

EXERCICE II - Pile « zinc-air » (5 points)

Les piles dites « zinc-air » sont utilisées pour alimenter de petits appareils électroniques tels que les appareils auditifs.

Le but de cet exercice est de décrire le fonctionnement d'une pile « zinc-air », puis d'étudier deux applications de ce dispositif.



Une pile « zinc-air » fonctionne en consommant du zinc à l'état solide et du dioxygène contenu dans l'air. Elle est constituée de deux demi-piles et d'un électrolyte basique composé d'une solution gélifiée d'hydroxyde de potassium ($K^+(aq)$, $HO^-(aq)$) assurant le contact électrique entre les deux demi-piles. Un schéma de la pile débitant dans une résistance, notée R , et les réactions électrochimiques aux électrodes sont représentés sur la figure 1.

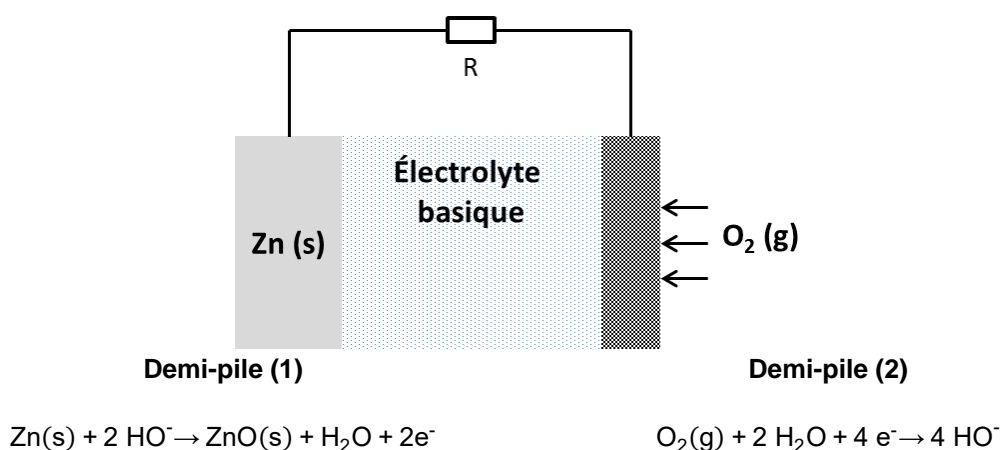


Figure 1. Schématisation du fonctionnement d'une pile « zinc-air ».

1. Écrire l'équation de la réaction d'oxydoréduction modélisant la transformation chimique qui se produit lorsque la pile fonctionne.
2. Identifier l'oxydant et le réducteur dans la réaction d'oxydoréduction modélisant le fonctionnement de la pile. Justifier.
3. Indiquer, en justifiant, les signes des pôles de la pile, les porteurs de charges et leur sens de déplacement dans les fils électriques et au sein de la pile lorsque la pile fonctionne.

Les piles « zinc-air » de type p675 sont utilisées pour alimenter des appareils auditifs. On cherche à déterminer leur autonomie. Pour cela on réalise une expérience de décharge d'une pile « zinc-air » du commerce dans un circuit comportant une résistance $R = 15 \Omega$. On enregistre la valeur de la tension U aux bornes de cette résistance en fonction du temps (figure 2).

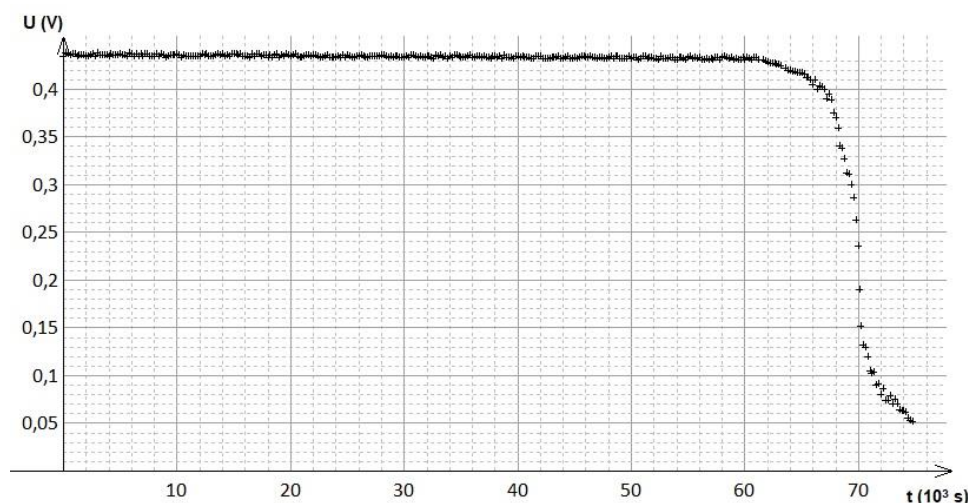


Figure 2. Évolution temporelle de la tension aux bornes de la pile ou de la résistance $R = 15 \Omega$.

4. Identifier, parmi les 3 propositions ci-dessous, celle qui donne une définition correcte de la capacité électrique d'une pile, puis vérifier la validité de la valeur indiquée grâce à une estimation effectuée à partir des résultats expérimentaux.

Proposition 1	La capacité électrique d'une pile correspond à la charge électrique totale qu'elle peut fournir lors de sa décharge. Dans le cas de la pile « zinc-air » étudiée expérimentalement on peut estimer sa valeur à $Q = 2,0 \times 10^3 \text{ C}$.
Proposition 2	La capacité électrique d'une pile correspond à la tension qu'elle peut fournir pendant la décharge. Dans le cas de la pile « zinc-air » étudiée expérimentalement on peut estimer sa valeur à $U = 0,43 \text{ V}$.
Proposition 3	La capacité électrique d'une pile correspond à l'énergie électrique qu'elle peut fournir au cours de sa décharge. Dans le cas de la pile « zinc-air » étudiée expérimentalement on peut estimer sa valeur à $W_{\text{él}} = 8,6 \times 10^2 \text{ J}$.

5. En déduire une estimation de l'autonomie (durée de fonctionnement) d'une prothèse auditive alimentée par une telle pile, sachant que le courant circulant dans l'appareil a une intensité de 8 mA. Commenter.

La pile « zinc-air » peut aussi être utilisée comme capteur de dioxygène. On propose dans la suite d'étudier ce capteur et de déterminer grâce à lui le pourcentage de dioxygène dans l'air expiré par un être humain.

Dans une étude publiée en 2009 dans *Chemical Education Journal*, Yuu TANAKA et Nobuyoshi KOGA ont déterminé expérimentalement l'évolution de la valeur de l'intensité I du courant traversant une résistance de 10Ω alimentée par une pile « zinc - air », en fonction du pourcentage de dioxygène dans l'air noté x_{O_2} . Leurs résultats expérimentaux sont présentés sur la figure 3.

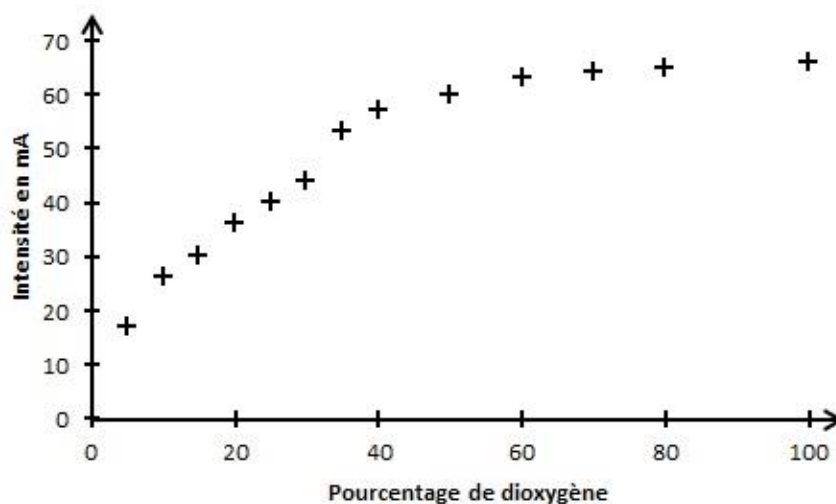


Figure 3. Évolution de l'intensité du courant circulant dans une résistance de 10Ω alimentée par une pile « zinc-air » en fonction de la composition en dioxygène du gaz alimentant la pile.

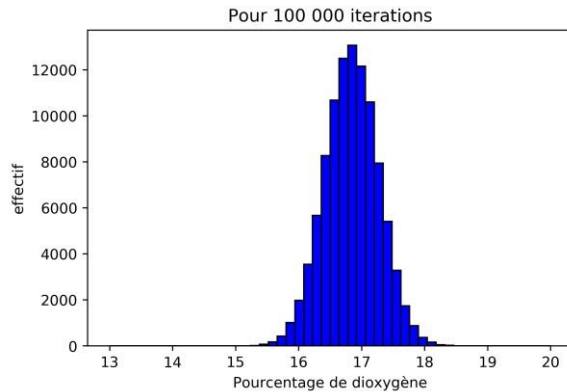
6. En analysant le nuage de points expérimentaux, préciser le domaine dans lequel cette pile peut être utilisée comme capteur de dioxygène et justifier son utilisation possible pour la mesure du pourcentage de dioxygène expiré par un être humain.

Dans un domaine d'utilisation, la réponse de ce capteur peut être modélisée mathématiquement par une relation affine $I = a \times x_{\text{O}_2} + b$ avec :

- $a = 1,09 \text{ mA}$ et l'incertitude-type associée $u(a) = 0,03 \text{ mA}$;
- $b = 13,2 \text{ mA}$ et l'incertitude-type associée $u(b) = 0,9 \text{ mA}$.

Une mesure réalisée avec ce capteur sur de l'air expiré conduit à une intensité de courant de valeur $I_{exp} = 31,7$ mA et d'incertitude-type associée : $u(I_{exp}) = 0,2$ mA.

À partir des résultats précédents, on détermine le pourcentage de dioxygène dans l'air expiré et l'incertitude-type associée à l'aide d'une simulation prenant en compte les incertitudes sur les coefficients a et b de la loi affine modèle et l'incertitude sur la valeur I_{exp} mesurée. Un traitement statistique des résultats (figure 4) donne la valeur moyenne de x_{O_2} et l'incertitude-type associée.



- I_{exp} mesurée pour le gaz étudié : 31,7 mA
- Pourcentage de dioxygène : 16,8403926039
- Incertitude-type associée au pourcentage de dioxygène : 0,423577403996

Figure 4. Simulation afin de calculer l'incertitude-type associée à la mesure du pourcentage de dioxygène dans l'air expiré.

7. Écrire, avec un nombre adapté de chiffres significatifs, le résultat de la mesure du pourcentage de dioxygène dans l'air expiré, réalisée avec le capteur de Tanaka et Koga. Commenter.
8. L'air expiré a également été analysé avec un autre capteur commercial et le pourcentage de dioxygène mesuré est de 16,2 %. Cette valeur sert de valeur de référence pour l'étude du capteur expérimental de Tanaka et Koga.
9. Comparer le résultat de la mesure réalisée grâce au capteur de Tanaka et Koga, avec la valeur de référence afin de conclure à la compatibilité ou à la non-compatibilité entre ces deux valeurs.