Corrigé complet — Bac 2023 Centres étrangers 1 Jour 2

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

Ex 1	**Plongeon de haut vol** Énergie cinétique, potentielle, mécanique · Deuxième loi de Newton · Chute libre avec vitesse initiale · Équations horaires et trajectoire · Programme Python · Écart normalisé	11 pts	1 h 35	16 questions	p. 2
Ex 2	**L'érythrosine, colorant alimentaire** Loi de Beer-Lambert · Spectre d'absorption · Dilution et titre massique · Vitesse volumique de disparition · Loi de vitesse d'ordre 1 · Temps de demi-réaction	4,5 pts	48 min	11 questions	p. 7
Ex 3	**L'acétanilide, médicament antipyrétique** Formule topologique et famille des amides · Spectroscopie infrarouge · Quotient de réaction et critère d'évolution · Tableau d'avancement · Rendement d'une synthèse · Optimisation d'un rendement	4,5 pts	48 min	12 questions	p. 11

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.

Plongeon de haut vol

Bac 2023 Centres étrangers 1 Jour 2 · Exercice 1 **11 points** **Durée conseillée 1 h 35**

1 Recopier et compléter les instructions des lignes 36 et 38 du programme Python.

L'énergie potentielle de pesanteur, nulle en $y = 0$, s'écrit $E_{pp} = m\,g\,y$ (axe y vers le haut) ; l'énergie mécanique est $E_m = E_c + E_{pp}$.

Ligne 36 : `Eppi = m*g*y[i]` Ligne 38 : `Emi = Eci + Eppi`

PIÈGE
Oublier l'indice `[i]` : `y` est une liste, on ne peut pas la multiplier par $m\,g$. À l'inverse, `Eci` et `Eppi` sont des nombres, sans crochets.

2 Justifier que la courbe en pointillés de la figure 3 est celle de l'énergie cinétique.

À $t = 0$ le plongeur est en O : $y = 0$ donc $E_{pp} = 0$, alors qu'il possède une vitesse v_0 non nulle, donc $E_c \neq 0$.

Sur la figure 3, ce sont les croix qui partent de 0 J ; la courbe en pointillés part d'environ 190 J.

De plus, le plongeur commence par monter : y augmente et sa vitesse diminue, donc E_{pp} croît et E_c décroît, ce que fait la courbe en pointillés au début.

La courbe en pointillés, non nulle à $t = 0$ et d'abord décroissante, est celle de E_c.

MÉTHODE
Pour attribuer des courbes d'énergie, regarder d'abord l'instant initial : l'altitude y fixe E_{pp}, la vitesse y fixe E_c. Un seul argument net suffit.

3 Montrer, à partir de la courbe de l'énergie cinétique, que la vitesse initiale est de l'ordre de $v_0 = 2{,}3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Données utiles $m = 70{,}0$ kg ; figure 3

Lecture graphique à $t = 0$: $E_c(0) \approx 190$ J.

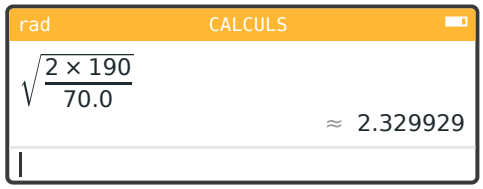
Or $E_c(0) = \dfrac{1}{2}\,m\,v_0^2$, donc $v_0 = \sqrt{\dfrac{2\,E_c(0)}{m}}$.

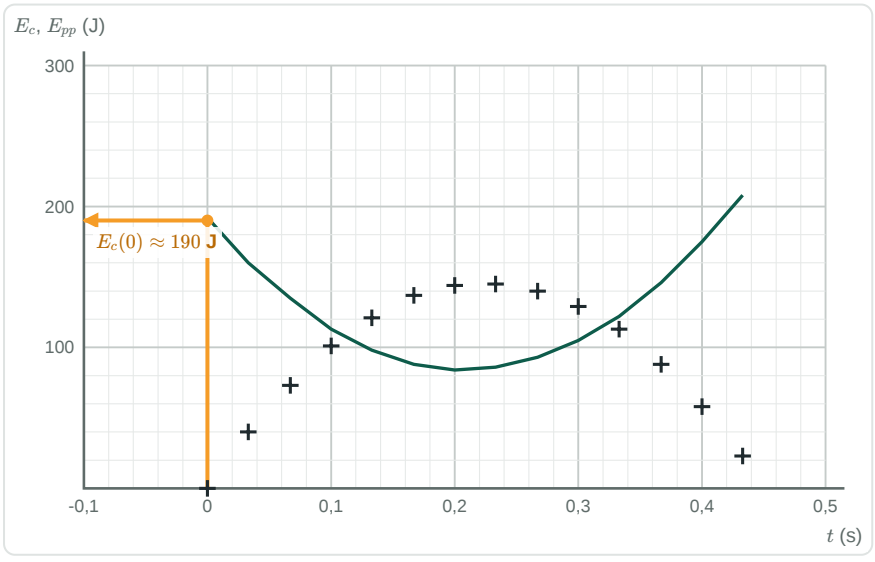
$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \times 190}{70{,}0}} = 2{,}3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$v_0 \approx 2{,}3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, valeur attendue.

COMPRENDRE
La lecture graphique ne donne que deux chiffres significatifs (une graduation vaut 20 J) : le résultat s'écrit donc avec deux chiffres, pas plus.

À LA CALCULATRICE





3 · Figure 3 du sujet : lecture de E_c à $t = 0$ (croix : E_{pp} ; courbe : E_c)

4 Pour chacune des deux phases, $t \leqslant 0{,}4$ s puis $t > 0{,}4$ s, préciser si les frottements sont négligeables ou non. Justifier.

Le plongeur est soumis à son poids, force conservative, et aux frottements de l'air, force non conservative. La variation de l'énergie mécanique est égale au travail des forces non conservatives : $\Delta E_m = W(\vec{f})$.

- $t \leqslant 0{,}4$ s : E_m est constante, donc $W(\vec{f}) \approx 0$.
- $t > 0{,}4$ s : E_m diminue, donc $W(\vec{f}) < 0$: les frottements dissipent de l'énergie.

Frottements négligeables pour $t \leqslant 0{,}4$ s ; non négligeables pour $t > 0{,}4$ s.

COMPRENDRE
Le travail des frottements est toujours résistant (force opposée au déplacement) : l'énergie mécanique ne peut que diminuer, jamais augmenter.

5 À partir de la figure 4, formuler une hypothèse sur l'importance des forces de frottement selon que la vitesse est faible ou élevée.

Tant que E_c est faible (début du saut), donc que la vitesse est faible, E_m reste constante. Ensuite E_c, donc la vitesse, augmente fortement et E_m décroît de plus en plus.

Hypothèse : les frottements sont négligeables à faible vitesse et d'autant plus importants que la vitesse est élevée.

MÉTHODE
Comme m est constante, lire E_c revient à lire la vitesse : $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ croît avec v. C'est ce lien qui permet de passer des courbes à une conclusion sur la vitesse.

6 À l'aide du tableau de la figure 1, calculer v_{0x} et v_{0y} en appliquant les instructions des lignes 24 et 25 du code Python.

Données utiles à $t_0 = 0$: $x_0 = 0$, $y_0 = 0$; à $t_1 = 0{,}033$ s : $x_1 = 0{,}050$ m, $y_1 = 0{,}060$ m

Pour $i = 0$, les lignes 24 et 25 calculent :

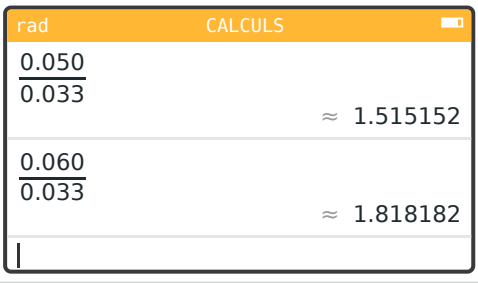
$$v_{0x} = \frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0} = \frac{0{,}050 - 0}{0{,}033 - 0} = 1{,}5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_{0y} = \frac{y_1 - y_0}{t_1 - t_0} = \frac{0{,}060 - 0}{0{,}033 - 0} = 1{,}8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$v_{0x} = 1{,}5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $v_{0y} = 1{,}8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

COMPRENDRE
Le programme approche la vitesse au point i par la vitesse moyenne entre les points i et $i+1$. Pour $i = 0$, on utilise donc les deux premières lignes du tableau.

À LA CALCULATRICE



7 À partir des valeurs de v_{0x} et v_{0y}, vérifier que l'angle α est de l'ordre de 50°.

Données utiles $v_{0x} = 1{,}5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $v_{0y} = 1{,}8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Q6)

α est l'angle entre $\vec{v}_0$ et l'horizontale : $v_{0x} = v_0 \cos\alpha$ et $v_{0y} = v_0 \sin\alpha$, d'où

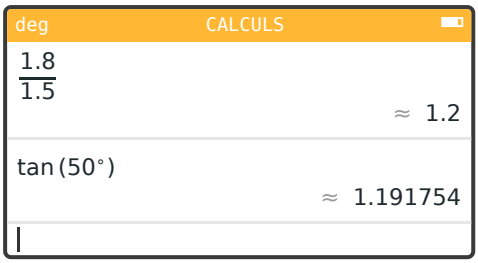
$$\tan\alpha = \frac{v_{0y}}{v_{0x}} = \frac{1{,}8}{1{,}5} = 1{,}2 \qquad \alpha = \arctan(1{,}2) = 50^\circ$$

$\alpha \approx 50^\circ$, valeur attendue.

PIÈGE
Calculatrice en radians : $\arctan(1{,}2)$ affiche alors 0,876. Vérifier le mode degrés avant tout calcul d'angle.

COMPRENDRE
Contrôle : $\sqrt{1{,}5^2 + 1{,}8^2} = 2{,}3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, on retrouve la valeur de v_0 de la question 3.

À LA CALCULATRICE



8 Écrire la relation traduisant la deuxième loi de Newton appliquée au plongeur, avec $\vec{g}$ et $\vec{a}$.

Système {plongeur}, de masse m constante ; référentiel du plongeoir supposé galiléen ; seule force (chute libre) : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$.

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit $m\,\vec{g} = m\,\vec{a}$.

$$\boxed{\vec{a} = \vec{g}}$$

COMPRENDRE
La masse se simplifie : dans le modèle de la chute libre, le mouvement ne dépend pas de la masse du plongeur.

9 Exprimer les coordonnées $a_x(t)$ et $a_y(t)$ de l'accélération, puis $v_x(t)$ et $v_y(t)$ de la vitesse, en fonction de v_0, g, t et α.

$\vec{g}$ est vertical vers le bas et l'axe y est orienté vers le haut : $a_x(t) = 0$ et $a_y(t) = -g$.

Comme $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives : $v_x(t) = C_1$ et $v_y(t) = -g\,t + C_2$.

À $t = 0$: $v_x(0) = v_0 \cos\alpha$ et $v_y(0) = v_0 \sin\alpha$, donc $C_1 = v_0 \cos\alpha$ et $C_2 = v_0 \sin\alpha$.

$$\boxed{a_x = 0\ ;\ a_y = -g\ ;\ v_x(t) = v_0 \cos\alpha\ ;\ v_y(t) = -g\,t + v_0 \sin\alpha}$$

PIÈGE
Oublier les constantes d'intégration, ou écrire $a_y = +g$ alors que l'axe y pointe vers le haut.

10 Montrer que les équations horaires sont $x(t) = v_0 \cos(\alpha)\,t$ et $y(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0 \sin(\alpha)\,t$.

Comme $\vec{v} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OP}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives de v_x et v_y :

$x(t) = v_0 \cos(\alpha)\,t + C_3$ et $y(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0 \sin(\alpha)\,t + C_4$.

À $t = 0$, P est en O : $x(0) = 0$ et $y(0) = 0$, donc $C_3 = 0$ et $C_4 = 0$.

$$\boxed{x(t) = v_0 \cos(\alpha)\,t \text{ et } y(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0 \sin(\alpha)\,t}$$

MÉTHODE
Toujours le même enchaînement : $\vec{a}$ → primitive → $\vec{v}$ (constantes fixées par $\vec{v}_0$) → primitive → $\overrightarrow{OP}$ (constantes fixées par la position initiale).

11 Établir l'équation de la trajectoire et montrer qu'elle est compatible avec l'allure de la trajectoire de la figure 1.

De $x = v_0 \cos(\alpha)\,t$ on tire $t = \dfrac{x}{v_0 \cos\alpha}$, que l'on reporte dans $y(t)$:

$$y(x) = -\frac{g}{2\,v_0^2 \cos^2\alpha}\,x^2 + \tan(\alpha)\,x$$

C'est une fonction du type $y = A\,x^2 + B\,x$ avec $A < 0$ et $B > 0$: une parabole passant par O, qui monte d'abord puis redescend.

$$\boxed{y(x) = -\frac{g}{2\,v_0^2 \cos^2\alpha}\,x^2 + \tan(\alpha)\,x} \text{ : parabole tournée vers le bas, comme sur la figure 1.}$$

PIÈGE
S'arrêter à l'équation. La question demande aussi de la relier à la figure : nommer la parabole et le signe du coefficient de x^2.

12 À partir des équations horaires, montrer que la durée de la chute est solution de $-4{,}9\,t^2 + 1{,}8\,t + 28 = 0$ (équation 1).

Données utiles $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $v_0 \sin\alpha = v_{0y} = 1{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Q6) ; O est à 28 m au-dessus de l'eau

La surface de l'eau est à 28 m sous l'origine O : le plongeur l'atteint quand $y(t) = -28$ m.

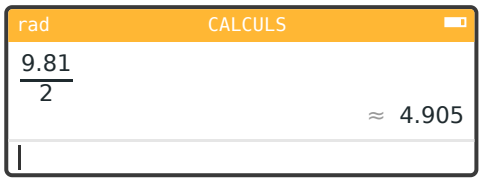
$$-\frac{1}{2}\,g\,t^2 + v_0 \sin(\alpha)\,t = -28$$

Avec $\frac{1}{2}\,g = \frac{9{,}81}{2} = 4{,}9$ et $v_0 \sin\alpha = 1{,}8$ (unités SI) : $-4{,}9\,t^2 + 1{,}8\,t = -28$.

$-4{,}9\,t^2 + 1{,}8\,t + 28 = 0$: c'est l'équation 1.

PIÈGE
Écrire $y = +28$ ou $y = 0$ à l'arrivée. L'origine est au point de départ et l'axe pointe vers le haut : l'eau est en $y = -28$ m.

À LA CALCULATRICE



13 Vérifier que l'hypothèse de la chute libre conduit à une durée de chute en accord avec le résultat expérimental.

Données utiles $t_1 = -2{,}21$ s ; $t_2 = 2{,}58$ s ; $\Delta t_{\text{exp}} = 2{,}8$ s ; $u(\Delta t_{\text{exp}}) = 0{,}3$ s

Une durée est positive : on retient $t_2 = 2{,}58$ s.

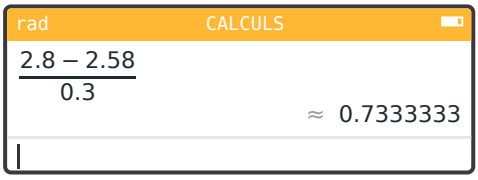
Écart normalisé :

$$z = \frac{|\Delta t_{\text{exp}} - t_2|}{u(\Delta t_{\text{exp}})} = \frac{|2{,}8 - 2{,}58|}{0{,}3} = 0{,}7$$

$z \approx 0{,}7 < 2$: la durée calculée, 2,58 s, est en accord avec la mesure.

COMPRENDRE
L'écart entre les deux durées (0,22 s) est inférieur à une seule incertitude-type. Les frottements, bien réels après 0,4 s, allongent un peu la chute mais sans effet mesurable ici.

À LA CALCULATRICE



14 Montrer que la vitesse d'entrée dans l'eau v_{th} prédite par l'étude cinématique est de l'ordre de $24\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Données utiles $t_2 = 2{,}58$ s ; $v_{0x} = 1{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $v_{0y} = 1{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Q6) ; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

À l'instant t_2, d'après la question 9 :

$v_x(t_2) = v_0 \cos\alpha = 1{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

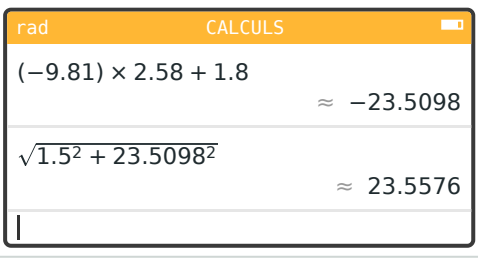
$v_y(t_2) = -g\,t_2 + v_0 \sin\alpha = -9{,}81 \times 2{,}58 + 1{,}8 = -23{,}5\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

$$v_{th} = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{1{,}5^2 + (-23{,}5)^2} = 23{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

$v_{th} = 23{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1} \approx 24\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, valeur attendue.

MÉTHODE
Autre voie : conservation de l'énergie mécanique entre O et l'eau, $v_{th} = \sqrt{v_0^2 + 2\,g\,h}$ avec $h = 28$ m, qui redonne $23{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



15 Indiquer si la valeur v_{th} obtenue à la question 14 est en accord ou non avec la valeur citée dans l'article.

Données utiles article : vitesse d'impact « proche de 90 km/h » ; $v_{th} \approx 24\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Q14)

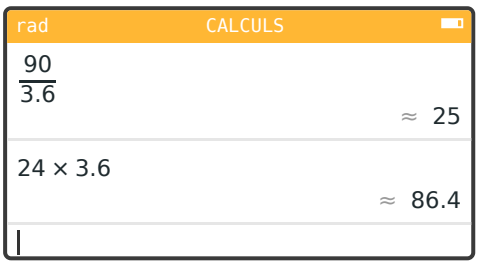
Conversion : $90\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1} = \dfrac{90}{3{,}6} = 25\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

L'écart relatif avec v_{th} vaut $\dfrac{25-24}{25} = 4\ \%$, et l'article ne donne qu'une valeur approchée.

$v_{th} \approx 24\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (soit $86\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$) est en accord avec les $90\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ de l'article.

PIÈGE
Comparer 24 et 90 sans convertir. Pour passer des $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$ aux $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, on divise par 3,6.

À LA CALCULATRICE



16 Estimer l'accélération a_{eau} subie par le plongeur une fois dans l'eau à partir de la vitesse de la question 14, et la comparer à g.

Données utiles $v_{th} \approx 24\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ (Q14) ; immobilisation en $\Delta t = 0{,}5\ \text{s}$; $g = 9{,}81\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

La vitesse passe de v_{th} à 0 en $\Delta t = 0{,}5$ s. En valeur, l'accélération moyenne est :

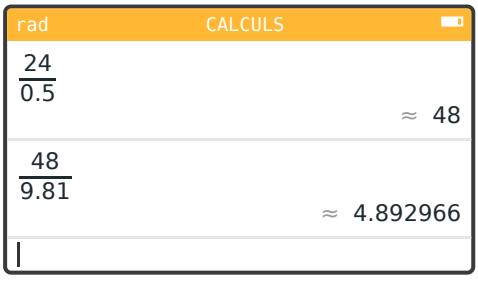
$$a_{\text{eau}} = \frac{|\Delta v|}{\Delta t} = \frac{|0-24|}{0{,}5} = 48\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Comparaison : $\dfrac{a_{\text{eau}}}{g} = \dfrac{48}{9{,}81} \approx 5$.

$a_{\text{eau}} \approx 5 \times 10^{1}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, soit environ 5 fois g.

COMPRENDRE
Le vecteur accélération est opposé à la vitesse, donc dirigé vers le haut : c'est un freinage. La durée 0,5 s n'a qu'un chiffre significatif, d'où une simple estimation.

À LA CALCULATRICE



L'érythrosine, colorant alimentaire

Bac 2023 Centres étrangers 1 Jour 2 · Exercice 2 **4,5 points** **Durée conseillée 48 min**

1 Proposer une valeur de la longueur d'onde λ_m à laquelle régler le spectrophotomètre.

Données utiles figure 1 : spectre d'absorption de l'érythrosine

On règle le spectrophotomètre sur la longueur d'onde du maximum d'absorption : l'absorbance mesurée est alors la plus grande et la mesure la plus précise.

Sur la figure 1, le pic se situe entre 500 nm et 550 nm.

$\lambda_m \approx 525 \text{ nm}$

COMPRENDRE
Toute valeur lue au sommet du pic, entre 520 nm et 530 nm, est acceptée. Cette radiation est verte : la solution absorbe le vert et paraît rouge, sa couleur complémentaire.

2 À partir de la loi de Beer-Lambert, montrer que la mesure de l'absorbance de la solution permet de déterminer la concentration en érythrosine.

L'érythrosine est la seule espèce colorée de la solution : l'absorbance ne dépend que d'elle, et $A = \varepsilon \times \ell \times [\text{E}]$.

Comme ε et ℓ sont connus et constants, A est proportionnelle à $[\text{E}]$. Une mesure de A donne donc la concentration :

$$[\text{E}] = \frac{A}{\varepsilon \times \ell}$$

PIÈGE
Oublier de dire que l'érythrosine est la seule espèce qui absorbe : sans cette précision, l'absorbance mesurée ne renseigne pas sur elle seule.

3 Montrer que la concentration de la solution en érythrosine est $[\text{E}] = 5{,}4 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données utiles $A_{solution} = 0{,}44$; $\varepsilon = 8{,}2 \times 10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$; $\ell = 1{,}0 \text{ cm}$

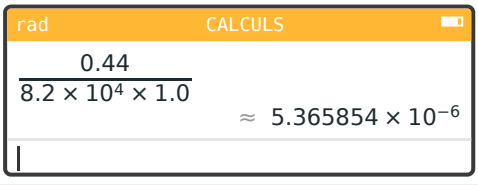
D'après la question 2 :

$$[\text{E}] = \frac{A_{solution}}{\varepsilon \times \ell} = \frac{0{,}44}{8{,}2 \times 10^4 \times 1{,}0}$$

$[\text{E}] = 5{,}4 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, valeur attendue.

COMPRENDRE
Les trois données ont deux chiffres significatifs : le résultat en garde deux. La longueur ℓ reste en cm, car ε est exprimé en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



4 Montrer qu'une personne de 50 kg peut consommer la totalité de la solution de la conserve sans risque pour sa santé.

Données utiles dose admissible : 0,1 mg par kg et par jour ; $V = 500 \text{ mL}$; $M_E = 879{,}86 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $[\text{E}] = 5{,}4 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q3)

Masse maximale admissible par jour pour 50 kg : $m_{max} = 0{,}1 \times 50 = 5 \text{ mg}$.

Masse d'érythrosine dans la solution : $m_E = n_E \times M_E = [\text{E}] \times V \times M_E$

$$m_E = 5{,}4 \times 10^{-6} \times 0{,}500 \times 879{,}86 = 2{,}4 \times 10^{-3} \text{ g}$$

$m_E = 2{,}4 \text{ mg} < 5 \text{ mg}$: la personne peut consommer toute la solution sans risque.

PIÈGE
Laisser V en mL donne une masse mille fois trop grande. Comparer ensuite deux masses dans la même unité : des grammes avec des milligrammes ne se comparent pas.

MÉTHODE
Pour confronter un produit à une dose admissible : calculer la dose maximale pour la personne, puis la masse réellement ingérée, et conclure par une inégalité écrite.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

0.1×50

≈ 5

$5.4 \times 10^{-6} \times 0.500 \times 879.86$

≈ 0.002375622

5 Montrer que la concentration de la solution S_1 en ion hypochlorite est $C_1 = 3{,}1 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données utiles S_0 : 4,8 % en masse de ClO^- ; $\rho_J = 1095\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; $M(\text{Cl}) = 35{,}5\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{O}) = 16{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $V_0 = 30\ \text{mL}$; $V_j = 100\ \text{mL}$

Solution S_0. Un litre de S_0 a une masse de 1095 g, dont 4,8 % d'ions hypochlorite. Avec $M(\text{ClO}^-) = 35{,}5 + 16{,}0 = 51{,}5\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$:

$$C_0 = \frac{0{,}048 \times \rho_J}{M(\text{ClO}^-)} = \frac{0{,}048 \times 1095}{51{,}5} = 1{,}02\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Dilution. La quantité de matière de soluté se conserve : $C_0 \times V_0 = C_1 \times V_j$, donc

$$C_1 = \frac{C_0 \times V_0}{V_j} = \frac{1{,}02 \times 30}{100} = 0{,}31\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$C_1 = 3{,}1 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, valeur attendue.

PIÈGE
Oublier la dilution et annoncer C_0 comme réponse. Les deux volumes du rapport V_0/V_j peuvent rester en mL, à condition d'avoir la même unité.

MÉTHODE
Passer d'un pourcentage massique à une concentration : raisonner sur un litre de solution, en calculer la masse avec ρ, prendre le pourcentage, puis diviser par la masse molaire.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{0.048 \times 1095}{35.5 + 16.0}$

≈ 1.020583

$\dfrac{1.020582524 \times 30}{100}$

≈ 0.3061748

6 En calculant les quantités de matière initiales n_{Ei} en érythrosine et n_{Hi} en ion hypochlorite, montrer que les ions hypochlorite sont en excès.

Données utiles $V_1 = V_E = 5\ \text{mL}$; $[\text{E}] = 5{,}4 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q3) ; $C_1 = 3{,}1 \times 10^{-1}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (Q5)

$n_{Ei} = [\text{E}] \times V_E = 5{,}4 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-3} = 2{,}7 \times 10^{-8}\ \text{mol}$

$n_{Hi} = C_1 \times V_1 = 3{,}1 \times 10^{-1} \times 5 \times 10^{-3} = 1{,}6 \times 10^{-3}\ \text{mol}$

D'après l'équation 1, une mole de E réagit avec une mole de ClO^- : on compare directement les deux quantités.

$n_{Hi} \gg n_{Ei}$ (environ 6×10^4 fois plus) : les ions hypochlorite sont en très large excès.

COMPRENDRE
Avec un tel excès, la concentration en ClO^- ne varie presque pas pendant la réaction : la vitesse ne dépend plus que de $[\text{E}]$, ce qui justifie l'ordre 1 étudié ensuite.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$5.4 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-3} \approx 2.7 \times 10^{-8}$

$3.1 \times 10^{-1} \times 5 \times 10^{-3} \approx 0.00155$

$\dfrac{1.55 \times 10^{-3}}{2.7 \times 10^{-8}} \approx 57407.41$

7 Définir la vitesse volumique de disparition de l'érythrosine en utilisant la notation $[\mathrm{E}]$.

La vitesse volumique de disparition de l'érythrosine est l'opposé de la dérivée de sa concentration par rapport au temps :

$$v = -\frac{\mathrm{d}[\mathrm{E}]}{\mathrm{d}t}$$

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ ». La concentration d'un réactif diminue, sa dérivée est négative : le signe moins rend la vitesse positive.

8 Donner l'expression de la vitesse volumique de disparition v en fonction de $[\mathrm{E}]$ et d'une constante k positive pour une loi de vitesse d'ordre 1.

Pour une loi d'ordre 1, la vitesse est proportionnelle à la concentration du réactif :

$$v = k \times [\mathrm{E}]$$

COMPRENDRE
En égalant les expressions des questions 7 et 8, on obtient $-\dfrac{\mathrm{d}[\mathrm{E}]}{\mathrm{d}t} = k \times [\mathrm{E}]$: c'est l'équation différentielle donnée par l'énoncé. La constante k s'exprime en s^{-1}.

9 Montrer que le temps de demi-réaction pour une loi de vitesse d'ordre 1 est $t_{1/2} = \dfrac{\ln(2)}{k}$.

Le temps de demi-réaction est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale. La réaction est totale et E est le réactif limitant : à $t_{1/2}$, la moitié de l'érythrosine a disparu.

$$[\mathrm{E}](t_{1/2}) = \frac{[\mathrm{E}]_0}{2} \quad \text{soit} \quad [\mathrm{E}]_0\, e^{-k\,t_{1/2}} = \frac{[\mathrm{E}]_0}{2}$$

Donc $e^{-k\,t_{1/2}} = \dfrac{1}{2}$, puis $-k\,t_{1/2} = \ln\left(\dfrac{1}{2}\right) = -\ln(2)$.

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k}$$

COMPRENDRE
Le résultat ne dépend pas de $[\mathrm{E}]_0$: pour l'ordre 1, la concentration est divisée par deux à chaque durée $t_{1/2}$, quelle que soit la valeur de départ.

MÉTHODE
Avec les rappels de l'énoncé : $\ln(1/2) + \ln(2) = \ln(1) = 0$, donc $\ln(1/2) = -\ln(2)$; et $\ln(e^x) = x$ fait disparaître l'exponentielle.

10 Montrer, à l'aide de la question 2, que si la décoloration suit une loi de vitesse d'ordre 1, l'absorbance évolue de façon exponentielle au cours du temps.

Seule l'érythrosine est colorée (le produit P et les ions ClO^- sont incolores), donc à chaque instant $A(t) = \varepsilon \times \ell \times [\mathrm{E}](t)$.

Pour l'ordre 1, $[\mathrm{E}](t) = [\mathrm{E}]_0\, e^{-kt}$, d'où $A(t) = \varepsilon \times \ell \times [\mathrm{E}]_0\, e^{-kt}$.

$A(t) = A_0\, e^{-kt}$ avec $A_0 = \varepsilon \times \ell \times [\mathrm{E}]_0$: l'absorbance décroît exponentiellement.

COMPRENDRE
Le modèle du tableur, $A = 0{,}215\, e^{-0{,}0036\,t}$, a bien cette forme. Par identification : $A_0 = 0{,}215$ et $k = 0{,}0036\ \mathrm{s}^{-1}$.

11 Déterminer la valeur de $t_{1/2}$ en indiquant la méthode utilisée et conclure sur la rapidité de l'action de l'eau de Javel sur l'érythrosine.

Données utiles modélisation : $A = 0{,}215\,e^{-0{,}0036\,t}$ (t en s) ; $t_{1/2} = \dfrac{\ln(2)}{k}$ (Q9)

Méthode : exploitation de la modélisation. En identifiant avec $A(t) = A_0\,e^{-kt}$ (Q10) : $k = 0{,}0036\ \text{s}^{-1}$.

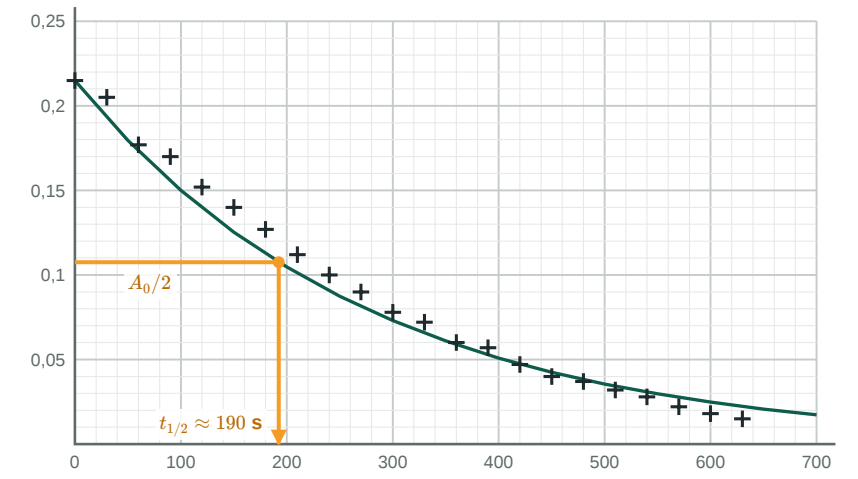
$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k} = \frac{\ln(2)}{0{,}0036} = 1{,}9 \times 10^2\ \text{s}$$

Vérification graphique. L'absorbance étant proportionnelle à $[\text{E}]$, $t_{1/2}$ est la date où $A = \dfrac{A_0}{2} = \dfrac{0{,}215}{2} \approx 0{,}108$: sur la courbe modèle de la figure 2, on lit environ 190 s.

$t_{1/2} \approx 1{,}9 \times 10^2$ s, soit un peu plus de 3 min : la décoloration est assez rapide, la tache a presque disparu au bout d'une dizaine de minutes.

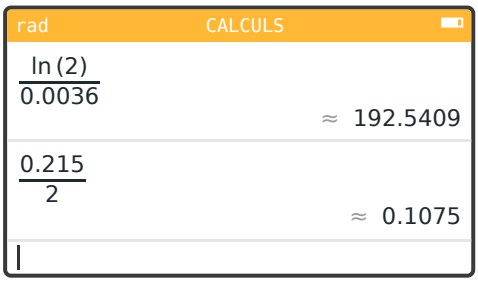
PIÈGE
Donner une valeur sans nommer la méthode, ou oublier la conclusion sur la rapidité : les deux sont demandées. Lire le graphique à $A = 0{,}125$ (moitié de l'axe) au lieu de $A_0/2$ fausse la lecture.

COMPRENDRE
Les points expérimentaux passent un peu au-dessus du modèle vers 200 s : une lecture sur les points donne plutôt 200 à 220 s. Les deux réponses sont recevables si la méthode est annoncée.



11 · Figure 2 du sujet (points relevés approximativement, courbe du modèle) avec la lecture de $t_{1/2}$

À LA CALCULATRICE



L'acétanilide, médicament antipyrétique

Bac 2023 Centres étrangers 1 Jour 2 · Exercice 3 **4,5 points** **Durée conseillée 48 min**

1 Représenter la formule topologique de l'acétanilide et identifier sa famille fonctionnelle parmi : alcool, aldéhyde, cétone, amide, ester.

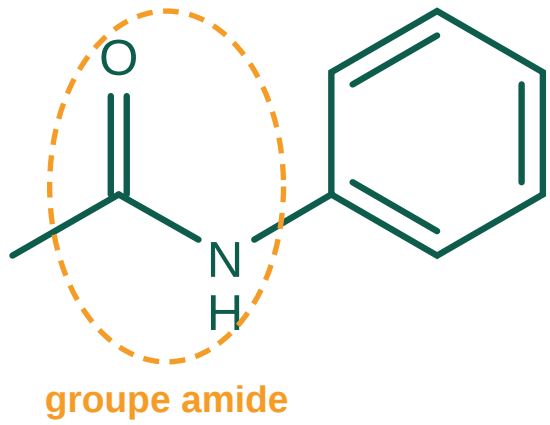
Formule topologique : voir le schéma ci-dessous.

La molécule contient un groupe carbonyle $C=O$ dont le carbone est directement lié à un atome d'azote : c'est le groupe caractéristique des amides.

L'acétanilide appartient à la famille des **amides**.

PIÈGE
Répondre « cétone » parce qu'on voit $C=O$. C'est l'atome voisin du carbone qui décide : un azote donne un amide, deux carbones une cétone.

MÉTHODE
En formule topologique, ni les atomes C ni les H portés par les carbones ne sont écrits. Les hétéroatomes (O, N) et les H qu'ils portent restent écrits : ici O et NH.



1 · Formule topologique de l'acétanilide ; le groupe amide est entouré

2 Montrer que le spectre infrarouge de l'acétanilide (figure 2) confirme l'appartenance à cette famille fonctionnelle.

Données utiles $C=O$ (amide) : 1650-1700 cm^{-1}, intense ; $N-H$ (amide) : 3100-3500 cm^{-1}, forte

Sur le spectre, on repère :

- une bande forte vers $3300\ cm^{-1}$, dans l'intervalle 3100-3500 cm^{-1} : liaison $N-H$ d'un amide ;
- une bande intense vers $1660\ cm^{-1}$, dans l'intervalle 1650-1700 cm^{-1} : liaison $C=O$ d'un amide.

Les liaisons $N-H$ et $C=O$ (amide) sont toutes deux présentes : le spectre confirme la famille des amides.

PIÈGE
L'axe des nombres d'onde est gradué de droite à gauche. Une bande se justifie toujours par trois éléments : sa position lue, l'intervalle du tableau et la liaison associée.

COMPRENDRE
Aucune bande forte entre 1705 et 1740 cm^{-1} : le spectre écarte aldéhyde, cétone et ester. La bande à $3300\ cm^{-1}$ ne suffit pas seule, un alcool absorbe dans la même zone.

3 Montrer que, dans le protocole 1, les réactifs sont introduits en proportions stœchiométriques.

Données utiles $\rho_A = 1{,}08\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; $M_A = 102{,}09\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $V_A = 15{,}0\ \text{mL}$; $\rho_B = 1{,}02\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; $M_B = 93{,}13\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $V_B = 14{,}5\ \text{mL}$

Pour un liquide pur : $n = \dfrac{m}{M} = \dfrac{\rho V}{M}$.

$$n(A)_i = \frac{\rho_A V_A}{M_A} = \frac{1{,}08 \times 15{,}0}{102{,}09} = 0{,}159\ \text{mol}$$

$$n(B)_i = \frac{\rho_B V_B}{M_B} = \frac{1{,}02 \times 14{,}5}{93{,}13} = 0{,}159\ \text{mol}$$

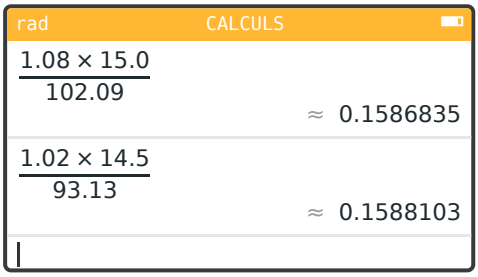
D'après l'équation 1, une mole de A réagit avec une mole de B : le mélange est stœchiométrique si $\dfrac{n(A)_i}{1} = \dfrac{n(B)_i}{1}$.

$n(A)_i = n(B)_i = 0{,}159\ \text{mol}$: les réactifs sont en proportions stœchiométriques.

PIÈGE
Comparer les volumes (15,0 mL et 14,5 mL) ou les masses. Les proportions stœchiométriques se jugent sur les quantités de matière, divisées par les nombres stœchiométriques.

COMPRENDRE
Les volumes et les masses volumiques ont trois chiffres significatifs : les quantités de matière s'écrivent avec trois chiffres. À cette précision, elles sont égales.

À LA CALCULATRICE



4 Donner la valeur du quotient de réaction initial $Q_R(x=0)$ pour le protocole 1.

À l'état initial, les produits C et D ne sont pas encore formés : $n(C)_i = n(D)_i = 0$ mol.

$$Q_R(x=0) = \frac{n(C)_i \times n(D)_i}{n(A)_i \times n(B)_i} = \frac{0 \times 0}{0{,}159 \times 0{,}159}$$

$Q_R(x=0) = 0$

5 En déduire le sens d'évolution spontanée de la réaction d'équation 1.

Données utiles $K = 1{,}0$; $Q_R(x=0) = 0$ (Q4)

$Q_R(x=0) = 0 < K = 1{,}0$: le quotient de réaction doit augmenter pour tendre vers K, donc des produits se forment.

Le système évolue spontanément dans le **sens direct** (formation de l'acétanilide C et de l'acide éthanoïque D).

MÉTHODE
Critère d'évolution : $Q_R < K$, sens direct ; $Q_R > K$, sens inverse ; $Q_R = K$, équilibre. La comparaison écrite avec les deux valeurs est attendue sur la copie.

6 Recopier et compléter le tableau d'avancement de la réaction de formation de l'acétanilide.

Équation 1, avec les notations du sujet : $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}$. Tous les nombres stœchiométriques valent 1 : chaque réactif perd x_f, chaque produit gagne x_f.

État	Avancement	A	B	C	D
initial	$x = 0$	$n(A)_i$	$n(B)_i$	0	0
final	x_f	$n(A)_i - x_f$	$n(B)_i - x_f$	x_f	x_f

État final : $n(A)_f = n(A)_i - x_f$; $n(B)_f = n(B)_i - x_f$; $n(C)_f = n(D)_f = x_f$

PIÈGE
Écrire x_{max} à la place de x_f dans la ligne finale. La transformation est limitée (double flèche) : l'avancement final est inférieur à l'avancement maximal.

7 Déterminer la masse maximale théorique m_{max} de produit C obtenue si la réaction était totale, pour le protocole 1.

Données utiles $n(A)_i = n(B)_i = 0{,}159$ mol (Q3) ; $M_C = 135{,}17\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Si la réaction était totale, les deux réactifs, en proportions stœchiométriques, seraient entièrement consommés : $n(A)_i - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = n(A)_i = \dfrac{\rho_A V_A}{M_A}$.

D'après le tableau, $n(C)_{max} = x_{max}$, donc :

$$m_{max} = x_{max} \times M_C = \frac{1{,}08 \times 15{,}0}{102{,}09} \times 135{,}17$$

$\boxed{m_{max} = 21{,}4\ \text{g}}$

PIÈGE
Reprendre la valeur arrondie $0{,}159$ mol donne $21{,}5$ g. Garder la valeur complète dans la calculatrice : on retrouve les $21{,}4$ g du protocole 2, dont le rendement est $1{,}0$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{1.08 \times 15.0}{102.09} \times 135.17$

$\approx$ 21.44925

8 Exprimer le rendement r de la réaction pour le protocole 1 en fonction de m_C et de m_{max}, puis calculer sa valeur.

Données utiles $m_C = 10{,}7$ g (figure 3) ; $m_{max} = 21{,}4$ g (Q7)

Le rendement est le rapport de la masse de produit réellement obtenue à la masse maximale théorique :

$$r = \frac{m_C}{m_{max}} = \frac{10{,}7}{21{,}4}$$

$\boxed{r = 0{,}500\text{, soit } 50{,}0\ \%}$

COMPRENDRE
Un rendement est sans unité et toujours inférieur ou égal à 1. Ici, la moitié seulement de l'acétanilide attendu est obtenue : la transformation n'est pas totale.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{10.7}{21.4}$

$\approx$ 0.5

9 Exprimer le quotient de réaction $Q_R(x = x_f)$ à l'état final pour le protocole 1 en fonction de l'avancement final x_f.

On remplace les quantités finales du tableau d'avancement (Q6) dans l'expression de Q_R :

$$Q_R(x = x_f) = \frac{n(C)_f \times n(D)_f}{n(A)_f \times n(B)_f} = \frac{x_f \times x_f}{(n(A)_i - x_f)\,(n(B)_i - x_f)}$$

Comme $n(A)_i = n(B)_i$ (Q3) :

$$\boxed{Q_R(x = x_f) = \frac{x_f^2}{(n(A)_i - x_f)^2} = \left(\frac{x_f}{n(A)_i - x_f}\right)^2}$$

10 Calculer la valeur de $Q_R(x = x_f)$ et indiquer si l'état d'équilibre est atteint.

Données utiles $m_C = 10{,}7$ g ; $M_C = 135{,}17\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $n(A)_i = 0{,}159$ mol (Q3) ; $K = 1{,}0$

L'avancement final est la quantité d'acétanilide réellement obtenue :

$$x_f = n(C)_f = \frac{m_C}{M_C} = \frac{10{,}7}{135{,}17} = 7{,}92 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

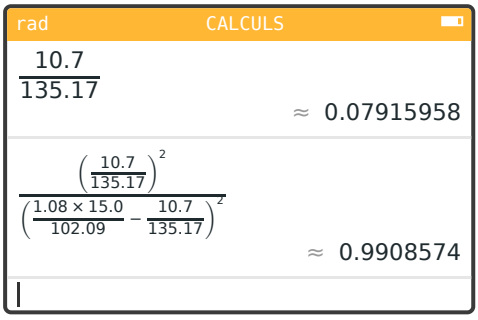
$$Q_R(x = x_f) = \left(\frac{x_f}{n(A)_i - x_f}\right)^2 = \left(\frac{7{,}92 \times 10^{-2}}{0{,}159 - 7{,}92 \times 10^{-2}}\right)^2 = 0{,}99$$

$Q_R(x = x_f) = 0{,}99 \approx K = 1{,}0$: l'état d'équilibre est atteint.

PIÈGE
Utiliser $x_{max} = 0{,}159$ mol à la place de x_f : le dénominateur s'annule. L'avancement final se déduit de la masse pesée, $10{,}7$ g.

COMPRENDRE
Le dénominateur est une différence de deux valeurs proches : le résultat est sensible aux arrondis (entre $0{,}98$ et $0{,}99$ selon les valeurs gardées). Dans tous les cas, il vaut K à deux chiffres près.

À LA CALCULATRICE



11 Expliquer pourquoi la mise en œuvre des protocoles 2 et 3 permet d'optimiser le rendement.

Données utiles rendements : $0{,}50$ (protocole 1, Q8) ; $1{,}0$ (protocole 2) ; $0{,}67$ (protocole 3)

Protocole 2. Le montage Dean-Stark élimine un produit au fur et à mesure de sa formation. Le numérateur de Q_R reste alors très petit : Q_R demeure inférieur à K et le système continue d'évoluer dans le sens direct, jusqu'à la consommation totale des réactifs. Le rendement atteint $1{,}0$.

Protocole 3. Le volume de A est doublé ($30{,}0$ mL) pour le même volume de B : A est en excès. Pour un même avancement, le dénominateur de Q_R est plus grand, donc Q_R plus petit : l'équilibre $Q_R = K$ est atteint pour un avancement final plus élevé. Le rendement passe à $0{,}67$.

Éliminer un produit (protocole 2) ou introduire un réactif en excès (protocole 3) déplace l'équilibre dans le sens direct : le rendement augmente.

PIÈGE
Dans le protocole 3, le réactif limitant est B : le rendement se calcule par rapport à $n(B)_i$. La masse maximale reste donc $21{,}4$ g, malgré le volume doublé de A.

COMPRENDRE
Dans les deux cas, K ne change pas, puisqu'elle ne dépend que de la température. C'est la composition du système qui est modifiée, pour retarder ou empêcher l'égalité $Q_R = K$.

12 Indiquer le protocole le plus intéressant parmi les trois, en justifiant.

Le protocole 2 a le meilleur rendement ($1{,}0$ contre $0{,}67$ et $0{,}50$) : tout l'acétanilide possible est obtenu, soit $21{,}4$ g. Il utilise en outre deux fois moins d'anhydride éthanoïque que le protocole 3, sans excès de réactif à séparer ensuite.

Le **protocole 2** (chauffage à reflux avec montage Dean-Stark) est le plus intéressant.