



RONEO N°21 : EQUILIBRE ACIDO-BASIQUE



Date et heure : 21/09

Professeur : Pr Favre

Nombre de pages : 16

Ronéiste : Elisanemie, mise en page : Charlotte Courtois (Echalote)

Corporation des Carabins Niçois

UFR Médecine
28, av. de Valombrose
06107 Nice Cedex 2

<http://carabinsnicois.fr/>
roneo.c2n@gmail.com

SOMMAIRE

I – Introduction

II – Vue d'ensemble de l'équilibre acido-basique

III – Rôle des reins

IV – Systèmes tampons plasmatiques et cellulaires

V – Pouvoir tampon d'une solution d'acide carbonique

VI – Etude du pouvoir tampon in vivo

VII – Analyse de l'équilibre acido-basique chez l'Homme

I.INTRODUCTION

Définitions :

Acide : espèce capable de céder un ou plusieurs protons.

Base : espèce capable de capter un ou plusieurs protons.

Un couple acido-basique : molécules capables de déplacer l'équilibre entre les ions H⁺ et les ions OH⁻ en solution aqueuse en s'ionisant dans l'eau

Ionisation de l'eau

Une **réaction acido-basique** produit des ions (par échange de protons H⁺).

L'eau est une molécule **faiblement ionisée** en H⁺ et OH⁻

Elle produit des ions H⁺ et HO⁻ (ion hydroxyde) en quantité très faible (10^{-7} mol/L à 25°C).

$$[H^+] = [OH^-] = 10^{-7} \text{ mol/L ou } 100 \text{ nmol/L à } 25^\circ\text{C}$$

Elle se dissocie **spontanément** en H⁺ et OH⁻ selon une constante de dissociation K_{H_2O} permettant de quantifier cette ionisation.

Elle est **proportionnelle** au produit de la concentration en ions hydroxyde **HO⁻** et en ions **H⁺** divisée par la « concentration en eau »

$$K_{H_2O} = \frac{[H^+] \times [OH^-]}{[H_2O]}$$

Etat Acido-Basique

La solution est **NEUTRE** lorsque $\text{pH} = 7$ soit lorsque $[H^+] = 10^{-7} \text{ mol/L ou } 100 \text{ nmol/L}$

Cet équilibre est atteint pour une eau à 25°C, cela permet de définir la neutralité acido-basique (attention pH neutre à 7 ce n'est valable QUE pour l'eau à 25° si on change la température le pH neutre ne sera plus 7)

La solution est **ACIDE** lorsque $\text{pH} < 7$ soit lorsque $[H^+] > 10^{-7} \text{ mol/L ou } 100 \text{ nmol/L}$

La solution est **BASIQUE** lorsque $\text{pH} > 7$ soit lorsque $[H^+] < 10^{-7} \text{ mol/L ou } 100 \text{ nmol/L}$

Ainsi, une solution s'**acidifie** lorsque la concentration en protons augmente (*pH DIMINUE*) et s'**alcalinise** lorsque cette concentration diminue (*pH AUGMENTE*)

Echelle Logarithmique

Tout couple acido-basique a une constante de dissociation, elle s'exprime en **échelle logarithmique**

$$\text{pH} = \text{pK}_A + \log \frac{[A^-]}{[AH]}$$

La concentration de proton dans les fluides biologiques **varie plus de 10^7 fois** soit de 100 mmol/L à 10 nmol/L ainsi il est plus pratique d'utiliser l'échelle logarithmique

$$\heartsuit \text{ pH} = -\log [\text{H}^+] \heartsuit \quad \heartsuit \text{ pK} = -\log K \heartsuit$$

Liquides biologiques

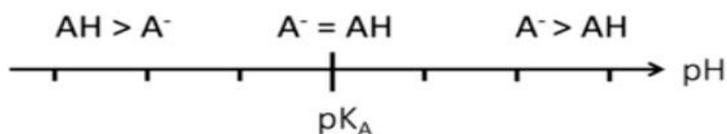
La **concentration en protons** au niveau des fluides biologiques n'est pas uniforme, elle **varie énormément** :

- Dans l'**estomac**, le pH est très bas , environ 100 mmol/L donnant un **pH à 1**, c'est l'endroit le plus acide de l'organisme.
- Dans les **cellules** la concentration en protons est à 100 nmol/L , ce qui donne un pH de 7.
- Dans le **milieu extracellulaire** , 40 nmol/L soit un pH de 7,40
- L'**Urine** a un pH extrêmement variable compris entre **5 et 8** , elle est un émonctoire sa composition varie selon les besoins de l'organisme

Echelle pKa

On peut situer le pK_A sur une **échelle de pH** pour matérialiser la prédominance d'une forme sur une autre

- Si le **pH < pKa** alors la forme liée AH prédomine
- Si le **pH > pKa** alors la forme, **dissociée A⁻** prédomine



Importance de l'Equilibre Acido-Basique

Le milieu intérieur est **EXTREMEMENT** régulé et varie dans une fourchette très étroite entre **7,38 et 7,42**. La survie de l'individu peut être compromise si le **pH ≤ 7,00** ou **pH ≥ 7,80**.

Certaines fonctions sont influencées par l'état acido-basique 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 pH - indique la concentration de protons sur une échelle logarithmique
 - conditionne de nombreuses fonctions
 - est **EXTREMEMENT** régulé dans le milieu intérieur

II.VUE D'ENSEMBLE DE L'EQUILIBRE ACIDO-BASIQUE

CHARGE ACIDE PERMANENTE

L'organisme est soumis à une charge acide permanente.

L'équilibre de l'organisme est en permanence menacé, la charge acide provient de la dégradation des acides aminés et du métabolisme énergétique.

Cette charge acide est **inéluctable**, le pH va pouvoir être maintenu grâce aux poumons et reins via l'intermédiaire du couple acido-basique de l'acide carbonique.

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

ACIDE CARBONIQUE H₂CO₃

<p>Réaction réversible d'hydratation accélérée par l'anhydrase carbonique</p> $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$ <p style="text-align: center;"> ← Base Acide → </p>	<p>Dissociation ionique</p>	<p>L'acide carbonique H₂CO₃ peut acidifier ou alcaliniser l'organisme, c'est un couple acido-basique</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il acidifie via l'ionisation de l'acide carbonique • Il alcalinise via l'hydratation du gaz carbonique
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Le couple bicarbonate/proton 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 (HCO₃⁻)**

-Le **CO₂** est éliminé par les poumons

-Les **H⁺** vont -soit être éliminés par les reins sous forme d'ammonium (NH₄⁺= NH₃ + H⁺)

-soit s'associer à un **bicarbonate** pour devenir un acide carbonique pouvant lui-même se dissocier en

CO₂ et H₂O

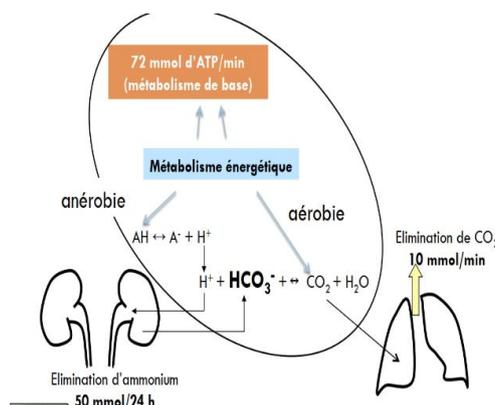
Nous allons maintenant voir comment le corps et plus particulièrement les poumons/reins s'adaptent aux différents apports d'acide suivant les situations.

Au Repos

Au repos l'organisme assure le **métabolisme de base** avec la fabrication d'ATP minimale.

Le fonctionnement est **principalement AEROBIE**, l'acide produit (CO₂) est principalement éliminé par les **POUMONS**.

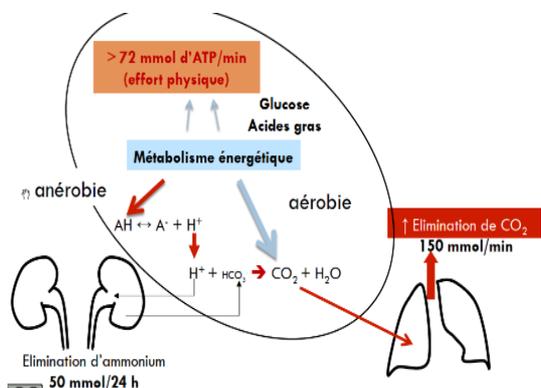
Une **minime** partie est **ANAEROBIE**. Les bicarbonates sont en large excès dans le sang.



Ainsi les H⁺ produits pourront :

- soit s'associer à un NH₃ formant du NH₄⁺ (ammonium) qui peut être éliminé par les **reins**
- ou alors, être trappés par un bicarbonate pour former H₂CO₃ qui se dissociera finalement en H₂O et CO₂ pouvant être lui-même exhalés par les poumons.

A l'Effort



Lors d'un effort les **besoins énergétiques augmentent** on aura besoins de plus d'ATP ainsi la **production de CO₂ et d'acide lactique augmente** .

Ainsi les métabolismes AEROBIE et ANAEROBIE augmentent .

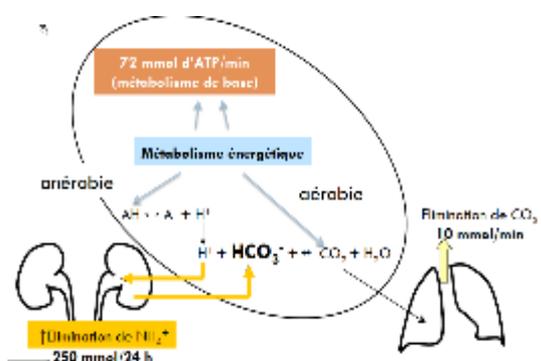
Les poumons s'adaptent **IMMÉDIATEMENT** et se mettent à éliminer jusqu'à **15 fois** plus de CO₂, c'est à ce moment qu'on hyperventile.

Les reins eux continuent à sécréter les protons, mais sont **incapables d'augmenter l'élimination** des protons dans l'immédiat . Les reins ne **S'ADAPTENT PAS**.

Pour limiter la charge acide les H⁺ vont être trappé par les bicarbonates pour former H₂CO₃ qui se dissociera en H₂O et CO₂ qui pourra alors être éliminés par les poumons.

Le taux de bicarbonates va alors diminué on dit que **le pouvoir tampon du bicarbonate est amputé**.

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 « **longues détente** », en effet c'est à l'arrêt de l'effort qu'ils **s'ADAPTENT**

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

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.

La capacité de régulation des poumons est plus importante que celle des reins (x15 VS x5)

Charge acide : aliments et métabolisme énergétique

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

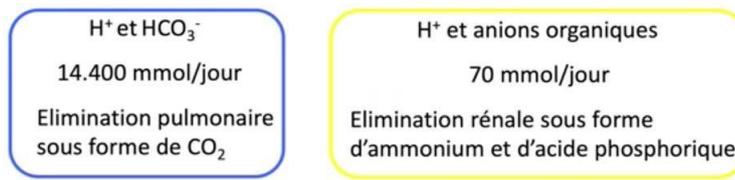
Glucose → CO₂ ± acide lactique + ATP

Acides gras → CO₂ ± corps cétoniques + ATP

La dégradation des acides aminés et le métabolisme énergétique produisent cette charge acide permanente.

La phosphorylation oxydative (cf. bioch)

produit les acides (phosphorique, sulfurique, lactique...). On produit énormément de gaz carbonique (14 400 mmol/jour) et de manière plus modeste, des anions organiques associés à des protons. (70 mmol/jour).

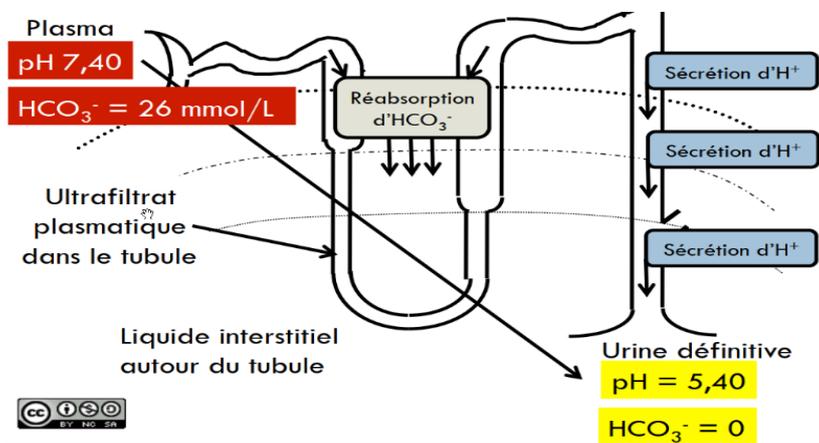


III. Rôles des Reins

On a vu que les reins avaient une grande importance dans l'équilibre acido-basique notamment par la réabsorption de bicarbonate et la sécrétion de protons.

Voyons en détail comment il réalise ces échanges.

Réabsorption Bicarbonates



Nous avons ici le néphron avec à gauche le glomérule (croissant de lune), le tubule (le U).

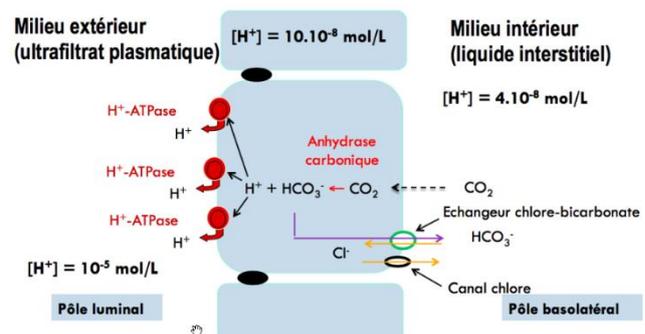
L'ultrafiltrat plasmatique circule à l'intérieur du tubule vers l'urine définitive.

Tout autour circule le liquide interstitiel.

- **La réabsorption des bicarbonates** se fait à partir du fluide dans le tubule vers le liquide interstitiel, l'urine définitive est dépourvue de bicarbonate. TOUS les bicarbonates sont réabsorbés.
- En distale du tubule **les protons vont être sécrétés** du liquide interstitiel vers le fluide tubulaire, ainsi le pH de l'urine est bas. **La réabsorption de protons est variable et dépend de l'état acido-basique, suivant les besoins de l'organisme l'urine est plus ou moins enrichis en protons.**

Sécrétions Protons

La sécrétion rénale des protons est un **phénomène actif** utilisant les **pompes H⁺-ATPases** situés aux pôles lumineux des cellules rénales, elles sont séparées par des jonctions serrées. La sécrétion de protons va pouvoir se faire **contre le flux de diffusion** soit vers l'urine primitive.



- Le CO₂ produit par le métabolisme rentre dans la cellule et est hydraté ,cela donne l'acide carbonique, elle-même donne un **bicarbonate** et un **proton**.

- Le **bicarbonate** produit va être sécrété vers le M.I grâce à l'échangeur chlore bicarbonate.
- Le chlore peut ensuite diffuser librement grâce aux canaux chlore
- Le **proton** lui va être **secrétés vers l'ultrafiltrat plasmatique** grâce aux pompes H⁺-ATPases situées en luminal des cellules rénales. Cette sécrétion est un phénomène actif

Fixations Protons Urine

Les protons vont ensuite rester dans l'urine. Car ils vont s'y retrouver **sous forme liés**. Cela est dû aux **couples acido-basiques** dont les pK sont **favorables** à la forme liée.

NH ₄ ⁺ = 75 % des bicarbonates	→	Augmentation possible d'un facteur 5 (dépend d'une production rénale)
H ₂ PO ₄ ⁻ = 25 % des bicarbonates	→	Pas d'augmentation possible (dépend des apports alimentaires)

- Le **couple ammonium/ammoniac** à un **pK =9.20**, l'urine primitive à un pK inférieur, ainsi les protons vont s'associer à l'ammoniac et formé de l'ammonium .

Ce couple est **extrêmement efficace** pour fixer les protons dans l'urine .L'ammoniac étant produit par les reins ça, 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 à un **pK=6.80** l'urine définitive à un pK généralement inférieur ainsi les protons vont pouvoir s'associer à l'acide phosphorique. L'acide phosphorique provient de **l'alimentation** il n'est **PAS fabriqué par les reins**.

On ne va pas pouvoir augmenter le nombre de protons éliminés par ce couple.

La quantité de protons libre dans l'urine est extrêmement faible par rapport à la quantité de protons liés. Grâce à ces couples acido-basiques, les portons sont ainsi retenus dans l'urine.

Concentration de protons	Valeur du pH
100 mmol/L	1
10 µmol/L	5
100 nmol/L	7
50 nmol/L	7,30
40 nmol/L	7,40
32 nmol/L	7,50
25 nmol/L	7,60
10 nmol/L	8

} Dans l'urine

Les bicarbonates sont fabriqués par les reins , chaque jour ils peuvent générer 50 à 300 mmol de bicarbonates selon l'acidité du milieu extérieur .

RECAP

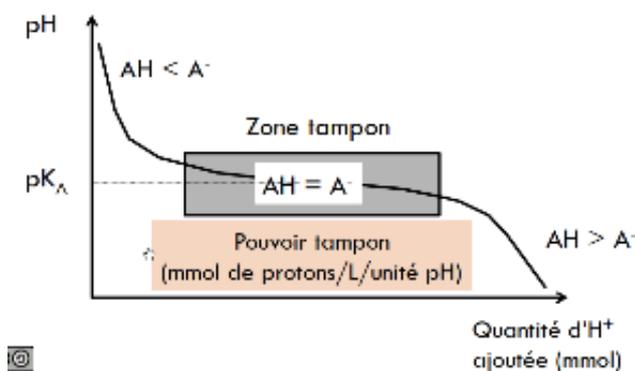
- Les reins réabsorbent les bicarbonates et sécrètent les protons
- Un proton éliminé = un bicarbonate généré
- Dans l'urine, les protons sont principalement associés avec l'ammoniac+++ et l'acide phosphorique
- Le bicarbonate et son pouvoir tampon sont essentiels au maintien de l'équilibre acido-basique

IV. Systèmes tampons plasmatiques et cellulaires

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 **INTERDEPENDANTS**.

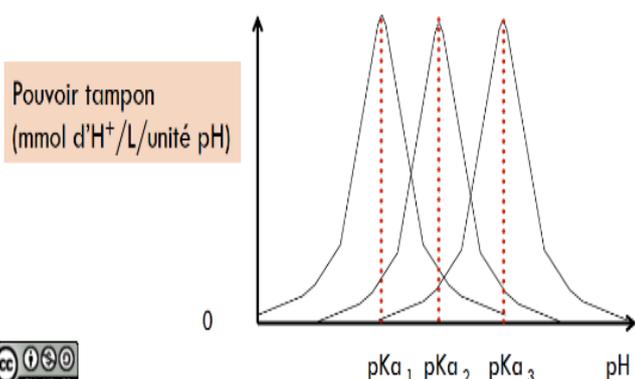
Zone Tampon



La zone tampon : zone proche du pK_A du couple acido-basique , est une zone où il faut ajouter beaucoup de protons pour faire varier très légèrement le pH .

Le pouvoir tampon est donc maximum au niveau du pK_A , il correspond à la quantité de protons qui peuvent être tamponnés par unité de pH et par litre de solution.

Pouvoir Tampon



Si **plusieurs couples acido-basiques** sont présents dans une même solution, **la zone tampon va s'étendre** sur une zone de pH beaucoup plus large que lorsque seul un tampon isolé est présent .

Les différents systèmes sont en **COLLABORATION** et en équilibre afin de trapper les protons de la manière la plus efficace.

Pouvoir Tampon du Sang

Dans le sang **TROIS couples acido-basiques coexistent** , ce qui permet d'avoir une **zone tampon relativement large**.

Ces principaux tampons cellulaires et plasmatiques sont **le bicarbonate , l'acide carbonique , les protéines et acides organiques faibles** .

Bicarbonates :

Ils se distribuent dans **50 % du poids du corps** , à une concentration moyenne de 25 mmol/L , nous avons 1050 mmol de bicarbonate disponible pour tamponner les protons.

Les résidus d'histidines des protéines et les anions organiques faibles comptent une concentration moyenne de 1200 mmol.

La gamme de pH sanguin au pouvoir tampon maximale est au alentour de 7,40 c'est a ce niveau que la capacité des tampons est maximale afin de limiter les variations de pH.

Pouvoir Tampon Global

Tissu/ compartiment	Système tampon	Pouvoir tampon (mmoles H ⁺ /l/unité pH)
Milieu extracellulaire	HCO ₃ ⁻ /H ₂ CO ₃	55
	Acide phosphorique	0,5
	Protéines	7
Milieu cellulaire	HCO ₃ ⁻ /H ₂ CO ₃	18
	Protéines	60
Hématies	HCO ₃ ⁻ /H ₂ CO ₃ Hémoglobine	30

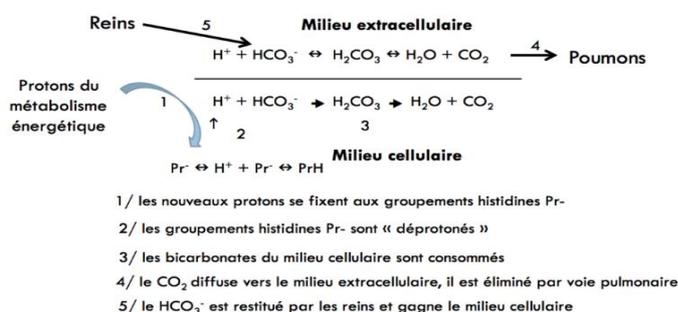
Dans le milieu extracellulaire le principal tampon est le **bicarbonate** on a très peu de protéine.

Dans le milieu cellulaire à contrario le principal tampon est **les protéines**.

Dans les globules rouges, l'**hémoglobine** circule, elle est un système tampon extrêmement efficace.

➤ **Tous ces tampons fonctionnent ENSEMBLE, et sont tous en communication .**

Complémentarité Des Systèmes Tampons



- Lorsque le métabolisme énergétique dans la cellule produit des protons, les nouveaux protons vont se **fixer aux résidus d’histidines des protéines**.

- Puis les résidus d’histidines sont **déprotonés** .

- Les protons réagissant avec les bicarbonates vont accélérer la formation d’acide carbonique et de gaz carbonique.

- **Le gaz carbonique 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 extracellulaire** par les reins afin de contrer cette acidité

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

➤ **La complémentarité des systèmes tampons est indispensable +++++**

La ronéo est indépendante de la faculté de médecine, et ne peut en aucun cas servir de support officiel à l'examen de LAS. Toute reproduction ou vente est interdite sans l'accord de la C2N et du professeur.

RECAP :++

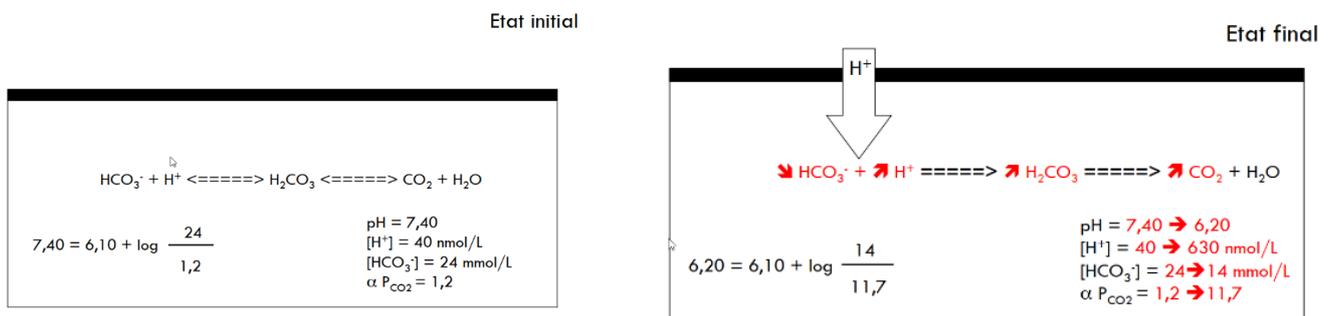
- Les systèmes tampons agissent avant même que les réactions des organismes pulmonaires et rénales aient eu lieu
- Les systèmes tampons sont interdépendants
- Les tampons sont maintenus grâce à l'activité des poumons et reins

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

Milieu Fermé

Nous allons ajouter des protons à une solution d'acide carbonique dans un milieu fermé

Cela signifie que le CO2 produit ne pourra pas diffuser vers l'extérieur .



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.

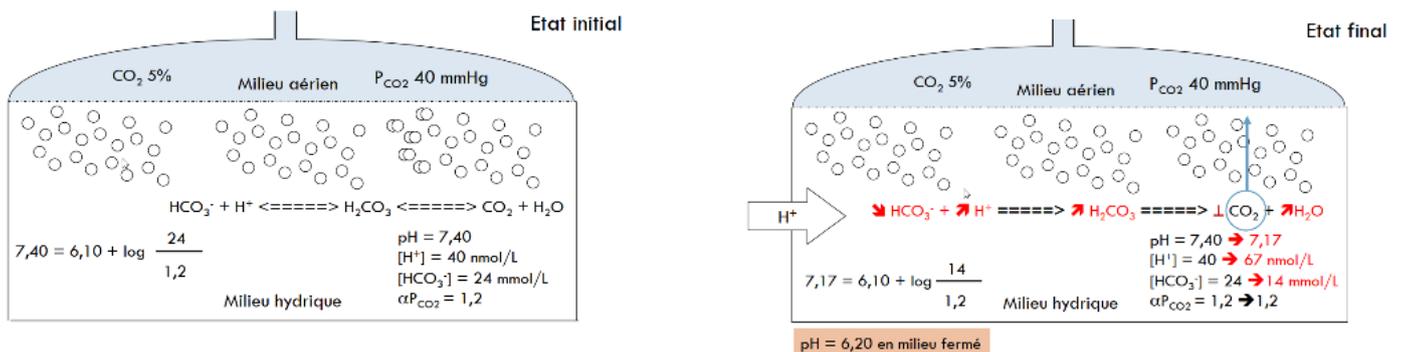
Le **pH diminue** 6,20.

Les bicarbonates ont été consommés il reste 14 mmol/L.

La **pression en CO2 a fortement augmenté**.

Milieu ouvert

On réalise la même expérience, mais maintenant en milieu ouvert ainsi le CO2 pourra diffuser vers un milieu extérieur comme c'est le cas dans le corps humain grâce à la ventilation.



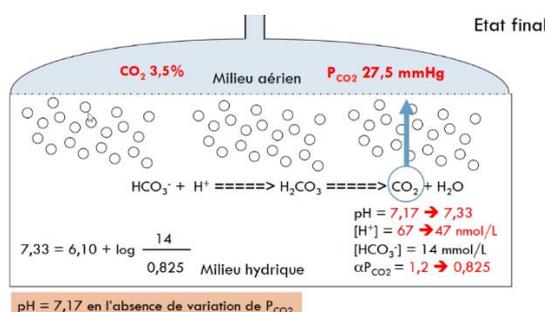
Dans le milieu extérieur on maintient une pression partielle en CO₂ correspondant à la pression alvéolaire 40 mmol/L.

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 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 ici **le pH varie plus légèrement 7,17**, car **l'acide carbonique n'est pas séquestré**.

La simple capacité du gaz carbonique à diffuser vers un milieu aérien permet un variation moindre de pH.+++

Ajout de protons en milieu fermé avec diminution de la pression partielle en CO₂ du milieu aérien :



Ici l'expérience est toujours la même, mais 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. Le gradient de diffusion est augmenté, le CO₂ diffuse mieux vers le milieu aérien.

En effet on a « beaucoup » de CO₂ dans le milieu hydrique et peu dans le milieu aérien afin de maintenir en équilibre les 2 milieux le CO₂ va diffuser du milieu hydrique vers le milieu aérien

Ces expériences permettent de comprendre le fonctionnement dans l'organisme car :

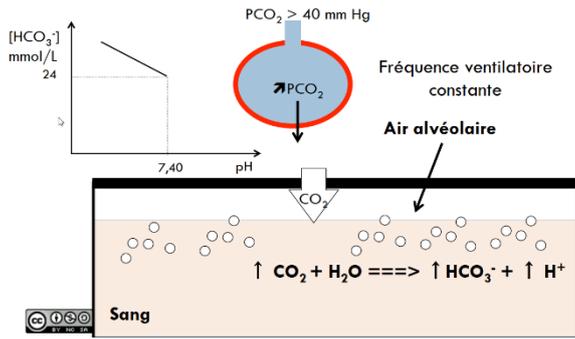
- Le sang est en contact avec l'air alvéolaire, le tampon **acide carbonique** peut être utilisé dans ce milieu ouvert
- La **diffusion de CO₂** augmente avec la fréquence respiratoire

En effet si on hyperventile on renouvelle plus rapidement l'air de nos alvéoles ainsi le CO₂ présent est chassé des alvéoles, on se retrouve dans le cas de la dernière expérience ou il y a une différence de PCO₂ entre les 2 milieux, afin d'équilibrer les 2 milieux le CO₂ va plus facilement diffuser du sang vers les alvéoles.

VI. Etude du pouvoir tampon In Vivo

ETUDE POUVOIR TAMPON DE L'ORGANISME EN MILIEU FERME

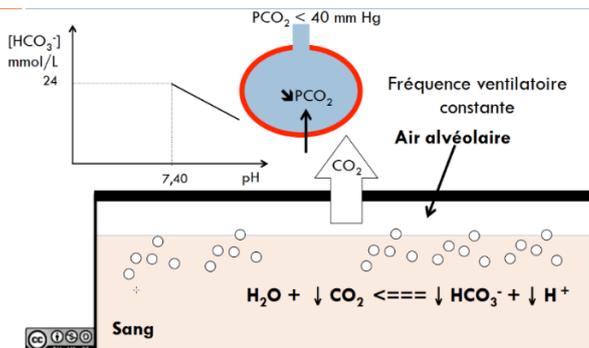
On utilise le cas d'un animal anesthésié et ventilé ou nous modifierons la pression partielle en CO₂ afin de modéliser les différents diagrammes.



On augmente la PCO₂ dans les alvéoles, on a alors une augmentation du CO₂ dissout dans le sang (*logique il diffuse moins bien vers l'extérieur*)

Le Le CO₂ se distribue dans le sang cela entraîne une **augmentation des bicarbonates et des protons** .

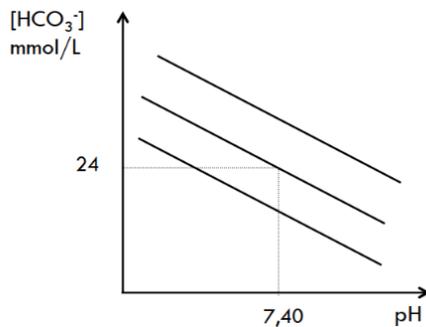
Le pH diminue l'équilibre est déplacé vers le haut et la gauche P plus la PCO₂ est élevée , plus le pH diminue, plus on fabrique de bicarbonate, car l'hydratation du CO₂ produit des H⁺ et des HCO₃⁻



Maintenant on diminue la PCO₂ dans les alvéoles on aboutit alors à une **diminution des protons des bicarbonates** et une **diminution de CO₂** dissout dans le sang (*encore une fois logique les CO₂ va pouvoir bien diffuser vers l'extérieur*)

Le pH augmente l'équilibre est déplacé vers le et la droite.

Modélisation :



En milieu fermé la relation entre le pH et la concentration plasmatique de bicarbonates est **linéaire**.

La constante KA représente le pouvoir tampon des **tampons non volatils** comme **les protéines et les acides faibles non organiques**.

Application en Medecine :

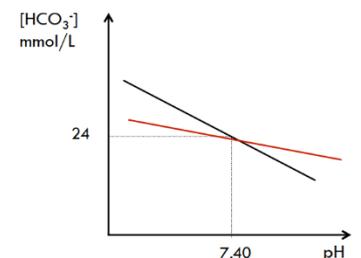
L'anémie : est la diminution de GR dans le sang et donc la diminution de l'hémoglobine (*qui on le rappelle est un tampon*)

Lorsque ça arrive on remarque un **aplatissement de la relation** ainsi pour une plus **faible variation de bicarbonate**, la **variation de pH sera plus importante**.

Cela montre l'importance des pouvoirs tampons , la **carence d'un de ces tampons entraîne de plus grandes variations du pH** .

Diminution des tampons non volatils (les protéines) :

- Hypoalbuminémie
- Anémie =
 - ↓ globules rouges
 - ↓ hémoglobine



Pour la même variation de [HCO₃⁻], la variation du pH est plus grande.

Etude du pouvoir Tampon de l'Organisme en Milieu Ouvert

On se place dans un milieu ouvert, via une intraveineuse on introduit des acides ou base dans le sang.

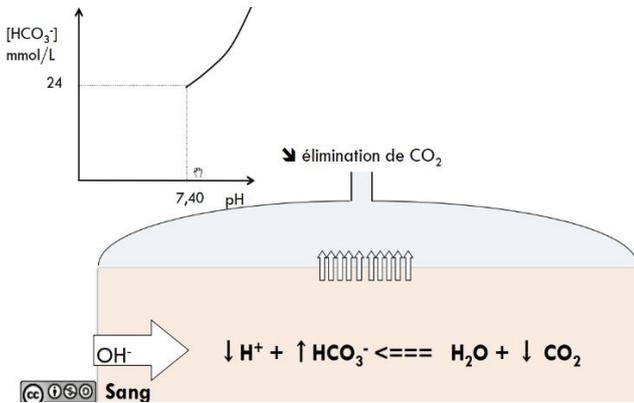
AJOUT DE PROTONS :

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 est 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 est n'est plus linéaire comme pour le milieu ferme.

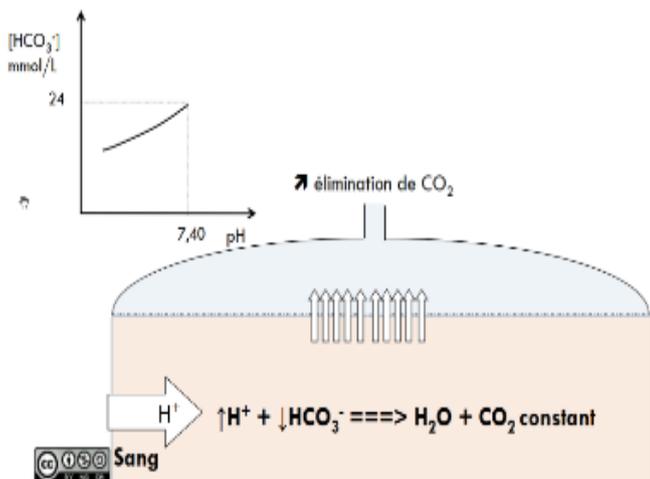


AJOUT DE BASE :

La quantité de protons diminue, car les ions OH⁻ captent les protons.

L'équilibre de la réaction est déplacé vers la fabrication de bicarbonates.

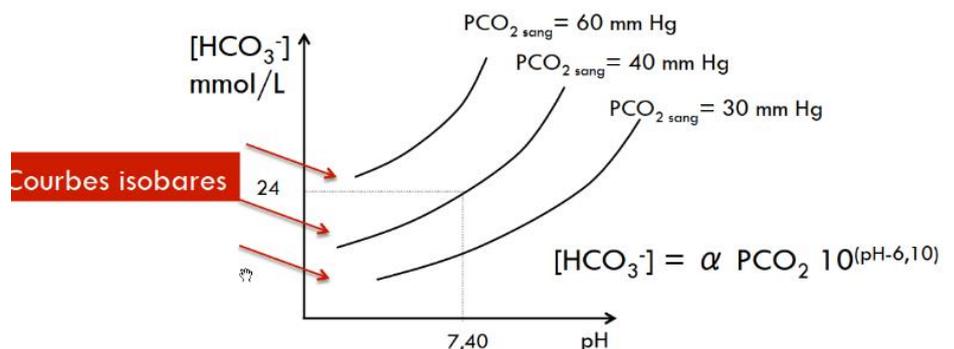
L'équilibre est déplacé vers le haut et la droite, car on a une augmentation des bicarbonates et du pH.



Modélisation :

Nous avons des relations **NON linéaires** (courbes isobares) qui correspondent à des valeurs variables de pression partielle en CO₂ obtenue par diffusion du gaz carbonique en milieu ouvert.

La relation entre le pH et les bicarbonates est exponentielle est dépend de la capacité à évacuer les gaz carboniques.



RECAP :

- Les **variations de PCO² en milieu fermé** nous permettent de caractériser les **tampons fixes** soit, les tampons protéiques.
- Les **ajouts de protons/bases** dans le sang en **milieu ouvert** nous permettent de caractériser les **tampons volatils**.
- Les **tampons fixes et volatils sont interdépendants** .

VII.Analyse de l'équilibre Acido-Basique chez l'Homme

L'état ACIDO BASIQUE normale d'une personne est définis via ces 3 valeurs :

- $7,38 < \text{pH} < 7,42$
- $36 \text{ mmHg} < \text{PCO}_2 < 44 \text{ mmHg}$
- $22 \text{ mmol/L} < [\text{HCO}_3^-] < 26 \text{ mmol/L}$

Henderson Et Hasselbach

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**.

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

Diagramme de Davenport

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 = 24mmol

-PCO₂ = 40 mmHg

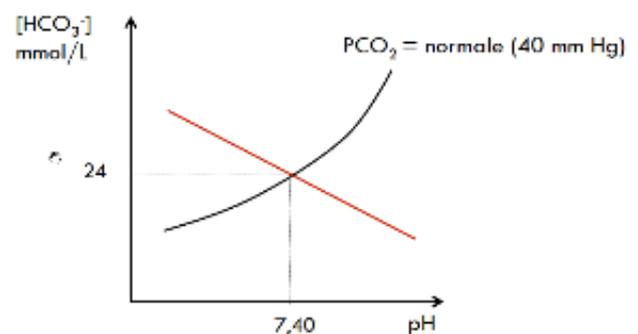


Diagramme de Davenport

- Les **variations pH et bicarbonate** sont mis en avant, par la **relation linéaire (milieu fermé)** et la **courbe (milieu ouvert)** .

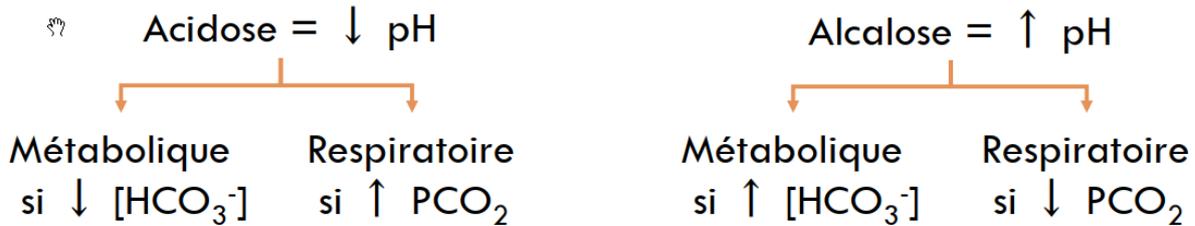
Définitions : (+++)

Acidose : diminution du pH en dessous de 7,38

- Elle peut être **métabolique** si elle s’associe à une baisse de la concentration en bicarbonate
- Elle peut être **respiratoire** si elle s’associe à une augmentation de PCO₂
-

Alcalose : augmentation du pH au-delà de 7,42

- Elle peut être **métabolique** si elle s’associe à une augmentation des bicarbonates
- Elle peut être **respiratoire** si elle s’accompagne d’une baisse de la PC



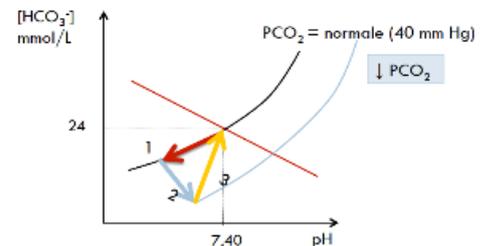
Acidose Métabolique

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

PHASE 1 : Des protons se sont accumulés, les bicarbonates sont consommés ainsi le pH diminue.

PHASE 2 : Pour compenser cette acidose, on a une mise en place d’une hyperventilation pulmonaire, la PCO₂ diminue ce qui permettra une légère remontée du pH.

PHASE 3 : Si l’origine de l’acidose disparaît, 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.



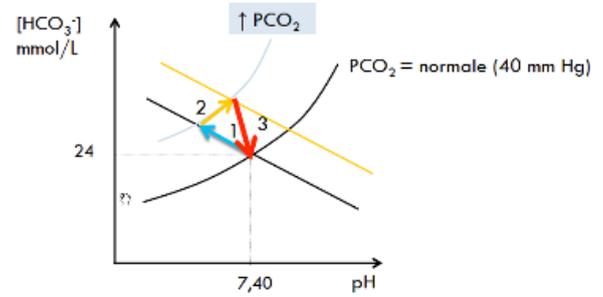
- 1/ acidose métabolique aiguë : $\uparrow \text{H}^+ + \downarrow \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 2/ hyperventilation pulmonaire : $\downarrow \text{H}^+ + \downarrow \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \downarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 3/ augmentation de l’excrétion rénale de protons et de la fabrication des bicarbonates : $\text{H}^+ + \uparrow \text{HCO}_3^- \rightleftharpoons \uparrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

➤ L’état initial d’équilibre sera alors restauré.

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 les gaz carboniques , on va avoir une **augmentation de la PCO₂** . Cela peut être dû à une amputation de la surface d'échange alvéolo-capillaire. L'hydratation du CO₂ provoque **une augmentation des H⁺ et des HCO₃⁻**. **Le pH lui diminue.**



- 1/ acidose respiratoire aiguë $\nearrow H^+ + \nearrow HCO_3^- \leftarrow \nearrow CO_2 + H_2O$
- 2/ augmentation de la fabrication rénale de bicarbonate $\searrow H^+ + \nearrow HCO_3^- \rightarrow \downarrow CO_2 + H_2O$
- 3/ Disparition de la cause de l'acidose respiratoire, élimination des bicarbonates

PHASE 2 : Les reins s'adaptent et fabriquent plus de bicarbonate et d'ammoniac afin d'éliminer plus de protons , le pH augmentera légèrement.

PHASE 3 : Si la cause de l'acidose disparaît le CO₂ va pouvoir être éliminé ainsi la PCO₂ pourra diminuer . Les reins arrêteront leur surproduction de bicarbonates et on reviendra à l'équilibre de départ

Gazométrie

En pratique pour **caractériser l'état acido-basique** d'un patient on réalise une gazométrie. C'est un prélèvement sanguin sous anticoagulant , on prend soin de chasser les bulles d'air pour éviter les modifications de la PCO₂. La seringue est conservée dans la glace jusqu'à l'analyse afin d'éviter la consommation d'oxygène et la production de CO₂ par les cellules.

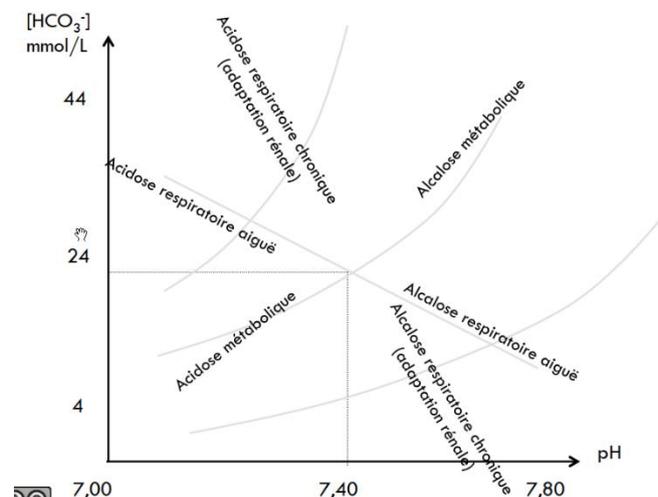
La gazométrie nous permet de **mesurer le pH et la PCO₂** , et à partir de ces données on peut **calculer la concentration en bicarbonates**.

L'acide carbonique est centre de la régulation de l'équilibre acido-basique de l'organisme.

Limites

Le diagramme de Davenport est adapté pour des **troubles simples** respiratoires ou métaboliques. Or en médecine on a régulièrement des **troubles mixtes** par exemple, coexistence d'une insuffisance respiratoire et métabolique.

En pratique courante ce diagramme n'est pas utilisé.(++)



Courage pour la suite !

La ronéo est indépendante de la faculté de médecine, et ne peut en aucun cas servir de support officiel à l'examen de LAS. Toute reproduction ou vente est interdite sans l'accord de la C2N et du professeur.