

Thème : COMPRENDRE - Lois et modèles

(Sous-thème : Structure et transformation de la matière)

Type de ressources :

Activité documentaire d'une heure. Prolongements et approfondissements des notions au programme. Références bibliographiques et sitographie.

Notions et contenus :

Contrôle du pH, solution tampon ; rôle en milieu biologique

Compétence travaillée ou évaluée :

Extraire et exploiter l'information

Nature de l'activité :

Activité documentaire

Résumé :

A partir de différents documents, il s'agit de comprendre comment le corps humain s'adapte aux variations de son pH, par l'intermédiaire du pH du sang, et comment le tampon bicarbonate est un élément stratégique par son action immédiate, qui est ensuite relayée par le poumon et le rein. Les élèves doivent ensuite mettre en pratique ces connaissances pour résoudre un cas clinique.

Mots clefs : contrôle pH, tampon, biologique, régulation

Académie où a été produite la ressource : Académie d'Orléans-Tours

<http://physique.ac-orleans-tours.fr/>

Contrôle du pH du sang

Conditions de mise en œuvre :

Cette activité documentaire peut être réalisée en une heure à condition que les élèves aient déjà suffisamment travaillé la notion de solution tampon. Elle permet de montrer l'existence de tampons « naturels » et montre le rôle essentiel de l'ion bicarbonate dans le sang. Il existe cependant d'autres tampons dans le sang et cette étude n'est pas exhaustive.

Cette activité intervient en fin du chapitre sur la réaction chimique par échange de protons et illustre le cours. Elle peut donner lieu à une évaluation par compétences.

Extrait du BO :

Notions et contenu	Compétences exigibles
Réaction chimique par échange de proton Contrôle du pH : solution tampon ; rôle en milieu biologique.	Extraire et exploiter des informations pour montrer l'importance du contrôle du pH dans un milieu biologique.

Compétences travaillées :

- **Compétences « préambule du cycle terminal » :** pratiquer une démarche scientifique (rechercher, extraire et organiser l'information utile, mettre en œuvre un raisonnement, communiquer à l'écrit).
- **Compétences « extraire et exploiter » :**

Extraire : Choisir ce qui est à retenir dans des ensembles

Exploiter : Traiter numériquement des équations

Prérequis :

La réaction d'un acide faible avec l'eau est supposée connue, de même que la notion de pKa et l'équation

d'Henderson-Hasselbalch:
$$\text{pH} = \text{pK}_A + \log \frac{[\text{B}]}{[\text{A}]}$$

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 entraînerait 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. 1 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 42, numéro 6, Juin 2007

Doc. 2 : 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. 3 : Extrait d'un cours de médecine (pcem2)

http://www-smbh.univ-paris13.fr/smbh/pedago/resour_physio/equilibre_acid_bas.pdf

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 CO₂ 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 :

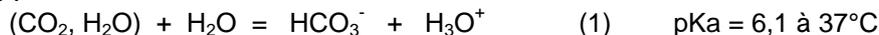
- Dans le plasma, le tampon bicarbonate
- Dans les globules rouges, le tampon hémoglobine.

Doc. 4 : Le tampon bicarbonate sanguin

Extrait de <http://coproweb.free.fr/pagphy/physioan/ch4s2.htm>

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 (CO₂ par voie respiratoire et HCO₃⁻ par voie rénale).

Le couple acide-base (CO₂, H₂O) / HCO₃⁻ (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. 5 : Bilan des entrées et sorties d'acide et de base

http://www-smbh.univ-paris13.fr/smbh/pedago/resour_physio/equilibre_acid_bas.pdf

1. Entrées :

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

- 1.a. Le CO₂ : métabolique, il est fabriqué par les cellules
- 1.b. les acides : H₃O⁺ générés par l'activité des cellules
- 1.c. Les bases : essentiellement alimentaires.

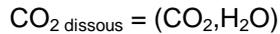
2. Sorties :

Elles sont assurées par deux voies : **le CO₂ est éliminé par le poumon et les autres acides par le rein**. Ce sont les seules voies importantes en physiologie.

Doc. 6 : Transport du CO₂ dans le sang

Le CO₂ est transporté dans le sang :

- **Sous forme dissoute dans le plasma**



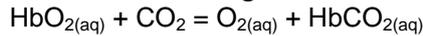
$$[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}] = a \times p_{\text{CO}_2}$$

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).

on a alors $(\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}) + \text{H}_2\text{O} = \text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+$

- **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. 7 : 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 reflexe 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. 8 : 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 CO₂ (Ac phosphorique, sulfurique, urique, corps cétoniques...). Seuls les reins peuvent régler les concentrations des substances basiques, notamment HCO₃⁻.

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 H₃O⁺ ainsi que les HCO₃⁻ passent dans le rein qui produit de l'ammoniac NH₃. L'ammoniac se combine avec H₃O⁺, qui sera éliminé dans les urines sous forme d'ions NH₄⁺.
- L'excrétion d'un H₃O⁺ accepté par les tampons urinaires régénère un HCO₃⁻ qui repasse dans le sang. En même temps cet ion H₃O⁺ est échangé contre Na⁺. Si bien que le rein a régénéré un bicarbonate (Na⁺, HCO₃⁻). A l'état normal, les HCO₃⁻ 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 CO₂, des ions HCO₃⁻ sont consommés, alors le rein en produira une quantité équivalente à celle qui a été consommée pour tamponner les ions H₃O⁺.

D'après : J. Rossert, L. Barousse-Nicolet, Service de néphrologie B, Assistance publique, Hôpital Tenon

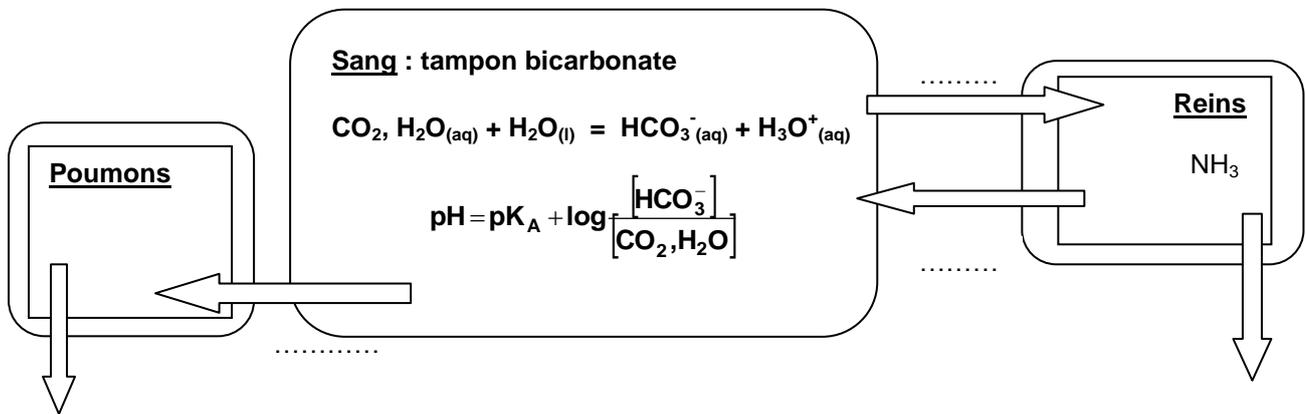
Conclusion :

L'organisme est doté de mécanismes régulateurs qui luttent sans cesse contre les agressions acido-basiques, quand ces mécanismes sont dépassés, l'équilibre acido-basique est rompu. Le contrôle du pH du sang s'avère crucial quand certaines pathologies sont soupçonnées.

Cet équilibre peut être étudié en déterminant au moins 2 éléments de l'équation de Hendersen-Hasselbach.

Questions :

- A partir des normes de $p\text{CO}_2$ et $[\text{HCO}_3^-]$, montrer que le rapport $\frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}]} = 20$ et retrouver la valeur du pH moyen du sang dans le plasma.
- Pour montrer l'importance du rôle tampon, imaginer une entrée d'acide chlorhydrique $\text{H}_3\text{O}^+ + \text{Cl}^-_{\text{aq}}$ de $1,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ dans le sang.
 - Calculer le pH qui en résulterait sans système tampon.
 - Quel sera l'effet de l'apport d' H_3O^+ sur l'équilibre ? En supposant la réaction totale, montrer qu'il disparaît $1,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ d' HCO_3^- et qu'il apparaît $1,0 \text{ mmol.L}^{-1}$ de $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$ déterminer la nouvelle valeur du pH.
 - Comparer les valeurs obtenues en A) et B) aux valeurs vitales de pH et conclure.
- Pourquoi le système tampon ne peut-il pas à lui seul équilibrer le pH ?
 - Compléter le schéma suivant à partir des différents documents précédents.



- Justifier la phrase du document : Le système tampon bicarbonate [...] présente l'avantage important de pouvoir fonctionner en système ouvert.
- 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 : $p\text{CO}_2 = 60 \text{ mm de Hg}$, $\text{pH} = 7,2$ et $[\text{HCO}_3^-] = 22 \text{ mmol.L}^{-1}$.
 - Déterminer le type de trouble acido-basique en cause (acidose métabolique, acidose respiratoire, alcalose métabolique, alcalose respiratoire) en justifiant votre raisonnement. Les systèmes régulateurs fonctionnent-ils, Justifier.
 - A votre avis, à quoi est due la survenue de ce trouble ?

Bibliographie / Sitographie :

http://www-smbh.univ-paris13.fr/smbh/pedago/resour_physio/equilibre_acid_bas.pdf

<http://coproweb.free.fr/pagphy/physioan/ch4s2.htm>

Physiologie appliquée à la médecine par Samson Wright éditions Flammarion médecine sciences

http://udsmed.u-strasbg.fr/emed/courses/SEMEIOBIOHEMATOG1/document/Equil_Acido-basique.pdf?cidReq=SEMEIOBIOHEMATOG1

<http://www.chufes.ma/amirf/Cours/biologie/24.pdf>

Le Medecin du Quebec, volume 42, numéro 6, Juin 2007