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 2026 • Antilles-Guyane • Jour 2

Code sujet **26-PYCJ2AG1** 3 heures 30

Proposition de corrigé pédagogique • FormaV

Se repérer dans le corrigé

Exercice 1 — Sécurité incendie : sirène d’alarme, sprinkler et lance à incendie
15 réponses • sujet p. 2–8

Exercice 2 — Le paracétamol : contrôle de la teneur et étude cinétique
9 réponses • sujet p. 9–15

Exercice 3 — Traitement de l’eau d’une piscine : formation des chloramines et obtention des ions hypochlorite
8 réponses • sujet p. 12–15

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

Sécurité incendie : sirène d'alarme, sprinkler et lance à incendie

1. La sirène d'alarme incendie

Question Q1.

Sujet p. 2

> Déterminer la fréquence f_2 du son n° 2 à partir de la figure 1 et préciser si cette fréquence est associée à un son plus grave ou plus aigu que le son n° 1, de fréquence f_1 = 544 Hz.

On lit sur la figure 1 l'intervalle séparant deux motifs identiques successifs, par exemple deux fronts montants : la période est d'environ $T_2 = 2{,}3 \times 10^{-3}$ s. Pour un signal périodique, $f_2 = 1/T_2$.

Ainsi, $f_2 \approx 1/(2{,}3 \times 10^{-3}) \approx 4{,}3 \times 10^{2}$ Hz. Cette fréquence est inférieure à $f_1 = 544$ Hz : une fréquence plus faible correspond à un son plus grave.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $f_2 \approx 430$ Hz. Le son n° 2 est plus grave que le son n° 1.

Question Q2.

Sujet p. 3

> Les niveaux d'intensité sonore mesurés aux points M et N, situés à la même distance d = 5,0 m de la sirène, valent respectivement L_M = 92 dB et L_N = 67 dB. Déterminer l'atténuation par absorption du niveau d'intensité sonore entre les points M et N, notée A, en décibels.

Les points M et N sont à la même distance de la sirène. L'atténuation entre ces points est donc la différence entre les niveaux mesurés :

$$A = L_M - L_N = 92 - 67 = 25 \text{ dB}.$$

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> L'atténuation par absorption vaut $A = 25$ dB.

Question Q3.

Sujet p. 3, 4

> Calculer le niveau d'intensité sonore L, mesuré à 2,0 m, du son émis par la sirène à installer, puis déterminer sa classe à partir du tableau de la figure 4. Le niveau au point M, situé à 5,0 m, doit être L'M = 104 dB ; utiliser la relation donnée pour les niveaux d'intensité sonore en fonction de la distance.

La nouvelle sirène produit un niveau $L'_M = 104$ dB à $d_1 = 5{,}0$ m. On cherche le niveau L à $d_2 = 2{,}0$ m. La relation donnée conduit à :

$$L = L'_M - 20 \log\left(\frac{d_2}{d_1}\right) = 104 - 20 \log\left(\frac{2{,}0}{5{,}0}\right) \approx 112 \text{ dB}.$$

D'après la figure 4, un niveau compris entre 105 dB et 115 dB correspond à la classe C ; 112 dB appartient à cet intervalle.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le niveau mesuré à 2,0 m est $L \approx 112$ dB : la sirène est de classe C.

2. Le sprinkler, un dispositif d'extinction automatique

Question Q4.

Sujet p. 4, 5

> Dans l'expérience réalisée au laboratoire, indiquer dans quel sens s'effectue le transfert thermique entre l'ampoule du sprinkler et l'air extérieur. Justifier.

La température de l'ampoule augmente au cours de l'expérience, de sa température initiale $\theta_0 = 22\ ^\circ\mathrm{C}$ vers celle de l'air extérieur, $\theta_{\text{ext}} = 54\ ^\circ\mathrm{C}$, comme le montre la figure 6. Le transfert thermique se fait spontanément du milieu le plus chaud vers le milieu le plus froid.

RÉPONSE À RETENIR

Le transfert thermique s'effectue de l'air extérieur chaud vers l'ampoule du sprinkler, qui se réchauffe.

Question Q5.

Sujet p. 5

> En appliquant le premier principe de la thermodynamique à l'ampoule pendant une durée Δt, montrer que Δθ/Δt = (ε·S·√v/C)·(θ_ext − θ(t)).

Sur la durée Δt, on néglige les autres transferts d'énergie. Le premier principe appliqué à l'ampoule donne alors $\Delta U = \phi\,\Delta t$, l'ampoule recevant le flux thermique ϕ. En utilisant $\Delta U = C\,\Delta\theta$ et la loi de Newton $\phi = \epsilon S\sqrt{v}\,(\theta_{\text{ext}} - \theta(t))$, on obtient :

$$C\,\Delta\theta = \epsilon S\sqrt{v}\,(\theta_{\text{ext}} - \theta(t))\,\Delta t.$$

En divisant par $C\Delta t$, il vient bien :

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\epsilon S\sqrt{v}}{C}\,(\theta_{\text{ext}} - \theta(t)).$$

RÉPONSE À RETENIR

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\epsilon S\sqrt{v}}{C}\,(\theta_{\text{ext}} - \theta(t)).$$

Question Q6.

Sujet p. 5

> Résoudre l'équation différentielle dθ(t)/dt = −θ(t)/τ + θ_ext/τ, avec τ = C/(ε·S·√v), pour établir que θ(t) = θ_ext + (θ₀ − θ_ext)e^(−t/τ).

On pose $y(t) = \theta(t) - \theta_{\text{ext}}$, avec θ_{ext} constante. L'équation devient $y'(t) = -y(t)/\tau$, dont les solutions sont $y(t) = Ke^{-t/\tau}$. La condition initiale $\theta(0) = \theta_0$ impose $K = \theta_0 - \theta_{\text{ext}}$. Par conséquent :

$$\theta(t) = \theta_{\text{ext}} + (\theta_0 - \theta_{\text{ext}})e^{-t/\tau}.$$

En effet, à $t = 0$, cette expression redonne bien $\theta(0) = \theta_0$.

RÉPONSE À RETENIR

$$\theta(t) = \theta_{\text{ext}} + (\theta_0 - \theta_{\text{ext}})e^{-t/\tau}.$$

Question Q7.

Sujet p. 6

> Pour une température initiale θ₀ = 22 °C et une température de l'air extérieur θ_ext = 54 °C, calculer la température

θ(τ) de l'ampoule à la date t = τ.

À la date $t = \tau$, l'exponentielle vaut e^{-1}. Avec $\theta_0 = 22\ °\mathrm{C}$ et $\theta_{\text{ext}} = 54\ °\mathrm{C}$:

$$\theta(\tau) = 54 + (22 - 54)e^{-1} = 54 - \frac{32}{e} \approx 42{,}2\ °\mathrm{C}.$$

RÉPONSE À RETENIR

$\theta(\tau) \approx 42{,}2\ °\mathrm{C}$.

Question Q8.

Sujet p. 5, 6

En déduire, à partir d'une lecture graphique sur la courbe de la figure 6, la valeur du temps caractéristique τ.

On cherche sur la figure 6 l'instant auquel la température atteint la valeur calculée en Q7, environ $42{,}2\ °\mathrm{C}$. La lecture de la courbe donne un temps voisin de $45\ \mathrm{s}$. Cet instant correspond à $t = \tau$.

RÉPONSE À RETENIR

Le temps caractéristique lu sur la figure 6 est $\tau \approx 45\ \mathrm{s}$.

Question Q9.

Sujet p. 6

Calculer la valeur de l'indice de temps de réponse R_TI du sprinkler étudié, sachant que τ = R_TI/√v et que la vitesse du courant d'air chaud dans l'expérience vaut v = 5,0 m·s⁻¹.

De $\tau = R_{\text{TI}}/\sqrt{v}$, on déduit $R_{\text{TI}} = \tau\sqrt{v}$. Avec $\tau \approx 45\ \mathrm{s}$ et $v = 5{,}0\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$:

$$R_{\text{TI}} \approx 45\sqrt{5{,}0} \approx 1{,}0 \times 10^{2}\ \mathrm{m^{1/2}\cdot s^{1/2}}.$$

RÉPONSE À RETENIR

$R_{\text{TI}} \approx 100\ \mathrm{m^{1/2}\cdot s^{1/2}}$.

Question Q10.

Sujet p. 6

Le sprinkler est installé à une température initiale θ₀ = 15 °C ; sa température de rupture vaut θ_rupt = 68 °C et son indice de temps de réponse R_TI = 90 m^(1/2)·s^(1/2). Des fumées à θ_ext = 200 °C arrivent à son contact à la vitesse v_fumée = 3,0 m·s⁻¹. En utilisant la solution θ(t) = θ_ext + (θ₀ − θ_ext)e^(−t/τ), déterminer l'expression de la durée nécessaire t_rupt pour que le sprinkler se déclenche à partir du moment où les fumées arrivent à son contact. Exprimer t_rupt en fonction de θ_rupt, θ₀, θ_ext et τ, puis calculer sa valeur.

Au déclenchement, $\theta(t_{\text{rupt}}) = \theta_{\text{rupt}}$. On isole l'exponentielle dans la solution de Q6 :

$$e^{-t_{\text{rupt}}/\tau} = \frac{\theta_{\text{rupt}} - \theta_{\text{ext}}}{\theta_0 - \theta_{\text{ext}}} = \frac{\theta_{\text{ext}} - \theta_{\text{rupt}}}{\theta_{\text{ext}} - \theta_0}.$$

En prenant le logarithme, on obtient :

$$t_{\text{rupt}} = \tau \ln\left(\frac{\theta_{\text{ext}} - \theta_0}{\theta_{\text{ext}} - \theta_{\text{rupt}}}\right).$$

Dans les conditions des fumées, $\tau = R_{\text{TI}}/\sqrt{v_{\text{fumée}}} = 90/\sqrt{3{,}0} \approx 52\ \mathrm{s}$. Alors :

$$t_{\text{rupt}} \approx \frac{90}{\sqrt{3{,}0}} \ln\left(\frac{200 - 15}{200 - 68}\right) \approx 17{,}5\ \mathrm{s}.$$

Les différences de températures peuvent être calculées en degrés Celsius, car seule intervient leur différence.

RÉPONSE À RETENIR

$t_{\text{rupt}} = \tau \ln\left(\dfrac{\theta_{\text{ext}} - \theta_0}{\theta_{\text{ext}} - \theta_{\text{rupt}}}\right)$, soit environ $18\ \text{s}$ après l'arrivée des fumées au contact du sprinkler.

3. La lance à incendie

Question Q11.

Sujet p. 6, 7

En utilisant l'expression du débit volumique, montrer que la vitesse de l'eau dans le tuyau au point A est v_A = 5,2 m·s⁻¹ lorsque le débit volumique de la lance est maximal, soit 500 L·min⁻¹. La section au point A vaut S_A = 1,6×10⁻³ m².

Conversion du débit maximal en unités SI :

$$D_V = 500\ \text{L}\cdot\text{min}^{-1} = 0{,}500\ \text{m}^3\cdot\text{min}^{-1} = \frac{0{,}500}{60}\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1} \approx 8{,}33 \times 10^{-3}\ \text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}.$$

Avec $D_V = S_A v_A$, on trouve :

$$v_A = \frac{D_V}{S_A} = \frac{8{,}33 \times 10^{-3}}{1{,}6 \times 10^{-3}} \approx 5{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

RÉPONSE À RETENIR

La vitesse de l'eau au point A vaut $v_A \approx 5{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Question Q12.

Sujet p. 7

En utilisant la relation de Bernoulli et les valeurs des pressions données figure 8, montrer que la vitesse de l'eau à la sortie de la lance au point B est v_B = 38 m·s⁻¹.

Les points A et B sont à la même altitude sur la figure 8 ; les termes $\rho g z$ de Bernoulli se compensent. On isole alors la vitesse en B :

$$v_B^2 = v_A^2 + \frac{2(P_A - P_B)}{\rho_{\text{eau}}}.$$

Les pressions sont $P_A = 8{,}0 \times 10^5\ \text{Pa}$ et $P_B = 1{,}0 \times 10^5\ \text{Pa}$. Avec $v_A \approx 5{,}2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $\rho_{\text{eau}} = 1000\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$:

$$v_B = \sqrt{5{,}2^2 + \frac{2(8{,}0 - 1{,}0) \times 10^5}{1000}} \approx 37{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \approx 38\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}.$$

RÉPONSE À RETENIR

La vitesse de l'eau à la sortie de la lance vaut $v_B \approx 38\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Question Q13.

Sujet p. 7, 8

> En appliquant la deuxième loi de Newton, déterminer les coordonnées a_x(t) et a_z(t) du vecteur accélération a⃗ du point M pour le mouvement de la goutte d'eau, en négligeant les frottements de l'air.

Dans le référentiel terrestre supposé galiléen, et en négligeant les frottements de l'air, la goutte est soumise uniquement à son poids $\vec{P} = m\vec{g}$, dirigé verticalement vers le bas. La deuxième loi de Newton donne $m\vec{a} = \vec{P}$, donc $\vec{a} = \vec{g} = -g\vec{k}$. Dans le repère où x est horizontal vers la droite et z vertical vers le haut, les coordonnées de l'accélération sont constantes.

RÉPONSE À RETENIR

$a_x(t) = 0$ et $a_z(t) = -g = -9{,}81\ \mathrm{m\cdotp s^{-2}}$.

Question Q14.

Sujet p. 8

> Montrer que les équations horaires x(t) et z(t) du centre de masse M au cours de son mouvement sont x(t) = v_B·cos(α)·t et z(t) = −½·g·t² + v_B·sin(α)·t + z_B.

À l'instant initial, la goutte part du point B : $x(0) = 0$ et $z(0) = z_B$. Les composantes de la vitesse initiale sont $v_x(0) = v_B\cos\alpha$ et $v_z(0) = v_B\sin\alpha$. En intégrant $a_x = 0$ et $a_z = -g$, on obtient $v_x(t) = v_B\cos\alpha$ et $v_z(t) = v_B\sin\alpha - gt$. Une seconde intégration, avec les positions initiales, donne :

$$x(t) = v_B\cos(\alpha)\,t, \qquad z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + v_B\sin(\alpha)\,t + z_B.$$

RÉPONSE À RETENIR

$x(t) = v_B\cos(\alpha)\,t$ et $z(t) = -\dfrac{1}{2}gt^2 + v_B\sin(\alpha)\,t + z_B$.

Question Q15.

Sujet p. 6, 8

> Pour l'angle α = 44,7°, l'équation de la trajectoire est z(x) = −6,72×10⁻³x² + 0,990x + 1,30. Déterminer la valeur de la portée maximale x_max, puis interpréter l'écart observé avec la valeur de 40 m fournie dans la documentation de la figure 7.

La portée correspond à l'abscisse où la goutte atteint le sol, donc à la racine positive de $z(x) = 0$. Il faut résoudre :

$$-6{,}72\times10^{-3}x^2 + 0{,}990x + 1{,}30 = 0.$$

La formule du second degré donne la racine positive :

$$x_{\max} = \frac{0{,}990 + \sqrt{0{,}990^2 + 4(6{,}72\times10^{-3})(1{,}30)}}{2(6{,}72\times10^{-3})} \approx 148{,}6\ \mathrm{m}.$$

Cette portée calculée dépasse largement les 40 m de la documentation. Elle est issue d'un modèle idéal de trajectoire balistique et de la vitesse supposée à la sortie ; le calcul ne prend notamment pas en compte la résistance de l'air et les pertes de charge réelles dans l'écoulement. La valeur documentée est une portée en conditions réelles, et non cette portée théorique.

RÉPONSE À RETENIR

La portée maximale calculée est $x_{\max} \approx 149\ \mathrm{m}$, bien supérieure aux 40 m de la documentation. L'écart s'explique par les hypothèses idéalisées du modèle et par les effets réels non pris en compte.

Exercice 2

5 points

Le paracétamol : contrôle de la teneur et étude cinétique

1. Contrôle de la teneur en principe actif

Question Q1.

Sujet p. 9

> Écrire la formule semi-développée du paracétamol, puis entourer et nommer les groupes caractéristiques présents dans cette molécule.

La formule topologique montre un cycle benzénique portant en positions para un groupe hydroxyle et le motif –NH–C(=O)–CH_3. La formule semi-développée peut donc s'écrire $p\text{-}HO\text{–}C_6H_4\text{–}NH\text{–}C(=O)\text{–}CH_3$. Le groupe –OH directement lié au cycle aromatique est un groupe hydroxyle de la fonction phénol. Le motif –NH–C(=O)– est une fonction amide.

RÉPONSE À RETENIR

$p\text{-}HO\text{–}C_6H_4\text{–}NH\text{–}C(=O)\text{–}CH_3$; groupes caractéristiques : hydroxyle phénolique et amide.

Question Q2.

Sujet p. 9, 10

> À l'aide des données sur les conductivités ioniques molaires et en négligeant l'effet de la dilution lors de l'ajout de la solution titrante, justifier qualitativement l'évolution de la pente de la courbe de conductivité en fonction du volume de solution titrante versé, avant et après l'équivalence.

En négligeant la dilution, la conductivité varie avec les ions présents en solution. Avant l'équivalence, les ions hydroxyde ajoutés sont consommés par la réaction ; ils sont remplacés par des ions paracétamolate, tandis que les ions sodium apportés restent en solution. L'augmentation de conductivité par quantité de matière titrante est donc liée à . La somme des conductivités ioniques molaires correspondantes vaut .

Après l'équivalence, le paracétamol a été entièrement consommé : les ions sodium et hydroxyde apportés en excès restent en solution. La somme correspondante vaut . Elle est bien supérieure à celle d'avant l'équivalence, car . La pente de la courbe est donc plus forte après l'équivalence.

RÉPONSE À RETENIR

Avant l'équivalence, la pente est associée à , soit . Après l'équivalence, elle est associée à , soit . Comme la seconde somme est plus grande, la conductivité augmente avec une pente plus forte après l'équivalence.

Question Q3.

Sujet p. 10, 15

> En faisant figurer la construction graphique sur la courbe de l'annexe 1 à rendre avec la copie, vérifier que la quantité de matière n_p de paracétamol contenue dans le sachet vaut n_p = 3,43×10⁻³ mol.

Sur l'annexe 1, on trace une droite d'ajustement sur la partie approximativement linéaire avant le changement de pente, puis une autre sur la partie après ce changement. L'abscisse de leur intersection donne le volume équivalent, lu graphiquement à environ . La réaction de titrage étant de proportions stœchiométriques 1:1, à l'équivalence . En convertissant le volume en litres :

.

RÉPONSE À RETENIR

La construction graphique donne . Ainsi, , soit . La lecture graphique vérifie bien la quantité de matière annoncée.

Question Q4.

Sujet p. 9, 10, 15

Déterminer la masse de paracétamol m_mes contenue dans le sachet et son incertitude-type associée u(m_mes). Écrire le résultat de la mesure avec un nombre adapté de chiffres significatifs et l'exprimer en milligrammes. Utiliser $M(C_8H_9NO_2) = 151\ g{\cdot}mol^{-1}$ et la relation d'incertitude donnée, avec $u(C) = 0{,}010\ mol{\cdot}L^{-1}$ et u(V_E) = 0,29 mL.

La réaction de titrage étant de proportions 1:1, la quantité de paracétamol est celle trouvée à l'équivalence, soit . La masse vaut donc . En utilisant la quantité de matière de la question Q3 et la masse molaire donnée :

.

Pour l'incertitude, on utilise le volume équivalent graphique d'environ . Les incertitudes relatives sont et . La relation fournie donne alors , soit environ .

RÉPONSE À RETENIR

. Avec un nombre de chiffres significatifs adapté à l'incertitude-type, le résultat est .

Question Q5.

Sujet p. 9, 10

Discuter de la compatibilité entre la masse de paracétamol mesurée m_mes et la valeur de référence m_ref indiquée sur la notice du médicament, en utilisant le quotient $z = |m_{mes} - m_{ref}|/u(m_{mes})$. La notice indique que le sachet contient 500 mg de paracétamol ; si z est supérieur à 2, la valeur mesurée n'est pas considérée comme compatible avec la valeur de référence.

La valeur de référence indiquée par la notice est . Avec la masse mesurée et l'incertitude-type obtenues à la question Q4, le quotient vaut :

.

Le critère donné indique que la mesure n'est pas compatible avec la référence lorsque .

RÉPONSE À RETENIR

. Comme , la masse mesurée est compatible avec la valeur de référence de 500 mg indiquée sur la notice.

2. Étude cinétique

Question Q6.

Sujet p. 10

Écrire l'expression de la vitesse volumique de disparition v_P du paracétamol en fonction de sa concentration $[C_8H_9NO_2]$.

La vitesse volumique de disparition d'un réactif est l'opposé de la dérivée temporelle de sa concentration. Le signe moins permet d'obtenir une vitesse positive lorsque la concentration diminue.

RÉPONSE À RETENIR

. Son unité est une concentration divisée par un temps, par exemple si le temps est exprimé en secondes.

Question Q7.

Sujet p. 11

En utilisant la réponse à la question précédente et sachant que l'évolution de la concentration en paracétamol dans le sang suit une loi de vitesse d'ordre 1, montrer que $d[C_8H_9NO_2]/dt = -k\cdot[C_8H_9NO_2]$, où k représente la constante de vitesse.

Pour une disparition suivant une loi de vitesse d'ordre 1, la vitesse volumique est proportionnelle à la concentration en paracétamol :

, où est la constante de vitesse. D'après la définition de la vitesse de disparition donnée à la question Q6, . En identifiant les deux expressions, on obtient l'équation différentielle demandée.

RÉPONSE À RETENIR

, donc .

Question Q8.

Sujet p. 11

En utilisant la courbe de la figure 1, montrer sans calcul que la vitesse de disparition du paracétamol diminue au cours du temps.

Sur la figure 1, la courbe de concentration décroît et s'aplatit progressivement. Sa pente reste négative, mais sa valeur absolue diminue : les tangentes à la courbe deviennent moins inclinées au cours du temps. Or la vitesse de disparition est l'opposé de cette pente.

RÉPONSE À RETENIR

La vitesse de disparition du paracétamol diminue au cours du temps, car la pente négative de la courbe de concentration se rapproche de zéro.

Question Q9.

Sujet p. 9, 10, 11

La date t = 0 h correspond au pic de concentration en quantité de matière de paracétamol dans le sang, de valeur maximale 132 µmol·L⁻¹ ; ce pic est atteint 30 minutes après la prise unique de 1 g de paracétamol. La concentration suit une cinétique d'ordre 1, avec k = 0,28 h⁻¹, et l'effet antalgique s'atténue fortement lorsque la concentration en masse devient inférieure à c_lim = 8 mg·L⁻¹. Déterminer la durée nécessaire pour que la limite c_lim soit atteinte depuis la prise du médicament, puis expliquer l'écart avec les recommandations indiquées sur la notice.

Au pic, la concentration molaire vaut . La concentration massique correspondante est , soit . Le seuil massique correspond à la concentration molaire . Avec la loi d'ordre 1, . Au seuil, on résout :

.

Ce temps est compté à partir du pic de concentration, atteint 30 minutes après la prise. Il faut donc ajouter pour obtenir la durée depuis la prise.

RÉPONSE À RETENIR

Le seuil est atteint environ après le pic. Depuis la prise, la durée est donc , soit environ .

Cette durée calculée est inférieure aux six heures recommandées entre deux prises. Ce résultat ne contredit pas la recommandation : l’atteinte du seuil d’atténuation de l’effet antalgique ne suffit pas à fixer un intervalle de prise sans risque. L’énoncé souligne notamment la formation d’un produit de transformation toxique ; par ailleurs, le calcul repose sur un modèle cinétique simplifié.

Exercice 3

4 points

Traitement de l'eau d'une piscine : formation des chloramines et obtention des ions hypochlorite

1. Formation des chloramines

Question Q1.

Sujet p. 12, 15

> Sur l'annexe 2 à rendre avec la copie, représenter les flèches courbes pour l'acte élémentaire n° 1. Indiquer, en justifiant, s'il s'agit d'une substitution, d'une addition ou d'une élimination.

Dans l'acte élémentaire n° 1 de l'annexe 2, le doublet non liant de l'azote de $\mathrm{NH_3}$ forme une liaison avec l'atome de chlore. Simultanément, le doublet de la liaison $\mathrm{O-Cl}$ se déplace vers l'oxygène.

Sur l'annexe, tracer une flèche courbe du doublet libre de N vers Cl, puis une flèche courbe de la liaison $\mathrm{O-Cl}$ vers O. Il se forme ainsi la liaison $\mathrm{N-Cl}$, tandis que la liaison $\mathrm{O-Cl}$ est rompue.

C'est une substitution : auprès de l'atome de chlore, le groupe OH est remplacé par le groupe $\mathrm{NH_3}$.

RÉPONSE À RETENIR

Flèches courbes : doublet libre de N $\longrightarrow$ Cl ; liaison $\mathrm{O-Cl} \longrightarrow$ O. Il s'agit d'une substitution, car le groupe OH lié au chlore est remplacé par $\mathrm{NH_3}$.

Question Q2.

Sujet p. 12, 15

> Établir l'équation de la réaction modélisée par le mécanisme réactionnel fourni dans l'annexe 2.

On additionne les deux actes élémentaires de l'annexe 2 :

$\mathrm{NH_3 + HClO \rightarrow [ClNH_3]^+ + OH^-}$

$\mathrm{[ClNH_3]^+ + OH^- \rightarrow NH_2Cl + H_2O}$

Les espèces intermédiaires $\mathrm{[ClNH_3]^+}$ et $\mathrm{OH^-}$ se simplifient. L'équation globale est donc $\mathrm{NH_3 + HClO \rightarrow NH_2Cl + H_2O}$. Elle conserve les atomes : chaque membre contient un N, un Cl, un O et quatre H.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{\mathrm{NH_3(aq) + HClO(aq) \rightarrow NH_2Cl(aq) + H_2O(\ell)}}$$

2. L'ion hypochlorite au service de la désinfection

Question Q3.

Sujet p. 12

> Donner la définition d'un acide au sens de Brönsted.

Selon Brønsted, un acide est une espèce chimique capable de céder un proton $\mathrm{H^+}$ à une autre espèce chimique.

RÉPONSE À RETENIR

Un acide de Brønsted est une espèce chimique capable de céder un proton $\mathrm{H^+}$.

Question Q4.

Sujet p. 12

> Exprimer la constante d'acidité K_A du couple acide hypochloreux / ion hypochlorite en fonction des concentrations en quantité de matière à l'équilibre [HClO]_éq, [ClO⁻]_éq et [H₃O⁺]_éq, ainsi que de la concentration standard c°.

Pour la réaction acide-base $\mathrm{HClO} + \mathrm{H_2O} \rightleftharpoons \mathrm{ClO^-} + \mathrm{H_3O^+}$, l'eau étant le solvant, l'expression de la constante d'acidité en fonction des concentrations et de la concentration standard est :

$$K_A = \frac{([\mathrm{ClO^-}]_{\text{éq}}/c^\circ)([\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}/c^\circ)}{[\mathrm{HClO}]_{\text{éq}}/c^\circ} = \frac{[\mathrm{ClO^-}]_{\text{éq}}[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}}{[\mathrm{HClO}]_{\text{éq}}c^\circ}.$$

RÉPONSE À RETENIR

$$K_A = \frac{[\mathrm{ClO^-}]_{\text{éq}}[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}}{[\mathrm{HClO}]_{\text{éq}}c^\circ}.$$

Question Q5.

Sujet p. 12

> Calculer le rapport des concentrations en quantité de matière [ClO⁻]_éq/[HClO]_éq lorsque le pH de l'eau de piscine est égal à 7,4.

On isole le rapport demandé dans l'expression de K_A :

$$\frac{[\mathrm{ClO^-}]_{\text{éq}}}{[\mathrm{HClO}]_{\text{éq}}} = \frac{K_A c^\circ}{[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}}.$$

Avec $K_A = 10^{-pK_A} = 10^{-7,5}$ et $[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}} = c^\circ 10^{-\mathrm{pH}} = c^\circ 10^{-7,4}$, les facteurs c° se simplifient. Donc :

$$\frac{[\mathrm{ClO^-}]_{\text{éq}}}{[\mathrm{HClO}]_{\text{éq}}} = 10^{-7,5+7,4} = 10^{-0,1} \approx 0,794.$$

RÉPONSE À RETENIR

À $\mathrm{pH} = 7,4$, $\dfrac{[\mathrm{ClO^-}]_{\text{éq}}}{[\mathrm{HClO}]_{\text{éq}}} = 10^{\mathrm{pH}-pK_A} = 10^{-0,1} \approx \boxed{0,79}$.

Question Q6.

Sujet p. 13

> Montrer que, pour atteindre le seuil c_m seuil = 2 mg·L⁻¹ de « chlore libre », la concentration en quantité de matière en ions hypochlorite [ClO⁻]_éq dans l'eau de piscine étudiée doit être égale à 1,7×10⁻⁵ mol·L⁻¹. On donne [ClO⁻]_éq/[HClO]_éq = 0,79 et c_m = [HClO]_éq·M(HClO) + [ClO⁻]_éq·M(ClO⁻).

On exprime le seuil dans l'unité utilisée pour les masses molaires : $c_{m,\text{seuil}} = 2\ \mathrm{mg\,L^{-1}} = 2,0 \times 10^{-3}\ \mathrm{g\,L^{-1}}$.

Posons $x = [\mathrm{ClO^-}]_{\text{éq}}$. Le rapport fourni implique $[\mathrm{HClO}]_{\text{éq}} = x/0,79$. La relation de concentration massique donne alors :

$$2,0 \times 10^{-3} = \frac{x}{0,79} \times 52,5 + x \times 51,5 = x\left(\frac{52,5}{0,79} + 51,5\right).$$

Ainsi, $x = \dfrac{2,0 \times 10^{-3}}{52,5/0,79 + 51,5} = 1,695 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$, soit $1,7 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}$ avec les chiffres significatifs adaptés.

RÉPONSE À RETENIR

$$\boxed{[\mathrm{ClO^-}]_{\text{éq}} = 1,7 \times 10^{-5}\ \mathrm{mol\,L^{-1}}}.$$

3. Obtention des ions hypochlorite par électrolyse

Question Q7.

Sujet p. 13, 15

> En vous appuyant sur les équations des réactions aux électrodes, indiquer sur le schéma de l'annexe 3 à rendre avec la copie le sens de circulation des électrons dans les fils conducteurs, le sens du courant d'intensité I et la polarité du générateur. À l'électrode n° 1 : 2 $H_2O(\ell)$ + 2 e^- → $H_2(g)$ + 2 $OH^-(aq)$; à l'électrode n° 2 : 2 $C\ell^-(aq)$ → $C\ell_2(g)$ + 2 e^-.

À l'électrode n° 1, la réaction $2\mathrm{H_2O} + 2\mathrm{e^-} \rightarrow \mathrm{H_2} + 2\mathrm{OH^-}$ consomme des électrons : c'est une réduction. L'électrode n° 1 est la cathode, reliée à la borne négative du générateur.

À l'électrode n° 2, la réaction $2\mathrm{Cl^-} \rightarrow \mathrm{Cl_2} + 2\mathrm{e^-}$ produit des électrons : c'est une oxydation. L'électrode n° 2 est l'anode, reliée à la borne positive du générateur.

Dans les fils, les électrons vont de la borne négative du générateur vers l'électrode n° 1, et de l'électrode n° 2 vers la borne positive. Le courant conventionnel circule dans le sens opposé dans ces fils.

RÉPONSE À RETENIR

Électrode n° 1 : borne négative (cathode). Électrode n° 2 : borne positive (anode). Électrons : borne négative $\rightarrow$ électrode n° 1 et électrode n° 2 $\rightarrow$ borne positive. Le courant I circule en sens opposé dans les fils.

Question Q8.

Sujet p. 13, 14

> Sachant que la concentration en quantité de matière en ions hypochlorite dans l'eau de piscine doit être égale à 1,7×10⁻⁵ mol·L⁻¹ pour atteindre le seuil de la norme définie par l'AFSSET en chlore libre, calculer la durée Δt nécessaire de l'électrolyse pour atteindre ce seuil. Le courant fourni par l'électrolyseur vaut I = 5,0 A et le volume de la piscine V = 50 m³ ; utiliser les équations des transformations fournies ainsi que Q = I·Δt et Q = n(e⁻)·N_A·e, avec N_A = 6,02×10²³ mol⁻¹ et e = 1,6×10⁻¹⁹ C.

On suppose que les ions hypochlorite produits sont conservés et répartis dans toute la piscine, selon le modèle de l'énoncé. Conversion du volume : $50\ \mathrm{m^3} = 5,0 \times 10^4\ \mathrm{L}$. La quantité de matière à produire est :

$n(\mathrm{ClO^-}) = cV = (1,7 \times 10^{-5})(5,0 \times 10^4) = 0,85\ \mathrm{mol}.$

D'après les deux réactions fournies, une mole de $\mathrm{Cl_2}$ produite à l'électrode n° 2 permet de former une mole de $\mathrm{ClO^-}$. La réaction à cette électrode produit une mole de $\mathrm{Cl_2}$ en libérant deux moles d'électrons. Ainsi, $n(e^-) = 2n(\mathrm{ClO^-}) = 1,70\ \mathrm{mol}$.

La charge nécessaire vaut $Q = n(e^-)N_Ae$, avec $N_Ae = (6,02 \times 10^{23})(1,6 \times 10^{-19}) = 9,632 \times 10^4\ \mathrm{C\,mol^{-1}}$. Donc $Q = (1,70)(9,632 \times 10^4) = 1,637 \times 10^5\ \mathrm{C}$. Comme $Q = I\Delta t$:

$$\Delta t = \frac{Q}{I} = \frac{1,637 \times 10^5}{5,0} = 3,27 \times 10^4\ \mathrm{s} \approx 9,1\ \mathrm{h}.$$

RÉPONSE À RETENIR

La durée nécessaire, dans le modèle donné, est $\boxed{\Delta t \approx 3,3 \times 10^4\ \mathrm{s} \approx 9,1\ \mathrm{h}}$.

© 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.