Corrigé complet — Bac 2026 Métropole Septembre Jour 1

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**Étude d’une éruption volcanique** Conservation de l'énergie mécanique · Deuxième loi de Newton · Mouvement dans un champ uniforme · Gaz parfait et poussée d'Archimède · Premier principe et loi de Newton thermique · Équation différentielle du premier ordre	11 pts	1 h 56	17 questions	p. 2
Ex 2	**Loi de dilution d'Ostwald** Groupe carboxyle · Dilution · Diagramme de prédominance · Constante d'acidité · Résolution d'une équation avec Python · Acide faible et acide fort	4 pts	42 min	9 questions	p. 8
Ex 3	**Synthèse de l’alcool de champignon** Quotient de réaction et sens d'évolution · Titrage avec indicateur coloré · Incertitude-type · Chauffage à reflux et extraction · Spectroscopie infrarouge et CCM · Rendement d'une synthèse	5 pts	53 min	10 questions	p. 12

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Étude d'une éruption volcanique

Bac 2026 Métropole Septembre Jour 1 · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 56**

Q1 Dans le modèle de la chute libre, écrire la relation entre l'énergie mécanique du système au point O et celle au point S, sommet de la trajectoire.

En chute libre, le pyroclaste n'est soumis qu'à son poids, qui est une force conservative : l'énergie mécanique se conserve.

$$E_m(O) = E_m(S)$$

COMPRENDRE
Sans frottement, aucune force non conservative ne travaille : l'énergie cinétique perdue pendant la montée est intégralement convertie en énergie potentielle de pesanteur.

Q2 Montrer que l'altitude maximale s'écrit $h = \dfrac{v_0^2 - v_S^2}{2\,g}$.

$E_m = E_c + E_{pp} = \dfrac{1}{2}\,m\,v^2 + m\,g\,y$, avec $E_{pp} = 0$ pour $y = 0$.

En O : $y = 0$ et $v = v_0$. En S : $y = h$ et $v = v_S$. La conservation de l'énergie mécanique (Q1) donne :

$$\frac{1}{2}\,m\,v_0^2 + 0 = \frac{1}{2}\,m\,v_S^2 + m\,g\,h$$

$$m\,g\,h = \frac{1}{2}\,m\,\left(v_0^2 - v_S^2\right)$$

$$h = \frac{v_0^2 - v_S^2}{2\,g}$$

PIÈGE
Écrire $v_S = 0$ au sommet. Seule la coordonnée verticale de la vitesse s'annule : le pyroclaste garde sa vitesse horizontale, d'où le terme v_S^2.

Q3 Déterminer, à l'aide de la figure 3, la valeur de la vitesse initiale v_0.

Données utiles figure 3 : modélisation $v_y = -2{,}7\,t + 12{,}8$; v_x constante, voisine de $1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

À $t = 0$, on lit sur la figure 3 : $v_x(0) \approx 1{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et, d'après la modélisation, $v_y(0) = 12{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

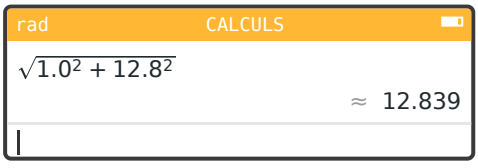
$$v_0 = \sqrt{v_x(0)^2 + v_y(0)^2} = \sqrt{1{,}0^2 + 12{,}8^2} = 12{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$$v_0 \approx 13\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

COMPRENDRE
La lecture de v_x sur le graphique ne donne que deux chiffres significatifs : le résultat est arrondi à deux chiffres. On garde $12{,}8$ pour les calculs suivants.

MÉTHODE
Pour une valeur à $t = 0$, utiliser l'ordonnée à l'origine de la droite modèle plutôt que le premier point expérimental, qui porte une erreur de pointage.

À LA CALCULATRICE



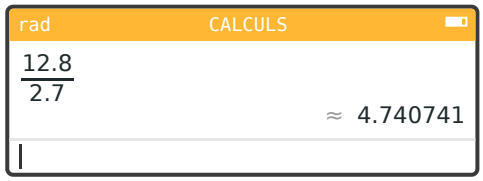
Q4 Montrer, à l'aide de la figure 3, que la valeur de la vitesse au sommet de la trajectoire est voisine de $1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Au sommet S, le vecteur vitesse est horizontal : $v_y = 0$, donc $v_S = \sqrt{v_x^2 + 0} = v_x$.

Sur la figure 3, v_y s'annule vers $t = 4{,}7$ s et, à cette date comme à toutes les autres, $v_x \approx 1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$v_S = v_x \approx 1\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, valeur attendue.

À LA CALCULATRICE



Q5 En déduire la valeur de l'altitude maximale h atteinte par le pyroclaste, dans le cadre du modèle de la chute libre.

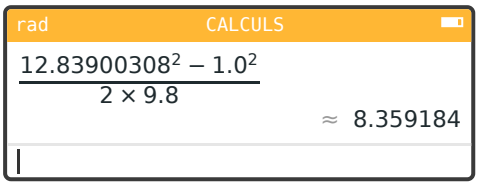
Données utiles $v_0 = 12{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Q3) ; $v_S = 1{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Q4) ; $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

$$h = \frac{v_0^2 - v_S^2}{2\,g} = \frac{12{,}8^2 - 1{,}0^2}{2 \times 9{,}8}$$

$h = 8{,}4\ \text{m}$

COMPRENDRE
Avec la valeur arrondie $v_0 = 13\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, on trouve $8{,}6$ m : les deux résultats sont acceptables, l'écart vient seulement de l'arrondi intermédiaire.

À LA CALCULATRICE



Q6 En exploitant la photographie de la figure 2 et son échelle, indiquer si l'altitude maximale du pyroclaste est compatible avec le modèle précédent.

Données utiles échelle verticale : 1,0 cm pour 16 m ; $h = 8{,}4$ m (Q5)

Sur la photographie, le sommet de la trajectoire du pyroclaste étudié se trouve à environ $3{,}2$ cm au-dessus de l'axe (Ox).

$$h_{\text{photo}} = 3{,}2 \times 16 = 51\ \text{m}$$

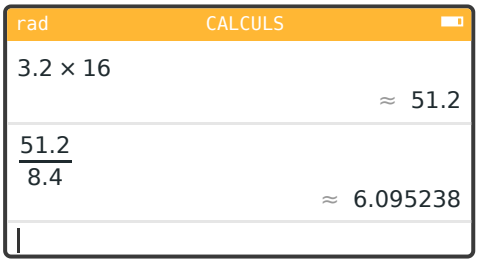
Le modèle de la chute libre prévoit $8{,}4$ m, soit environ 6 fois moins.

$h_{\text{photo}} \approx 50\ \text{m}$: l'altitude observée n'est pas compatible avec le modèle de la chute libre, qui est à rejeter.

PIÈGE
Se contenter de « c'est différent ». Il faut mesurer à la règle sur la photographie, convertir avec l'échelle, puis comparer les deux valeurs chiffrées avant de conclure.

COMPRENDRE
Un pyroclaste qui monte bien plus haut que prévu subit une force vers le haut que le modèle a oubliée : c'est la poussée des gaz introduite ensuite.

À LA CALCULATRICE



Q7 Déterminer les expressions des coordonnées a_x et a_y du vecteur accélération du pyroclaste, en fonction de g, m et F.

Système {pyroclaste}, de masse m constante ; référentiel terrestre supposé galiléen.

Forces : le poids $\vec{P} = -m\,g\,\vec{j}$ et la poussée des gaz $\vec{F} = F\,\vec{j}$.

Deuxième loi de Newton : $\vec{P} + \vec{F} = m\,\vec{a}$, soit $m\,\vec{a} = (F - m\,g)\,\vec{j}$.

$a_x = 0 \qquad a_y = \dfrac{F}{m} - g$

PIÈGE
Oublier le signe du poids : l'axe (Oy) est orienté vers le haut, donc $P_y = -m\,g$ et $F_y = +F$.

Q8 Montrer que $v_x(t) = v_0 \cos\alpha$ et $v_y(t) = \left(\frac{F}{m} - g\right) t + v_0 \sin\alpha$.

Comme $\vec{a} = \frac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives de a_x et a_y (constantes, Q7) :

$$v_x(t) = C_1 \qquad v_y(t) = \left(\frac{F}{m} - g\right) t + C_2$$

Conditions initiales : à $t = 0$, $\vec{v}_0$ fait l'angle α avec (Ox), donc $v_x(0) = v_0 \cos\alpha$ et $v_y(0) = v_0 \sin\alpha$.

D'où $C_1 = v_0 \cos\alpha$ et $C_2 = v_0 \sin\alpha$.

$$\boxed{v_x(t) = v_0 \cos\alpha \qquad v_y(t) = \left(\frac{F}{m} - g\right) t + v_0 \sin\alpha}$$

MÉTHODE
Toujours trois temps : primitive avec une constante, valeur de la vitesse à $t = 0$ lue sur le schéma, identification de la constante. Une constante posée sans justification coûte des points.

Q9 Justifier, à l'aide de la figure 3, que le modèle adopté est correct et montrer que la valeur F de la force de poussée est voisine de 24 N.

Données utiles figure 3 : $v_y = -2{,}7\,t + 12{,}8$; $m = 3{,}4$ kg ; $g = 9{,}8\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$

Le modèle prévoit v_x constante et v_y fonction affine du temps. Sur la figure 3, les points v_x sont alignés sur une droite horizontale et les points v_y sur une droite décroissante : le modèle est correct.

De plus, la pente de v_y vaut $-2{,}7\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$ et non $-g = -9{,}8\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$: il existe bien une force dirigée vers le haut.

Par identification du coefficient directeur : $\frac{F}{m} - g = -2{,}7\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$, donc

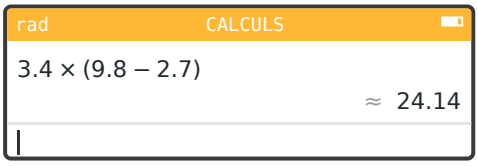
$$F = m\,(g - 2{,}7) = 3{,}4 \times (9{,}8 - 2{,}7) = 24\ \mathrm{N}$$

$\boxed{F = 24\ \mathrm{N}}$, valeur attendue.

PIÈGE
Écrire $F/m - g = +2{,}7$. Le coefficient directeur de la droite est négatif ; une erreur de signe donne $F = 43$ N.

COMPRENDRE
Le poids vaut $m\,g = 33$ N : la poussée reste inférieure au poids, le pyroclaste ralentit donc en montant, mais bien moins vite qu'en chute libre.

À LA CALCULATRICE



Q10 Montrer que l'équation d'état du gaz parfait conduit à la relation $P\,M = \rho\,R\,T$.

La quantité de matière du gaz est $n = \frac{m}{M}$. L'équation d'état devient :

$$P\,V = \frac{m}{M}\,R\,T \quad \text{soit} \quad P\,M = \frac{m}{V}\,R\,T$$

Or la masse volumique du gaz est $\rho = \frac{m}{V}$.

$\boxed{P\,M = \rho\,R\,T}$

Q11 Déterminer la valeur de l'accélération ascendante du volume de gaz chaud. Commenter le résultat.

Données utiles $P = 8{,}7 \times 10^4$ Pa ; $M = 22$ g · mol^{-1} ; $R = 8{,}31$ J · mol^{-1} · K^{-1} ; $T = 1300$ K ; $\rho_{air} = 0{,}91$ kg · m^{-3} ; $g = 9{,}8$ m · s^{-2}

Masse volumique des gaz chauds (Q10), avec $M = 22 \times 10^{-3}$ kg · mol^{-1} :

$$\rho = \frac{P\,M}{R\,T} = \frac{8{,}7 \times 10^4 \times 22 \times 10^{-3}}{8{,}31 \times 1300} = 0{,}177 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$a = g \cdot \frac{\rho_{air} - \rho}{\rho} = 9{,}8 \times \frac{0{,}91 - 0{,}177}{0{,}177}$$

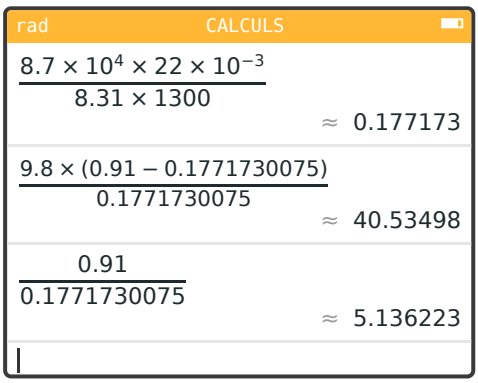
$$\boxed{a = 41 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}$$

Commentaire : $a > 0$, les gaz chauds, environ 5 fois moins denses que l'air ambiant, sont bien accélérés vers le haut. Cette accélération vaut environ $4\,g$: l'ascension est très rapide, ce qui explique que les gaz puissent pousser le pyroclaste.

PIÈGE
Laisser M en g · mol^{-1} : on obtient $\rho = 177$ kg · m^{-3} et une accélération négative. Dans $P\,M = \rho\,R\,T$, tout est en unités SI, donc M en kg · mol^{-1}.

COMPRENDRE
« Commenter » attend un signe, un ordre de grandeur comparé à g et un lien avec la situation. Avec ρ arrondie à $0{,}18$, on trouve 40 m · s^{-2}, également accepté.

À LA CALCULATRICE



Q12 Exprimer, avec le premier principe, la variation d'énergie interne ΔU du système pendant Δt en fonction du flux thermique φ. En déduire une relation entre m, c, φ, Δt et $\Delta\theta$.

Premier principe appliqué au système {pyroclaste}, au repos macroscopique : $\Delta U = W + Q$.

Le système est incompressible : il n'échange pas de travail, $W = 0$. Le transfert thermique reçu pendant Δt est $Q = \varphi\,\Delta t$. Donc :

$$\Delta U = \varphi\,\Delta t$$

Pour un système incompressible : $\Delta U = m\,c\,\Delta\theta$.

$$\boxed{m\,c\,\Delta\theta = \varphi\,\Delta t}$$

COMPRENDRE
φ est une grandeur algébrique, comptée positivement si elle est reçue. Ici le pyroclaste est plus chaud que l'air : $\varphi < 0$ et $\Delta\theta < 0$, il se refroidit.

Q13 Montrer que l'équation différentielle vérifiée par $\theta(t)$ s'écrit $\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} + \dfrac{\theta}{\tau} = \dfrac{\theta_{\text{amb}}}{\tau}$ avec $\tau = \dfrac{m\,c}{h\,S}$.

On remplace φ par la loi de Newton dans la relation de Q12 :

$$m\,c\,\Delta\theta = h\,S\,(\theta_{\text{amb}} - \theta(t))\,\Delta t \quad \text{soit} \quad \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{h\,S}{m\,c}\,(\theta_{\text{amb}} - \theta(t))$$

Comme Δt est très faible, $\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t}$ tend vers la dérivée $\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$:

$$\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} + \frac{h\,S}{m\,c}\,\theta(t) = \frac{h\,S}{m\,c}\,\theta_{\text{amb}}$$

En posant $\tau = \dfrac{m\,c}{h\,S}$:

$$\boxed{\frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} + \frac{\theta(t)}{\tau} = \frac{\theta_{\text{amb}}}{\tau}}$$

PIÈGE
Passer de $\Delta\theta/\Delta t$ à la dérivée sans le dire. La phrase « Δt tend vers zéro » fait partie de la démonstration attendue.

Q14 Montrer que la grandeur $\dfrac{m\,c}{h\,S}$ est homogène à un temps.

Unités : m en kg ; c en $\mathrm{J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}}$; h en $\mathrm{W\cdot K^{-1}\cdot m^{-2}}$; S en $\mathrm{m^2}$.

$$\left[\frac{m\,c}{h\,S}\right] = \frac{\mathrm{kg}\times\mathrm{J\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}}}{\mathrm{W\cdot K^{-1}\cdot m^{-2}}\times\mathrm{m^2}} = \frac{\mathrm{J\cdot K^{-1}}}{\mathrm{W\cdot K^{-1}}} = \frac{\mathrm{J}}{\mathrm{W}}$$

Or une puissance est une énergie divisée par une durée : $1\ \mathrm{W} = 1\ \mathrm{J\cdot s^{-1}}$, donc $\dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{W}} = \mathrm{s}$.

$\dfrac{m\,c}{h\,S}$ s'exprime en secondes : cette grandeur est homogène à un temps.

MÉTHODE
Autre voie : dans l'équation différentielle, $\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t}$ et $\dfrac{\theta}{\tau}$ s'ajoutent, donc ont la même unité, ce qui impose τ en secondes.

Q15 Exprimer $\theta(0)$ et la limite θ_{lim} de $\theta(t)$ quand $t \to +\infty$ en fonction de A et B. En déduire A et B en fonction de θ_0 et θ_{amb}.

À $t = 0$: $\mathrm{e}^0 = 1$, donc $\theta(0) = A + B$.

Quand $t \to +\infty$: $\mathrm{e}^{-t/\tau} \to 0$, donc $\theta_{\text{lim}} = B$.

Or $\theta(0) = \theta_0$ et, au bout d'un temps très long, le pyroclaste est à l'équilibre thermique avec l'air : $\theta_{\text{lim}} = \theta_{\text{amb}}$.

Donc $B = \theta_{\text{amb}}$ et $A + B = \theta_0$.

$$\boxed{A = \theta_0 - \theta_{\text{amb}} \qquad B = \theta_{\text{amb}}}$$

COMPRENDRE
On retrouve $\theta_{\text{lim}} = \theta_{\text{amb}}$ par l'équation différentielle : quand la température ne varie plus, $\dfrac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}t} = 0$, il reste $\theta = \theta_{\text{amb}}$.

Q16 Déterminer la valeur de la constante de temps τ.

Données utiles figure 4 : droite modèle passant par les points $(0\,;5{,}1)$ et $(700\ \mathrm{s}\,;2{,}0)$

D'après $\ln(\theta(t) - \theta_{\text{amb}}) = K - \dfrac{t}{\tau}$, la droite de la figure 4 a pour coefficient directeur $-\dfrac{1}{\tau}$.

Avec deux points éloignés de la droite modèle, $(0\,;5{,}1)$ et $(700\ \mathrm{s}\,;2{,}0)$:

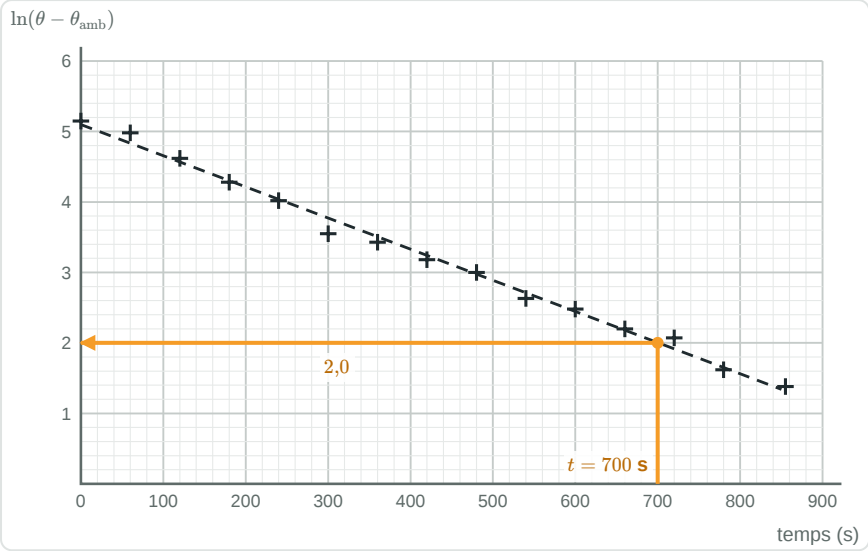
$$-\frac{1}{\tau} = \frac{2{,}0 - 5{,}1}{700 - 0} = -4{,}4\times10^{-3}\ \mathrm{s^{-1}}$$

$$\tau = \frac{700}{5{,}1 - 2{,}0} = 226\ \mathrm{s}$$

$$\boxed{\tau \approx 2{,}3\times10^{2}\ \mathrm{s}}$$

PIÈGE
Donner τ négatif, ou confondre τ avec le coefficient directeur : τ est l'opposé de son inverse.

MÉTHODE
Prendre deux points sur la droite modèle, pas deux croix expérimentales, et les choisir éloignés pour réduire l'incertitude de lecture.



Q16 · Figure 4 du sujet : droite modèle et points utilisés

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{2.0 - 5.1}{700} \approx -0.004428571$

$\frac{700}{5.1 - 2.0} \approx 225.8065$

Q17 En déduire la valeur du coefficient h d'échange thermique surfacique entre la pierre ponce et l'air ambiant. Commenter le résultat à l'aide du tableau.

Données utiles $\tau = 226$ s (Q16) ; $m_{pierre} = 1{,}6 \times 10^{-2}$ kg ; $c_{pierre} = 1{,}0 \times 10^{3}$ J · kg^{-1} · K^{-1} ; $S_{pierre} = 5{,}5 \times 10^{-3}$ m^2

De $\tau = \frac{m\,c}{h\,S}$ on tire :

$$h = \frac{m_{pierre}\,c_{pierre}}{\tau\,S_{pierre}} = \frac{1{,}6 \times 10^{-2} \times 1{,}0 \times 10^{3}}{226 \times 5{,}5 \times 10^{-3}}$$

$$\boxed{h = 13 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}}$$

Commentaire : cette valeur est dans l'intervalle « avec courant d'air » (de 10 à 500), tout près de sa borne inférieure. La pierre, posée au sol en extérieur, a été refroidie par un léger courant d'air : le résultat est cohérent avec les conditions de l'expérience.

COMPRENDRE

La valeur trouvée est proche de la limite entre les deux lignes du tableau : avec l'incertitude de lecture sur τ, on conclut à un air presque calme, pas à un vent fort.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\frac{1.6 \times 10^{-2} \times 1.0 \times 10^{3}}{225.8064516 \times 5.5 \times 10^{-3}} \approx 12.88312$

Loi de dilution d'Ostwald

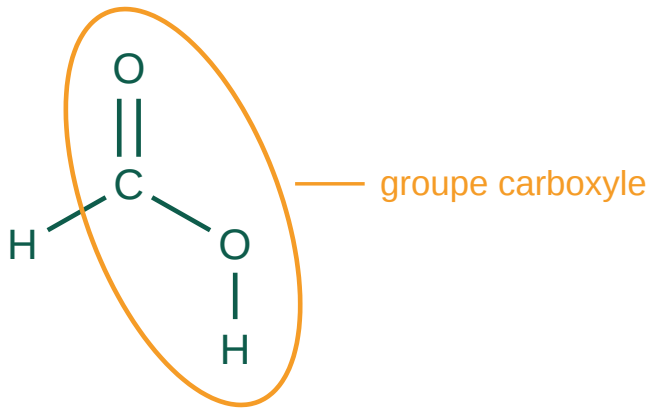
Bac 2026 Métropole Septembre Jour 1 · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 42 min**

Q1 Recopier la molécule d'acide méthanoïque puis entourer et nommer son groupe caractéristique.

Le groupe caractéristique est formé de l'atome de carbone, de l'atome d'oxygène doublement lié et du groupe $-\mathrm{OH}$ (voir la figure).

Groupe **carboxyle** $-\mathrm{COOH}$ (famille des acides carboxyliques).

PIÈGE
Entourer seulement $\mathrm{C{=}O}$ (groupe carbonyle) ou seulement $-\mathrm{OH}$ (groupe hydroxyle). Le groupe carboxyle réunit les deux sur le même atome de carbone.



Q1 · Acide méthanoïque : groupe carboxyle entouré

Q2 Déterminer la verrerie à utiliser pour préparer la solution S1 par dilution de S0 avec un seul prélèvement.

Données utiles $C_0 = 2{,}0 \times 10^{-1}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $C = 4{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; fioles jaugées de 50 mL ou 200 mL ; pipettes jaugées de 10 mL, 20 mL ou 25 mL

Lors d'une dilution, la quantité de matière de soluté se conserve : $C_0\,V_0 = C\,V_1$, avec V_0 le volume prélevé et V_1 le volume de la fiole.

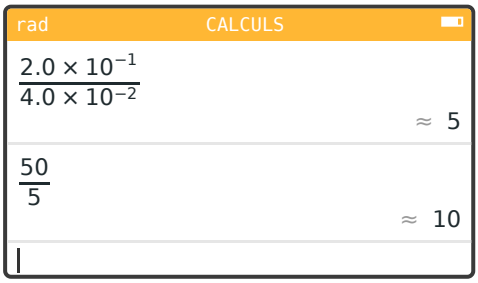
Facteur de dilution : $F = \dfrac{C_0}{C} = \dfrac{V_1}{V_0} = \dfrac{2{,}0 \times 10^{-1}}{4{,}0 \times 10^{-2}} = 5{,}0$

Il faut donc $V_1 = 5{,}0 \times V_0$. Avec la fiole de 50 mL : $V_0 = \dfrac{50}{5{,}0} = 10\ \mathrm{mL}$, pipette disponible. Avec la fiole de 200 mL, il faudrait $V_0 = 40\ \mathrm{mL}$: aucune pipette ne convient en un seul prélèvement.

Pipette jaugée de **10 mL** et fiole jaugée de **50 mL**.

MÉTHODE
Calculer le facteur de dilution $F = C_0/C$, puis chercher un couple (pipette, fiole) tel que $V_{\text{fiole}} = F \times V_{\text{pipette}}$. Tester chaque fiole proposée.

À LA CALCULATRICE



Q3 À l'aide d'un diagramme de prédominance, justifier que l'acide méthanoïque ne se dissocie pas totalement dans l'eau dans les conditions de l'expérience.

Données utiles $\mathrm{p}K_A(\mathrm{HCOOH}/\mathrm{HCOO^-}) = 3{,}8$; pH de S1 mesuré : $2{,}70$

Pour $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_A$, l'acide HCOOH prédomine ; pour $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_A$, la base $\mathrm{HCOO^-}$ prédomine (voir le diagramme).

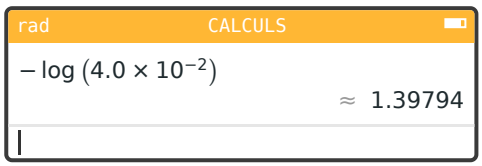
Le pH de la solution S1 vaut $2{,}70 < 3{,}8$: on se trouve dans le domaine de prédominance de HCOOH.

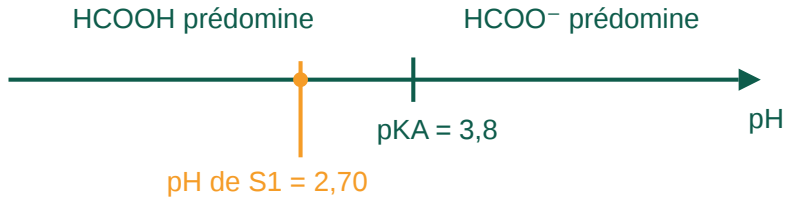
Si la dissociation était totale, il ne resterait pas de HCOOH en solution. Or c'est l'espèce majoritaire du couple.

$\mathrm{pH} = 2{,}70 < \mathrm{p}K_A = 3{,}8$: HCOOH prédomine, l'acide n'est **pas totalement dissocié**.

COMPRENDRE
Autre vérification : pour une dissociation totale, $[\mathrm{H_3O^+}] = C$ et le pH vaudrait $-\log(4{,}0 \times 10^{-2}) = 1{,}4$. Le pH mesuré est nettement plus élevé.

À LA CALCULATRICE





Q3 · Diagramme de prédominance du couple acide méthanoïque / ion méthanoate

Q4 Déterminer la relation entre la constante d'acidité K_A, les concentrations des différentes espèces à l'équilibre et la concentration standard c°.

Équilibre : $\mathrm{HCOOH\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons HCOO^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)}$

La constante d'acidité est la constante d'équilibre de cette réaction. L'eau, solvant, n'apparaît pas dans son expression.

$$K_A = \frac{[\mathrm{HCOO^-}]_{\text{éq}} \times [\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}}{[\mathrm{HCOOH}]_{\text{éq}} \times c^\circ}$$

PIÈGE
Oublier c° : K_A est sans unité. Il y a deux concentrations au numérateur et une seule au dénominateur, il reste donc un seul c°, au dénominateur.

Q5 Exprimer K_A en fonction uniquement de $[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}$, de la concentration en soluté apporté C et de c°.

D'après l'équation de la réaction, il se forme autant d'ions $\mathrm{HCOO^-}$ que d'ions $\mathrm{H_3O^+}$ (l'autoprotolyse de l'eau est négligée) :

$$[\mathrm{HCOO^-}]_{\text{éq}} = [\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}$$

Conservation de la matière : l'acide apporté est soit resté sous forme HCOOH, soit transformé en $\mathrm{HCOO^-}$:

$$[\mathrm{HCOOH}]_{\text{éq}} = C - [\mathrm{HCOO^-}]_{\text{éq}} = C - [\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}$$

En remplaçant dans l'expression de la question Q4 :

$$K_A = \frac{[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}^2}{\left(C - [\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}\right) \times c^\circ}$$

COMPRENDRE
En développant $K_A\,c^\circ\,(C - [\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}) = [\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}^2$, on retrouve bien l'équation (1) du sujet : c'est un moyen de contrôler sa réponse.

MÉTHODE
Un tableau d'avancement en concentrations donne le même résultat : à l'équilibre, $x_{\text{éq}}/V = [\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}$, donc il reste $C - [\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}$ d'acide.

Q6 Recopier et compléter les lignes 8, 9 et 10 du programme permettant de calculer les solutions de l'équation du second degré (1).

L'équation (1) est de la forme $a\,x^2 + b\,x + c = 0$ avec $x = [\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}$.
Par identification :

$a = 1$ (sans unité) ; $b = K_A\,c^\circ$ (en $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$) ; $c = -K_A\,C\,c^\circ$ (en $\mathrm{mol^2 \cdot L^{-2}}$)

Avec les noms de variables du programme :

```
a = 1
b = Ka*c0
c = -Ka*C*c0
```

Ligne 8 : `a = 1` ; ligne 9 : `b = Ka*c0` ; ligne 10 : `c = -Ka*C*c0`

PIÈGE
Oublier le signe « − » dans `c`, ou écrire `KA`, `c°` : il faut reprendre exactement les noms définis aux lignes 4 à 6 (`Ka`, `C`, `c0`), en respectant les majuscules.

COMPRENDRE
Les unités indiquées en commentaire dans le programme permettent de vérifier l'identification : `b` est une concentration, `c` un produit de deux concentrations.

Q7 Déduire des résultats du programme la valeur théorique du pH de la solution S1, puis vérifier l'accord entre la valeur expérimentale et cette valeur théorique prise comme référence.

Données utiles $x_1 = 0{,}002439\ldots$ et $x_2 = -0{,}002598\ldots$ (en $\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$) ; $\mathrm{pH_{exp}} = 2{,}70$; $u(\mathrm{pH}) = 0{,}05$

Une concentration est positive : seule la racine x_1 convient.

$$[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}} = x_1 = 2{,}44 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$$

$$\mathrm{pH_{th}} = -\log\left(\frac{[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}}}{c^\circ}\right) = -\log\left(2{,}44 \times 10^{-3}\right) = 2{,}61$$

Accord avec la mesure :

$$\frac{|\mathrm{pH_{exp}} - \mathrm{pH_{th}}|}{u(\mathrm{pH})} = \frac{|2{,}70 - 2{,}61|}{0{,}05} = 1{,}8$$

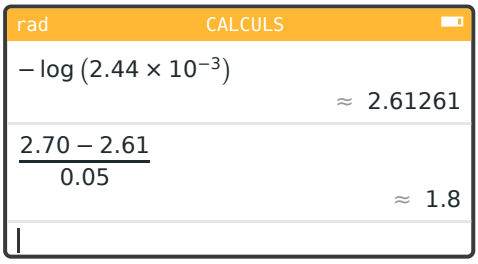
Ce quotient est inférieur à 2 : l'écart est inférieur à deux incertitudes-types.

$\mathrm{pH_{th}} = 2{,}61$; quotient $1{,}8 < 2$: la valeur expérimentale est **en accord** avec la valeur théorique.

PIÈGE
Garder la racine négative, ou donner comme réponse x_1 au lieu du pH. Écrire aussi le critère (comparaison à 2) : le quotient seul ne conclut pas.

COMPRENDRE
Le pH théorique est donné avec deux décimales, comme le pH mesuré, pour pouvoir les comparer. Le critère usuel : accord si le quotient est inférieur ou égal à 2.

À LA CALCULATRICE



Q8 Indiquer, en justifiant, lequel des deux modèles (acide fort ou acide faible) rend le mieux compte du comportement de l'acide méthanoïque dans l'eau, dans l'intervalle de pH étudié.

Sur la figure 2, les points expérimentaux (croix) sont proches de la courbe du modèle de l'acide faible sur tout l'intervalle étudié.

Ils sont en revanche très éloignés de la droite du modèle de l'acide fort pour les solutions les plus concentrées : pour $-\log C = 1{,}4$ (solution S1), le pH mesuré vaut $2{,}70$, le modèle de l'acide faible donne $2{,}61$ et celui de l'acide fort $1{,}4$.

Le modèle de l'**acide faible** rend le mieux compte du comportement de l'acide méthanoïque.

MÉTHODE
Pour choisir entre deux modèles, comparer la position des points de mesure aux deux courbes, puis appuyer la réponse sur au moins une lecture chiffrée.

Q9 Vérifier que les deux modèles confirment la loi de dilution d'Ostwald : « en solution aqueuse très diluée, un acide faible se comporte comme un acide fort ».

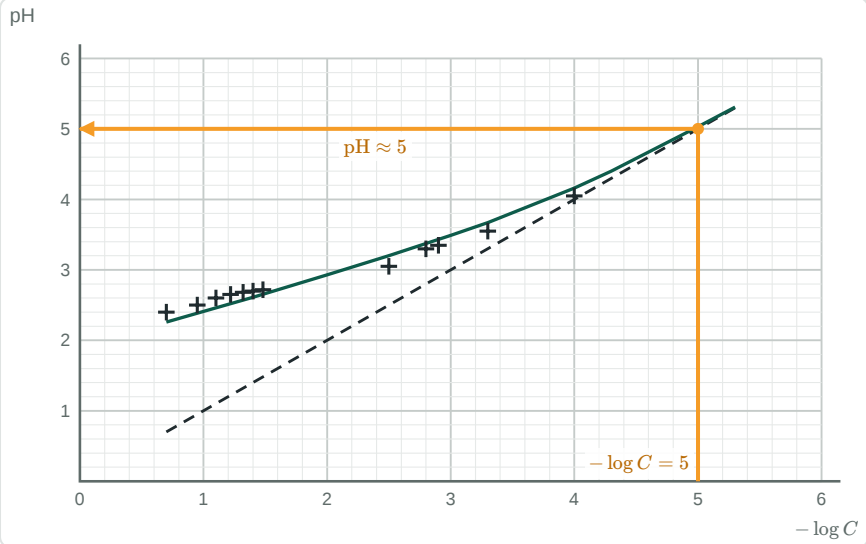
Une solution très diluée correspond à C petit, donc à $-\log C$ grand : à droite sur la figure 2.

Pour les solutions concentrées, les deux courbes sont bien séparées : pour $-\log C = 0{,}7$, le modèle de l'acide faible donne $\mathrm{pH} \approx 2{,}3$ et celui de l'acide fort $\mathrm{pH} = 0{,}7$.

Quand $-\log C$ augmente, l'écart diminue. À partir de $-\log C \approx 5$ (soit $C \approx 10^{-5}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$), les deux courbes se confondent : les deux modèles donnent le même pH, $\mathrm{pH} \approx -\log C$.

Pour les solutions très diluées, les deux modèles donnent le même pH : l'acide faible se comporte alors comme un acide fort, la loi d'Ostwald est **confirmée**.

COMPRENDRE
Plus C est petite, plus l'acide est dissocié. Quand presque tout l'acide a réagi, $[\mathrm{H_3O^+}]_{\text{éq}} \approx C$: c'est la définition du comportement d'un acide fort.



Q9 · Figure 2 du sujet : acide fort (tirets), acide faible (trait plein), mesures (croix). Les deux modèles se rejoignent vers $-\log C = 5$.

Synthèse de l'alcool de champignon

Bac 2026 Métropole Septembre Jour 1 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

Q1 Justifier que le quotient réactionnel à l'état initial est nul et en déduire que la transformation est spontanée dans le sens direct dès la première goutte de solution de butan-2-ol.

Données utiles $K = 10^{25}$ à 25 °C

Toutes les espèces sont en solution dans le diéthyléther :

$$Q_r = \frac{[\text{produit 1}] \times [\text{produit 2}]}{[\text{C}_5\text{H}_{11}\text{MgBr}] \times [\text{butan-2-ol}]}$$

À l'état initial, dès la première goutte versée, les deux réactifs sont en présence mais aucun produit n'est encore formé : $[\text{produit 1}]_i = [\text{produit 2}]_i = 0$. Le numérateur est nul, donc $Q_{r,i} = 0$.

$Q_{r,i} = 0 < K = 10^{25}$: le système évolue spontanément dans le **sens direct**.

PIÈGE
Dire seulement « K est grand donc la réaction est spontanée ». Le critère d'évolution est la comparaison de $Q_{r,i}$ à K, pas la valeur de K seule.

COMPRENDRE
Le système évolue de façon que Q_r se rapproche de K. Ici Q_r doit augmenter : des produits se forment. Comme $K > 10^4$, la transformation est de plus quasi totale, condition nécessaire pour un titrage.

Q2 Préciser, en justifiant, le changement de couleur observé à l'équivalence, la solution de butan-2-ol étant placée dans la burette.

Le bromure de pentylmagnésium est dans l'erlenmeyer : c'est le réactif titré.

Avant l'équivalence, il est en excès dans l'erlenmeyer : l'indicateur est **rose**.

À l'équivalence, il a été entièrement consommé : l'indicateur devient **incolore**, et le reste après l'équivalence.

À l'équivalence, la solution passe du **rose à l'incolore**.

MÉTHODE
Pour prévoir un changement de couleur, chercher quelle espèce est présente dans le bécher ou l'erlenmeyer avant l'équivalence (le réactif titré) et après (le réactif titrant en excès).

Q3 Déterminer la concentration réelle en quantité de matière $C_{\text{réel}}$ en bromure de pentylmagnésium.

Données utiles $V_0 = 10{,}0$ mL ; $C_{\text{alcool}} = 1{,}00\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_E = 19{,}4$ mL

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques. D'après l'équation (une mole de butan-2-ol pour une mole de bromure de pentylmagnésium) :

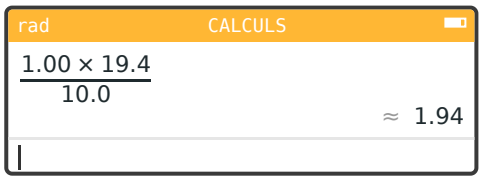
$$n(\text{C}_5\text{H}_{11}\text{MgBr})_{\text{titré}} = n(\text{butan-2-ol})_{\text{versé}} \quad \text{soit} \quad C_{\text{réel}} \times V_0 = C_{\text{alcool}} \times V_E$$

$$C_{\text{réel}} = \frac{C_{\text{alcool}} \times V_E}{V_0} = \frac{1{,}00 \times 19{,}4}{10{,}0}$$

$C_{\text{réel}} = 1{,}94\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme chacune des trois données. Les volumes peuvent rester en mL : ils interviennent par leur rapport.

À LA CALCULATRICE



Q4 Calculer la valeur de l'incertitude-type $u(C_{\text{réel}})$ sur la concentration expérimentale $C_{\text{réel}}$.

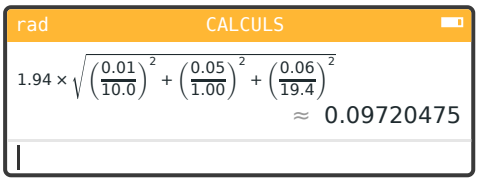
Données utiles $u(V_0) = 0{,}01$ mL ; $u(C_{\text{alcool}}) = 0{,}05$ mol · L^{-1} ; $u(V_E) = 0{,}06$ mL ; $C_{\text{réel}} = 1{,}94$ mol · L^{-1} (Q3)

$$u(C_{\text{réel}}) = C_{\text{réel}} \times \sqrt{\left(\frac{u(V_0)}{V_0}\right)^2 + \left(\frac{u(C_{\text{alcool}})}{C_{\text{alcool}}}\right)^2 + \left(\frac{u(V_E)}{V_E}\right)^2}$$

$$u(C_{\text{réel}}) = 1{,}94 \times \sqrt{\left(\frac{0{,}01}{10{,}0}\right)^2 + \left(\frac{0{,}05}{1{,}00}\right)^2 + \left(\frac{0{,}06}{19{,}4}\right)^2} = 0{,}097 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$u(C_{\text{réel}}) \approx 0{,}10$ mol · L^{-1}, soit $C_{\text{réel}} = (1{,}94 \pm 0{,}10)$ mol · L^{-1}

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Oublier de multiplier par $C_{\text{réel}}$: la racine donne l'incertitude relative ($0{,}050$, soit 5 %), pas $u(C_{\text{réel}})$.

COMPRENDRE
Une incertitude-type s'arrondit par excès, avec un ou deux chiffres significatifs, et son dernier chiffre est au même rang que celui de la mesure (ici le centième).

Q5 Comparer la valeur de la concentration réelle mesurée en bromure de pentylmagnésium et celle indiquée sur la bouteille neuve. Conclure.

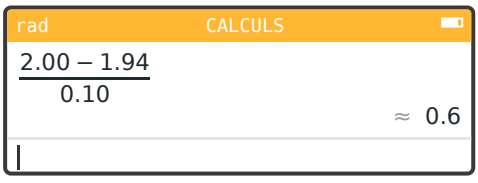
Données utiles $C_{\text{com}} = 2{,}00$ mol · L^{-1} ; $C_{\text{réel}} = 1{,}94$ mol · L^{-1} (Q3) ; $u(C_{\text{réel}}) = 0{,}10$ mol · L^{-1} (Q4)

$$\frac{|C_{\text{réel}} - C_{\text{com}}|}{u(C_{\text{réel}})} = \frac{|1{,}94 - 2{,}00|}{0{,}10} = 0{,}6$$

Ce quotient est inférieur à 2 : l'écart entre la valeur mesurée et la valeur de l'étiquette est inférieur à une incertitude-type.

Quotient $= 0{,}6 < 2$: la concentration mesurée est **compatible** avec $C_{\text{com}} = 2{,}00$ mol · L^{-1} ; la solution ne s'est pas dégradée de façon décelable et peut être utilisée.

À LA CALCULATRICE



COMPRENDRE
Par convention, la mesure est jugée compatible avec la référence si le quotient est inférieur ou égal à 2. Avec $u = 0{,}097$ mol · L^{-1} non arrondie, on trouve $0{,}62$: même conclusion.

Q6 Justifier l'utilisation d'un montage à reflux lors du chauffage de l'étape de synthèse.

Données utiles températures d'ébullition : diéthyléther 35 °C ; acroléine 53 °C

Chauffer accélère la transformation : la température est un facteur cinétique.

Le diéthyléther (35 °C) et l'acroléine (53 °C) sont très volatils : les vapeurs formées se liquéfient dans le réfrigérant à eau et retombent dans le ballon.

Le montage à reflux permet de **chauffer pour accélérer la transformation sans perte de matière** (réactifs, solvant, produit).

PIÈGE
Écrire que le chauffage « augmente le rendement ». Au niveau Terminale, on attend les deux idées : gain de temps (cinétique) et aucune perte grâce à la condensation des vapeurs.

Q7 Indiquer, en justifiant, les espèces présentes dans chacune des deux phases de l'ampoule à décanter.

Données utiles diéthyléther non miscible avec l'eau ; alcool de champignon insoluble dans l'eau, soluble dans le diéthyléther ; acroléine peu soluble dans l'eau, soluble dans le diéthyléther

Le diéthyléther n'est pas miscible avec l'eau de la solution de chlorure d'ammonium : il y a deux phases.

Phase organique (solvant : diéthyléther) :

- l'alcool de champignon, insoluble dans l'eau et soluble dans le diéthyléther ;
- l'acroléine restante (réactif en excès), peu soluble dans l'eau et soluble dans le diéthyléther.

Phase aqueuse (solvant : eau) :

- les ions Mg^{2+} et Br^- formés, les ions NH_4^+ en excès et les ions Cl^- spectateurs : les espèces ioniques sont solubles dans l'eau ;
- l'ammoniac NH_3, majoritairement en phase aqueuse d'après l'énoncé.

Le bromure de pentylmagnésium, réactif limitant, a été entièrement consommé.

Phase organique : diéthyléther, alcool de champignon, acroléine en excès. Phase aqueuse : eau, Mg^{2+}, Br^-, NH_4^+, Cl^-, NH_3.

PIÈGE
Oublier les réactifs en excès (acroléine, ions ammonium) et les ions chlorure apportés par la solution de chlorure d'ammonium.

MÉTHODE
Dresser la liste de tout ce que contient le ballon en fin de synthèse (produits, réactifs en excès, solvants, ions spectateurs), puis ranger chaque espèce à l'aide du tableau de solubilités.

Q8 Indiquer la température à sélectionner en tête de colonne pour obtenir le produit désiré.

Données utiles températures d'ébullition : diéthyléther 35 °C ; acroléine 53 °C ; alcool de champignon 175 °C

Lors de la distillation fractionnée, les espèces de la phase organique passent en tête de colonne dans l'ordre croissant des températures d'ébullition : le diéthyléther (35 °C), puis l'acroléine (53 °C), puis l'alcool de champignon. On recueille la fraction qui distille à la température d'ébullition de l'alcool de champignon.

Température à sélectionner : 175 °C

COMPRENDRE
Tant qu'une espèce distille, la température en tête de colonne reste égale à sa température d'ébullition. Les fractions recueillies à 35 °C puis à 53 °C sont écartées.

Q9 Interpréter les résultats des analyses des figures 2 (spectre infrarouge) et 3 (chromatogramme).

Données utiles O–H : 3200 – 3700 cm^{-1}, forte et large ; C–H : 2850 – 3100 cm^{-1}, forte ; C=C : 1620 – 1680 cm^{-1}, faible et fine ; C=O : 1650 – 1730 cm^{-1}, forte et fine

Spectre infrarouge (figure 2)

- bande forte et large vers $3350\ \text{cm}^{-1}$: liaison O–H, groupe hydroxyle ;
- bandes fortes entre 2860 et $3080\ \text{cm}^{-1}$: liaisons C–H ;
- bande faible et fine à $1644\ \text{cm}^{-1}$: liaison C=C ;
- aucune bande forte et fine entre 1650 et $1730\ \text{cm}^{-1}$: pas de liaison C=O, donc pas d'acroléine.

Le spectre est en accord avec la formule de l'alcool de champignon (un groupe hydroxyle, une double liaison C=C).

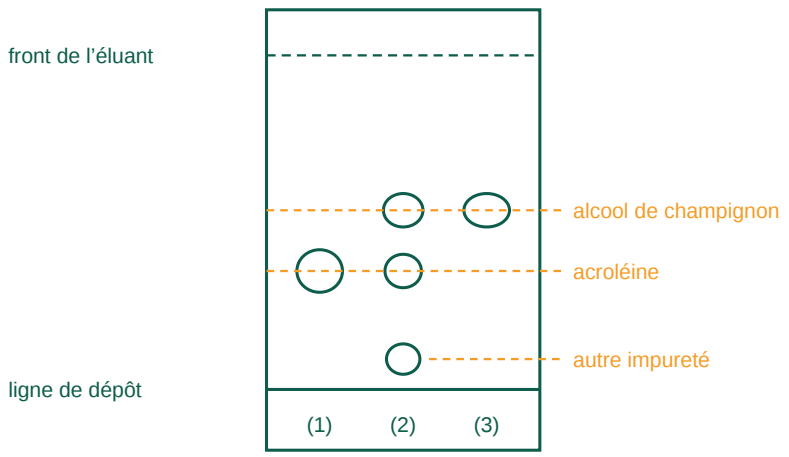
Chromatogramme (figure 3)

- dépôt (3) : une seule tache, le produit purifié ne contient qu'une espèce révélée, il est pur ;
- cette tache n'est pas à la hauteur de celle de l'acroléine (1) : le produit n'en contient pas ;
- dépôt (2) : trois taches, la phase organique avant purification est un mélange contenant l'espèce du dépôt (3), de l'acroléine et une autre espèce.

Le produit obtenu est de l'**alcool de champignon pur** : la distillation a éliminé l'acroléine en excès et l'autre impureté.

PIÈGE
Attribuer la bande à $1644\ \text{cm}^{-1}$ à une liaison C=O : elle est faible et hors de l'intervalle 1650 – 1730. La bande d'une liaison C=O serait l'une des plus intenses du spectre.

COMPRENDRE
La CCM prouve la pureté, pas l'identité : il n'y a pas de dépôt d'alcool de champignon de référence. C'est le spectre infrarouge qui confirme les groupes caractéristiques du produit.



Q9 · Figure 3 du sujet : lecture du chromatogramme

Q10 Déterminer le rendement de la synthèse.

Données utiles solution de bromure de pentylmagnésium : $V = 10{,}0$ mL à $C = 2{,}00\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $M(\text{alcool de champignon}) = 128{,}2\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $m_{\text{exp}} = 2{,}25$ g

L'acroléine et les ions ammonium sont en excès : le bromure de pentylmagnésium est le réactif limitant.

D'après l'équation, une mole de bromure de pentylmagnésium donne une mole d'alcool de champignon :

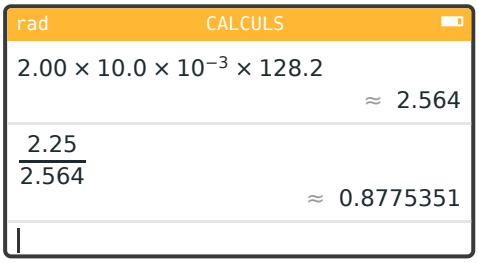
$$n_{\text{max}} = C \times V = 2{,}00 \times 10{,}0 \times 10^{-3} = 2{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

$$m_{\text{max}} = n_{\text{max}} \times M = 2{,}00 \times 10^{-2} \times 128{,}2 = 2{,}56\ \text{g}$$

$$\eta = \frac{m_{\text{exp}}}{m_{\text{max}}} = \frac{2{,}25}{2{,}56} = 0{,}878$$

$\eta = 87{,}8\ \%$

À LA CALCULATRICE



PIÈGE

Calculer n_{max} avec la masse molaire du bromure de pentylmagnésium ou de l'acroléine. La masse maximale se calcule avec la masse molaire du produit, $128{,}2\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

COMPRENDRE

Le protocole indique la concentration $2{,}00\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, validée en Q5. Avec la valeur mesurée $1{,}94\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, on trouverait 90,5 % : le rendement reste proche de 90 %.