Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + Physique, veuillez visiter :
bac-maths-physique.fr/annales-sujets-et-corriges

Physique-chimie

Session 2026 • Amérique du Nord • Jour 2

Code sujet **26-PYCJ2AN1** 3 heures 30

Proposition de corrigé pédagogique • FormaV

Se repérer dans le corrigé

Exercice 1 — « J’ai froid aux pieds sur le carrelage, je préfère le parquet ! »
19 réponses • sujet p. 2–10

Exercice 2 — HOPE, l’espoir du dihydrogène vert
8 réponses • sujet p. 6–10

Exercice 3 — La lessive de cendre
8 réponses • sujet p. 8–9

Les numéros, parties et pages renvoient au sujet original. Chaque réponse rappelle la consigne, explique la démarche et donne le résultat.

Exercice 1

11 points

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

1. Détermination de l’effusivité d’un matériau

Question Q.1.

Sujet p. 2, 3

> Montrer que l’effusivité s’exprime en J·K⁻¹·m⁻²·s⁻¹ᐟ².

On utilise les unités données et la relation $E = \sqrt{\lambda c_v}$. Comme $[\lambda] = \mathrm{J\,K^{-1}\,m^{-1}\,s^{-1}}$ et $[c_v] = \mathrm{J\,K^{-1}\,m^{-3}}$, on obtient :

$[E] = \sqrt{\mathrm{J^2\,K^{-2}\,m^{-4}\,s^{-1}}} = \mathrm{J\,K^{-1}\,m^{-2}\,s^{-1/2}}$.

RÉPONSE À RETENIR

L’effusivité s’exprime en $\mathrm{J\,K^{-1}\,m^{-2}\,s^{-1/2}}$.

Question Q.2.

Sujet p. 3

> Indiquer le sens dans lequel s’opère le transfert thermique entre le corps chaud et le corps froid.

Lorsqu’un corps chaud et un corps froid sont mis en contact, l’énergie thermique se transfère spontanément du corps à température plus élevée vers celui à température plus basse, jusqu’à l’équilibre thermique.

Ici, le carrelage est initialement à $39{,}7\ ^\circ\mathrm{C}$ et l’eau à $25{,}4\ ^\circ\mathrm{C}$: le transfert s’effectue donc du carrelage chaud vers l’eau froide.

RÉPONSE À RETENIR

Le transfert thermique s’effectue du corps chaud vers le corps froid, ici du carrelage vers l’eau.

Question Q.3.

Sujet p. 3

> Rappeler le premier principe de la thermodynamique et en définir tous les termes ainsi que leurs unités. Appliquer le premier principe de la thermodynamique au système dans le calorimètre.

Le premier principe s’écrit, avec la convention où W et Q sont positifs lorsqu’ils sont reçus par le système :

$\Delta U = W + Q$, où ΔU est la variation d’énergie interne en joules (J), W le travail reçu en joules (J) et Q le transfert thermique reçu en joules (J).

Pour le système {eau + carrelage}, le calorimètre est supposé sans échange thermique avec l’extérieur et aucun travail n’est effectué. Ainsi, le bilan énergétique du système donne $\Delta U_{\text{eau}} + \Delta U_{\text{carrelage}} = 0$.

RÉPONSE À RETENIR

Pour l’ensemble {eau + carrelage}, les échanges avec l’extérieur et le travail étant négligés, $\Delta U_{\text{totale}} = 0$, donc $\Delta U_{\text{eau}} = -\Delta U_{\text{carrelage}}$.

Question Q.4.

Sujet p. 3

> Montrer que la variation d'énergie interne de l'eau dans le calorimètre vaut 1,50×10³ J.

La température de l'eau augmente de $\Delta T_{\text{eau}} = 25{,}9 - 25{,}4 = 0{,}5\,\text{K}$. Sa capacité thermique vaut $C_{\text{eau}} = mc = 0{,}720 \times 4{,}18 \times 10^3 = 3009{,}6\,\text{J K}^{-1}$, après conversion de $720\,\text{g}$ en $0{,}720\,\text{kg}$.

Pour l'eau, $\Delta U = C\Delta T$, donc $\Delta U_{\text{eau}} = 3009{,}6 \times 0{,}5 = 1504{,}8\,\text{J}$. L'énergie interne augmente car l'eau se réchauffe.

RÉPONSE À RETENIR

À trois chiffres significatifs, $\Delta U_{\text{eau}} = +1{,}50 \times 10^3\,\text{J}$.

Question Q.5.

Sujet p. 3

> En déduire que la capacité thermique du morceau de carrelage vaut Ccarrelage = 109 J·K⁻¹.

D'après le bilan énergétique, $\Delta U_{\text{carrelage}} = -\Delta U_{\text{eau}} = -1{,}50 \times 10^3\,\text{J}$. Le carrelage refroidit de $39{,}7$ à $25{,}9\,^\circ\text{C}$, soit $\Delta T_{\text{carrelage}} = 25{,}9 - 39{,}7 = -13{,}8\,\text{K}$.

Avec $\Delta U_{\text{carrelage}} = C_{\text{carrelage}}\Delta T_{\text{carrelage}}$, on trouve $C_{\text{carrelage}} = (-1{,}50 \times 10^3)/(-13{,}8) = 108{,}7\,\text{J K}^{-1}$.

RÉPONSE À RETENIR

La capacité thermique du morceau de carrelage vaut, à trois chiffres significatifs, $C_{\text{carrelage}} = 109\,\text{J K}^{-1}$.

Question Q.6.

Sujet p. 3

> Pour un morceau de carrelage de volume 5,50×10⁻⁵ m³, calculer la valeur de la capacité thermique volumique du carrelage cv carrelage.

On applique $c_v = C/V$, en utilisant $C_{\text{carrelage}} = 109\,\text{J K}^{-1}$ et $V = 5{,}50 \times 10^{-5}\,\text{m}^3$:

$c_{v,\text{carrelage}} = 109/(5{,}50 \times 10^{-5}) = 1{,}98 \times 10^6\,\text{J K}^{-1}\,\text{m}^{-3}$.

RÉPONSE À RETENIR

$c_{v,\text{carrelage}} = 1{,}98 \times 10^6\,\text{J K}^{-1}\,\text{m}^{-3}$.

Question Q.7.

Sujet p. 3

> Montrer que l'effusivité du carrelage vaut Ecarrelage = 1,60×10³ J·K⁻¹·m⁻²·s⁻¹ᐟ².

On utilise $E = \sqrt{\lambda c_v}$, avec $\lambda_{\text{carrelage}} = 1{,}3\,\text{J K}^{-1}\,\text{m}^{-1}\,\text{s}^{-1}$ et la valeur calculée de c_v :

$E_{\text{carrelage}} = \sqrt{1{,}3 \times 1{,}98 \times 10^6} = 1{,}60 \times 10^3\,\text{J K}^{-1}\,\text{m}^{-2}\,\text{s}^{-1/2}$.

RÉPONSE À RETENIR

$E_{\text{carrelage}} = 1{,}60 \times 10^3\,\text{J K}^{-1}\,\text{m}^{-2}\,\text{s}^{-1/2}$.

Question Q.8.

Sujet p. 2, 3

> On mesure dans les mêmes conditions d'expérience Ebois = 0,476×10³ J·K⁻¹·m⁻²·s⁻¹ᐟ². Justifier la cohérence des

> valeurs d'effusivité des matériaux par rapport au texte d'introduction.

Les valeurs mesurées sont $E_{\text{carrelage}} = 1{,}60 \times 10^3$ et $E_{\text{bois}} = 0{,}476 \times 10^3$, dans la même unité. L'effusivité du carrelage est donc nettement supérieure à celle du bois.

Selon le texte, un matériau de forte effusivité absorbe rapidement l'énergie thermique au contact sans se réchauffer notablement en surface, tandis qu'un matériau de faible effusivité se réchauffe rapidement en surface et absorbe moins d'énergie. Les résultats sont donc cohérents avec le comportement décrit pour le carrelage et le bois.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Les valeurs sont cohérentes : le carrelage a une effusivité beaucoup plus grande que le bois, conformément au texte d'introduction.

2. Mesure et calcul de la température de contact

Question Q.9.

Sujet p. 4

> Exprimer la valeur de Tmesure.SB en kelvin.

La conversion fournie est $T(\text{K}) = \theta(^\circ\text{C}) + 273$. Pour la mesure silicone-bois, $\theta_{\text{mesure.SB}} = 28{,}3\ ^\circ\text{C}$, donc $T_{\text{mesure.SB}} = 28{,}3 + 273 = 301{,}3\,\text{K}$.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $T_{\text{mesure.SB}} = 301{,}3\,\text{K}$.

Question Q.10.

Sujet p. 4

> Calculer la valeur de la température de contact théorique notée Tcalcul.SB entre la poche de silicone et le bois.

On convertit d'abord les températures initiales en kelvins : $T_{i,\text{silicone}} = 34{,}1 + 273 = 307{,}1\,\text{K}$ et $T_{i,\text{bois}} = 19{,}6 + 273 = 292{,}6\,\text{K}$. On applique ensuite la relation de contact avec $E_{\text{silicone}} = 0{,}756 \times 10^3$ et $E_{\text{bois}} = 0{,}476 \times 10^3$:

$T_{\text{calcul.SB}} = \dfrac{756 \times 307{,}1 + 476 \times 292{,}6}{756 + 476} = 301{,}5\,\text{K}$ (arrondi au dixième de kelvin).

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> La température de contact théorique silicone-bois vaut $T_{\text{calcul.SB}} \approx 301{,}5\,\text{K}$.

Question Q.11.

Sujet p. 4

> Dans le cas du contact silicone-carrelage, on trouve expérimentalement Tmesure.SC = 297,2 K et on calcule Tcalcul.SC = 297,4 K. Comparer les valeurs des températures de contact mesurées Tmesure.SB et Tmesure.SC avec celles des températures de contact calculées Tcalcul.SB et Tcalcul.SC, et conclure.

Pour le contact silicone-bois, $T_{\text{mesure.SB}} = 301{,}3\,\text{K}$ et le calcul donne environ $301{,}5\,\text{K}$, soit un écart d'environ $0{,}2\,\text{K}$. Pour le contact silicone-carrelage, les valeurs sont respectivement $297{,}2\,\text{K}$ et $297{,}4\,\text{K}$, avec également un écart de $0{,}2\,\text{K}$.

Ces écarts sont faibles et du même ordre que l'incertitude type de $0{,}2\ ^\circ\mathrm{C}$ indiquée pour chaque mesure de température. Les températures mesurées sont donc compatibles avec les températures calculées, compte tenu des incertitudes expérimentales.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Pour les deux contacts, mesure et calcul sont en accord compte tenu de l'incertitude expérimentale ; le modèle de température de contact est compatible avec les mesures.

Question Q.12.

Sujet p. 2, 4

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

Le pied simulé par la poche de silicone est plus chaud que le sol. Au contact, l'énergie thermique quitte donc le pied. La température de contact théorique silicone-carrelage est d'environ $297{,}4\,\mathrm{K}$, inférieure à celle du contact silicone-bois, d'environ $301{,}5\,\mathrm{K}$.

La plus forte effusivité du carrelage lui permet d'absorber plus rapidement l'énergie thermique du pied et de maintenir une surface de contact plus froide. Le bois, de plus faible effusivité, se réchauffe plus rapidement en surface et absorbe moins d'énergie : le pied y perd moins vite sa chaleur. C'est pourquoi le carrelage est ressenti comme plus froid que le parquet, même si leurs températures initiales sont identiques.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le carrelage, de forte effusivité, extrait plus rapidement de l'énergie thermique du pied et donne une température de contact plus basse que le bois ; il paraît donc plus froid.

3. Transfert conducto-convectif

Question Q.13.

Sujet p. 5

> Préciser quel transfert thermique supplémentaire, lié à la présence d'eau liquide, apparaît dans le thermostat eau liquide/glace par rapport aux matériaux solides utilisés précédemment.

Avec un thermostat contenant de l'eau liquide, un transfert thermique supplémentaire apparaît par déplacement du fluide : la convection. Par rapport aux solides, le transfert à la surface de contact comporte donc une contribution convective, en plus de la conduction.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le transfert supplémentaire est la convection thermique de l'eau liquide.

Question Q.14.

Sujet p. 5

> 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. Pendant une durée très petite Δt, le transfert thermique correspondant est donc le flux multiplié par cette durée.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\Delta Q = \phi\,\Delta t$ (ou $dQ = \phi\,dt$ à la limite différentielle).

Question Q.15.

Sujet p. 5

> Montrer, par application du premier principe de la thermodynamique appliqué au silicone, que les variations de la température du silicone à l'intérieur de la poche peuvent être décrites par l'équation différentielle dθ/dt + (1/τ)×θ = (1/τ)×θT, avec τ = Csilicone/(heau-silicone×S).

On considère le silicone comme le système. Son énergie interne varie selon $dU = C_{\text{silicone}}\, d\theta$. Le flux reçu par le silicone est donné par $\phi = h_{\text{eau}-\text{silicone}} S(\theta_T - \theta)$, et le transfert pendant dt vaut $dQ = \phi\, dt$. En négligeant le travail, le premier principe donne $dU = dQ$, donc :

$C_{\text{silicone}}\, d\theta = h_{\text{eau}-\text{silicone}} S(\theta_T - \theta)\, dt$.

Après division par $C_{\text{silicone}} dt$ et réorganisation :

$$\frac{d\theta}{dt} + \frac{h_{\text{eau}-\text{silicone}} S}{C_{\text{silicone}}}\theta = \frac{h_{\text{eau}-\text{silicone}} S}{C_{\text{silicone}}}\theta_T.$$

En posant $\tau = \dfrac{C_{\text{silicone}}}{h_{\text{eau}-\text{silicone}} S}$, le coefficient hS/C devient $1/\tau$.

RÉPONSE À RETENIR

On obtient bien $\dfrac{d\theta}{dt} + \dfrac{1}{\tau}\theta = \dfrac{1}{\tau}\theta_T$, avec $\tau = \dfrac{C_{\text{silicone}}}{h_{\text{eau}-\text{silicone}} S}$.

Question Q.16.

Sujet p. 5, 10

> Comparer les deux courbes obtenues en annexe à rendre avec la copie et commenter.

Sur l'annexe, la température mesurée (points) et la température modélisée (courbe) diminuent toutes deux rapidement au début, puis plus lentement. Elles tendent vers une température proche de celle du thermostat, $0\ ^\circ\text{C}$; le modèle indique plus précisément une limite de $16{,}3 \times 10^{-3}\ ^\circ\text{C}$, pratiquement nulle à l'échelle du graphique. Les tracés sont proches sur l'ensemble du suivi, malgré de petits écarts entre les mesures et le modèle.

La courbe modélisée décrit donc convenablement le refroidissement observé, de type exponentiel.

RÉPONSE À RETENIR

Les deux courbes décroissent rapidement puis plus lentement, et tendent vers une température pratiquement nulle. Elles sont proches : le modèle décrit convenablement les mesures.

Question Q.17.

Sujet p. 5, 10

> Déterminer la valeur du temps caractéristique τ par construction graphique à réaliser sur l'annexe à rendre avec la copie.

Pour un refroidissement exponentiel $\theta(t) = \theta_T + (\theta(0) - \theta_T)e^{-t/\tau}$, le temps caractéristique τ se lit graphiquement comme l'abscisse à laquelle la tangente à la courbe à l'origine rejoint l'asymptote finale. On peut aussi le repérer lorsque l'écart à la température finale est ramené à $1/e$ de son écart initial.

Sur le graphique de l'annexe, l'axe horizontal est gradué en $10^3\ \text{s}$. La construction donne une abscisse d'environ $1{,}04$ sur cette échelle, en accord avec le dénominateur $1{,}04 \times 10^3$ de l'exponentielle du modèle figurant sur l'annexe.

RÉPONSE À RETENIR

$\tau \approx 1{,}04 \times 10^3\,\mathrm{s}$, soit environ $17{,}3\,\mathrm{min}$.

Question Q.18.

Sujet p. 5

Calculer la valeur de heau-silicone sachant que la poche utilisée a une capacité thermique Csilicone = 179 J·K⁻¹ et une surface totale immergée S = 0,0172 m².

On isole le coefficient dans $\tau = C_{\text{silicone}}/(h_{\text{eau}-\text{silicone}} S)$, soit $h_{\text{eau}-\text{silicone}} = C_{\text{silicone}}/(\tau S)$. Avec $C_{\text{silicone}} = 179\,\mathrm{J\,K^{-1}}$, $S = 0{,}0172\,\mathrm{m^2}$ et $\tau = 1{,}04 \times 10^3\,\mathrm{s}$:

$$h_{\text{eau}-\text{silicone}} = \frac{179}{(1{,}04 \times 10^3)(0{,}0172)} = 10{,}0\,\mathrm{J\,s^{-1}\,K^{-1}\,m^{-2}}.$$

RÉPONSE À RETENIR

$h_{\text{eau}-\text{silicone}} \approx 10{,}0\,\mathrm{J\,s^{-1}\,K^{-1}\,m^{-2}}$.

Question Q.19.

Sujet p. 5

Le coefficient conducto-convectif entre l'air et le silicone vaut hair-silicone = 3,51 J·s⁻¹·K⁻¹·m⁻². Comparer les valeurs des deux coefficients conducto-convectifs et indiquer le fluide dans lequel le pied se refroidit le plus vite.

Le coefficient entre l'eau et le silicone vaut environ $10{,}0\,\mathrm{J\,s^{-1}\,K^{-1}\,m^{-2}}$, contre $3{,}51\,\mathrm{J\,s^{-1}\,K^{-1}\,m^{-2}}$ entre l'air et le silicone. Le coefficient dans l'eau est donc environ $10{,}0/3{,}51 \approx 2{,}85$ fois plus grand.

À surface et écart de température comparables, un coefficient plus grand correspond à un flux thermique plus important, donc à un refroidissement plus rapide.

RÉPONSE À RETENIR

Le pied se refroidit plus vite dans l'eau que dans l'air, car $h_{\text{eau}-\text{silicone}} > h_{\text{air}-\text{silicone}}$.

Exercice 2

5 points

HOPE, l'espoir du dihydrogène vert

Question Q.1.

Sujet p. 6

> Une turbine d'éolienne flottante a produit une énergie électrique de 922 MW·h au cours du mois de décembre 2023. Déterminer, en MW·h, l'énergie moyenne produite par l'éolienne chaque jour de ce mois.

Décembre compte 31 jours. L'énergie moyenne par jour est l'énergie totale divisée par le nombre de jours :

$$E_{\text{moy}} = \frac{922\ \text{MW}\cdot\text{h}}{31} = 29{,}7419\ldots\ \text{MW}\cdot\text{h}\cdot\text{jour}^{-1}.$$

À trois chiffres significatifs, on obtient $29{,}7\ \text{MW}\cdot\text{h}\cdot\text{jour}^{-1}$.

RÉPONSE À RETENIR

L'énergie moyenne produite par l'éolienne est $\boxed{29{,}7\ \text{MW}\cdot\text{h par jour}}$ en décembre 2023.

Question Q.2.

Sujet p. 7, 10

> Compléter le document 2 de l'annexe à rendre avec la copie (page 10) en y faisant figurer le sens de circulation du courant électrique I et celui des électrons dans le circuit électrique.

Sur le document 2, la borne positive du générateur est reliée à l'électrode de gauche et sa borne négative à celle de droite. Dans une électrolyse, l'électrode reliée au pôle positif est l'anode et celle reliée au pôle négatif est la cathode.

Dans les fils, le courant conventionnel va de la borne positive vers l'anode, puis de la cathode vers la borne négative du générateur. Les électrons circulent en sens inverse dans les fils : de la borne négative vers la cathode, puis de l'anode vers la borne positive. Dans la solution, le courant est transporté par les ions.

RÉPONSE À RETENIR

À indiquer sur l'annexe : courant conventionnel du pôle $+$ vers l'électrode de gauche et de l'électrode de droite vers le pôle $-$. Les électrons circulent en sens inverse. L'électrode de gauche est l'anode ; celle de droite est la cathode.

Question Q.3.

Sujet p. 6, 7, 10

> Écrire les demi-équations électroniques des deux couples d'oxydoréduction mis en jeu dans la réaction. Dans les encadrés de l'annexe à rendre avec la copie (page 10), associer à chaque électrode de l'électrolyseur la demi-équation se produisant lors de l'électrolyse.

À la cathode, les ions H^+ gagnent des électrons : c'est une réduction. À l'anode, l'eau perd des électrons et forme du dioxygène : c'est une oxydation. Le document 2 relie la cathode au pôle négatif (électrode de droite) et l'anode au pôle positif (électrode de gauche).

RÉPONSE À RETENIR

À la cathode, électrode de droite reliée au pôle négatif :

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

À l'anode, électrode de gauche reliée au pôle positif :

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

Question Q.4.

Sujet p. 6, 7

En déduire l'équation de réaction modélisant la transformation qui a lieu au sein de l'électrolyseur.

On multiplie la demi-équation de réduction par 2 pour obtenir quatre électrons consommés, comme dans la demi-équation d'oxydation. En additionnant les deux demi-équations, les électrons et les ions $\mathrm{H^+}$ se simplifient :

$4\,\mathrm{H^+} + 4\,\mathrm{e^-} \rightarrow 2\,\mathrm{H_2}$ et $2\,\mathrm{H_2O} \rightarrow \mathrm{O_2} + 4\,\mathrm{H^+} + 4\,\mathrm{e^-}$.

RÉPONSE À RETENIR

L'équation de la réaction d'électrolyse est $\boxed{2\,\mathrm{H_2O(l)} \rightarrow 2\,\mathrm{H_2(g)} + \mathrm{O_2(g)}}$.

Question Q.5.

Sujet p. 6, 7

Exprimer en fonction de I, Δt et F la quantité de matière d'électrons échangés dans cet électrolyseur. Calculer sa valeur.

La charge transférée est $Q = I\Delta t$. Comme une mole d'électrons porte la charge F, la quantité de matière échangée vaut :

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

Conversions : $I = 7{,}25 \times 10^{-3}$ A et $\Delta t = 6 \times 60 + 47 = 407$ s. Ainsi, $Q = (7{,}25 \times 10^{-3})(407) = 2{,}95075$ C, puis $n(e^-) = \dfrac{2{,}95075}{96\,500} = 3{,}0578 \times 10^{-5}$ mol.

RÉPONSE À RETENIR

La quantité de matière d'électrons échangés est $\boxed{n(e^-) = 3{,}06 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}}$ à trois chiffres significatifs.

Question Q.6.

Sujet p. 6, 7

Montrer que la masse de dihydrogène produite vaut 3,06×10⁻⁵ g dans l'électrolyseur du laboratoire.

D'après la demi-équation à la cathode, deux électrons permettent de former une molécule de dihydrogène. Donc $n(\mathrm{H_2}) = n(e^-)/2$. La masse molaire du dihydrogène est $M(\mathrm{H_2}) = 2M(\mathrm{H}) = 2{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$. Ainsi :

$$m(\mathrm{H_2}) = n(\mathrm{H_2})M(\mathrm{H_2}) = \frac{3{,}0578 \times 10^{-5}}{2} \times 2{,}0 = 3{,}0578 \times 10^{-5}\ \mathrm{g}.$$

RÉPONSE À RETENIR

La masse produite vaut bien $\boxed{3{,}06 \times 10^{-5}\ \mathrm{g}}$.

Question Q.7.

Sujet p. 6, 7

> Calculer l'énergie nécessaire dans ces conditions pour récupérer 400 kg de dihydrogène, masse que l'industriel espère récupérer par jour. Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti ; la démarche est évaluée et doit être correctement présentée.

On suppose que l'énergie électrique consommée est proportionnelle à la masse de dihydrogène produite et que les conditions électriques restent identiques. Au laboratoire, la charge transférée vaut $Q = I\Delta t = 2{,}95075\ \mathrm{C}$, donc l'énergie fournie à l'électrolyseur est $E_{\text{labo}} = UQ$:

$$E_{\text{labo}} = 4{,}74 \times 2{,}95075 = 13{,}9866\ \mathrm{J}.$$

La masse visée est $400\ \mathrm{kg} = 4{,}00 \times 10^{5}\ \mathrm{g}$. Le facteur d'échelle par rapport à l'expérience est $\dfrac{4{,}00 \times 10^{5}}{3{,}0578 \times 10^{-5}}$. Par conséquent :

$$E_{400\,\mathrm{kg}} = 13{,}9866 \times \frac{4{,}00 \times 10^{5}}{3{,}0578 \times 10^{-5}} \simeq 1{,}83 \times 10^{11}\ \mathrm{J}.$$

Avec $1\ \mathrm{MW\cdot h} = 3{,}6 \times 10^{9}\ \mathrm{J}$, cela donne $E_{400\,\mathrm{kg}} \simeq \dfrac{1{,}83 \times 10^{11}}{3{,}6 \times 10^{9}} = 50{,}8\ \mathrm{MW\cdot h}$.

RÉPONSE À RETENIR

Dans l'hypothèse d'une extrapolation proportionnelle à la masse produite, l'énergie nécessaire pour récupérer $400\ \mathrm{kg}$ de dihydrogène est d'environ $\boxed{1{,}83 \times 10^{11}\ \mathrm{J}}$, soit $\boxed{50{,}8\ \mathrm{MW\cdot h}}$.

Question Q.8.

Sujet p. 6, 7

> Vérifier si ce résultat est cohérent avec le résultat trouvé dans la question Q.1. Commenter.

La production moyenne quotidienne de l'éolienne, calculée à la question Q.1, est de $29{,}7\ \mathrm{MW\cdot h}$. L'énergie estimée à la question Q.7 pour produire les $400\ \mathrm{kg}$ de dihydrogène visés par jour est de $50{,}8\ \mathrm{MW\cdot h}$. Or $50{,}8 > 29{,}7$: l'énergie nécessaire estimée dépasse la production électrique moyenne quotidienne indiquée.

Les résultats ne sont donc pas cohérents avec une production de $400\ \mathrm{kg}$ par jour alimentée uniquement par cette énergie moyenne. Cette comparaison repose sur l'extrapolation des conditions de laboratoire à l'installation industrielle ; les rendements et les conditions réelles peuvent différer.

RÉPONSE À RETENIR

Non : selon l'extrapolation effectuée, produire $400\ \mathrm{kg}$ de dihydrogène par jour demanderait environ $50{,}8\ \mathrm{MW\cdot h}$, contre seulement $29{,}7\ \mathrm{MW\cdot h}$ produits en moyenne par jour. La production visée ne peut donc pas être assurée par la seule énergie moyenne de l'éolienne indiquée dans le sujet.

Exercice 3

4 points

La lessive de cendre

1. Étude de l'ion carbonate

Question Q.1.

Sujet p. 8

> Définir une espèce chimique basique selon Brønsted.

Selon Brønsted, une base est une espèce chimique capable de capter un proton. En captant ce proton, elle se transforme en son acide conjugué.

RÉPONSE À RETENIR

Une espèce chimique basique selon Brønsted est une espèce capable de capter un proton $\mathrm{H^+}$.

Question Q.2.

Sujet p. 8

> On pèse une masse m = 3,0 g de carbonate de potassium $K_2CO_3(s)$, que l'on dissout dans une fiole jaugée de 100,0 mL pour obtenir la solution aqueuse S. Calculer la concentration en quantité de matière des ions carbonate dans la solution S.

La dissolution du carbonate de potassium s'écrit $\mathrm{K_2CO_3(s) \rightarrow 2K^+(aq) + CO_3^{2-}(aq)}$. Une mole de $\mathrm{K_2CO_3}$ apporte donc une mole d'ions carbonate.

La quantité de matière de carbonate de potassium dissoute vaut $n = m/M = 3{,}0/138{,}0 = 2{,}17 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$. Le volume de la solution est $100{,}0\ \mathrm{mL} = 0{,}1000\ \mathrm{L}$, et $c = n/V$.

RÉPONSE À RETENIR

On obtient $[\mathrm{CO_3^{2-}}]_S = \dfrac{2{,}17 \times 10^{-2}}{0{,}1000} = 0{,}217\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, soit, avec les chiffres significatifs des données, $\boxed{[\mathrm{CO_3^{2-}}]_S = 0{,}22\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}}$.

Question Q.3.

Sujet p. 8

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

L'ion carbonate capte un proton à l'eau et devient un ion hydrogénocarbonate ; l'eau qui cède ce proton devient un ion hydroxyde. La réaction acido-basique s'écrit :

RÉPONSE À RETENIR

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

Les atomes et la charge totale, égale à -2 de chaque côté, sont conservés. La double flèche traduit le caractère limité de la réaction.

Question Q.4.

Sujet p. 8

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

À 25 °C, $\mathrm{pH} + \mathrm{pOH} = \mathrm{p}K_e = 14{,}0$. Ainsi, $\mathrm{pOH} = 14{,}0 - 11{,}8 = 2{,}2$. Or $\mathrm{pOH} = -\log_{10}([\mathrm{HO}^-])$, lorsque la concentration est exprimée en $\mathrm{mol}\cdot\mathrm{L}^{-1}$.

RÉPONSE À RETENIR

$$[\mathrm{HO}^-]_S = 10^{-2{,}2} = 6{,}3\times10^{-3}\ \mathrm{mol}\cdot\mathrm{L}^{-1}.$$

Question Q.5.

Sujet p. 8

> 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.

D'après Q.2 et Q.4, $[\mathrm{CO}_3^{2-}]_{\text{apportée}} \simeq 0{,}217\ \mathrm{mol}\cdot\mathrm{L}^{-1}$ et $[\mathrm{HO}^-]_S = 6{,}3\times10^{-3}\ \mathrm{mol}\cdot\mathrm{L}^{-1}$. Le rapport vaut $\dfrac{6{,}3\times10^{-3}}{0{,}217} \simeq 2{,}9\times10^{-2}$, soit environ $2{,}9\ \%$.

La concentration en ions hydroxyde formés est donc très inférieure à la concentration apportée en ions carbonate. La réaction avec l'eau ne concerne qu'une faible fraction des ions carbonate.

RÉPONSE À RETENIR

Comme $[\mathrm{HO}^-]_S \ll [\mathrm{CO}_3^{2-}]_{\text{apportée}}$, l'ion carbonate se comporte comme une base faible. La lessive peut ainsi être assimilée, pour cette étude, à une solution d'ions carbonate.

2. Titrage des espèces basiques contenues dans la lessive de cendre

Question Q.6.

Sujet p. 9

> Écrire les demi-équations des deux couples acide-base mettant en jeu les ions carbonate et du couple $H_2O(aq)/HO^-(aq)$, et justifier que l'équation support de la réaction de titrage s'écrit : $CO_3^{2-}(aq) + 2\ H_3O^+(aq) \rightarrow H_2CO_3(aq) + 2\ H_2O(l)$.

Les demi-équations acide-base des couples du système carbonate, écrites dans le sens où l'acide cède un proton, sont :

$$\mathrm{H_2CO_3(aq)} \rightleftharpoons \mathrm{HCO_3^-(aq)} + \mathrm{H^+(aq)}$$
$$\mathrm{HCO_3^-(aq)} \rightleftharpoons \mathrm{CO_3^{2-}(aq)} + \mathrm{H^+(aq)}.$$

Pour le couple $\mathrm{H_2O(l)/HO^-(aq)}$, on a $\mathrm{H_2O(l)} \rightleftharpoons \mathrm{HO^-(aq)} + \mathrm{H^+(aq)}$. Lors du titrage, le carbonate est protoné en deux étapes par les ions oxonium :

$$\mathrm{CO_3^{2-}(aq)} + \mathrm{H_3O^+(aq)} \rightarrow \mathrm{HCO_3^-(aq)} + \mathrm{H_2O(l)}$$
$$\mathrm{HCO_3^-(aq)} + \mathrm{H_3O^+(aq)} \rightarrow \mathrm{H_2CO_3(aq)} + \mathrm{H_2O(l)}.$$

En additionnant ces réactions, l'ion hydrogénocarbonate intermédiaire s'élimine.

RÉPONSE À RETENIR

L'équation support du titrage est donc :

$$\mathrm{CO_3^{2-}(aq) + 2H_3O^+(aq) \rightarrow H_2CO_3(aq) + 2H_2O(l)}.$$

Les atomes et la charge totale sont conservés de part et d'autre.

Question Q.7.

Sujet p. 9

Déterminer la valeur de la concentration en quantité de matière en ions carbonate de la lessive de cendre S_0. La solution S_1 est obtenue par dilution par 10 de S_0 ; le titrage porte sur V_1 = 10,0 mL de S_1 avec une solution titrante d'acide chlorhydrique de concentration cA = 5,00×10⁻³ mol·L⁻¹ et le volume équivalent vaut Veq = 17,0 mL. Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti ; la démarche est évaluée et doit être correctement présentée.

La réaction de titrage montre qu'une mole d'ions carbonate réagit avec deux moles d'ions oxonium. À l'équivalence, $n(\mathrm{CO_3^{2-}}) = n(\mathrm{H_3O^+})/2$.

La quantité d'ions oxonium versée à l'équivalence est, avec $V_{\mathrm{eq}} = 17{,}0\ \mathrm{mL} = 17{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{L}$:

$$n(\mathrm{H_3O^+}) = c_A V_{\mathrm{eq}} = (5{,}00 \times 10^{-3})(17{,}0 \times 10^{-3}) = 8{,}50 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}.$$

La prise d'essai de $V_1 = 10{,}0\ \mathrm{mL} = 0{,}0100\ \mathrm{L}$ contient donc $4{,}25 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol}$ d'ions carbonate. Ainsi, $c_{S_1} = \dfrac{4{,}25 \times 10^{-5}}{0{,}0100} = 4{,}25 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$. La solution S_1 étant issue d'une dilution par 10 de S_0, sa concentration est dix fois plus faible.

RÉPONSE À RETENIR

La concentration en ions carbonate dans la lessive de cendre S_0 vaut donc

$$\boxed{c_{S_0} = 10 c_{S_1} = 4{,}25 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}}.$$

Question Q.8.

Sujet p. 9

Des mesures effectuées conduisent à qualifier l'eau 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.

Pour une eau dure, l'étiquette préconise entre $6{,}0 \times 10^{-3}$ et $1{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$ d'espèces basiques. En assimilant ces espèces aux ions carbonate et en utilisant $c_{S_0} = 4{,}25 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, on calcule les volumes avec $V = n/c$:

$$V_{\min} = \frac{6{,}0 \times 10^{-3}}{4{,}25 \times 10^{-2}} = 0{,}141\ \mathrm{L}, \qquad V_{\max} = \frac{1{,}0 \times 10^{-2}}{4{,}25 \times 10^{-2}} = 0{,}235\ \mathrm{L}.$$

Ces volumes correspondent respectivement à environ $141\ \mathrm{mL}$ et $235\ \mathrm{mL}$.

RÉPONSE À RETENIR

Pour une machine contenant $5\ \mathrm{kg}$ de linge et une eau dure, il faut introduire environ $\boxed{0{,}14\ \mathrm{L}\ \text{à}\ 0{,}24\ \mathrm{L}}$ de lessive de cendre, soit 141 à $235\ \mathrm{mL}$. Cet intervalle ne recoupe que partiellement celui indiqué pour une lessive commerciale, de 50 à $150\ \mathrm{mL}$: sa borne basse est proche de cette recommandation, mais sa borne haute la dépasse. Pour atteindre les quantités d'espèces basiques préconisées, il faut donc généralement un volume de lessive de cendre supérieur à celui de la lessive commerciale.

Sujet : https://www.sujetdebac.fr/annales-pdf/2026/spe-physique-chimie-2026-amerique-nord-2-sujet-officiel.pdf
© FormaV EI • Proposition de correction, distincte d'un corrigé officiel.

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.