

Bac Terminale physique chimie – Métropole 2026 - sujet 1

Exercice 1 – Étude d'un lave-linge (11 points)

1. Remplissage de la cuve

Q1. Le volume de la cuve correspondant à la moitié de sa capacité totale est $V_{\text{demi}} = \frac{1}{2}a^3$. La durée de remplissage Δt_1 est liée à ce volume et au débit volumique D_v par la relation :

$$\Delta t_1 = \frac{V_{\text{demi}}}{D_v} = \frac{a^3}{2D_v}$$

En convertissant le côté de la cuve en mètres ($a = 0,600 \text{ m}$) :

$$\Delta t_1 = \frac{0,600^3}{2 \times 12 \times 10^{-3}} = 9,0 \text{ min}$$

Q2. Lors du remplissage, l'eau pénètre par le bas dans la chambre de compression cylindrique. L'air y étant piégé, sa quantité de matière n reste constante, tout comme sa température T . Le volume V offert à cet air diminue sous la poussée de l'eau. D'après la loi des gaz parfaits ($P \cdot V = n \cdot R \cdot T = \text{constante}$), si le volume diminue, alors la pression P augmente.

Q3. Le volume initial d'air est V_0 . Lorsque la hauteur d'eau dans la chambre atteint h , le volume d'eau introduit est $V_{\text{eau}} = \pi \cdot r^2 \cdot h$. Le volume d'air restant V_2 à l'arrêt du remplissage s'exprime donc par :

$$V_2 = V_0 - \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Q4. La transformation étant isotherme pour une quantité de matière d'air constante, la loi de Boyle-Mariotte s'écrit :

$$P_0 \cdot V_0 = P_2 \cdot V_2 \implies P_2 = P_0 \cdot \frac{V_0}{V_2} = P_0 \cdot \frac{V_0}{V_0 - \pi \cdot r^2 \cdot h}$$

La surpression $\Delta P = P_2 - P_0$ s'écrit :

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

Q5. Calculons la surpression ΔP avec les valeurs données ($V_0 = 0,50 \text{ L} = 0,50 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, $r = 0,030 \text{ m}$ et $h = 5,0 \times 10^{-3} \text{ m}$) :

$$\pi \cdot r^2 \cdot h = \pi \times 0,030^2 \times 5,0 \times 10^{-3} \approx 1,41 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$\Delta P = 1,01 \times 10^5 \times \frac{1,41 \times 10^{-5}}{0,50 \times 10^{-3} - 1,41 \times 10^{-5}} \approx 2,9 \times 10^3 \text{ Pa}$$

Cette surpression de $2,9 \times 10^3 \text{ Pa}$ est bien supérieure à celle d'un cycle normal (150 Pa). Cela s'explique par le fait que, lors du test, la cuve est remplie à moitié (hauteur d'eau de 30 cm), ce qui exerce une pression hydrostatique beaucoup plus importante sur l'air de la chambre de compression.

Q6. D'après la loi fondamentale de la statique des fluides appliquée entre les points A et B :

$$P_B - P_A = \rho_{\text{eau}} \cdot g \cdot (z_A - z_B)$$

Le point A est à la surface libre de la cuve, sous la pression atmosphérique ($P_A = P_0$), et le point B est à la surface de l'eau dans la chambre de compression ($P_B = P_2$). La différence de niveau est $z_A - z_B = \frac{a}{2} - h$. On en déduit :

$$\Delta P = P_2 - P_0 = \rho_{\text{eau}} \cdot g \cdot \left(\frac{a}{2} - h \right)$$

$$\Delta P = 1,0 \times 10^3 \times 9,81 \times (0,300 - 0,0050) \approx 2,9 \times 10^3 \text{ Pa}$$

On retrouve bien la même valeur de surpression.

Q7. En fonctionnement normal, la hauteur h est négligeable devant la hauteur d'eau H_{eau} dans la cuve. La loi de la statique donne :

$$\Delta P \approx \rho_{\text{eau}} \cdot g \cdot H_{\text{eau}} \implies H_{\text{eau}} = \frac{\Delta P}{\rho_{\text{eau}} \cdot g}$$

Le volume d'eau correspondant est :

$$V_{\text{eau}} = a^2 \cdot H_{\text{eau}} = a^2 \cdot \frac{\Delta P}{\rho_{\text{eau}} \cdot g}$$

$$V_{\text{eau}} = 0,600^2 \times \frac{150}{1,0 \times 10^3 \times 9,81} \approx 5,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 5,5 \text{ L}$$

2. Durée de temporisation

Q8. En appliquant la loi des mailles au circuit de charge (position 1) :

$$u_R(t) + u_C(t) = E$$

D'après la loi d'Ohm, $u_R(t) = R \cdot i(t)$, et la relation intensité-tension pour le condensateur est $i(t) = C \cdot \frac{du_C}{dt}$. L'équation différentielle s'écrit :

$$u_C(t) + R \cdot C \cdot \frac{du_C}{dt} = E$$

Q9. La solution générale est de la forme $u_C(t) = A(1 - e^{-t/\tau})$. Lorsque $t \rightarrow \infty$, le condensateur est totalement chargé et sa tension se stabilise à la valeur de la force électromotrice du générateur :

$$\lim_{t \rightarrow \infty} u_C(t) = E$$

D'après l'expression de la solution, cette limite vaut A . Par identification, on obtient :

$$A = E$$

Q10. La tension $u_R(t)$ s'obtient à partir de la loi des mailles :

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

Q11. À l'instant de fin de temporisation t_{seuil} , la condition est :

$$u_R(t_{\text{seuil}}) = \frac{E}{3} \implies E \cdot e^{-t_{\text{seuil}}/\tau} = \frac{E}{3} \implies e^{t_{\text{seuil}}/\tau} = 3$$

En appliquant la fonction logarithme népérien, on trouve :

$$t_{\text{seuil}} = \tau \cdot \ln 3$$

Q12. On cherche à obtenir $\Delta t_2 = t_{\text{seuil}} \approx 30$ s. Comme $\tau = R \cdot C$, on en déduit :

$$R = \frac{\Delta t_2}{C \cdot \ln 3}$$

$$R = \frac{30}{4,70 \times 10^{-3} \times \ln 3} \approx 5,8 \times 10^3 \Omega = 5,8 \text{ k}\Omega$$

La valeur de résistance disponible la plus proche est $R_2 = 5,0 \text{ k}\Omega$.

Q13. Graphiquement sur la figure 3, à $t = 0$, la tension initiale aux bornes de la résistance est de 4,5 V. Lors de la décharge (interrupteur en position 2, sans générateur), la loi des mailles donne $u_R(t) + u_C(t) = 0$ (avec les orientations choisies, les tensions sont de signes opposés ou bien identiques selon la convention). Le condensateur étant préalablement chargé à $E = 4,5$ V, la tension initiale vérifie $u_R(0) = u_C(0) = 4,5$ V, ce qui est en accord avec le graphique.

Q14. Pour une décharge exponentielle, à l'instant $t = \tau$, la tension vaut :

$$u_R(\tau) = E \cdot e^{-1} \approx 0,37 \times 4,5 = 1,7 \text{ V}$$

Sur le graphique, l'abscisse correspondant à une ordonnée de 1,7 V donne $\tau_{\text{exp}} \approx 23$ s. Cette valeur expérimentale est très proche de la valeur théorique $\tau_{\text{th}} = R_2 \cdot C = 5,0 \times 10^3 \times 4,70 \times 10^{-3} = 23,5$ s.

3. Chauffage de l'eau

Q15. Les trois modes de transferts thermiques sont la conduction, la convection et le rayonnement. Le mode qui peut être négligé lors du chauffage de l'eau est le rayonnement.

Q16. Le transfert thermique nécessaire pour chauffer l'eau est :

$$Q = m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot (\theta_f - \theta_0) = \rho_{\text{eau}} \cdot V_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}} \cdot (\theta_f - \theta_0)$$

$$Q = 1,0 \times 10^3 \times 5,7 \times 10^{-3} \times 4,18 \times 10^3 \times (30 - 20) \approx 2,4 \times 10^5 \text{ J} = 0,24 \text{ MJ}$$

Q17. La puissance électrique du thermoplongeur est $P_{\text{él}} = 2 \text{ kW}$. La durée Δt_3 de fonctionnement est :

$$\Delta t_3 = \frac{Q}{P_{\text{él}}} = \frac{2,38 \times 10^5}{2 \times 10^3} = 119 \text{ s} \approx 2,0 \text{ min}$$

Q18. À partir de la relation du flux thermique :

$$\Phi = h_c \cdot S \cdot (\theta_{\text{thermo}} - \theta_{\text{eau}}) \implies \theta_{\text{thermo}} = \theta_{\text{eau}} + \frac{\Phi}{h_c \cdot S}$$

Lorsque l'eau atteint $\theta_f = 30 \text{ °C}$ et sachant que $\Phi = P_{\text{él}} = 2,0 \times 10^3 \text{ W}$:

$$\text{Sans brassage : } \theta_{\text{thermo}} = 30 + \frac{2,0 \times 10^3}{1,0 \times 10^3 \times 0,020} = 30 + 100 = 130 \text{ °C}$$

$$\text{Avec brassage : } \theta_{\text{thermo}} = 30 + \frac{2,0 \times 10^3}{4,0 \times 10^3 \times 0,020} = 30 + 25 = 55 \text{ °C}$$

Q19. En lisant la figure 4, pour atteindre une température d'eau de 30 °C sans tartre, la durée requise est de 120 s . Sur la figure 5, à la date $t = 120 \text{ s}$, la température du thermoplongeur est de 55 °C , ce qui correspond exactement à la valeur théorique calculée à la question Q18.

Q20. Sur la figure 4, le temps nécessaire pour atteindre la température de 30 °C est de 120 s sans tartre, et de 138 s avec 2 mm de tartre. La puissance consommée étant constante, la consommation énergétique est proportionnelle à la durée de chauffage. L'augmentation relative de consommation est :

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{138 - 120}{120} = 0,15$$

Cela correspond à une augmentation de la consommation de 15% .

Exercice 2 – L'odeur de Jasmin (4 points)

Q1. Sur la formule de l'éthanoate de benzyle, le groupe caractéristique à entourer est le groupe ester $-COO-$. La famille fonctionnelle associée est celle des **esters**.

Q2. L'étape C correspond à une **trempe chimique** (ou thermique). L'immersion rapide dans l'eau glacée permet de stopper instantanément la réaction afin de figer la composition du milieu à la date choisie pour le dosage.

Q3. D'après l'équation de la réaction, la stœchiométrie montre qu'une mole d'acide éthanoïque consommée donne naissance à une mole d'éthanoate de benzyle. On a donc la conservation de la quantité de matière :

$$n_{ac}(t) = n_{0,ac} - x(t) \quad \text{et} \quad n_{EB}(t) = x(t) \implies n_{ac}(t) = n_{0,ac} - n_{EB}(t)$$

Q4. Le volume total d'un tube est $V = 2,0 \text{ mL}$. L'acide éthanoïque représentant 25 % de ce volume, on a :

$$V_{ac} = 0,25 \times 2,0 = 0,50 \text{ mL}$$

La quantité de matière initiale correspondante est :

$$n_{0,ac} = \frac{\rho_{ac} \cdot V_{ac}}{M_{ac}} = \frac{1,05 \times 0,50}{60,1} \approx 8,7 \times 10^{-3} \text{ mol} = 0,0087 \text{ mol}$$

Q5. La ligne 18 s'écrit :

$$n_{EB}[i] = n_{0ac} - n_{ac}[i]$$

Q6. Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale. D'après l'Annexe A1, la quantité finale d'ester formé est $n_{EB,f} \approx 5,8 \text{ mmol}$. Le temps de demi-réaction est atteint pour :

$$n_{EB}(t_{1/2}) = \frac{5,8}{2} = 2,9 \text{ mmol}$$

En lisant graphiquement l'abscisse correspondante, on trouve $t_{1/2} \approx 3 \text{ min}$.

Q7. L'expression de la vitesse volumique d'apparition de l'ester est :

$$v_{\text{EB}}(t) = \frac{1}{V} \frac{dn_{\text{EB}}}{dt}$$

Q8. À $t = 0$, la dérivée correspond à la pente de la tangente à l'origine de la courbe. Par tracé de la tangente passant par $(0; 0)$ et $(6 \text{ min}; 4,0 \text{ mmol})$:

$$\left(\frac{dn_{\text{EB}}}{dt} \right)_{t=0} \approx \frac{4,0 \times 10^{-3} - 0}{6 - 0} \approx 6,7 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}$$

La vitesse volumique vaut ainsi (avec $V = 2,0 \text{ mL}$) :

$$v_{\text{EB}}(0) \approx \frac{6,7 \times 10^{-4}}{2,0 \times 10^{-3}} \approx 0,34 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

Q9. La vitesse d'apparition diminue au cours du temps car la concentration des réactifs (facteur cinétique majeur) diminue au fur et à mesure de leur consommation.

Q10. Pour optimiser le rendement d'une estérification limitée par un équilibre, on peut éliminer l'un des produits (l'eau ou l'ester) au fur et à mesure de sa formation par distillation, ou introduire un réactif en très grand excès.

Exercice 3 – Coloration de la laine (5 points)

1. Synthèse d'un « colorant acide »

Q1. Un intermédiaire réactionnel est une espèce chimique qui se forme dans une étape du mécanisme de réaction et est entièrement consommée dans une étape ultérieure. Elle ne figure pas dans l'équation bilan de la réaction.

Q2. Sur l'annexe A2, les deux intermédiaires réactionnels sont l'acide nitreux HNO_2 (produit à l'étape 1, consommé à l'étape 2) et sa forme protonée (produite à l'étape 2, consommée à l'étape 3).

Q3. Dans l'étape 1, le site donneur est l'un des doublets non liants portés par l'atome d'oxygène chargé négativement de l'ion nitrite. Le site accepteur est l'ion hydrogène H^+ qui présente une lacune électronique.

Q4. La flèche courbe part d'un doublet non liant de l'oxygène négatif pour aller pointer vers le proton H^+ .

Q5. Calculons les quantités initiales de réactifs :

$$n_{\text{acide}} = \frac{0,87}{173,2} \approx 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n_{\text{naphthol}} = \frac{0,72}{144,2} \approx 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

Le mélange étant stœchiométrique avec un rapport 1:1, l'avancement maximal est $x_{\text{max}} = 5,0 \times 10^{-3}$ mol. La masse théorique maximale de colorant attendue est :

$$m_{\text{max}} = x_{\text{max}} \cdot M_{\text{colorant}} = 5,0 \times 10^{-3} \times 328,3 \approx 1,64 \text{ g}$$

Q6. Le rendement de la synthèse vaut :

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

Q7. D'après la figure 2, l'absorbance est maximale dans l'intervalle 470 – 520 nm (dans le bleu-vert). D'après le cercle chromatique, la couleur complémentaire transmise est l'**orange**.

2. Étude du bain de teinture

Q8. À l'équivalence du titrage d'un acide fort/faible monoprotique par une base forte :

$$C_d \cdot V_A = C_B \cdot V_E \implies C_d = \frac{C_B \cdot V_E}{V_A}$$

Le vinaigre ayant été dilué dix fois, sa concentration commerciale C est :

$$C = 10 \cdot C_d = 10 \cdot \frac{C_B \cdot V_E}{V_A}$$

Pour le titrage N°1 ($V_{E1} = 13,50 \text{ mL}$) :

$$C = 10 \times \frac{0,10 \times 13,50}{10,0} = 1,350 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Q9. La moyenne de la série de mesures de C est proche de $1,36 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. De plus, la dispersion des mesures étant très faible, l'écart-type est de $0,009 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. On sélectionne donc :

$$C_{\text{moy}} = 1,3621 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\sigma = 0,009 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Q10. L'incertitude-type pour $n = 12$ mesures vaut :

$$u(C_{\text{moy}}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,009}{\sqrt{12}} \approx 0,0026 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \approx 0,003 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

L'écriture du résultat avec le nombre convenable de chiffres significatifs est :

$$C = (1,362 \pm 0,003) \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Q11. Calculons le quotient d'accord :

$$\frac{|C_{\text{moy}} - C_0|}{u(C_{\text{moy}})} = \frac{|1,362 - 1,360|}{0,003} \approx 0,67$$

Ce quotient étant inférieur à 2, la différence n'est pas statistiquement significative. La valeur mesurée expérimentalement est en parfait accord avec l'étiquette de la bouteille commerciale.