

TERMINALE SPÉCIALITÉ · PHYSIQUE-CHIMIE · CONSTITUTION ET TRANSFORMATIONS DE LA MATIÈRE · CHAPITRE 8



R. RINGUET · 2026 – 2027

Sujet type bac Piles

Deux exercices indépendants : la pile au lithium d'un stimulateur cardiaque, la pile de secours d'une balise de détresse

Durée : 1 h 30 · calculatrice autorisée · 2 exercices indépendants · barème sur 20

Nom : Prénom : Classe : Note : /20

★ CONSIGNES

Les deux exercices sont indépendants et peuvent être traités dans l'ordre choisi par le candidat. La qualité de la rédaction, la rigueur scientifique et le respect des unités et des chiffres significatifs entrent pour une part importante dans l'appréciation des copies ; toute expression littérale est établie avant l'application numérique et toute démarche, même partielle, est valorisée. Formulaire : $Q = I \Delta t = n(e^-) F$ • incertitude

composée : si $y = \frac{a}{b}$, alors $\frac{u(y)}{y} = \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(b)}{b}\right)^2}$ • écart normalisé $z = \frac{|x_{\text{mes}} - x_{\text{réf}}|}{u(x)}$, compatibilité admise si $z < 2$.

Exercice 1 La pile d'un stimulateur cardiaque

12 pts ●●●

Un stimulateur cardiaque (*pacemaker*) délivre au muscle cardiaque de brèves impulsions électriques. Implanté sous la peau, il ne peut être remplacé que par une intervention chirurgicale : l'autonomie de sa pile est donc un paramètre vital. Cet exercice étudie la pile lithium-iode qui l'équipe, sa durée de vie, puis la fiabilité de la prévision de cette durée.

■ **DONNÉES** $F = 96\,500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ • $1 \text{ A} \cdot \text{h} = 3\,600 \text{ C}$ • $1 \text{ an} = 3,15 \times 10^7 \text{ s}$ • M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$: Li 6,94 ; I 126,9

■ DOCUMENT 1 — La pile lithium-iode

Une pile lithium-iode associe une électrode de lithium métallique et une électrode constituée de diiode dispersé dans un polymère conducteur. Dès leur mise en contact, il se forme entre les deux une mince couche d'iodure de lithium LiI solide, qui joue le rôle d'électrolyte : elle laisse migrer les ions Li^+ mais interdit tout passage direct d'électrons.

Les couples mis en jeu sont $\text{Li}^+/\text{Li(s)}$ et $\text{I}_2(\text{s})/\text{I}^-$. Aucun gaz n'est produit, la pile peut donc être scellée hermétiquement, ce qui est indispensable pour un dispositif implanté.

La tension à vide d'une pile neuve vaut 2,80 V. Le stimulateur cesse d'être fiable lorsque la tension descend au-dessous de 2,40 V : le cardiologue programme alors le remplacement.

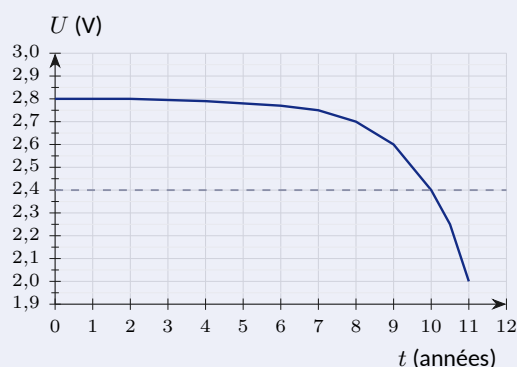


Figure 1 — Tension de la pile au cours du temps

■ DOCUMENT 2 — Caractéristiques du modèle étudié et suivi de la capacité

Capacité annoncée par le fabricant : $Q = 2,00 \text{ A}\cdot\text{h}$, avec une incertitude-type de $0,05 \text{ A}\cdot\text{h}$ • masse de lithium contenue dans la pile : $0,60 \text{ g}$ • courant moyen consommé par le stimulateur : $I = 20 \mu\text{A}$, avec une incertitude-type de $1 \mu\text{A}$ • durée de vie annoncée par le fabricant : 10 an .

Le programme ci-dessous estime le nombre d'années de fonctionnement de la pile.

```

1  Q = 2.00 * 3600      # capacite, en C
2  I = 20e-6            # courant moyen, en A
3  an = 3.15e7          # une annee, en s
4  t = 0
5  while Q > 0:
6      Q = Q - I * an
7      t = t + 1
8  print(t)

```

Partie A — La pile et son équation de fonctionnement

- 1.1 Écrire les demi-équations électroniques des deux couples mis en jeu.
- 1.2 Le lithium constitue le pôle — de la pile. Écrire les réactions qui se produisent à chaque électrode en précisant laquelle est l'anode, puis établir l'équation de fonctionnement de la pile.
- 1.3 Expliquer, à l'aide du document 1, pourquoi la couche d'iode de lithium est indispensable au fonctionnement de la pile, et pourquoi la pile cesserait immédiatement de débiter si cette couche laissait passer les électrons.
- 1.4 Citer deux raisons, données dans le document 1, qui justifient le choix de ce couple pour un dispositif implanté.

Partie B — Capacité et durée de vie

- 1.5 Calculer la quantité de matière de lithium contenue dans la pile, puis la capacité *théorique* de la pile en C et en $\text{A}\cdot\text{h}$. Comparer à la capacité annoncée par le fabricant et proposer une explication de l'écart.
- 1.6 En utilisant la capacité annoncée, calculer la quantité de matière d'électrons échangés jusqu'à l'usure complète, puis la masse de lithium et la masse de diode réellement consommées.
- 1.7 Montrer que la durée de fonctionnement prévisible de la pile vaut $\Delta t = \frac{Q}{I}$ et la calculer, en secondes puis en années.
- 1.8 Le programme du document 2 affiche un nombre entier. Calculer la quantité d'électricité consommée en une année, prévoir la valeur affichée et expliquer pourquoi elle diffère du résultat de la question 1.7.
- 1.9 Indiquer les lignes à modifier ou à ajouter pour que le programme affiche, chaque année, la capacité restante exprimée en pourcentage de la capacité initiale.
- 1.10 Déterminer graphiquement, sur la figure 1, la date à laquelle le cardiologue programme le remplacement du stimulateur. Comparer à la durée calculée à la question 1.7 et commenter.

Partie C — Fiabilité de la prévision

- 1.11 Calculer l'incertitude-type relative sur la durée de fonctionnement Δt , puis $u(\Delta t)$ en années, et écrire correctement le résultat.
- 1.12 Calculer l'écart normalisé entre la durée calculée et la durée de vie annoncée par le fabricant. Les deux valeurs sont-elles compatibles ?
- 1.13 Le courant consommé par un stimulateur dépend en réalité du patient : il augmente lorsque le cœur est stimulé plus souvent. Indiquer dans quel sens cela modifie la durée de vie et proposer, à partir de l'ensemble de l'exercice, deux raisons pour lesquelles le fabricant annonce une durée de vie inférieure à celle que l'on calcule.

Exercice 2 La pile de secours d'une balise de détresse

8 pts ●●●

Les balises de détresse des navires et des canots de sauvetage sont alimentées par des piles « activées à l'eau de mer » : tant qu'elles restent sèches, elles ne débitent aucun courant et peuvent être stockées plusieurs années ; dès qu'elles sont immergées, l'eau de mer joue le rôle d'électrolyte et la pile se met à fonctionner.

■ **DONNÉES** $F = 96\,500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ • $1 \text{ A} \cdot \text{h} = 3\,600 \text{ C}$ • M en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$: Mg 24,3 ; Ag 107,9

■ DOCUMENT 3 — La pile magnésium-chlorure d'argent

Une cellule est constituée d'une plaque de magnésium et d'une plaque de chlorure d'argent AgCl solide, séparées par un espace que l'eau de mer envahit lors de l'immersion. Les couples mis en jeu sont $\text{Mg}^{2+}/\text{Mg(s)}$ et $\text{AgCl(s)}/\text{Ag(s)}$, la demi-équation de ce second couple s'écrivant $\text{AgCl(s)} + \text{e}^- \longrightarrow \text{Ag(s)} + \text{Cl}^-(\text{aq})$.

La plaque de magnésium constitue le pôle — de la cellule.

Caractéristiques. Masse de chlorure d'argent par cellule : 30,0 g • masse de magnésium par cellule : 5,0 g • tension à vide d'une cellule : 1,6 V • la balise comporte quatre cellules identiques associées en série et consomme un courant constant $I = 1,5 \text{ A}$ • la réglementation impose une émission continue pendant au moins 3,0 h • $M(\text{AgCl}) = 143,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

■ DOCUMENT 4 — Essai de décharge de la balise en bassin

Une balise complète est immergée dans un bassin d'eau de mer artificielle à 15°C et débite un courant constant 1,5 A ; la tension à ses bornes est enregistrée jusqu'à l'arrêt de l'émission (figure 2).

Le circuit d'émission de la balise cesse de fonctionner lorsque la tension d'alimentation descend au-dessous de 4,0 V.

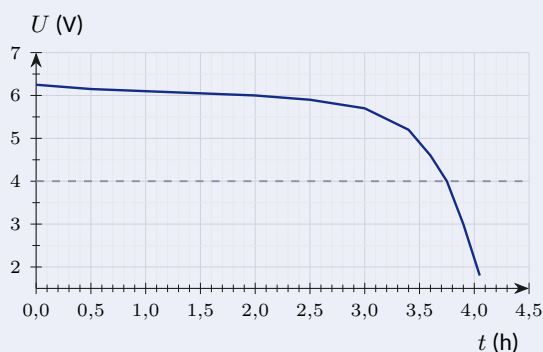


Figure 2 — Décharge de la balise sous 1,5 A

- 2.1 Écrire la réaction qui se produit à chaque électrode en précisant l'anode et la cathode, puis établir l'équation de fonctionnement d'une cellule.
- 2.2 Expliquer le rôle de l'eau de mer et pourquoi une telle pile peut être stockée plusieurs années sans perdre sa capacité, contrairement à une pile alcaline ordinaire.
- 2.3 Déterminer, par un calcul de quantité de matière d'électrons, le réactif limitant d'une cellule.
- 2.4 En déduire la capacité d'une cellule, en C puis en A·h, ainsi que la durée de fonctionnement de la balise sous 1,5 A. La réglementation est-elle respectée ?
- 2.5 Relever sur la figure 2 la durée réelle d'émission de la balise et la comparer à la valeur calculée à la question 2.4. Décrire l'allure de la courbe et expliquer l'effondrement final de la tension.
- 2.6 Calculer la masse de magnésium effectivement consommée et vérifier que la plaque de magnésium est bien en excès. Pourquoi le constructeur ne cherche-t-il pas à ajuster exactement les deux masses ?
- 2.7 Calculer la tension à vide de la balise, puis relever sur la figure 2 la tension en cours de fonctionnement et en déduire la puissance électrique fournie. Justifier l'écart entre ces deux tensions.
- 2.8 Calculer la masse d'argent métallique présente dans une cellule usée. Sachant que l'argent vaut environ $0,80 \text{ €} \cdot \text{g}^{-1}$, commenter l'intérêt de collecter ces piles après usage.
- 2.9 Une pile alcaline de $2,0 \text{ A} \cdot \text{h}$ sous 1,5 V coûte 0,80 € et se décharge d'elle-même de quelques pour cent par an. Discuter, en quelques lignes, du choix de la pile magnésium-chlorure d'argent pour cette application malgré son coût élevé.