

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL — SESSION 2026
Physique-Chimie — Enseignement de spécialité
MÉTROPOLE — JOUR 1 (MARDI 16 JUIN 2026) (SUJET 26-PYCJ1ME1)

CORRIGÉ DÉTAILLÉ

Rédaction conforme à une copie notée 20/20

Comment utiliser ce corrigé. Le texte contenu dans les **cadres bleus** correspond à ce qu'il faut effectivement écrire sur la copie : phrase d'introduction, formule littérale, application numérique, résultat avec unité et bon nombre de chiffres significatifs, puis conclusion. Les encadrés orange « Note du professeur » ne font pas partie de la copie : ce sont des conseils de méthode et des pièges à éviter.

Répartition des points : Exercice 1 — 11 points • Exercice 2 — 4 points • Exercice 3 — 5 points.
Durée : 3 h 30.

Corrigé non officiel, proposé par Génies des Sciences. Il ne s'agit pas du barème du jury.

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

1. Remplissage de la cuve

Q1 Exprimer la durée Δt_1 permettant de remplir à moitié la cuve en fonction de D_v et de a . Calculer Δt_1 en minutes.

La cuve est un cube de côté a , son volume vaut $V_c = a^3$. Le volume d'eau à introduire pour la remplir à moitié est donc :

$$V = \frac{V_c}{2} = \frac{a^3}{2}$$

Le débit volumique est le volume écoulé par unité de temps : $D_v = \frac{V}{\Delta t_1}$, d'où :

$$\Delta t_1 = \frac{V}{D_v} = \frac{a^3}{2 D_v}$$

Application numérique avec $a = 60,0 \text{ cm} = 0,600 \text{ m}$ et $D_v = 12 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$:

$$\Delta t_1 = \frac{(0,600)^3}{2 \times 12 \times 10^{-3}} = \frac{0,216}{2,4 \times 10^{-2}} = 9,0 \text{ min}$$

$$\Delta t_1 = 9,0 \text{ min}$$

Note du professeur

Le débit est donné en $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$: en exprimant le volume en m^3 , la durée sort directement en minutes, sans conversion. Penser aussi à convertir a en mètres avant d'élever au cube : $a^3 = (0,600)^3 = 0,216 \text{ m}^3$.



Q2 Justifier que la pression augmente dans la chambre de compression lors du remplissage.

L'air enfermé dans la chambre de compression y est piégé : sa quantité de matière n reste constante, et sa température reste égale à θ_0 . Lorsque le niveau d'eau monte dans la cuve, une partie de cette eau pénètre par le bas dans la chambre de compression : le volume offert à l'air **diminue**.

Or l'air se comporte comme un gaz parfait : $PV = nRT$. À n et T constantes, le produit $P \times V$ est constant (loi de Boyle-Mariotte) :

$$P \times V = \text{constante} \quad \Rightarrow \quad P = \frac{\text{constante}}{V}$$

Le volume V occupé par l'air diminue, donc la pression P augmente.

Q3 Exprimer le volume V_2 occupé par l'air dans la chambre de compression à l'arrêt du remplissage, en fonction de V_0 , r et h .

La chambre de compression est un cylindre de rayon r . L'eau qui y est montée sur une hauteur h occupe donc un volume cylindrique :

$$V_{\text{eau}} = \pi r^2 h$$

L'air occupe le volume restant, c'est-à-dire le volume initial V_0 diminué du volume d'eau :

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

Q4 Exprimer P_2 en fonction des données, puis montrer que la surpression $\Delta P = P_2 - P_0$ s'écrit $\Delta P = P_0 \times \frac{\pi r^2 h}{V_0 - \pi r^2 h}$.

La quantité d'air et sa température restant constantes, on applique la loi de Boyle-Mariotte entre l'état initial (volume V_0 , pression P_0) et l'état final (volume V_2 , pression P_2) :

$$P_0 V_0 = P_2 V_2 \quad \Rightarrow \quad P_2 = \frac{P_0 V_0}{V_2} = \boxed{\frac{P_0 V_0}{V_0 - \pi r^2 h}}$$

On en déduit la surpression :

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

$$\Delta P = P_0 \times \frac{V_0 - (V_0 - \pi r^2 h)}{V_0 - \pi r^2 h} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\Delta P = P_0 \times \frac{\pi r^2 h}{V_0 - \pi r^2 h}}$$



Q5 Calculer ΔP lors du test et commenter par rapport à la valeur $\Delta P = 150 \text{ Pa}$ d'un cycle normal.

Conversion des données : $r = 3,0 \text{ cm} = 3,0 \times 10^{-2} \text{ m}$, $h = 5,0 \text{ mm} = 5,0 \times 10^{-3} \text{ m}$ et $V_0 = 0,50 \text{ L} = 5,0 \times 10^{-4} \text{ m}^3$.

Volume d'eau entré dans la chambre :

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

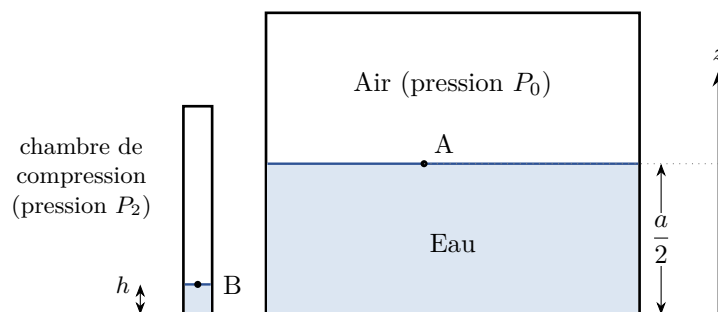
D'où la surpression :

$$\Delta P = 1,01 \times 10^5 \times \frac{1,41 \times 10^{-5}}{5,0 \times 10^{-4} - 1,41 \times 10^{-5}} = 1,01 \times 10^5 \times \frac{1,41 \times 10^{-5}}{4,86 \times 10^{-4}}$$

$$\Delta P = 2,9 \times 10^3 \text{ Pa}$$

Commentaire. Cette surpression est environ **20 fois plus grande** que celle d'un cycle normal ($2,9 \times 10^3 \text{ Pa}$ contre 150 Pa). C'est cohérent : le pressostat déclenche l'arrêt du remplissage lorsque la surpression atteint sa valeur seuil, et cette surpression est d'autant plus grande que le niveau d'eau dans la cuve est élevé. Le test, qui remplit la cuve à *moitié*, correspond donc à un niveau d'eau bien supérieur à celui d'un cycle de lavage normal — autrement dit, un lavage normal consomme beaucoup moins d'eau que la moitié de la cuve.

Q6 Retrouver la valeur de la surpression ΔP lors du test à l'aide de la loi fondamentale de la statique des fluides appliquée entre les points A et B.



Les points A et B appartiennent au même fluide incompressible au repos : l'eau. On peut donc appliquer la loi fondamentale de la statique des fluides :

$$P(A) + \rho_{\text{eau}} g z_A = P(B) + \rho_{\text{eau}} g z_B$$

- le point A est à la surface libre de l'eau dans la cuve : la pression y est celle de l'air de la cuve, soit $P(A) = P_0$, à l'altitude $z_A = \frac{a}{2}$;
- le point B est à la surface de l'eau dans la chambre de compression : la pression y est celle de l'air comprimé, soit $P(B) = P_2$, à l'altitude $z_B = h$.

On en déduit :

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



$$\Delta P = 1,0 \times 10^3 \times 9,81 \times (0,300 - 5,0 \times 10^{-3}) = 1,0 \times 10^3 \times 9,81 \times 0,295$$

$\Delta P = 2,9 \times 10^3 \text{ Pa}$: on retrouve bien la valeur de la question Q5.

Les deux méthodes, l'une fondée sur la compression de l'air (loi de Boyle-Mariotte), l'autre sur la colonne d'eau (statique des fluides), conduisent au même résultat : le modèle est cohérent.

Note du professeur

La loi fondamentale de la statique des fluides ne s'applique qu'à l'intérieur d'un même fluide au repos : on l'écrit ici entre deux points de l'eau, et non entre deux points de l'air. La pression à une surface libre est égale à celle du gaz situé juste au-dessus.

Q7 Déterminer le volume d'eau contenu dans la cuve en fonctionnement normal et sans linge ($\Delta P = 150 \text{ Pa}$, h négligeable devant la hauteur d'eau dans la cuve).

Notons H la hauteur d'eau dans la cuve en fonctionnement normal. En reprenant la relation établie à la question Q6, avec h négligeable devant H :

$$\Delta P = \rho_{\text{eau}} g (H - h) \approx \rho_{\text{eau}} g H \quad \Rightarrow \quad H = \frac{\Delta P}{\rho_{\text{eau}} g}$$

$$H = \frac{150}{1,0 \times 10^3 \times 9,81} = 1,53 \times 10^{-2} \text{ m} \approx 1,5 \text{ cm}$$

La cuve étant un cube de côté a , sa section horizontale est un carré d'aire a^2 :

$$V_{\text{eau}} = a^2 \times H = (0,600)^2 \times 1,53 \times 10^{-2} = 5,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$V_{\text{eau}} = 5,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3, \text{ soit environ } 5,5 \text{ L}$$

Ce résultat est cohérent avec la valeur $V_{\text{eau}} = 5,7 \text{ L}$ donnée dans la partie 3 de l'énoncé, et confirme le commentaire de la question Q5 : un cycle normal n'utilise que 5,5 L d'eau, très loin des 108 L correspondant à la moitié de la cuve.

2. Durée de temporisation

Q8 Montrer que l'équation différentielle vérifiée par $u_C(t)$ s'écrit $u_C(t) + RC \frac{du_C}{dt}(t) = E$.

L'interrupteur K est en position 1 : le générateur, le conducteur ohmique et le condensateur sont en série. La loi des mailles s'écrit :

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

Le conducteur ohmique obéit à la loi d'Ohm : $u_R(t) = Ri(t)$.

L'intensité est le débit de charge dans le circuit, et la charge du condensateur vérifie $q = C u_C$:

$$i(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{d(C u_C)}{dt} = C \frac{du_C}{dt}(t) \quad (C \text{ est une constante})$$



En reportant dans la loi des mailles :

$$E = RC \frac{du_C}{dt}(t) + u_C(t) \quad \Rightarrow \quad \boxed{u_C(t) + RC \frac{du_C}{dt}(t) = E}$$

Q9 Déterminer l'expression de la constante A dans la situation étudiée.

La solution proposée est $u_C(t) = A(1 - e^{-t/\tau})$ avec $\tau = RC$. Sa dérivée vaut :

$$\frac{du_C}{dt}(t) = \frac{A}{\tau} e^{-t/\tau}$$

En reportant dans l'équation différentielle :

$$A(1 - e^{-t/\tau}) + RC \times \frac{A}{RC} e^{-t/\tau} = A - A e^{-t/\tau} + A e^{-t/\tau} = A$$

Cette expression doit être égale à E à *chaque instant*, donc :

$$A = E = 4,5 \text{ V}$$

Interprétation : en régime permanent ($t \gg \tau$), le condensateur est complètement chargé, plus aucun courant ne circule et $u_C \rightarrow A = E$.

Q10 En déduire que $u_R(t) = E e^{-t/\tau}$.

D'après la loi des mailles établie à la question Q8, $u_R(t) = E - u_C(t)$. Or $u_C(t) = E(1 - e^{-t/\tau})$ d'après la question Q9, donc :

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

$$\boxed{u_R(t) = E e^{-t/\tau}}$$

Q11 Montrer que la date de fin de temporisation s'exprime comme $t_{\text{seuil}} = \tau \ln 3$.

Le comparateur envoie son signal lorsque $u_R(t_{\text{seuil}}) = \frac{E}{3}$:

$$E e^{-t_{\text{seuil}}/\tau} = \frac{E}{3} \quad \Rightarrow \quad e^{-t_{\text{seuil}}/\tau} = \frac{1}{3}$$

On applique la fonction logarithme népérien aux deux membres :

$$-\frac{t_{\text{seuil}}}{\tau} = \ln\left(\frac{1}{3}\right) = -\ln 3$$

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



Q12 Déterminer, parmi les valeurs proposées, la résistance à utiliser pour obtenir une durée de temporisation voisine de 30 s.

La durée de temporisation vaut $\Delta t_2 = t_{\text{seuil}} = \tau \ln 3 = RC \ln 3$. La résistance idéale serait donc :

$$R = \frac{\Delta t_2}{C \ln 3} = \frac{30}{4,70 \times 10^{-3} \times \ln 3} = \frac{30}{5,16 \times 10^{-3}} = 5,8 \times 10^3 \, \Omega$$

Comparons aux trois résistances disponibles : $R_1 = 470 \, \Omega$, $R_2 = 5,0 \, \text{k}\Omega$ et $R_3 = 100 \, \text{k}\Omega$. C'est R_2 qui est la plus proche de 5,8 k Ω . Vérifions la durée obtenue :

$$\Delta t_2 = R_2 C \ln 3 = 5,0 \times 10^3 \times 4,70 \times 10^{-3} \times \ln 3 = 26 \, \text{s}$$

(à titre de comparaison : R_1 donnerait $\Delta t_2 = 2,4 \, \text{s}$ et R_3 donnerait $\Delta t_2 = 5,2 \times 10^2 \, \text{s}$, valeurs très éloignées des 30 s souhaitées).

Il faut choisir $R = R_2 = 5,0 \, \text{k}\Omega$, qui donne $\Delta t_2 = 26 \, \text{s}$.

Q13 Déterminer graphiquement $u_R(t=0)$ après le basculement en position 2 et vérifier l'accord avec la loi des mailles.

Lecture graphique. Sur la figure 3, la courbe part de l'ordonnée maximale à l'instant du basculement :

$$u_R(t=0) = 4,5 \, \text{V}$$

Vérification par la loi des mailles. En position 2, le générateur est déconnecté : le conducteur ohmique et le condensateur sont branchés entre les deux mêmes nœuds. La loi des mailles impose donc que les deux dipôles supportent la même tension, au signe près :

$$|u_R(t)| = |u_C(t)|$$

Or la tension aux bornes d'un condensateur est une fonction *continue* du temps : juste après le basculement, le condensateur est encore chargé sous la tension atteinte en fin de charge, soit $u_C(0) = E = 4,5 \, \text{V}$. On en déduit :

$$|u_R(0)| = u_C(0) = E = 4,5 \, \text{V}$$

La valeur lue sur le graphique, 4,5 V, est bien en accord avec la loi des mailles.

Note du professeur

Attention aux orientations. Avec la flèche de u_R telle qu'elle est dessinée sur la figure 2, la loi des mailles en position 2 s'écrit rigoureusement $u_R(t) + u_C(t) = 0$, soit $u_R(0) = -4,5 \, \text{V}$: le courant de décharge circule en sens inverse du courant de charge. La figure 3 représente donc la *valeur absolue* de u_R (ce qui revient à retourner la flèche pour la phase de décharge). C'est bien la valeur 4,5 V qui est attendue — l'essentiel est de ne pas écrire une égalité de signes qui contredirait la figure 2.



Q14 Déterminer, à l'aide du graphique de la figure 3, la valeur expérimentale τ_{exp} de la constante de temps du circuit RC. Commenter.

Méthode employée : lecture à 37 % de la valeur initiale. Lors de la décharge, $u_R(t) = U_0 e^{-t/\tau}$ avec $U_0 = 4,5 \text{ V}$. À l'instant $t = \tau$:

$$u_R(\tau) = U_0 e^{-1} = 0,37 \times U_0 = 0,37 \times 4,5 = 1,7 \text{ V}$$

On repère l'ordonnée $u_R = 1,7 \text{ V}$ sur la figure 3 et on projette sur l'axe des abscisses :

$$\tau_{\text{exp}} \approx 24 \text{ s} \quad (\text{lecture graphique à } \pm 2 \text{ s près})$$

Commentaire. La valeur théorique attendue est :

$$\tau = R_2 C = 5,0 \times 10^3 \times 4,70 \times 10^{-3} = 23,5 \text{ s} \approx 24 \text{ s}$$

L'écart relatif entre les deux valeurs vaut $\frac{|24 - 23,5|}{23,5} \approx 2 \%$, inférieur à l'incertitude de lecture graphique. La valeur expérimentale est donc **en accord** avec le modèle du dipôle RC, ce qui valide à la fois la modélisation et le choix de R_2 fait à la question Q12.

Note du professeur

Deux méthodes graphiques sont acceptées et donnent le même résultat : la lecture de l'abscisse du point d'ordonnée $0,37 U_0$ (utilisée ici), ou le tracé de la *tangente à l'origine*, qui coupe l'axe des abscisses en $t = \tau$. Il faut préciser la méthode employée : c'est elle qui est notée, pas seulement le résultat.

3. Chauffage de l'eau

Q15 Nommer les trois modes possibles de transferts thermiques et indiquer celui qui peut être négligé lors du chauffage de l'eau.

Les trois modes de transfert thermique sont :

- la **conduction** : transfert de proche en proche, sans déplacement de matière (ici, du thermoplongeur vers l'eau à son contact) ;
- la **convection** : transfert par déplacement de matière au sein du fluide (ici, le brassage de l'eau chaude dans la cuve) ;
- le **rayonnement** : transfert par ondes électromagnétiques, sans support matériel.

Le rayonnement peut être négligé lors du chauffage de l'eau.

En effet, les températures mises en jeu restent modérées : le thermoplongeur, corps le plus chaud du système, ne dépasse pas quelques dizaines à quelques centaines de degrés (cf. question Q18). Or le transfert par rayonnement ne devient important qu'à haute température : il est ici négligeable devant la conduction au contact du thermoplongeur et surtout la convection au sein de l'eau brassée.



Q16 Montrer que le transfert thermique Q nécessaire pour chauffer l'eau de θ_0 à θ_f est d'environ 0,24 MJ.

Masse d'eau contenue dans la cuve, avec $V_{\text{eau}} = 5,7 \text{ L} = 5,7 \times 10^{-3} \text{ m}^3$:

$$m = \rho_{\text{eau}} \times V_{\text{eau}} = 1,0 \times 10^3 \times 5,7 \times 10^{-3} = 5,7 \text{ kg}$$

La cuve étant supposée isolée thermiquement, tout le transfert thermique reçu sert à élever la température de l'eau :

$$Q = m c_{\text{eau}} (\theta_f - \theta_0) = 5,7 \times 4,18 \times 10^3 \times (30 - 20)$$

$$Q = 2,4 \times 10^5 \text{ J}$$

$$Q = 2,4 \times 10^5 \text{ J} = 0,24 \text{ MJ} : \text{la valeur annoncée est bien vérifiée.}$$

Note du professeur

Un écart de température peut s'exprimer indifféremment en $^{\circ}\text{C}$ ou en kelvins : $\theta_f - \theta_0 = 10 \text{ }^{\circ}\text{C} = 10 \text{ K}$. C'est pourquoi c_{eau} peut être donnée en $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ et utilisée directement avec des températures en degrés Celsius.

Q17 Calculer la durée de fonctionnement Δt_3 du thermoplongeur, en minutes, pour que l'eau passe de $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ à $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

La puissance électrique fournie est intégralement transmise à l'eau sous forme d'un flux thermique constant $\Phi = P_{\text{él}}$. L'énergie transférée pendant la durée Δt_3 vaut donc $Q = P_{\text{él}} \times \Delta t_3$, d'où :

$$\Delta t_3 = \frac{Q}{P_{\text{él}}} = \frac{2,4 \times 10^5}{2 \times 10^3} = 1,2 \times 10^2 \text{ s}$$

Conversion en minutes :

$$\Delta t_3 = \frac{1,2 \times 10^2}{60} = 2,0 \text{ min}$$

$$\Delta t_3 \approx 1,2 \times 10^2 \text{ s, soit environ 2,0 minutes}$$

Q18 Déterminer les températures du thermoplongeur avec et sans brassage de l'eau quand l'eau a atteint la température θ_f .

Le flux thermique du thermoplongeur vers l'eau s'écrit $\Phi = h_c S (\theta_{\text{thermo}} - \theta_{\text{eau}})$, avec $\Phi = P_{\text{él}} = 2 \times 10^3 \text{ W}$ et $S = 0,020 \text{ m}^2$. On isole la température du thermoplongeur :

$$\theta_{\text{thermo}} = \theta_{\text{eau}} + \frac{\Phi}{h_c S}$$

Sans brassage de l'eau ($h_{c,0} = 1,0 \times 10^3 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$).



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

Avec brassage de l'eau ($h'_{c,0} = 4,0 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$).

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

Sans brassage : $\theta_{\text{thermo}} = 1,3 \times 10^2 \text{ °C}$ • Avec brassage : $\theta_{\text{thermo}} = 55 \text{ °C}$

Le brassage, en multipliant par 4 le coefficient de transfert thermique, divise par 4 l'écart de température nécessaire pour évacuer le même flux : le thermoplongeur fonctionne donc beaucoup moins chaud, ce qui limite l'entartrage et l'usure de la résistance.

Q19 En utilisant les figures 4 et 5, déterminer la durée nécessaire au chauffage de l'eau sans tartre et en déduire la température atteinte par le thermoplongeur à la fin du chauffage. Comparer à la valeur obtenue à la question Q18.

Durée du chauffage (figure 4, courbe « sans tartre »).

On repère l'instant auquel la température de l'eau atteint $\theta_f = 30 \text{ °C}$, en partant de 20 °C :

$$\Delta t \approx 1,2 \times 10^2 \text{ s}$$

Cette valeur est cohérente avec le résultat de la question Q17 ($1,2 \times 10^2 \text{ s}$), ce qui valide la simulation.

Température du thermoplongeur (figure 5, courbe « sans tartre »).

On projette cette date sur la courbe « sans tartre » de la figure 5, puis sur l'axe des ordonnées :

$$\theta_{\text{thermo}} \approx 57 \text{ °C à la fin du chauffage}$$

Comparaison avec la question Q18.

Cette valeur est très proche de celle calculée **avec brassage** de l'eau (55 °C , soit un écart de l'ordre de 4 %, compatible avec la précision d'une lecture graphique), et totalement incompatible avec celle obtenue sans brassage ($1,3 \times 10^2 \text{ °C}$). C'est cohérent avec l'énoncé, qui précise que « la modélisation est réalisée en considérant un brassage efficace de l'eau ». Le modèle simple du flux thermique $\Phi = h_c S \Delta\theta$ rend donc bien compte de la simulation.

Q20 En utilisant la figure 4, montrer que la présence de tartre sur le thermoplongeur augmente la consommation énergétique d'environ 15 % lors du cycle de chauffage.

Démarche suivie : (1) relier l'énergie consommée à la durée de chauffage ; (2) lire sur la figure 4 les deux durées nécessaires pour atteindre 30 °C ; (3) calculer l'augmentation relative.

Étape 1 — relation entre énergie et durée.

Le thermoplongeur est alimenté sous une puissance électrique P_{el} constante. L'énergie électrique



consommée pendant le chauffage vaut donc :

$$E = P_{\text{él}} \times \Delta t$$

À puissance constante, l'énergie consommée est **proportionnelle à la durée de chauffage** : il suffit donc de comparer les deux durées.

Étape 2 — lecture graphique (figure 4).

On repère, pour chaque courbe, l'instant auquel l'eau atteint 30 °C :

- sans tartre : $\Delta t_{\text{sans}} \approx 1,20 \times 10^2$ s (valeur déjà lue à la question Q19) ;
- avec 2 mm de tartre : $\Delta t_{\text{avec}} \approx 1,37 \times 10^2$ s.

Étape 3 — augmentation relative.

$$\frac{E_{\text{avec}} - E_{\text{sans}}}{E_{\text{sans}}} = \frac{\Delta t_{\text{avec}} - \Delta t_{\text{sans}}}{\Delta t_{\text{sans}}} = \frac{137 - 120}{120} = 0,14$$

La consommation énergétique augmente d'environ 15 % en présence de tartre.

Le tartre, mauvais conducteur thermique, s'oppose au transfert de chaleur du thermoplongeur vers l'eau : le chauffage est plus lent et le thermoplongeur doit fonctionner plus longtemps (et plus chaud, cf. figure 5) pour un même résultat. La recommandation de l'ADEME de détartre régulièrement son lave-linge est donc bien justifiée.

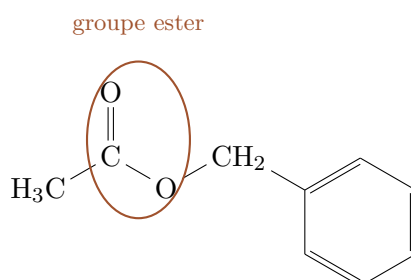
Note du professeur

L'axe des abscisses de la figure 4 comporte une coquille dans le sujet officiel : il est gradué « 0 — 20 — 100 — 150 — 200 », le « 20 » étant placé sur la graduation 50 s. Il faut donc lire 0, 50, 100, 150, 200 s.

La lecture graphique est par ailleurs peu précise : toute valeur conduisant à une augmentation comprise entre 10 % et 20 % est acceptée. Ce qui est réellement noté, c'est la *justification* de la proportionnalité entre l'énergie consommée et la durée de chauffage ($P_{\text{él}}$ constante) — sans elle, comparer deux durées ne prouve rien sur l'énergie.

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

Q1 Recopier la formule semi-développée de l'éthanoate de benzyle, entourer son groupe caractéristique et indiquer la famille fonctionnelle associée.



Le groupe caractéristique entouré est le **groupe ester** $-\text{COO}-$: un atome de carbone doublement lié à un atome d'oxygène et simplement lié à un second atome d'oxygène, lui-même lié à un atome de carbone.

Famille fonctionnelle : les esters.

Note du professeur

Ne pas entourer seulement la liaison $\text{C}=\text{O}$ (ce serait un groupe carbonyle, donc une cétone ou un aldéhyde) : le groupe ester comprend *les deux* atomes d'oxygène. Attention aussi à ne pas englober le CH_2 ni le CH_3 dans l'entourage.

Q2 Identifier le rôle de l'étape C du protocole (verser le contenu d'un tube à essai dans un bécher contenant de l'eau distillée glacée).

L'étape C réalise une **trempe** : elle bloque l'évolution du système chimique. Elle agit sur deux facteurs cinétiques simultanément :

- la **température** : l'eau glacée abaisse brutalement la température du mélange, ce qui diminue fortement la vitesse de la réaction ;
- la **concentration des réactifs** : l'ajout d'eau dilue fortement le mélange, ce qui ralentit également la réaction.

La transformation est ainsi quasiment stoppée : les quantités de matière n'évoluent plus pendant le dosage.

C'est indispensable pour que le dosage de l'étape D mesure bien la quantité d'acide éthanoïque présente à la date t , et non une quantité qui continuerait à diminuer pendant la manipulation.

Q3 Établir la relation $n_{\text{ac}}(t) = n_{0,\text{ac}} - n_{\text{EB}}(t)$.

Dressons le tableau d'avancement de la transformation, d'avancement x :

État	Avancement	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$	$\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$	$\text{C}_9\text{H}_{10}\text{O}_2$	H_2O
Initial	0	$n_{0,\text{ac}}$	$n_{0,\text{alc}}$	0	0
À la date t	x	$n_{0,\text{ac}} - x$	$n_{0,\text{alc}} - x$	x	x

Tous les nombres stœchiométriques de l'équation valent 1. D'après la dernière ligne du tableau :

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

En éliminant l'avancement x entre ces deux relations :

$$n_{\text{ac}}(t) = n_{0,\text{ac}} - n_{\text{EB}}(t)$$



Q4 Retrouver par un calcul la valeur n_{0ac} donnée à la ligne 7 du programme.

Chaque tube à essai contient un volume $V = 2,0$ mL du mélange, composé de 25 % *en volume* d'acide éthanoïque. Le volume d'acide éthanoïque introduit vaut donc :

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

Masse correspondante, à partir de la masse volumique $\rho_{ac} = 1,05 \text{ g}\cdot\text{mL}^{-1}$:

$$m_{ac} = \rho_{ac} \times V_{ac} = 1,05 \times 0,50 = 0,525 \text{ g}$$

Quantité de matière initiale, avec $M(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2) = 60,1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$:

$$n_{0,ac} = \frac{m_{ac}}{M(\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2)} = \frac{0,525}{60,1} = 8,7 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$n_{0,ac} = 8,7 \times 10^{-3} \text{ mol} = 0,0087 \text{ mol}$: la valeur du programme est bien retrouvée.

Note du professeur

Piège : le pourcentage est ici *volumique* (et non massique), et il porte sur les 2,0 mL introduits dans *un* tube à essai — pas sur le volume total du mélange préparé à l'étape A.

Q5 Recopier et compléter la ligne 18 du programme.

D'après la relation établie à la question Q3, $n_{EB}(t) = n_{0,ac} - n_{ac}(t)$. En Python, pour l'indice i de la boucle, cela s'écrit :

```
18      n_EB[i] = n_0ac - n_ac[i]
```

Note du professeur

Respecter l'**indentation** : la ligne 18 est à l'intérieur de la boucle **for** de la ligne 17, elle doit donc être décalée vers la droite. Bien utiliser l'indice **[i]** sur les deux listes **n_EB** et **n_ac**, mais pas sur **n_0ac** qui est un nombre, pas une liste.

Q6 Définir le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ et estimer sa valeur à l'aide de la courbe de l'annexe A1, en expliquant la méthode utilisée.

Définition. Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle l'avancement de la réaction atteint la moitié de sa valeur finale. Ici, comme $n_{EB} = x$, c'est la durée au bout de laquelle la quantité d'éthanoate de benzyle formée atteint la moitié de sa valeur finale.

Méthode. On lit d'abord sur la courbe la valeur finale, atteinte lorsque la courbe présente un palier :

$$n_{EB,f} \approx 5,8 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

On en calcule la moitié, puis on projette cette ordonnée sur la courbe et l'on lit l'abscisse



correspondante :

$$\frac{n_{\text{EB},f}}{2} = \frac{5,8 \times 10^{-3}}{2} = 2,9 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$t_{1/2} \approx 2,5 \text{ min} \quad (\text{lecture graphique à } \pm 0,5 \text{ min près})$$

Q7 Exprimer la vitesse volumique v_{EB} d'apparition de l'éthanoate de benzyle en fonction du volume V et de $\frac{dn_{\text{EB}}}{dt}$.

La vitesse volumique d'apparition d'un produit est la dérivée par rapport au temps de sa concentration, soit encore, le volume V du système étant constant :

$$v_{\text{EB}}(t) = \frac{d[\text{EB}]}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{n_{\text{EB}}}{V} \right) \quad \Rightarrow \quad v_{\text{EB}}(t) = \frac{1}{V} \times \frac{dn_{\text{EB}}}{dt}(t)$$

Elle s'exprime ici en $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$.

Q8 À l'aide d'un tracé sur la courbe de l'annexe A1, estimer la vitesse volumique d'apparition de l'éthanoate de benzyle à l'instant initial ($t = 0$).

Tracé. On trace la **tangente à la courbe** $n_{\text{EB}} = f(t)$ **au point d'abscisse** $t = 0$. Son coefficient directeur est égal à $\frac{dn_{\text{EB}}}{dt}(0)$.

Cette tangente part de l'origine $(0; 0)$ et passe par le point de coordonnées approximatives $(3,0 \text{ min}; 4,8 \times 10^{-3} \text{ mol})$, d'où :

$$\frac{dn_{\text{EB}}}{dt}(0) = \frac{4,8 \times 10^{-3} - 0}{3,0 - 0} = 1,6 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{min}^{-1}$$

On en déduit la vitesse volumique, avec $V = 2,0 \text{ mL} = 2,0 \times 10^{-3} \text{ L}$:

$$v_{\text{EB}}(0) = \frac{1}{V} \times \frac{dn_{\text{EB}}}{dt}(0) = \frac{1,6 \times 10^{-3}}{2,0 \times 10^{-3}}$$

$$v_{\text{EB}}(0) \approx 0,8 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

Note du professeur

Le tracé d'une tangente est peu précis : toute valeur comprise entre $0,6$ et $1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ est acceptable. Ce qui compte, c'est de *tracer effectivement la tangente sur l'annexe* (elle est notée), de faire apparaître les deux points utilisés pour calculer son coefficient directeur, et de ne pas oublier de diviser par V *exprimé en litres*.



Q9 Identifier un facteur cinétique responsable de l'évolution de la vitesse volumique d'apparition de l'éthanoate de benzyle.

La vitesse volumique diminue très fortement au cours du temps : elle passe d'environ $0,8 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ à $t = 0$ à $6,7 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ à $t = 20 \text{ min}$, soit une division par plus de 100.

Le facteur cinétique responsable est la concentration des réactifs.

Au fur et à mesure que la transformation avance, l'acide éthanoïque et l'alcool benzylique sont consommés : leurs concentrations diminuent, les chocs efficaces entre molécules de réactifs deviennent moins fréquents, et la vitesse de la réaction diminue.

Remarque : la température, elle, ne peut pas être invoquée ici, puisque les tubes à essai sont placés dans un **bain thermostaté** : elle est maintenue constante pendant toute l'expérience.

Q10 Proposer une modification du protocole expérimental permettant d'optimiser le rendement de cette synthèse.

Le rendement vaut 67 %, il est donc inférieur à 100 % : l'estérification est une transformation **limitée** (le symbole $\rightleftharpoons$ de l'équation le confirme). Pour améliorer le rendement, il faut déplacer l'état final du système dans le sens direct.

Proposition : éliminer l'eau au fur et à mesure de sa formation (par exemple par distillation à l'aide d'un montage de type Dean-Stark).

En retirant l'un des produits, on force le système à évoluer dans le sens de la formation de l'ester pour compenser, ce qui augmente le rendement.

Autre proposition acceptable : augmenter encore la proportion du réactif introduit en excès (l'alcool benzylique), ce qui déplace également l'état final dans le sens direct et permet de consommer davantage d'acide éthanoïque, le réactif limitant.

Note du professeur

Erreur très fréquente : proposer de *chauffer davantage* ou d'*ajouter du catalyseur* (l'acide sulfurique). Ces modifications sont des facteurs **cinétiques** : elles permettent d'atteindre l'état final *plus vite*, mais ne modifient en rien la composition de cet état final, donc ne changent pas le rendement. La question porte bien sur le rendement, pas sur la durée.



Exercice 3 — Coloration de la laine (5 points)**1. Synthèse d'un « colorant acide »**

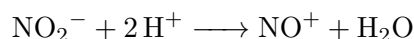
Q1 Définir un intermédiaire réactionnel.

Un intermédiaire réactionnel est une espèce chimique qui est **formée au cours d'une étape** d'un mécanisme réactionnel, puis **entièrement consommée au cours d'une étape ultérieure**.

Elle n'apparaît donc ni parmi les réactifs, ni parmi les produits de l'équation de la réaction globale : elle n'existe que transitoirement au cours du mécanisme.

Q2 Souligner les deux intermédiaires réactionnels présents dans les étapes du mécanisme réactionnel (annexe A2).

En additionnant les trois étapes, l'équation de la réaction globale s'écrit :



Les réactifs sont donc NO_2^- et H^+ , et les produits NO^+ et H_2O . Les deux espèces à souligner sur l'annexe sont :

- l'**acide nitreux** HNO_2 (formule développée $\text{HO}-\text{N}=\text{O}$) : *produit* à l'étape 1, *consommé* à l'étape 2 ;
- l'**acide nitreux protoné** H_2NO_2^+ (formule développée $\text{H}_2\overset{+}{\text{O}}-\text{N}=\text{O}$) : *produit* à l'étape 2, *consommé* à l'étape 3.

Ces deux espèces n'apparaissent ni dans les réactifs ni dans les produits de la réaction globale : ce sont bien des intermédiaires réactionnels.

Q3 Identifier les sites donneur et accepteur d'électrons dans l'étape 1, en justifiant.

L'étape 1 s'écrit $\text{NO}_2^- + \text{H}^+ \longrightarrow \text{HNO}_2$.

- **Site donneur de doublet d'électrons** : l'atome d'oxygène porteur de la charge négative de l'ion nitrite NO_2^- .

Justification : il possède des doublets non liants et porte une charge négative ; c'est de plus un atome très électronégatif. Il est donc riche en électrons et peut céder un doublet d'électrons.

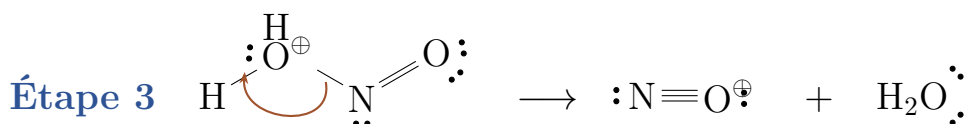
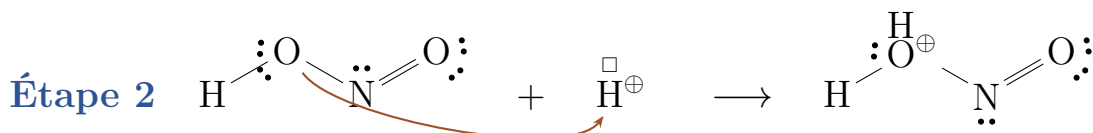
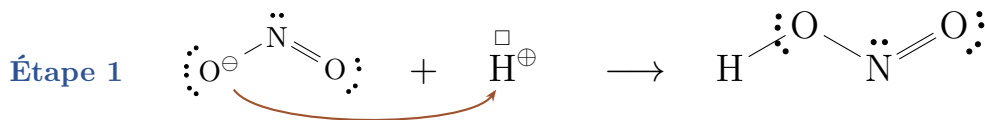
- **Site accepteur de doublet d'électrons** : l'ion H^+ .

Justification : l'ion H^+ ne possède aucun électron : il présente une **lacune électronique** (représentée par un rectangle vide sur l'annexe) et porte une charge positive. Il peut donc accepter un doublet d'électrons.



Q4 Dessiner les flèches courbes schématisant les transferts électroniques pour chacune des étapes du mécanisme.

Chaque flèche courbe part d'un *doublet d'électrons* du site donneur et pointe vers le site accepteur.



- **Étapes 1 et 2** : la flèche part d'un *doublet non liant* de l'atome d'oxygène (site donneur) et pointe vers l'ion H^+ (site accepteur, porteur d'une lacune électronique). Une liaison O–H est ainsi créée.
- **Étape 3** : la flèche part du *doublet liant* de la liaison O–N et pointe vers l'atome d'oxygène du groupe partant. Cette liaison se rompt : le doublet est récupéré en totalité par cet atome d'oxygène, qui perd ainsi sa charge positive et devient une molécule d'eau neutre. Il se forme simultanément l'ion nitrosonium NO^+ , que l'on recopie sous la forme donnée par l'énoncé.

Note du professeur

Une flèche courbe part *toujours* d'un doublet (non liant ou liant) et *jamaïs* d'une charge négative ou d'un atome. Aux étapes 1 et 2, il s'agit d'un doublet *non liant* ; à l'étape 3, d'un doublet *liant* : c'est la seule étape où une liaison est rompue.

Ne pas déplacer la charge de l'ion NO^+ : dans la structure $|\text{N}\equiv\text{O}|^+$ donnée par l'annexe, la charge formelle positive est portée par l'atome d'**oxygène** ($6 - 2 - 3 = +1$) et non par l'azote ($5 - 2 - 3 = 0$). On recopie donc la structure exactement telle qu'elle figure sur l'annexe.



Q5 Déterminer, en justifiant, la masse maximale de colorant qui aurait pu être obtenue.

Calculons les quantités de matière initiales des deux réactifs introduits en quantités limitées (l'acide nitreux est en excès) :

$$n(\text{ac. sulfanilique}) = \frac{0,87}{173,2} = 5,02 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

$$n(\beta\text{-naphtol}) = \frac{0,72}{144,2} = 4,99 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

Dans l'équation de la réaction, les nombres stœchiométriques de l'acide sulfanilique, du β -naphtol et du colorant valent tous 1 : on peut donc comparer directement les deux quantités de matière.

$$n(\beta\text{-naphtol}) = 4,99 \times 10^{-3} < n(\text{ac. sulfanilique}) = 5,02 \times 10^{-3}$$

Le **réactif limitant est donc le β -naphtol**. Si la transformation était totale, il serait entièrement consommé et l'avancement maximal vaudrait :

$$x_{\max} = n(\beta\text{-naphtol}) = 4,99 \times 10^{-3} \text{ mol}$$

La quantité de colorant formée serait alors $n_{\max}(\text{colorant}) = x_{\max}$, soit une masse :

$$m_{\max} = x_{\max} \times M(\text{colorant}) = 4,99 \times 10^{-3} \times 328,3 = 1,64 \text{ g}$$

$$m_{\max} = 1,6 \text{ g}$$

Note du professeur

Deux précautions indispensables ici :

1. Les deux quantités de matière sont très proches (4,99 et 5,02 mmol) : il faut conserver *au moins trois chiffres* pour pouvoir les comparer. En arrondissant à $5,0 \times 10^{-3}$ mol de part et d'autre, on ne peut plus désigner de réactif limitant.
2. Le résultat final s'écrit avec 2 chiffres significatifs (imposés par les masses 0,87 g et 0,72 g), soit $m_{\max} = 1,6$ g. Mais il faut **conserver la valeur non arrondie 1,64 g** pour calculer le rendement à la question suivante : avec 1,6 g on trouverait 96 % au lieu de 93 %.

Pour information : les deux quantités ne diffèrent que de 0,6 %, c'est-à-dire moins que l'incertitude réelle sur les pesées — dans la pratique, les deux réactifs sont introduits en quantités quasiment égales. Cela ne change rien à la réponse attendue, et de toute façon $m_{\max}$ vaudrait 1,65 g et le rendement 93 % si l'on prenait l'acide sulfanilique comme réactif limitant.

Q6 Déterminer le rendement de cette synthèse.

Le rendement est le quotient de la masse de colorant réellement obtenue par la masse maximale que l'on aurait pu obtenir :

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



$$\eta = 0,93, \text{ soit un rendement de } 93 \%$$

Ce rendement est élevé mais inférieur à 100 % : une partie du colorant est perdue lors des étapes de séparation et de purification (filtration, lavage, recristallisation), et la transformation n'est peut-être pas totale.

Q7 En utilisant le spectre d'absorption, déterminer la couleur de ce colorant.

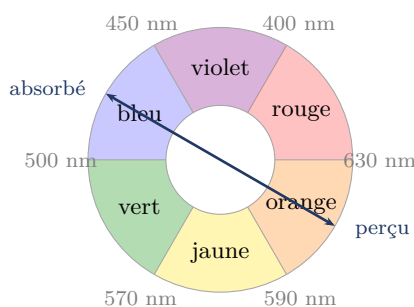
Lecture du spectre. L'absorbance est maximale pour une longueur d'onde :

$$\lambda_{\max} \approx 4,8 \times 10^2 \text{ nm}$$

(le spectre est tronqué à gauche : seule la limite droite de la bande est lisible, l'absorbance s'annulant au-delà de 570 nm environ).

Exploitation du cercle chromatique. D'après le cercle chromatique, la longueur d'onde 480 nm appartient au domaine du **bleu** (450–500 nm) : le colorant *absorbe* le bleu.

Or la couleur perçue d'une espèce en solution est la couleur **complémentaire** de la couleur absorbée, c'est-à-dire celle qui lui est diamétralement opposée sur le cercle chromatique. Le complémentaire du bleu est l'**orange**.



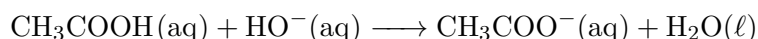
Le colorant synthétisé est de couleur orange.

2. Étude du bain de teinture

Q8 Démontrer comment obtenir la valeur de la concentration C en acide éthanoïque du vinaigre commercial pour le titrage n°1, à partir de la mesure de V_{E1} .

Étape 1 — concentration du vinaigre dilué.

La réaction support du titrage est :



Les nombres stoechiométriques des deux réactifs valent 1. À l'équivalence, ils ont été introduits dans les proportions stoechiométriques :

$$n(\text{CH}_3\text{COOH})_{\text{titré}} = n(\text{HO}^-)_{\text{versé}} \implies C_{\text{dil}} \times V_A = C_B \times V_{E1}$$



$$C_{\text{dil}} = \frac{C_B \times V_{E1}}{V_A} = \frac{0,10 \times 13,50}{10,0} = 0,1350 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Étape 2 — retour au vinaigre commercial.

Le vinaigre a été dilué dix fois avant le titrage ; sa concentration est donc dix fois plus grande que celle de la solution titrée :

$$C = 10 \times C_{\text{dil}} = 10 \times 0,1350$$

$C = 1,350 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$: on retrouve bien la valeur du tableau pour le titrage n°1.

Q9 Choisir et recopier la valeur moyenne C_{moy} et l'écart-type σ de la série de mesures.

Valeur moyenne.

Les douze valeurs de C sont toutes comprises entre 1,350 et 1,375 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$: la moyenne est nécessairement dans cet intervalle. Cela élimine d'emblée 1,9155 (bien trop grande) et 1,3750 (qui est la plus grande valeur de la série, et non sa moyenne).

Écart-type.

L'écart-type mesure la dispersion des valeurs autour de la moyenne. L'étendue de la série n'est que de $1,375 - 1,350 = 0,025 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$: l'écart-type est donc nécessairement de cet ordre de grandeur, ou plus petit. Cela élimine 0,237 et 1,370.

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

Q10 Montrer que l'incertitude-type associée à C_{moy} , exprimée avec un chiffre significatif, vaut $u(C_{\text{moy}}) = 0,003 \text{ mol/L}$. Écrire la valeur expérimentale de la concentration avec le nombre de chiffres significatifs adapté.

La série comporte $n = 12$ mesures réalisées dans les mêmes conditions. L'incertitude-type sur la moyenne vaut donc :

$$u(C_{\text{moy}}) = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \frac{0,009}{\sqrt{12}} = 2,6 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$u(C_{\text{moy}}) = 0,003 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ (un chiffre significatif)}$$

Le résultat de mesure s'écrit avec le même nombre de décimales que son incertitude-type, soit trois décimales :

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



Note du professeur

Deux conventions à respecter : l'incertitude-type s'écrit avec **un seul chiffre significatif**, et on l'arrondit *par excès* ($2,6 \times 10^{-3} \rightarrow 0,003$). La valeur mesurée est ensuite arrondie *au même rang* que l'incertitude : écrire $C_{\text{moy}} = 1,3621 \pm 0,003$ serait incohérent, puisque le quatrième chiffre après la virgule n'a aucun sens face à une incertitude portant sur le troisième.

Q11 Conclure sur l'accord entre la concentration en acide éthanoïque figurant sur l'étiquette et celle trouvée expérimentalement.

La valeur de référence est celle déduite de l'étiquette « 8° » : $C_0 = 1,360 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. Calculons le quotient proposé par l'énoncé :

$$\frac{|x - x_{\text{ref}}|}{u(x)} = \frac{|C_{\text{moy}} - C_0|}{u(C_{\text{moy}})} = \frac{|1,362 - 1,360|}{0,003} = \frac{0,002}{0,003} = 0,7$$

Ce quotient est **inférieur à 2** : l'écart entre la valeur mesurée et la valeur de référence est plus petit que deux fois l'incertitude-type, il peut donc s'expliquer par la seule dispersion des mesures.

Les deux valeurs sont en accord : l'indication « 8° » portée sur l'étiquette du vinaigre est validée par le titrage.

Récapitulatif des résultats numériques

Exercice 1. $\Delta t_1 = 9,0 \text{ min}$ • $\Delta P = 2,9 \times 10^3 \text{ Pa}$ • $V_{\text{eau}} = 5,5 \text{ L}$ • $R = R_2 = 5,0 \text{ k}\Omega$ ($\Delta t_2 = 26 \text{ s}$) • $\tau_{\text{exp}} \approx 24 \text{ s}$ ($\tau = RC = 23,5 \text{ s}$) • $Q = 0,24 \text{ MJ}$ • $\Delta t_3 = 1,2 \times 10^2 \text{ s} = 2,0 \text{ min}$ • $\theta_{\text{thermo}} = 1,3 \times 10^2 \text{ }^\circ\text{C}$ (sans brassage) et $55 \text{ }^\circ\text{C}$ (avec brassage) • surconsommation due au tartre $\approx 15 \text{ \%}$.

Exercice 2. $n_{0,\text{ac}} = 8,7 \times 10^{-3} \text{ mol}$ • $t_{1/2} \approx 2,5 \text{ min}$ • $v_{\text{EB}}(0) \approx 0,8 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ • facteur cinétique : concentration des réactifs.

Exercice 3. réactif limitant : β -naphtol • $m_{\text{max}} = 1,6 \text{ g}$ • $\eta = 93 \text{ \%}$ • colorant orange ($\lambda_{\text{max}} \approx 480 \text{ nm}$) • $C_{\text{moy}} = (1,362 \pm 0,003) \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ • quotient = $0,7 < 2$: accord avec l'étiquette.

