

Physique-chimie

Jour 1 · 16 juin 2026 (métropole) · sujet 26-PYCJ1ME1

3 exercices · 20 points · durée officielle 3 h 30 – corrigé question par question par l'Institut Hadamard.

Exercice 1 Étude d'un lave-linge

11 points | viser 1 h 20 | **DIFFICILE**

Remplissage de la cuve (pressostat), temporisation (circuit RC) et chauffage de l'eau (thermo-plongeur).

CORRIGÉ

1. REMPLISSAGE DE LA CUVE

Q1. Il faut remplir un demi-cube, soit le volume $\frac{a^3}{2}$, au débit D_v : $\Delta t_1 = \frac{a^3}{2D_v} = \frac{0,216}{2 \times 0,012} = 9,0$ min (avec $a = 0,600$ m).

Q2. L'eau qui monte pénètre dans la chambre : le volume d'air emprisonné diminue. À température et quantité de matière constantes (gaz parfait, loi de Boyle $PV = \text{cste}$), la pression augmente.

Q3. L'air occupe le volume initial diminué de celui de l'eau entrée ($\pi r^2 h$) : $V_2 = V_0 - \pi r^2 h$.

Q4. Loi de Boyle : $P_0 V_0 = P_2 V_2$, donc $P_2 = \frac{P_0 V_0}{V_0 - \pi r^2 h}$. Ainsi

$$\Delta P = P_2 - P_0 = P_0 \left(\frac{V_0}{V_0 - \pi r^2 h} - 1 \right) = P_0 \times \frac{\pi r^2 h}{V_0 - \pi r^2 h}.$$

Q5. Avec $r = 0,030$ m, $h = 5,0 \times 10^{-3}$ m, $V_0 = 5,0 \times 10^{-4}$ m³ : $\pi r^2 h = 1,41 \times 10^{-5}$ m³, d'où

$$\Delta P = 1,01 \times 10^5 \times \frac{1,41 \times 10^{-5}}{4,86 \times 10^{-4}} \approx 2,9 \times 10^3 \text{ Pa.}$$

C'est environ 19 fois plus que les 150 Pa d'un cycle normal : le test remplit la cuve bien plus haut.

Q6. Statique des fluides entre A (surface de l'eau, P_0) et B (bas de la chambre) : la dénivellation vaut la hauteur d'eau $\frac{a}{2}$, donc $\Delta P = \rho_{\text{eau}} g \frac{a}{2} = 1,0 \times 10^3 \times 9,81 \times 0,30 \approx 2,9 \times 10^3$ Pa – cohérent avec Q5.

Q7. En fonctionnement normal, $\Delta P = \rho_{\text{eau}} g H$ donne une hauteur $H = \frac{150}{1,0 \times 10^3 \times 9,81} = 1,53 \times 10^{-2}$ m. Le volume d'eau vaut $V = a^2 H = 0,36 \times 1,53 \times 10^{-2} \approx 5,5 \times 10^{-3}$ m³ = 5,5 L.

2. DURÉE DE TEMPORISATION (CIRCUIT RC)

Q8. Loi des mailles à la charge : $E = u_R + u_C = Ri + u_C$ avec $i = C \frac{du_C}{dt}$, d'où $u_C + RC \frac{du_C}{dt} = E$.

Q9. En régime permanent ($t \rightarrow \infty$) le courant s'annule et $u_C \rightarrow A$; or $u_C(\infty) = E$. De plus $u_C(0) = A(1 - 1) = 0$ convient. Donc $A = E = 4,5$ V.

Q10. $u_R = E - u_C = E - E(1 - e^{-t/\tau}) = E e^{-t/\tau}$.

Q11. $u_R(t_{\text{seuil}}) = \frac{E}{3} \iff e^{-t_{\text{seuil}}/\tau} = \frac{1}{3} \iff t_{\text{seuil}} = \tau \ln 3$.

Q12. $\Delta t_2 = RC \ln 3 \approx 30$ s donne $R = \frac{30}{C \ln 3} = \frac{30}{4,70 \times 10^{-3} \times \ln 3} \approx 5,8 \times 10^3 \Omega$. La valeur la plus proche est $R_2 = 5,0$ k Ω (alors $\Delta t_2 = 5000 \times 4,70 \times 10^{-3} \times \ln 3 \approx 26$ s).

Q13. Sur la figure 3, $u_R(0) \approx 4,5$ V. À la décharge (position 2), la loi des mailles donne $u_R + u_C = 0$, donc $|u_R(0)| = u_C(0) = E = 4,5$ V : c'est cohérent.

Q14. $u_R(\tau) = \frac{E}{e} \approx 0,37 \times 4,5 \approx 1,7$ V, lu sur la figure vers $\tau_{\text{exp}} \approx 25$ s. C'est en bon accord avec $\tau = RC = 5000 \times 4,70 \times 10^{-3} = 23,5$ s.

3. CHAUFFAGE DE L'EAU

Q15. Conduction, convection et rayonnement; ici le rayonnement est négligeable.

Q16. $Q = mc\Delta\theta$ avec $m = \rho V = 1,0 \times 10^3 \times 5,7 \times 10^{-3} = 5,7$ kg : $Q = 5,7 \times 4,18 \times 10^3 \times 10 \approx 2,4 \times 10^5$ J = 0,24 MJ.

Q17. $\Delta t_3 = \frac{Q}{P_{\text{él}}} = \frac{2,38 \times 10^5}{2000} \approx 119$ s $\approx 2,0$ min.

Q18. $\Phi = P_{\text{él}} = h_c S (\theta_{\text{th}} - \theta_{\text{eau}})$, donc $\theta_{\text{th}} = \theta_{\text{eau}} + \frac{P_{\text{él}}}{h_c S}$. Sans brassage ($h_c S = 20$ W·K⁻¹) : $\theta_{\text{th}} = 30 + \frac{2000}{20} = 130$ °C; avec brassage ($h_c S = 80$ W·K⁻¹) : $\theta_{\text{th}} = 30 + \frac{2000}{80} = 55$ °C.

Q19. Sur la figure 4 (sans tartre), l'eau atteint 30 °C en ≈ 110 s; à cet instant la figure 5 donne $\theta_{\text{th}} \approx 55$ -60 °C, cohérent avec les 55 °C calculés en Q18 (modèle avec brassage).

Q20. Avec tartre, l'eau met plus longtemps à atteindre 30 °C (≈ 127 s contre ≈ 110 s, figure 4). À puissance constante, $E = P_{\text{él}} \Delta t$: l'énergie augmente dans le même rapport, $\frac{127 - 110}{110} \approx 15$ %.

Exercice 2 L'odeur de jasmin

4 points | viser 30 min | **MOYEN**

Cinétique et rendement de la synthèse de l'éthanoate de benzyle : $C_2H_4O_2 + C_7H_8O \rightleftharpoons C_9H_{10}O_2 + H_2O$.

CORRIGÉ

Q1. Le groupe caractéristique est le groupe ester $\begin{array}{c} \parallel \\ -C-O- \end{array}$ (liaison $-CO-O-$); la famille fonctionnelle est celle des esters.

Q2. L'étape C (versement dans l'eau distillée glacée) réalise une trempe : le refroidissement brutal et la dilution bloquent la transformation (blocage cinétique) pour figer l'avancement à la date t avant le dosage.

Q3. La stœchiométrie est 1 : 1 (une mole d'acide consommée par mole d'ester formée). Avec l'avancement x : $n_{\text{ac}} = n_{0,\text{ac}} - x$ et $n_{\text{EB}} = x$, donc $n_{\text{ac}}(t) = n_{0,\text{ac}} - n_{\text{EB}}(t)$.

Q4. Par tube : $V_{\text{acide}} = 25\% \times 2,0 = 0,50$ mL, donc $m = \rho V = 1,05 \times 0,50 = 0,525$ g et $n_{0,\text{ac}} = \frac{m}{M} = \frac{0,525}{60,1} \approx 8,7 \times 10^{-3}$ mol.

Q5. D'après Q3 : $n_{\text{EB}}[i] = n_{0,\text{ac}} - n_{\text{ac}}[i]$.

Q6. $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle n_{EB} atteint la moitié de sa valeur finale. Valeur finale $\approx 5,8 \times 10^{-3}$ mol \Rightarrow moitié $\approx 2,9 \times 10^{-3}$ mol, atteinte vers $t_{1/2} \approx 3$ min.

Q7. $v_{EB} = \frac{1}{V} \frac{dn_{EB}}{dt}$.

Q8. À $t = 0$ la pente de la tangente est maximale : on lit $\frac{dn_{EB}}{dt} \approx 0,5 \times 10^{-3}$ mol \cdot min $^{-1}$, d'où $v_{EB}(0) \approx \frac{0,5 \times 10^{-3}}{2,0 \times 10^{-3}} \approx 0,25$ mol \cdot L $^{-1}$ \cdot min $^{-1}$ – bien plus grande qu'à $t = 20$ min.

Q9. Le facteur cinétique en jeu est la concentration des réactifs : elle diminue au cours du temps, ce qui fait chuter la vitesse.

Q10. La transformation est limitée (équilibre) : on augmente le rendement en éliminant l'eau formée au fur et à mesure (montage de Dean-Stark, distillation) ou en accentuant l'excès d'un réactif.

Exercice 3 Coloration de la laine

5 points | viser 40 min | MOYEN

Synthèse d'un colorant azoïque ($M = 328,3$ g \cdot mol $^{-1}$) puis dosage du bain de teinture.

CORRIGÉ

1. SYNTHÈSE DU COLORANT

Q1. Un intermédiaire réactionnel est une espèce formée puis entièrement consommée au cours du mécanisme : elle n'apparaît ni dans les réactifs ni dans les produits de l'équation de réaction.

Q2. Les deux intermédiaires sont l'acide nitreux HNO₂ (formé à l'étape 1, consommé à l'étape 2) et l'ion [H₂O-NO]⁺ (formé à l'étape 2, consommé à l'étape 3).

Q3. Étape 1 (NO₂⁻ + H⁺ \longrightarrow HNO₂) : le site donneur est un doublet non liant d'un atome d'oxygène chargé négativement de l'ion nitrite ; le site accepteur est l'ion H⁺ (lacune électro-nique).

Q4. La flèche courbe part d'un doublet non liant de l'oxygène O⁻ vers l'ion H⁺ (formation de la liaison O-H), pour chaque étape du mécanisme.

Q5. $n(\text{sulfanilique}) = \frac{0,87}{173,2} = 5,02 \times 10^{-3}$ mol et $n(\beta\text{-naphtol}) = \frac{0,72}{144,2} = 4,99 \times 10^{-3}$ mol. La réaction étant 1 : 1, le β -naphtol est limitant, donc $n_{\text{max}}(\text{colorant}) = 4,99 \times 10^{-3}$ mol et $m_{\text{max}} = 4,99 \times 10^{-3} \times 328,3 \approx 1,64$ g.

Q6. $\eta = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{max}}} = \frac{1,53}{1,64} \approx 0,93 = 93\%$.

Q7. Le spectre présente un maximum d'absorption vers 490 nm (domaine bleu-vert). La couleur perçue est la couleur complémentaire : le colorant est rouge (orangé).

2. ÉTUDE DU BAIN DE TEINTURE

Q8. À l'équivalence : $C_{\text{dil}} V_A = C_B V_E$, donc $C_{\text{dil}} = \frac{0,10 \times 13,50}{10,0} = 0,135$ mol \cdot L $^{-1}$. Le vinaigre ayant été dilué 10 fois, $C = 10 \times 0,135 = 1,350$ mol \cdot L $^{-1}$.

Q9. $C_{\text{moy}} = 1,3621$ mol \cdot L $^{-1}$ et $\sigma = 0,009$ mol \cdot L $^{-1}$.

Q10. $u(C_{\text{moy}}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,009}{\sqrt{12}} \approx 0,003$ mol \cdot L $^{-1}$, d'où $C = (1,362 \pm 0,003)$ mol \cdot L $^{-1}$.

Q11. $\frac{|C_{\text{moy}} - C_0|}{u(C_{\text{moy}})} = \frac{|1,362 - 1,360|}{0,003} \approx 0,7 < 2$: la concentration mesurée est compatible avec celle de l'étiquette (8°, soit $C_0 = 1,360 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$).