

# LE CORPS HUMAIN, UNE MACHINE À RÉGULER LE PH

## Activité 4 p347 du livre

Notre corps est constitué de 65 à 75 % d'eau. C'est donc essentiellement en milieu aqueux que se déroulent les processus métaboliques et les réactions chimiques qu'il nécessite. Le bon fonctionnement des enzymes, qui en sont les catalyseurs, dépend du pH des différentes solutions, qui doit toujours se situer dans une fourchette idéale de valeurs.

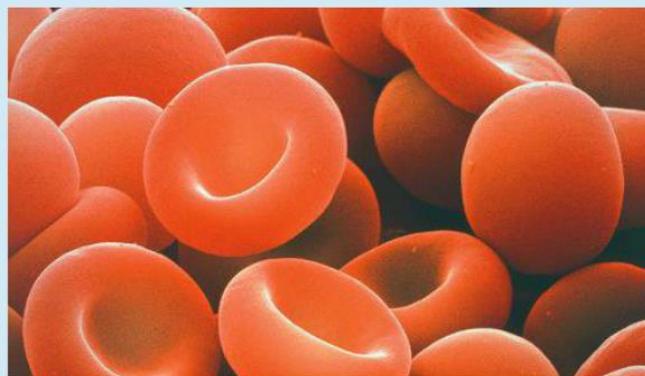
Par exemple, il doit être compris entre 7,3 et 7,4 dans le milieu extracellulaire (lympe, liquide céphalo-rachidien), entre 7,37 et 7,43 dans le sang artériel, entre 7,2 et 7,3 dans le milieu intracellulaire (cellules sanguines et tissulaires), et entre 1,2 et 3,0 dans l'estomac. D'infimes variations de pH de ces milieux suffisent à perturber le métabolisme : une baisse de 0,3 unité de pH du sang provoque le coma, une de 0,5, la mort.

Au cours des activités métaboliques vitales (effort musculaire, respiration, digestion), des modifications incessantes de la composition chimique du sang, comme les accumulations d'acides, provoquent des variations de pH. Pour le maintenir constant, l'organisme dispose de différents systèmes tampons qui lui permettent de limiter ces écarts. Les échanges gazeux dans les poumons, la régulation rénale ainsi que le sang constituent les principaux systèmes tampons de l'organisme. Trois systèmes agissent dans le sang : le tampon dioxyde de carbone dissous/ion hydrogénocarbonate ( $\text{CO}_2(\text{aq}), \text{H}_2\text{O}(\text{l})/\text{HCO}_3^-(\text{aq})$ ), les protéines et le tampon phosphate ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{aq})/\text{HPO}_4^{2-}(\text{aq})$ ).

Les ions hydrogénocarbonate  $\text{HCO}_3^-(\text{aq})$  constituent le tampon extracellulaire le plus important. À 37 °C, leur concen-

tration dans le sang est de  $2,7 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  et celle du  $\text{CO}_2(\text{aq})$  est de  $1,36 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

Un excès d'acidité dans le sang entraîne la production de dioxyde de carbone, lequel est évacué par les poumons grâce à une protéine, l'hémoglobine (Fig. 1). La respiration réagit le plus rapidement en matière d'élimination des acides. Si une quantité excessive d'acides pénètre dans le sang, les poumons passent aussitôt en hyperventilation et expulsent donc plus de  $\text{CO}_2$ . La régulation rénale du pH intervient un peu plus tard, mais elle permet d'éliminer des ions oxonium sans perdre les ions hydrogénocarbonate, lesquels sont en effet réabsorbés et réinjectés dans le sang.



**Fig. 1** L'hémoglobine des globules rouges permet le transport du dioxyde de carbone dans le sang.

**1 a.** En prenant 7,4 comme valeur moyenne du pH du sang, calculer la concentration des ions oxonium dans le sang.

**b.** La mort est-elle provoquée par une augmentation ou une diminution de l'acidité du sang ?

**2 a.** Écrire l'équation de la réaction entre le couple  $\text{CO}_2(\text{aq}), \text{H}_2\text{O}(\text{l})$  et l'eau.

**b.** Exprimer la constante d'équilibre  $K_{a1}$  du couple  $\text{CO}_2(\text{aq}), \text{H}_2\text{O}(\text{l})/\text{HCO}_3^-(\text{aq})$ .

**c.** Sachant qu'à 37 °C,  $\text{p}K_{a1} = 6,1$ , montrer que le pH du sang est bien imposé par le couple  $\text{CO}_2(\text{aq}), \text{H}_2\text{O}(\text{l})/\text{HCO}_3^-(\text{aq})$ .

**3 a.** Écrire l'équation de la réaction entre les ions dihydrogénophosphate  $\text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{aq})$  et l'eau contenue dans le sang.

**b.** Exprimer la constante d'équilibre  $K_{a2}$  du couple  $\text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{aq})/\text{HPO}_4^{2-}(\text{aq})$ .

**c.** Sachant qu'à 37 °C,  $\text{p}K_{a2} = 6,8$ , et sachant que le sang contient en permanence quatre fois moins d'ions  $\text{H}_2\text{PO}_4^-(\text{aq})$

que d'ions  $\text{HPO}_4^{2-}(\text{aq})$ , montrer que ces ions contribuent aussi au pH du sang.

**4** Déterminer comment l'équilibre dans l'eau des ions hydrogénocarbonate est modifié après :

**a.** accumulation dans le sang d'ions oxonium (provenant par exemple de la digestion des aliments) ;

**b.** accumulation dans le sang de dioxyde de carbone (provenant de la dégradation des glucides lors de l'effort musculaire).

**5** Quelles sont les réponses apportées par l'organisme pour atténuer ces modifications ?

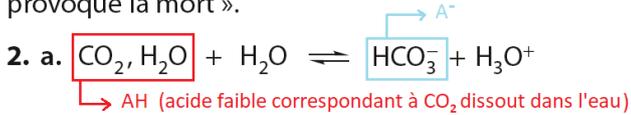
### Pour conclure

**6** Réaliser un schéma simplifié synthétisant les trois processus corrélés mis en jeu pour réguler la valeur de pH du sang.

## Correction :

1. a.  $[H_3O^+] = 10^{-pH} = 3,9 \times 10^{-8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ .

b. La mort est provoquée par une augmentation de l'acidité du sang car « une baisse de 0,5 unité du pH provoque la mort ».



b.  $K_{a_1} = \frac{[H_3O^+]_f \times [HCO_3^-]_f}{[CO_2, H_2O]_f}$

c. La relation précédente peut se mettre sous la forme :

$$pH = pK_{a_1} + \log \frac{[HCO_3^-]_f}{[CO_2, H_2O]_f}$$

En tenant compte des valeurs données dans le texte :

$$pH = 6,1 + \log \frac{2,7 \times 10^{-2}}{1,36 \times 10^{-3}} = 7,4$$

qui est bien le pH du sang.

3. a.  $H_2PO_4^- (aq) + H_2O (l) \rightleftharpoons HPO_4^{2-} (aq) + H_3O^+ (aq)$ .

b.  $K_{a_2} = \frac{[H_3O^+]_f \times [HPO_4^{2-}]_f}{[H_2PO_4^-]_f}$

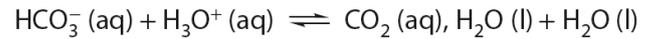
c.  $pH = pK_{a_2} + \log \frac{[HPO_4^{2-}]_f}{[H_2PO_4^-]_f}$

$$[HPO_4^{2-}]_f = 4 [H_2PO_4^-]_f \Rightarrow \frac{[HPO_4^{2-}]_f}{[H_2PO_4^-]_f} = 4$$

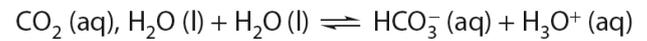
Ainsi :  $pH = 6,8 + \log 4 = 7,4$

qui est bien la valeur du pH du sang.

4. a. Lorsqu'il y a accumulation d'ions oxonium dans le sang, les ions oxonium réagissent sur  $HCO_3^-$  pour former du  $CO_2$  (le pH augmente) :



b. Lorsqu'il y a accumulation de dioxyde de carbone dans le sang, celui-ci réagit avec l'eau d'après et il y a production d'ions oxonium (le pH diminue) :



5. Dans le cas de production de dioxyde de carbone, la respiration (expiration) permet de faire diminuer sa quantité. Dans le cas de production d'ions oxonium, la régulation se fait par les reins qui permettent son élimination. Dans les deux cas, les tampons chimiques interviennent.

