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

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL • CORRIGÉ DÉTAILLÉ

Physique-chimie

Session 2022 • Jour 1

Code sujet **22-PYCJ1NC1** 3 heures 30

Proposition de corrigé pédagogique • FormaV

Se repérer dans le corrigé

Exercice 1 — Ingenuity, le premier hélicoptère à voler sur Mars
18 réponses • sujet p. 2–7

Exercice A — Étude de l’acide benzoïque et du benzoate de sodium
11 réponses • sujet p. 8–18

Exercice B — Qualité des eaux souterraines sur le littoral
7 réponses • sujet p. 11–14

Exercice C — La pile au méthanol
10 réponses • sujet p. 15–18

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

Exercice 1

10 points

Ingenuity, le premier hélicoptère à voler sur Mars

PARTIE A : L'atmosphère de Mars

Question A.1.

Sujet p. 2, 3

> En supposant que l'air est un gaz parfait, montrer que la masse volumique de l'air sur Terre, en kg·m⁻³, vérifie la relation ρ_Terre = PM/(RT).

Pour un gaz parfait, la relation d'état est $PV = nRT$. Si M est la masse molaire de l'air, sa masse est $m = nM$, et sa masse volumique vaut $\rho = m/V = nM/V$. En divisant la relation des gaz parfaits par VRT, on obtient $n/V = P/(RT)$. Ainsi, $\rho = PM/(RT)$. Avec M en $\mathrm{kg\,mol^{-1}}$, l'unité de ρ est bien $\mathrm{kg\,m^{-3}}$.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{\rho_{\text{Terre}} = \frac{PM}{RT}}$$

Question A.2.

Sujet p. 2, 3

> Calculer la valeur de la masse volumique de l'air sur Terre pour une température de l'air de 15 °C.

On convertit la température en kelvins : $T = 15 + 273{,}15 = 288{,}15\ \mathrm{K}$. On applique la relation précédente avec $P = 1{,}013 \times 10^5\ \mathrm{Pa}$, $M = 29{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{kg\,mol^{-1}}$ et $R = 8{,}314\ \mathrm{J\,K^{-1}\,mol^{-1}}$:

$$\rho_{\text{Terre}} = \frac{(1{,}013 \times 10^5)(29{,}0 \times 10^{-3})}{8{,}314 \times 288{,}15} \approx 1{,}23\ \mathrm{kg\,m^{-3}}.$$

RÉPONSE À RETENIR

À $15\ ^\circ\mathrm{C}$, la masse volumique de l'air sur Terre vaut environ $\boxed{1{,}23\ \mathrm{kg\,m^{-3}}}$.

Question A.3.

Sujet p. 2, 3

> La masse volumique de l'atmosphère sur Mars est égale à 1 % de celle de l'air sur Terre. En déduire la valeur de la masse volumique de l'atmosphère sur Mars à la température de 15 °C.

La masse volumique martienne vaut $1\ \%$ de celle de l'air terrestre. On multiplie donc le résultat de A.2 par $0{,}01$:

$$\rho_{\text{Mars}} = 0{,}01 \times 1{,}23 = 0{,}0123\ \mathrm{kg\,m^{-3}}.$$

RÉPONSE À RETENIR

À $15\ ^\circ\mathrm{C}$, $\boxed{\rho_{\text{Mars}} \approx 1{,}2 \times 10^{-2}\ \mathrm{kg\,m^{-3}}}$.

Question A.4.

Sujet p. 2, 3

> Sachant que la portance est proportionnelle à la masse volumique de l'atmosphère dans laquelle se trouve l'engin,

expliquer pourquoi c'est un « défi technologique » de faire voler un hélicoptère sur Mars.

La portance est proportionnelle à la masse volumique de l'atmosphère. À conditions comparables, une atmosphère cent fois moins dense fournit une portance cent fois plus faible. Il faut donc compenser cette faible densité pour que la portance puisse au moins équilibrer le poids, notamment en concevant des pales capables de tourner très rapidement.

RÉPONSE À RETENIR

Le vol sur Mars est un défi technologique car l'atmosphère martienne, cent fois moins dense que l'atmosphère terrestre, rend la portance beaucoup plus faible à vitesse de rotation comparable. Il faut donc obtenir une portance suffisante malgré cette faible densité.

PARTIE B : La phase de décollage

Question B.1.

Sujet p. 2, 3, 4

Déterminer la valeur de la vitesse de rotation minimale des pâles d'Ingenuity sur Terre et sur Mars afin que l'hélicoptère décolle. Commenter le résultat. La portance doit au moins compenser le poids de l'hélicoptère ; exploiter les figures 2 et 3.

Le décollage est possible lorsque la portance est au moins égale au poids $P = mg$. La masse donnée pour Ingenuity est $m = 1{,}8\ \text{kg}$. Sur Terre, $P_{\text{Terre}} = 1{,}8 \times 9{,}8 = 17{,}64\ \text{N}$. Sur Mars, $P_{\text{Mars}} = 1{,}8 \times 3{,}7 = 6{,}66\ \text{N}$. On lit ensuite sur chaque graphique la vitesse de rotation correspondant à cette portance. Les lectures restent approximatives car elles sont faites sur des courbes graduées.

RÉPONSE À RETENIR

Sur Terre, une portance d'environ $17{,}6\ \text{N}$ est atteinte vers $\boxed{400\ \text{tpm}}$. Sur Mars, une portance d'environ $6{,}7\ \text{N}$ est atteinte vers $\boxed{2\,500\ \text{tpm}}$. Les pales doivent donc tourner beaucoup plus vite sur Mars pour permettre le décollage.

PARTIE C : Une phase d'atterrissage délicate

Question C.1.

Sujet p. 2, 4, 5

Appliquer la deuxième loi de Newton afin d'exprimer la coordonnée a_z(t) du vecteur accélération de l'hélicoptère lors de la phase de chute libre.

En chute libre, on néglige les frottements de l'air : la seule force exercée sur l'hélicoptère est son poids. Avec l'axe Oz orienté vers le haut, le poids a pour coordonnée verticale $-mg_{\text{M}}$. La deuxième loi de Newton donne $ma_z = -mg_{\text{M}}$, donc $a_z = -g_{\text{M}}$.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{a_z(t) = -g_{\text{M}} = -3{,}7\ \text{m}\,\text{s}^{-2}}$$

Question C.2.

Sujet p. 2, 4, 5

En déduire, dans le repère défini, la coordonnée v_z(t) du vecteur vitesse de l'hélicoptère lors de la phase de chute

libre.

Comme $a_z = \mathrm{d}v_z/\mathrm{d}t = -g_\mathrm{M}$, l'intégration donne $v_z(t) = -g_\mathrm{M}t + v_z(0)$. Au départ, l'hélicoptère est en vol stationnaire, donc $v_z(0) = 0$.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{v_z(t) = -3{,}7t \ \mathrm{m\,s^{-1}}}$$

avec t exprimé en secondes.

Question C.3.

Sujet p. 2, 4, 5

Déduire des résultats précédents l'équation horaire z(t) du mouvement de l'hélicoptère lors de la phase de chute libre.

On intègre la loi de vitesse : $z(t) = -\frac{1}{2}g_\mathrm{M}t^2 + z(0)$. L'hélicoptère est initialement à l'altitude $z(0) = H = 1{,}0 \ \mathrm{m}$.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{z(t) = 1{,}0 - 1{,}85t^2 \ \mathrm{m}}$$

avec t en secondes.

Question C.4.

Sujet p. 2, 4, 5

Déterminer la durée t_sol au bout de laquelle l'hélicoptère atteindra le sol martien.

L'hélicoptère atteint le sol lorsque $z(t_\mathrm{sol}) = 0$. Ainsi, $1{,}0 - \frac{1}{2}(3{,}7)t_\mathrm{sol}^2 = 0$, d'où $t_\mathrm{sol} = \sqrt{2H/g_\mathrm{M}}$. On retient la solution positive, seule compatible avec une durée.

RÉPONSE À RETENIR

$$t_\mathrm{sol} = \sqrt{\frac{2 \times 1{,}0}{3{,}7}} \approx 0{,}735 \ \mathrm{s}.$$

La durée de chute est donc $\boxed{t_\mathrm{sol} \approx 0{,}74 \ \mathrm{s}}$.

Question C.5.

Sujet p. 2, 4, 5

Déterminer la vitesse v_sol de l'hélicoptère au moment de l'impact sur le sol martien.

À l'impact, $v_z(t_\mathrm{sol}) = -g_\mathrm{M}t_\mathrm{sol}$. Le signe négatif indique que l'hélicoptère se déplace vers le bas.

RÉPONSE À RETENIR

$$v_z(t_\mathrm{sol}) = -3{,}7 \times 0{,}735 \approx -2{,}72 \ \mathrm{m\,s^{-1}}.$$

La vitesse d'impact en valeur est donc $\boxed{2{,}7 \ \mathrm{m\,s^{-1}}}$, vers le bas.

Question C.6.

Sujet p. 2, 5

> Lors des essais préparatoires réalisés sur Terre, des vitesses d'impact de l'ordre de 16 km·h⁻¹ ont été enregistrées. Le train d'atterrissage d'Ingenuity a été conçu pour résister à de telles vitesses. Indiquer, en justifiant, si le train d'atterrissage est assez résistant pour une utilisation sur la planète Mars.

On convertit la vitesse de résistance indiquée : $16\ \mathrm{km\,h^{-1}} = 16/3{,}6 \approx 4{,}44\ \mathrm{m\,s^{-1}}$. La vitesse d'impact martienne calculée en C.5 est d'environ $2{,}7\ \mathrm{m\,s^{-1}}$, soit $2{,}7 \times 3{,}6 \approx 9{,}8\ \mathrm{km\,h^{-1}}$. Elle est inférieure à la vitesse de référence.

RÉPONSE À RETENIR

Oui : selon cette comparaison, le train d'atterrissage est assez résistant pour une utilisation sur Mars, car la vitesse d'impact calculée, environ $9{,}8\ \mathrm{km\,h^{-1}}$, est inférieure aux $16\ \mathrm{km\,h^{-1}}$ auxquels il a été conçu pour résister.

PARTIE D : Mesure de l'altitude au cours d'un vol

Question D.1.

Sujet p. 5

> Montrer que l'équation différentielle qui régit l'évolution de la tension aux bornes du condensateur lors de sa décharge (interrupteur en position 2) s'écrit du_c/dt + u_c/(RC) = 0.

En position 2, le générateur est déconnecté et le condensateur se décharge dans la résistance. On choisit le sens de référence du courant i comme indiqué sur la figure, vers la droite sur la branche supérieure. La loi d'Ohm et la loi des mailles donnent alors $u_R = u_c$, donc $i = u_c/R$. Pour le condensateur, avec ce sens de référence, $i = -C\,\mathrm{d}u_c/\mathrm{d}t$, car sa tension diminue pendant la décharge. En combinant ces relations, $-C\,\mathrm{d}u_c/\mathrm{d}t = u_c/R$, puis on divise par C.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{\frac{\mathrm{d}u_c}{\mathrm{d}t} + \frac{u_c}{RC} = 0}$$

Question D.2.

Sujet p. 5

> Montrer que la solution de cette équation différentielle s'écrit u_c(t) = E × e^(−t/τ), où τ est le temps caractéristique de cette décharge à exprimer en fonction de R et C.

On pose $u_c(t) = E\exp(-t/\tau)$. Alors $\mathrm{d}u_c/\mathrm{d}t = -u_c/\tau$. En substituant dans l'équation différentielle, on obtient $-u_c/\tau + u_c/(RC) = 0$, ce qui impose $\tau = RC$. La condition initiale est également satisfaite puisque $u_c(0) = E$.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{u_c(t) = E\exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \qquad \tau = RC}$$

Question D.3.1.

Sujet p. 5, 6

> Déterminer, à l'aide du graphe de la figure 6 et en justifiant la réponse, la valeur de la tension E.

La tension initiale est la valeur de la courbe à l'instant $t = 0$. Sur la figure 6, la courbe démarre à environ $6\ \text{V}$. Or $u_c(0) = E$.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{E \approx 6{,}0\ \text{V}}$$

Question D.3.2.

Sujet p. 5, 6

> Déterminer, à l'aide du graphe de la figure 6 et en justifiant la réponse, la valeur du temps caractéristique τ.

Au temps caractéristique τ, une décharge exponentielle vérifie $u_c(\tau) = E/e$. Ici, $E/e \approx 6/2{,}718 \approx 2{,}2\ \text{V}$. Sur la figure 6, la tension atteint environ $2{,}2\ \text{V}$ pour $t \approx 0{,}10\ \text{s}$.

RÉPONSE À RETENIR

La lecture graphique donne $\boxed{\tau \approx 0{,}10\ \text{s}}$.

Question D.4.

Sujet p. 5, 6

> En déduire que la capacité du condensateur au niveau du sol vaut environ C_0 = 100 µF.

Le temps caractéristique vérifie $\tau = RC$, donc $C_0 = \tau / R$. Avec $R = 1{,}0\ \text{k}\Omega = 1{,}0 \times 10^3\ \Omega$ et $\tau \approx 0{,}10\ \text{s}$, on trouve :

$$C_0 = \frac{0{,}10}{1{,}0 \times 10^3} = 1{,}0 \times 10^{-4}\ \text{F}.$$

Comme $1\ \text{F} = 10^6\ \mu\text{F}$, cette valeur correspond à $100\ \mu\text{F}$.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{C_0 \approx 1{,}0 \times 10^{-4}\ \text{F} = 100\ \mu\text{F}}$$

Question D.5.

Sujet p. 6, 7

> Expliquer comment évolue la capacité C du condensateur lorsque le drone s'éloigne du sol. On supposera que la surface des armatures reste constante.

Pour un condensateur plan, $C = \varepsilon S / e$. La surface S des armatures et la permittivité ε étant considérées constantes, la capacité est inversement proportionnelle à l'écartement e. Lorsque le drone s'élève, la pression extérieure diminue et, d'après les figures, l'écartement entre les armatures augmente.

RÉPONSE À RETENIR

La capacité C diminue lorsque le drone s'éloigne du sol, puisque l'augmentation de e entraîne la diminution de $C = \varepsilon S / e$.

Question D.6.

> Estimer la valeur de la capacité C du condensateur à 5,0 m du sol sachant que la variation de pression par rapport au sol provoque une augmentation de l'épaisseur e de 10 %. On rappelle que la capacité C_0 du condensateur au niveau du sol est égale à 100 µF.

À surface et permittivité constantes, C est inversement proportionnelle à e. Une augmentation de l'épaisseur de $10\ \%$ signifie $e = 1{,}10 e_0$, donc $C = C_0 / 1{,}10$. Avec $C_0 = 100\ \mu\text{F}$:

$$C = \frac{100}{1{,}10} \approx 90{,}9\ \mu\text{F}.$$

RÉPONSE À RETENIR

À $5{,}0\ \text{m}$ du sol, la capacité est estimée à $\boxed{91\ \mu\text{F}}$, soit environ $90\ \mu\text{F}$.

Exercice A

5 points

Étude de l'acide benzoïque et du benzoate de sodium

PARTIE A : Réaction de l'acide benzoïque avec l'eau

Question A.1.

Sujet p. 8

> Calculer la masse m_0 d'acide benzoïque qu'il faut peser pour préparer la solution S_0 de volume V_0 = 100 mL et de concentration c_0 = 1,0 × 10⁻² mol·L⁻¹. La solution est-elle saturée ?

On calcule d'abord la quantité de matière à introduire avec la relation $n_0 = C_0 V_0$, en exprimant le volume en litres : $V_0 = 100\ \text{mL} = 0{,}100\ \text{L}$.

$$n_0 = (1{,}0 \times 10^{-2})(0{,}100) = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol}.$$

La masse molaire de l'acide benzoïque vaut $M_3 = 122\ \text{g mol}^{-1}$. Ainsi, $m_0 = n_0 M_3 = 1{,}22 \times 10^{-1}\ \text{g}$, soit $0{,}12\ \text{g}$ avec deux chiffres significatifs. Pour vérifier la saturation, on compare la concentration massique à la solubilité : $C_0 M_3 = 1{,}22\ \text{g L}^{-1}$, valeur inférieure à $2{,}4\ \text{g L}^{-1}$.

RÉPONSE À RETENIR

Il faut peser $m_0 \simeq 0{,}12\ \text{g}$ d'acide benzoïque. La solution n'est pas saturée, car sa concentration massique, environ $1{,}2\ \text{g L}^{-1}$, est inférieure à la solubilité $2{,}4\ \text{g L}^{-1}$.

Question A.2.

Sujet p. 8

> Écrire l'équation de la réaction de l'acide benzoïque avec l'eau.

L'acide benzoïque cède un proton à l'eau, qui devient alors l'ion oxonium. On écrit la réaction acide-base en équilibrant les atomes et les charges.

RÉPONSE À RETENIR

$$\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}_{(\text{aq})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{l})} \rightleftharpoons \text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-_{(\text{aq})} + \text{H}_3\text{O}^+_{(\text{aq})}$$

Question A.3.

Sujet p. 8

> Tracer le diagramme de prédominance du couple acide benzoïque/ion benzoate et préciser quelle est l'espèce prédominante dans la solution S_0.

Pour le couple $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}/\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$, la frontière de prédominance est au $\text{pH} = \text{p}K_{A1} = 4{,}2$. La forme acide prédomine si le pH est inférieur à cette valeur ; la forme basique prédomine si le pH lui est supérieur. Le pH de S_0 vaut 3,1.

```
pH :  0 ——— C₆H₅COOH prédomine ——— 4,2 ——— C₆H₅COO⁻ prédomine ——— 14
                                    pKa
```

RÉPONSE À RETENIR

Dans S_0, l'espèce prédominante est l'acide benzoïque $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$, car $3{,}1 < 4{,}2$.

Question A.4.

Sujet p. 8, 18

> Compléter le tableau d'avancement de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE (page 18) correspondant à cette transformation chimique, en fonction de c_0, V_0 et x_eq, avancement à l'état d'équilibre.

On utilise l'équation de la réaction écrite en A.2. Les coefficients stœchiométriques étant égaux à 1, une quantité x d'acide consommée entraîne la formation de quantités x de benzoate et d'ions oxonium. L'eau, solvant en grand excès, est inscrite dans le tableau avec sa quantité initiale, non précisée dans le sujet.

État du système	Avancement (mol)	C_6H_5COOH (mol)	H_2O (mol)	$C_6H_5COO^-$ (mol)	H_3O^+ (mol)
État initial	0	C_0V_0	$n_{\text{eau},0}$	0	0
État final (à l'équilibre)	$x_{\text{éq}}$	$C_0V_0 - x_{\text{éq}}$	$n_{\text{eau},0} - x_{\text{éq}}$	$x_{\text{éq}}$	$x_{\text{éq}}$

RÉPONSE À RETENIR

Le tableau ci-dessus complète le tableau d'avancement de l'annexe. L'équation associée est $C_6H_5COOH + H_2O \rightleftharpoons C_6H_5COO^- + H_3O^+$.

Question A.5.

Sujet p. 8, 9

> Calculer l'avancement maximal x_max.

L'eau est le solvant, en grand excès ; l'acide benzoïque est donc le réactif limitant. Comme son coefficient stœchiométrique vaut 1, l'avancement maximal est égal à sa quantité de matière initiale : $x_{\max} = C_0V_0$. Avec $V_0 = 0{,}100\ \text{L}$, on obtient $x_{\max} = (1{,}0 \times 10^{-2})(0{,}100)$.

RÉPONSE À RETENIR

$$x_{\max} = 1{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol}.$$

Question A.6.

Sujet p. 8, 9

> Montrer que le taux d'avancement final τ s'écrit τ = $[H_3O^+]_{éq}/c_0$, puis le calculer. Ce résultat est-il en accord avec la réponse à la question A.3 ?

Par définition, $\tau = x_{\text{éq}}/x_{\max}$. D'après le tableau d'avancement, la réaction forme $x_{\text{éq}}$ mole d'ions oxonium à l'équilibre. En assimilant leur concentration mesurée à la concentration due à la réaction, $[H_3O^+]_{\text{éq}} = x_{\text{éq}}/V_0$. De plus, $x_{\max} = C_0V_0$. Donc :

$$\tau = \frac{x_{\text{éq}}}{C_0V_0} = \frac{[H_3O^+]_{\text{éq}}}{C_0}.$$

Le pH mesuré donne $[H_3O^+]_{\text{éq}} = 10^{-3{,}1} = 7{,}9 \times 10^{-4}\ \text{mol}\,\text{L}^{-1}$. Ainsi, $\tau = (7{,}9 \times 10^{-4})/(1{,}0 \times 10^{-2})$.

RÉPONSE À RETENIR

$\tau \simeq 7{,}9 \times 10^{-2}$, soit environ $7{,}9\ \%$. Le résultat est cohérent avec A.3 : la réaction n'a transformé qu'une faible fraction de l'acide, qui reste donc l'espèce prédominante.

PARTIE B : La synthèse de l’acide benzoïque — À propos du mode opératoire

Question B.1.1.

Sujet p. 9

> Au vu du mode opératoire décrit, sur quels facteurs cinétiques se base-t-on pour réaliser plus rapidement cette synthèse ?

Le protocole indique que le mélange est porté à ébullition douce. L’augmentation de la température accroît la vitesse de réaction : c’est le facteur cinétique explicitement mis en œuvre. Le protocole ne donne pas de valeurs de concentration permettant d’établir un autre facteur cinétique quantifié.

RÉPONSE À RETENIR

Le facteur cinétique utilisé est l’augmentation de la température par chauffage du mélange réactionnel.

Question B.1.2.

Sujet p. 9

> Préciser quels sont les avantages du chauffage à reflux du mélange réactionnel.

Le chauffage augmente la vitesse de réaction. Dans un montage à reflux, les vapeurs sont refroidies dans le réfrigérant, se condensent et retombent dans le ballon. Cela permet de chauffer le mélange sans perte significative de réactifs ou de produits volatils.

RÉPONSE À RETENIR

Le chauffage à reflux accélère la réaction tout en limitant les pertes de matière : les vapeurs se condensent dans le réfrigérant et retournent dans le ballon.

PARTIE B : La synthèse de l’acide benzoïque — Étude de la réaction de synthèse de l’acide benzoïque

Question B.2.1.

Sujet p. 8, 9

> Déterminer la quantité de matière n_1 d’alcool benzylique contenue dans la prise d’essai de 2,0 mL.

La masse volumique de l’alcool benzylique est $\rho_1 = 1{,}0\ \mathrm{g\,mL^{-1}}$. Pour $V_1 = 2{,}0\ \mathrm{mL}$, sa masse vaut $m_1 = \rho_1 V_1 = 2{,}0\ \mathrm{g}$. Avec $M_1 = 108\ \mathrm{g\,mol^{-1}}$, on calcule :

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{2{,}0}{108} = 1{,}85 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}.$$

RÉPONSE À RETENIR

La prise d’essai contient $n_1 \simeq 1{,}9 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$ d’alcool benzylique.

Question B.2.2.

Sujet p. 8, 9, 10

> Lors de la cristallisation, le passage de l'ion benzoate à l'acide benzoïque se fait selon l'équation chimique $C_6H_5CO_2^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightleftarrows C_6H_5CO_2H(s) + H_2O(l)$. Calculer la quantité de matière théorique d'acide benzoïque que l'on pourrait obtenir si la transformation était totale, sachant que l'alcool benzylique est le réactif limitant.

Dans l'équation d'oxydoréduction, 3 moles d'alcool benzylique produisent 3 moles d'ions benzoate : le rapport stœchiométrique est 1:1. La cristallisation transforme ensuite un ion benzoate en une molécule d'acide benzoïque, également selon un rapport 1:1. L'alcool étant indiqué comme réactif limitant, la quantité théorique d'acide est donc égale à la quantité initiale d'alcool calculée en B.2.1.

RÉPONSE À RETENIR

$$n_{\text{th}}(\text{C}_6\text{H}_5\text{CO}_2\text{H}) = n_1(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{OH}) = 1{,}85 \times 10^{-2}\ \text{mol} \simeq 1{,}9 \times 10^{-2}\ \text{mol}.$$

Question B.2.3.

Sujet p. 8, 9, 10

> En déduire le rendement r de la synthèse effectuée.

La masse d'acide benzoïque recueillie est la différence entre la masse de la coupelle avec les cristaux et celle de la coupelle vide : $m_{\text{exp}} = 141{,}8 - 140{,}4 = 1{,}4\ \text{g}$. Sa quantité de matière vaut $n_{\text{exp}} = m_{\text{exp}}/M_3 = 1{,}4/122\ \text{mol}$. Le rendement est le rapport entre la quantité réellement obtenue et la quantité théorique :

$$r = \frac{n_{\text{exp}}}{n_{\text{th}}} = \frac{1{,}4/122}{2{,}0/108}.$$

RÉPONSE À RETENIR

$$r \simeq 0{,}62, \quad \text{soit un rendement d'environ } 62\ \%.$$

Exercice B

5 points

Qualité des eaux souterraines sur le littoral

A. L'eau salée de la mer Méditerranée

Question A.1.

Sujet p. 11

> Citer la valeur de la concentration minimale en masse c_m en ions chlorure Cl⁻(aq) à partir de laquelle on peut considérer que l'eau souterraine est contaminée par une intrusion d'eau de mer la rendant non potable.

Le tableau indique que, pour une concentration comprise entre 50 et 200 mg·L⁻¹, l'eau est potable. Pour une concentration comprise entre 200 et 500 mg·L⁻¹, elle ne peut pas être utilisée pour produire de l'eau potable. La limite à partir de laquelle elle devient non potable est donc 200 mg·L⁻¹.

RÉPONSE À RETENIR

La concentration minimale est **200 mg·L⁻¹** en ions chlorure. À partir de cette valeur, l'eau est considérée comme non potable selon le tableau.

Question A.2.1.

Sujet p. 12

> Sachant que la concentration en quantité de matière de chlorure de magnésium $MgCl_2(s)$ dans l'eau de mer vaut c = 4,0 × 10⁻² mol·L⁻¹, déterminer la concentration en quantité de matière en ions chlorure Cl⁻(aq) apportés par $MgCl_2(s)$, notée [Cl⁻(aq)].

La dissolution est modélisée par l'équation équilibrée $\mathrm{MgCl_2(s) \rightarrow Mg^{2+}(aq) + 2\,Cl^-(aq)}$. Chaque mole de chlorure de magnésium libère deux moles d'ions chlorure. Ainsi, pour $c = 4{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$:

$[\mathrm{Cl^-}] = 2c = 2 \times 4{,}0 \times 10^{-2} = 8{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$.

RÉPONSE À RETENIR

La concentration en ions chlorure apportés par $\mathrm{MgCl_2}$ est $[\mathrm{Cl^-}] = 8{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$.

Question A.2.2.

Sujet p. 12

> La concentration en masse en ions chlorure Cl⁻(aq) apportés par le chlorure de sodium NaCl(s) dans l'eau a pour valeur c_m = 16,5 g·L⁻¹. Déterminer alors la concentration totale en masse en ions chlorure dans la mer Méditerranée.

La contribution du chlorure de magnésium est $[\mathrm{Cl^-}] = 8{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$. Avec $M(\mathrm{Cl^-}) = 35{,}5\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$, sa concentration en masse vaut :

$c_{m,\mathrm{MgCl_2}} = [\mathrm{Cl^-}]M(\mathrm{Cl^-}) = 8{,}0 \times 10^{-2} \times 35{,}5 = 2{,}84\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$.

On ajoute la contribution du chlorure de sodium donnée dans l'énoncé : $c_{m,\mathrm{totale}} = 16{,}5 + 2{,}84 = 19{,}34\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$, soit environ $19{,}3\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$.

RÉPONSE À RETENIR

La concentration totale en masse en ions chlorure dans l'eau de mer Méditerranée est d'environ $19{,}3\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$.

B. Titrage des ions chlorure de l'eau douce des eaux souterraines

Question B.1.

Sujet p. 12, 13

> Identifier, parmi les trois courbes I, II et III proposées sur le graphique de la figure 2, celle qui représente l'évolution simulée de la conductivité σ du mélange en fonction du volume V de solution de nitrate d'argent versé. Justifier votre réponse.

La réaction support du titrage est $\mathrm{Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)}$. Avant l'équivalence, les ions chlorure sont consommés et les ions nitrate apportés par le titrant restent en solution. Comme $\lambda_{\mathrm{NO_3^-}} = 61{,}9 \times 10^{-4}$ est inférieur à $\lambda_{\mathrm{Cl^-}} = 76{,}3 \times 10^{-4}\ \mathrm{S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}}$, la conductivité diminue. Après l'équivalence, les ions argent et nitrate ajoutés restent en solution, ce qui fait augmenter la conductivité. Il faut donc choisir la courbe qui diminue jusqu'à $13{,}0\ \mathrm{mL}$, puis augmente.

RÉPONSE À RETENIR

La courbe recherchée est la **courbe III** : elle présente un minimum au volume équivalent de $13{,}0\ \mathrm{mL}$, avec une diminution avant l'équivalence et une augmentation après.

Question B.2.

Sujet p. 11, 12

> Le volume versé à l'équivalence est V_eq = 13,0 mL. En déduire si l'eau du prélèvement peut être utilisée pour l'alimentation en eau potable.

La réaction de titrage a une stœchiométrie 1:1. À l'équivalence, la quantité d'ions chlorure initialement présente dans le prélèvement est donc égale à la quantité d'ions argent versée : $c_{\mathrm{Cl^-}} V_{\text{prélèvement}} = c_{\mathrm{Ag^+}} V_{\text{eq}}$. Ainsi, avec les volumes exprimés dans la même unité :

$$c_{\mathrm{Cl^-}} = 1{,}00 \times 10^{-2} \times \frac{13{,}0}{50{,}0} = 2{,}60 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}.$$

La concentration en masse correspondante est $c_m = c_{\mathrm{Cl^-}} M(\mathrm{Cl^-}) = 2{,}60 \times 10^{-3} \times 35{,}5 = 9{,}23 \times 10^{-2}\ \mathrm{g \cdot L^{-1}} = 92{,}3\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}}$. Cette valeur est comprise entre 50 et 200 mg·L⁻¹.

RÉPONSE À RETENIR

La concentration en masse est $92{,}3\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}}$. Elle relève de la classe dite « naturelle » du tableau : **l'eau du prélèvement peut être utilisée pour l'alimentation en eau potable**.

C. Modélisation d'un titrage

Question C.1.

Sujet p. 13, 14

> Les quantités de matière nA, nB et nC, mentionnées et calculées aux lignes 21, 22, 23, 28, 29 et 30 du programme Python (figure 3), sont représentées sur la figure 4. Grâce à cette dernière et avec justification, identifier les espèces chimiques A, B et C.

La réaction consomme un ion $\mathrm{Ag^+}$ pour un ion $\mathrm{Cl^-}$, et forme un précipité $\mathrm{AgCl(s)}$. Sur la figure 4, n_A diminue jusqu'à zéro au volume équivalent : c'est l'ion chlorure initialement titré. n_B est nul avant l'équivalence, puis augmente lorsque le titrant est en excès : c'est l'ion argent. Enfin, n_C augmente jusqu'à l'équivalence puis reste constant : c'est le précipité formé.

RÉPONSE À RETENIR

A : $\mathrm{Cl^-_{(aq)}}$; **B :** $\mathrm{Ag^+_{(aq)}}$; **C :** $\mathrm{AgCl_{(s)}}$.

Question C.2.

Sujet p. 12, 14

> Compléter la ligne 15 du programme Python de la figure 3 afin qu'il calcule la concentration en quantité de matière en ions chlorure.

À l'équivalence, la stœchiométrie 1:1 donne $c_A V_A = c_B V_{\text{eq}}$, donc $c_A = c_B V_{\text{eq}} / V_A$. Dans le programme, les volumes sont saisis en mL ; leur rapport est sans unité. La ligne à compléter est :

```
cA = cB*Veq/VA
```

Avec les valeurs saisies, $c_A = 0{,}01 \times 13/50 = 0{,}0026\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$. Cette valeur est cohérente avec le résultat du titrage.

RÉPONSE À RETENIR

La ligne 15 est **`cA = cB*Veq/VA`**, ce qui donne $c_A = 2{,}6 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Exercice C

5 points

La pile au méthanol

PARTIE A : Étude du fonctionnement de la pile au méthanol

Question A.1.1.

Sujet p. 15, 16

> Identifier quelle électrode constitue l'anode et quelle électrode constitue la cathode dans la pile au méthanol.

À l'électrode 1, le méthanol est oxydé : la demi-équation donnée montre que des électrons y sont produits. Une oxydation a lieu à l'anode. À l'électrode 2, le dioxygène est réduit en consommant des électrons : une réduction a lieu à la cathode.

RÉPONSE À RETENIR

L'électrode 1, alimentée en méthanol, est l'anode. L'électrode 2, alimentée en dioxygène, est la cathode.

Question A.1.2.

Sujet p. 15, 16, 18

> Indiquer sur le schéma du circuit étudié donné dans l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE (page 18) les pôles de la pile ainsi que le sens du courant électrique.

Dans une pile qui débite, l'anode où a lieu l'oxydation fournit des électrons : elle constitue le pôle négatif. La cathode où a lieu la réduction consomme les électrons : elle constitue le pôle positif. Le courant électrique conventionnel dans le circuit extérieur circule du pôle positif vers le pôle négatif.

RÉPONSE À RETENIR

Sur le schéma de l'annexe, inscrire le signe **−** à l'électrode 1 et le signe **+** à l'électrode 2. Dans la résistance, indiquer le sens du courant conventionnel de l'électrode 2 vers l'électrode 1.

Question A.1.3.

Sujet p. 15, 16

> Expliquer le rôle de la membrane protonique dans la pile au méthanol.

La membrane sépare les deux compartiments et permet le passage des ions hydrogène H^+ produits à l'électrode 1 vers l'électrode 2, où ils sont consommés. Elle assure ainsi le transport ionique et contribue au maintien de l'électroneutralité. Les électrons, eux, ne traversent pas la membrane : ils circulent dans le circuit extérieur et peuvent ainsi fournir un courant électrique.

RÉPONSE À RETENIR

La membrane protonique laisse passer les ions H^+ de l'anode vers la cathode, mais ne conduit pas les électrons, qui passent par le circuit extérieur.

Question A.1.4.

Sujet p. 15, 16, 18

> Indiquer le sens de circulation des porteurs de charge à l'intérieur et à l'extérieur de la pile sur le schéma de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE (page 18).

À l'électrode 1, les électrons sont produits par l'oxydation du méthanol. Ils partent donc de cette électrode, traversent la résistance et arrivent à l'électrode 2. Dans la membrane, les porteurs de charge indiqués sont les ions H^+ : ils se déplacent de l'électrode 1 vers l'électrode 2. Le courant conventionnel dans le circuit extérieur a le sens opposé à celui des électrons.

RÉPONSE À RETENIR

Sur l'annexe, tracer les électrons dans le circuit extérieur de l'électrode 1 vers l'électrode 2, en passant par la résistance, et les ions H^+ à l'intérieur de la pile de l'électrode 1 vers l'électrode 2. Le courant conventionnel extérieur circule en sens inverse des électrons, donc de l'électrode 2 vers l'électrode 1.

Question A.2.

Sujet p. 15, 16

> Écrire l'équation de la réaction chimique modélisant le fonctionnement de la pile.

On combine les demi-équations fournies en égalisant le nombre d'électrons échangés. On multiplie l'oxydation du méthanol par 2 et la réduction du dioxygène par 3 :

$$2\,\mathrm{CH_3OH} + 2\,\mathrm{H_2O} \rightarrow 2\,\mathrm{CO_2} + 12\,\mathrm{e^-} + 12\,\mathrm{H^+}$$

$$3\,\mathrm{O_2} + 12\,\mathrm{e^-} + 12\,\mathrm{H^+} \rightarrow 6\,\mathrm{H_2O}$$

Après addition, les électrons et les ions H^+ se simplifient ; on simplifie également l'eau présente des deux côtés de l'équation.

RÉPONSE À RETENIR

L'équation bilan équilibrée est : $\boxed{2\,\mathrm{CH_3OH_{(aq)}} + 3\,\mathrm{O_{2(g)}} \rightarrow 2\,\mathrm{CO_{2(g)}} + 4\,\mathrm{H_2O_{(l)}}}$.

Question A.3.1.

Sujet p. 15, 16

> Montrer que la quantité de matière de méthanol introduite dans la pile au méthanol a pour valeur n(CH_3OH) = 1,2 × 10^{-2} mol.

La solution contient 10 % en volume de méthanol. Le volume de méthanol pur introduit est donc :

$V_{\text{méthanol}} = 0{,}10 \times 5{,}0 = 0{,}50\ \text{mL}$.

Avec la masse volumique donnée, sa masse vaut $m = \rho V = 0{,}792 \times 0{,}50 = 0{,}396\ \text{g}$. La quantité de matière est alors :

$$n = \frac{m}{M} = \frac{0{,}396}{32{,}0} = 1{,}24 \times 10^{-2}\ \text{mol}.$$

À deux chiffres significatifs, conformément à la précision des données, cette valeur s'écrit $1{,}2 \times 10^{-2}\ \text{mol}$.

RÉPONSE À RETENIR

La quantité de matière de méthanol introduite est $\boxed{n(\mathrm{CH_3OH}) = 1{,}2 \times 10^{-2}\ \text{mol}}$.

Question A.3.2.

Sujet p. 15, 16

> Justifier que le dioxygène est le réactif en excès.

D'après l'équation bilan, 2 mol de méthanol consomment 3 mol de dioxygène. Pour $1{,}2 \times 10^{-2}\ \text{mol}$ de méthanol, la quantité de dioxygène nécessaire est donc :

$$n_{\text{nécessaire}}(\text{O}_2) = \frac{3}{2} \times 1{,}2 \times 10^{-2} = 1{,}8 \times 10^{-2}\ \text{mol}.$$

Le compartiment contenant le dioxygène est constamment en contact avec l'air ambiant. Il est donc continuellement approvisionné, contrairement au méthanol, introduit en quantité finie.

RÉPONSE À RETENIR

Le dioxygène est le réactif en excès : il est continuellement apporté par l'air ambiant, tandis que le méthanol introduit en quantité finie est le réactif limitant.

Question A.3.3.

Sujet p. 15, 16

> Déterminer le volume d'air V(air) consommé lors du fonctionnement de la pile jusqu'à son usure.

La quantité de dioxygène consommée jusqu'à l'usure de la pile est $1{,}8 \times 10^{-2}\ \text{mol}$. Avec le volume molaire fourni :

$$V(\text{O}_2) = n(\text{O}_2) V_m = 1{,}8 \times 10^{-2} \times 24{,}5 = 0{,}441\ \text{L}.$$

L'air contient 20 % de dioxygène en volume. Le volume d'air correspondant est donc :

$$V(\text{air}) = \frac{V(\text{O}_2)}{0{,}20} = \frac{0{,}441}{0{,}20} = 2{,}205\ \text{L}.$$

RÉPONSE À RETENIR

Le volume d'air consommé est d'environ $\boxed{2{,}2\ \text{L}}$.

PARTIE B : Alimentation d'un circuit comportant un petit ventilateur

Question B.1.

Sujet p. 15, 16, 17

> Calculer la capacité électrique théorique de la pile au méthanol étudiée dans la partie A.

La demi-équation d'oxydation montre qu'une mole de méthanol libère 6 mol d'électrons. Avec la quantité de méthanol déterminée en A.3.1, la quantité maximale d'électrons transférés est :

$$n(e^-) = 6 n(\text{CH}_3\text{OH}) = 6 \times 1{,}2 \times 10^{-2} = 7{,}2 \times 10^{-2}\ \text{mol}.$$

La capacité électrique théorique correspond à la charge maximale transférée, soit $Q_{\max} = n(e^-)\mathcal{F}$. Ainsi :

$Q_{\max} = 7{,}2 \times 10^{-2} \times 9{,}65 \times 10^{4} = 6{,}95 \times 10^{3}\ \text{C}$, soit environ $6{,}9 \times 10^{3}\ \text{C}$ avec la quantité de méthanol arrondie donnée à deux chiffres significatifs.

RÉPONSE À RETENIR

La capacité électrique théorique de la pile est $\boxed{Q_{\max} \approx 6{,}9 \times 10^{3}\ \text{C}}$.

Question B.2.

> Les élèves souhaitent faire fonctionner le ventilateur pendant au moins une heure. Expliquer en argumentant la réponse s'ils y parviendront. Deux piles sont associées en série ; l'intensité du courant vaut I = 450 mA et chacune des piles a un rendement de 70 %.

La capacité réelle d'une pile vaut $Q'_{\max} = rQ_{\max}$. Pour deux piles en série, les capacités s'ajoutent. Avec un rendement de 70 % pour chacune :

$Q_{\text{total}} = 2 \times 0{,}70 \times 6{,}9 \times 10^3 \approx 9{,}7 \times 10^3 \text{ C}$.

À intensité constante, $Q = It$, donc $t = Q/I$. En convertissant $450 \text{ mA} = 0{,}450 \text{ A}$:

$t = \dfrac{9{,}7 \times 10^3}{0{,}450} \approx 2{,}16 \times 10^4 \text{ s}$. En heures, $t \approx \dfrac{2{,}16 \times 10^4}{3600} \approx 6{,}0 \text{ h}$.

RÉPONSE À RETENIR

Oui. La durée de fonctionnement estimée est d'environ $\boxed{6{,}0 \text{ h}}$, supérieure à une heure.

Sujet : https://www.sujetdebac.fr/annales-pdf/2022/spe-physique-chimie-2022-nouv-caledonie-1-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.