Corrigé complet — Bac 2021 Asie Sujet 1

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

Ex 1	**Parker Solar Probe** Lois de Kepler · Deuxième loi de Newton et repère de Frenet · Mouvement circulaire uniforme · Bilan d'énergie et capacité thermique · Flux et résistance thermiques	10 pts	1 h 45	13 questions	p. 2
Ex 2	**Traitement anti-acarien** Couple acide-base · Diagramme de prédominance · Spectroscopie infrarouge · Titrage pH-métrique · Incertitude-type	5 pts	53 min	9 questions	p. 7
Ex 3	**Synthèse d'un biocarburant** Groupe caractéristique ester · Facteurs cinétiques et catalyse · Étapes d'une synthèse · Masse volumique et incertitude-type · Réactif limitant · Rendement	5 pts	53 min	9 questions	p. 11
Ex 4	**L'eau oxygénée d'une solution hydroalcoolique** Facteurs cinétiques · Pourcentage massique et concentration · Titrage par oxydoréduction · Équivalence · Dilution · Exploitation d'un graphique	5 pts	53 min	4 questions	p. 15

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.

Parker Solar Probe

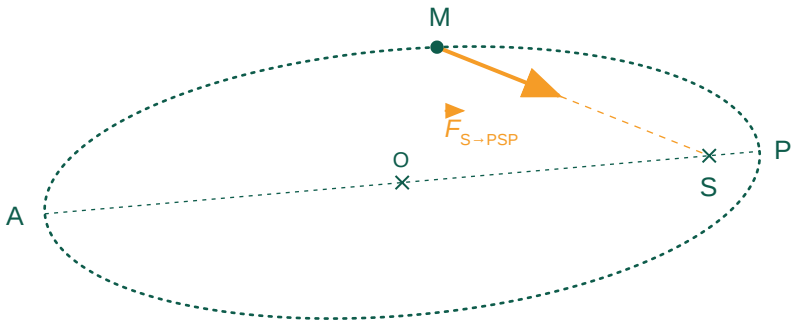
Bac 2021 Asie Sujet 1 · Exercice 1 **10 points** **Durée conseillée 1 h 45**

1.1 Représenter sur la figure 7 de l'annexe, sans souci d'échelle, la force d'attraction gravitationnelle $\overrightarrow{F}_{S\to PSP}$ exercée par le Soleil sur la sonde lorsqu'elle est au point M.

La force gravitationnelle est attractive : elle s'applique en M, sa direction est la droite (MS) et elle est orientée de M vers S.

$\overrightarrow{F}_{S\to PSP}$: flèche d'origine M, portée par (MS), dirigée vers le centre S du Soleil (voir la figure).

PIÈGE
Diriger la flèche vers le centre O de l'ellipse. Le Soleil occupe un foyer de l'ellipse, pas son centre : la force pointe vers S.



1.1 · Figure 7 de l'annexe complétée : la force est tracée en orange

1.2 En utilisant la deuxième loi de Kepler, comparer la vitesse v_P de la sonde au périhélie P à sa vitesse v_A à l'aphélie A.

Deuxième loi de Kepler (loi des aires) : le segment [SM] reliant le Soleil à la sonde balaie des aires égales pendant des durées égales.

Près de P, la sonde est proche du Soleil : le segment [SM] est court. Près de A, il est long. Pour balayer la même aire pendant la même durée Δt, la sonde doit parcourir un arc de trajectoire plus long au voisinage de P qu'au voisinage de A.

La vitesse étant la distance parcourue divisée par Δt :

$v_P > v_A$: la sonde est plus rapide au périhélie qu'à l'aphélie.

MÉTHODE
Pour comparer deux vitesses avec la loi des aires : même durée, donc même aire ; rayon court, donc arc long ; arc long, donc vitesse grande. La vitesse est maximale au point le plus proche de l'astre attracteur.

2.1 À l'aide de la deuxième loi de Newton, montrer que, pour une trajectoire circulaire, la vitesse v de la sonde est constante et vaut $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_S}{r}}$.

Système {sonde PSP}, de masse m constante ; référentiel héliocentrique supposé galiléen ; seule force : l'attraction du Soleil, dirigée vers S, soit $\overrightarrow{F}_{S\to PSP} = \dfrac{G\,m\,M_S}{r^2}\,\vec{n}$.

Deuxième loi de Newton : $\sum \overrightarrow{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit $\dfrac{G\,m\,M_S}{r^2}\,\vec{n} = m\,\vec{a}$, donc

$$\vec{a} = \frac{G\,M_S}{r^2}\,\vec{n} + 0\,\vec{t}$$

Or, dans le repère de Frenet, pour un mouvement circulaire de rayon r : $\vec{a} = \dfrac{v^2}{r}\,\vec{n} + \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\,\vec{t}$.

Par identification selon $\vec{t}$: $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$, donc la vitesse v est constante.

Par identification selon $\vec{n}$: $\dfrac{v^2}{r} = \dfrac{G\,M_S}{r^2}$, soit $v^2 = \dfrac{G\,M_S}{r}$.

$v = \sqrt{\dfrac{G\,M_S}{r}}$ et $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$: le mouvement circulaire est uniforme.

PIÈGE
Oublier le système et le référentiel, ou affirmer « $\vec{a}$ est constant ». Le vecteur accélération tourne avec la sonde : c'est sa composante nulle selon $\vec{t}$ qui prouve que v ne varie pas.

COMPRENDRE
La masse m de la sonde se simplifie : la vitesse sur une orbite circulaire ne dépend que de l'astre attracteur et du rayon.

2.2 Calculer la valeur v de la vitesse de la sonde dans le cadre du modèle circulaire.

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \mathrm{m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}}$; $M_S = 2{,}0 \times 10^{30}$ kg ; $r = 6{,}9 \times 10^{6}$ km

Conversion : $r = 6{,}9 \times 10^{6}\ \mathrm{km} = 6{,}9 \times 10^{9}\ \mathrm{m}$.

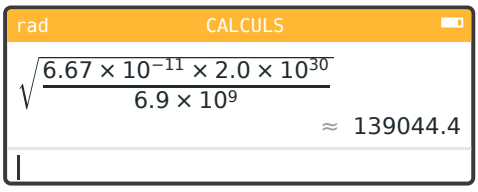
$$v = \sqrt{\frac{G\,M_S}{r}} = \sqrt{\frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 2{,}0 \times 10^{30}}{6{,}9 \times 10^{9}}} = 1{,}4 \times 10^{5}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

$v = 1{,}4 \times 10^{5}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}} = 1{,}4 \times 10^{2}\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$

PIÈGE
Laisser r en kilomètres : G est en unités SI, le rayon doit être en mètres. Sans la conversion, on trouve une vitesse environ 30 fois trop grande.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme M_S et r, les données les moins précises. La calculatrice affiche $139\,044$: on garde cette valeur pour la suite et on n'arrondit que le résultat écrit.

À LA CALCULATRICE



2.3 Conclure : la vitesse prévue par la NASA au point P a-t-elle été déterminée avec le modèle du mouvement circulaire ?

Données utiles $v_P = 192\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$, incertitude-type $u(v_P) = 5\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$; $v = 139\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$ (2.2)

On compare l'écart entre les deux valeurs à l'incertitude-type :

$$\frac{|v_P - v|}{u(v_P)} = \frac{192 - 139}{5} \approx 11$$

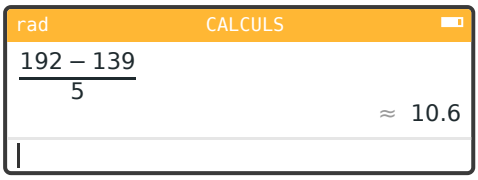
L'écart représente une dizaine d'incertitudes-types, bien plus que 2 : les deux valeurs ne sont pas compatibles.

La valeur $192\ \mathrm{km \cdot s^{-1}}$ n'a pas été obtenue avec le modèle circulaire : la NASA a utilisé un autre modèle (l'orbite elliptique).

COMPRENDRE
Cohérent avec la question 1.2 : sur l'ellipse, la sonde va plus vite en P que sur un cercle de même rayon.

MÉTHODE
Pour comparer une valeur calculée à une valeur de référence, calculer le quotient de l'écart par l'incertitude-type. Jusqu'à 2 environ, les valeurs sont compatibles ; au-delà, le modèle est à remettre en cause.

À LA CALCULATRICE



3 En utilisant la troisième loi de Kepler et les résultats du programme Python, déterminer la période de révolution T de la sonde autour du Soleil.

Données utiles $k = 3{,}983 \times 10^{-20}$ j$^2 \cdot$ km^{-3} (affichage du programme) ; $a = 58\,210 \times 10^3$ km

Troisième loi de Kepler : pour tous les objets en orbite autour du Soleil, le quotient $\dfrac{T^2}{a^3}$ a la même valeur.

Le programme modélise `T2` **en fonction de** `a` par une fonction linéaire pour les huit planètes : $T^2 = k\,a^3$, avec T en jours et a en kilomètres. Cette relation vaut aussi pour la sonde, qui tourne autour du même astre :

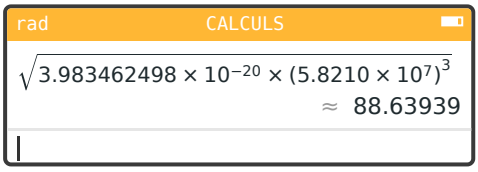
$$T = \sqrt{k\,a^3} = \sqrt{3{,}983 \times 10^{-20} \times (5{,}8210 \times 10^7)^3} = 88{,}64 \text{ j}$$

$T = 88{,}64$ j, soit environ 89 jours.

PIÈGE
Le tableau donne a en milliers de kilomètres : $a = 5{,}8210 \times 10^7$ km. Inutile de convertir en mètres ou en secondes, k est exprimé en j$^2 \cdot$ km^{-3}.

COMPRENDRE
Vérification rapide : le demi-grand axe de la sonde est très proche de celui de Mercure ($57\,909 \times 10^3$ km), sa période aussi (87,96 j).

À LA CALCULATRICE



4 Montrer que les radiateurs, de puissance maximale $P_{d,\max} = 6000$ W, peuvent dissiper la puissance thermique cédée par les panneaux à l'eau sous pression.

Données utiles $P_{\text{él}} = 340$ W ; $P_{th} = 13\,P_{\text{él}}$ bouclier bien orienté ; 35 % de plus pour une erreur d'inclinaison de 1°

Bouclier parfaitement orienté : $P_{th} = 13 \times P_{\text{él}} = 13 \times 340 = 4420$ W.

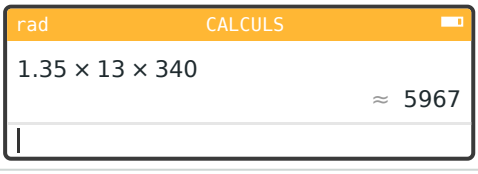
Avec une erreur d'inclinaison de 1° (cas critique), la puissance à évacuer augmente de 35 % :

$$P'_{th} = 1{,}35 \times P_{th} = 1{,}35 \times 13 \times 340 = 5{,}97 \times 10^3 \text{ W}$$

$P'_{th} = 5{,}97 \times 10^3$ W $< P_{d,\max} = 6000$ W : les radiateurs peuvent dissiper cette puissance, avec très peu de marge.

PIÈGE
Une hausse de 35 % se traduit par un facteur 1,35, pas 0,35. Et « 13 fois supérieure » signifie ici $13 \times P_{\text{él}}$.

À LA CALCULATRICE



5 Donner l'expression de l'énergie thermique Q_R reçue par l'eau en fonction de $P_{th,\max}$ et Δt.

Une puissance est une énergie transférée par unité de temps.

$Q_R = P_{th,\max} \times \Delta t$, avec Q_R en joules, $P_{th,\max}$ en watts et Δt en secondes.

6 Déterminer la température $T_{\max}$ atteinte par l'eau et dire si le système de refroidissement risque ou non l'explosion.

Données utiles $P_{th,\max} = 6000$ W ; $\Delta t = 110$ h ; $V_{\text{eau}} = 7570$ L ; $\rho_{\text{eau}} = 0{,}958$ kg · L^{-1} ; $c_{\text{eau}} = 4185$ J · K^{-1} · kg^{-1} ; $T_{\min} = 50$ °C ; $T_{\text{éb}} = 150$ °C sous 5,0 bar

Durée en secondes : $\Delta t = 110 \times 3600 = 3{,}96 \times 10^5$ s.

Énergie reçue par l'eau (Q5) : $Q_R = P_{th,\max} \times \Delta t = 6000 \times 3{,}96 \times 10^5 = 2{,}38 \times 10^9$ J.

Masse d'eau : $m = \rho_{\text{eau}} \times V_{\text{eau}} = 0{,}958 \times 7570 = 7{,}25 \times 10^3$ kg.

L'eau reste liquide et toute l'énergie reçue sert à l'échauffer : $Q_R = m\, c_{\text{eau}}\, (T_{\max} - T_{\min})$, d'où

$$T_{\max} - T_{\min} = \frac{Q_R}{m\, c_{\text{eau}}} = \frac{2{,}376 \times 10^9}{7252 \times 4185} = 78\ ^\circ\text{C}$$

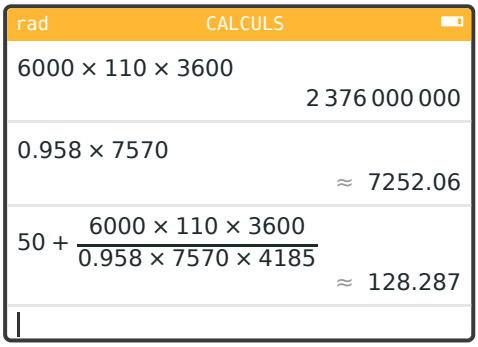
$T_{\max} = 50 + 78 = 128$ °C.

$T_{\max} = 128\ ^\circ\text{C} < T_{\text{éb}} = 150$ °C : l'eau ne bout pas, le circuit ne risque pas l'explosion.

PIÈGE
Laisser Δt en heures : des watts multipliés par des heures ne donnent pas des joules. La masse volumique est en kg · L^{-1} et le volume en litres : aucune conversion de ce côté.

COMPRENDRE
Un écart de température a la même valeur en kelvins et en degrés Celsius : on ajoute directement 78 à 50 °C. Si l'eau bouillait, la vapeur ferait monter brutalement la pression dans le circuit.

À LA CALCULATRICE



7 Caractériser le mode de transfert thermique entre le Soleil et la sonde.

Entre le Soleil et la sonde, l'espace est pratiquement vide : il n'y a pas de milieu matériel, donc ni conduction ni convection.

Le transfert thermique se fait par **rayonnement** (ondes électromagnétiques), seul mode possible dans le vide.

8 Justifier l'utilisation de la mousse de carbone à l'intérieur du bouclier thermique.

Données utiles conductivités thermiques en W · m^{-1} · K^{-1} : mousse de carbone 0,0262 ; PVC 0,17 ; alumine 37 ; métaux 20 à 400

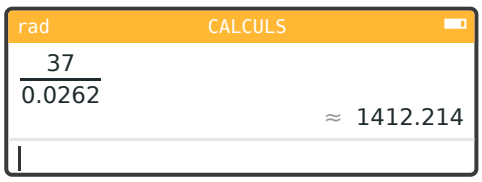
La mousse de carbone a la plus faible conductivité thermique du tableau : $0{,}0262$ W · m^{-1} · K^{-1}, environ 1400 fois moins que l'alumine.

Comme $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda\, S}$, une conductivité faible donne une résistance thermique élevée : pour un même écart de température, le flux thermique qui traverse le bouclier est faible.

La mousse de carbone est un très bon **isolant thermique** : elle limite le transfert par conduction vers l'arrière du bouclier.

COMPRENDRE
La mousse contient 97 % d'air emprisonné (figure 5) : c'est ce qui la rend isolante, et aussi très légère, un atout pour un engin spatial.

À LA CALCULATRICE



9 Déterminer la valeur du flux thermique total Φ vers l'arrière.

Données utiles $\varphi_{ar} = 1{,}55\ \text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$; $S_b = 16{,}6\ \text{m}^2$

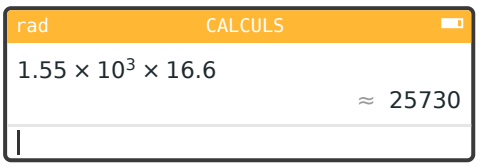
Le flux surfacique est le flux par unité de surface : le flux total à travers la surface S_b est

$$\Phi = \varphi_{ar} \times S_b = 1{,}55 \times 10^3 \times 16{,}6 = 2{,}57 \times 10^4\ \text{W}$$

$$\boxed{\Phi = 2{,}57 \times 10^4\ \text{W} = 25{,}7\ \text{kW}}$$

PIÈGE
Diviser par la surface au lieu de multiplier. Les unités tranchent : des $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ multipliés par des m^2 donnent des watts.

À LA CALCULATRICE



10 Déterminer l'écart de température $|\Delta T|$ entre les deux faces du bouclier thermique, puis la température T_{ar} à l'arrière du bouclier. Commenter.

Données utiles $\Phi = 2{,}573 \times 10^4$ W (Q9) ; $e = 11{,}4$ cm ; $\lambda = 0{,}140\ \text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$; $S_b = 16{,}6\ \text{m}^2$; $T_{av} = 1700$ K

Résistance thermique du bouclier, avec $e = 0{,}114$ m : $R_{th} = \dfrac{e}{\lambda\, S_b} = \dfrac{0{,}114}{0{,}140 \times 16{,}6} = 4{,}91 \times 10^{-2}\ \text{K}\cdot\text{W}^{-1}$.

Écart de température : $\Phi = \dfrac{|\Delta T|}{R_{th}}$, donc

$$|\Delta T| = \Phi \times R_{th} = \frac{\Phi\, e}{\lambda\, S_b} = \frac{2{,}573 \times 10^4 \times 0{,}114}{0{,}140 \times 16{,}6} = 1{,}26 \times 10^3\ \text{K}$$

La face avant est la plus chaude : $T_{ar} = T_{av} - |\Delta T| = 1700 - 1262 = 438$ K, soit $438 - 273 = 165$ °C.

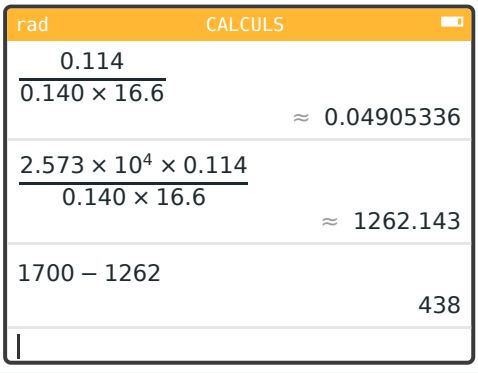
Commentaire : le bouclier fait chuter la température de près de 1300 K sur une épaisseur de 11,4 cm seulement. À l'arrière, 165 °C reste une température modérée comparée aux 1700 K de la face avant : les instruments, placés dans l'ombre du bouclier, sont protégés.

$$\boxed{|\Delta T| = 1{,}26 \times 10^3\ \text{K} \text{ et } T_{ar} = 438\ \text{K} \approx 165\ °\text{C}}$$

PIÈGE
Laisser l'épaisseur en centimètres ou le flux en kilowatts : il faut $e = 0{,}114$ m et Φ en watts. Ne pas confondre non plus l'écart $|\Delta T|$ avec la température arrière.

MÉTHODE
Paroi traversée par un flux : calculer R_{th}, puis $|\Delta T| = \Phi\, R_{th}$, puis retrancher l'écart à la température de la face chaude. La surface se simplifie : $|\Delta T| = \varphi_{ar}\, e/\lambda$.

À LA CALCULATRICE



Traitement anti-acarien

Bac 2021 Asie Sujet 1 · Exercice 2 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

1 Citer la définition d'un acide selon la théorie de Brönsted et donner les noms de deux acides usuels.

Selon Brönsted, un acide est une espèce chimique susceptible de céder un ion hydrogène $\mathrm{H^+}$.

Acide : espèce capable de céder un ion $\mathrm{H^+}$. Exemples : l'acide chlorhydrique et l'acide éthanoïque.

COMPRENDRE
D'autres réponses sont acceptées : acide nitrique, acide sulfurique, acide carbonique. On demande des noms, pas des formules.

2 Donner la formule de l'ion méthanoate, base conjuguée de l'acide méthanoïque.

L'acide méthanoïque HCOOH perd un ion $\mathrm{H^+}$, celui du groupe carboxyle.

Ion méthanoate : $\mathrm{HCOO^-}$

PIÈGE
Oublier la charge négative, ou retirer l'hydrogène lié au carbone.

3 Représenter le diagramme de prédominance de l'acide méthanoïque et de sa base conjuguée. Justifier.

Données utiles $\mathrm{p}K_A = 3{,}8$ à 25 °C

Pour le couple $\mathrm{HCOOH/HCOO^-}$: $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_A + \log \dfrac{[\mathrm{HCOO^-}]}{[\mathrm{HCOOH}]}$.

- Si $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_A$, le logarithme est négatif, donc $[\mathrm{HCOO^-}] < [\mathrm{HCOOH}]$: l'acide prédomine.
- Si $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_A$, le logarithme est positif, donc $[\mathrm{HCOO^-}] > [\mathrm{HCOOH}]$: la base prédomine.
- Si $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_A$, les deux concentrations sont égales.

HCOOH prédomine pour $\mathrm{pH} < 3{,}8$; $\mathrm{HCOO^-}$ prédomine pour $\mathrm{pH} > 3{,}8$.

MÉTHODE
Sur un axe de pH, l'acide est toujours à gauche du $\mathrm{p}K_A$ et la base à droite. La justification passe par le signe du logarithme.



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

4 Parmi les trois spectres infrarouge A, B et C, identifier celui pouvant être attribué à l'acide méthanoïque. Justifier.

Données utiles O–H acide carboxylique : 2600 – 3200 $\mathrm{cm^{-1}}$, large ; O–H alcool : 3200 – 3700 $\mathrm{cm^{-1}}$, large ; C=O : 1650 – 1740 $\mathrm{cm^{-1}}$, forte et fine

L'acide méthanoïque possède une liaison C=O et une liaison O–H d'acide carboxylique : son spectre doit présenter les deux bandes correspondantes.

- Spectre A : une bande très large et intense recouvre le domaine 2600 – 3200 $\mathrm{cm^{-1}}$ (O–H d'acide carboxylique) et une bande fine et intense apparaît au voisinage de 1700 $\mathrm{cm^{-1}}$ (C=O).
- Spectre B : bande C=O présente vers 1700 $\mathrm{cm^{-1}}$, mais pas de bande large due à une liaison O–H.
- Spectre C : bande large vers 3300 $\mathrm{cm^{-1}}$ (O–H d'alcool), mais aucune bande forte et fine entre 1650 et 1740 $\mathrm{cm^{-1}}$: pas de liaison C=O.

Le spectre A est celui de l'acide méthanoïque.

PIÈGE
Confondre les deux bandes O–H : celle de l'acide carboxylique est décalée vers les petits nombres d'onde et chevauche les bandes C–H.

MÉTHODE
Lister d'abord les liaisons de la molécule, puis chercher chaque bande dans la table. Éliminer les autres spectres par la bande absente rapporte les points de justification.

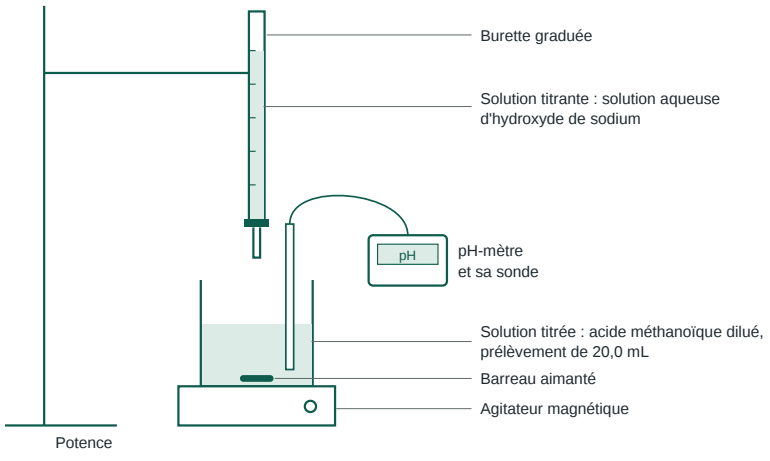
5 Faire un schéma légendé du dispositif expérimental utilisé pour réaliser le titrage.

Données utiles $V_a = 20{,}0$ mL de solution S_a ; solution titrante de concentration $C_b = 2{,}00 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$

Le schéma doit faire apparaître : la burette graduée contenant la solution titrante d'hydroxyde de sodium, le bécher contenant la solution titrée S_a, l'agitateur magnétique avec son barreau aimanté, et le pH-mètre dont la sonde plonge dans la solution.

Schéma légendé du titrage pH-métrique (voir figure).

PIÈGE
Oublier le pH-mètre et sa sonde alors que le suivi est pH-métrique, ou ne pas préciser quelle solution est dans la burette et laquelle est dans le bécher.



5 · Dispositif du titrage suivi par pH-métrie

6 Écrire, en la justifiant, l'équation de la réaction support du titrage.

L'espèce titrée est l'acide HCOOH (couple $\mathrm{HCOOH/HCOO^-}$) ; l'espèce titrante est la base $\mathrm{HO^-}$ (couple $\mathrm{H_2O/HO^-}$). L'acide cède un ion $\mathrm{H^+}$ à la base. Une réaction support de titrage est totale : on écrit une flèche simple.

$$\mathrm{HCOOH\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow HCOO^-\,(aq) + H_2O\,(l)}$$

PIÈGE
Faire figurer l'ion $\mathrm{Na^+}$ dans l'équation : il est spectateur. Écrire une double flèche fait aussi perdre des points, la transformation étant totale.

7 Montrer que la concentration d'acide méthanoïque de la solution diluée déterminée expérimentalement est égale à $C_0 = 15{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Données utiles $V_a = 20{,}0$ mL ; $C_b = 2{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; figure 1

Le volume à l'équivalence est l'abscisse du maximum de la courbe dérivée $\frac{\text{d pH}}{\text{d}V_b}$: on lit $V_{\text{éq}} = 15{,}0$ mL.

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation (Q6) : $n(\text{HCOOH})_{\text{initial}} = n(\text{HO}^-)_{\text{versé}}$, soit $C_0\,V_a = C_b\,V_{\text{éq}}$.

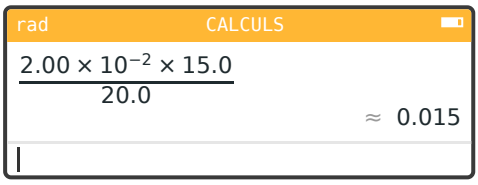
$$C_0 = \frac{C_b\,V_{\text{éq}}}{V_a} = \frac{2{,}00 \times 10^{-2} \times 15{,}0}{20{,}0} = 1{,}50 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$C_0 = 1{,}50 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} = 15{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, valeur attendue.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme C_b, V_a et $V_{\text{éq}}$. Les deux volumes peuvent rester en mL : leur rapport est sans unité.

MÉTHODE
Titrage : 1) repérer $V_{\text{éq}}$ (pic de la dérivée ou méthode des tangentes) ; 2) écrire la relation à l'équivalence avec les nombres stœchiométriques ; 3) isoler la concentration cherchée.

À LA CALCULATRICE



8 Écrire le résultat de la mesure de la concentration expérimentale C de la solution commerciale assortie de son incertitude, sachant que $\frac{u(C)}{C} = \frac{u(C_0)}{C_0}$.

Données utiles C_0 (Q7) ; dilution au millième ; $u(C_b) = 0{,}02 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $u(V_a) = 0{,}2$ mL ; $u(V_{\text{éq}}) = 0{,}5$ mL

La solution commerciale a été diluée 1 000 fois : $C = 1\,000 \times C_0 = 1\,000 \times 15{,}0 \times 10^{-3} = 15{,}0\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Comme $\frac{u(C)}{C} = \frac{u(C_0)}{C_0}$:

$$u(C) = C\sqrt{\left(\frac{u(C_b)}{C_b}\right)^2 + \left(\frac{u(V_a)}{V_a}\right)^2 + \left(\frac{u(V_{\text{éq}})}{V_{\text{éq}}}\right)^2}$$

$$u(C) = 15{,}0 \times \sqrt{\left(\frac{0{,}02}{2{,}00}\right)^2 + \left(\frac{0{,}2}{20{,}0}\right)^2 + \left(\frac{0{,}5}{15{,}0}\right)^2} = 0{,}54\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

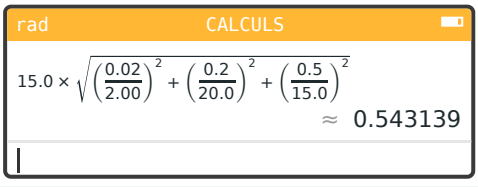
On arrondit l'incertitude par excès à un chiffre significatif : $u(C) = 0{,}6\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

$C = (15{,}0 \pm 0{,}6)\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

PIÈGE
Le texte du sujet écrit « C_a » pour C_b : simple coquille. Chaque rapport se calcule avec des unités identiques en haut et en bas ($10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, mL).

COMPRENDRE
Le résultat s'arrête au même rang décimal que l'incertitude : ici le dixième. Le terme en $V_{\text{éq}}$ domine largement : la lecture de l'équivalence limite la précision.

À LA CALCULATRICE



9 Confronter la concentration C obtenue expérimentalement à la concentration C_{fab} indiquée par le fabricant en calculant le quotient $\dfrac{|C - C_{\text{fab}}|}{u(C)}$. Conclure.

Données utiles 65,0 g d'acide pour 100 mL de solution ; $M = 46{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; C et $u(C)$ (Q8)

Concentration annoncée par le fabricant, avec $m = 65{,}0$ g dans $V = 100\ \text{mL} = 0{,}100$ L :

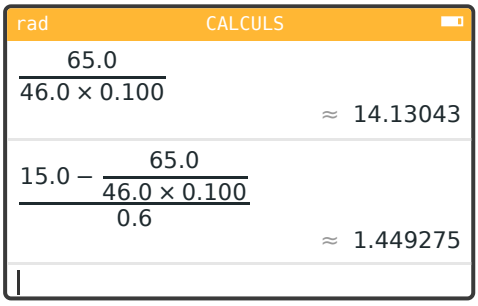
$$C_{\text{fab}} = \frac{n}{V} = \frac{m}{M\,V} = \frac{65{,}0}{46{,}0 \times 0{,}100} = 14{,}13\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \approx 14{,}1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\frac{|C - C_{\text{fab}}|}{u(C)} = \frac{|15{,}0 - 14{,}13|}{0{,}6} \approx 1{,}4$$

Le quotient est inférieur à 2 : l'écart entre les deux valeurs est de l'ordre de l'incertitude-type.

$\dfrac{|C - C_{\text{fab}}|}{u(C)} \approx 1{,}4 < 2$: la mesure est compatible avec l'indication du fabricant.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Laisser 100 mL en millilitres donne une concentration mille fois trop petite. Ne pas conclure sans citer le critère de comparaison.

COMPRENDRE
Ce quotient (écart normalisé) compte l'écart en nombre d'incertitudes-types. En dessous de 2, mesure et référence sont jugées compatibles. Avec C_{fab} arrondi à 14,1, on trouve 1,5 : même conclusion.

Synthèse d'un biocarburant

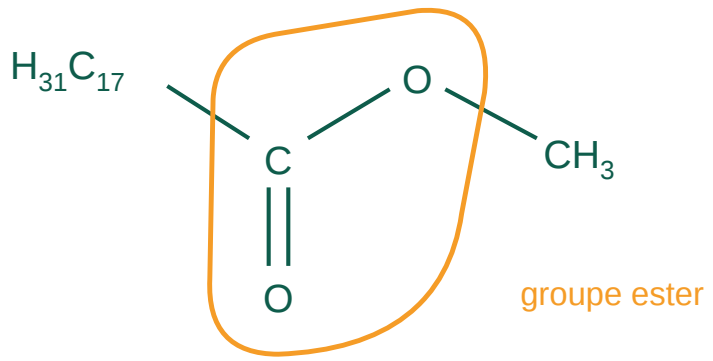
Bac 2021 Asie Sujet 1 · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

1 Recopier la formule semi-développée de l'ester méthylique de colza et entourer le groupe caractéristique présent dans la molécule.

Le groupe caractéristique est formé de l'atome de carbone doublement lié à un atome d'oxygène et simplement lié à un second atome d'oxygène, lui-même lié à une chaîne carbonée (voir la formule ci-dessous).

Groupe caractéristique **ester** $-\mathrm{COO}-$, famille des esters.

PIÈGE
N'entourer que $\mathrm{C{=}O}$ désigne un groupe carbonyle. Le groupe ester comprend le carbone et les deux atomes d'oxygène, sans les chaînes $\mathrm{C_{17}H_{31}}$ et $\mathrm{CH_3}$.



1 · Formule de l'ester méthylique de colza, groupe ester entouré en orange

2 Déterminer la masse molaire moléculaire de l'ester méthylique de colza.

Données utiles $M(\mathrm{C}) = 12{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{H}) = 1{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{O}) = 16{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$

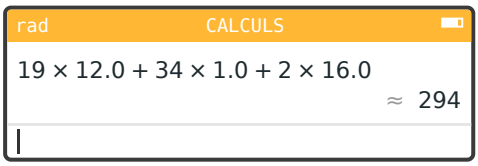
D'après l'équation de la réaction, la formule brute de l'ester est $\mathrm{C_{19}H_{34}O_2}$.

$M(\text{ester}) = 19\,M(\mathrm{C}) + 34\,M(\mathrm{H}) + 2\,M(\mathrm{O}) = 19 \times 12{,}0 + 34 \times 1{,}0 + 2 \times 16{,}0$

$M(\text{ester}) = 294{,}0\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$

MÉTHODE
Vérifier le décompte sur la formule semi-développée : $17 + 1 + 1 = 19$ atomes de carbone, $31 + 3 = 34$ atomes d'hydrogène, 2 atomes d'oxygène.

À LA CALCULATRICE



3 Identifier, dans le protocole, les conditions opératoires destinées à augmenter la vitesse de synthèse de l'ester méthylique de colza.

- Le **chauffage** à 60 °C (étape 2) : la température est un facteur cinétique, la transformation est plus rapide à chaud.
- L'ajout de **soude** (étape 1) : c'est un catalyseur, il accélère la réaction sans figurer dans son équation.

L'agitation, qui renouvelle le contact entre l'huile et le méthanol, y contribue aussi.

Chauffage à 60 °C et emploi d'un catalyseur (la soude).

COMPRENDRE
Le reflux n'accélère rien par lui-même : il condense les vapeurs, ce qui permet de chauffer longtemps sans perdre de matière, en particulier le méthanol, très volatil.

4 Identifier, dans le protocole, les étapes correspondant à la transformation des réactifs et à la séparation du produit, en donnant leurs numéros.

- Transformation des réactifs : **étapes 1 et 2** (mélange des réactifs avec le catalyseur, puis chauffage à reflux).
- Séparation du produit : **étape 3** (décantation des deux phases).

Les étapes 4 et 5 (lavage, séchage, évaporation du méthanol) purifient le produit ; l'étape 6 sert à l'analyser.

Transformation : étapes 1 et 2 ; séparation : étape 3.

MÉTHODE
Une synthèse se découpe toujours en quatre temps : transformation, séparation, purification, analyse. Classer chaque étape du protocole dans l'un d'eux.

5 Déterminer la valeur de la masse volumique du produit obtenu lors de la synthèse.

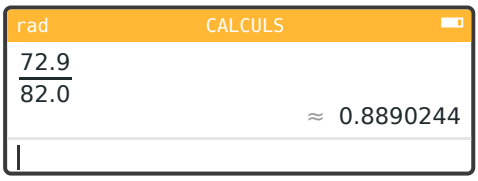
Données utiles $m = 72{,}9\ \text{g}$; $V = 82{,}0\ \text{mL}$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{72{,}9}{82{,}0}$$

$\rho = 0{,}889\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$

COMPRENDRE
m et V sont donnés avec trois chiffres significatifs : le quotient en garde trois. On reste en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, unité de la valeur de référence, pour pouvoir comparer ensuite.

À LA CALCULATRICE



6 Écrire le résultat de la détermination expérimentale de la masse volumique avec son incertitude associée.

Données utiles $u(m) = 0{,}1\ \text{g}$; $u(V) = 0{,}1\ \text{mL}$; $\rho = 0{,}889\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ (Q5)

On isole $u(\rho)$ dans la relation fournie :

$$u(\rho) = \rho \sqrt{\left(\frac{u(m)}{m}\right)^2 + \left(\frac{u(V)}{V}\right)^2} = 0{,}889 \times \sqrt{\left(\frac{0{,}1}{72{,}9}\right)^2 + \left(\frac{0{,}1}{82{,}0}\right)^2}$$

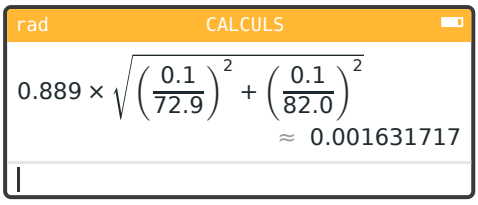
$u(\rho) = 1{,}6 \times 10^{-3}\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, arrondie par excès à un chiffre significatif : $u(\rho) = 0{,}002\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$.

$\rho = (0{,}889 \pm 0{,}002)\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$

PIÈGE
Oublier la racine carrée, ou oublier de multiplier par ρ : la relation donne le carré de l'incertitude relative, pas $u(\rho)$.

MÉTHODE
Une incertitude-type s'écrit avec un seul chiffre significatif, arrondie par excès. La valeur mesurée s'arrête ensuite au même rang décimal, ici le millième.

À LA CALCULATRICE



7 Comparer le résultat expérimental de la masse volumique avec la valeur de référence du produit synthétisé, en utilisant le quotient $\frac{|\rho - \rho_{\text{ref}}|}{u(\rho)}$.

Données utiles $\rho_{\text{ref}} = 0{,}880\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; $\rho = 0{,}889\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ et $u(\rho) = 0{,}002\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ (Q6)

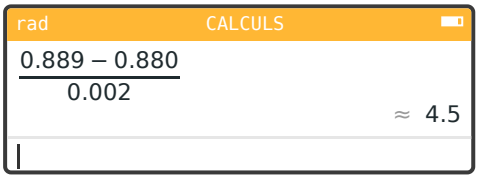
$$\frac{|\rho - \rho_{\text{ref}}|}{u(\rho)} = \frac{|0{,}889 - 0{,}880|}{0{,}002} = 4{,}5$$

L'écart à la valeur de référence vaut plus de quatre incertitudes-types, bien au-delà du seuil usuel de 2.

Quotient égal à $4{,}5 > 2$: la mesure n'est pas compatible avec la valeur de référence ; le produit obtenu n'est sans doute pas de l'ester pur.

COMPRENDRE
Un écart de 1 % paraît faible, mais l'incertitude est encore plus petite. C'est le quotient qui tranche, pas l'écart relatif. Des restes d'eau ou de glycérol, plus denses que l'ester, expliqueraient une valeur trop élevée.

À LA CALCULATRICE



8 Montrer que le méthanol est le réactif introduit en excès, puis déterminer la masse maximale d'ester pouvant être obtenue si la transformation est totale et le produit entièrement récupéré.

Données utiles $m_1 = 100{,}0\ \text{g}$; $m_2 = 25{,}0\ \text{g}$; $M(\text{huile}) = 878\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{méthanol}) = 32{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{ester}) = 294{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ (Q2)

Quantités initiales :

$n_1 = \frac{m_1}{M(\text{huile})} = \frac{100{,}0}{878} = 0{,}114\ \text{mol}$ $\quad$ $n_2 = \frac{m_2}{M(\text{méthanol})} = \frac{25{,}0}{32{,}0} = 0{,}781\ \text{mol}$

L'équation fait réagir 1 mole d'huile avec 3 moles de méthanol. On compare donc $\frac{n_1}{1} = 0{,}114\ \text{mol}$ et $\frac{n_2}{3} = 0{,}260\ \text{mol}$.

$\frac{n_1}{1} < \frac{n_2}{3}$: l'huile de colza est le réactif limitant, le méthanol est en excès.

Une mole d'huile donne 3 moles d'ester : $n_{\text{max}} = 3\,n_1$, donc

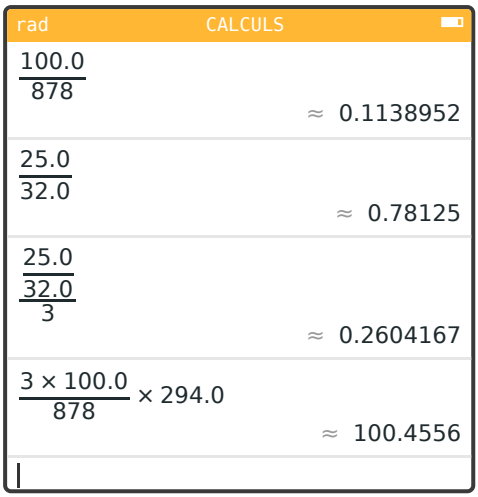
$$m_{\text{max}} = 3\,n_1\,M(\text{ester}) = 3 \times \frac{100{,}0}{878} \times 294{,}0$$

Le méthanol est en excès et $m_{\text{max}} = 100\ \text{g}$ (soit $1{,}00 \times 10^2\ \text{g}$).

PIÈGE
Comparer directement n_1 et n_2 sans diviser par les nombres stœchiométriques. Ici la conclusion serait la même par hasard, mais le raisonnement ne rapporte pas les points.

MÉTHODE
Garder la valeur non arrondie de n_1 dans la calculatrice. Avec $0{,}114$ mol, on trouve $100{,}55$ g, arrondi à tort à 101 g au lieu de 100 g.

À LA CALCULATRICE



9 Définir, puis calculer le rendement de cette synthèse.

Données utiles $m = 72{,}9$ g ; $m_{\text{max}} = 100{,}46$ g avant arrondi (Q8)

Le rendement est le quotient de la quantité de produit réellement obtenue par la quantité maximale que l'on obtiendrait si la transformation était totale et sans perte :

$$\eta = \frac{n_{\text{exp}}}{n_{\text{max}}} = \frac{m}{m_{\text{max}}}$$

car les deux quantités concernent la même espèce, de même masse molaire.

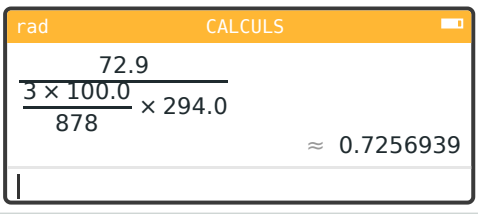
$$\eta = \frac{72{,}9}{100{,}46} = 0{,}726$$

$\eta = 72{,}6\ \%$

COMPRENDRE

Un rendement inférieur à 100 % vient des pertes aux étapes 3 à 5 et d'une transformation peut-être incomplète. Le produit n'étant pas pur (Q7), ce rendement est même un peu surestimé.

À LA CALCULATRICE



L'eau oxygénée d'une solution hydroalcoolique

Bac 2021 Asie Sujet 1 · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

1 À partir des tracés des conditions A, B et C, préciser les facteurs qui influencent la conservation de l'eau oxygénée et les conditions optimales de conservation.

Comparaison de A et B (toutes deux à l'abri de la lumière) : à 5 °C la concentration reste égale à $0{,}94\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ pendant 25 jours, alors qu'à 25 °C elle baisse jusqu'à $0{,}79\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. La **température** accélère la décomposition.

Comparaison de B et C (toutes deux à 25 °C) : exposée à la lumière, la solution descend à $0{,}65\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ en 25 jours, plus bas qu'à l'obscurité. La **lumière** accélère aussi la décomposition.

Facteurs d'influence : la température et la lumière. Conservation optimale : au froid (5 °C) et à l'abri de la lumière (condition A).

COMPRENDRE
Température et éclairement sont des facteurs cinétiques : ils modifient la vitesse de décomposition de H_2O_2, donc la pente des tracés, pas la nature de la transformation.

MÉTHODE
Pour isoler un facteur, comparer deux expériences qui ne diffèrent que par lui : A et B pour la température, B et C pour la lumière. Appuyer chaque conclusion sur des valeurs lues sur le graphique.

2 Vérifier que la concentration en quantité de matière minimale en peroxyde d'hydrogène de l'eau oxygénée utilisable est de $0{,}85\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Données utiles pourcentage massique minimal : 3,0 % ; $\rho = 960\ \text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; $M(H_2O_2) = 34{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Un litre de solution à 3,0 % a une masse $m_{\text{sol}} = \rho \times V = 960$ g.

Il contient une masse de peroxyde d'hydrogène $m = \dfrac{3{,}0}{100} \times 960 = 28{,}8$ g.

La concentration minimale est donc :

$$C_{\text{min}} = \frac{n}{V} = \frac{m}{M \times V} = \frac{3{,}0 \times 960}{100 \times 34{,}0 \times 1{,}00}$$

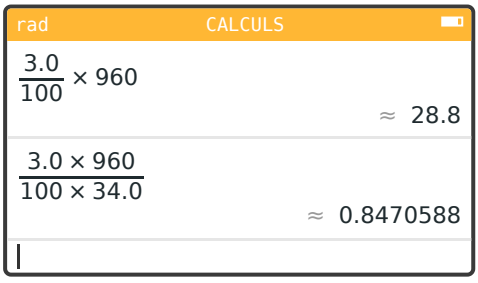
$C_{\text{min}} = 0{,}85\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$: on retrouve la valeur annoncée.

PIÈGE
Diviser 3,0 g par 34,0 puis par 0,100 L : 100 g de solution n'occupent pas 100 mL, car la masse volumique n'est pas celle de l'eau.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme le pourcentage 3,0 %, donnée la moins précise. La calculatrice affiche 0,847 : garder cette valeur en mémoire pour la suite.

MÉTHODE
Raisonner sur 1 L de solution : masse de solution par ρ, masse de soluté par le pourcentage, quantité de matière par M. En formule : $C = \dfrac{w \times \rho}{M}$.

À LA CALCULATRICE



3 Déterminer la concentration en peroxyde d'hydrogène de la solution contenue dans la bouteille de l'armoire à pharmacie.

Données utiles $V_i = 5{,}0$ mL ; $V_f = 100{,}0$ mL ; $V_1 = 10{,}0$ mL ; $C_2 = 2{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_E = 8{,}9$ mL

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation
$2\,MnO_4^- + 5\,H_2O_2 + 6\,H^+ \longrightarrow 2\,Mn^{2+} + 5\,O_2 + 8\,H_2O$:

$$\frac{n(H_2O_2)_{\text{titré}}}{5} = \frac{n(MnO_4^-)_{\text{versé}}}{2} \quad \text{soit} \quad \frac{C_1 \times V_1}{5} = \frac{C_2 \times V_E}{2}$$

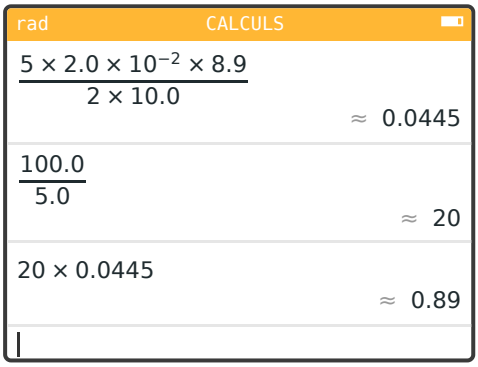
Concentration de la solution diluée S′ :

$$C_1 = \frac{5 \times C_2 \times V_E}{2 \times V_1} = \frac{5 \times 2{,}0 \times 10^{-2} \times 8{,}9}{2 \times 10{,}0} = 4{,}45 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

La solution S a été diluée d'un facteur $F = \dfrac{V_f}{V_i} = \dfrac{100{,}0}{5{,}0} = 20$, donc $C_S = F \times C_1 = 20 \times 4{,}45 \times 10^{-2}$.

$$\boxed{C_S = 0{,}89\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Écrire $C_1V_1 = C_2V_E$ en oubliant les nombres stœchiométriques 5 et 2, ou s'arrêter à C_1 : le titrage porte sur la solution diluée S′, pas sur celle de la bouteille.

COMPRENDRE
Les deux volumes V_E et V_1 apparaissent en rapport : ils peuvent rester en mL. L'équivalence se repère à la persistance de la teinte rose violacée du permanganate.

4 Les conditions de conservation restant inchangées (température ambiante, abri de la lumière), montrer qu'il reste moins de dix jours pour utiliser l'eau oxygénée de l'armoire à pharmacie.

Données utiles $C_S = 0{,}89\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (Q3) ; $C_{\text{min}} = 0{,}85\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (Q2) ; tracé de la condition B du document 2

$C_S = 0{,}89\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1} > C_{\text{min}} = 0{,}85\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$: la solution est encore utilisable aujourd'hui.

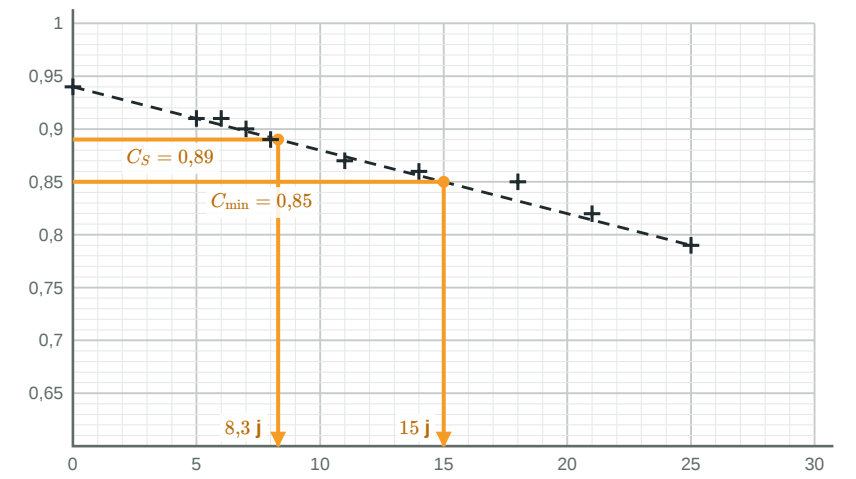
La bouteille est conservée dans la condition B. Le tracé B est une droite : la concentration baisse à rythme constant. Entre les points $(0\ ;\ 0{,}94)$ et $(25\ ;\ 0{,}79)$, son coefficient directeur vaut :

$$a = \frac{0{,}79 - 0{,}94}{25 - 0} = -6{,}0 \times 10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$$

La concentration peut encore baisser de $C_S - C_{\text{min}} = 0{,}89 - 0{,}85 = 0{,}04\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, ce qui prend une durée :

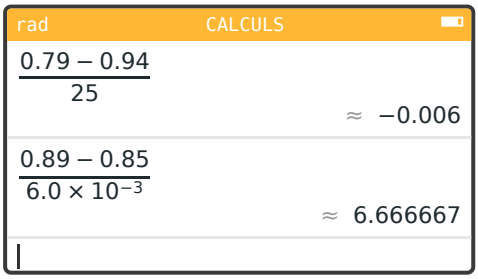
$$\Delta t = \frac{C_S - C_{\text{min}}}{|a|} = \frac{0{,}04}{6{,}0 \times 10^{-3}} \approx 7\ \text{j}$$

$\Delta t \approx 7$ jours < 10 jours : il reste bien moins de dix jours pour utiliser la solution.



4 · Document 2, condition B : durée pour passer de 0,89 à 0,85 mol/L

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Lire directement la date où la droite B atteint 0,85 (15 j) : l'origine du graphique n'est pas aujourd'hui. Seule la durée entre 0,89 et 0,85 compte.

COMPRENDRE
L'écart $0{,}04$ n'a qu'un chiffre significatif : la durée est une estimation, entre 6 et 8 jours selon les arrondis et les points lus, toujours inférieure à dix jours.

MÉTHODE
Lecture graphique équivalente : sur la droite B, repérer les dates où la concentration vaut 0,89 puis 0,85 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, environ 8 j et 15 j, et faire la différence.