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 • Centres étrangers • Jour 1

Code sujet **22 PYCJ1G11** 3 heures 30

Proposition de corrigé pédagogique • FormaV

Se repérer dans le corrigé

Exercice 1 — Lunette astronomique et observation de Mars
18 réponses • sujet p. 2–15

Exercice A — La spiruline
8 réponses • sujet p. 6–8

Exercice B — Synthèse d’un arôme d’orange
8 réponses • sujet p. 9–11

Exercice C — Dégradation d’un produit de contraste
8 réponses • sujet p. 12–14

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

Lunette astronomique et observation de Mars

Partie A — La lunette modélisée

Question 1.

Sujet p. 3, 15

> Compléter les cadres 1 et 2 sur le schéma en annexe, en indiquant les noms spécifiques donnés aux lentilles L_1 et L_2.

Dans une lunette astronomique, la lentille qui reçoit la lumière de l'objet lointain et forme l'image intermédiaire est l'objectif. La lentille par laquelle on observe cette image est l'oculaire.

RÉPONSE À RETENIR

Cadre 1 : **objectif** (lentille L_1). Cadre 2 : **oculaire** (lentille L_2).

Question 2.

Sujet p. 3, 15

> Sur le schéma en annexe, représenter le faisceau émergent issu du point A_∞, délimité par les rayons 1 et 2 et traversant la lunette.

Les rayons issus de A_∞ arrivent parallèlement à l'axe optique. Après la lentille convergente L_1, ils convergent au foyer image F'_1. Comme F'_1 coïncide avec le foyer objet F_2 de L_2, ils atteignent L_2 en passant par son foyer objet. Une lentille convergente traversée par un faisceau issu de son foyer objet le transforme en faisceau parallèle à l'axe.

RÉPONSE À RETENIR

Sur l'annexe, prolonger les rayons 1 et 2 après L_1 jusqu'au point $F'_1 = F_2$, puis les tracer après L_2 parallèlement à l'axe optique. Le faisceau émergent issu de A_∞ est parallèle à l'axe.

Question 3.

Sujet p. 3, 15

> Sur le schéma en annexe, représenter le faisceau émergent issu du point B_∞, délimité par les rayons 3 et 4 et traversant la lunette.

Les rayons issus de B_∞ arrivent parallèlement entre eux, avec une inclinaison α. Après L_1, ils convergent au point B_1 du plan focal image de L_1, qui est aussi le plan focal objet de L_2. Ils ressortent donc de L_2 parallèlement entre eux. L'image intermédiaire étant renversée, la direction émergente est de l'autre côté de l'axe par rapport à l'inclinaison incidente.

RÉPONSE À RETENIR

Tracer les rayons 3 et 4 après L_1 jusqu'à leur intersection en B_1, dans le plan focal commun. Après L_2, tracer le faisceau émergent parallèle, incliné dans le sens opposé à celui du faisceau incident.

Question 4.

Sujet p. 3, 15

> Sur le schéma en annexe, faire apparaître l'angle α' sous lequel est vue l'image de l'objet à l'infini à travers la

lunette, ainsi que l'image intermédiaire A_1B_1, c'est-à-dire l'image de $A_\infty B_\infty$ à travers la lentille L_1.

L'image de A_∞ par L_1 est $A_1 = F'_1 = F_2$, sur l'axe optique. L'image de B_∞ par L_1 est B_1, hors axe et dans le même plan focal. L'oculaire fait émerger de B_1 des rayons parallèles ; leur direction définit l'angle α' avec l'axe optique.

RÉPONSE À RETENIR

Faire apparaître $A_1 = F'_1 = F_2$ sur l'axe et placer B_1 hors axe dans le plan focal commun. Tracer le segment A_1B_1, puis indiquer α' entre l'axe optique et la direction des rayons émergents issus de B_1.

Question 5.

Sujet p. 2, 3

Justifier le terme « afocal » pour caractériser cette lunette.

Un objet situé à l'infini envoie sur l'objectif des rayons parallèles. L'objectif forme l'image intermédiaire dans son plan focal image. Comme F'_1 coïncide avec le foyer objet F_2 de l'oculaire, cette image est dans le plan focal objet de l'oculaire ; celui-ci fait alors émerger des rayons parallèles.

RÉPONSE À RETENIR

La lunette forme une image finale à l'infini à partir d'un objet situé à l'infini : elle est donc bien **afocale**.

Partie A — Visibilité de la calotte polaire

Question 6.

Sujet p. 3

Rappeler la définition du grossissement G de la lunette faisant intervenir α et α'.

Le grossissement angulaire compare l'angle sous lequel l'image est vue à travers la lunette à celui sous lequel l'objet est vu à l'œil nu. Les angles étant éventuellement orientés en sens opposés, le grossissement positif usuel correspond au rapport des grandeurs angulaires.

RÉPONSE À RETENIR

Le grossissement est défini par $\mathbf{G = |\alpha'/\alpha|}$, ou par $G = \alpha'/\alpha$ si l'on utilise les grandeurs des angles.

Question 7.

Sujet p. 3

Montrer que le grossissement de la lunette afocale peut se mettre sous la forme $G = f'_1/f'_2$, où f'_1 est la distance focale de la lentille L_1 et f'_2 est la distance focale de la lentille L_2. Utiliser l'approximation des petits angles pour les angles α et α'.

Notons y_1 la hauteur algébrique de B_1 par rapport à l'axe dans le plan focal commun. Avec l'approximation des petits angles, la géométrie donne $|y_1| \simeq f'_1|\alpha|$ pour l'objectif, et $|y_1| \simeq f'_2|\alpha'|$ pour l'oculaire. En égalant ces deux expressions puis en divisant par $f'_2|\alpha|$, on obtient le rapport des angles.

RÉPONSE À RETENIR

On a $f'_1|\alpha| \simeq f'_2|\alpha'|$, donc $\mathbf{G = |\alpha'/\alpha| = f'_1/f'_2}$. Avec des angles orientés, le rapport signé est négatif, car l'image est renversée ; la formule demandée concerne le grossissement en valeur positive.

Question 8.

Sujet p. 2, 3

> Déterminer l'expression de α_{min} en fonction de f'_1, f'_2 et θ_0. Vérifier que, pour la lunette de l'astronome amateur, $\alpha_{min} = 5{,}9 \times 10^{-6}$ rad.

À la limite de visibilité, l'angle sous lequel l'image est vue à travers la lunette atteint le pouvoir séparateur de l'œil : $|\alpha'| = \theta_0$. Or $|\alpha'| = G|\alpha|$. Ainsi, l'angle minimal d'observation à l'œil nu de l'objet est $\alpha_{min} = \theta_0/G = \theta_0 f'_2/f'_1$.

RÉPONSE À RETENIR

Les distances focales étant dans la même unité, $\alpha_{min} = 2{,}7 \times 10^{-4} \times 20/910 = 5{,}93 \times 10^{-6}$ rad. À deux chiffres significatifs, **$\alpha_{min} = 5{,}9 \times 10^{-6}$ rad**.

Question 9.

Sujet p. 3

> Sachant que le diamètre d de la calotte polaire Nord de Mars est d'environ 10^3 km, donner une estimation, en km, de la distance maximale D entre Mars et la Terre permettant d'observer cette calotte polaire.

Pour un angle petit, le diamètre d de la calotte et sa distance D vérifient $\tan\alpha \simeq \alpha \simeq d/D$, avec α en radians. La distance maximale correspond à l'angle minimal détectable ; on a donc $D_{max} \simeq d/\alpha_{min}$.

RÉPONSE À RETENIR

Avec $d \simeq 1{,}0 \times 10^3$ km et $\alpha_{min} = 5{,}9 \times 10^{-6}$ rad : $D_{max} \simeq (1{,}0 \times 10^3)/(5{,}9 \times 10^{-6})$ km $\simeq 1{,}7 \times 10^8$ km. La distance maximale estimée est donc **environ $1{,}7 \times 10^8$ km**.

Question 10.

Sujet p. 3

> La distance Terre-Mars varie au cours du temps entre 0,5 et 2,5 unités astronomiques. Compte tenu de la valeur de D trouvée à la question 9, préciser si l'astronome amateur pourra finalement observer la calotte polaire Nord de Mars avec sa lunette.

La distance minimale Terre-Mars donnée vaut 0,5 UA. Comme 1 UA = $1{,}50 \times 10^8$ km, cette distance minimale est inférieure à la distance maximale calculée en question 9. À l'inverse, la distance maximale possible, 2,5 UA, est supérieure à cette limite d'observation.

RÉPONSE À RETENIR

0,5 UA = $0{,}5 \times 1{,}50 \times 10^8$ km = $7{,}5 \times 10^7$ km, valeur inférieure à $D \simeq 1{,}7 \times 10^8$ km. **Oui, l'astronome pourra observer la calotte lorsque Mars sera suffisamment proche**, mais pas lorsque la distance Terre-Mars dépassera D.

Partie B — Modélisation théorique

Question 11.

Sujet p. 4, 5

> Indiquer le sens du transfert thermique qui a lieu au cours du refroidissement de la lunette.

La lunette est initialement à 19,5 °C, alors que l'air extérieur est à 9,0 °C. Au cours du refroidissement, l'énergie thermique est transférée du corps le plus chaud vers le milieu le plus froid.

RÉPONSE À RETENIR

Le transfert thermique s'effectue **de la lunette vers l'air extérieur**.

Question 12.

Sujet p. 5

Énoncer le premier principe de la thermodynamique.

Pour un système fermé, le premier principe exprime la conservation de l'énergie : la variation de l'énergie interne est égale à la somme de l'énergie reçue par transfert thermique et de l'énergie reçue par travail.

RÉPONSE À RETENIR

Avec la convention où Q et W sont positifs s'ils sont reçus par le système : **$\Delta U = Q + W$**. Ici, le travail mécanique est négligeable ; la variation d'énergie interne provient du transfert thermique.

Question 13.

Sujet p. 4, 5

Montrer que la variation de la température $\Delta\theta$ de la lunette sur une petite durée Δt vérifie la relation $C\,\Delta\theta = hS(\theta_e - \theta)\Delta t$, C étant la capacité thermique de la lunette.

Sur une petite durée Δt, le premier principe donne $\Delta U = Q$ si le travail est négligeable. Pour la lunette incompressible au repos, $\Delta U = C\Delta\theta$. Selon la loi de Newton, le flux thermique reçu par la lunette vaut $\Phi = hS(\theta_e - \theta)$. Sur cette petite durée, l'énergie reçue est $Q \simeq \Phi\Delta t$.

RÉPONSE À RETENIR

En combinant ces relations : $C\Delta\theta = Q \simeq hS(\theta_e - \theta)\Delta t$. On obtient bien **$C\Delta\theta = hS(\theta_e - \theta)\Delta t$**.

Question 14.

Sujet p. 4, 5

En déduire que la température $\theta(t)$ de la lunette vérifie l'équation différentielle $d\theta(t)/dt + \theta(t)/\tau = \theta_e/\tau$, où τ est le temps caractéristique du refroidissement, dont on précisera l'expression.

En divisant la relation de la question précédente par Δt et en faisant tendre Δt vers zéro, on obtient $C\,d\theta/dt = hS(\theta_e - \theta)$. Après développement puis division par C, l'équation prend la forme demandée.

RÉPONSE À RETENIR

$d\theta/dt + (hS/C)\theta = (hS/C)\theta_e$. En posant $\tau = C/(hS)$, il vient **$d\theta(t)/dt + \theta(t)/\tau = \theta_e/\tau$**. Le temps caractéristique est **$\tau = C/(hS)$**.

Question 15.

Sujet p. 5

Indiquer la valeur que devrait avoir la température de la lunette à l'issue du refroidissement. En déduire la valeur de la constante B dans la solution $\theta(t) = A\,e^{(-t/\tau)} + B$.

Après un temps très long, la lunette atteint l'équilibre thermique avec l'air extérieur, supposé à température constante. Dans $\theta(t) = Ae^{-t}/\tau + B$, le terme exponentiel tend vers zéro lorsque t tend vers l'infini ; la température limite est donc B.

RÉPONSE À RETENIR

La température finale est celle de l'air extérieur, $\theta_e = 9{,}0$ °C. Ainsi, **$B = \theta_e = 9{,}0$ °C**.

Question 16.

Sujet p. 4, 5

> Déterminer la valeur de la constante A, en fonction de θ_0 et θ_e, en raisonnant sur la valeur de la température initiale de la lunette.

À t = 0, $e^{-t/\tau} = 1$ et donc $\theta(0) = A + B$. Or $\theta(0) = \theta_0$ et $B = \theta_e$.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> $\theta_0 = A + \theta_e$, donc **$A = \theta_0 - \theta_e$**. Numériquement, A = 19,5 − 9,0 = 10,5 °C, comme dans l'optimisation.

Partie B — Simulation

Question 17.

Sujet p. 5

> Discuter qualitativement l'accord du modèle théorique avec les résultats expérimentaux.

On compare les points expérimentaux, représentés par des « + », à la courbe du modèle. Les points sont proches de cette courbe sur l'intervalle observé et suivent la même décroissance ; aucun écart systématique important n'est visible sur le graphique.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> Le modèle théorique est en **bon accord avec les résultats expérimentaux** sur la durée mesurée.

Question 18.

Sujet p. 4, 5

> En utilisant le résultat de l'optimisation, vérifier que la lunette peut être considérée comme « à température » à la date t = 2,0 h.

On utilise $\theta(t) = Ae^{-t/\tau} + B$ avec A = 10,5 °C, B = 9,0 °C et τ = 1414 s. Il faut convertir la durée de deux heures en secondes avant de l'introduire dans l'exponentielle : 2,0 h = 7200 s.

> **RÉPONSE À RETENIR**
>
> À t = 7200 s, l'écart à la température extérieure vaut $\theta(7200) - 9{,}0 = 10{,}5e^{-7200/1414} \simeq 0{,}064$ °C. Ainsi, $\theta(7200) \simeq 9{,}06$ °C ; cet écart est inférieur à 1 °C. **Après deux heures, la lunette peut être considérée comme « à température ».**

Exercice A

5 points

La spiruline

Partie A — Validité d'une méthode de dosage

Question 1.

Sujet p. 6, 7

> Décrire un protocole de dilution permettant d'obtenir 100 mL de la solution S_2 de concentration C_2 = 5,00 mg·L^{-1} à partir de la solution S_0.

Lors d'une dilution, la quantité de phycocyanine prélevée dans la solution mère est conservée : $C_0 V_0 = C_2 V_2$.

Avec $C_0 = 25{,}0\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$, $C_2 = 5{,}00\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$ et $V_2 = 100\ \text{mL}$, le volume de solution mère à prélever est :

$$V_0 = \frac{C_2 V_2}{C_0} = \frac{5{,}00 \times 100}{25{,}0} = 20{,}0\ \text{mL}.$$

On prélève 20,0 mL de S_0 avec une pipette jaugée, on les verse dans une fiole jaugée de 100 mL, puis on complète avec de l'eau déminéralisée jusqu'au trait de jauge et on homogénéise.

RÉPONSE À RETENIR

Prélever 20,0 mL de S_0, compléter à 100 mL avec de l'eau déminéralisée dans une fiole jaugée et homogénéiser : on obtient S_2 à $5{,}00\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$.

Question 2.

Sujet p. 6, 7

> Indiquer une valeur de la longueur d'onde adaptée pour mesurer l'absorbance de la solution à l'aide du spectrophotomètre.

Pour obtenir une mesure sensible, on choisit une longueur d'onde proche du maximum d'absorption du composé dosé. Le spectre fourni présente son maximum aux environs de 620 nm.

RÉPONSE À RETENIR

On peut choisir $\lambda \approx 620\ \text{nm}$, proche du maximum d'absorption de la phycocyanine.

Question 3.

Sujet p. 7

> Rappeler la loi de Beer-Lambert. Discuter l'accord des mesures obtenues avec cette loi.

À longueur d'onde et épaisseur de cuve fixées, la loi de Beer-Lambert s'écrit $A = \varepsilon(\lambda)\,\ell\,c$, où A est l'absorbance, c la concentration, ℓ l'épaisseur traversée et $\varepsilon(\lambda)$ le coefficient d'absorption molaire. Elle prévoit donc que l'absorbance est proportionnelle à la concentration.

Les points de la figure 2 sont approximativement alignés sur une droite passant près de l'origine. Les petits écarts à l'alignement peuvent être attribués aux incertitudes expérimentales : les mesures sont compatibles avec la loi de Beer-Lambert dans le domaine étudié.

RÉPONSE À RETENIR

La loi de Beer-Lambert est $A = \varepsilon(\lambda)\ell c$. Le nuage de points est approximativement aligné sur une droite passant près de l'origine : les mesures sont compatibles avec cette loi, compte tenu des écarts expérimentaux.

Question 4.

Sujet p. 7

En précisant la méthode utilisée, déterminer la concentration en masse C_e de la solution S_e.

On utilise la droite d'étalonnage de la figure 2. L'absorbance de la solution étalon S_E vaut $0{,}54$. Par interpolation entre les points $(10{,}0\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}; 0{,}37)$ et $(20{,}0\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}; 0{,}72)$, on estime :

$$C_E \approx 10{,}0 + \frac{0{,}54 - 0{,}37}{0{,}72 - 0{,}37} \times (20{,}0 - 10{,}0) = 14{,}9\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}.$$

La lecture graphique ne justifie pas une précision aussi fine que celle du calcul d'interpolation ; on retient donc environ $15\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$.

RÉPONSE À RETENIR

Par lecture de la droite d'étalonnage, $C_E \approx 15\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$.

Question 5.

Sujet p. 8

Calculer la valeur moyenne $\bar{C}_e$ et l'incertitude-type $u(C_e)$ liées à cette série de mesures. Écrire le résultat de cette mesure avec son incertitude-type en conservant trois chiffres significatifs sur la valeur de C_e. La série comporte 10 mesures, son écart-type est $\sigma = 0{,}53\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ et $u(X) = \sigma/\sqrt{N}$.

La moyenne des dix résultats est :

$$\overline{C_E} = \frac{14{,}2 + 14{,}7 + 15{,}2 + 15{,}9 + 14{,}7 + 14{,}1 + 14{,}9 + 14{,}4 + 15{,}1 + 14{,}6}{10} = 14{,}78\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}.$$

L'incertitude-type associée à cette moyenne vaut :

$$u(C_E) = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} = \frac{0{,}53}{\sqrt{10}} = 0{,}168\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}.$$

La consigne demande trois chiffres significatifs pour la valeur de C_E, soit $14{,}8\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$. En arrondissant l'incertitude au même rang décimal, le résultat s'écrit $(14{,}8 \pm 0{,}2)\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$.

RÉPONSE À RETENIR

$\overline{C_E} = 14{,}78\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$ et $u(C_E) = 0{,}168\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$. Avec trois chiffres significatifs pour la valeur mesurée : $C_E = (14{,}8 \pm 0{,}2)\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$.

Question 6.

Sujet p. 7, 8

Conclure quant à la validité de la méthode de dosage.

La valeur connue de l'étalon est $15{,}0\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$. La moyenne mesurée non arrondie est $14{,}78\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$, avec une incertitude-type de $0{,}168\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$. L'écart à la valeur connue est $|14{,}78 - 15{,}0| = 0{,}22\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$, légèrement supérieur à une incertitude-type. En utilisant le critère usuel de compatibilité à environ deux incertitudes-types, on compare cet écart à $2u = 0{,}336\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$: il lui est inférieur. La valeur connue est donc compatible avec le résultat mesuré selon ce critère.

RÉPONSE À RETENIR

La méthode est considérée comme valide : la valeur connue $15{,}0\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$ est compatible avec la mesure au critère usuel de deux incertitudes-types.

Partie B — Contrôle de la qualité de la spiruline

Question 7.

Sujet p. 8

La solution de spiruline à doser, notée S, est réalisée en dissolvant 5,0 mg de spiruline déshydratée dans 50,0 mL d'eau déminéralisée. Son absorbance est A_S = 0,44. Déterminer la concentration en masse en phycocyanine de cette solution.

On détermine la concentration de la solution de spiruline à partir de la droite d'étalonnage, pour $A_S = 0{,}44$. En interpolant entre les points $(10{,}0\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}; 0{,}37)$ et $(20{,}0\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}; 0{,}72)$, on obtient :

$$C_S \approx 10{,}0 + \frac{0{,}44 - 0{,}37}{0{,}72 - 0{,}37} \times 10{,}0 = 12{,}0\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}.$$

RÉPONSE À RETENIR

La concentration en masse de phycocyanine dans la solution S est estimée à $C_S \approx 12\ \text{mg}\,\text{L}^{-1}$.

Question 8.

Sujet p. 6, 8

Calculer la teneur en phycocyanine, exprimée en g pour 100 g, de spiruline déshydratée. Conclure sur la qualité de la spiruline déshydratée.

La masse de phycocyanine présente dans les $50{,}0\ \text{mL} = 0{,}0500\ \text{L}$ de solution est :

$$m_{\text{phyco}} = C_S V \approx 12{,}0\ \text{mg}\,\text{L}^{-1} \times 0{,}0500\ \text{L} = 0{,}600\ \text{mg}.$$

Cette masse provient de $5{,}0\ \text{mg}$ de spiruline. La teneur, exprimée en grammes de phycocyanine pour 100 g de spiruline, est donc :

$$\frac{0{,}600\ \text{mg}}{5{,}0\ \text{mg}} \times 100\ \text{g} = 12\ \text{g pour } 100\ \text{g}.$$

La teneur se situe dans l'intervalle de qualité optimale indiqué sur le sujet, de 10 à 15 g pour 100 g.

RÉPONSE À RETENIR

La spiruline contient environ $12\ \text{g}$ de phycocyanine pour $100\ \text{g}$ de spiruline déshydratée. Elle satisfait donc au critère de qualité indiqué.

Exercice B

5 points

Synthèse d'un arôme d'orange

Rendement de la synthèse

Question 1.

Sujet p. 9, 10

> Expliquer l'intérêt d'ajouter une solution aqueuse dans le milieu réactionnel avant de procéder à la séparation par décantation, comme indiqué dans la partie « traitement du milieu réactionnel » du protocole.

La solution aqueuse d'hydrogénocarbonate de sodium permet d'extraire vers la phase aqueuse des espèces solubles dans l'eau. En particulier, elle neutralise l'acide éthanoïque restant, qui est totalement soluble dans l'eau, selon la réaction :

$\mathrm{CH_3COOH_{(aq)} + HCO_3^-{}_{(aq)} \rightarrow CH_3COO^-{}_{(aq)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(l)}}$.

L'ion éthanoate formé reste dans la phase aqueuse. L'ajout de la solution facilite ainsi la séparation de la phase aqueuse et de la phase organique par décantation.

RÉPONSE À RETENIR

La solution d'hydrogénocarbonate neutralise notamment l'acide éthanoïque résiduel et permet de séparer plus facilement, par décantation, la phase aqueuse de la phase organique.

Question 2.

Sujet p. 9, 10

> Identifier, en justifiant, les espèces chimiques pouvant être présentes dans la phase organique.

La réaction met en jeu l'acide éthanoïque et l'octan-1-ol et forme de l'éthanoate d'octyle. Lors du traitement, l'acide éthanoïque est neutralisé et passe dans la phase aqueuse sous forme d'ions éthanoate. D'après les données de solubilité, l'octan-1-ol est peu soluble dans l'eau et l'éthanoate d'octyle y est très peu soluble : ces deux espèces peuvent donc se trouver dans la phase organique après décantation.

RÉPONSE À RETENIR

Après le traitement, la phase organique peut contenir l'octan-1-ol non consommé et l'éthanoate d'octyle formé. L'acide éthanoïque est principalement éliminé dans la phase aqueuse.

Question 3.

Sujet p. 9, 10

> Recopier et nommer les groupes fonctionnels présents dans les molécules d'acide éthanoïque et d'éthanoate d'octyle.

Dans l'acide éthanoïque, le groupe caractéristique est le groupe carboxyle, noté $\mathrm{-C(=O)-OH}$ ou $\mathrm{-COOH}$. Dans l'éthanoate d'octyle, le groupe caractéristique est le groupe ester, noté $\mathrm{-C(=O)-O-}$ ou $\mathrm{-COO-}$.

RÉPONSE À RETENIR

Acide éthanoïque : groupe carboxyle $\mathrm{-COOH}$. Éthanoate d'octyle : groupe ester $\mathrm{-COO-}$.

Question 4.

Sujet p. 9, 10, 11

> À l'aide des deux spectres, montrer que le liquide A correspond à l'alcool et le liquide B à l'ester.

Le spectre du liquide A montre une large bande d'absorption dans la zone des nombres d'onde élevés, autour de 3200 à $3500\ \mathrm{cm^{-1}}$, caractéristique de la liaison O–H d'un alcool. Il ne présente pas la forte bande fine de liaison $\mathrm{C=O}$ attendue pour l'ester. Le liquide A correspond donc à l'octan-1-ol.

Le spectre du liquide B présente une forte bande fine dans la zone de la liaison $\mathrm{C=O}$, entre 1650 et $1740\ \mathrm{cm^{-1}}$, et ne montre pas de large bande O–H. Le liquide B correspond donc à l'éthanoate d'octyle.

RÉPONSE À RETENIR

Le liquide A est l'octan-1-ol, identifié par sa large bande O–H. Le liquide B est l'éthanoate d'octyle, identifié par sa forte bande fine $\mathrm{C=O}$ et l'absence de large bande O–H.

Question 5.

Sujet p. 9, 10, 11

> Déterminer les quantités de matière en octan-1-ol et en éthanoate d'octyle obtenues.

D'après l'identification des spectres, le liquide A est l'octan-1-ol et le liquide B l'éthanoate d'octyle. On calcule chaque quantité de matière avec $n = m/M$.

Pour l'octan-1-ol :

$$n(\mathrm{C_8H_{18}O}) = \frac{4{,}30\ \mathrm{g}}{130\ \mathrm{g\,mol^{-1}}} = 3{,}31 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}.$$

Pour l'éthanoate d'octyle :

$$n(\mathrm{C_{10}H_{20}O_2}) = \frac{11{,}34\ \mathrm{g}}{172\ \mathrm{g\,mol^{-1}}} = 6{,}59 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}.$$

RÉPONSE À RETENIR

Les quantités obtenues sont $n(\text{octan-1-ol}) = 3{,}31 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$ et $n(\text{éthanoate d'octyle}) = 6{,}59 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$.

Question 6.

Sujet p. 9, 11

> Calculer le rendement de cette synthèse.

L'acide éthanoïque et l'octan-1-ol réagissent dans les proportions stœchiométriques 1:1. Les quantités initiales étant toutes deux égales à $0{,}100\ \mathrm{mol}$, la quantité maximale d'ester si la réaction était totale est $n_{\max} = 0{,}100\ \mathrm{mol}$.

Avec la quantité d'ester obtenue à la question 5, le rendement vaut :

$$\eta = \frac{n_f(\text{ester})}{n_{\max}(\text{ester})} \times 100 = \frac{6{,}59 \times 10^{-2}}{0{,}100} \times 100 = 65{,}9\ \%.$$

RÉPONSE À RETENIR

Le rendement de la synthèse est $\eta \approx 66\ \%$.

Optimisation de la synthèse

Question 7.

Sujet p. 9, 11

> En raisonnant sur le quotient de réaction, expliquer pourquoi l'ajout d'un réactif permet de déplacer l'équilibre.

À l'équilibre, le quotient de réaction vaut $Q_r = K = 4{,}0$. Si l'on ajoute un réactif à un système à l'équilibre, le dénominateur de l'expression de Q_r augmente tandis que les quantités de produits n'ont pas changé immédiatement : le quotient devient donc inférieur à K. Le système évolue alors dans le sens direct, qui augmente Q_r, jusqu'à retrouver l'équilibre. Il se forme ainsi davantage d'éthanoate d'octyle et d'eau.

RÉPONSE À RETENIR

L'ajout d'un réactif en excès fait momentanément passer Q_r sous K. L'équilibre se déplace dans le sens de formation de l'éthanoate d'octyle et de l'eau.

Question 8.

Sujet p. 9, 11

> Déterminer la quantité n'_1 d'acide éthanoïque à introduire pour obtenir un rendement d'au moins 0,95. On note n_2 la quantité initiale d'octan-1-ol (n_2 = 0,100 mol) et xéq l'avancement à l'équilibre ; le quotient de réaction à l'équilibre est $Q_{r,éq} = x_{éq}^2/[(n'_1 - x_{éq})(n_2 - x_{éq})]$.

Avec l'acide éthanoïque en excès, l'octan-1-ol est le réactif limitant et la quantité maximale d'ester vaut $n_2 = 0{,}100\ \text{mol}$. Pour un rendement d'au moins $0{,}95$, il faut donc $x_{\text{éq}} \geq 0{,}95 \times 0{,}100 = 0{,}095\ \text{mol}$. La quantité minimale d'acide correspond à la limite $x_{\text{éq}} = 0{,}095\ \text{mol}$.

À l'équilibre, $Q_{r,\text{éq}} = K = 4{,}0$. En utilisant l'expression donnée dans le sujet :

$$4{,}0 = \frac{(0{,}095)^2}{(n'_1 - 0{,}095)(0{,}100 - 0{,}095)}.$$

On isole n'_1 :

$$n'_1 = 0{,}095 + \frac{(0{,}095)^2}{4{,}0 \times 0{,}005} = 0{,}54625\ \text{mol}.$$

Cette valeur correspond au rendement limite de $0{,}95$; une quantité supérieure d'acide permet un avancement à l'équilibre au moins aussi grand.

RÉPONSE À RETENIR

Il faut introduire au minimum $n'_1 = 0{,}54625\ \text{mol}$, soit environ $0{,}55\ \text{mol}$ d'acide éthanoïque, pour obtenir un rendement d'au moins $0{,}95$.

Exercice C

5 points

Dégradation d'un produit de contraste

Première partie — Propriétés chimiques de l'acide diatrizoïque

Question 1.

Sujet p. 12

> En utilisant la notation simplifiée de l'acide diatrizoïque, donnée figure 1 bis, représenter le schéma de Lewis de l'acide diatrizoïque et le schéma de Lewis de l'ion carboxylate correspondant.

Dans la notation simplifiée, **R** représente le reste de la molécule. Dans R–C(=O)–OH, chaque atome d'oxygène porte deux doublets non liants. La perte du proton H^+ du groupe –OH donne l'ion carboxylate $RCOO^-$. Sa charge est délocalisée sur les deux oxygènes : on le représente par deux formes mésomères équivalentes.

```
Acide :       R–C(=O)–OH

Ion :         R–C(=O)–O⁻  ↔  R–C(–O⁻)=O
```

Dans chacune des formes de l'ion, l'oxygène lié par une double liaison porte deux doublets non liants ; l'oxygène lié par une simple liaison et portant la charge négative en porte trois.

RÉPONSE À RETENIR

Schémas de Lewis : **R–C(=O)–OH** pour l'acide diatrizoïque et les deux formes mésomères **R–C(=O)–O⁻ ↔ R–C(–O⁻)=O** pour l'ion diatrizoate. Les doublets non liants sont précisés dans la démarche.

Question 2.

Sujet p. 12

> Établir l'équation de réaction acide-base de l'acide diatrizoïque avec l'eau. Exprimer la constante d'acidité K_a du couple acide diatrizoïque / ion diatrizoate en fonction des concentrations à l'équilibre des espèces en solution.

L'acide diatrizoïque, noté RCOOH, cède un proton à l'eau. Il se forme l'ion diatrizoate $RCOO^-$ et l'ion oxonium H_3O^+. L'équation est équilibrée en atomes et en charges :

$$\mathrm{RCOOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons RCOO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}}$$

L'eau étant le solvant liquide pur, elle ne figure pas dans l'expression de la constante d'acidité. À l'équilibre :

$$K_a = \frac{[\mathrm{RCOO^-}]_{\text{éq}}[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}}{[\mathrm{RCOOH}]_{\text{éq}}}.$$

RÉPONSE À RETENIR

$\mathrm{RCOOH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons RCOO^-_{(aq)} + H_3O^+_{(aq)}}$ et $K_a = \dfrac{[\mathrm{RCOO^-}]_{\text{éq}}[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}}{[\mathrm{RCOOH}]_{\text{éq}}}$.

Question 3.

Sujet p. 12

> Représenter le diagramme de prédominance du couple de l'acide diatrizoïque et identifier l'espèce prédominante dans les eaux usées. Le pK_a du couple acide diatrizoïque / ion diatrizoate vaut 1,1 et le pH des eaux usées est

compris entre 6,5 et 8.

Dans un couple acide/base, les deux espèces sont en proportions égales à $pH = pK_a$. Ici, la frontière du diagramme de prédominance est donc à $pH = 1{,}1$. En dessous, RCOOH prédomine ; au-dessus, $RCOO^-$ prédomine.

```
pH :   0 ————————— 1,1 ———————————————————— 14
       RCOOH prédomine     RCOO⁻ prédomine
                           eaux usées : pH 6,5 à 8
```

Le pH des eaux usées étant très supérieur à 1,1, l'espèce prédominante est l'ion diatrizoate $RCOO^-$.

RÉPONSE À RETENIR

Pour $pH < 1{,}1$, RCOOH prédomine ; pour $pH > 1{,}1$, $RCOO^-$ prédomine. Dans les eaux usées, de pH compris entre 6,5 et 8, **l'ion diatrizoate $RCOO^-$ prédomine**.

Seconde partie — Cinétique de dégradation de produits de contraste

Question 4.

Sujet p. 13

À l'aide de la figure 2, déterminer les valeurs des temps de demi-réaction pour les deux acides. Identifier le produit de contraste qui se dégrade le plus rapidement.

Les deux courbes partent d'une concentration d'environ $10\ \mu\text{mol}\,\text{L}^{-1}$. La moitié de cette valeur est $5\ \mu\text{mol}\,\text{L}^{-1}$. Sur la figure 2, l'acide diatrizoïque atteint cette concentration entre 20 et 30 s, vers 22 s. L'acide iotalamique l'atteint autour de 30 s (environ 31 s à la lecture/interpolation du graphique). Ces valeurs sont des estimations graphiques. Le temps de demi-réaction le plus court correspond à une dégradation plus rapide.

RÉPONSE À RETENIR

$t_{1/2}$ de l'acide diatrizoïque $\approx 22\ \text{s}$ et $t_{1/2}$ de l'acide iotalamique $\approx 30\ \text{s}$ (environ 31 s à l'interpolation). L'acide diatrizoïque se dégrade donc le plus rapidement.

Question 5.

Sujet p. 13

Donner la définition de la vitesse volumique V de disparition de l'iopamidol en fonction de sa concentration [Iop](t).

La vitesse volumique de disparition est l'opposé de la dérivée temporelle de la concentration. Le signe moins rend cette vitesse positive lorsque la concentration diminue.

RÉPONSE À RETENIR

$V(t) = -\dfrac{d[\text{Iop}](t)}{dt}$. Si la concentration est exprimée en $\text{mol}\,\text{L}^{-1}$ et le temps en secondes, l'unité de V est $\text{mol}\,\text{L}^{-1}\,\text{s}^{-1}$.

Question 6.

Sujet p. 13

En supposant que la cinétique de dégradation est d'ordre 1 et que V = k × [Iop](t), déduire que l'évolution

temporelle de la concentration peut être modélisée par l'équation différentielle d[Iop](t)/dt + k × [Iop](t) = 0.

Par définition, $V(t) = -\dfrac{d[\mathrm{Iop}](t)}{dt}$. Pour une cinétique d'ordre 1, l'énoncé donne aussi $V(t) = k[\mathrm{Iop}](t)$, avec $k > 0$. En égalant ces expressions, puis en regroupant les termes, on obtient :

$-\dfrac{d[\mathrm{Iop}](t)}{dt} = k[\mathrm{Iop}](t)$, donc $\dfrac{d[\mathrm{Iop}](t)}{dt} + k[\mathrm{Iop}](t) = 0$.

RÉPONSE À RETENIR

$\boxed{\dfrac{d[\mathrm{Iop}](t)}{dt} + k[\mathrm{Iop}](t) = 0}$.

Question 7.

Sujet p. 13, 14

À partir des données et de la courbe de modélisation représentée figure 3, justifier que le modèle de la cinétique d'ordre 1 est validé. Relier les deux paramètres a et b du programme Python aux constantes [Iop]₀ et k. Les valeurs obtenues sont a = 9,70 et b = 0,020.

Sur la figure 3, les points expérimentaux sont proches de la courbe de modélisation ; le modèle d'ordre 1 rend donc compte des données présentées. La solution de l'équation différentielle est $[\mathrm{Iop}](t) = [\mathrm{Iop}]_0 e^{-kt}$. Le programme ajuste une fonction de la forme ae^{-bt}. Par identification, a correspond à la concentration initiale ajustée $[\mathrm{Iop}]_0$, et b à la constante de vitesse k. Comme le temps est exprimé en secondes, k s'exprime en s^{-1}. Les valeurs ajustées sont proches de la concentration initiale expérimentale de $10{,}0\ \mu\mathrm{mol\,L^{-1}}$.

RÉPONSE À RETENIR

La proximité de la courbe ajustée et des points expérimentaux valide la compatibilité du modèle d'ordre 1 avec les données. Par identification, $a \approx [\mathrm{Iop}]_0 = 9{,}70\ \mu\mathrm{mol\,L^{-1}}$ et $b = k = 0{,}020\ \mathrm{s^{-1}}$.

Question 8.

Sujet p. 14

Un établissement de santé souhaite traiter ses eaux usées à l'aide d'un rayonnement ultraviolet identique à celui utilisé par les chercheurs, afin de limiter le rejet d'iopamidol. La concentration initiale en iopamidol est [Iop]₀ = 10,0 µmol·L⁻¹ et la concentration en masse de l'eau traitée ne doit pas dépasser 2,0 mg·L⁻¹. En précisant la méthode, déterminer la durée minimum tₘ nécessaire du traitement. La masse molaire de l'iopamidol est égale à 777 g·mol⁻¹.

On convertit la concentration massique limite en concentration molaire. Avec $M = 777\ \mathrm{g\,mol^{-1}}$ et $2{,}0\ \mathrm{mg\,L^{-1}} = 2{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{g\,L^{-1}}$:

$$[\mathrm{Iop}]_{\mathrm{lim}} = \frac{2{,}0 \times 10^{-3}}{777} = 2{,}57 \times 10^{-6}\ \mathrm{mol\,L^{-1}} = 2{,}57\ \mu\mathrm{mol\,L^{-1}}.$$

Avec la concentration initiale donnée pour l'établissement, $[\mathrm{Iop}]_0 = 10{,}0\ \mu\mathrm{mol\,L^{-1}}$, et la constante ajustée $k = 0{,}020\ \mathrm{s^{-1}}$, la loi d'évolution est $[\mathrm{Iop}](t) = 10{,}0e^{-0{,}020t}$, avec t en secondes. À la durée minimale, la concentration atteint la limite :

$10{,}0e^{-0{,}020t_m} = 2{,}57$, donc $t_m = \dfrac{\ln(10{,}0/2{,}57)}{0{,}020} \approx 67{,}8\ \mathrm{s}$.

RÉPONSE À RETENIR

La durée minimale de traitement est $t_m \approx 68\ \mathrm{s}$, soit environ $1{,}1\ \mathrm{min}$. À partir de cette durée, la concentration en masse ne dépasse pas $2{,}0\ \mathrm{mg\,L^{-1}}$.

Sujet : https://www.sujetdebac.fr/annales-pdf/2022/spe-physique-chimie-2022-centres-etranger-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.