

CONTRÔLE DU PH DU SANG



Capacité(s) contextualisée(s) mise(s) en jeu durant l'activité :

- ✓ Extraire et exploiter des informations pour montrer l'importance du contrôle du pH dans un milieu biologique.

Situation de départ

Un homme de 73 ans consulte aux urgences. Il est cyanosé et souffre de broncho-pneumopathie obstructive. Il se dit cardiaque, présente une augmentation rapide de son rythme respiratoire. Sa gazométrie sanguine donne les résultats suivants :

$$p_{\text{CO}_2} = 60 \text{ mm de Hg}, \text{ pH} = 7,2 \text{ et } [\text{HCO}_3^-] = 22 \text{ mmol.L}^{-1}.$$



Problème

(analyser, réaliser, valider, communiquer)



A l'aide des documents suivants et de vos connaissances, montrer l'importance du système tampon bicarbonate, en imaginant une entrée d'acide chlorhydrique ($\text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} + \text{Cl}^-_{(\text{aq})}$) de $1,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ dans le sang d'une personne normale puis déterminer le type de trouble acido-basique que présente l'homme de la situation de départ en justifiant votre raisonnement.

Les systèmes régulateurs de cet homme fonctionnent-ils, Justifier.

A votre avis, à quoi est due la survenue de ce trouble ?

D'après une activité de l'académie d'Orléans-Tours : <http://physique.ac-orleans-tours.fr>

Documents



Doc.1 : Contrôle du pH du sang

L'équilibre acido-basique de l'organisme est essentiel à la vie. De multiples réactions enzymatiques sont dépendantes du maintien dans une étroite limite du pH des milieux extra et intracellulaire. Une variation du pH intracellulaire entrainerait une modification de l'activité biologique des cellules et perturberait la stabilité des protéines.

La présence de CO_2 dans le sang est une des résultantes essentielles de l'activité cellulaire. De cette activité résulte par ailleurs une production d'ions H_3O^+ et d'acides non négligeable, largement suffisante pour faire descendre le pH sanguin à des valeurs rapidement incompatibles avec la survie cellulaire si le sang n'était pas tamponné.

Les processus métaboliques, les structures quaternaires des protéines, les liaisons intermoléculaires, les perméabilités membranaires, tout ce qui constitue l'être vivant est extrêmement sensible à la moindre variation de pH. Ceci explique l'importance d'une régulation étroite du pH : entre 7,35 et 7,45 pour le pH du sang (limites compatibles avec la vie : 6.8 – 7.8), autour de 7 pour le pH intracellulaire (variable selon les cellules et dans les différents organites d'une même cellule). Il est probable que la régulation la plus fine se situe au niveau de l'intracellulaire, mais ce milieu est très difficile à explorer. Nous nous limiterons à étudier l'équilibre acido-basique par le biais du compartiment extracellulaire (plasma) du sang.

Il existe trois niveaux de maintien du pH sanguin permettant de répondre plus ou moins rapidement à une brusque variation du pH :

- Les systèmes tampon (permanents, instantanés, mais limités)
- Deux systèmes de régulation :
 - Le système respiratoire (rapide)
 - Le système rénal (le plus lent)

Doc.2 : Valeurs normales des paramètres de gaz sanguins et définition des troubles acidobasiques

Valeurs normales			
pH	Acidémie ⇐ < 7,35	7,35 – 7,4 – 7,45	> 7,45 ⇒ Alcalémie
P_{co₂}	Alcalose respiratoire ⇐ < 35	35 mm Hg – 40 mm Hg – 45 mm Hg	> 45 ⇒ Acidose respiratoire
[HCO₃]	Acidose métabolique ⇐ < 22	22 mmol/L – 25 mmol/L – 28 mmol/L	> 28 ⇒ Alcalose métabolique

Extrait de Le médecin du Québec, volume 43, numéro 6, juin 2007

Doc.3 : Définitions extraites de l'encyclopédie Larousse

Alcalose : Trouble de l'équilibre acido-basique de l'organisme correspondant à une diminution de la concentration d'acide dans le plasma et les liquides interstitiels

Alcalose métabolique : C'est un trouble de l'équilibre acido-basique dû à un apport excessif de bases (bicarbonate de soude, par exemple) ou à une perte sévère d'acides, par exemple de suc gastrique lors de vomissements importants.

Alcalose respiratoire : C'est un trouble de l'équilibre acido-basique dû à un excès d'élimination pulmonaire de gaz carbonique provoqué par une hyperventilation (respiration rapide et profonde). Elle peut survenir en réponse adaptative au manque d'oxygène, lors d'une crise de panique ou en haute altitude.

Acidose : Trouble de l'équilibre acido-basique de l'organisme correspondant à une augmentation de la concentration d'acide dans le plasma et les liquides interstitiels.

Acidose métabolique : Ce trouble de l'équilibre acido-basique de l'organisme peut être provoqué par une production accrue d'acides dans l'organisme ou par une perte de bases.

Acidose respiratoire : Trouble de l'équilibre acido-basique de l'organisme qui se produit lorsque la respiration ne parvient pas à éliminer le dioxyde de carbone en quantités suffisantes ; l'excès de gaz restant dans le sang entraînant ainsi une élévation de l'acidité sanguine. L'acidose respiratoire peut être causée par un coma, une noyade, une insuffisance respiratoire chronique.

Doc.4 : Extrait d'un cours de médecine (pcem2)

Le stock d'acide de l'organisme est maintenu constant par deux systèmes régulateurs indépendants : le rein et le poumon. Chacun est spécialisé dans l'élimination d'un type d'acide bien précis : le rein n'est pas plus capable d'éliminer du CO_2 que le poumon n'est capable d'éliminer des acides forts. Toutefois, en cas de défaillance de l'un des deux systèmes, l'autre sera capable de prendre des mesures de compensation.

Ces systèmes régulateurs sont toutefois situés loin des tissus où se produit l'agression acido-basique; ils ont un délai d'intervention de quelques minutes pour le poumon à quelques heures pour le rein. Compte tenu de la grande sensibilité des processus métaboliques au pH, les cellules ne peuvent pas se permettre d'attendre, d'où la nécessité des systèmes tampons.

Les systèmes tampons sont indispensables : présents partout dans l'organisme, sans aucun délai de réponse, ils permettent d'attendre la régulation mais ne la remplacent pas. [...]

Dans le sang, il existe principalement deux systèmes tampon :

- Dans le plasma, le tampon bicarbonate
- Dans les globules rouges, le tampon hémoglobine.

Doc.5 : Le tampon bicarbonate sanguin

Le système tampon bicarbonate est le plus important de ceux intervenant dans le pouvoir tampon du sang. De plus, à l'inverse des autres systèmes, il présente l'avantage important de pouvoir fonctionner en système ouvert, les concentrations en base et en acide pouvant être régulées par contrôle de leur excrétion (CO_2 par voie respiratoire et HCO_3^- par voie rénale).

Le couple acide-base ($\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}/\text{HCO}_3^-$ (couple dioxyde de carbone dissous/ion hydrogénocarbonate) grâce à l'équilibre :



Le pH est déterminé par l'équation d'Henderson-Hasselbalch : $\text{pH} = \text{pK}_A + \log \frac{[\text{B}]}{[\text{A}]}$

Son application au système bicarbonate donne : $\text{pH} = \text{pK}_A + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}]}$

Toute modification de l'un de ces facteurs entraîne une compensation par l'autre afin de maintenir le pH constant.

Doc.6 : bilan des entrées et sorties d'acide et de base

1. Entrées :

Les entrées d'acides ou de bases peuvent être alimentaires ou métaboliques.

- Le CO_2 : métabolique, il est fabriqué par les cellules
- les acides : H_3O^+ générés par l'activité des cellules
- Les bases : essentiellement alimentaires.

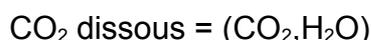
2. Sorties :

Elles sont assurées par deux voies : **le CO_2 est éliminé par le poumon et les autres acides par le rein.** Ce sont les seules voies importantes en physiologie.

Doc.7 : Transport du CO₂ dans le sang

Le CO₂ est transporté dans le sang :

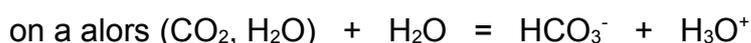
- **Sous forme dissoute dans le plasma :**



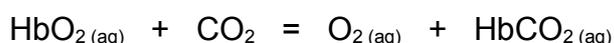
$$[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}] = a \times p_{\text{CO}_2}$$

où p_{CO_2} correspond à la pression artérielle en CO₂ dissous dans le sang

a est le coefficient de solubilité du CO₂ (0,23 mmol.L⁻¹.kPa⁻¹ ou 0,031 mmol.L⁻¹.mmHg⁻¹ à 37°C).



- **Combiné à l'hémoglobine dans les hématies (globules rouges) :**



Le tampon bicarbonate intervient donc dans le plasma, tandis que le tampon hémoglobine joue son rôle dans les globules rouges.

Doc.8 : Le rôle des poumons dans le maintien de l'équilibre acido-basique

Les poumons interviennent en second lieu après la régulation par les systèmes tampons, en éliminant plus ou moins de CO₂, de façon à ce que la pression p_{CO_2} reste constante.

Cette régulation est mise en jeu rapidement quand la régulation par les systèmes tampons est insuffisante.

Cette régulation est importante quand il y a de brusques variations de pH. La régulation est mise en jeu rapidement au bout de 1 à 3 minutes et optimale en 12 à 24 heures.

Le centre respiratoire ajuste de façon réflexe la ventilation pulmonaire et donc l'élimination du CO₂ aux variations du pH sanguin.

Une diminution du pH sanguin entraîne une augmentation de la ventilation pulmonaire, il y a augmentation du rythme et de l'amplitude des mouvements respiratoires, de façon à éliminer le CO₂ en excès.

Doc.9 : Le rôle des reins dans le maintien de l'équilibre acido-basique

Les tampons chimiques se lient temporairement aux acides ou aux bases en excès, mais ne peuvent les éliminer de l'organisme. Seuls les reins peuvent éliminer les acides autres que CO_2 (Ac phosphorique, sulfurique, urique, corps cétoniques.). Seuls les reins peuvent régler les concentrations des substances basiques, notamment HCO_3^- .

Le rein a pour fonction d'ajuster les quantités de base et d'acides de l'organisme.

Il agit en quelque sorte comme un filtre.

- Les ions H_3O^+ ainsi que les HCO_3^- passent dans le rein qui produit de l'ammoniac NH_3 . L'ammoniac se combine avec H_3O^+ , qui sera éliminé dans les urines sous forme d'ions NH_4^+ .
- L'excrétion d'un H_3O^+ accepté par les tampons urinaires régénère un HCO_3^- qui repasse dans le sang. En même temps cet ion H_3O^+ est échangé contre Na^+ . Si bien que le rein a régénéré un bicarbonate (Na^+ , HCO_3^-). A l'état normal, les HCO_3^- sont maintenus dans le sang à 25 mmol/L pour une p_{CO_2} de 40mmHg.
- Parallèlement à cette élimination d'acides par le rein, si dans le sang, l'équilibre du tampon bicarbonate est déplacé dans le sens de la production de CO_2 , des ions HCO_3^- sont consommés, alors le rein en produira une quantité équivalente à celle qui a été consommée pour tamponner les ions H_3O^+ .