Une batterie comestible

Bac 2024 Amérique du Nord Jour 2 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q.1 Écrire l'équation de la réaction électrochimique modélisant la transformation de la riboflavine lors du fonctionnement de la pile.

Données utiles couple $C_{17}H_{18}N_4O_6\,(s)$ / $C_{17}H_{20}N_4O_6\,(s)$; riboflavine : $C_{17}H_{20}N_4O_6$

La riboflavine $C_{17}H_{20}N_4O_6$ est le réducteur de son couple : elle ne peut que se transformer en son oxydant conjugué.

$$C_{17}H_{20}N_4O_6\,(s) = C_{17}H_{18}N_4O_6\,(s) + 2\,H^+\,(aq) + 2\,e^-$$

PIÈGE
Écrire la demi-équation dans le sens « oxydant → réducteur » par habitude. L'oxydant $C_{17}H_{18}N_4O_6$ n'est pas présent au départ dans la pile.

MÉTHODE
Repérer d'abord l'espèce réellement déposée sur l'électrode grâce à sa formule brute : elle est du côté des réactifs. Équilibrer ensuite H avec H^+, puis les charges avec les électrons.

Q.2 En déduire si la riboflavine subit une oxydation ou une réduction. Justifier.

D'après l'équation de la Q.1, la riboflavine cède deux électrons.

Une perte d'électrons est une **oxydation** : la riboflavine est oxydée.

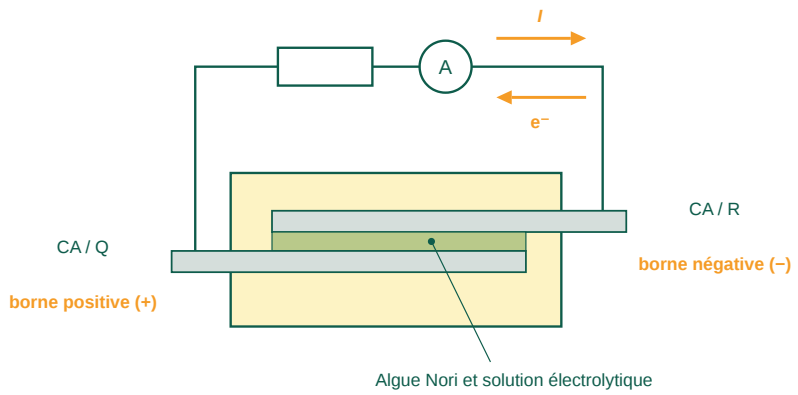
Q.3 Compléter le schéma de la pile en annexe : borne positive, borne négative, sens du courant et sens des électrons dans le circuit.

À l'électrode CA / R, l'oxydation de la riboflavine libère des électrons qui partent dans le circuit : CA / R est la borne négative.

L'électrode CA / Q reçoit ces électrons (réduction de la quercétine) : c'est la borne positive.

Les électrons circulent de CA / R vers CA / Q dans le circuit ; le courant, de sens opposé, va de CA / Q (borne $+$) vers CA / R (borne $-$).

COMPRENDRE
Hors de la pile, le courant sort par la borne positive et rentre par la borne négative. Les électrons, de charge négative, se déplacent en sens inverse du sens conventionnel du courant.



Q.3 · Annexe complétée

Q.4 Indiquer le rôle joué par le film d'algue Nori immergé dans la solution électrolytique d'hydrogénosulfate de sodium.

Le film d'algue sépare les deux électrodes : il empêche leur contact direct, donc tout échange d'électrons ailleurs que par le circuit extérieur.

Imbibé de solution ionique, il laisse migrer les ions d'une électrode à l'autre.

Le film d'algue joue le rôle d'un **pont salin** : il ferme le circuit électrique et assure l'électroneutralité au voisinage de chaque électrode.

COMPRENDRE
Dans les fils, le courant est porté par les électrons ; dans la pile, par les ions Na^+, HSO_4^- et H^+. Sans cette jonction ionique, la pile ne débite pas.

Q.5 Déterminer la charge électrique Q délivrée par la pile pendant les 12 min de fonctionnement.

Données utiles $I = 48\ \mu A$; $\Delta t = 12\ min$

L'intensité est constante : $Q = I \times \Delta t$, avec I en ampère et Δt en seconde.

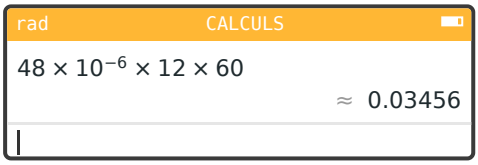
$$Q = 48 \times 10^{-6} \times (12 \times 60) = 3{,}5 \times 10^{-2}\ C$$

$Q = 3{,}5 \times 10^{-2}\ C$

PIÈGE
Laisser I en microampère ou Δt en minute. Le coulomb est un ampère-seconde : $1\ C = 1\ A \cdot s$.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme I et Δt. Pour les calculs suivants, on garde la valeur non arrondie $3{,}456 \times 10^{-2}$ C en mémoire.

À LA CALCULATRICE



Q.6 En déduire que la quantité de matière d'électrons n_e consommée par l'électrode recouverte de quercétine pendant Δt vaut $n_e = 3{,}6 \times 10^{-7}$ mol.

Données utiles $Q = 3{,}456 \times 10^{-2}\ C$ (Q.5) ; $F = 96\,500\ C \cdot mol^{-1}$

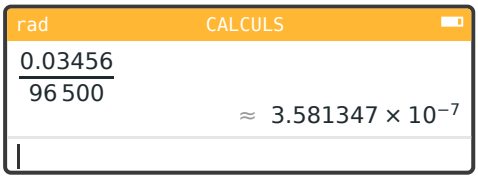
Une mole d'électrons porte, en valeur absolue, la charge F : $Q = n_e \times F$, donc $n_e = \dfrac{Q}{F}$.

$$n_e = \frac{3{,}456 \times 10^{-2}}{96\,500} = 3{,}58 \times 10^{-7}\ mol$$

$n_e = 3{,}6 \times 10^{-7}$ mol, ce qui est bien la valeur attendue.

COMPRENDRE
$F = N_A \times e$: on obtient le même résultat avec $n_e = \dfrac{Q}{N_A \times e}$, en comptant d'abord le nombre d'électrons $\dfrac{Q}{e}$.

À LA CALCULATRICE



Q.7 Indiquer si, au bout de 12 min, la demi-pile est déchargée en calculant le pourcentage de quercétine consommée pendant cette durée.

Données utiles $n_e = 3{,}58 \times 10^{-7}$ mol (Q.6) ; $m_i = 0{,}60$ mg de quercétine ; $M = 302{,}24\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

D'après l'équation à l'électrode CA / Q, une mole de quercétine consomme deux moles d'électrons :

$$n_{\text{cons}} = \frac{n_e}{2} = \frac{3{,}58 \times 10^{-7}}{2} = 1{,}8 \times 10^{-7}\ \text{mol}$$

Quantité initiale de quercétine : $n_i = \dfrac{m_i}{M} = \dfrac{0{,}60 \times 10^{-3}}{302{,}24} = 2{,}0 \times 10^{-6}\ \text{mol}$

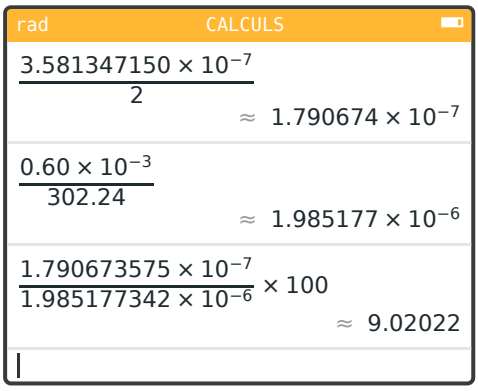
Pourcentage consommé : $\dfrac{n_{\text{cons}}}{n_i} \times 100 = \dfrac{1{,}79 \times 10^{-7}}{1{,}99 \times 10^{-6}} \times 100 = 9{,}0\ \%$

Seuls $9{,}0\ \%$ de la quercétine ont été consommés : la demi-pile n'est pas déchargée.

PIÈGE
Oublier le coefficient 2 des électrons (on trouverait 18 %), ou laisser la masse en milligramme alors que M est en $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

MÉTHODE
Pourcentage consommé = quantité consommée ÷ quantité initiale × 100. Garder les valeurs non arrondies dans la calculatrice : arrondir chaque intermédiaire à deux chiffres peut décaler le dernier chiffre du résultat.

À LA CALCULATRICE



Q.8 Indiquer la courbe qui représente la charge de la batterie comestible en analysant le graphe de la figure 2. Expliquer.

Sur la courbe a, la tension aux bornes de la batterie augmente de 0,60 V à 0,80 V ; sur la courbe b, elle diminue de 0,80 V à 0,60 V.

Quand une batterie débite, sa tension baisse peu à peu ; quand on la recharge, sa tension remonte.

La charge correspond à la **courbe a** (tension croissante) ; la courbe b représente la décharge.

COMPRENDRE
La courbe b atteint 0,60 V vers 710 s, soit environ 12 min : c'est la durée de fonctionnement annoncée au début de l'exercice.

Q.9 Calculer, avec les données de la figure 4, la capacité en ampère-heure de la pile Nickel Métal Hybride. Discuter de la possibilité d'une réelle application de la batterie comestible dans la vie courante.

Données utiles figure 4 : $U = 1{,}2$ V ; $E = 0{,}048$ W · h ; figure 3 : capacité de la batterie comestible en décharge ≈ 10 μA · h

La capacité est la charge maximale que la pile peut débiter : $Q_{\text{NMH}} = I \times \Delta t$.

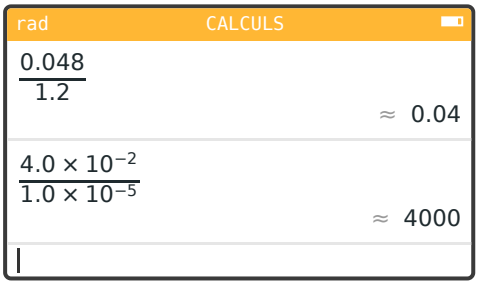
Énergie stockée : $E = P \times \Delta t = U \times I \times \Delta t = U \times Q_{\text{NMH}}$, donc $Q_{\text{NMH}} = \dfrac{E}{U}$.

$$Q_{\text{NMH}} = \frac{0{,}048}{1{,}2} = 4{,}0 \times 10^{-2} \text{ A} \cdot \text{h}$$

D'après la figure 3, la batterie comestible restitue environ 10 μA · h $= 1{,}0 \times 10^{-5}$ A · h à chaque décharge, soit $\dfrac{4{,}0 \times 10^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-5}} = 4{,}0 \times 10^{3}$ fois moins.

$Q_{\text{NMH}} = 4{,}0 \times 10^{-2}$ A · h, soit 4000 fois la capacité de la batterie comestible : celle-ci ne peut pas remplacer une pile de jouet ; elle reste réservée à de très petits dispositifs fonctionnant quelques minutes.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Calculer la capacité sans conclure. « Discuter » demande une comparaison chiffrée avec la figure 3 et une phrase sur l'usage possible.

COMPRENDRE
Des W · h divisés par des volts donnent directement des A · h, sans conversion en joule ni en seconde. Contrôle : 48 μA pendant 0,20 h donnent $9{,}6$ μA · h, en accord avec la figure 3.