

EXERCICE 4 (6 points)

(Physique-chimie)

Piles électrochimiques et alimentation d'une voiture télécommandée

Une pile Daniell est un dispositif électrochimique réalisant la conversion d'énergie chimique en énergie électrique par le biais d'une réaction d'oxydoréduction. Le principe de fonctionnement de cette pile a été démontré par Edmond Becquerel et a été perfectionné par le chimiste britannique John Daniell en 1836, au moment où le développement du télégraphe faisait apparaître un besoin urgent de sources de tension sûres et constantes.

La pile Daniell vient corriger certains défauts de la pile Volta : elle est simple de construction, commode d'usage et de tension stable durant son utilisation, si bien qu'elle servit pendant longtemps de pile étalon en laboratoire.

On appelle pile alcaline un type de pile électrique dont l'électrolyte est alcalin, c'est-à-dire basique. L'un des modèles les plus courants est la pile alcaline zinc-dioxyde de manganèse (Zn-MnO_2) que l'on utilise pour alimenter des jouets par exemple (*Source Wikipédia*).

L'objectif de cet exercice est d'étudier une pile Daniell réalisée au laboratoire puis d'étudier les performances d'une voiture télécommandée, alimentée à l'aide de piles alcalines.

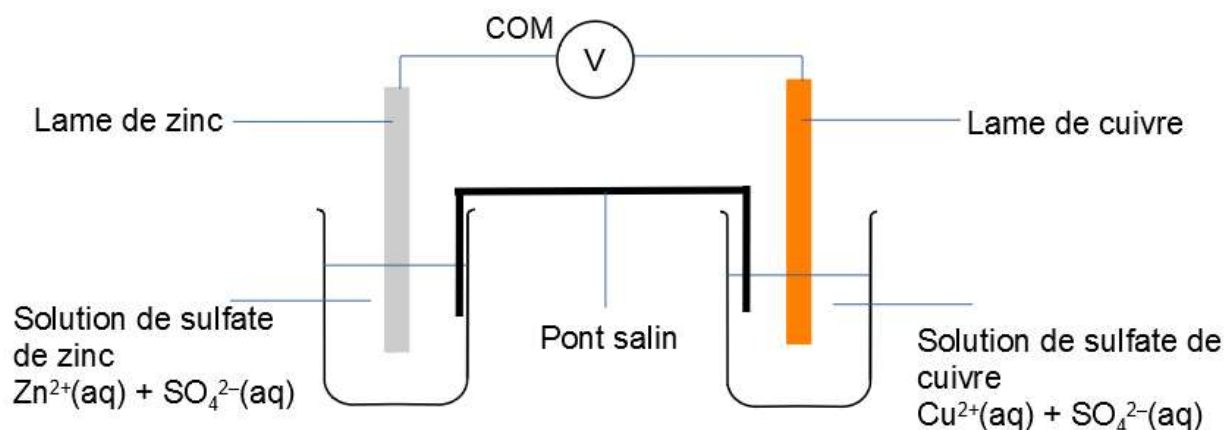
Données :

- masses molaires atomiques : $M(\text{Cu}) = 63,5 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{Zn}) = 65,4 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$;
- charge élémentaire : $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;
- couples oxydant/réducteur de la pile Daniell : $\text{Zn}^{2+}(\text{aq})/\text{Zn}(\text{s})$ et $\text{Cu}^{2+}(\text{aq})/\text{Cu}(\text{s})$;
- couples oxydant/réducteur de la pile alcaline : $\text{ZnO}(\text{s})/\text{Zn}(\text{s})$ et $\text{MnO}_2(\text{s})/\text{MnO}(\text{OH})(\text{s})$;
- capacité d'une pile alcaline : de 2 000 mAh à 3 000 mAh, soit respectivement de 7 200 C à 10 800 C ;
- masse de la voiture radiocommandée : $m = 741 \text{ g}$.

Étude d'une pile Daniell

Une pile Daniell est constituée d'une lame de zinc plongée dans une solution contenant un volume $V_0 = 20 \text{ mL}$ d'une solution de sulfate de zinc ($\text{Zn}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$) de concentration $C_0 = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ et d'une lame de cuivre plongée dans une solution contenant un volume $V_0 = 20 \text{ mL}$ de solution de sulfate de cuivre ($\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$) de concentration $C_0 = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Les deux solutions sont reliées par un pont salin contenant une solution de nitrate d'ammonium ($\text{NH}_4^+(\text{aq}) + \text{NO}_3^-(\text{aq})$).

Un voltmètre est branché aux bornes de la pile (schéma ci-après) pour mesurer la valeur de la tension à vide U_0 lorsque la pile ne débite pas de courant électrique. Le voltmètre mesure une tension à vide positive : $U_0 = + 1,102 \text{ V}$.



1. Préciser, en justifiant la réponse, la polarité de chaque électrode.

Par la suite, on remplace le voltmètre par un ampèremètre en série avec une résistance électrique.

2. Écrire les équations de demi-réaction électroniques se produisant à l'anode et à la cathode. En déduire la réaction d'oxydoréduction modélisant la transformation chimique au sein de la pile.

3. Donner le sens de déplacement des ions ammonium $\text{NH}_4^+(\text{aq})$ et des ions nitrate $\text{NO}_3^-(\text{aq})$ dans le pont salin.

La masse de la lame de cuivre est $m(\text{Cu}) = 62,8 \text{ g}$ et celle de la lame de zinc est $m(\text{Zn}) = 50,2 \text{ g}$.

4. Déterminer le réactif limitant de la réaction.

5. En déduire la capacité Q_D de la pile Daniell. Commenter la valeur obtenue.

Étude d'une pile alcaline Power+

Les piles alcalines sont fabriquées sous forme de cylindres et de boutons. Une pile cylindrique est contenue dans un tube d'acier, qui sert de collecteur du courant de la cathode. Le trou central de la cathode est revêtu d'un séparateur qui empêche le mélange des produits de l'anode et de la cathode et le court-circuit de l'élément de pile. Il faut que le séparateur puisse laisser passer les ions et rester stable dans une solution électrolytique fortement basique. Pour éviter la polarisation de la pile en fin de vie, on utilise plus de dioxyde de manganèse qu'il n'est nécessaire pour réagir avec la totalité du zinc.

D'après https://fr.wikipedia.org/wiki/Pile_alcaline

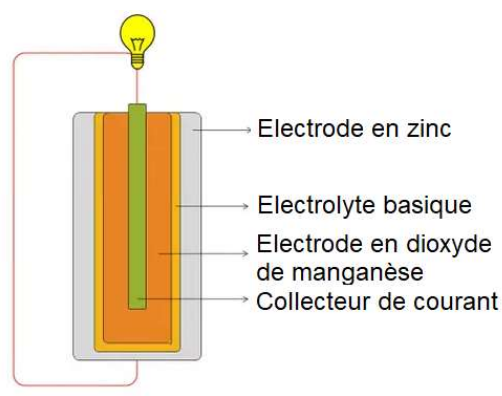
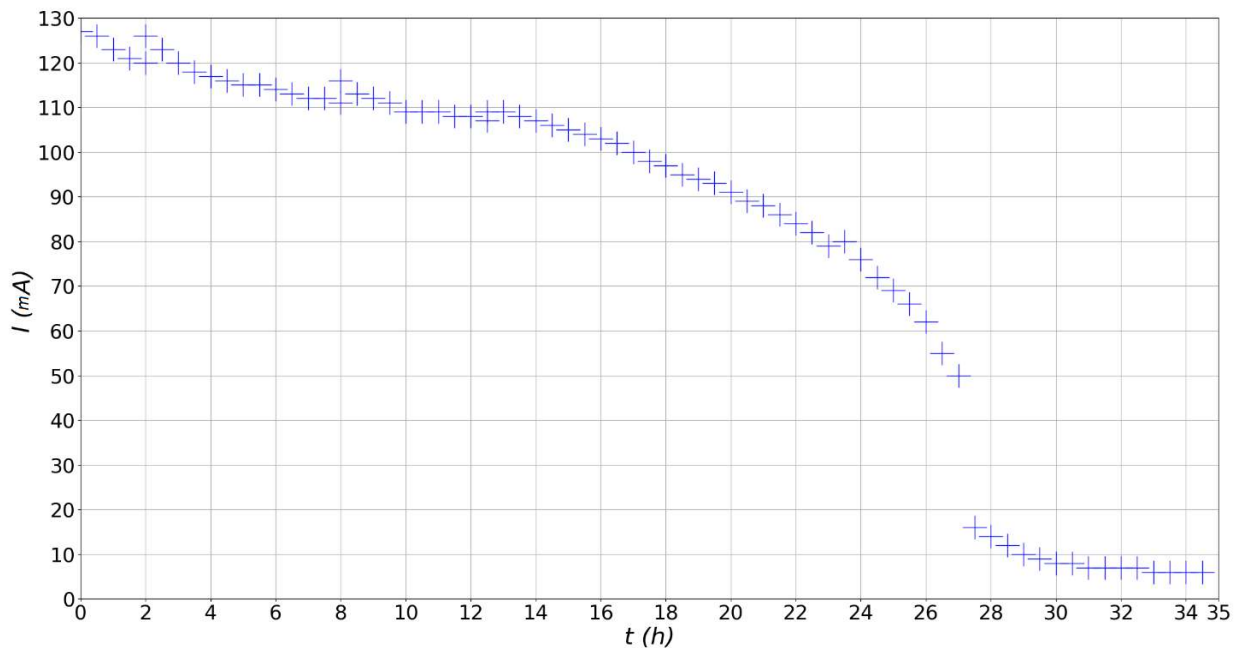


Schéma simplifié d'une pile alcaline
Source : d'après <https://www.corepile.fr>

6. Identifier en justifiant la réponse, le réactif limitant de la pile alcaline.

7. Identifier l'oxydant et le réducteur dans ce type de pile.

Une pile alcaline AA du commerce de type Power+ est reliée à une résistance de $10\ \Omega$. L'intensité est mesurée à l'aide d'un ampèremètre. La courbe de l'évolution de l'intensité I débitée au cours du temps est donnée ci-dessous.



8. On considère qu'une chute brutale de l'intensité correspond à une pile déchargée. Dédire des mesures effectuées la valeur de la durée de fonctionnement de la pile dans ces conditions d'utilisation.

9. En s'appuyant sur le graphique, proposer une valeur de l'intensité moyenne délivrée par la pile Power+, puis estimer la valeur de sa capacité, notée Q_{P+} . Commenter le résultat.

Alimentation d'une voiture radiocommandée et étude des performances

Une voiture télécommandée, de type voiture de cascade tout terrain, est alimentée par un bloc de 6 piles alcalines AA Power+ étudiées précédemment.

La tension à vide mesurée aux bornes du bloc d'alimentation vaut $U_0 = 9,23$ V. La valeur de l'intensité du courant fourni par le bloc d'alimentation lorsque la voiture est en fonctionnement est $I = 600$ mA.

Pour la suite de l'exercice, on prendra comme valeur pour la capacité du bloc d'alimentation : $Q_B = 10\ 000$ C. Les piles étant branchées en série, la capacité du bloc correspond à la capacité d'une seule pile.

10. Déterminer la valeur de la durée d'utilisation maximale attendue de la voiture télécommandée. Commenter le résultat.

Les performances de la voiture sont testées sur une route horizontale et rectiligne. La voiture est initialement arrêtée et parcourt une distance $d = 9,0$ m au bout d'une durée $\Delta t = 12$ s.

On suppose que l'énergie électrique provenant des piles est intégralement convertie en énergie cinétique pour faire avancer la voiture.

11. Exprimer l'énergie électrique transférée par les piles au cours du test de performance en fonction de Δt , I , et U_0 . En déduire la valeur de la vitesse de la voiture en exploitant ce transfert d'énergie et commenter la valeur obtenue.