

**BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE**  
**SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE**  
**Spécialité Biotechnologies**  
**SESSION 2017**

**PHYSIQUE - CHIMIE**

**ÉPREUVE DU JEUDI 22 JUIN 2017**

**Durée : 3 heures**

**Coefficient : 4**

**Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.**

Ce sujet comporte 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12.

**Le document réponse, page 12/12 est à rendre impérativement avec la copie.**

*L'usage de la calculatrice est autorisé.*

*Il est rappelé aux candidats que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des explications entreront dans l'appréciation des copies.*

*Toute réponse devra être justifiée.*

## **Le cœur artificiel : un projet médical très innovant**

Depuis 2008, la société CARMAT, créée par l'équipe du Pr Alain Carpentier et Matra Défense, travaille sur un cœur artificiel.

D'après les concepteurs, cette prothèse révolutionnaire serait capable de s'adapter très finement à l'activité du patient et offrirait un formidable espoir aux dizaines de milliers de personnes à travers le monde en attente d'une greffe.

Le 18 décembre 2013, un premier cœur artificiel Carmat a été implanté. Trois autres implantations sur des malades atteints d'une insuffisance cardiaque terminale ont suivi.

Les premiers résultats sont prometteurs : survie jusqu'à neuf mois après l'intervention, meilleur confort de vie des patients, ...

On se propose d'étudier quelques éléments relatifs à ce cœur artificiel.

**L'étude qui vous est proposée comporte trois parties qui peuvent être traitées indépendamment les unes des autres.**

**PARTIE A : la scintigraphie myocardique pour diagnostiquer les pathologies du cœur.**

**PARTIE B : des choix technologiques pour la réalisation du cœur artificiel.**

**PARTIE C : et le cœur artificiel prend vie...**

## **Partie A : la scintigraphie myocardique pour diagnostiquer les pathologies du cœur**

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

La scintigraphie myocardique permet principalement la mesure de la **F**raction d'**É**jection **V**entriculaire **G**auche (FEVG). Elle se définit comme le rapport entre le volume de sang éjecté et le volume télédiastolique du ventricule gauche (voir les documents A1 et A2).

**A.1.1.** La FEVG est définie ci-après :

$$\text{FEVG} = \frac{\text{volume de sang éjecté}}{\text{volume télédiastolique du ventricule gauche}}$$

Quelle est l'unité de la FEVG ? Justifier.

**A.1.2.** On réalise une scintigraphie myocardique d'un patient pour lequel le volume de sang éjecté est de 32 mL, et le volume télédiastolique de 125 mL.

**A.1.2.1.** Calculer la FEVG.

**A.1.2.2.** Selon le **document A2**, ce résultat est-il normal ?

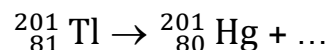
### **A.2. Étude d'un marqueur radioactif : le thallium 201**

En vous aidant du **document A1**, répondre aux questions suivantes :

**A.2.1.** Donner la composition (nombre de protons et de neutrons) du noyau radioactif de thallium 201.

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

**A.2.2.1.** Réécrire l'équation ci-dessous en la complétant.



**A.2.2.2.** À quel type de radioactivité correspond cette désintégration ?  
Quel est le nom de la particule émise ?

### **A.3 Scintigraphie au technétium**

Une scintigraphie myocardique nécessite l'injection par voie intraveineuse de technétium d'une activité de 480 MBq pour un patient de 80 kg.

Pour réaliser cet examen, on peut utiliser une solution « Sestamibi » d'activité volumique égale à 1 millicurie par millilitre (1 mCi/mL)

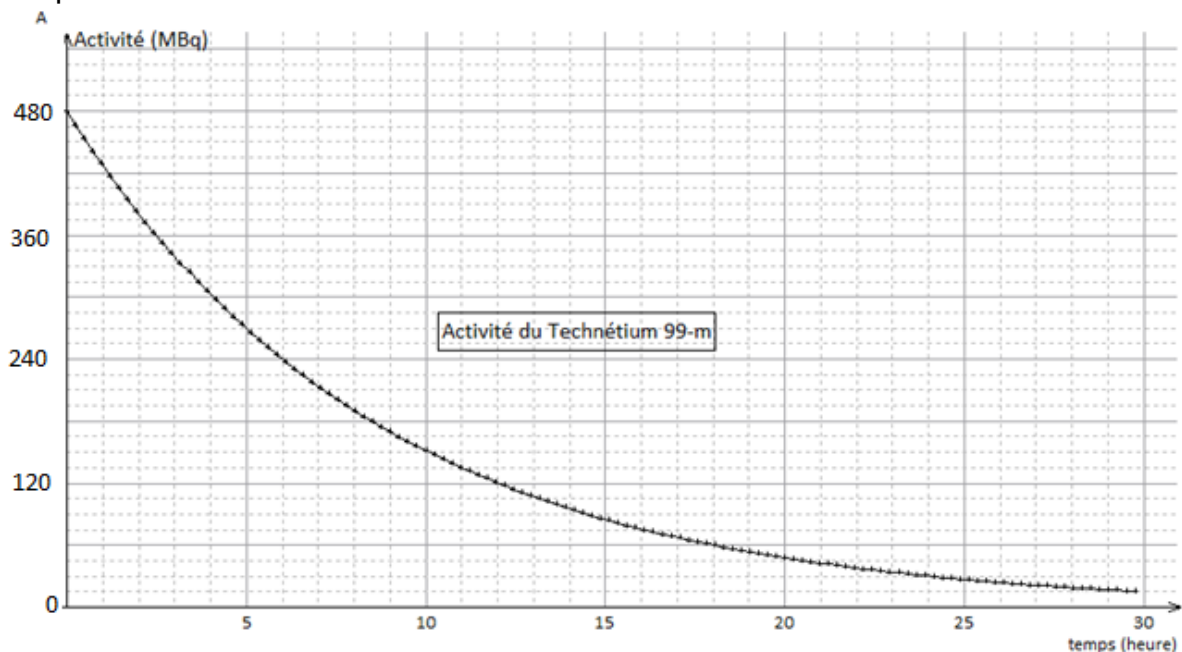
*Données : le curie (Ci) est une unité de radioactivité. Il correspond à  $3,7 \cdot 10^{10}$  becquerels (Bq), ce qui est à peu près l'activité d'un gramme de radium. Le curie et le becquerel sont utilisés dans le domaine hospitalier.*

**A.3.1.** Que représente un becquerel (Bq) ?

**A.3.2.** Quel volume de solution « Sestamibi » faut-il injecter à un patient de 80 kg pour mener à bien cet examen ?

**A.3.3.** L'énergie du rayonnement émis par le technétium est de 141 keV. En vous aidant du **document A3**, calculer la longueur d'onde du rayon émis. Indiquer de quel type de rayonnement il s'agit.

**A.3.4.** La courbe ci-dessous donne l'activité du technétium 99-m en fonction du temps.



**A.3.4.1.** À l'aide d'un tracé sur le **document-réponse n°1 à rendre avec la copie**, déterminer la valeur de la demi-vie du technétium.

**A.3.4.2.** Il est possible de faire subir des scintigraphies au technétium aux femmes allaitantes à la condition d'interrompre l'allaitement pendant 24 heures. L'interruption est en revanche beaucoup plus longue avec le thallium. Expliquer cette différence de durée d'interruption.

## DOCUMENTS DE LA PARTIE A

### Document A1 : principe de la scintigraphie



La **scintigraphie myocardique** est un examen qui permet d'évaluer la qualité de l'irrigation du cœur par les artères, et ainsi de faire un diagnostic.

Cet examen renseigne aussi sur le fonctionnement du muscle cardiaque, c'est-à-dire sur sa contractilité globale (la fonction pompe du cœur, ou Fraction d'Éjection Ventriculaire **F.E.V**).

On administre par voie intraveineuse une substance faiblement radioactive (habituellement du thallium 201 :  $^{201}_{81}\text{Tl}$  ou du technétium 99 :  $^{99}_{43}\text{Tc}$ ), qui va se fixer sélectivement sur le muscle cardiaque.

La demi-vie du thallium est d'environ 3 jours et celle du technétium est de quelques heures.

Pour acquérir des images, la scintigraphie utilise une caméra sensible aux rayonnements gamma et X. Elle permet la localisation spatiale des photons émis à partir de l'organe cible.

Source **I.N.R.S**(Institut National de Recherche et de Sécurité)

### Document A2 : quelques données physiologiques

- La diastole est la phase de dilatation du cœur, lorsque ses cavités se remplissent à nouveau de sang, avant la phase d'éjection du sang (appelée " la systole ").
- Volume télédiastolique : précharge, volume de sang dans le ventricule gauche en fin de diastole, c'est-à-dire juste avant éjection.
- De façon générale, la **FEVG** est considérée comme normale lorsque sa valeur est de 55 % ou plus, comme légèrement anormale entre 45 et 54 %, comme modérément anormale entre 30 et 44 %, et comme sévèrement anormale lorsqu'elle est inférieure à 30 %.

### Document A3

L'énergie des photons est définie par la relation  $E = h\nu$

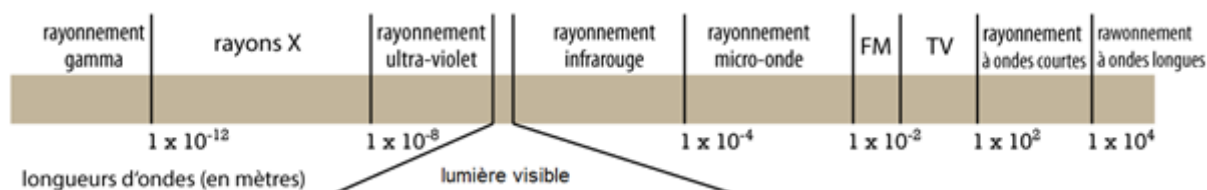
$E$  : énergie des photons en joule (J)

$h$  : constante de Planck en joule.seconde (J.s) :  $h = 6,62.10^{-34}$  J.s

$\nu$  : fréquence de l'onde électromagnétique émise en Hz

électronvolt :  $1 \text{ eV} = 1,60.10^{-19}$  J

célérité de la lumière :  $c = 3,00.10^8$  m.s<sup>-1</sup>



## **PARTIE B : des choix technologiques pour réaliser le cœur artificiel**

La conception d'un cœur artificiel est un projet qui date d'un demi-siècle et qui a déjà mobilisé nombre de cardiologues et d'ingénieurs du monde entier, vu le véritable défi technologique en jeu.

### **B.1. Exemple de défi technologique : la batterie**

#### Données :

Température :  $0^{\circ}\text{C} = 273\text{ K}$  ;

Pression :  $1\text{ bar} = 10^5\text{ Pa}$

Capacité d'une pile :  $Q = n_{e^-} \times F$

$Q$  : capacité ou quantité d'électricité disponible en coulombs (C)

$n_{e^-}$  : quantité maximale d'électrons pouvant circuler en moles (mol)

$F$  : constante de Faraday = charge d'une mole d'électrons ;  $F = 9,65 \cdot 10^4\text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$

On rappelle que l'énergie stockée dans une pile correspond au produit de la quantité d'électricité disponible par la tension aux bornes de cette pile ou force électromotrice.

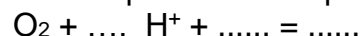
#### **B.1.1. Choix de la technologie de l'alimentation du cœur**

Le cœur artificiel a besoin d'une source d'énergie afin de pouvoir exercer son rôle de pompe du sang. Les premières batteries utilisées pour le cœur artificiel ont été des batteries lithium-ion. Mais depuis on cherche à remplacer la batterie lithium-ion par des piles à combustible.

**B.1.1.1.** D'après le **document B1**, pour quelles raisons souhaite-t-on remplacer la batterie lithium-ion par une pile à combustible ?

**B.1.1.2.** Les réactifs de la pile à combustible sont d'une part le dihydrogène  $\text{H}_2$  et d'autre part le dioxygène  $\text{O}_2$  de l'air. Les couples oxydant-réducteur mis en jeu pour cette pile sont  $\text{H}^+/\text{H}_2$  et  $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$ .

**B.1.1.2.1.** La demi-équation du couple  $\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$  s'écrit :



Recopier sur votre copie en complétant et en équilibrant cette demi-équation.

La demi-équation équilibrée du couple  $\text{H}^+/\text{H}_2$  est  $\text{H}_2 = 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$

**B.1.1.2.2.** En déduire l'équation globale modélisant le fonctionnement de cette pile.

**B.1.1.2.3.** L'électrode où arrive le dihydrogène est-elle l'anode ou la cathode ? Justifier.

**B.1.1.2.4.** Sur le **document réponse n°2 (à rendre avec votre copie)**, préciser le nom et le signe de chaque électrode, indiquer le sens de circulation du courant électrique et celui des électrons.

## B.1.2. Fonctionnement de la pile à combustible

**B.1.2.1.** D'après le **document B1**, quelle énergie doit être fournie par la pile à combustible pour que son autonomie soit de 12 heures ?  
Exprimer le résultat en W.h, puis en J.

**B.1.2.2.** La tension aux bornes de la pile est de 4,0 V.  
En déduire que la capacité en coulomb (C) est de l'ordre de  $2,9 \cdot 10^5$  C.

**B.1.2.3.** En utilisant notamment la  $\frac{1}{2}$  équation associée au couple  $H^+/H_2$ , vérifier que la quantité de matière de dihydrogène à stocker dans la pile à combustible afin d'atteindre l'autonomie voulue est  $n_{H_2} = 1,5$  mol.

## B.1.3. Le stockage du dihydrogène

On donne dans le **document B2**, le diagramme pression – température du dihydrogène.

Pour une température ambiante de 20 °C :

**B.1.3.1.** Calculer cette température en kelvin (K).

**B.1.3.2.** À cette température, sous quelles formes peut-on stocker le dihydrogène ? Justifier.

**B.1.3.3.** À cette température, en déduire la forme sous laquelle se trouve le dihydrogène contenu dans le réservoir à hydrogène décrit par le **document B3**.

**B.1.3.4.** Connaissant la pression  $p$  d'un gaz et le volume  $V$  qu'il occupe à une température  $T$  donnée, il est possible de calculer sa quantité de matière  $n_{H_2}$ , grâce à la loi des gaz parfaits :

$$pV = nRT$$

Avec  $p$  : pression en Pa ;

$V$  : volume en  $m^3$  ;

$n$  : quantité de matière en mol ;

$T$  : température en K ;

$R$  : constante des gaz parfaits ;  $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Calculer, à la température de 20 °C, la quantité de matière  $n_{H_2}$  de dihydrogène maximale que l'on peut stocker dans la bouteille de dihydrogène décrite par le **document B3**.

**B.1.3.5.** Le réservoir Hy-can du **document B3** permettra-t-il 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**

« Pour pouvoir adapter très finement le débit sanguin aux besoins physiologiques qui varient à l'effort, au repos ou lors de changement de position, le cœur artificiel CARMAT bénéficie d'une microélectronique de pointe. Élément central du dispositif, un microprocesseur doté d'algorithmes qui modélisent le fonctionnement d'un cœur naturel. En fonction des informations fournies par trois capteurs de pression, deux capteurs à ultrasons et un accéléromètre, le microprocesseur adapte le pilotage des deux groupes motopompes en temps réel. »

Extrait de La Recherche, janvier 2012, N°459

### Données :

Pression : 1 bar =  $10^5$  Pa

1 mmHg = 133,3 Pa (le mmHg est le millimètre de mercure (Hg))

Une société a développé des capteurs de pression pour des applications médicales.

Le capteur physiologique utilisé est spécialement conçu pour la mesure de la pression intravasculaire.

Le capteur est plaqué or et fournit une tension électrique qui varie en fonction de la pression. Les valeurs extrémales admises sont de 0 et 300 mmHg.



**B.2.1.** Préciser quelles sont les grandeurs d'entrée et de sortie de ce capteur.

**B.2.2.** Les valeurs de pression dans le ventricule gauche du cœur :

Pression minimale : 5 mmHg ; Pression maximale : 180 mmHg.

Le capteur est-il adapté au suivi de la pression dans le ventricule gauche ? Justifier.

**B.2.3.** Pour une pression mesurée  $p_m = 180$  mmHg dans le ventricule gauche, déterminer un encadrement de la pression réelle  $p_r$  en tenant compte de la l'incertitude  $\Delta p$  du capteur :

$$p_r = p_m \pm \Delta p$$

$$\Delta p = 0,5\% \text{ de l'étendue de mesure}$$

Remarque : l'étendue de mesure est la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale pouvant être mesurées par le capteur.



## DOCUMENTS DE LA PARTIE B

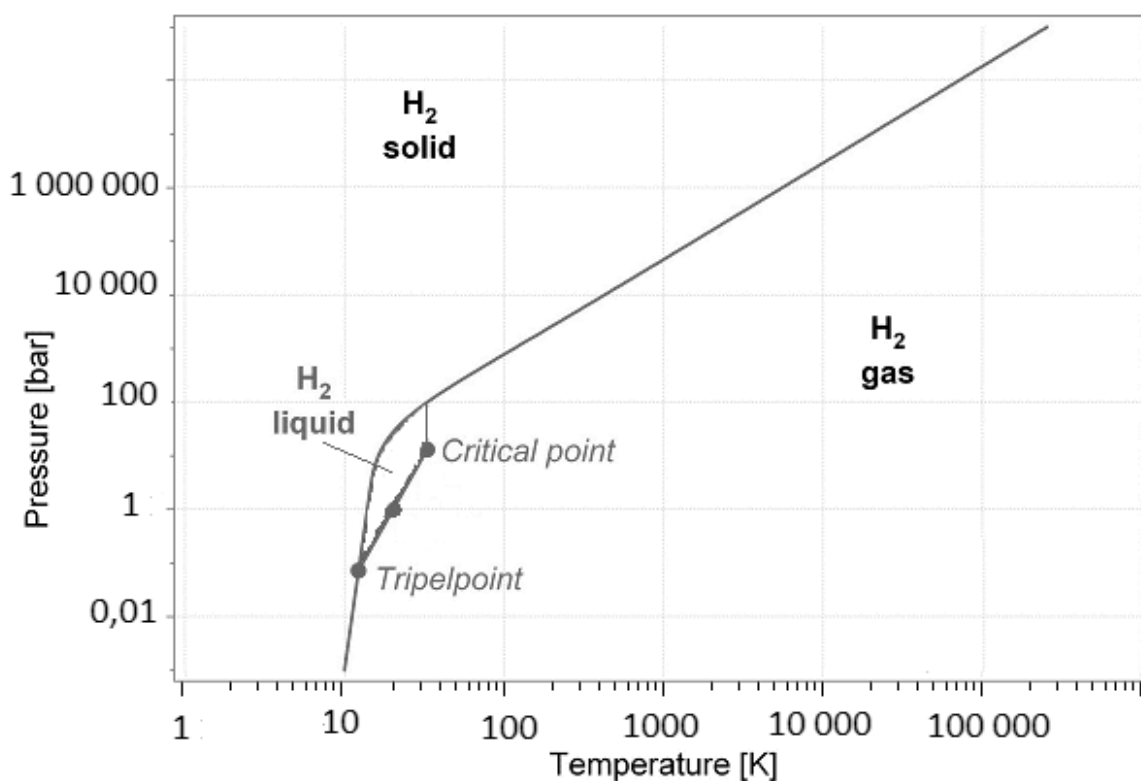
### Document B1 : le défi du cœur artificiel par Jean-Philippe Braly

Si l'électronique de ce cœur semble au point, son alimentation électrique est en cours d'amélioration. Dans un premier temps, un câble inséré par l'abdomen reliera la prothèse à des batteries lithium-ion extracorporelles à recharger environ toutes les quatre heures sur le secteur. Portables, en bandoulière ou sur un chariot à roulettes, leur poids avoisinera 6 kg.


Pour tenter de résoudre ce problème, la société a noué un partenariat avec la société Paxitech. Objectif : développer des piles à combustible de moins de 3 kg, de 2 mm d'épaisseur et offrant plus de 12 heures d'autonomie. Carmat espère leur mise au point pour 2013. « Pour une consommation de 27 W, et compte tenu de l'évolution rapide des technologies dans ce domaine, de telles piles semblent envisageables pour 2013 », estime Olivier Lottin, expert en piles en combustible à l'université de Nancy-I.

Publié en janvier 2012, dans La Recherche

### Document B2 : diagramme pression – température du dihydrogène H<sub>2</sub>



### Document B3 : documentation du réservoir à hydrogène Hy-Can

	<p><u>Caractéristiques techniques</u></p> <p>Volume : 0,8 litre Pression : 12 bar = 12.10<sup>5</sup> Pa Taille : 65 × 320 mm Masse totale: 135 g</p>
---	---

## **Partie C : Et le cœur artificiel prend vie...**

Le deuxième homme greffé faisait du vélo de route huit mois après son opération !! (voir le document C1).

On suppose qu'il partait 20 minutes, en roulant sur du plat à la vitesse constante de  $15 \text{ km.h}^{-1}$ .

**C.1.** Les forces extérieures exercées sur le cycliste et son vélo sont les suivantes :

- le poids  $\vec{P}$
- la réaction de la route  $\vec{R}$
- la force de frottement  $\vec{F}_{air}$  de résistance de l'air

Sur le **document réponse n°3 (à rendre avec votre copie)**, représenter sans souci d'échelle, les forces exercées sur le système {cycliste – vélo} lors de son déplacement.

Dans la suite du sujet on souhaite déterminer si le cœur artificiel permet d'assurer un débit suffisant en cas d'effort sportif.

On admet que l'énergie nécessaire pour réaliser cinq kilomètres en vélo à la vitesse de  $15 \text{ km.h}^{-1}$  est de l'ordre de  $110 \text{ kJ}$ .

**C.2.** Au repos, un individu consomme à peu près une énergie de  $70 \text{ J.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ . Calculer l'énergie que consomme durant 20 minutes, un homme de  $80 \text{ kg}$  au repos. En déduire que l'énergie totale consommée par cet homme roulant à  $15 \text{ km/h}$  à vélo pendant 20 minutes doit être de  $222 \text{ kJ}$ .

**C.3.** Dans l'organisme, le dioxygène respiré sert à « brûler » le glucose  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  obtenu grâce à la digestion des sucres et glucides.

Ecrire l'équation équilibrée modélisant la combustion complète du glucose dans le dioxygène.

**C.4.** On admet que la combustion d'une mole de glucose permet d'obtenir une énergie utilisable de  $1270 \text{ kJ}$ . Calculer la quantité de matière de glucose nécessaire pour les 20 minutes d'efforts du cycliste.

**C.5.** Montrer que la quantité de matière de dioxygène consommée pendant cet effort est de l'ordre de  $n_{\text{O}_2} = 1 \text{ mol}$ .

**C.6.** On admet que seul 65 % du dioxygène présent dans le sang est utilisé et consommé par l'organisme, et qu'il y a  $0,3 \text{ g}$  de dioxygène transporté par litre de sang.

Calculer le débit minimum du cœur artificiel permettant un apport en dioxygène suffisant pour cet effort.

Le cœur artificiel peut-il soutenir une telle activité physique ?

Donnée : masse molaire de l'oxygène :  $M_{\text{O}} = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$

## **DOCUMENTS DE LA PARTIE C**

### **Document C1**

« Huit mois après son opération du 5 août 2014, le deuxième patient à avoir subi l'implantation d'un cœur artificiel Carmat a "repris le vélo" et "souhaite se remettre au judo", indique le professeur Alain Carpentier, concepteur de cette technologie [...]. "Cela a été une grande surprise pour nous. Nous lui avons bien-sûr prescrit de faire du vélo d'appartement pour sa rééducation", a confié le chirurgien à la chaîne de télévision. Il rapporte que lors d'une visite, le greffé a dit aux médecins, interloqués : "Vous dites 'vélo d'appartement' ? Non, je fais du vrai vélo ! Mais je fais attention dans les côtes." »

Publié le 07/04/2015, dans Sciences et avenir (santé)

### **Document C2**

La prothèse cardiaque est composée de deux ventricules et de quatre valves artificielles dont le rôle est le même que pour le cœur. [...]

Le déplacement du sang dans les ventricules est provoqué par deux membranes souples [...] Les membranes [alimentées par un moteur] se contractent et se relâchent comme les parois d'un ventricule naturel, ce qui reproduit les battements cardiaques.

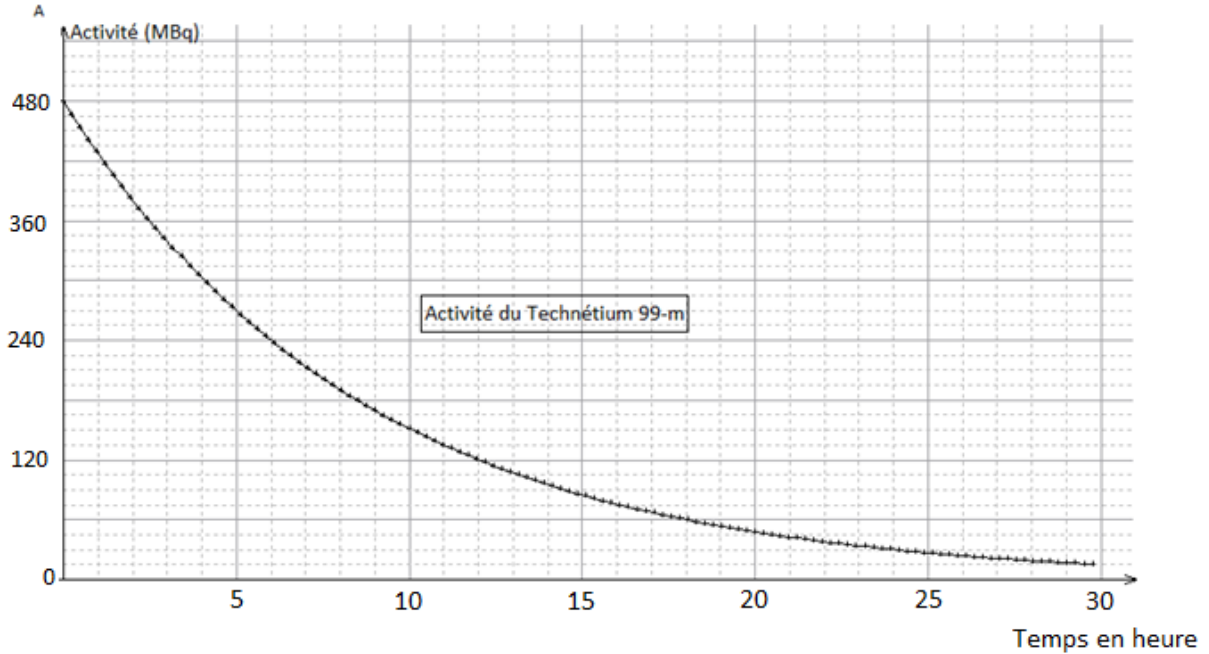
Les pompes sont commandées par un microprocesseur qui adapte leur fonctionnement selon des informations fournies par divers capteurs.

Au final, le débit sanguin pourra atteindre jusqu'à 9 L.min<sup>-1</sup>, soit le débit nécessaire pour gravir un escalier un peu raide.

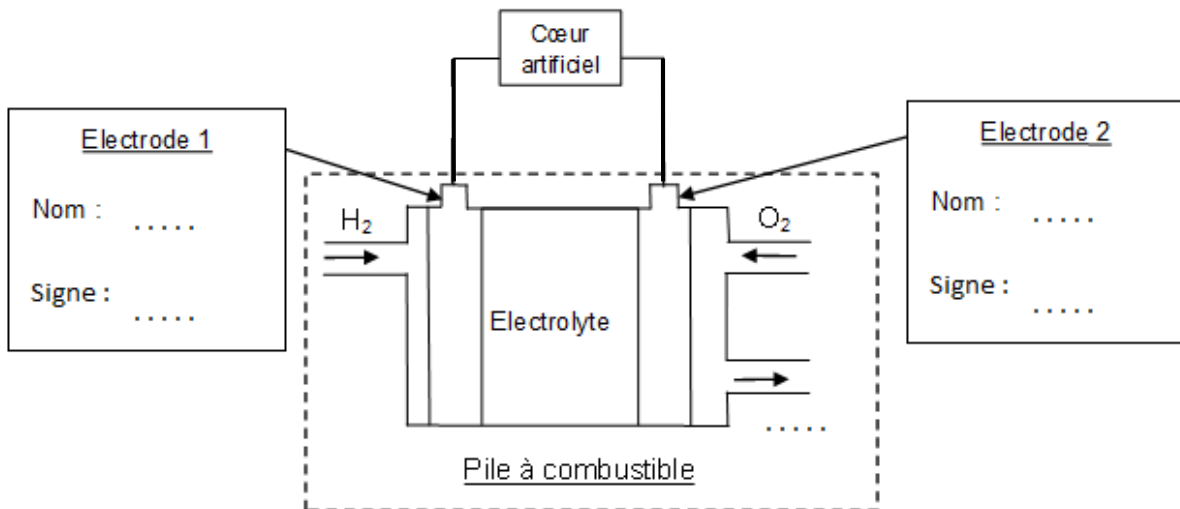
D'après La Recherche, janvier 2012, n°459

**LE DOCUMENT RÉPONSE EST À RENDRE AVEC LA COPIE  
(même non complété)**

**Document réponse 1 : Courbe de décroissance du Technétium 99-m**



**Document réponse 2 : Schéma de principe de la pile à combustible**



**Document réponse 3 : Schéma des forces subies par le système {cycliste-vélo} lors de son déplacement**

