Métropole 09/2008EXERCICE I. PILES ET APPAREILS NOMADES (6,5 points)
Calculatrice interdite

L'utilisation d'appareils nomades (baladeurs, téléphones, ordinateurs portable...) a fait considérablement augmenter les besoins en sources d'énergie mobiles, notamment en piles électriques.
L'exercice étudie le principe d'une pile à hydrogène, puis un prototype de pile miniature et enfin le principe de l'horloge d'un appareil nomade alimenté par une pile.

Les parties 1, 2 et 3 de cet exercice sont indépendantes.

1. Principe d'une pile à hydrogène

La pile à hydrogène présente des avantages importants en termes d'environnement (rejets non polluants au cours de son utilisation et absence de nuisance sonore). Elle est constituée de deux électrodes à la surface desquelles ont lieu les réactions chimiques d'oxydoréduction et d'un électrolyte dans lequel se déplacent les ions (voir figure 1).

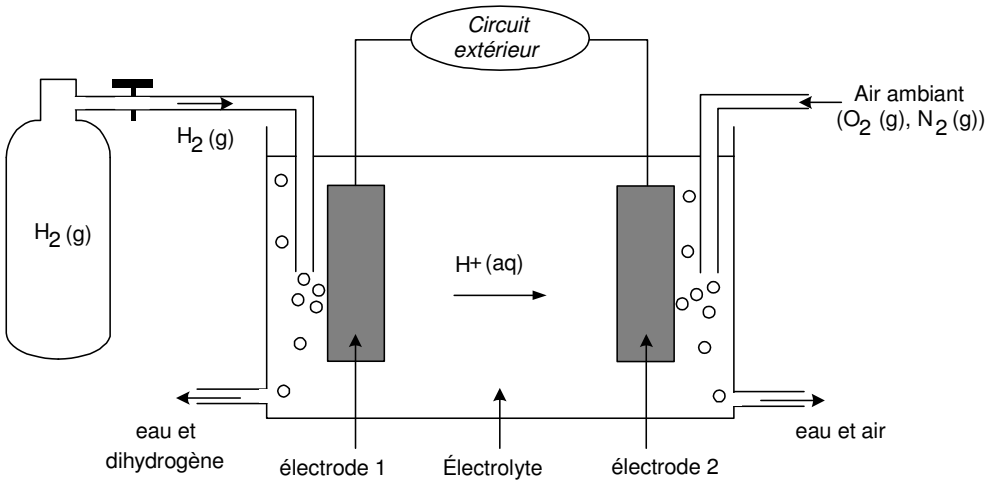


Figure 1

Au niveau de l'électrode 1, les molécules de dihydrogène H_2 , provenant d'un réservoir, sont oxydées en ions H^+, qui se déplacent dans la solution électrolytique.
Au niveau de l'électrode 2, des électrons, des ions hydrogène H^+ de l'électrolyte et des molécules de dioxygène O_2 , provenant de l'air ambiant, se combinent pour donner de l'eau.

Données :
couples oxydant/réducteur : H^+ (aq)/H_2 (g) et O_2 (g)/H_2O (ℓ)
Volume molaire d'un gaz V_m dans les conditions d'utilisation de cette pile : V_m = 24 L.mol^{-1}

1.1. Écrire la demi-équation électronique qui correspond à l'oxydation du dihydrogène.

1.2. Préciser le sens de circulation du courant électrique dans le circuit extérieur.

1.3. *Dans la suite de la partie 1, on écrira l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique qui a lieu au sein de la pile lors de son fonctionnement : $O_2(g) + 2\ H_2(g) = 2\ H_2O(\ell)$.*
Expliquer pourquoi le dihydrogène est le réactif limitant.

1.4. *On note $n_i(H_2)$ la quantité initiale de dihydrogène.*
En exploitant la demi-équation de la question 1.1, donner l'expression de la quantité d'électrons échangés $n(e^-)$ en fonction de $n_i(H_2)$.

1.5. *On note I l'intensité moyenne du courant électrique au cours du fonctionnement de la pile. On suppose que la pile s'arrête de fonctionner lorsque le réactif limitant est épuisé au bout d'une durée notée Δt.*
Déterminer l'expression littérale de la quantité de matière $n_i(H_2)$ du réactif limitant en fonction de l'intensité *I,* de la durée Δt, de la constante d'Avogadro N_A et de la charge élémentaire *e.*

1.6. Réservoir de stockage

Pour une durée de fonctionnement de 200 h et pour une intensité moyenne du courant électrique débité par la pile égale à 200 A, la quantité de matière du réactif limitant est $n_i(H_2) = 7{,}5 \times 10^2$ *mol.*

1.6.1. Calculer le volume $V(H_2)$ du réservoir de stockage nécessaire dans les conditions usuelles de température et de pression.

Aide au calcul		
$\frac{7,5}{2,4} \approx 3,1$	$\frac{2,4}{7,5} \approx 3,2 \times 10^{-1}$	$2,4 \times 7,5 \approx 1,8 \times 10^{1}$

1.6.2. Au regard de ce résultat, quel inconvénient peut présenter l'utilisation de la pile à hydrogène dans les conditions usuelles de pression et de température ?

2. Prototype de pile miniature

Des scientifiques de l'université Cornell (USA) ont conçu un prototype de pile miniature constituée de deux lamelles superposées, légèrement espacées : celle du dessous est initialement composée de nickel 63 (^{63}Ni*), un matériau radioactif qui émet des électrons ; celle du dessus est en cuivre. Lorsque des électrons qui s'échappent du nickel atteignent la lamelle de cuivre, elle se charge négativement. Attirée par la lamelle de dessous, dont la charge devient positive, elle se plie, se décharge par contact et revient à l'état initial. L'énergie mécanique de ce mouvement est transformée en énergie électrique à l'aide d'un système piézo-électrique qui génère de l'électricité quand il est déformé. Si le rendement électrique d'un tel dispositif est faible, son encombrement est particulièrement réduit (les scientifiques espèrent parvenir à construire une pile de 1* cm^3*) et sa durée de fonctionnement devrait dépasser plusieurs dizaines d'années.*

D'après un extrait de «Ordinateur individuel »

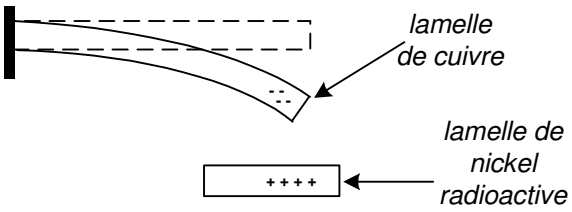


Figure 2

Extrait de la classification périodique :

$_{27}Co$	$_{28}Ni$	$_{29}Cu$

2.1. Quel est le type de transformation radioactive du nickel 63 évoqué dans le texte ?

2.2. Compléter l'équation de désintégration radioactive du nickel 63 ci-dessous en précisant la nature (symbole, nombre de nucléons et nombre de charges) du noyau formé.

$$^{63}_{28}Ni \rightarrow {}^{A}_{Z}X + {}^{0}_{-1}e^{-}$$

2.3. *On note N(t) le nombre de noyaux radioactifs de nickel présents dans la pile à l'instant t et* N_0 *le nombre de ces noyaux présents à un instant* $t_0 = 0$ *pris comme origine des dates.*
La constante radioactive du nickel 63 vaut $\lambda = 6{,}9 \times 10^{-3}\ an^{-1}$.

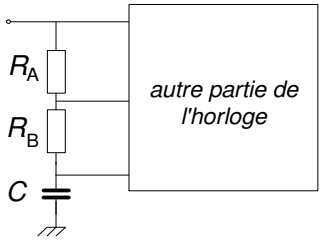
2.3.1. Rappeler la loi de décroissance radioactive $N(t)$ en fonction N_0 et λ.
2.3.2. Donner la définition du temps de demi-vie $t_{1/2}$ d'une source radioactive.
2.3.3. Montrer que $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$.
2.3.4. Calculer $t_{1/2}$.

Aide au calcul : $\ln 2 \approx 6,9 \times 10^{-1}$

2.3.5. Ce résultat est-il en accord avec la durée de fonctionnement de la pile indiquée dans le document ?

3. Principe de l'horloge d'un appareil nomade

Tous les appareils nomades ont besoin d'une horloge (alimentée par une pile). Dans ce paragraphe on va étudier l'évolution temporelle d'un circuit (R,C) qui fait partie de l'horloge.



Dans un premier temps le condensateur, initialement déchargé, de capacité C est chargé à travers les conducteurs ohmiques de résistances R_A et R_B. On note E la tension aux bornes du générateur. Lors de cette étape, on considère que les conducteurs ohmiques et le condensateur de capacité C = 22 µF sont branchés en série. Le circuit équivaut alors à celui qui est schématisé figure 3 avec $R = R_A + R_B = 66\ k\Omega$.

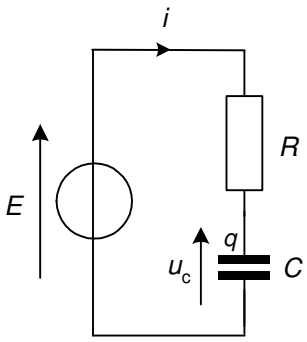


Figure 3

3.1. Donner la relation qui lie l'intensité instantanée *i(t)* du courant électrique qui circule dans le dipôle (R,C) à la charge instantanée *q(t)* de l'armature du condensateur notée sur la figure 3, puis à la tension $u_C(t)$.

3.2. Déterminer, en justifiant la réponse, l'équation différentielle qui régit l'évolution de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur au cours de sa charge.

3.3. *Dès que la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur atteint une valeur de référence $U_{max} = \frac{2}{3}E$, le reste de l'horloge change d'état électrique et fait décharger le condensateur à travers le seul conducteur ohmique de résistance $R_B = 33\ k\Omega$. Le circuit équivaut alors à celui qui est représenté figure 4.*

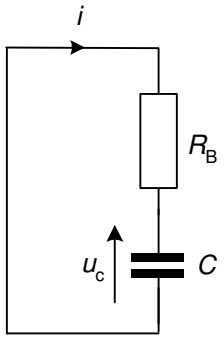


Figure 4

Déterminer, en justifiant la réponse, l'équation différentielle qui régit l'évolution de la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur au cours de sa décharge dans le conducteur ohmique de résistance R_B.

3.4. *Dès que la tension $u_C(t)$ aux bornes du condensateur atteint une autre valeur de référence $U_{min} = \frac{1}{3}E$, le reste de l'horloge change d'état et impose un nouveau cycle de charge du condensateur puis de décharge, etc. La durée de charge du condensateur, entre U_{min} et U_{max}, est notée T_1 et celle de la décharge, jusqu'à U_{min}, notée T_2.*
Sachant que les durées de charge et de décharge sont proportionnelles aux constantes de temps du circuit, expliquer, sans calcul, pourquoi la valeur de T_1 est supérieure à celle de T_2.

3.5. Compléter, sur **LA FIGURE 5 DE L'ANNEXE**, l'allure générale de l'évolution au cours du temps de la tension $u_C(t)$ lors des différentes phases de charge et de décharge.

ANNEXE À RENDRE AGRAFÉE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE I

Question 3.5.

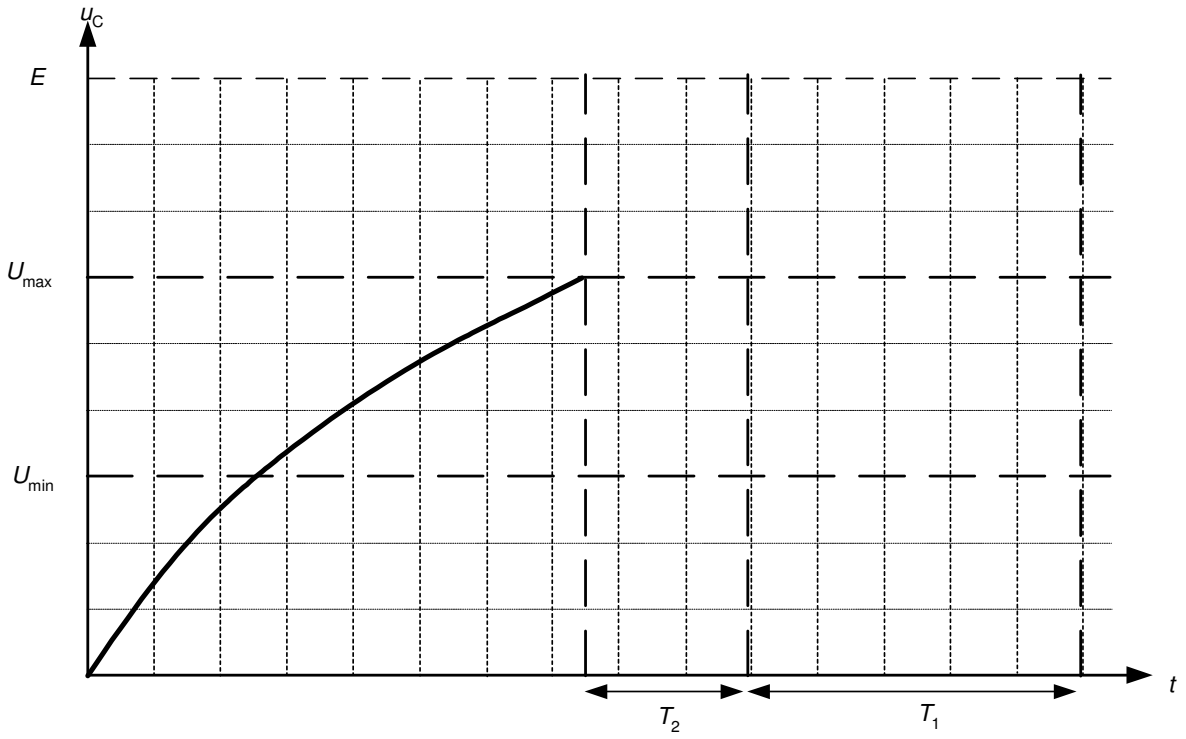


Figure 5