

BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE

SESSION 2017

Série STI2D
Toutes spécialités

Série STL
Spécialité sciences physiques et chimiques en laboratoire

PHYSIQUE – CHIMIE

DURÉE : 3 HEURES

COEFFICIENT : 4

CALCULATRICE AUTORISÉE

L'emploi de toutes les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique est autorisé à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'elles ne soient pas connectables à un réseau.

Ce sujet comporte 14 pages numérotées de la page 1/14 à la page 14/14.

Avant de composer, assurez-vous que l'exemplaire qui vous a été remis est bien complet.

Les pages 13/14 à 14/14 où figurent les documents réponses sont à numéroté et à rendre avec la copie même non complétées.

Lors des applications numériques, les résultats seront donnés avec un nombre de chiffres significatifs cohérent avec ceux de l'énoncé et une attention particulière sera portée aux unités utilisées.

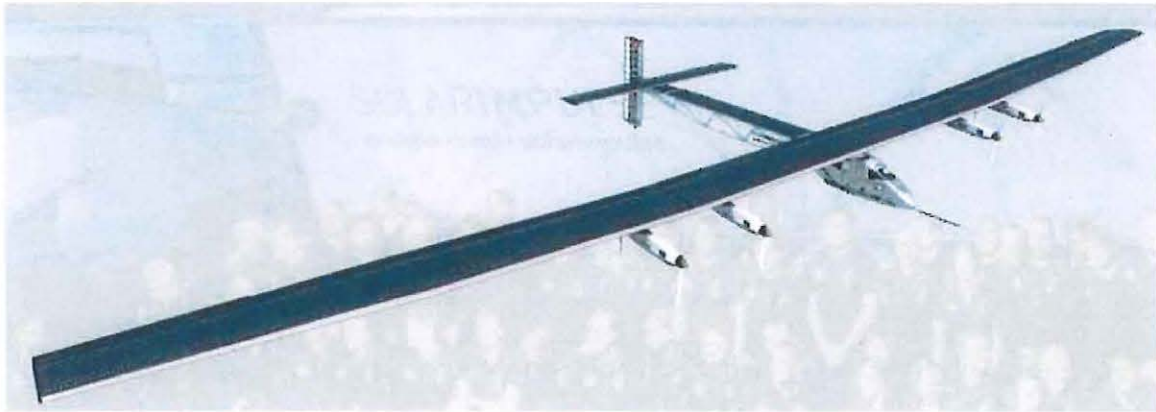
La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront dans l'appréciation des copies.

Les parties du sujet sont indépendantes et peuvent être traitées séparément dans l'ordre choisi par le candidat·e.

UN PROJET NOVATEUR : *SOLAR IMPULSE 2*

Le 26 juillet 2016, l'avion solaire *Solar Impulse 2* a décollé du Caire, en Égypte, afin de rejoindre Abu Dhabi, aux Émirats arabes unis, ville départ qu'il avait quittée depuis plus d'un an. Le vol, effectué par un seul pilote expérimenté, a duré 48 h.

Il s'agissait là de l'ultime étape de son tour du monde lancé le 9 Mars 2015, avec le Soleil comme seule source d'énergie.



PARTIE A – EXAMEN MÉDICAL PRÉPARATOIRE DU PILOTE

PARTIE B – ÉCHANGES ÉNERGÉTIQUES SOLEIL-CELLULES ET CELLULES-BATTERIES

PARTIE C – ET SI *SOLAR IMPULSE 2* FONCTIONNAIT AVEC DES MOTEURS THERMIQUES ?

PARTIE A – EXAMEN MÉDICAL PRÉPARATOIRE DU PILOTE

Pendant le trajet, les capacités physiques sont mises à rude épreuve. Avant le départ, le pilote doit vérifier sa bonne résistance cardiaque. C'est pourquoi une scintigraphie du myocarde peut lui être prescrite par son médecin.

Données : Relation entre énergie et fréquence d'un rayonnement :
 $E = h \times \nu$, avec ν , la fréquence en hertz (Hz), et E , l'énergie en joule (J)

Célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

Masse d'un noyau de technétium 99 : $m(\text{Tc}) = 1,65 \times 10^{-25} \text{ kg}$

Constante de Planck : $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

 $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$

- A.1** En vous aidant du **document A1** de la **page 5**, donner deux raisons qui justifieraient un tel examen ?
- A.2** Le technétium 99 (**Tc 99**), émetteur β^- , est utilisé pour cet examen. C'est le plus courant des isotopes de cet élément.
- A.2.1** Définir le terme isotope.
- A.2.2** En utilisant le **document A2** de la **page 5**, écrire l'équation de désintégration β^- du **Tc 99**. Identifier le noyau fils.
- A.3** Lors de la désintégration du **Tc 99**, un des rayonnements émis possède une énergie, E , égale à **294 keV**.
- A.3.1** Donner l'expression littérale de la longueur d'onde, λ , de ce rayonnement dans le vide, en fonction de E et des constantes physiques.
- A.3.2** Calculer la valeur numérique de λ , en picomètres ($1 \text{ pm} = 10^{-12} \text{ m}$).
- A.3.3** En vous aidant du **document A3** de la **page 6**, préciser à quel domaine des ondes électromagnétiques appartient ce rayonnement.

A.4 La demi-vie d'un échantillon radioactif est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux initialement présents a été désintégrée.

A.4.1 Pourquoi la demi-vie du technétium est-elle compatible avec un examen médical ?

A.4.2 En utilisant le **document A4** de la **page 6**, retrouver la valeur de la demi-vie du technétium. Détailler le raisonnement en utilisant le **document réponse DR1** de la **page 13**.

A.5 Lors de l'examen médical le pilote de **75 kg** reçoit une dose de **2,5 mL** de **Tc 99** d'activité $A_0 = 62 \text{ MBq}$. Quelques minutes plus tard, les premières images du cœur sont visualisées grâce à une gamma-caméra à scintillations.

On pourra utiliser le **document A5** de la **page 6**.

A.5.1 Définir l'activité d'un échantillon.

A.5.2 Donner la relation entre le nombre de noyaux radioactifs, N , d'un échantillon et son activité, A .

A.5.3 Montrer que le nombre de noyaux radioactifs, N_0 , reçus par le patient lors de l'injection est de $1,9 \cdot 10^{12}$.

Donnée : constante radioactive du technétium : $\lambda_{\text{Tc}} = 3,21 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$.

A.5.4 En déduire la masse, m_0 , de technétium reçue par le pilote.

A.5.5 Une partie du rayonnement peut être absorbée par l'organisme humain. La « dose d'énergie, D , absorbée » est :

$$D = \frac{E}{m}, \text{ avec } E \text{ en joule et } m \text{ en kg.}$$

Parmi les unités suivantes, quelle est celle de la dose d'énergie absorbée, D ?

Curie	Becquerel	Gray	Sievert
-------	-----------	------	---------

A.5.6 Calculer la dose d'énergie, D , absorbée par le pilote, sachant que l'énergie reçue lors de l'injection est de $1,0 \times 10^{-2} \text{ J}$.

A.5.7 Citer un risque pour l'organisme humain lié à la radioactivité.

ANNEXE A

Document A1 : qu'est-ce que la scintigraphie myocardique ?

À quoi sert-elle ?

La scintigraphie myocardique est un examen qui permet d'évaluer la perfusion myocardique (c'est à dire la qualité de l'irrigation par les artères, les coronaires), et ainsi de faire le diagnostic de maladie coronaire. Cet examen a des performances supérieures au test d'effort seul et équivalentes à l'échocardiographie d'effort. 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).

Dans quel cas ?

La scintigraphie permet, par exemple, d'étudier la répercussion sur le fonctionnement du cœur de lésions telles que des rétrécissements au niveau des coronaires. Elle est aussi utilisée pour rechercher les défauts d'irrigation du cœur en cas de suspicion d'angine de poitrine ou d'insuffisance cardiaque.

Principe de la scintigraphie

Les explorations scintigraphiques sont rendues possibles par l'injection d'une substance radioactive particulière, un traceur radioactif (le thallium 201 ou le technétium 99). Un détecteur spécial (le scintigraphique) enregistre la distribution de la substance injectée dans les différentes parties de l'organe examiné. Cette répartition est visualisée sous forme de série de points « scintillants » correspondant aux zones marquées par le produit radioactif.

Source : d'après www.fedecardio.org

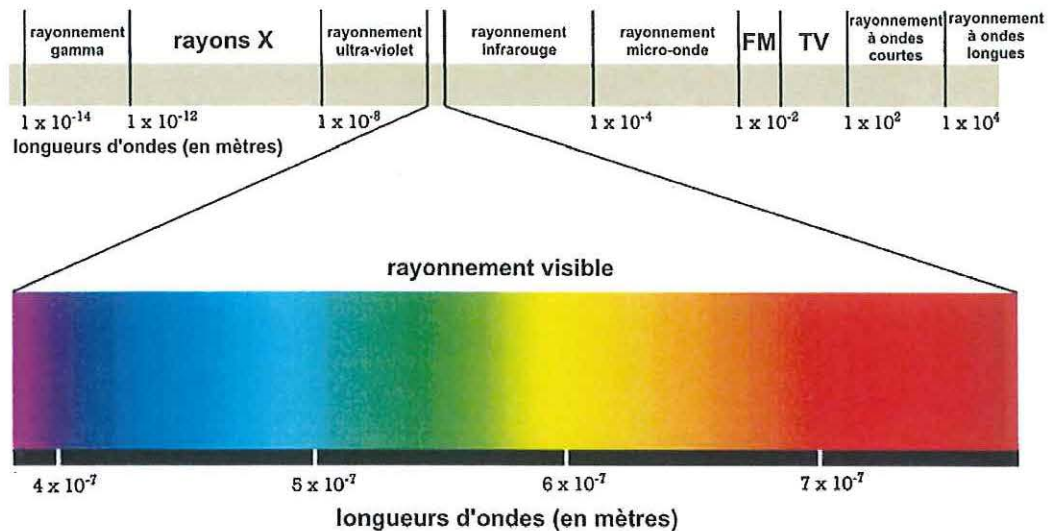
Document A2 : informations sur le technétium

Le technétium est un élément chimique de numéro atomique 43. Son nom vient du grec *technetos* qui signifie « artificiel ». C'est en effet le premier élément chimique produit sans avoir été découvert dans la nature. Tous les isotopes connus du technétium sont radioactifs. Le technétium 99 utilisé pour les examens médicaux est radioactif bêta (β^-) ; sa demi-vie est d'environ 6 h.

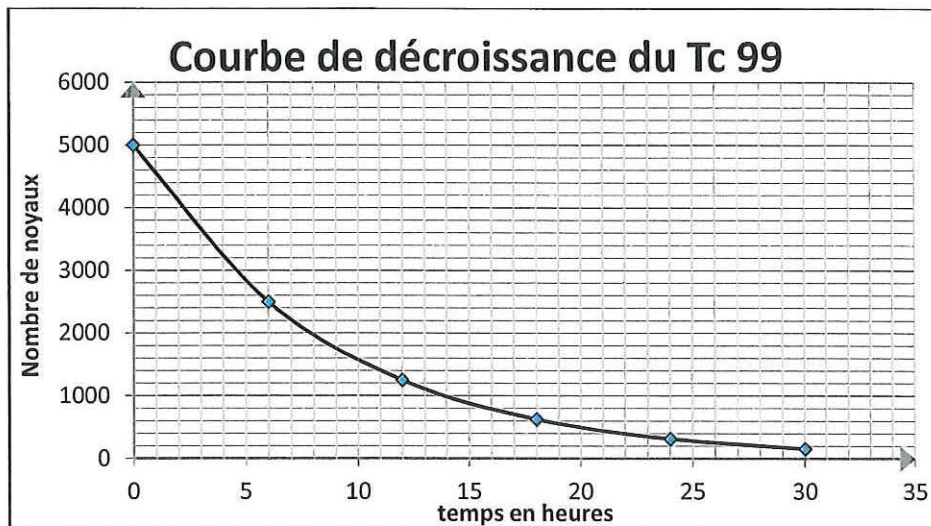
Noyau	technétium 97	technétium 99	molybdène 96	ruthénium 99
Symbole	$^{97}_{43}\text{Tc}$	$^{99}_{43}\text{Tc}$	$^{96}_{42}\text{Mo}$	$^{99}_{44}\text{Ru}$

Source : www.laradioactivité.com

Document A3 : les domaines du spectre des ondes électromagnétiques



Document A4 : courbe de décroissance radioactive du Tc 99



Document A5 : activité d'un échantillon

Quand on mesure une activité, on compte le nombre de noyaux d'atomes qui se désintègrent. Comme le nombre d'atomes présents dans le moindre échantillon de matière est toujours énorme, le nombre de désintégrations par seconde est toujours important, même si la proportion d'atomes radioactifs est infime.

On définit officiellement l'activité d'un échantillon de matière radioactive comme le nombre de désintégrations qui s'y produit par seconde. L'unité d'activité le becquerel, porte le nom d'Henri Becquerel qui découvrit les premiers rayonnements radioactifs. Un **becquerel** représente une désintégration par seconde.

L'activité d'un échantillon à un instant donné peut être calculée en multipliant la constante radioactive, λ^* , de l'élément par le nombre de noyaux encore présents à cet instant.

* La notation est la même mais il ne s'agit pas, ici, de longueur d'onde.

Source : www.laradioactivité.com

PARTIE B – ÉCHANGES ÉNERGÉTIQUES SOLEIL-CELLULES ET CELLULES-BATTERIES

B.1 Bilan énergétique pour les cellules photovoltaïques

- B.1.1 Après avoir pris connaissance des documents B1, B2 et B3 de la page 9, compléter la chaîne énergétique du document réponse DR2 de la page 13.
- B.1.2 Calculer la puissance solaire moyenne, P_R , absorbée par l'ensemble des cellules photovoltaïques, pendant que le Soleil brille.
- B.1.3 Montrer que l'énergie solaire, E_R , reçue par l'ensemble des cellules photovoltaïques lors d'une journée de vol vaut $1,43 \times 10^6 \text{ W.h}$.
- B.1.4 Exprimer l'énergie, E_{mot} , reçue par les moteurs, en fonction du rendement, η , des cellules et de l'énergie, E_R . Calculer sa valeur numérique pour une journée.

B.2 Bilan énergétique pour la propulsion

- B.2.1 En utilisant le document B1 de la page 9, calculer, en watts, la puissance totale, P'_{mot} , pour l'ensemble des quatre moteurs de *Solar Impulse 2*.
- B.2.2 En déduire l'énergie, E'_{mot} , nécessaire à leur fonctionnement pendant une journée de 14 h.
- B.2.3 L'énergie, E_{mot} , est-elle suffisante pour alimenter les quatre moteurs de l'avion ? Justifier la réponse.

B.3 Rôle des batteries en décharge

Les batteries utilisées sont entièrement chargées au départ. Elles se déchargent, notamment la nuit, pour permettre à l'avion de voler en l'absence de lumière et sont rechargées le jour lors des phases de planage.

- B.3.1 En utilisant les documents B4 et B5 de la page 10, avancer au moins deux raisons qui justifient le choix de batteries lithium-polymères pour *Solar Impulse 2*.
- B.3.2 À l'aide des demi-équations fournies par le document B4 de la page 10, identifier l'oxydant qui réagit lors de la décharge. Justifier la réponse.
- B.3.3 À partir du document B4 de la page 10, déterminer l'équation de la réaction ayant lieu lors de la décharge des batteries.
- B.3.4 Compléter le document réponse DR3 de la page 13 en indiquant, en décharge, le sens de circulation des électrons et le sens du courant.
- B.3.5 Compléter la chaîne énergétique des batteries en décharge sur le document réponse DR4 de la page 14.

- B.3.6** À l'aide du **document B4** de la **page 10**, calculer l'énergie disponible, E_{batt} , des batteries lorsqu'elles sont complètement chargées.
- B.3.7** À l'aide du **document B4** de la **page 10**, en tenant compte du rendement des batteries, vérifier que l'énergie disponible vaut $E'_{\text{aM}} = 1,48 \times 10^2 \text{ kW.h}$ à l'entrée des moteurs.
- B.3.8** Sachant que les moteurs nécessitent pour fonctionner une puissance d'environ **50 kW**, combien d'heures *Solar Impulse 2* peut-il voler sans soleil ? Conclure.

ANNEXE B

Document B1 : caractéristiques de l'avion *Solar Impulse 2*

Immatriculation	HB-SIB
Avion	Version définitive
Envergure	72,30 m
Longueur	22,40 m
Hauteur	6,37 m
Masse	2 300 kg
Motorisation	4 moteurs électriques de puissance 17,5 cv chacun 1 cv = 0,736 kW
Cellules photovoltaïques	Nombre de cellules 17 248 Rendement : 22,7 % Surface totale : 269,5 m²

Document B2

Entre Le Caire et Abou Dhabi la puissance solaire moyenne en juillet est de **380 W/m²**.
Le soleil brille en moyenne **14 h par jour**.

Document B3

L'avion *Solar Impulse 2* peut voler, d'une part grâce à des batteries lithium – polymères et d'autre part, grâce à des cellules photovoltaïques recouvrant la totalité de sa surface. Le jour, lorsque le soleil brille, on considère que seules les cellules permettent à l'avion de se déplacer.
La nuit, ce sont les batteries qui, chargées au départ puis le jour par les cellules photovoltaïques, lorsque l'avion plane, permettent aux moteurs de tourner.

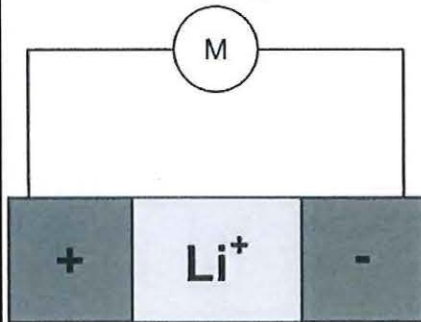
Document B4 : caractéristiques et fonctionnement des batteries

Solar impulse 2 est doté de batteries lithium-polymères, entièrement chargées au départ, qui peuvent alimenter les moteurs en l'absence de lumière. Les demi-équations ci-dessous correspondent à la **décharge des batteries**.

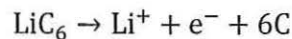
Masse totale : **660 kg**

Densité énergétique : **260 W. h. kg⁻¹**

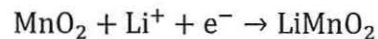
Rendement : **86 %**



Anode : lithium métallique dans du graphite LiC_6



Cathode : oxyde MnO_2 permettant l'intercalation des ions Li^+



Grâce au polymère, l'accumulateur Li-Po est le plus léger de tous ceux qui contiennent du lithium. En outre, la maniabilité de son électrolyte lui permet de prendre toutes les formes. Bien que dépassées par d'autres technologies, les batteries lithium-ion-polymère sont toujours utilisées pour la traction électrique, notamment des vélos assistés et des scooters dans lesquels elles sont appréciées pour leur faible poids à condition d'utiliser régulièrement l'engin qui en est équipé.

Document B5 : comparaison des batteries

		plomb, acide ou gel	lithium ion Li-ion (NMC)	lithium polymère Li-Po
Énergie stockée	Classement	- -	+ + +	+ + +
	W.h/kg décharge lente en 20 heures	40	200	260
	W.h/kg décharge rapide en 30 minutes	20	190	190
Durée de vie	Classement	-	+	+
	Nombre de cycles	200 à 400	300 à 500	500 à 600
Prix	Classement	+ + +	-	- -
	en € par W.h	0,20 €	0,65 €	0,70 €
Dangerosité	Classement	-	- - -	- -
	Risques	explosion et acide	explosion et incendie	incendie
Environnement	Classement	- - -	+	+ +
	Polluant	plomb et mercure	faible cobalt, nickel	faible cobalt, nickel

Source : <http://www.masolise.com/comparatif-technologie-batterie>

PARTIE C – ET SI *SOLAR IMPULSE 2* FONCTIONNAIT AVEC DES MOTEURS THERMIQUES ?

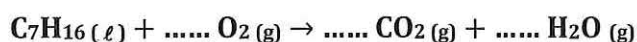
Solar Impulse 2 a été conçu dans l'optique de montrer qu'il était possible de voler plusieurs jours d'affilée sans avoir recours aux énergies fossiles.

C.1 Énergie fossile et combustion

C.1.1 Qu'appelle-t-on énergie fossile ? Donner au moins une raison qui a poussé les scientifiques à développer le projet *Solar Impulse*.

C.1.2 Compléter la chaîne énergétique du **document réponse DR5** de la **page 14**.

Lors de la combustion, l'heptane réagit avec le dioxygène pour former du dioxyde de carbone et de l'eau, selon l'équation :



C.1.3 Recopier et ajuster cette équation sur votre copie.

C.1.4 Donner la signification des pictogrammes relatifs à l'heptane, figurant sur le **document C1** de la **page 12**.

C.1.5 En utilisant les données du **document C2** de la **page 12**, montrer que l'enthalpie standard de réaction de combustion de l'heptane serait de $-4\,796 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

C.2. Rendement des moteurs à combustion

L'énergie mécanique nécessaire à un vol de 48 h est d'environ $9,0 \times 10^9 \text{ J}$.

C.2.1 Le rendement d'un moteur à combustion est de l'ordre de 20 %. Calculer l'énergie chimique, E_{chim} , qui serait nécessaire pour que le vol puisse avoir lieu.

C.2.2.a Montrer que la quantité de matière, n_{hept} , d'heptane nécessaire à un tel vol est d'environ $9,4 \times 10^3 \text{ mol}$.

C.2.2.b Calculer la masse, m_{hept} , d'heptane correspondante.

C.2.2.c En déduire le volume d'heptane correspondant.

C.2.3 En utilisant l'équation de combustion de l'heptane, montrer que la quantité de matière, n_{CO_2} , de CO_2 libérée en 48 h serait de $6,6 \times 10^4 \text{ mol}$.

C.2.4 Calculer, en tonnes, la masse, m_{CO_2} , correspondante.

Données : masse molaire atomique du carbone : $M_{\text{C}} = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
masse molaire atomique de l'oxygène : $M_{\text{O}} = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

C.3 Crédit carbone – Question ouverte

Le Crédit carbone est une unité correspondant à une tonne d'équivalent CO_2 sur les marchés du carbone. Combien, selon vous, le voyage de *Solar Impulse 2* pourrait-il obtenir de crédit carbone pour son tour du monde ?

Document C1 : fiche toxicologique de l'heptane

Formule chimique $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

Masse molaire : $100,2 \text{ g. mol}^{-1}$

Masse volumique : $0,68 \text{ kg. L}^{-1}$

Étiquette(s)


1

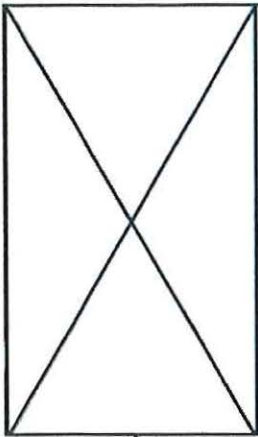

2


3


4

Document C2 : enthalpies standard de formation

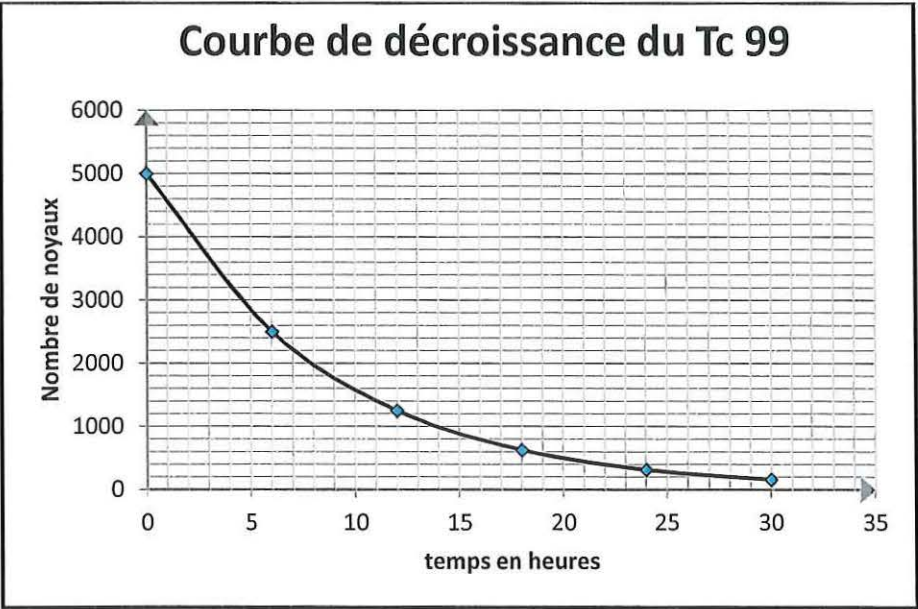
Espèce chimique	heptane $\text{C}_7\text{H}_{16} (\ell)$	dioxygène $\text{O}_2 (\text{g})$	dioxyde de carbone $\text{CO}_2 (\text{g})$	Eau $\text{H}_2\text{O} (\text{g})$
Enthalpie standard de formation $\Delta_f H^\circ (\text{kJ. mol}^{-1})$	- 245,2	0	- 393,5	- 285,8



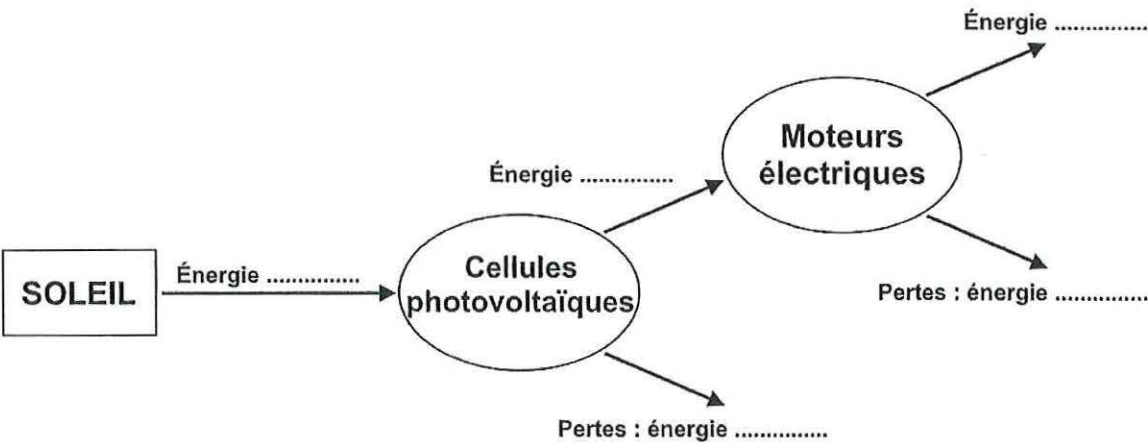
Annexe à numéroté et à remettre avec la copie à la fin de l'épreuve même non complétée

(placer à l'intérieur de la copie pour agrafage)

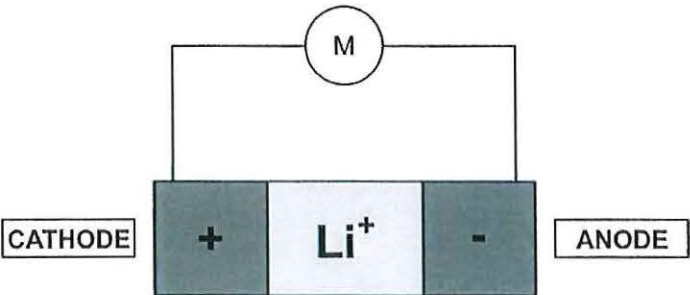
Document réponse DR1 – Courbe de décroissance radioactive du technétium 99 (question A.4.2)

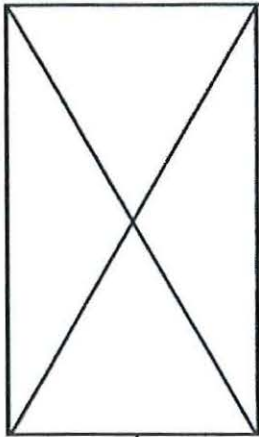


Document réponse DR2 – Chaîne énergétique à compléter (question B.1.1)



Document réponse DR3 – Schéma de fonctionnement d'une batterie en décharge (question B.3.4)

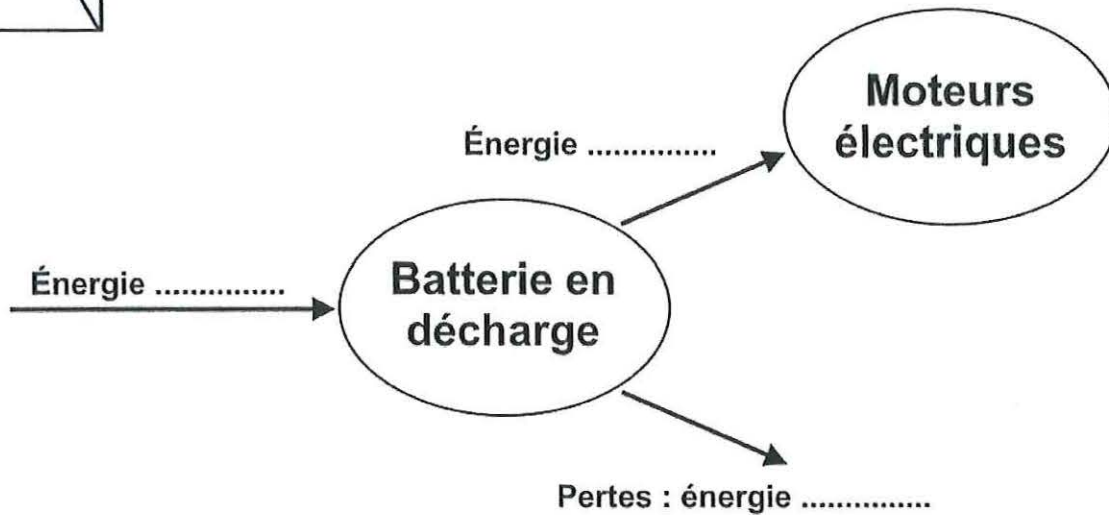




Annexe à numéroté et à remettre avec la copie à la fin de l'épreuve même non complétée

(placer à l'intérieur de la copie pour agrafage)

Document réponse DR4 – Chaîne énergétique de la batterie en décharge à compléter (question B.3.5)



Document réponse DR5 – Chaîne énergétique du moteur à compléter (question C.1.2)

