

DEVOIR SURVEILLE N°8
PHYSIQUE-CHIMIE
Terminale S
DURÉE DE L'ÉPREUVE : 2h00

L'usage d'une calculatrice EST autorisé

Exercice 1 : réaction acido-basique 15 points

Lors du métabolisme basal de l'homme, l'énergie nécessaire provient de la transformation en milieu oxygéné du glucose en dioxyde de carbone et eau. Le dioxyde de carbone est transporté par le sang jusqu'aux poumons où il est alors éliminé par ventilation.

Lors d'un effort physique intense, les besoins énergétiques des muscles augmentent : le métabolisme basal augmente ainsi que la ventilation.

Dans certains cas, lorsque la ventilation est insuffisante, l'énergie nécessaire au fonctionnement du muscle devient insuffisante : la crampe apparaît. Il se forme, dans la cellule musculaire, de l'acide lactique qui lorsqu'il passe dans le sang, provoque une diminution locale de son pH du fait de la création en abondance de dioxyde de carbone dissous dans le sang. Cette diminution du pH sanguin déclenche des ordres hypothalamiques qui vont amplifier la ventilation.

Le but de cet exercice est d'expliquer, de façon très simplifiée, les processus mis en jeu lors de l'apparition d'une crampe.

1 - pH du sang et maintien de sa valeur :

Le sang est constitué d'un liquide plasmatique (contenant entre autres les globules et les plaquettes), qui peut être assimilé à une solution aqueuse ionique dont le pH (d'une valeur voisine de 7,4) est quasiment constant et ne peut subir que de très faibles fluctuations. Dans le cas contraire, de fortes fluctuations nuiraient gravement à la santé.

Le maintien de la valeur du pH se fait par deux processus :

- Le premier met en œuvre un ensemble d'espèces chimiques régulatrices dont notamment le couple acide-base CO_2 , H_2O / HCO_3^- (couple dioxyde de carbone dissous / ion hydrogénocarbonate) grâce à l'équilibre :
$$\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} = \text{HCO}_3^-_{(\text{aq})} + \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})} \quad (\text{réaction 1}).$$
- Le deuxième processus physico-chimique est la respiration.

A une température de 37°C on donne :

- pH d'un sang artériel « normal » : 7,4
- $\text{pK}_a(\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O} / \text{HCO}_3^-) = 6,1$

1.1. a) Donner l'expression de la constante d'acidité K_{a1} associée au couple régulateur (réaction 1).

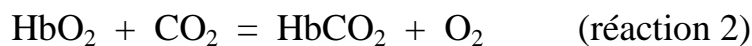
En déduire la relation entre le pH et le pK_{a1} du couple $CO_2, H_2O / HCO_3^-$.

b) Calculer alors la valeur du rapport $\frac{[HCO_3^-]}{[CO_2, H_2O]}$ dans le sang artériel normal.

c) Lors d'un effort physique, la concentration en dioxyde de carbone dissous dans le sang, au voisinage du muscle, augmente. Comment devrait varier le pH du sang ?

Pour éviter cette variation du pH du sang, l'hémoglobine contenue dans ce dernier et la respiration interviennent pour éliminer l'excès de dioxyde de carbone.

Le transport des gaz dissous dans le sang peut être modélisé par l'équilibre :



Où Hb représente l'hémoglobine du sang.

1.2. Répondre qualitativement aux questions suivantes :

a) Au voisinage du poumon la quantité de O_2 dissous augmente. Dans quel sens est déplacé l'équilibre 2 ?

b) Au voisinage du muscle la quantité de CO_2 dissous augmente. Dans quel sens est déplacé l'équilibre 2 ?

c) Expliquer comment la respiration permet de maintenir constante la valeur du pH sanguin.

2. L'acide lactique

L'acide lactique a pour formule $CH_3-CHOH-COOH$. Sa base conjuguée est l'ion lactate



2.1. Donner la formule développée de l'acide lactique ; entourer et nommer les différents groupes fonctionnels de la molécule.

2.2. Donner la définition d'un acide selon Brønsted.

2.3. Ecrire l'équation de la réaction de l'acide lactique avec l'eau.

3. Variation locale du pH sanguin en l'absence des processus de maintien :

Lorsque l'acide lactique produit dans la cellule musculaire est en partie transféré dans le sang, il réagit avec les ions hydrogénocarbonate selon l'équation :



Données à 37°C :

- Pour le sang avant l'effort :
- $[\text{HCO}_3^-]_i = 2,7 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$
 - $[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}]_i = 1,4 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$
 - $\text{pKa} (\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O} / \text{HCO}_3^-) = \text{pKa}_1 = 6,1$
 - $\text{pKa} (\text{acide lactique} / \text{ion lactate}) = \text{pKa}_2 = 3,6$

On considère un volume $V = 100 \text{ mL}$ de sang « après » effort dans lequel apparaît $n_0 = 3,0 \times 10^{-4} \text{ mol}$ d'acide lactique.

3.1. En supposant la transformation totale, compléter le tableau d'évolution des espèces (tableau d'avancement) fourni en annexe (**à rendre avec la copie**)

3.2. Calculer alors pour le sang après effort : $[\text{HCO}_3^-]_f$ et $[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}]_f$.

3.3. En utilisant la relation établie au 1.1.a) calculer le pH local du sang après effort.

ANNEXE

L'acide lactique est noté AH, sa base conjuguée A⁻

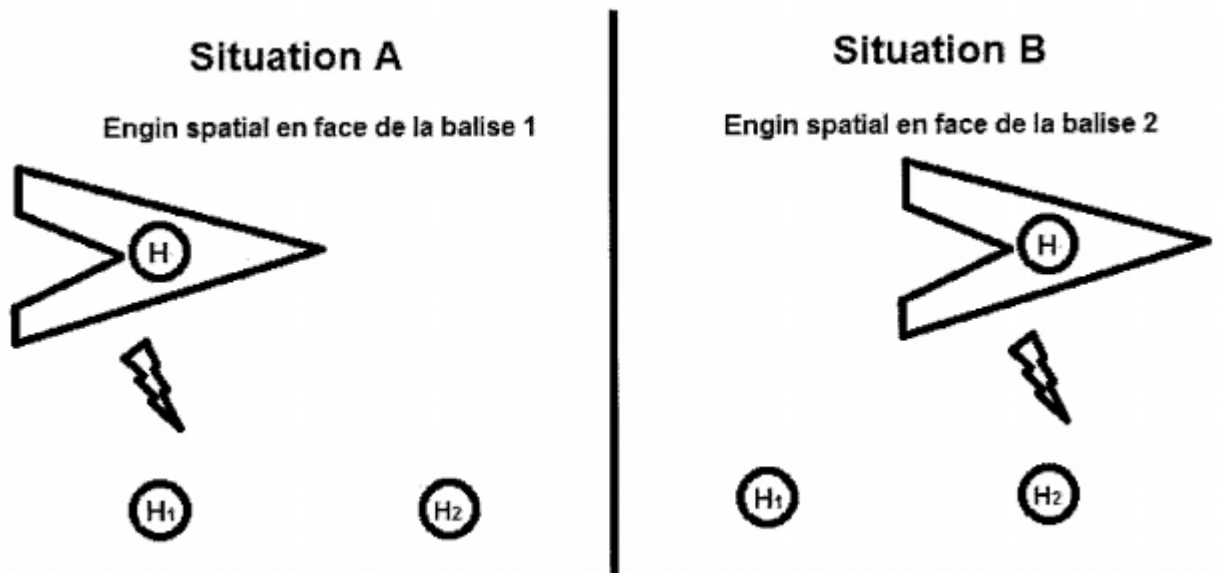
Avancement	$\text{AH}_{(aq)} + \text{HCO}_3^-_{(aq)} = \text{A}^-_{(aq)} + \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}_{(aq)}$			
État initial $x = 0$ n (mol)	$n_0 = 3.10^{-4}$		0	
État intermédiaire x				
État final $x = x_{\max}$				

Exercice 2 : relativité 5 points

Dans un futur lointain, des lycéens d'un centre étranger, éloigné dans la galaxie, se rendent dans leur futur lycée après avoir passé leurs vacances d'été sur Terre. Ils s'aperçoivent qu'ils effectuent leur trajet en navette avec leur nouvel enseignant de sciences physiques. Pour passer le temps, celui-ci propose à ses futurs élèves de s'avancer dans le cours de terminale S.

Ils s'intéressent à la réaction chimique entre l'eau et le 2-chloro-2méthylpropane. On imagine que la réaction est réalisée dans la navette spatiale s'éloignant à une vitesse de $v = 0,80.c$ de la Terre où c est la vitesse de la lumière dans le vide.

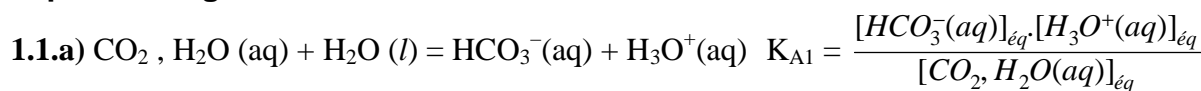
Les élèves enregistrent un temps de demi-réaction de 1000 s dans la navette. Un observateur terrestre peut aussi en déduire une mesure du temps de demi-réaction à l'aide d'un dispositif embarqué dans l'engin qui va envoyer un signal lumineux à deux balises fixes par rapport à la Terre, placées dans l'espace, et munies de deux horloges H_1 et H_2 synchronisées. Un premier signal est envoyé au début de la réaction et un second lorsque le temps de demi-réaction est atteint. L'horloge H est fixe par rapport à la navette.



1. Définir la notion de temps propre.
2. Indiquer les deux référentiels étudiés ici.
3. Donner les noms de Δt_m et Δt_p dans la relation $\Delta t_m = \gamma \Delta t_p$.
4. Dans quels référentiels sont déterminés respectivement Δt_m et Δt_p ?
5. Quel est le nombre suffisant d'horloge(s) qu'il faut utiliser pour mesurer la durée Δt_p ?
6. Sachant que $\frac{1}{\gamma^2} = 1 - \frac{v^2}{c^2}$, calculer γ , puis la durée inconnue.
7. Comparer Δt_m et Δt_p . Commenter.
8. Citer une expérience réaliste qui permet d'observer ce phénomène.

Exercice 1 : réaction acido-basique 15 points

1. pH du sang et maintien de sa valeur



$$\text{p}K_{A1} = -\log K_{A1} = -\log \frac{[\text{HCO}_3^-(\text{aq})]_{\text{éq}} \cdot [\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]_{\text{éq}}}{[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{aq})]_{\text{éq}}} = -\log \frac{[\text{HCO}_3^-(\text{aq})]_{\text{éq}}}{[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{aq})]_{\text{éq}}} - \log [\text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})]_{\text{éq}}$$

$$\text{p}K_{A1} = -\log \frac{[\text{HCO}_3^-(\text{aq})]_{\text{éq}}}{[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{aq})]_{\text{éq}}} + \text{pH} \quad \text{pH} = \text{p}K_{A1} + \log \frac{[\text{HCO}_3^-(\text{aq})]_{\text{éq}}}{[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{aq})]_{\text{éq}}}$$

$$1.1.b) \log \frac{[\text{HCO}_3^-(\text{aq})]_{\text{éq}}}{[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{aq})]_{\text{éq}}} = \text{pH} - \text{p}K_{A1}$$

$$\frac{[\text{HCO}_3^-(\text{aq})]_{\text{éq}}}{[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{aq})]_{\text{éq}}} = 10^{\text{pH} - \text{p}K_{A1}} = 10^{7,4 - 6,1} = 10^{1,3} = 20$$

1.1.c) Si $[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{aq})]$ augmente alors le rapport $\frac{[\text{HCO}_3^-(\text{aq})]_{\text{éq}}}{[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{aq})]_{\text{éq}}}$ diminue.

On a établi que $\text{pH} = \text{p}K_{A1} + \log \frac{[\text{HCO}_3^-(\text{aq})]_{\text{éq}}}{[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{aq})]_{\text{éq}}}$

▲ diminue

Donc le pH doit diminuer, c'est d'ailleurs ce qu'indique le texte: "diminution locale du pH sanguin du fait de la création en abondance de dioxyde de carbone dissous dans le sang".

1.2.a) Au voisinage du poumon, l'équilibre 2 est déplacé dans le sens de la consommation de O_2 . La réaction 2 a lieu majoritairement en sens inverse. L'hémoglobine se charge de dioxygène.

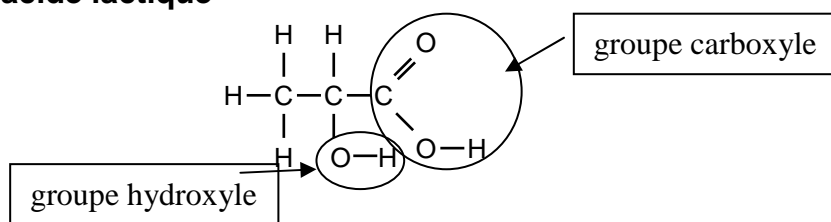
1.2.b) Au voisinage du muscle, l'équilibre 2 est déplacé dans le sens de la consommation de CO_2 . La réaction 2 a lieu majoritairement en sens direct.

1.2.c) Lors d'un effort l'hémoglobine réagit avec le dioxyde de carbone, il y a formation de HbCO_2 , ainsi elle empêche une augmentation de $[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{aq})]$ et empêche une baisse du pH.

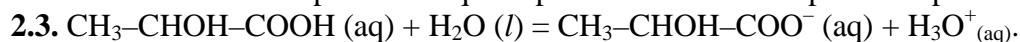
La respiration, donc l'apport de O_2 , permet à l'hémoglobine de se "régénérer": elle libère du CO_2 au niveau des poumons et se recharge en O_2 . Ensuite HbO_2 est acheminée par le flux de sang vers les muscles, où il y a libération de O_2 et capture de CO_2 .

2. L'acide lactique

2.1.



2.2. Un acide est une espèce chimique capable de céder un ou plusieurs protons H^+ .



L'acide lactique cède un proton à la molécule d'eau.

3. Variation locale du pH sanguin en l'absence des processus de maintien

3.1.	acide lactique		ion lactate	
Avancement	AH (aq)	+	HCO ₃ ⁻ (aq)	= A ⁻ (aq) + CO ₂ ,H ₂ O
État initial x = 0 n (mol)	n ₀ = 3.10 ⁻⁴		n ₁ = [HCO ₃ ⁻] _i × V = 2,7.10 ⁻² × 0,100 n ₁ = 2,7.10 ⁻³ n ₁ = 27.10 ⁻⁴	0
État intermédiaire x	n ₀ - x		n ₁ - x	x
État final x = x _{max} = 3.10 ⁻⁴	0		24.10 ⁻⁴	x _{max} = 3.10 ⁻⁴
				n ₃ = [CO ₂ ,H ₂ O] _i × V n ₃ = 1,4.10 ⁻³ × 0,100 n ₃ = 1,4.10 ⁻⁴
				n ₃ + x
				1,4.10 ⁻⁴ + x _{max} = 4,4.10 ⁻⁴

Si AH est réactif limitant alors n₀ - x_{max} = 0 alors x_{max} = 3.10⁻⁴ mol

Si HCO₃⁻ est réactif limitant alors n₁ - x_{max} = 0 alors x_{max} = 27.10⁻⁴ mol.

AH est donc réactif limitant car il conduit à l'avancement maximal le plus faible, x_{max} = 3.10⁻⁴ mol.

$$3.3. [\text{HCO}_3^-]_f = \frac{n_1 - x_{\max}}{V} = \frac{24 \cdot 10^{-4}}{0,100} = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}]_f = \frac{n_3 + x_{\max}}{V} = \frac{4,4 \cdot 10^{-4}}{0,100} = 4,4 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1} \text{ il y a davantage de CO}_2 \text{ dissous.}$$

$$3.4. \text{D'après le 1.1.a) } \text{pH} = \text{pKa}_1 + \log \frac{[\text{HCO}_3^-(\text{aq})]_{\text{éq}}}{[\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}(\text{aq})]_{\text{éq}}} \text{pH} = 6,1 + \log \frac{2,4 \cdot 10^{-2}}{4,4 \cdot 10^{-3}}$$

pH = 6,8 après effort

$$\text{avant effort } \text{pH} = 6,1 + \log \frac{2,7 \cdot 10^{-2}}{1,4 \cdot 10^{-3}} = 7,4 \text{ on vérifie bien que le pH a diminué.}$$

Exercice 2 : relativité 5 points

1. (1 pt) Le temps propre est la durée mesurée dans le référentiel propre, c'est-à-dire dans le référentiel de l'engin spatial où les événements émission 1 et émission 2 du signal lumineux ont lieu au même endroit.

2. (0,5 pt) Les deux référentiels étudiés sont le référentiel propre qu'est l'engin spatial et le référentiel lié à la Terre (et aux balises).

3. (0,5 pt) Δt_p durée propre et Δt_m durée mesurée.

4. (0,5 pt) Δt_p mesurée dans l'engin spatial et Δt_m mesurée dans le référentiel lié à la Terre.

5. (0,5 pt) Pour mesurer Δt_p une seule horloge suffit, les événements début de la réaction et x(t = t_{1/2}) ont lieu au même endroit.

$$6. \frac{1}{\gamma^2} = 1 - \frac{v^2}{c^2} \quad \frac{1}{\gamma^2} = 1 - \frac{(0,80 \cdot c)^2}{c^2} = 1 - 0,80^2 \quad \gamma^2 = \frac{1}{1 - 0,80^2} \quad (0,5 \text{ pt}) \quad \gamma = \sqrt{\frac{1}{1 - 0,80^2}} = 1,7$$

$$\Delta t_m = \gamma \cdot \Delta t_p \quad (0,5 \text{ pt}) \quad \Delta t_m = \left(\sqrt{\frac{1}{1 - 0,80^2}} \right) \times 1000 = 1,7 \times 10^3 \text{ s}$$

3.7. (0,5 pt) Δt_m > Δt_p.

La vitesse du vaisseau spatial est très élevée et proche de celle de la lumière, elle entraîne une dilatation des durées pour un observateur situé dans le référentiel lié à la Terre.

3.8. (0,5 pt) La dilatation des durées est constatée expérimentalement avec des particules cosmiques que sont les muons. Leur durée de vie est plus grande mesurée sur Terre que dans leur référentiel propre.