

Devoir du mardi 9 Février 2010

Exercice 1 : transport du dioxygène dans le sang (7,5 points 40 minutes)

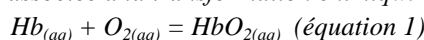
Le but de cet exercice est d'étudier le transport du dioxygène par l'hémoglobine du sang des poumons vers les organes. Une molécule d'hémoglobine est constituée de plusieurs sous-unités. **On ne considèrera dans tout l'exercice que la sous-unité notée $Hb_{(aq)}$.** Le dioxygène est transporté de deux 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 $HbO_{2(aq)}$.

Donnée : Masse molaire de la sous-unité d'hémoglobine et d'oxyhémoglobine : $M(Hb) = M(HbO_2) = 1,6 \times 10^4 \text{ g.mol}^{-1}$
Le sang est assimilé à une solution aqueuse.

I 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 :



1) À l'état initial, on suppose qu'un volume $V = 100 \text{ mL}$ 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 $m = 15 \text{ g}$ de sous-unités d'hémoglobine. Calculer la quantité de matière n_0 de sous-unités d'hémoglobine correspondante et en déduire l'avancement maximum x_{\max} de la réaction. On pourra s'aider éventuellement d'un tableau d'évolution du système.

2) Le taux d'avancement final τ_f de la réaction chimique (1) a pour valeur 0,90. En déduire la valeur x_f de l'avancement final.

3) En déduire la quantité de sous-unités d'oxyhémoglobine HbO_2 formée dans l'état final.

4) En une minute, le débit cardiaque moyen permet de traiter $V_S = 5,0 \text{ L}$ de sang au niveau des poumons. En déduire la quantité correspondante n_S de sous-unités d'oxyhémoglobine HbO_2 formées pendant une minute.

II Libération du dioxygène au niveau des organes

Le volume V de sang étudié dans la partie I 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 I se trouve alors dans un nouvel état initial, noté état I, tel que la concentration en dioxygène dissous est $[O_2]_I = 3,6 \times 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$; celle de sous-unités d'hémoglobine est alors $[Hb]_I = 2,8 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$ et celle de sous-unités d'oxyhémoglobine est $[HbO_2]_I = 9,1 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$.

1) Déterminer dans cet état le pourcentage massique d'oxyhémoglobine dans le sang de densité $d_{\text{sang}} = 1,055$.

2) Calculer la valeur du quotient de réaction Q_{r1} dans l'état I correspondant à l'équation (1). En déduire le sens d'évolution du système sachant que la constante d'équilibre K_1 liée à l'équation (1) a pour valeur $K_1 = 3,0 \times 10^5$.

III Et lors d'un effort musculaire ?

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 $CO_2(aq), H_2O / HCO_3^-(aq)$ de $pK_a = 6,4$.

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

2) Représenter sur un diagramme les domaines de prédominance des espèces du couple $CO_2, H_2O / HCO_3^-$.

3) En déduire, en justifiant rapidement, l'espèce prédominante de ce couple dans le sang au niveau des tissus pour un pH du sang égal à 7,4.

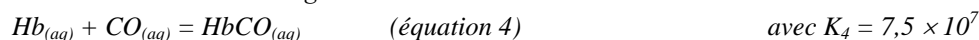
4) Pourquoi la dissolution du dioxyde de carbone provoque-t-elle une diminution du pH sanguin en l'absence d'autres réactions ? Vous raisonnerez rapidement sur l'équation 2.

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 : $HbO_{2(aq)} + H_3O^+ = O_{2(aq)} + HbH^+_{(aq)} + H_2O$ (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. Vous raisonnerez rapidement sur l'équation 3.

IV 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 :

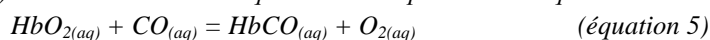


Le tableau suivant donne les effets associés aux valeurs du rapport des concentrations à l'équilibre $\frac{[HbCO]_{\text{éq}}}{[Hb]_{\text{éq}}}$.

$\frac{[HbCO]_{\text{éq}}}{[Hb]_{\text{éq}}}$	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

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 $2,0 \times 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$. Quels sont les effets ressentis par la personne ?

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 :



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.

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 en utilisant notamment l'équation 5.

Exercice 2 : de la trajectoire à la vitesse et à l'accélération (5 points, 25 minutes)

1) Un objet a les équations horaires suivants dans un référentiel R (les angles sont en radians) :

$$x(t) = -3t^2 + 2t + 7 \quad y(t) = -2t \cdot \sin(3t + 4) \quad z(t) = 13$$

- Déterminer les expressions temporelles des coordonnées du vecteur vitesse et du vecteur accélération.
- En déduire la valeur de la vitesse et de l'accélération au temps $t = 4,00 \text{ s}$.

2) On donne les positions toutes les 60 ms du centre d'inertie d'un mobile dans le référentiel terrestre assimilé galiléen sur le document 1 donné en annexe à l'échelle $1/10^{\text{ème}}$. G_1 est la position initiale.

- Qualifier la nature du mouvement.
- Construire le vecteur accélération au temps $t = 300 \text{ ms}$. On dessinera au préalable les vecteurs vitesse aux temps 240 et 360 ms et on détaillera tous les calculs. Les échelles imposées sont les suivantes :
1 cm correspond à $0,25 \text{ m.s}^{-1}$ 1 cm correspond à $0,5 \text{ m.s}^{-2}$
- Le mobile est un solide autoporteur de masse $M = 678 \text{ g}$ dont la soufflerie a été activée permettant à la réaction du support de compenser le poids du mobile. Il est relié de plus à un fil tendu fixé en A à l'autre extrémité. Enoncer la deuxième loi de Newton puis l'appliquer au mobile et en déduire très proprement l'intensité T de la tension du fil sur le mobile.
- Au dernier point de l'enregistrement, le fil est brûlé. Indiquer les trois positions ultérieures du centre d'inertie en justifiant.

Exercice 3 : l'oscillateur électromagnétique (7,5 points, 40 minutes)

On considère le montage électrique donné en annexe document 2 composé d'un générateur de fem E , d'un condensateur de capacité C , d'un conducteur ohmique de résistance R , d'une bobine d'inductance L et de résistance interne r et d'un dipôle D .

I Charge du condensateur

1) Dans un premier temps, le condensateur, initialement déchargé, est chargé. Indiquer sur le document 2 les bornes du voltmètre à utiliser pour enregistrer la tension E aux bornes du générateur et les bornes de l'interface graphique pour enregistrer la tension u_c .

2) L'équation différentielle vérifiée par u_c est la suivante : $\frac{du_c}{dt} + \frac{1}{RC}u_c = \frac{E}{RC}$ (équation 1). Montre que la solution suivante est bien la solution du problème c'est-à-dire qu'elle vérifie l'équation différentielle précédente et la condition initiale que l'on précisera : $u_c(t) = E \times (1 - e^{-t/RC})$.

3) Dessiner alors l'allure de $u_c = f(t)$ en précisant quelques droites et points remarquables sans justifier.

4) Magalie souhaiterait obtenir une charge où u_c serait une fonction linéaire du temps. Que lui proposeriez-vous de modifier dans le montage ?

II Décharge du condensateur

1) Le dipôle D possède une loi intensité/tension qui s'écrit en convention récepteur $u_D = -R_D \cdot i$ avec $R_D > 0$ dont la valeur peut être choisie par l'expérimentateur. Montrer que c'est un vrai générateur.

2) Comment faut-il manipuler l'interrupteur afin d'obtenir une décharge, la charge étant complète ? On choisit cet instant comme nouvelle origine des dates.

3) Démontrer l'équation différentielle suivante vérifiée par u_c lors de la décharge :

$$\frac{d^2u_c}{dt^2} + \frac{(R+r-R_D)}{L} \times \frac{du_c}{dt} + \frac{1}{LC}u_c = 0 \quad (\text{équation 2})$$

4) La courbe 1 du document 3 en annexe est obtenue lorsque $R_D = 0$. Qualifiez le régime obtenu.

5) On fixe $R_D = R+r$. On obtient la courbe 3 du document 3

a) Quel est le régime observé ? Justifier. Que permet le dipôle D d'un point de vue énergétique ?

b) Que devient l'équation différentielle (2) ? Montrer que la fonction $u_c(t) = A \times \cos\left(\frac{2\pi}{T_0} \times t\right)$ est solution à condition de donner à T_0 une expression que l'on donnera.

c) Comment est appelée T_0 ? Montrer qu'il s'agit bien d'un temps. Déterminer sa valeur à l'aide du document 3 et en déduire la valeur de L sachant que $C = 136 \mu\text{F}$.

6) La courbe 2 du document 3 correspond au choix $R_D = R$.

a) Qualifier le régime observé. Justifier.

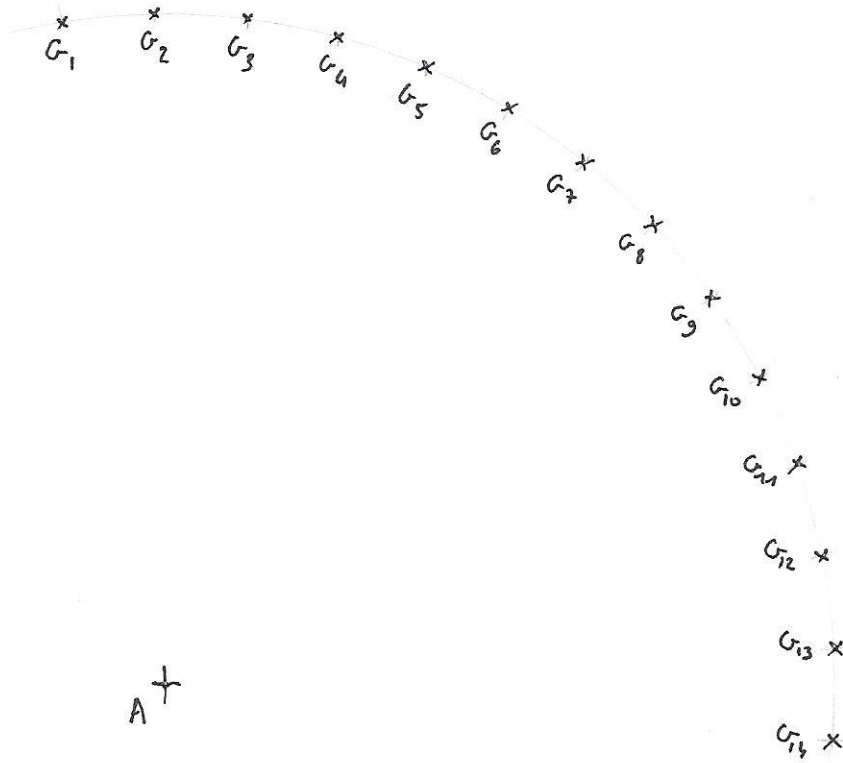
b) Les énergies E_{el} (énergie électrique emmagasinée par le condensateur) E_{mag} (énergie magnétique emmagasinée par la bobine) et E_{tot} (énergie électromagnétique du circuit) sont figurées sur le document 4. Les identifier en justifiant.

c) Donner une indication sur l'axe des abscisses et une indication sur l'axe des ordonnées de ce document 4 permettant de les graduer en justifiant.

d) En utilisant le document 4, évaluer la variation de l'énergie totale E_{tot} entre les dates $t = 0\text{s}$ et $t = 2T$ où T est la pseudopériode puis le pourcentage d'énergie perdue par l'oscillateur entre ces deux dates.

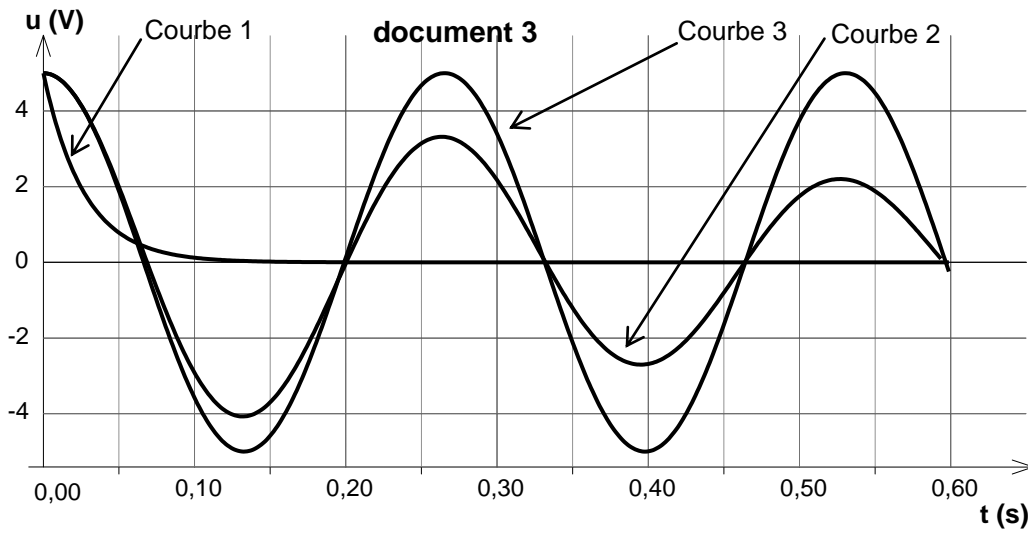
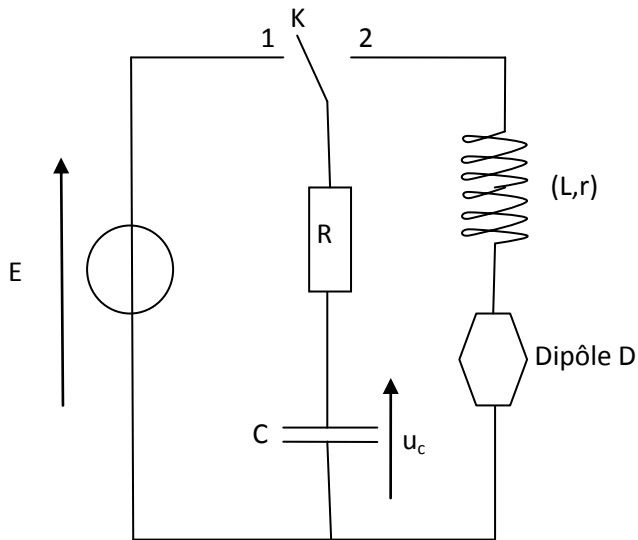
Exercice 2

Document 1



Exercice 3

document 2



document 4

