EXERCICE I. TRANSPORT DU DIOXYGÈNE DANS LE SANG (6,5 points)

2007/03 Nouvelle Calédonie session remplacement 2006

Le but de cet exercice est d'étudier, de manière simplifiée, le transport du dioxygène par l'hémoglobine du sang des poumons vers les organes.
Une molécule d'hémoglobine est constituée de plusieurs sous-unités. ***On ne considèrera dans tout l'exercice que la sous-unité notée $Hb_{(aq)}$.***
Le dioxygène est transporté de deux façons dans l'organisme :

- *sous forme de dioxygène dissous dans le sang que l'on note $O_{2(aq)}$.*
- *sous forme d'oxyhémoglobine que l'on notera $HbO_{2(aq)}$.*

Le sang est assimilé à une solution aqueuse.
Donnée :
Masse molaire de la sous-unité d'hémoglobine : $M(Hb) = 1{,}6 \times 10^4$ g.mol^{-1}

Les quatre parties sont indépendantes.

1. Transport du dioxygène dans l'organisme par l'hémoglobine du sang

Au niveau des poumons, une sous-unité d'hémoglobine fixe une molécule de dioxygène pour donner une sous-unité d'oxyhémoglobine. L'équation de la réaction associée à la transformation chimique est :
$Hb_{(aq)} + O_{2(aq)} = HbO_{2(aq)}$ *(équation 1)*

1.1. *À l'état initial, on suppose qu'un volume V = 100 mL de sang contient une quantité de sous-unités d'hémoglobine notée n_0 , un excès de dioxygène et ne contient pas de sous-unités d'oxyhémoglobine.*
Ce volume V de sang contient une masse m = 15 g de sous-unités d'hémoglobine.
Calculer la quantité de matière n_0 *de sous-unités d'hémoglobine* correspondante.
1.2. En déduire l'avancement maximum x_{max} de la réaction. *On pourra s'aider d'un tableau d'évolution du système.*
1.3. *Le taux d'avancement final τ_f de la réaction chimique (1) a pour valeur 0,97.*
Donner la relation qui définit le taux d'avancement final τ_f et en déduire la valeur x_f de l'avancement final.
1.4. En déduire la quantité de sous-unités d'oxyhémoglobine HbO_2 formée dans l'état final.
1.5. *En une minute, le débit cardiaque moyen permet de traiter V_S = 5,0 L de sang au niveau des poumons.* En déduire la quantité correspondante n_S de sous-unités d'oxyhémoglobine HbO_2 formées pendant une minute.

2. Libération du dioxygène au niveau des organes

Le volume V de sang étudié dans la partie 1 arrive au niveau des tissus des organes. À ce stade une partie du dioxygène dissous est absorbée par les tissus faisant ainsi chuter la concentration en dioxygène dans le sang.
Le système chimique étudié dans la partie 1 se trouve alors dans un nouvel état initial, noté état 1, tel que la concentration en dioxygène dissous est $[O_2]_1 = 3{,}6 \times 10^{-5}$ mol.L^{-1} ; celle de sous-unités d'hémoglobine est alors $[Hb]_1 = 2{,}8 \times 10^{-4}$ mol.L^{-1} et celle de sous-unités d'oxyhémoglobine est $[HbO_2]_1 = 9{,}1 \times 10^{-3}$ mol.L^{-1}.

2.1. Calculer la valeur du quotient de réaction Q_{r1} dans l'état 1 correspondant à l'équation (1).
2.2. *La constante d'équilibre K_1 liée à l'équation (1) a pour valeur $K_1 = 3{,}0 \times 10^5$.*
Dans quel sens évolue le système ?

3. Et lors d'un effort musculaire ?

Données :
Au cours d'un effort, du dioxyde de carbone est formé au niveau des muscles. Il se dissout dans le sang. Le couple acide-base mis en jeu est CO_2 , H_2O / HCO_3^-(aq) de pKa = 6,4.

3.1. Écrire l'équation notée (2) de la réaction associée à la transformation entre le dioxyde de carbone dissous et l'eau.

3.2. Représenter sur un diagramme les domaines de prédominance des espèces du couple CO_2,H_2O / HCO_3^-.
3.3. En déduire, en le justifiant, l'espèce prédominante de ce couple dans le sang au niveau des tissus pour un pH du sang égal à 7,4.
3.4. Pourquoi la dissolution du dioxyde de carbone provoque-t-elle une diminution du pH sanguin en l'absence d'autres réactions ?
3.5. *Chez l'homme, le pH du sang est compris dans des limites très étroites : 7,36 à 7,42. D'autre part, l'oxyhémoglobine peut réagir avec les ions oxonium selon l'équation :*

$$HbO_{2(aq)} + H_3O^+ = O_{2(aq)} + HbH^+_{(aq)} + H_2O \quad \text{(équation 3)}$$

Montrer que les ions H_3O^+ produit par la réaction d'équation (2) permettent la libération du dioxygène nécessaire à l'effort musculaire tout en limitant la variation de pH, vue à la question 3.4.

4. Empoisonnement au monoxyde de carbone

La combustion d'une substance contenant du carbone produit du monoxyde de carbone dans certaines conditions, par exemple dans les poêles ou fourneaux mal aérés, ou dans la fumée de cigarettes.
L'équation associée à la réaction entre le monoxyde de carbone et une sous-unité d'hémoglobine s'écrit :

$$Hb_{(aq)} + CO_{(aq)} = HbCO_{(aq)} \quad \text{(équation 4)} \qquad \text{avec } K_4 = 7{,}5 \times 10^7$$

Le tableau suivant donne les effets sur l'organisme associés aux valeurs du rapport des concentrations à l'équilibre $\dfrac{[HbCO]_{éq}}{[Hb]_{éq}}$.

$\dfrac{[HbCO]_{éq}}{[Hb]_{éq}}$	de $1{,}1 \times 10^4$ à $2{,}6 \times 10^4$	de $2{,}6 \times 10^4$ à $2{,}6 \times 10^5$	Supérieur à $2{,}6 \times 10^5$
Effets	Maux de tête	Intoxication grave	Mort rapide

4.1. *L'analyse du sang d'une personne ayant respiré de l'air pollué par du monoxyde de carbone a révélé une concentration en monoxyde de carbone dissous dans le sang égale à* $2{,}0 \times 10^{-4}$ *mol.L*$^{-1}$.
Quels sont les effets ressentis par la personne ?
4.2. *Au sein de l'organisme il y a donc compétition entre le dioxygène et le monoxyde de carbone pour se fixer sur l'hémoglobine (équations 1 et 4). On atteint un état d'équilibre correspondant à l'équation :*

$$HbO_{2(aq)} + CO_{(aq)} = HbCO_{(aq)} + O_{2(aq)} \quad \text{(équation 5)}$$

Donner l'expression de la constante d'équilibre K_5 associée à l'équation 5 en fonction de K_1 et K_4 et calculer sa valeur.
4.3. *Une personne empoisonnée au monoxyde de carbone est placée dans un caisson hyperbare dans lequel on impose une concentration élevée en dioxygène permettant ainsi d'augmenter la concentration de dioxygène dissous dans le sang.* Expliquer qualitativement l'action du caisson hyperbare.