Corrigé complet — Bac 2026 Amérique du Nord Jour 2

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**« J'ai froid aux pieds sur le carrelage, je préfère le parquet ! »** Unités et analyse dimensionnelle · Premier principe de la thermodynamique · Calorimétrie et capacité thermique · Loi de Newton (transfert conducto-convectif) · Équation différentielle du premier ordre · Temps caractéristique	11 pts	1 h 56	19 questions	p. 2
Ex 2	**HOPE, l'espoir du dihydrogène vert** Électrolyse · Demi-équations d'oxydoréduction · Quantité d'électricité et constante de Faraday · Quantité de matière et masse · Énergie électrique · Conversion joule et watt-heure	5 pts	53 min	8 questions	p. 7
Ex 3	**La lessive de cendre** Acide et base selon Brönsted · Concentration en quantité de matière · pH et produit ionique de l'eau · Base faible · Titrage pH-métrique · Dilution	4 pts	42 min	8 questions	p. 11

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

« J'ai froid aux pieds sur le carrelage, je préfère le parquet ! »

Bac 2026 Amérique du Nord Jour 2 · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 56**

Q.1 Montrer que l'effusivité s'exprime en $\mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^{-1/2}}$.

Données utiles $E = \sqrt{\lambda \times c_v}$; λ en $\mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}}$; c_v en $\mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot m^{-3}}$

Le produit $\lambda \times c_v$ a pour unité :

$$(\mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}}) \times (\mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot m^{-3}}) = \mathrm{J^2 \cdot K^{-2} \cdot m^{-4} \cdot s^{-1}}$$

Prendre la racine carrée revient à diviser chaque exposant par 2 ($\sqrt{a} = a^{1/2}$) :

E s'exprime en $\mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^{-1/2}}$.

MÉTHODE
Pour l'unité d'une grandeur, remplacer chaque terme de la formule par son unité, regrouper les exposants de chaque unité, puis appliquer la puissance demandée.

Q.2 Indiquer le sens dans lequel s'opère le transfert thermique entre le corps chaud et le corps froid.

Un transfert thermique se fait spontanément du corps le plus chaud vers le corps le plus froid.

L'énergie passe du carrelage (39,7 °C) vers l'eau (25,4 °C).

Q.3 Rappeler le premier principe de la thermodynamique, en définir les termes et leurs unités, puis l'appliquer au système dans le calorimètre.

Pour un système fermé, au repos à l'échelle macroscopique, qui passe d'un état initial à un état final :

$$\Delta U = W + Q$$

- ΔU : variation de l'énergie interne du système, en joule (J) ;
- W : travail échangé avec l'extérieur, en joule (J) ;
- Q : transfert thermique échangé avec l'extérieur, en joule (J).

W et Q sont comptés positivement s'ils sont reçus par le système.

Pour le système {eau + carrelage}, le calorimètre empêche tout échange avec l'extérieur : $W = 0$ et $Q = 0$.

$\Delta U_{\text{système}} = \Delta U_{\text{eau}} + \Delta U_{\text{carrelage}} = 0$

PIÈGE
$Q = 0$ concerne les échanges avec l'extérieur. À l'intérieur du système, le carrelage cède bien de l'énergie à l'eau, mais cet échange interne n'apparaît pas dans le bilan.

Q.4 Montrer que la variation d'énergie interne de l'eau dans le calorimètre vaut $1{,}50 \times 10^3$ J.

Données utiles $m_{\text{eau}} = 720\ \text{g} = 0{,}720\ \text{kg}$; $c_{\text{eau}} = 4{,}18 \times 10^3\ \mathrm{J \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}}$; $\theta_i = 25{,}4\ °\text{C}$; $\theta_f = 25{,}9\ °\text{C}$

L'eau est un système incompressible : $\Delta U_{\text{eau}} = C_{\text{eau}} \times \Delta T = m_{\text{eau}} \times c_{\text{eau}} \times (\theta_f - \theta_i)$

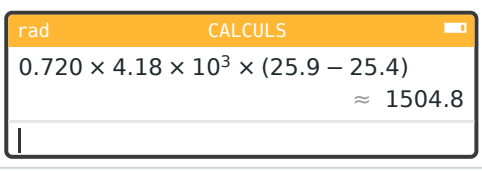
$$\Delta U_{\text{eau}} = 0{,}720 \times 4{,}18 \times 10^3 \times (25{,}9 - 25{,}4) = 1{,}5048 \times 10^3\ \text{J}$$

$\Delta U_{\text{eau}} = 1{,}50 \times 10^3$ J, valeur attendue.

PIÈGE
La masse doit être en kilogramme. En revanche, un écart de température a la même valeur en °C et en K : inutile d'ajouter 273.

COMPRENDRE
Le résultat est écrit avec trois chiffres significatifs, comme la masse et c_{eau}, ainsi que le fait l'énoncé. Il est positif : l'eau reçoit de l'énergie.

À LA CALCULATRICE



Q.5 En déduire que la capacité thermique du morceau de carrelage vaut $C_{\text{carrelage}} = 109\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}$.

Données utiles $\Delta U_{\text{eau}} = 1{,}50\times10^{3}$ J (Q.4) ; carrelage : $\theta_i = 39{,}7$ °C ; $\theta_f = 25{,}9$ °C

D'après Q.3 : $\Delta U_{\text{carrelage}} = -\Delta U_{\text{eau}}$.

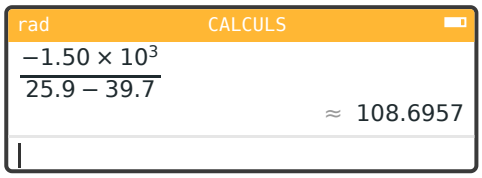
Le carrelage est incompressible : $\Delta U_{\text{carrelage}} = C_{\text{carrelage}} \times (\theta_f - \theta_i)$, donc

$$C_{\text{carrelage}} = \frac{-\Delta U_{\text{eau}}}{\theta_f - \theta_i} = \frac{-1{,}50\times10^{3}}{25{,}9 - 39{,}7} = 109\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}$$

$C_{\text{carrelage}} = 109\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}$, valeur attendue.

PIÈGE
La variation de température est toujours « finale moins initiale » : elle est négative pour le carrelage, qui refroidit. Oublier ce signe donne une capacité thermique négative, ce qui n'a pas de sens.

À LA CALCULATRICE



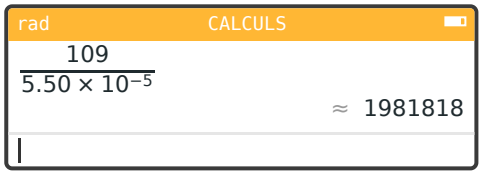
Q.6 Calculer la valeur de la capacité thermique volumique du carrelage $c_{v\,\text{carrelage}}$.

Données utiles $C_{\text{carrelage}} = 109\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}$ (Q.5) ; $V = 5{,}50\times10^{-5}\ \text{m}^3$

$$c_{v\,\text{carrelage}} = \frac{C_{\text{carrelage}}}{V} = \frac{109}{5{,}50\times10^{-5}}$$

$c_{v\,\text{carrelage}} = 1{,}98\times10^{6}\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-3}$

À LA CALCULATRICE



Q.7 Montrer que l'effusivité du carrelage vaut $E_{\text{carrelage}} = 1{,}60\times10^{3}\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$.

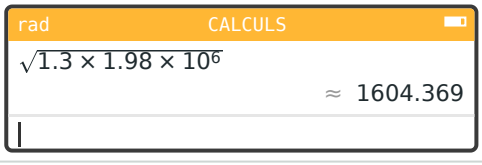
Données utiles $\lambda_{\text{carrelage}} = 1{,}3\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$; $c_{v\,\text{carrelage}} = 1{,}98\times10^{6}\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-3}$ (Q.6)

$$E_{\text{carrelage}} = \sqrt{\lambda_{\text{carrelage}} \times c_{v\,\text{carrelage}}} = \sqrt{1{,}3\times1{,}98\times10^{6}}$$

$E_{\text{carrelage}} = 1{,}60\times10^{3}\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$, valeur attendue.

COMPRENDRE
$\lambda_{\text{carrelage}}$ n'a que deux chiffres significatifs : en toute rigueur le résultat s'écrit $1{,}6\times10^{3}$. L'énoncé en affiche trois ; on montre que le calcul redonne bien cette valeur.

À LA CALCULATRICE



Q.8 Justifier la cohérence des valeurs d'effusivité des matériaux par rapport au texte d'introduction.

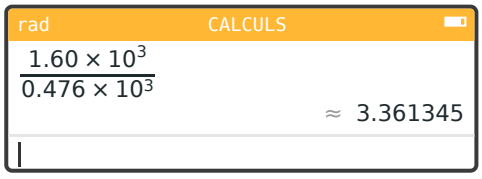
Données utiles $E_{\text{carrelage}} = 1{,}60\times10^{3}$ et $E_{\text{bois}} = 0{,}476\times10^{3}\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1/2}$

$$\frac{E_{\text{carrelage}}}{E_{\text{bois}}} = \frac{1{,}60\times10^{3}}{0{,}476\times10^{3}} \approx 3{,}4$$

Le texte range le carrelage parmi les matériaux de forte effusivité (il absorbe vite l'énergie sans se réchauffer en surface) et le bois parmi ceux de faible effusivité (sa surface se réchauffe vite).

$E_{\text{carrelage}} \approx 3{,}4 \times E_{\text{bois}}$: les valeurs sont cohérentes avec le texte.

À LA CALCULATRICE



Q.9 Exprimer la valeur de $T_{\text{mesure.SB}}$ en kelvin.

Données utiles $\theta_{\text{mesure.SB}} = 28{,}3$ °C ; $T(\text{K}) = \theta(^\circ\text{C}) + 273$

$$T_{\text{mesure.SB}} = \theta_{\text{mesure.SB}} + 273 = 28{,}3 + 273$$

$$\boxed{T_{\text{mesure.SB}} = 301{,}3 \text{ K}}$$

Q.10 Calculer la valeur de la température de contact théorique $T_{\text{calcul.SB}}$ entre la poche de silicone et le bois.

Données utiles $E_{\text{silicone}} = 0{,}756 \times 10^3$ et $E_{\text{bois}} = 0{,}476 \times 10^3$ J · K^{-1} · m^{-2} · s$^{-1/2}$; $\theta_{i\,\text{silicone}} = 34{,}1$ °C ; $\theta_{i\,\text{bois}} = 19{,}6$ °C

Températures initiales en kelvin : $T_{\text{silicone}} = 34{,}1 + 273 = 307{,}1$ K et $T_{\text{bois}} = 19{,}6 + 273 = 292{,}6$ K.

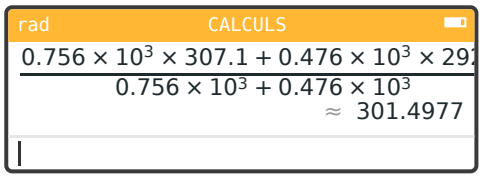
$$T_{\text{calcul.SB}} = \frac{E_{\text{silicone}} \times T_{\text{silicone}} + E_{\text{bois}} \times T_{\text{bois}}}{E_{\text{silicone}} + E_{\text{bois}}}$$

$$T_{\text{calcul.SB}} = \frac{0{,}756 \times 10^3 \times 307{,}1 + 0{,}476 \times 10^3 \times 292{,}6}{0{,}756 \times 10^3 + 0{,}476 \times 10^3}$$

$$\boxed{T_{\text{calcul.SB}} = 301{,}5 \text{ K (soit 28,5 °C)}}$$

COMPRENDRE
La température de contact est une moyenne des deux températures initiales, pondérée par les effusivités : elle se rapproche de celle du matériau le plus effusif. On garde le dixième de kelvin, comme pour les températures mesurées.

À LA CALCULATRICE



Q.11 Comparer les températures de contact mesurées $T_{\text{mesure.SB}}$ et $T_{\text{mesure.SC}}$ aux températures calculées $T_{\text{calcul.SB}}$ et $T_{\text{calcul.SC}}$, et conclure.

Données utiles $T_{\text{mesure.SB}} = 301{,}3$ K (Q.9) ; $T_{\text{calcul.SB}} = 301{,}5$ K (Q.10) ; $T_{\text{mesure.SC}} = 297{,}2$ K ; $T_{\text{calcul.SC}} = 297{,}4$ K ; incertitude-type $u(T) = 0{,}2$ K

Silicone-bois : $\dfrac{|T_{\text{mesure.SB}} - T_{\text{calcul.SB}}|}{u(T)} = \dfrac{|301{,}3 - 301{,}5|}{0{,}2} = 1$

Silicone-carrelage : $\dfrac{|T_{\text{mesure.SC}} - T_{\text{calcul.SC}}|}{u(T)} = \dfrac{|297{,}2 - 297{,}4|}{0{,}2} = 1$

Dans les deux cas l'écart vaut une seule incertitude-type, donc moins de deux.

Les valeurs mesurées sont compatibles avec les valeurs calculées : la relation de la température de contact est validée.

MÉTHODE
Comparer une mesure à une valeur de référence : calculer l'écart, le diviser par l'incertitude-type. Si le quotient est inférieur à 2, mesure et référence sont compatibles.

Q.12 Expliquer les raisons de la sensation décrite dans le titre de l'exercice.

Données utiles $T_{\text{mesure.SB}} = 301{,}3$ K ; $T_{\text{mesure.SC}} = 297{,}2$ K

Température de contact du « pied » : 301,3 K (28,3 °C) sur le bois, contre 297,2 K (24,2 °C) sur le carrelage, soit environ 4 °C de moins.

Le carrelage est plus effusif que le bois : il absorbe rapidement l'énergie cédée par le pied sans que sa surface se réchauffe, et la température de contact reste proche de celle du sol. Le bois se réchauffe vite en surface : la température de contact reste plus proche de celle du pied.

La peau est plus froide au contact du carrelage qu'au contact du bois : le carrelage paraît plus froid, alors que les deux sols sont à la même température.

PIÈGE
Le pied ne mesure pas la température du sol mais la température de contact. Écrire « le carrelage est plus froid que le parquet » est faux.

Q.13 Préciser quel transfert thermique supplémentaire, lié à la présence d'eau liquide, apparaît dans le thermostat par rapport aux matériaux solides.

Entre deux solides en contact, le transfert thermique se fait par conduction. L'eau liquide est un fluide : elle peut se déplacer et transporter de l'énergie avec elle.

Le transfert supplémentaire est la convection.

Q.14 Donner l'expression du transfert thermique Q en fonction du flux thermique ϕ pendant une durée très petite Δt.

Le flux thermique est l'énergie transférée par unité de temps : $\phi = \dfrac{Q}{\Delta t}$.

$$Q = \phi \times \Delta t$$

COMPRENDRE
Un flux thermique est une puissance, en watt ($\mathrm{J \cdot s^{-1}}$). La durée doit être très petite pour que ϕ, qui dépend de θ, puisse être considéré comme constant.

Q.15 Montrer, en appliquant le premier principe au silicone, que la température vérifie $\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} + \dfrac{1}{\tau}\theta = \dfrac{1}{\tau}\theta_T$ avec $\tau = \dfrac{C_{\text{silicone}}}{h_{\text{eau-silicone}} \times S}$.

Système {silicone de la poche}, incompressible, au repos. Entre t et $t + \Delta t$, sa température varie de $\Delta\theta$.

Premier principe : $\Delta U = W + Q$ avec $W = 0$, donc $\Delta U = Q$.

Or $\Delta U = C_{\text{silicone}} \times \Delta\theta$ et $Q = \phi \times \Delta t = h_{\text{eau-silicone}} \times S \times (\theta_T - \theta) \times \Delta t$, d'où

$$C_{\text{silicone}} \times \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = h_{\text{eau-silicone}} \times S \times (\theta_T - \theta)$$

Quand Δt tend vers 0, $\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}$ tend vers $\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$:

$$\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} = \frac{h_{\text{eau-silicone}} \times S}{C_{\text{silicone}}} \times (\theta_T - \theta) = \frac{1}{\tau}(\theta_T - \theta)$$

$$\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{\tau}\theta = \frac{1}{\tau}\theta_T \text{ avec } \tau = \frac{C_{\text{silicone}}}{h_{\text{eau-silicone}} \times S}$$

PIÈGE
Le signe se vérifie : ici $\theta > \theta_T$, donc $\phi < 0$ et $\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} < 0$. Le silicone cède de l'énergie et sa température diminue.

MÉTHODE
Toujours le même enchaînement : système ; premier principe avec $W = 0$; $\Delta U = C\,\Delta\theta$; $Q = \phi\,\Delta t$; division par Δt et passage à la limite ; mise sous la forme demandée.

Q.16 Comparer les deux courbes obtenues en annexe et commenter.

Points communs : les deux courbes décroissent de moins en moins vite et tendent vers la température du thermostat, voisine de 0 °C. Elles sont presque confondues au-delà de 5×10^3 s.

Différences : la courbe mesurée part d'environ 16 °C, alors que le modèle part de 11,6 °C. Elle chute plus vite au tout début, passe sous le modèle, le croise vers 1×10^3 s, puis reste légèrement au-dessus jusqu'à environ 5×10^3 s.

Le modèle exponentiel décrit correctement l'allure du refroidissement, mais pas les premiers instants.

COMPRENDRE
L'équation du modèle se lit comme la solution : $\theta(0) - \theta_T = 11{,}6$ °C, $\tau = 1{,}04 \times 10^3$ s et $\theta_T = 16{,}3 \times 10^{-3}$ °C, soit pratiquement 0 °C.

Q.17 Déterminer la valeur du temps caractéristique τ par construction graphique sur l'annexe.

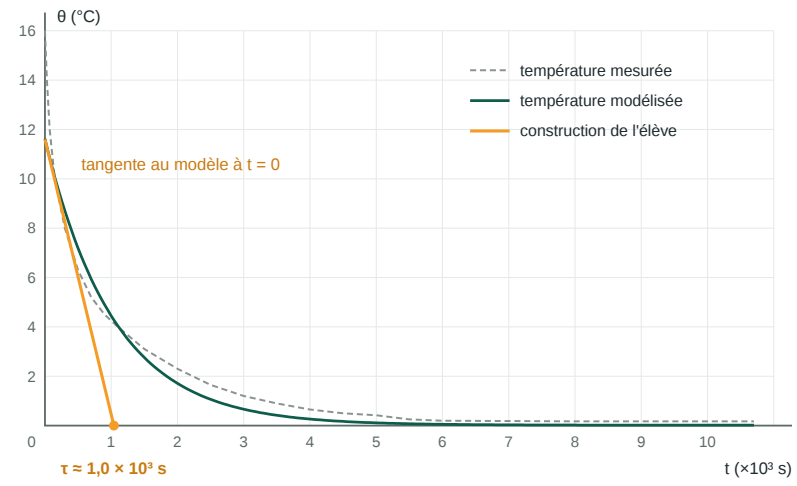
On trace la tangente à la courbe modélisée à l'instant $t = 0$. Elle coupe l'asymptote $\theta = \theta_T$, ici confondue avec l'axe des temps, à l'instant $t = \tau$.

Lecture sur l'annexe : la tangente coupe l'axe des temps à la graduation 1.

$\tau \approx 1{,}0 \times 10^3$ s

PIÈGE
La tangente se trace sur la courbe du modèle, pas sur les mesures, dont le départ est différent. L'axe est gradué en milliers de secondes.

MÉTHODE
Autre construction : à $t = \tau$, l'écart à l'asymptote ne vaut plus que 37 % de l'écart initial. Ici $0{,}37 \times 11{,}6 \approx 4{,}3$ °C, atteint vers $1{,}0 \times 10^3$ s.



Q.17 · Annexe complétée : tangente à l'origine de la courbe modélisée

Q.18 Calculer la valeur de $h_{\text{eau-silicone}}$.

Données utiles $C_{\text{silicone}} = 179\ \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$; $S = 0{,}0172\ \text{m}^2$; $\tau = 1{,}0 \times 10^3$ s (Q.17)

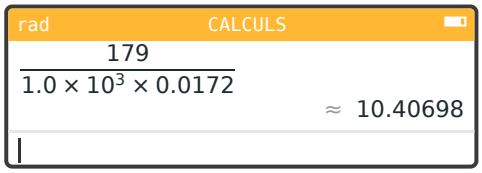
$$\tau = \frac{C_{\text{silicone}}}{h_{\text{eau-silicone}} \times S} \text{ donc}$$

$$h_{\text{eau-silicone}} = \frac{C_{\text{silicone}}}{\tau \times S} = \frac{179}{1{,}0 \times 10^3 \times 0{,}0172}$$

$h_{\text{eau-silicone}} \approx 10\ \text{J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement : la lecture graphique de τ limite la précision. Avec la valeur du modèle, $1{,}04 \times 10^3$ s, on obtient aussi 10.

À LA CALCULATRICE



Q.19 Comparer les valeurs des deux coefficients conducto-convectifs et indiquer le fluide dans lequel le pied se refroidit le plus vite.

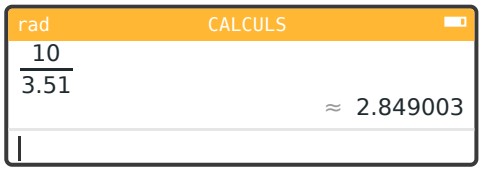
Données utiles $h_{\text{eau-silicone}} \approx 10\ \text{J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ (Q.18) ; $h_{\text{air-silicone}} = 3{,}51\ \text{J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

$$\frac{h_{\text{eau-silicone}}}{h_{\text{air-silicone}}} = \frac{10}{3{,}51} \approx 3$$

Plus le coefficient est grand, plus le flux thermique est important pour un même écart de température, et plus le temps caractéristique $\tau = \frac{C}{h \times S}$ est court.

$h_{\text{eau-silicone}} \approx 3 \times h_{\text{air-silicone}}$: le pied se refroidit plus vite dans l'eau que dans l'air.

À LA CALCULATRICE



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 :

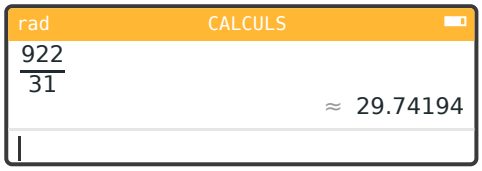
$$E_{\text{jour}} = \frac{E_{\text{mois}}}{31} = \frac{922}{31}$$

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

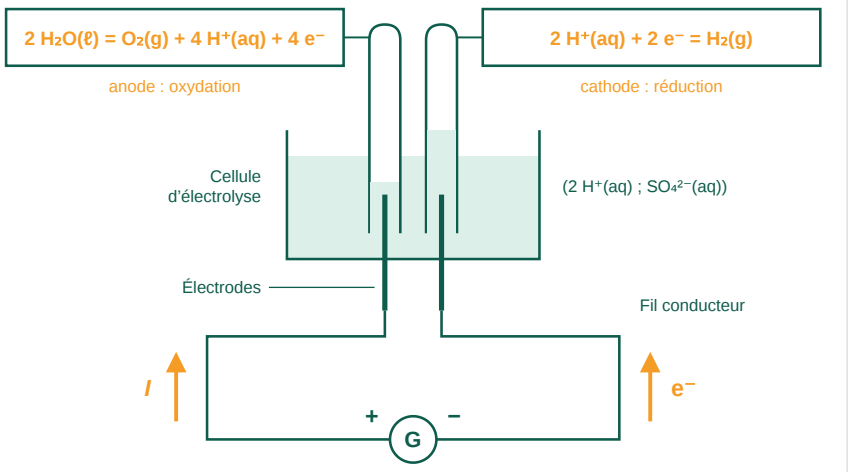
À l'extérieur du générateur, le courant I sort par la borne $+$ et revient par la borne $-$.

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 :

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

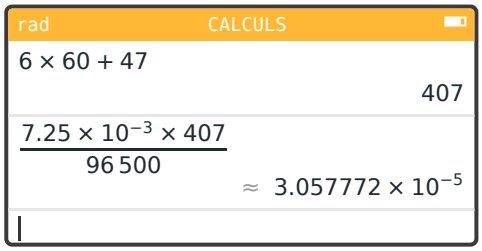
Avec $I = 7{,}25 \times 10^{-3}\ \mathrm{A}$ et $\Delta t = 6 \times 60 + 47 = 407\ \mathrm{s}$:

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

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

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

rad CALCULS

$\frac{3.06 \times 10^{-5}}{2} \times 2.0$

$\approx 3.06 \times 10^{-5}$

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

rad CALCULS

$4.74 \times 7.25 \times 10^{-3} \times 407$

≈ 13.98656

$\frac{14.0 \times 4.00 \times 10^{5}}{3.06 \times 10^{-5}}$

$\approx 1.830065 \times 10^{11}$

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.

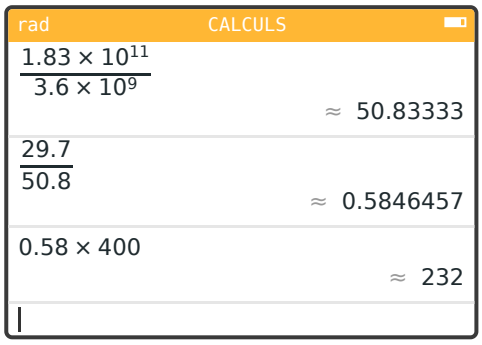
Dans les conditions du laboratoire, elle permettrait de produire environ $0{,}58 \times 400 \approx 230$ kg de dihydrogène par jour : il faudrait presque deux éoliennes. L'objectif n'est accessible que si l'électrolyseur industriel consomme moins d'énergie par gramme produit, par exemple en fonctionnant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



La lessive de cendre

Bac 2026 Amérique du Nord Jour 2 · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 42 min**

Q.1 Définir une espèce chimique basique selon Brönsted.

Une base selon Brönsted est une espèce chimique capable de capter au moins un ion hydrogène H^+.

COMPRENDRE
L'ion carbonate CO_3^{2-} peut capter un H^+ pour donner HCO_3^-, qui peut en capter un second pour donner H_2CO_3 : c'est une dibase.

Q.2 Calculer la concentration en quantité de matière des ions carbonate dans la solution S.

Données utiles $m = 3{,}0$ g ; $V = 100{,}0$ mL ; $M(K_2CO_3) = 138{,}0\ g \cdot mol^{-1}$

Dissolution du solide : $K_2CO_3\,(s) \longrightarrow 2\,K^+\,(aq) + CO_3^{2-}\,(aq)$. Une mole de solide apporte une mole d'ions carbonate, donc la concentration apportée en ions carbonate vaut :

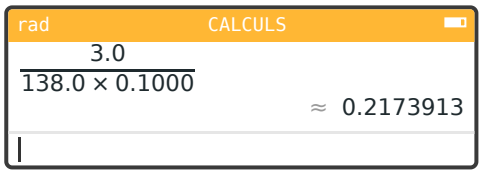
$$C = \frac{n}{V} = \frac{m}{M \times V} = \frac{3{,}0}{138{,}0 \times 0{,}1000}$$

$C = 0{,}22\ mol \cdot L^{-1}$

PIÈGE
Laisser le volume en mL : il faut $V = 0{,}1000$ L. Et ne pas multiplier par 2 : le coefficient 2 de l'équation de dissolution porte sur K^+, pas sur CO_3^{2-}.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la masse $m = 3{,}0$ g, qui est la donnée la moins précise du calcul.

À LA CALCULATRICE



Q.3 Écrire et ajuster l'équation de la réaction acido-basique se produisant entre CO_3^{2-} et H_2O.

La base CO_3^{2-} du couple HCO_3^- / CO_3^{2-} réagit avec l'acide H_2O du couple H_2O / HO^- :

$CO_3^{2-}\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons HCO_3^-\,(aq) + HO^-\,(aq)$

MÉTHODE
Vérifier la conservation des éléments et celle de la charge : -2 à gauche, $(-1) + (-1) = -2$ à droite. L'eau joue ici le rôle d'acide, elle cède un H^+.

Q.4 Le pH de la solution S est de 11,8. En déduire la concentration en ions hydroxyde HO^- dans la solution S.

Données utiles $pH = 11{,}8$; $K_e = 1{,}0 \times 10^{-14}$

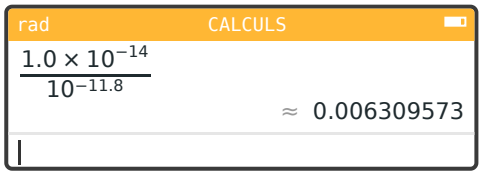
$[H_3O^+] = c^\circ \times 10^{-pH}$ avec $c^\circ = 1\ mol \cdot L^{-1}$, et $K_e = \dfrac{[H_3O^+] \times [HO^-]}{(c^\circ)^2}$, donc :

$$[HO^-] = \frac{K_e \times c^\circ}{10^{-pH}} = \frac{1{,}0 \times 10^{-14}}{10^{-11{,}8}}$$

$[HO^-] = 6{,}3 \times 10^{-3}\ mol \cdot L^{-1}$

PIÈGE
Donner $10^{-11{,}8} = 1{,}6 \times 10^{-12}\ mol \cdot L^{-1}$ comme réponse : c'est la concentration en ions H_3O^+, pas celle des ions HO^-.

À LA CALCULATRICE



Q.5 Comparer la concentration en ions hydroxyde à la concentration apportée en ions carbonate. En déduire que l'ion carbonate est une base faible, permettant d'assimiler la lessive de cendre à une solution d'ions carbonate.

Données utiles $C = 0{,}22\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (Q.2) ; $[\text{HO}^-] = 6{,}3\times10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (Q.4)

$\dfrac{C}{[\text{HO}^-]} = \dfrac{0{,}22}{6{,}3\times10^{-3}} \approx 35$: la concentration en ions hydroxyde est environ 35 fois plus petite que la concentration apportée en ions carbonate.

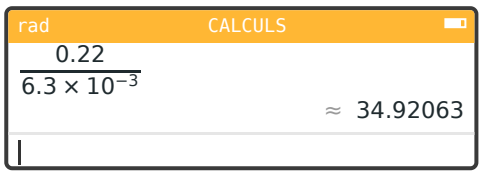
Si la réaction de Q.3 était totale, chaque ion carbonate apporté formerait un ion hydroxyde et on aurait $[\text{HO}^-] = C$. Ce n'est pas le cas : la transformation est très limitée.

$[\text{HO}^-] \ll C$: l'ion carbonate est une **base faible**. Presque tous les ions carbonate restent sous la forme CO_3^{2-}, la lessive est donc assimilable à une solution d'ions carbonate.

COMPRENDRE

Le taux d'avancement final vaut $\dfrac{[\text{HO}^-]}{C} \approx 0{,}03$, soit 3 % : sur cent ions carbonate apportés, seuls trois environ ont réagi avec l'eau.

À LA CALCULATRICE



Q.6 Écrire les demi-équations des deux couples acide-base mettant en jeu les ions carbonate et du couple $\text{H}_2\text{O}\ /\ \text{HO}^-$, et justifier l'équation support du titrage : $\text{CO}_3^{2-} + 2\,\text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + 2\,\text{H}_2\text{O}$.

Demi-équations demandées :

- $\text{HCO}_3^-\ /\ \text{CO}_3^{2-}$: $\quad \text{CO}_3^{2-} + \text{H}^+ = \text{HCO}_3^-$
- $\text{H}_2\text{CO}_3\ /\ \text{HCO}_3^-$: $\quad \text{HCO}_3^- + \text{H}^+ = \text{H}_2\text{CO}_3$
- $\text{H}_2\text{O}\ /\ \text{HO}^-$: $\quad \text{H}_2\text{O} = \text{HO}^- + \text{H}^+$

L'espèce titrante est l'ion H_3O^+ : le couple de l'eau qui intervient dans le titrage est donc $\text{H}_3\text{O}^+\ /\ \text{H}_2\text{O}$, de demi-équation $\text{H}_3\text{O}^+ = \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+$, et non le couple $\text{H}_2\text{O}\ /\ \text{HO}^-$ cité par l'énoncé.

Première étape : $\text{CO}_3^{2-} + \text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{HCO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$

Deuxième étape : $\text{HCO}_3^- + \text{H}_3\text{O}^+ \longrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

En additionnant les deux étapes, HCO_3^- se simplifie :

$$\text{CO}_3^{2-}\,(\text{aq}) + 2\,\text{H}_3\text{O}^+\,(\text{aq}) \longrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3\,(\text{aq}) + 2\,\text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$$

PIÈGE

L'énoncé demande le couple $\text{H}_2\text{O}\ /\ \text{HO}^-$, qui ne permet pas d'obtenir l'équation proposée. Écrire sa demi-équation puisqu'elle est demandée, puis utiliser $\text{H}_3\text{O}^+\ /\ \text{H}_2\text{O}$ pour la justification.

COMPRENDRE

Les deux sauts de pH de la courbe correspondent aux deux étapes successives. Le volume V_{eq} donné par le sujet est celui du second saut, quand chaque ion carbonate a capté deux H^+.

Q.7 Déterminer la valeur de la concentration en quantité de matière en ions carbonate de la lessive de cendre S0.

Données utiles $V_1 = 10{,}0$ mL ; $c_A = 5{,}00\times10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $V_{eq} = 17{,}0$ mL ; dilution par 10

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation de titrage (1 ion carbonate pour 2 ions oxonium) :

$$n(\text{CO}_3^{2-})_{\text{titré}} = \frac{n(\text{H}_3\text{O}^+)_{\text{versé}}}{2} \quad \text{soit} \quad c_1\times V_1 = \frac{c_A\times V_{eq}}{2}$$

$$c_1 = \frac{c_A\times V_{eq}}{2\times V_1} = \frac{5{,}00\times10^{-3}\times17{,}0}{2\times10{,}0} = 4{,}25\times10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

La solution S1 est obtenue en diluant S0 dix fois : $c_0 = 10\times c_1$.

$$c_0 = 4{,}25\times10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

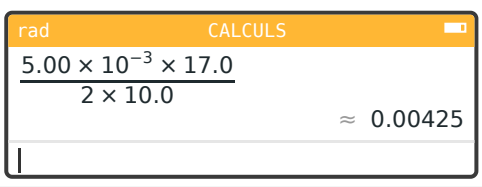
PIÈGE

Oublier le facteur 2 de la stœchiométrie (on trouverait le double), ou s'arrêter à c_1 : la question porte sur S0, dix fois plus concentrée que la solution titrée.

MÉTHODE

Les deux volumes peuvent rester en mL, car seul leur rapport intervient. Trois chiffres significatifs, comme c_A, V_{eq} et V_1.

À LA CALCULATRICE



Q.8 L'eau est qualifiée de dure. Déterminer un encadrement du volume de lessive de cendre à introduire dans la machine à laver pour répondre aux préconisations de l'étiquette. Commenter le résultat obtenu.

Données utiles eau dure : entre $6{,}0 \times 10^{-3}$ mol et $1{,}0 \times 10^{-2}$ mol ; $c_0 = 4{,}25 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q.7) ; lessive commerciale : entre 50 et 150 mL

La lessive de cendre est assimilée à une solution d'ions carbonate (Q.5), de concentration c_0. La quantité de base apportée par un volume V est $n = c_0 \times V$, donc $V = \dfrac{n}{c_0}$.

$$V_{\text{min}} = \frac{6{,}0 \times 10^{-3}}{4{,}25 \times 10^{-2}} = 0{,}14\ \text{L} \qquad V_{\text{max}} = \frac{1{,}0 \times 10^{-2}}{4{,}25 \times 10^{-2}} = 0{,}24\ \text{L}$$

Ce volume est plus grand que celui d'une lessive commerciale (50 à 150 mL), car la lessive de cendre est moins concentrée en espèces basiques. Il reste raisonnable : un à deux verres par lavage.

$0{,}14\ \text{L} \leqslant V \leqslant 0{,}24\ \text{L}$, soit entre 140 mL et 240 mL de lessive de cendre, davantage qu'avec une lessive commerciale.

PIÈGE

Utiliser c_1 au lieu de c_0 : c'est la lessive S0 non diluée que l'on verse dans la machine. Avec c_1, on trouverait des volumes dix fois trop grands, entre 1,4 L et 2,4 L.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme les quantités lues sur l'étiquette.

À LA CALCULATRICE

