HOPE, l'espoir du dihydrogène vert

Bac 2026 Amérique du Nord Jour 2 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q.1 Déterminer, en MW·h, l'énergie moyenne produite chaque jour par l'éolienne au mois de décembre 2023.

Données utiles $E_{\text{mois}} = 922\ \text{MW} \cdot \text{h}$

Décembre compte 31 jours :

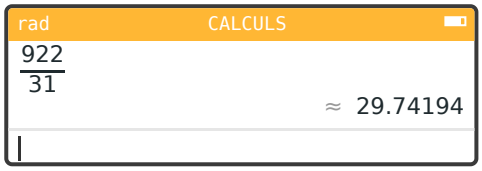
$$E_{\text{jour}} = \frac{E_{\text{mois}}}{31} = \frac{922}{31}$$

$E_{\text{jour}} = 29{,}7\ \text{MW} \cdot \text{h}$ par jour

COMPRENDRE

Trois chiffres significatifs, comme la donnée 922 MW·h. Le nombre de jours, 31, est un nombre exact : il ne limite pas la précision.

À LA CALCULATRICE



Q.2 Compléter le document 2 de l'annexe en indiquant le sens de circulation du courant électrique I et celui des électrons dans le circuit.

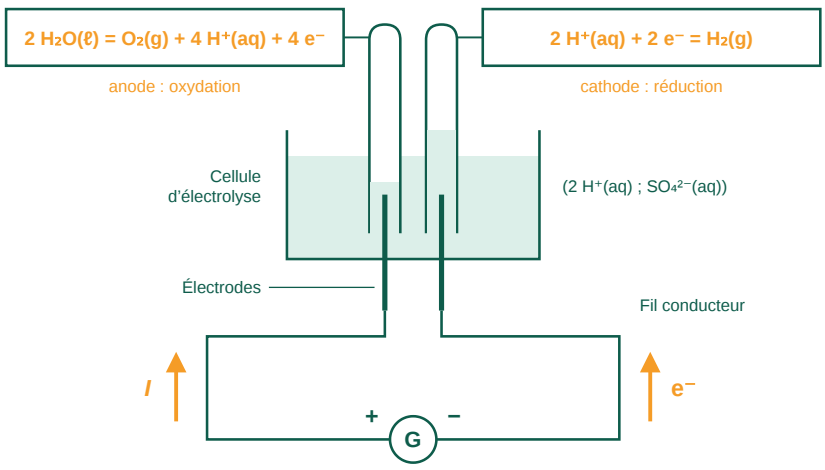
À l'extérieur du générateur, le courant I sort par la borne $+$ et revient par la borne $-$.

Dans les fils, les électrons circulent en sens inverse du courant : ils quittent la borne $-$ du générateur et y reviennent par la borne $+$.

Voir l'annexe complétée : I va de la borne $+$ vers l'électrode de gauche ; les électrons vont de la borne $-$ vers l'électrode de droite.

PIÈGE

Ne pas appliquer les réflexes de la pile. Ici le générateur impose le sens du courant : on part de ses bornes $+$ et $-$, et non des réactions aux électrodes.



Q.2 · Document 2 de l'annexe complété (en orange : ce que le candidat ajoute)

Q.3 Écrire les demi-équations électroniques des deux couples mis en jeu, puis associer à chaque électrode de l'annexe la demi-équation qui s'y produit lors de l'électrolyse.

Données utiles couples $\mathrm{H^+(aq)\ /\ H_2(g)}$ et $\mathrm{O_2(g)\ /\ H_2O(l)}$

Couple $\mathrm{H^+(aq)\ /\ H_2(g)}$: $\mathrm{2\,H^+(aq) + 2\,e^- = H_2(g)}$

Couple $\mathrm{O_2(g)\ /\ H_2O(l)}$: $\mathrm{O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^- = 2\,H_2O(l)}$

L'électrode de droite, reliée à la borne $-$, reçoit des électrons : il s'y produit une réduction, celle des ions $\mathrm{H^+}$.

L'électrode de gauche, reliée à la borne $+$, cède des électrons au circuit : il s'y produit une oxydation, celle de l'eau.

À gauche : $\mathrm{2\,H_2O(l) = O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-}$; à droite : $\mathrm{2\,H^+(aq) + 2\,e^- = H_2(g)}$ (encadrés de l'annexe, Q.2).

PIÈGE
Dans l'encadré de gauche, la demi-équation s'écrit dans le sens où elle se produit : l'eau est le réactif, les électrons sont du côté des produits.

COMPRENDRE
Les électrons qui arrivent sur une électrode sont consommés par une réduction (cathode) ; ceux qui en partent sont libérés par une oxydation (anode). Cette règle vaut pour une pile comme pour un électrolyseur.

Q.4 En déduire l'équation de la réaction modélisant la transformation qui a lieu dans l'électrolyseur.

On égalise le nombre d'électrons échangés (4) en multipliant la réduction par 2 :

$\mathrm{4\,H^+(aq) + 4\,e^- = 2\,H_2(g)}$

$\mathrm{2\,H_2O(l) = O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^-}$

En additionnant, les $\mathrm{4\,H^+}$ et les $\mathrm{4\,e^-}$ se simplifient :

$$\mathrm{2\,H_2O(l) \longrightarrow 2\,H_2(g) + O_2(g)}$$

COMPRENDRE
L'équation prévoit deux fois plus de dihydrogène que de dioxygène. À pression et température égales, le volume de gaz recueilli au-dessus de la cathode est donc le double de celui recueilli au-dessus de l'anode.

Q.5 Exprimer en fonction de I, Δt et F la quantité de matière d'électrons échangés dans l'électrolyseur, puis calculer sa valeur.

Données utiles $I = 7{,}25\ \mathrm{mA}$; $\Delta t = 6\ \mathrm{min}\ 47\ \mathrm{s}$; $F = 96\,500\ \mathrm{C\cdot mol^{-1}}$

La charge qui a circulé s'écrit $Q = I \times \Delta t$ et aussi $Q = n(\mathrm{e^-}) \times F$, donc :

$$n(\mathrm{e^-}) = \frac{I \times \Delta t}{F}$$

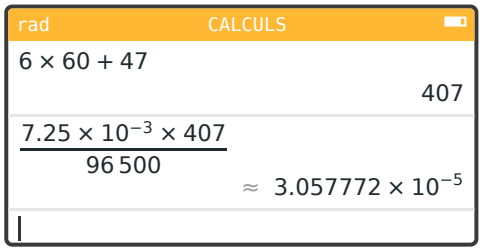
Avec $I = 7{,}25 \times 10^{-3}\ \mathrm{A}$ et $\Delta t = 6 \times 60 + 47 = 407\ \mathrm{s}$:

$$n(\mathrm{e^-}) = \frac{7{,}25 \times 10^{-3} \times 407}{96\,500}$$

$$n(\mathrm{e^-}) = 3{,}06 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}$$

PIÈGE
Les données annoncent Q en A·h et Δt en h. Avec F en $\mathrm{C\cdot mol^{-1}}$, il faut I en ampères et Δt en secondes, puisque $1\ \mathrm{C} = 1\ \mathrm{A\cdot s}$.

À LA CALCULATRICE



Q.6 Montrer que la masse de dihydrogène produite dans l'électrolyseur du laboratoire vaut $3{,}06 \times 10^{-5}$ g.

Données utiles $n(\mathrm{e}^-) = 3{,}06 \times 10^{-5}$ mol (Q.5) ; $M(\mathrm{H}) = 1{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

D'après $2\,\mathrm{H^+(aq)} + 2\,\mathrm{e^-} = \mathrm{H_2(g)}$, il faut 2 mol d'électrons pour former 1 mol de dihydrogène :

$$n(\mathrm{H_2}) = \frac{n(\mathrm{e^-})}{2}$$

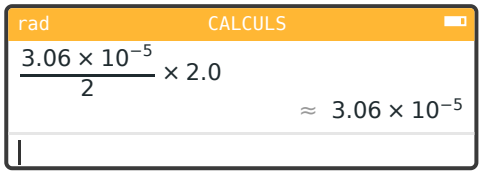
Avec $M(\mathrm{H_2}) = 2 \times 1{,}0 = 2{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$:

$$m(\mathrm{H_2}) = n(\mathrm{H_2}) \times M(\mathrm{H_2}) = \frac{n(\mathrm{e^-})}{2} \times M(\mathrm{H_2}) = \frac{3{,}06 \times 10^{-5}}{2} \times 2{,}0$$

$m(\mathrm{H_2}) = 3{,}06 \times 10^{-5}$ g : c'est la valeur attendue.

COMPRENDRE
La masse en grammes a la même valeur que $n(\mathrm{e^-})$ en moles : la division par 2 est compensée par $M(\mathrm{H_2}) = 2{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$. Les deux étapes doivent pourtant apparaître sur la copie.

À LA CALCULATRICE



Q.7 Calculer l'énergie nécessaire, dans ces conditions, pour récupérer 400 kg de dihydrogène, masse espérée par l'industriel chaque jour.

Données utiles $U = 4{,}74$ V ; $I = 7{,}25 \times 10^{-3}$ A ; $\Delta t = 407$ s (Q.5) ; $m(\mathrm{H_2}) = 3{,}06 \times 10^{-5}$ g (Q.6)

Énergie électrique reçue par l'électrolyseur du laboratoire pendant Δt :

$$E = U \times I \times \Delta t = 4{,}74 \times 7{,}25 \times 10^{-3} \times 407 = 14{,}0\ \mathrm{J}$$

Cette énergie produit $3{,}06 \times 10^{-5}$ g de dihydrogène. Dans les mêmes conditions, l'énergie est proportionnelle à la masse produite. Pour $m' = 400\ \mathrm{kg} = 4{,}00 \times 10^{5}$ g :

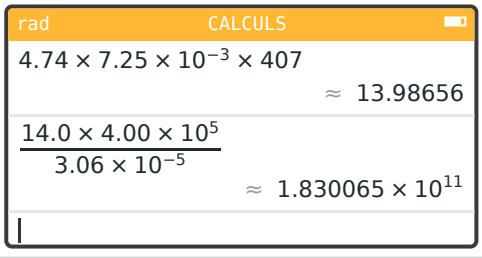
$$E' = E \times \frac{m'}{m(\mathrm{H_2})} = 14{,}0 \times \frac{4{,}00 \times 10^{5}}{3{,}06 \times 10^{-5}}$$

$E' = 1{,}83 \times 10^{11}$ J

PIÈGE
Calculer $U \times I$ et s'arrêter : c'est une puissance, en watts. L'énergie demande de multiplier par la durée, exprimée en secondes pour obtenir des joules.

MÉTHODE
Question à prise d'initiative : annoncer le plan en une phrase (énergie de l'expérience, puis proportionnalité), poser chaque relation littérale et convertir les deux masses dans la même unité avant de faire le rapport.

À LA CALCULATRICE



Q.8 Vérifier si ce résultat est cohérent avec celui de la question Q.1. Commenter.

Données utiles $E' = 1{,}83 \times 10^{11}$ J (Q.7) ; $E_{\text{jour}} = 29{,}7$ MW · h (Q.1) ; 1 W · h $= 3600$ J

On convertit l'énergie nécessaire en MW·h, avec $1\ \text{MW} \cdot \text{h} = 3600 \times 10^6\ \text{J} = 3{,}6 \times 10^9\ \text{J}$:

$$E' = \frac{1{,}83 \times 10^{11}}{3{,}6 \times 10^9} = 50{,}8\ \text{MW} \cdot \text{h}$$

L'éolienne ne fournit en moyenne que $29{,}7$ MW · h par jour, soit $\dfrac{29{,}7}{50{,}8} \approx 58\ \%$ du besoin.

Dans les conditions du laboratoire, elle permettrait de produire environ $0{,}58 \times 400 \approx 230$ kg de dihydrogène par jour : il faudrait presque deux éoliennes. L'objectif n'est accessible que si l'électrolyseur industriel consomme moins d'énergie par gramme produit, par exemple en fonctionnant sous une tension plus faible.

$E' = 50{,}8\ \text{MW} \cdot \text{h} > 29{,}7\ \text{MW} \cdot \text{h}$: une seule éolienne ne suffit pas pour 400 kg par jour dans ces conditions.

COMPRENDRE

À intensité et durée données, la masse produite est fixée par la charge ; l'énergie dépensée est proportionnelle à U. Abaisser la tension de fonctionnement réduit donc l'énergie par kilogramme de dihydrogène.

À LA CALCULATRICE

