

Devoir du jeudi 16 avril 2015

La concision des réponses, la clarté de la rédaction, la présentation des calculs rentreront pour une part importante dans la notation du devoir. Le barème et les temps indiqués ne sont donnés qu'à titre indicatif.

Les quatre parties sont totalement indépendantes. Si le candidat ne parvient pas à répondre à une question, il peut passer aux suivantes en utilisant les résultats donnés dans l'énoncé. Les expressions littérales sont toujours prises en compte en priorité ainsi que les raisonnements. Aussi, il ne faut pas se décourager si on ne parvient à finir un calcul numérique et ne pas hésiter à poursuivre le devoir avec les expressions littérales (et vice-versa).

Depuis la légende d'Icare, l'homme a toujours souhaité soit se déplacer dans les airs en imitant les oiseaux, soit envoyer des objets volants pour la conquête de l'espace ou voir la Terre depuis une certaine altitude.

Dans tout le devoir, $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$.

I La chute d'Icare (15 minutes, 2,5 points)

Selon la mythologie grecque, Icare, afin de sortir du labyrinthe créé par son père Dédale, se fabriqua des ailes fixées à ses épaules par de la cire pour s'envoler. Hélas, arrivé à une certaine altitude, trop près du Soleil, la cire se mit à fondre et Icare tomba depuis les airs sur Terre.

Icare a une masse $m = 65 \text{ kg}$. On considère que l'altitude à laquelle Icare perd ses ailes (sa vitesse est alors nulle par rapport à la Terre) vaut $h = 2500 \text{ m}$. On considère qu'il est en chute libre et que $g = 9,8 \text{ N.kg}^{-1}$ pendant toute cette chute.

- 1) Qu'appelle-t-on une chute libre ?
- 2) Montrer soigneusement que la vitesse atteinte au sol par Icare vaut

$$v_{\text{sol}} = \sqrt{2 \times g \times h}$$

- 3) Faire l'application numérique et conclure.



II Le vol du colibri (25 minutes, 4,5 points)

Le colibri est un oiseau très coloré qui se nourrit du nectar des plantes tropicales grâce à son bec très allongé et à sa capacité d'effectuer un vol stationnaire devant la fleur.

On peut considérer ce vol stationnaire, de manière très simpliste, comme décomposé de la façon suivante :

- pendant 0,5 s, le colibri ne bat pas des ailes et est en chute libre, il perd alors une altitude de 12 cm,
- pendant les 0,5 s suivantes, le colibri bat des ailes pour gagner à nouveau les $h = 12 \text{ cm}$ qu'il vient de perdre,
- Puis le cycle se répète.

La masse du colibri vaut $m_{\text{col}} = 18 \text{ g}$.

1) On montre que chaque seconde, le colibri doit donc dépenser une certaine forme d'énergie, pour retrouver son énergie potentielle de pesanteur, égale à $E = m_{\text{col}} \cdot g \cdot h$. Déterminer E en J.

2) Quelle ressource énergétique le colibri va-t-il utiliser afin d'effectuer ce vol stationnaire ?

3) Lors de son vol, le cœur du petit oiseau se met à battre très vite ce qui permet un afflux de dioxygène gazeux abondant vers les cellules musculaires où il réagit avec le glucose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{s})$ pour fournir du dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau qui sont rejetés dans l'atmosphère sous forme gazeuse, et de l'énergie car cette réaction est exoénergétique.

a) Ecrire l'équation de cette réaction exoénergétique avec les 4 espèces chimiques qui y interviennent. Pourquoi peut-on dire que cette réaction correspond à la combustion du glucose ?

b) Le pouvoir énergétique du glucose est donné par son énergie massique de combustion égale à $E_{\text{mass,glu}} = 16 \text{ kJ.g}^{-1}$. Quelle masse de glucose est ainsi dépensée par l'oiseau chaque seconde ?

c) En utilisant directement l'équation du 3)a) (ou un éventuel tableau d'avancement), déterminer le volume de CO_2 dégagé par le colibri pendant 30 secondes de vol stationnaire. On indique que la masse molaire du glucose vaut $M_{\text{glu}} = 180,2 \text{ g.mol}^{-1}$ et que le volume molaire dans les conditions du vol vaut $V_m = 22,4 \text{ L.mol}^{-1}$.

d) Le colibri, par son rejet de CO_2 , gaz à effet de serre, est-il une cause importante du réchauffement climatique ?



III Le vol d'un hélicoptère miniature (35 minutes, 5,5 points)

Depuis quelques années, les petits hélicoptères domestiques télécommandés sont devenus des objets courants chez les particuliers. Un tel hélicoptère peut voler grâce à des accumulateurs. Certains sont des accumulateurs utilisant les éléments chimiques Ni et Cd, pour les premières générations de ce jouet. Au sein d'un accumulateur a lieu une réaction d'oxydoréduction qui permet de générer un courant. Est alimenté ainsi un moteur qui fait tourner les pales de l'objet.



- 1) Rappeler la définition d'un élément chimique.
- 2) Etablir une chaîne énergétique correspondant à ce fonctionnement, le dernier maillon étant les pales de l'appareil.
- 3) Au sein de la batterie, les couples à prendre en compte sont les suivants : $\text{CdO}_2\text{H}_{2(s)} / \text{Cd}_{(s)}$ et $\text{NiO}_2\text{H}_{(s)} / \text{NiO}_2\text{H}_{2(s)}$

Les espèces baignent dans une solution aqueuse.

- a) Déterminer les $\frac{1}{2}$ équations électroniques relatives aux deux couples.
- b) C'est le $\text{Cd}_{(s)}$ qui réagit lors du fonctionnement de la batterie pour le couple faisant intervenir l'élément cadmium. Avec quelle espèce de l'autre couple va-t-il réagir ? Justifier.
- c) Montrer que l'équation de fonctionnement de la pile est la suivante :
$$\text{Cd}_{(s)} + 2 \text{NiO}_2\text{H}_{(s)} + 2 \text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{CdO}_2\text{H}_{2(s)} + 2 \text{NiO}_2\text{H}_{2(s)}$$
- d) Au niveau de quel élément chimique se trouve la cathode ? Justifier.
- e) Au niveau de quel élément chimique se trouve le pôle positif de cet accumulateur ? Justifier.
- f) Compléter le tableau d'avancement en annexe.
- g) Dans l'accumulateur, il y a initialement une masse de 2,0 g de cadmium $\text{Cd}_{(s)}$. Sachant que $\text{Cd}_{(s)}$ et $\text{NiO}_2\text{H}_{(s)}$ sont introduits en quantités stoechiométriques, déterminer la masse initiale de $\text{NiO}_2\text{H}_{(s)}$.

Données : masses molaires : $M(\text{Cd}) = 112,4 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$. $M(\text{NiO}_2\text{H}) = 91,7 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

4) La puissance électrique générée par un tel accumulateur peut être donnée par $P_{\text{générée}} = E \cdot I$ où E est la force électromotrice de l'accumulateur et I le courant qu'il débite.

- a) Rappeler la définition de la force électromotrice d'une pile.
- b) Sachant que 4 accumulateurs sont montés en série (les puissances générées s'ajoutent alors) et que chaque accumulateur a une fem de 1,2 V, sachant que le courant débité est de 280 mA, déterminer la puissance $P_{\text{tot, générée}}$ électrique générée par les accumulateurs de l'hélicoptère.
- c) Quelle durée mettra l'hélicoptère à atteindre 3,0 m d'altitude sachant qu'alors il doit gagner une énergie mécanique de 5,6 J (approximativement) et que le rendement énergétique entre l'énergie électrique consommée et l'énergie mécanique gagnée par l'appareil est évalué à 100% ?

IV Solar Impulse (45 minutes, 7,5 points)

Solar Impulse est un projet d'avion solaire entrepris à l'initiative des Suisses Bertrand Piccard et André Borschberg. Actuellement, le prototype HB-SIB effectue un voyage autour du monde en 12 escales, sans aucun carburant, l'avion ne fonctionne qu'à l'énergie solaire qu'il capte grâce à des cellules photovoltaïques (ou cellules solaires). On s'intéresse dans ce problème au prototype plus ancien HB-SIA.



Le but de cette partie est d'évaluer la masse d'hydrogène consommée dans le Soleil nécessaire pour faire voler le prototype HB-SIA de Solar impulse à sa vitesse moyenne de vol pendant $D = 8 \text{ h } 30 \text{ min}$.

Pour cela, on lira très attentivement les 3 documents présents en annexe (il faudra notamment trier les informations utiles de celles inutiles) et on répondra dans un premier temps aux deux questions préliminaires suivantes qui aideront à résoudre le problème posé :

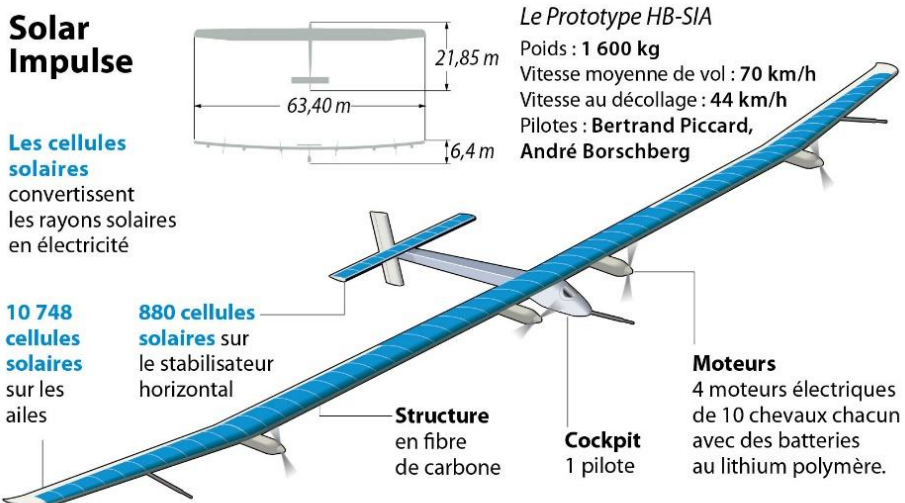
- 1) Evaluer (en J) l'énergie lumineuse libérée E_{lib1} par 4 noyaux d'hydrogène 1 lors de leur fusion en utilisant le document 3.
- 2) Evaluer (en J) l'énergie électrique nécessaire E_{elec1} à Solar Impulse pour voyager à sa vitesse moyenne de vol pendant une durée $D = 8 \text{ h}$.

Résoudre alors le problème posé. Et ne pas oublier de critiquer la démarche adoptée à la fin (approximations faites, idées d'amélioration pour les calculs etc.).

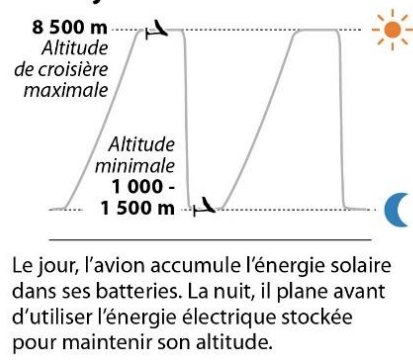
Partie III

| | | | | | | |
|--------------|------------|--|-------|-------|-------|-------|
| Équation | | $\text{Cd}_{(s)} + 2\text{NiO}_2\text{H}_{(s)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(l)} \rightarrow \text{CdO}_2\text{H}_{2(s)} + 2\text{NiO}_2\text{H}_{2(s)}$ | | | | |
| | Avancement | Quantités de matière (mol) | | | | |
| État initial | $x = 0$ | n_0 | n_1 | excès | n_2 | n_3 |
| État final | | | | excès | | |

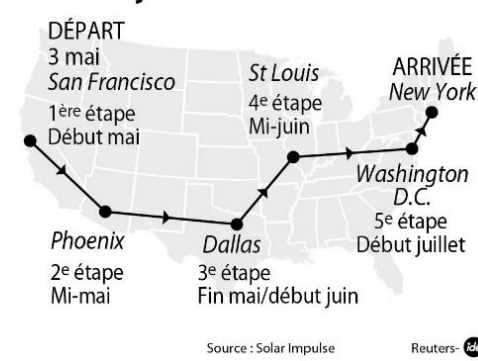
Document 1 : caractéristiques du prototype HB-SIA



Vol de jour et de nuit



Son trajet



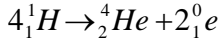
Document 2

- Les cellules photovoltaïques sont toutes éclairées en permanence pendant le vol, de façon uniforme, et contribuent à alimenter l'avion en continu.
- Le rendement des cellules photovoltaïques n'est que de 15% pour transformer l'énergie lumineuse qu'elles reçoivent du Soleil, en énergie électrique.
- Pour voler à une vitesse v pendant la durée Δt , l'énergie électrique que doit fournir chaque cellule photovoltaïque est égale à :

$E_{\text{elec, cellule}} = 7,22 \cdot 10^{-5} \cdot v^3 \cdot \Delta t$, avec $E_{\text{elec, cellule}}$ en J, v en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ et Δt en s.

Document 3

Au sein du Soleil a lieu une réaction de fusion qui libère de l'énergie sous forme d'énergie lumineuse. L'équation correspondante est la suivante :



Données supplémentaires (certaines peuvent ne pas être utiles)

$m(\text{}^{14}_7\text{N}) = 14,0031 \text{ u}$; $m(\text{}^4_2\text{He}) = 4,00150 \text{ u}$; $m(\text{}^1_0\text{n}) = 1,00866 \text{ u}$; $m(\text{}^1_1\text{H}) = 1,00728 \text{ u}$; $m(\text{e}) = 0,00054923 \text{ u}$;
 $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$; $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$; $1\text{u} = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$.