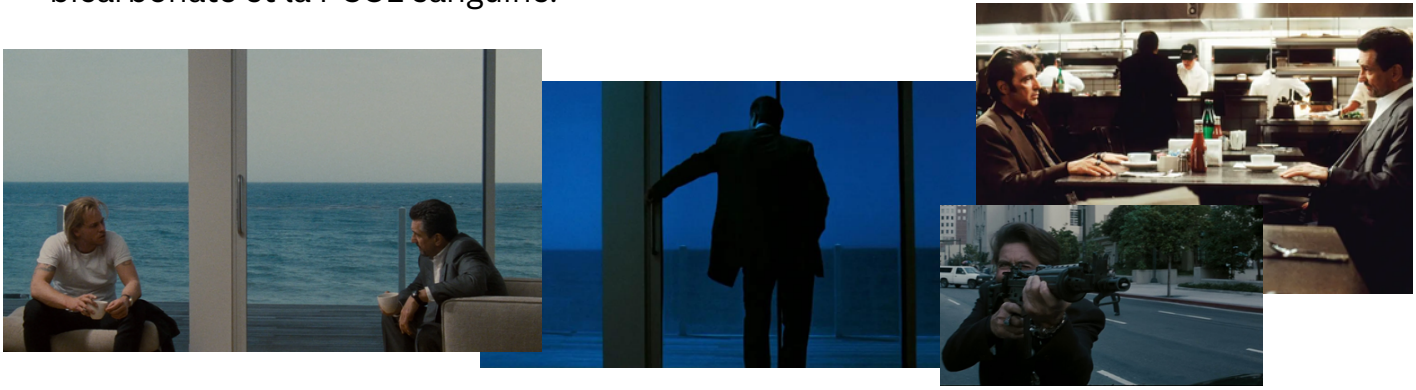
*Je vous le mets en rouge tellement c'est important !!*

### 1) Modélisation d'Henderson et Hasselbach

Commençons bien évidemment par vous donner la fameuse équation de Henderson et Hasselbach :

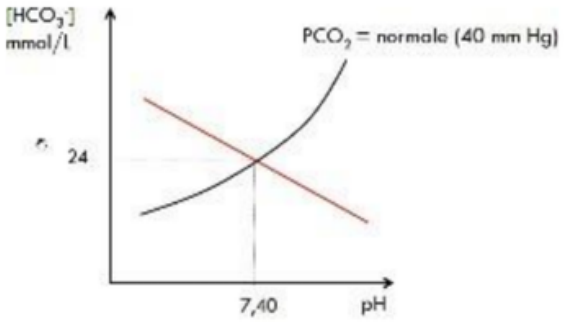
$$pH = pKa\ X\ \frac{[HCO3-]}{\alpha PCO2}$$

Henderson et Hasselbach ont attribué un rôle **central** à l'acide carbonique pour modéliser et caractériser les **variations** de l'état acido-basique chez l'Homme. Cette équation met en **relation** le pH du milieu extracellulaire, la concentration sanguine en bicarbonate et la PCO2 sanguine.



Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

## 2) Diagramme de Davenport




Aller, un peu de concret maintenant ! Ce diagramme représente graphiquement l'équation d'Henderson et Hasselbach. Il permet la **compréhension** des troubles acido-basiques chez l'Homme. Le **point d'équilibre** sur le graphique correspond aux croisements des courbes avec :

- pH = 7,40
- Bicarbonatémie = 24 mmol/L
- PCO2 = 40 mmHg

Les variations de pH et de bicarbonate sont mises en avant par la **relation linéaire** (milieu fermé) et la courbe (milieu ouvert)

# VIII. Déséquilibres acido-basiques

## 1) Définition

*Aaaah enfin la meilleure partie du cours, celle qui permet de flex devant la Daronne en faisant genre d'être urgentiste en répondant à mes savoureux QCM !*

Ok, on commence par quelques défintions pour comprendre de quoi on parle :

**Acidose** : Diminution du pH du patient en dessous de 7,38 +++

→ **Métabolique** si elle est associée à une baisse de la concentration en bicarbonates .

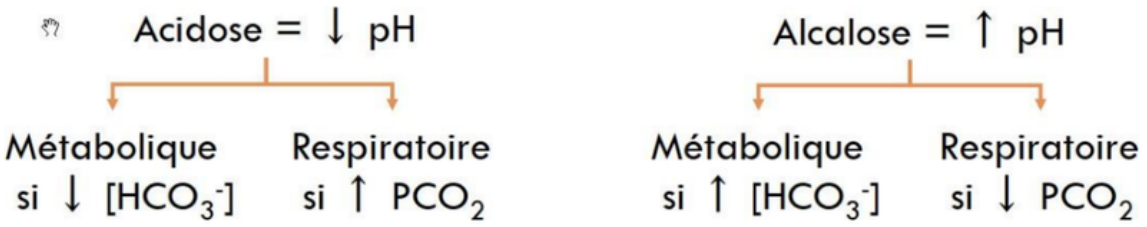
→ **Réspiratoire** si elle est associée à une augmentation de la PCO2.

**Alcalose** : Augmentation du pH du patient au dessus de 7,42 +++

→ **Métabolique** si elle est associée à une augmentation de la concentration des bicarbonates.

→ **Réspiratoire** si elle est associée à une baisse de la PCO2.

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite




*Petite image qui reprend tout ce qu'on vient de dire, c'est pour moi c'est cadeau!*

*On va attaquer une partie un peu compliquée mais très sympa, si vous êtes un peu en galère (c'est normal au début) il y a une superbe vidéo sur le youtube du tutorat Nissart réalisée par ma vieille vieille (mettez du respect sur son nom) :*
https://www.youtube.com/watch?v=XblFTTvhwRk&t=3s&ab_channel=TutoratNicois

Pour bien comprendre, on va considérer de manière simplifiée le CO2 comme un **acide** et le $HCO3^-$ comme une **base** :

- Si on a **trop** de CO2, on tend vers une **acidose**, si on en a pas assez on tend vers une **alcalose**

- Si on a **trop** de $HCO3^-$ , on tend vers une **alcalose**, si on en a pas assez on tend vers une **acidose**

Donc vous devez savoir que dès qu'un problème provient de la **quantité de CO2**, le trouble (acidose ou alcalose) est **respiratoire** car ce sont les poumons qui s'occupent **d'expulser** le CO2.

Ainsi, dès que le problème provient de la **quantité de bicarbonate**, le trouble est **métabolique** car on a un métabolisme de production de bicarbonate, vous le verrez en bioch ❤️)



*La Sainte Physio guidant votre stylo le jour de l'exam*

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

*Restez éveillés c'est Bientôt terminé mes vallaint/vaillantes*

## 2) Acidose métabolique

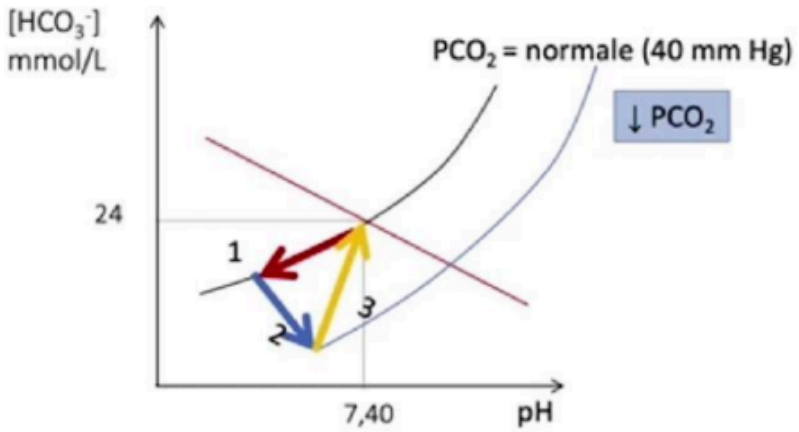
Sur le diagramme de Davenport, l'acidose métabolique se traduit par une **diminution** du pH et une **perte** de bicarbonate

On va décrire le phénomène en plusieurs phases :

- Phase 1 : des protons se sont **accumulés**, les bicarbonates sont **consommés** ainsi le pH **diminue**.

- Phase 2 : Le corps va **compenser** cette acidose en mettant en place une **hyperventilation pulmonaire**. La PCO2 (en gros la concentration de CO2) **diminue** donc le pH **augmente** légèrement.

- Phase 3 : Si l'origine de l'acidose disparait, les reins vont être capables de **régénérer** les bicarbonates, le pH **réaugmentera** pour revenir à la **normale**. L'hyperventilation se stoppera et la PCO2 redeviendra également **normale**. Finalement l'état initial d'équilibre sera alors restauré.




1/ acidose métabolique aiguë : ↗ $H^+$ + ↘$HCO_3^-$ ⇔ $CO_2 + H_2O$

2/ hyperventilation pulmonaire : ↘ $H^+$ + ↘ $HCO_3^-$ ⇔ ↘$CO_2 + H_2O$

3/ disparition de la maladie, augmentation de l'excrétion rénale de protons

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

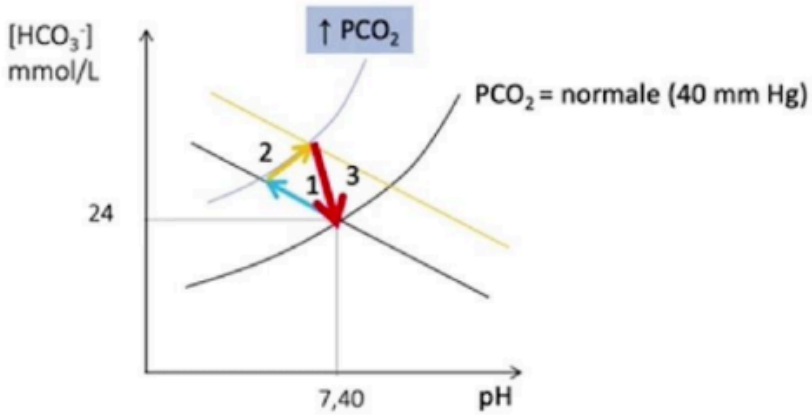
## 3) Acidose respiratoire

Sur le diagramme une acidose respiratoire se traduit par une **augmentation** de la PCO2 et une **diminution** du pH.

- Phase 1 : les poumons n'éliminent plus assez de gaz carbonique ainsi on va avoir une **diminution** du pH. Cela peut être du à une **amputation** de la surface d'échange alvéolo-capillaire (surface d'échange entre capillaires sanguins et alvéoles réduite à cause d'une pathologie, ce qui empêche au CO2 d'être évacué correctement). L'hydratation du CO2 provoque une **augmentation** des $H^+$ et des $HCO3^-$. Le pH lui **diminue**.

- Phase 2 : Les reins **s'adaptent** et augmentent la réabsorption/génération de $HCO_3^-$ et l'excrétion nette d'acide, notamment sous forme de $NH_4^+$ afin d'éliminer plus de protons, le pH **augmentera** légèrement.

- Phase 3 : Si la cause de l'acidose **disparait**, le CO2 va pouvoir être **éliminé**. Ainsi, la PCO2 pourra **diminuer** et les reins arrêteront leur surproduction de bicarbonates et on reviendra à **l'équilibre** de départ !




1/ acidose respiratoire aiguë ↗ $H^+$ +↗$HCO_3^-$ ⇔ ↗↗ $CO_2 + H_2O$

2/ augmentation de la fabrication rénale de bicarbonate ↘$H^+$ + ↗$HCO_3^-$ ⇔⊥$CO_2 + H_2O$

3/ Disparition de la maladie, élimination des bicarbonates

*Et en prime le petit tableau récap qui fait plaisir !*

| | Métabolique $HCO_{3-}$ | Respiratoire $PCO_2$ |
|---|---|---|
| Acidose | 1 - HCO3- ↘↘<br>2 – PCO2 ↘ *(compensation de l'oganisme)* | 1 – PCO2 ↗↗<br>2 – HCO3- ↗ *(compensation de l'oganisme)* |

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

*L'alcalose n'est pas aussi détaillée dans le cours du professeur, retenez juste qu'elle est métabolique si la concentration en $HCO3^-$ augmente, ou respiratoire si la PCO2 diminue.*

## 4) Gazométrie

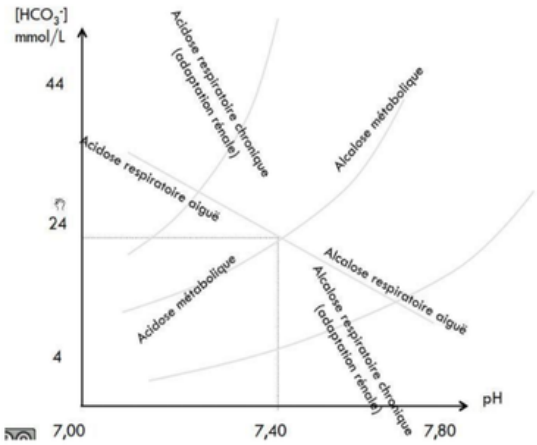
La gazométrie est un **examen médical** qui permet de caractériser l'état acido-basique d'un patient. Il s'agit d'un **prélèvement** de sang sous **anticoagulant** dont on prendra le soin de bien chasser la bulle d'air pour éviter les modifications de la PCO2. La serringue est conservée dans la glace jusqu'a la fin de l'analyse afin d'éviter la consommation d'oxygène et la production de CO2 par les cellules.

La gazométrie permet de mesurer **le pH et la PCO2**, qui nous permettrons de calculer la **concentration en bicarbonates**.

**L'acide carbonique** est au centre de la régulation de l'équilibre acido-basique de l'organisme +++

## 5) Limites à l'utilisation du diagramme de Davenport

Le diagramme de Davenport est adapté pour des **troubles simples réspiratoires ou métaboliques**. Or, en médecine on a régulièrement des troubles **mixtes**, par exemple la coexistence d'une insuffisance respiratoire et métabolique. En pratique courante ce diagramme n'est pas vraiment utilisé.




*J'ai l'immense honneur de vous annoncer que ce cours est terminé !! Bravo à tous mes soldats, vous voyez il peut paraitre assez long mais globalement on répète souvent la même chose et je trouve qu'il est trop bien quand on commence a bien comprendre ! Bref entraînez-vous bien c'est super important (les QCM sont stylés en plus)*

*Imaginez la fierté dans les yeux de ceux qui vous aiment lorsque vous leur annoncerez que vous avez réussi votre P1*

*Force et honneur, on ne lâche jamais rien !*

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite

# Page dédicaces (je vous vois ceux qui lisent ça en premier)

Dédi au tutorat niçois encore et encore, franchement c'est une super expèrience, je recommande à tous, vous allez renconter de superbes personnes ! (dédi en même temps à tous mes potes du tutorat) j'arrêterai jamais ma propagande tutorat!

Dédi au jeu Outer wilds

Dédi à CSgo faut que je m'y remette je dois être très nul là!

dédi au lycée Calmette, j'ai tellement rigolé la bas c'était trop bien pendant le covid #vieux

dédi à la ville de New York

Re dédi à mon pote Angelo, Dieu merci il était la pendant ma 5/2 on rigolait tellement ensemble, c'est fort !

Dédi aux daft punk et au Raï ainsi qu'a la house, j'aime trop

Dédi au sortie Too good too go into cinéma que je faisais avec mes potes pendant les grandes vacances

dédi à Medost très très fort #fallait être la

dédi a tous mes braves las1 et las2 chimie, je ne vous oublie pas on est ensemble, vous avez tout mon soutien !!!! Ca va le faire, la sortie c'est sûr!

dédi aux soirées que je passais dans l'appart de mon Ari quand j'étais sur Paris, que du bon

Dédi à l'époque ou j'étais sur Paris, on a passé des bons moments quand même...

dédi à mes cousins et mes cousines

Enfin dernière dédi pour Benoit d'éthique, je suis dééésoléé je suis nul

Anti dédi a la montée de la Bu de Valrose, c'est une grande blague

Le tutorat est gratuit. Toute reproduction est interdite