Le cœur artificiel : un projet médical très innovant

PARTIE A - La scintigraphie myocardique pour diagnostiquer les pathologies du cœur.

A.1. Mesure de la F.E.V.G

A.1.1 La FEVG ne possède pas d'unité car, d'après la relation donnée dans l'énoncé, elle correspond au quotient de deux volumes.

A.1.2

A.1.2.1 Calcul de la FEVG

D'après la relation donnée dans l'énoncé, on a :

$$FEVG = \frac{volume\ de\ sang\ éjecté}{volume\ télédiastolique\ du\ ventricule\ gauche} = \frac{32}{125} = 0{,}256\ soit\ 25\%$$

A.1.2.2 Ce résultat n'est pas normal car, d'après le document A2, la valeur de la FEVG est inférieure à 30 %. Il est même sévèrement anormal.

A.2. Étude d'un marqueur radioactif : le thallium 201

A.2.1. Composition (nombre de protons et de neutrons) du noyau radioactif de thallium 201.

D'après le document A1, le thallium est noté ${}^{201}_{81}Tl$. Son noyau est donc constitué de 81 protons et de 201 nucléons donc 120 neutrons (201 - 81)

A.2.2. Le thallium 201 peut se désintégrer en mercure 201

A.2.2.1 Equation de désintégration du thallium :

$${}^{201}_{81}Tl \rightarrow {}^{201}_{80}Hg + {}^{0}_{+1}e^{+}$$

A.2.2.2 Cette radioactivité correspond cette désintégration de type β^+. La particule émise est un positron (ou positon).

A.3. Scintigraphie au technétium

A.3.1. Le becquerel correspond à une désintégration par seconde.

A.3.2. Calcul du volume de solution « Sestamibi » qu'il faut injecter à un patient de 80 kg pour mener à bien cet examen.

D'après l'énoncé l'activité A de la source est de 480 MBq = $4{,}8\times10^8$ Bq.

D'après les données 1 Ci = $3{,}7\times10^{10}$ Bq donc :

$$A = \frac{4{,}8\times10^8}{3{,}7\times10^{10}} = 0{,}013\,Ci = 13\,mCi$$

Pour réaliser cet examen, on utilise une solution « Sestamibi » d'activité volumique égale à 1 millicurie par millilitre (1 mCi/mL) donc il faut utiliset un volume de solution égal à 13 mL.

A.3.3 Calcul de la longueur d'onde du rayon émis.

D'après l'énoncé, E = 141 keV = $1{,}41\times10^5$ eV.

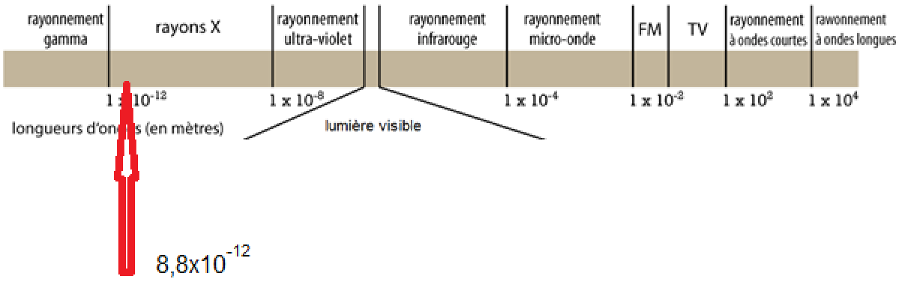
D'après le document A3, 1 eV = $1{,}6\times10^{-19}$ J donc :

E = $1{,}41\times10^5\times1{,}6\times10^{-19} = 2{,}26\times10^{-14}$ J

D'après le document A3, on a la relation :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad donc \quad \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6{,}62\times10^{-34}\times3\times10^8}{2{,}26\times10^{-14}} = 8{,}8\times10^{-12}\ m$$

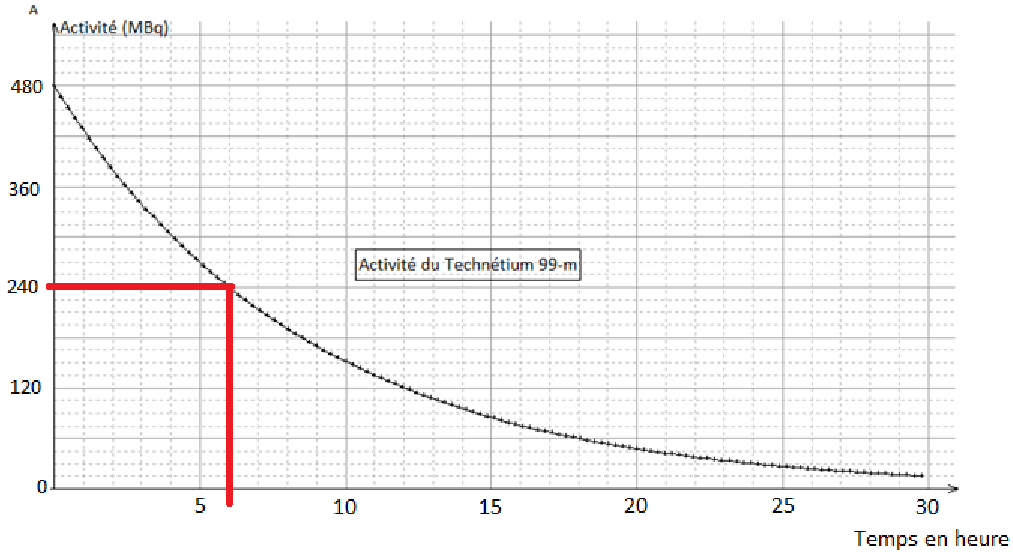
D'après le document A3, il s'agit d'un rayonnement de type rayon X.



A.3.4

A.3.4.1 Détermination de la valeur de la demi-vie du technétium .

La valeur de la demi-vie du technétium se détermine graphiquement lorsque la moitié des noyaux initialement présents se sont désintégrés. D'après la courbe de l'activité, initialement cette activité est de 480 MBq. Donc pour déterminer la demi-vie, on considère la moitié de l'acitivité initiale c'est-à-dire 240 MBq et on détermine le temps donc la demi-vie.



La valeur de la demi-vie est donc de 6 h.

A.3.4.2 D'après le document A1, la demi-vie du thallium est de 3 jours donc elle est beaucoup longue que celle du technétium. Avec le technétium, au bout de quelques périodes, donc 24 heures, l'activité n'est presque plus présente dans le corps. (24 h correspond à 4×6 c'est-à-dire à 4 périodes, l'activité est donc divisée par 16). Ceci n'est pas le cas avec le thallium. Avec le thallium, plus de la moitié des noyaux radioactifs sont encore présents dans le corps.

PARTIE B - Des choix technologiques pour réaliser le cœur artificiel

B.1. Exemple de défi technologique : la batterie

B.1.1 Choix de la technologie de l'alimentation du coeur

B.1.1.1 On souhaite remplacer la batterie lithium-ion par une pile à combustible car les piles à combustibles sont plus légères et possède une plus grande autonomie.

B.1.1.2 Les réactifs de la pile à combustible sont d'une part le dihydrogène H_2 et d'autre part le dioxygène O_2 de l'air. Les couples oxydant-réducteur mis en jeu pour cette pile sont H^+/H_2 et O_2/H_2O.

B.1.1.2.1 Demi-équation du couple O_2/ H_2O :

$O_2 + 4H^+ + 4e^- = 2H_2O$

B.1.1.2.2 Equation globale modélisant le fonctionnement de cette pile.

On a les deux demi-équations suivantes :

$O_2 + 4H^+ + 4e^- = 2H_2O$ (1)

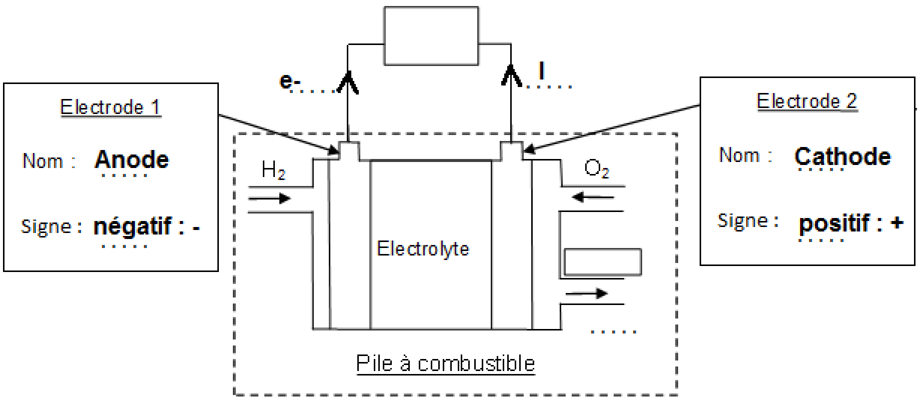
$H_2 = 2H^+ + 2e^-$ (2)

(1) + 2×(2) $O_2 + 2H_2 = 2H_2O$

B.1.1.2.3 L'électrode où arrive le dihydrogène est l'anode car il s'y produit une oxydation.

B.1.1.2.4 Schéma du document réponse n°2.

Le sens du courant est opposé à celui des électrons. Donc le courant part de la borne positive (cathode) vers la borne négative (anode).



B.1.2 Fonctionnement de la pile à combustible

B.1.2.1 Calcul de l'énergie qui doit être fournie par la pile à combustible :

D'après le document B1, la pile à combustible a une puissance de 27 W

E = P×t = 27×12 = 324 W.h

$E = 324 \times 3600 = 1{,}17 \times 10^6$ J

B.1.2.2 Calcul de la capacité en coulomb (C).

On a la relation :

$$E = Q \times U \quad donc \quad Q = \frac{E}{U} = \frac{1{,}17 \times 10^6}{4} = 2{,}9 \times 10^5 \ C$$

B.1.2.3 Calcul de la quantité de matière de dihydrogène.

On commence par calculer la quantité d'électrons échangés au cours de cette réaction. On a la relation :

$$Q = n_{e-} \times F \quad donc \quad n_{e-} = \frac{Q}{F} = \frac{2{,}9 \times 10^5}{96500} = 3\ mol$$

D'après la demi-équation associée au couple H^+/H_2, on a la relation :

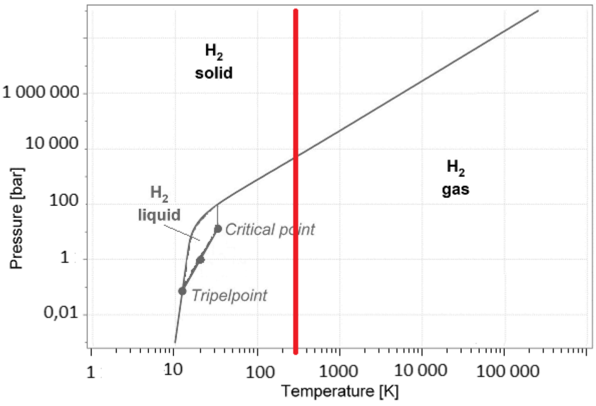
$$n_{H2} = \frac{n_{e-}}{2} = \frac{3}{2} = 1{,}5\ mol$$

B.1.3 Le stockage du dihydrogène

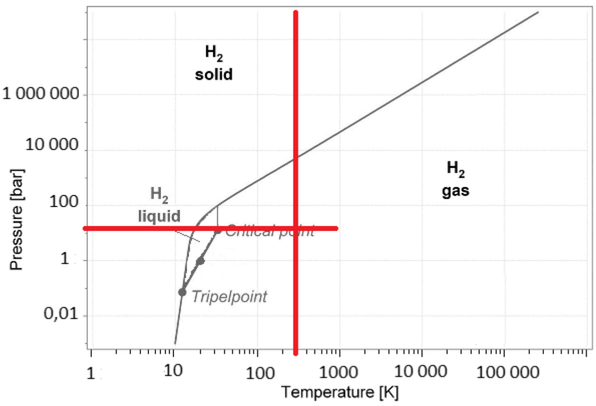
B.1.3.1. Calcul de la température ambiante de 20 °C en kelvin (K).

T = 20 + 273 = 293 K

B.1.3.2 D'après le document B2, à la température de 293 K, le dihydrogène peut être stocké sous forme solide ou sous forme vapeur. L'état dépend alors de la valeur de la pression.



B.1.3.3 D'après le document B3, la pression du dihydrogène est de 12×10^5 Pa donc la valeur de la pression est de 12 bar. A cette pression, le dihydrogène est à l'état vapeur.



B.1.3.4 Calcul, à la température de 20 °C, de la quantité de matière n_{H2} de dihydrogène maximale que l'on peut stocker dans la bouteille de dihydrogène.

D'après le document B3, la pression est de 12×10^5 Pa et le volume est de 0,8 L c'est-à-dire 8×10^{-4} m^3.

D'après la relation donnée dans l'énoncé :

$$PV = n_{H2}RT \quad donc \quad n_{H2} = \frac{PV}{RT} = \frac{12\times10^5\times8\times10^{-4}}{8{,}31\times293} = 0{,}39\,mol$$

B.1.3.5 D'après la question B.1.2.3, il faut 1,5 mol de dihydrogène pour assurer une autonomie de 12 h donc le réservoir Hy-can qui stocke 0,39 mol de dihydrogène ne permettra pas de répondre à l'objectif d'autonomie de 12 heures pour l'alimentation du cœur artificiel.

B.2 Un autre défi technologique : le choix du capteur de pression

B.2.1 La grandeur d'entrée est la pression et la grandeur de sortie est la tension.

B.2.2 Les valeurs de pression minimale et maximale dans le ventricule gauche du cœur sont comprises dans l'intervalle de mesures du capteur donc le capteur est adapté au suivi de la pression dans le ventricule gauche.

B.2.3 Encadrement de la pression réelle p_r

L'étendue de la mesure est de 300 mmHg donc :

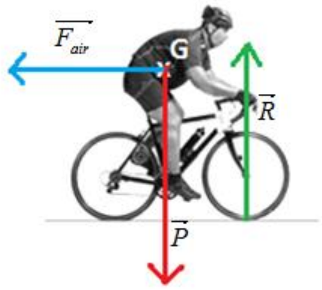
$$\Delta P = \frac{0{,}5}{100}\times300 = 1{,}5\,mmHg = 2\,mmHg$$

L'encadrement de la pression réelle est donc de :

$$p_r = p_m \pm \Delta p = 180 \pm 2\,mmHg$$

PARTIE C - Et le cœur artificiel prend vie…

C.1. Représentation des forces sur le document réponse n°3



C.2. Calcul de l'énergie que consomme durant 20 minutes, un homme de 80 kg au repos

Au repos, un individu consomme à peu près une énergie de 70 $J.kg^{-1}.min^{-1}$ donc pour un individu de 80 kg et pendant une durée de 20 minutes, l'énergie consommée sera de :

$$E = 70 \times 80 \times 20 = 112000\ J = 112\ kJ$$

Le cycliste part 20 minutes en roulant à la vitesse de 15 $km.h^{-1}$ donc la distance parcourue est de :

$$v = \frac{d}{t} \quad donc \quad d = v \times t = \frac{15}{60} \times 20 = 5\ km$$

La distance parcourue pendant pendant 20 minutes à la vitesse de 15 $km.h^{-1}$ donc l'énergie supplémentaire consommée est de 110 kJ.

L'énergie totale consommée par cet homme est de 112 + 110 = 220 kJ.

C.3 Equation équilibrée modélisant la combustion complète du glucose dans le dioxygène.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 = 6CO_2 + 6H_2O$$

C.4 Calcul de la quantité de matière de glucose nécessaire pour les 20 minutes d'efforts du cycliste.

La combustion d'une mole de glucose permet d'obtenir une énergie utilisable de 1270 kJ donc pour 20 minutes d'efforts la quantité de matière de glucose nécessaire est de :

$$n_{glucose} = \frac{222}{1270} = 0{,}175\ mol$$

C.5 Calcul de la quantité de matière de dioxygène nécessaire.

D'après l'équation bilan de la combustion du glucose, 1 mole de glucose réagit avec 6 moles de dioxygène donc pour 0,175 mole de glucose il faut :

$$n_{O2} = 6 \times 0{,}175 = 1{,}05\ mol = 1\ mol$$

C.6 Calcul du débit minimum du cœur artificiel permettant un apport en dioxygène suffisant pour cet effort.

On calcule la masse de dioxygène nécessaire :

$$n_{O2} = \frac{m_{O2}}{M_{O2}} \quad donc \quad m_{O2} = n_{O2} \times M_{O2} = 1 \times 32 = 32\ g$$

D'après l'énoncé, on a 0,3 g de dioxygène transporté par litre de sang. 65 % de ce dioxygène présent dans le sang est utilisé et consommé par l'organisme. Donc 0,3×0,65 = 0,195 g de dioxygène présent dans un litre de sang est consommé. Donc pour 32 g de dioxygène, il faut un volume de sang de :

$$V = \frac{32}{0{,}195} = 164\ L$$

Le débit, pour un effort de 20 min, sera donc de :

$$D_V = \frac{V}{t} = \frac{164}{20} = 8{,}2\ L.\text{min}^{-1}$$

D'après le document C2, le débit sanguin du cœur artificiel pourra atteindre jusqu'à 9 $L.min^{-1}$ donc cœur artificiel peut soutenir une telle activité physique. En effet le débit nécessaire est de 8,2 $L.min^{-1}$.