Corrigé complet — Bac 2026 Métropole Jour 2

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

Ex 1	**Le kéfir de fruit** Titrage conductimétrique · Simulation Python · Cinétique d'ordre 1 · Temps de demi-réaction · Spectroscopie infrarouge · Extraction et chromatographie	9 pts	1 h 35	17 questions	p. 2
Ex 2	**La yaourtière** Premier principe et capacité thermique · Puissance, énergie et rendement · Modes de transfert thermique · Loi de Newton et flux thermique · Temps caractéristique	5,5 pts	58 min	9 questions	p. 8
Ex 3	**Le satellite TESS** Force gravitationnelle · Deuxième loi de Newton · Repère de Frenet · Mouvement circulaire uniforme · Troisième loi de Kepler · Transit d'une exoplanète	5,5 pts	58 min	8 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.

Le kéfir de fruit

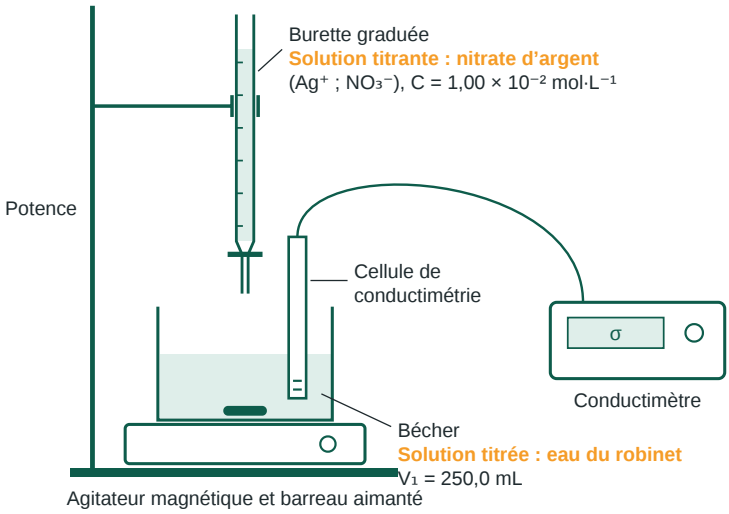
Bac 2026 Métropole Jour 2 · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 35**

Q1 Schématiser le dispositif du titrage et légender le matériel et la verrerie, en identifiant où se situent la solution titrante et la solution titrée.

Schéma légendé ci-dessous. La cellule du conductimètre plonge dans le bécher, placé sous agitation.

Solution titrante (nitrate d'argent) dans la burette graduée ; solution titrée (eau du robinet) dans le bécher.

PIÈGE
Dessiner une sonde de pH ou oublier l'agitation. Un schéma sans le nom des deux solutions ne rapporte pas tous les points.



Q1 · Montage du titrage conductimétrique

Q2 Recopier les lignes de code 4 et 5 et les compléter par une valeur numérique.

Données utiles $V_1 = 250{,}0$ mL ; $C = 1{,}00 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1}

Les commentaires du programme imposent les unités : V_1 en mL et C en mol/L.

Ligne 4 : `V1=250.0`

Ligne 5 : `C=1.00E-2`

`V1=250.0` et `C=1.00E-2`

PIÈGE
Écrire une virgule décimale ou « `10^-2` » : Python attend un point et la notation `E`, comme à la ligne 3.

COMPRENDRE
Juste avant cette question, l'énoncé cite « Na^+ » parmi les espèces suivies : c'est une coquille, il faut lire Ag^+, comme dans la suite du sujet et dans la légende de l'annexe.

Q3 Recopier la ligne de code 7 et la compléter par l'expression du volume à l'équivalence en fonction des données définies dans le programme.

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de $Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \longrightarrow AgCl(s)$:

$n(Ag^+)_{versé} = n(Cl^-)_{initial}$, soit $C \cdot V_E = C_1 \cdot V_1$, donc $V_E = \dfrac{C_1 \cdot V_1}{C}$.

Ligne 7 : `VE=C1*V1/C`

COMPRENDRE
Aucune conversion ici : V_1 est en mL, donc V_E sort en mL. Avec les valeurs du programme, $V_E = 12{,}5$ mL : c'est bien l'abscisse de la rupture de pente sur l'annexe.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{5 \times 10^{-4} \times 250.0}{1.00 \times 10^{-2}} \approx 12.5$$

Q4 Recopier puis compléter la ligne 15 du programme, en utilisant les paramètres C et VE, sur le même modèle que les lignes 11 et 13.

Quantité de chlorure d'argent formé, en mol :

- pour $V = 0$: rien n'a encore été versé, $n = 0$;
- pour $V = V_E$: tous les ions Ag^+ versés ont réagi, $n = C \cdot V_E$;
- pour $V = V_{max}$: les ions chlorure sont épuisés depuis l'équivalence, la quantité reste $n = C \cdot V_E$.

Le volume est en mL : on le multiplie par $0{,}001$ pour l'exprimer en litre.

Ligne 15 : `nproduit=[0,C*VE*0.001,C*VE*0.001]`

PIÈGE
Oublier le facteur `0.001`, ou écrire `C*Vmax*0.001` en troisième position : le précipité ne se forme plus quand les ions chlorure sont épuisés.

Q5 Tracer sur la figure de l'annexe 1 l'évolution de la quantité de matière des ions nitrate en fonction du volume V de solution titrante ajouté.

Données utiles $C = 1{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

Les ions nitrate sont spectateurs : tous ceux qui sont versés restent en solution. Leur quantité est donc proportionnelle au volume versé : $n(NO_3^-) = C \cdot V$.

Le tracé est une droite passant par l'origine. Pour $V = 25$ mL : $n(NO_3^-) = 1{,}00 \times 10^{-2} \times 25 \times 10^{-3} = 2{,}5 \times 10^{-4}$ mol.

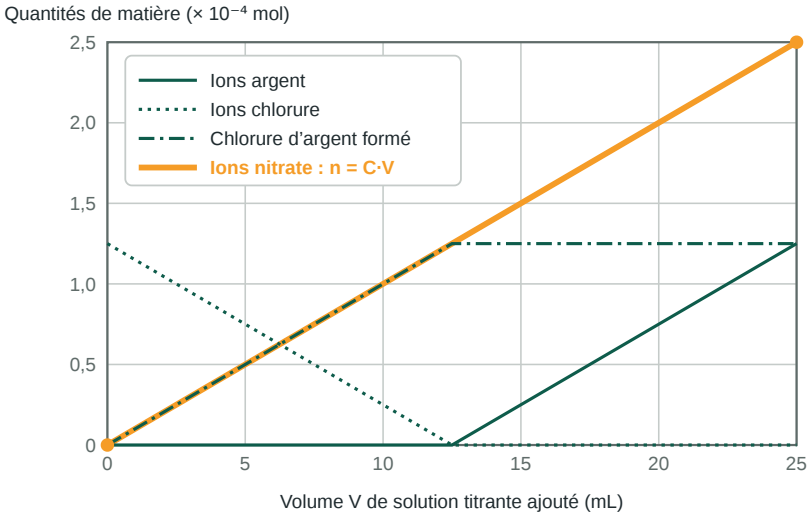
Droite reliant l'origine au point (25 mL ; $2{,}5 \times 10^{-4}$ mol).

COMPRENDRE
Jusqu'à V_E, cette droite se superpose à celle du chlorure d'argent formé (même expression $C \cdot V$). Après l'équivalence, elle garde la même pente alors que l'autre devient horizontale.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$1.00 \times 10^{-2} \times 25 \times 10^{-3} \approx 2.5 \times 10^{-4}$$



Q5 · Annexe 1 complétée : en orange, la quantité de matière des ions nitrate

Q6 À l'aide des courbes de l'annexe 1, interpréter qualitativement l'évolution de la conductivité au cours du titrage.

Données utiles $\lambda(\mathrm{Cl}^-) = 7{,}6$; $\lambda(\mathrm{NO_3}^-) = 7{,}1$; $\lambda(\mathrm{Ag}^+) = 6{,}2\ \mathrm{mS \cdot m^2 \cdot mol^{-1}}$

Le volume versé reste petit devant V_1 : on néglige la dilution. Les autres ions de l'eau du robinet ne réagissent pas, leur contribution est constante.

Avant l'équivalence : $n(\mathrm{Cl}^-)$ diminue, $n(\mathrm{Ag}^+)$ reste nulle (ions consommés dès leur ajout) et $n(\mathrm{NO_3}^-)$ augmente. Chaque ion chlorure consommé est remplacé par un ion nitrate, un peu moins conducteur ($7{,}1 < 7{,}6$) : la conductivité diminue faiblement.

Après l'équivalence : les ions chlorure ont tous été consommés ; les ions Ag^+ et $\mathrm{NO_3}^-$ versés s'accumulent : la conductivité augmente.

σ diminue légèrement jusqu'à V_E, puis augmente nettement : rupture de pente à l'équivalence.

MÉTHODE
Pour chaque domaine, lister les ions dont la quantité varie, puis comparer les λ de l'ion qui disparaît et de celui qui le remplace. Un solide comme AgCl ne conduit pas.

Q7 Déterminer la concentration en masse en ions chlorure de cette eau du robinet et conclure sur son utilisation pour réaliser du kéfir.

Données utiles $V_1 = 250{,}0$ mL ; $C = 1{,}00 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $M(\mathrm{Cl}) = 35{,}5\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; teneur maximale : $2\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$

Sur la figure 2, on trace les deux droites moyennes ; l'abscisse de leur point d'intersection est le volume à l'équivalence : $V_E = 10{,}8$ mL.

À l'équivalence : $C \cdot V_E = C_1 \cdot V_1$, donc $C_1 = \dfrac{C \cdot V_E}{V_1}$.

Concentration en masse : $C_m = C_1 \cdot M(\mathrm{Cl}) = \dfrac{C \cdot V_E}{V_1} \cdot M(\mathrm{Cl})$

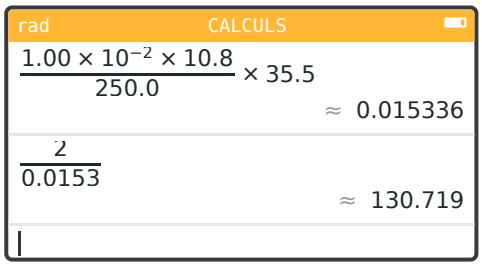
$$C_m = \frac{1{,}00 \times 10^{-2} \times 10{,}8}{250{,}0} \times 35{,}5 = 1{,}53 \times 10^{-2}\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$$

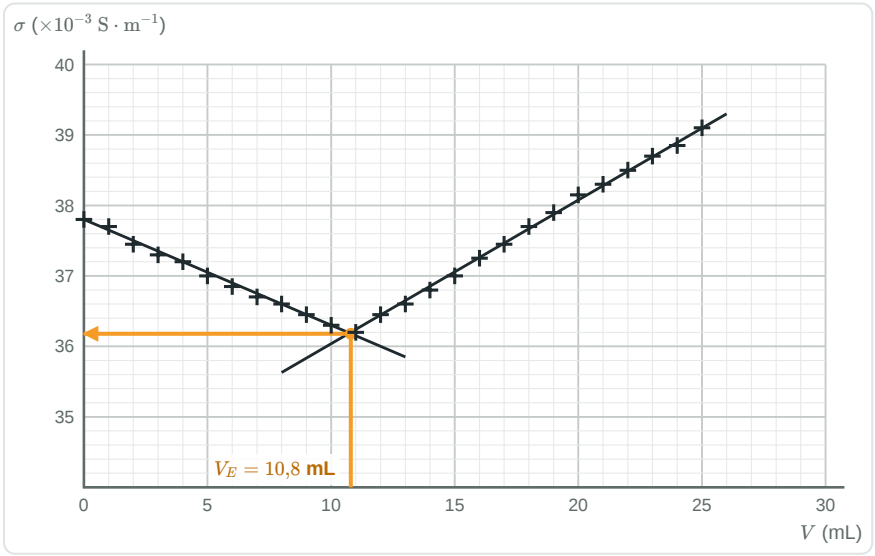
$C_m = 1{,}53 \times 10^{-2}\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$, environ 130 fois moins que $2\ \mathrm{g \cdot L^{-1}}$: cette eau convient pour le kéfir.

PIÈGE
Prendre pour V_E l'abscisse du point le plus bas (11 mL) au lieu de l'intersection des deux droites, ou reprendre les 12,5 mL de la simulation.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme C et V_E. Le rapport V_E/V_1 est sans unité : les deux volumes peuvent rester en mL. Une lecture voisine de 11 mL ne change pas la conclusion.

À LA CALCULATRICE





Q7 · Figure 2 du sujet : les deux droites moyennes se coupent en V_E

Q8 Citer une autre méthode envisageable pour suivre la cinétique de cette réaction de fermentation.

La réaction produit un gaz, le dioxyde de carbone. Dans un bocal fermé relié à un capteur de pression, la pression augmente avec la quantité de gaz formé.

Suivi de la pression dans le bocal fermé, avec un capteur de pression.

COMPRENDRE
Mesurer le volume de gaz dégagé, ou la perte de masse d'un bocal ouvert, sont aussi des réponses recevables. Une seule méthode est demandée.

Q9 Montrer que $n_{\text{glu}}(t) = n_{\text{glu}}(t_0) - \dfrac{C_{\text{éth}}(t) \cdot V_{\text{Boisson}}}{2}$.

Tableau d'avancement, $x(t)$ étant l'avancement à la date t (quantités en mol) :

	$C_6H_{12}O_6$	$2\ CH_3CH_2OH$	$2\ CO_2$
$t_0 = 0$	$n_{\text{glu}}(t_0)$	0	0
t	$n_{\text{glu}}(t_0) - x(t)$	$2\,x(t)$	$2\,x(t)$

À la date t : $n_{\text{éth}}(t) = 2\,x(t)$, donc $x(t) = \dfrac{n_{\text{éth}}(t)}{2} = \dfrac{C_{\text{éth}}(t) \cdot V_{\text{Boisson}}}{2}$.

On reporte dans $n_{\text{glu}}(t) = n_{\text{glu}}(t_0) - x(t)$:

$$n_{\text{glu}}(t) = n_{\text{glu}}(t_0) - \frac{C_{\text{éth}}(t) \cdot V_{\text{Boisson}}}{2}$$

PIÈGE
Inverser le facteur 2 : une mole de glucose consommée donne deux moles d'éthanol, donc le glucose disparu vaut la moitié de l'éthanol formé.

Q10 À partir de la définition de la vitesse de disparition du glucose et en supposant une loi d'ordre 1, montrer que $\dfrac{\mathrm{d}C_{\text{glu}}(t)}{\mathrm{d}t} + k \cdot C_{\text{glu}}(t) = 0$.

Définition de la vitesse volumique de disparition du glucose : $v_{\text{disp}}(t) = -\dfrac{\mathrm{d}C_{\text{glu}}(t)}{\mathrm{d}t}$.

Loi de vitesse d'ordre 1 : la vitesse est proportionnelle à la concentration du réactif, $v_{\text{disp}}(t) = k \cdot C_{\text{glu}}(t)$.

En égalant les deux expressions : $-\dfrac{\mathrm{d}C_{\text{glu}}(t)}{\mathrm{d}t} = k \cdot C_{\text{glu}}(t)$, soit

$$\frac{\mathrm{d}C_{\text{glu}}(t)}{\mathrm{d}t} + k \cdot C_{\text{glu}}(t) = 0$$

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ » de la définition : la concentration d'un réactif diminue, sa dérivée est négative, alors qu'une vitesse est positive.

Q11 Justifier que cette équation différentielle admet pour solution $C_{\text{glu}}(t) = C_{\text{glu}}(0) \cdot \mathrm{e}^{-k \cdot t}$.

On dérive la fonction proposée : $\dfrac{\mathrm{d}C_{\text{glu}}(t)}{\mathrm{d}t} = -k \cdot C_{\text{glu}}(0) \cdot \mathrm{e}^{-k \cdot t} = -k \cdot C_{\text{glu}}(t)$.

On reporte dans l'équation : $-k \cdot C_{\text{glu}}(t) + k \cdot C_{\text{glu}}(t) = 0$. L'équation est vérifiée à toute date.

De plus, à $t = 0$: $C_{\text{glu}}(0) \cdot \mathrm{e}^0 = C_{\text{glu}}(0)$, la condition initiale est respectée.

La fonction $C_{\text{glu}}(t) = C_{\text{glu}}(0) \cdot \mathrm{e}^{-k \cdot t}$ est bien solution.

MÉTHODE
« Justifier qu'une fonction est solution » : dériver, reporter dans l'équation, constater l'égalité, puis vérifier la condition initiale. Il est inutile de résoudre l'équation.

Q12 Justifier que le tracé de la figure 3 confirme que la vitesse de disparition du glucose suit une loi de vitesse d'ordre 1.

Pour une loi d'ordre 1 : $\ln C_{\text{glu}}(t) = \ln\left(C_{\text{glu}}(0) \cdot \mathrm{e}^{-k \cdot t}\right) = \ln C_{\text{glu}}(0) - k \cdot t$.

$\ln C_{\text{glu}}$ doit donc être une fonction affine décroissante du temps, de coefficient directeur $-k$.

Sur la figure 3, les points expérimentaux sont alignés sur une droite de pente négative, bien décrite par la modélisation affine.

Les points de $\ln C_{\text{glu}}$ en fonction de t sont alignés : la loi d'ordre 1 est confirmée.

COMPRENDRE
Par identification avec l'équation de la modélisation : $k = 5{,}34 \times 10^{-6}\ \text{s}^{-1}$ et $\ln C_{\text{glu}}(0) = -2{,}22$. Ces deux valeurs servent aux questions suivantes.

Q13 À partir de l'équation de la modélisation, calculer la masse de glucose initialement introduite pour réaliser cette expérience. Commenter.

Données utiles $\ln C_{\text{glu}} = -5{,}34 \times 10^{-6} \times t - 2{,}22$; $M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $V_{\text{Boisson}} = 1\ \text{L}$

À $t = 0$, la modélisation donne $\ln C_{\text{glu}}(0) = -2{,}22$, donc $C_{\text{glu}}(0) = \mathrm{e}^{-2{,}22} = 0{,}109\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Masse initiale : $m_{\text{glu}}(0) = n_{\text{glu}}(0) \cdot M = C_{\text{glu}}(0) \cdot V_{\text{Boisson}} \cdot M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$

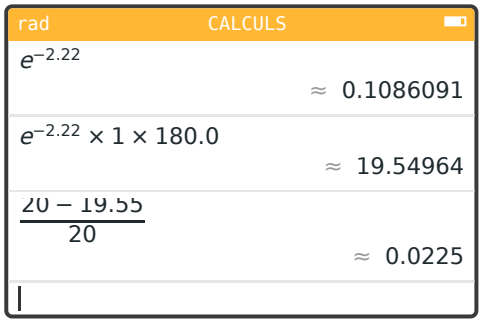
$$m_{\text{glu}}(0) = \mathrm{e}^{-2{,}22} \times 1 \times 180{,}0 = 19{,}5\ \text{g}$$

Commentaire : cette valeur est très proche des 20 g de glucose annoncés (écart d'environ 2 %). La modélisation est cohérente avec la préparation.

$m_{\text{glu}}(0) = 19{,}5\ \text{g} \approx 20\ \text{g}$: accord avec la masse introduite.

PIÈGE
Lire $-2{,}22$ comme une concentration. C'est un logarithme : il faut prendre l'exponentielle, avec la touche e^x et non 10^x.

À LA CALCULATRICE



Q14 Déterminer la valeur du temps de demi-réaction à l'aide des résultats expérimentaux. Conclure quant à la recette, sachant que la boisson doit encore contenir du sucre pour être agréable au goût.

Données utiles $k = 5{,}34 \times 10^{-6}\ \text{s}^{-1}$ (Q12) ; recette : fermentation d'au moins 24 h

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{\ln 2}{5{,}34 \times 10^{-6}} = 1{,}30 \times 10^{5}\ \text{s}$$

soit $\dfrac{1{,}30 \times 10^{5}}{3600} = 36{,}1\ \text{h}$.

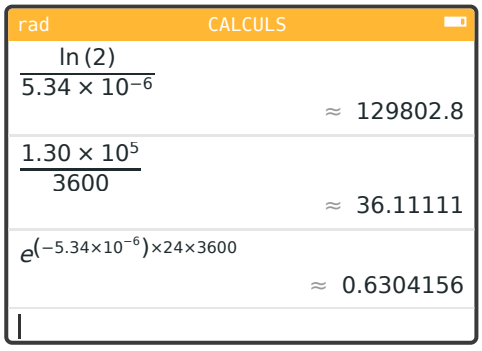
Au bout de 24 h, durée minimale de la recette, moins d'un temps de demi-réaction s'est écoulé : plus de la moitié du glucose est encore présente ($\mathrm{e}^{-k \cdot t} = 0{,}63$, soit 63 %). La boisson reste sucrée.

En revanche, il ne reste que la moitié du sucre après 36 h et le quart après 72 h : la fermentation ne doit pas être prolongée plusieurs jours.

$t_{1/2} = 1{,}30 \times 10^{5}\ \text{s} \approx 36\ \text{h}$: la recette (24 h) laisse du sucre, à condition de ne pas trop dépasser cette durée.

COMPRENDRE
Pour un ordre 1, $t_{1/2}$ ne dépend pas de la concentration initiale : la quantité de glucose est divisée par deux toutes les 36 h.

À LA CALCULATRICE



Q15 Attribuer chacun des deux spectres présentés au citral et à l'acide citrique. Justifier.

L'acide citrique possède des liaisons $\mathrm{O-H}$ (un groupe hydroxyle et trois groupes carboxyle) ; le citral n'en possède aucune. Les deux molécules ont des liaisons $\mathrm{C=O}$.

Le spectre B présente une bande forte et large entre 3200 et $3700\ \mathrm{cm^{-1}}$, caractéristique de la liaison $\mathrm{O-H}$. Le spectre A n'en présente pas : on y voit surtout les bandes $\mathrm{C-H}$ (vers $2900\ \mathrm{cm^{-1}}$) et $\mathrm{C=O}$ (vers $1700\ \mathrm{cm^{-1}}$).

Spectre A : citral ; spectre B : acide citrique.

PIÈGE
Justifier par la bande $\mathrm{C=O}$: elle est présente sur les deux spectres et ne départage rien. Seule la bande $\mathrm{O-H}$ distingue les deux molécules.

Q16 Choisir, en justifiant, parmi l'eau, l'acétate d'éthyle et le cyclohexane, le solvant le plus approprié pour extraire simultanément le citral, l'acide citrique et le limonène présents dans le kéfir.

Le solvant extracteur doit dissoudre les trois espèces et ne pas être miscible avec l'eau du kéfir, afin d'obtenir deux phases séparables.

- Eau : c'est déjà le solvant de la boisson, et le citral comme le limonène y sont peu solubles. Elle est écartée.
- Cyclohexane : non miscible avec l'eau, mais la solubilité de l'acide citrique y est nulle. Il est écarté.
- Acétate d'éthyle : les trois espèces y sont solubles (convenable ou grande) et il est faiblement miscible avec l'eau.

Le solvant le plus approprié est l'acétate d'éthyle.

MÉTHODE
Choix d'un solvant d'extraction : deux critères à citer chaque fois, la solubilité des espèces à extraire (plus grande que dans l'eau) et la non-miscibilité avec la phase de départ.

Q17 En analysant le chromatogramme, déterminer l'espèce issue du citron que l'on retrouve dans la boisson et qui pourrait être responsable du goût acidulé du kéfir.

Dans les mêmes conditions, une espèce chimique migre toujours à la même hauteur.

Le dépôt K (extrait de kéfir) ne donne qu'une seule tache, située à la même hauteur que celle du dépôt A (acide citrique). Aucune tache de K ne se trouve à la hauteur de celles du citral (C) ou du limonène (L).

L'extrait contient de l'acide citrique, ni citral ni limonène détectés : c'est l'acide citrique qui peut donner le goût acidulé.

COMPRENDRE
Ce résultat est cohérent avec les solubilités : l'acide citrique, très soluble dans l'eau, passe du citron à la boisson ; le citral et le limonène, peu solubles dans l'eau, y passent très peu.

La yaourtière

Bac 2026 Métropole Jour 2 · Exercice 2 **5,5 points** **Durée conseillée 58 min**

Q1 Montrer que l'énergie thermique $Q_{\text{chauffage}}$ à transférer au système {S} lors de l'étape A est voisine de $9{,}2 \times 10^4$ J.

Données utiles $C = 4{,}0 \times 10^3$ J · K^{-1} ; $\theta_{\text{fab}} = 43$ °C ; $\theta_{\text{amb}} = 20$ °C

Le système {S} ne reçoit aucun travail : le premier principe s'écrit $\Delta U = Q_{\text{chauffage}}$.

Pour un système de capacité thermique C passant de θ_{amb} à θ_{fab} : $\Delta U = C\,(\theta_{\text{fab}} - \theta_{\text{amb}})$.

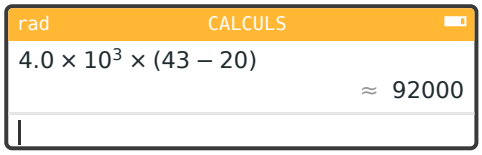
$$Q_{\text{chauffage}} = C\,(\theta_{\text{fab}} - \theta_{\text{amb}}) = 4{,}0 \times 10^3 \times (43 - 20)$$

$Q_{\text{chauffage}} = 9{,}2 \times 10^4$ J, valeur attendue.

COMPRENDRE

Un écart de température a la même valeur en °C et en K : $43 - 20 = 23$ K, aucune conversion à faire. Deux chiffres significatifs, comme C et les températures.

À LA CALCULATRICE



Q2 Calculer la durée Δt_A de l'étape A, sachant que 85 % de l'énergie électrique consommée est transférée thermiquement au système {S}. En déduire que Δt_B est de l'ordre de 7 h 50 min.

Données utiles $P_A = 150$ W ; $Q_{\text{chauffage}} = 9{,}2 \times 10^4$ J (Q1) ; durée totale du chauffage : 8 h

Énergie électrique consommée pendant l'étape A : $E_A = P_A\,\Delta t_A$.

Seuls 85 % sont transférés au système : $Q_{\text{chauffage}} = 0{,}85\,P_A\,\Delta t_A$, d'où

$$\Delta t_A = \frac{Q_{\text{chauffage}}}{0{,}85\,P_A} = \frac{9{,}2 \times 10^4}{0{,}85 \times 150} = 7{,}2 \times 10^2 \text{ s} \approx 12 \text{ min}$$

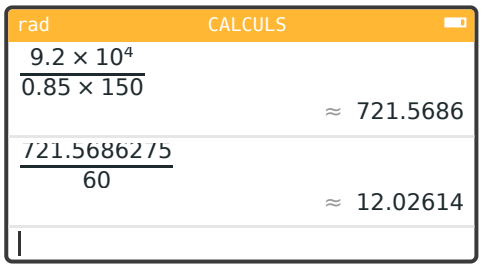
Les deux étapes durent 8 h au total : $\Delta t_B = 8 \text{ h} - \Delta t_A = 8 \text{ h} - 12 \text{ min}$.

$\Delta t_A = 7{,}2 \times 10^2$ s ≈ 12 min et $\Delta t_B = 7$ h 48 min, bien de l'ordre de 7 h 50 min.

PIÈGE

Multiplier $Q_{\text{chauffage}}$ par 0,85 au lieu de diviser. L'énergie électrique consommée est plus grande que l'énergie utile : la durée réelle est plus longue que $Q_{\text{chauffage}}/P_A = 613$ s.

À LA CALCULATRICE



Q3 Estimer le prix de fabrication d'un yaourt fait maison. Discuter si l'argument lié au coût des yaourts maison est vérifié.

Données utiles 1 kWh = 3 600 kJ ; $P_A = 150$ W ; $P_B = 20$ W ; $\Delta t_A = 720$ s et $\Delta t_B = 7\text{ h }48\text{ min} = 28\,080$ s (Q2) ; kWh : 0,20 € ; litre de lait : 1,05 € ; ferments : 0,64 € ; yaourt du commerce : 0,35 €

Lait : $0{,}700 \times 1{,}05 = 0{,}735$ €. Ferments : 0,64 €.

Énergie électrique consommée pendant les 8 h :

$$E = P_A\,\Delta t_A + P_B\,\Delta t_B = 150 \times 720 + 20 \times 28\,080 = 6{,}70 \times 10^5 \text{ J}$$

soit $E = \dfrac{6{,}70 \times 10^5}{3{,}6 \times 10^6} = 0{,}186$ kWh, qui coûte $0{,}186 \times 0{,}20 = 0{,}037$ €.

Coût des 7 yaourts : $0{,}735 + 0{,}64 + 0{,}037 = 1{,}41$ €, soit $\dfrac{1{,}41}{7} = 0{,}20$ € par yaourt.

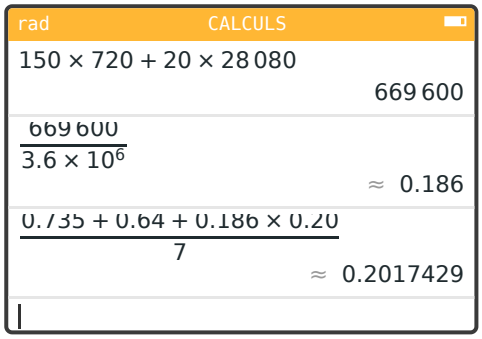
Ce prix est inférieur à 0,35 € : l'économie est d'environ 0,15 € par pot, soit un peu plus de 40 %. L'argument est vérifié, tant que l'on ne compte pas l'achat de la yaourtière.

Un yaourt maison revient à environ 0,20 €, contre 0,35 € dans le commerce : l'argument du coût est vérifié.

COMPRENDRE
L'électricité pèse très peu : environ 4 centimes pour les 7 pots. Le prix est fixé par le lait et les ferments.

MÉTHODE
Pour une question ouverte, annoncer les postes de dépense (lait, ferments, électricité), calculer chacun, puis ramener à un pot. Conclure par une comparaison chiffrée avec la valeur de référence.

À LA CALCULATRICE



Q4 Nommer les trois modes de transfert thermique permettant le refroidissement du système {P}.

Les trois modes de transfert thermique sont la **conduction**, la **convection** et le **rayonnement**.

COMPRENDRE
Conduction : de proche en proche, sans déplacement de matière (pot posé sur la clayette). Convection : l'air du réfrigérateur se déplace autour du pot. Rayonnement : le pot émet des ondes électromagnétiques, surtout infrarouges.

Q5 Calculer le flux thermique initial Φ_0 cédé par le système {P} à $t = 0$ et indiquer, en justifiant, comment varie le flux au cours du temps.

Données utiles $h = 10\text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$; $S = 0{,}019\text{ m}^2$; $\theta_0 = 30\text{ °C}$; $\theta_{\text{réfri}} = 4{,}0\text{ °C}$

À $t = 0$, la température du système est θ_0. La loi de Newton donne :

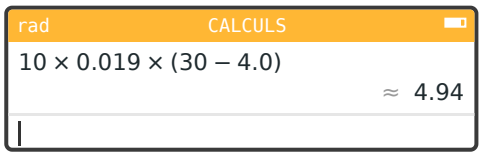
$$\Phi_0 = h\,S\,(\theta_0 - \theta_{\text{réfri}}) = 10 \times 0{,}019 \times (30 - 4{,}0) = 4{,}9\text{ W}$$

Le système cède de l'énergie, donc sa température θ diminue et se rapproche de $\theta_{\text{réfri}}$. L'écart $\theta - \theta_{\text{réfri}}$ diminue, et le flux lui est proportionnel.

$\Phi_0 = 4{,}9$ W ; le flux thermique diminue au cours du temps et tend vers zéro.

PIÈGE
Répondre « le flux diminue » sans justification ne rapporte pas tous les points : il faut relier la baisse de θ à l'écart $\theta - \theta_{\text{réfri}}$ de la loi de Newton.

À LA CALCULATRICE



Q6 Indiquer la température du système {P} après un temps très long. Montrer que l'énergie thermique perdue par le système pendant le refroidissement est voisine de 12 kJ.

Données utiles $m = 0{,}19$ kg ; $c_Y = 2{,}5 \times 10^3$ J · kg^{-1} · K^{-1} ; $\theta_0 = 30$ °C ; $\theta_{\text{réfri}} = 4{,}0$ °C

Après un temps très long, l'équilibre thermique est atteint : le système est à la température de l'air du réfrigérateur, $\theta_f = \theta_{\text{réfri}} = 4{,}0$ °C.

Le système {P} n'échange aucun travail : $\Delta U = Q$, avec $\Delta U = m\,c_Y\,(\theta_f - \theta_0)$.

$$Q = m\,c_Y\,(\theta_{\text{réfri}} - \theta_0) = 0{,}19 \times 2{,}5 \times 10^3 \times (4{,}0 - 30) = -1{,}2 \times 10^4 \text{ J}$$

$Q < 0$: l'énergie est bien cédée par le système.

Température finale : $4{,}0$ °C ; énergie perdue : $|Q| = 1{,}2 \times 10^4$ J $= 12$ kJ, valeur attendue.

PIÈGE
Écrire $\theta_0 - \theta_{\text{réfri}}$ dans ΔU donne un résultat positif. La variation est toujours « final moins initial » ; le signe négatif se commente, puis on donne l'énergie perdue en valeur absolue.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$0.19 \times 2.5 \times 10^3 \times (4.0 - 30)$
≈ -12350

Q7 Calculer la durée Δt_0 nécessaire pour effectuer un transfert thermique de 12 kJ à la puissance Φ_0.

Données utiles $|Q| = 12$ kJ (Q6) ; $\Phi_0 = 4{,}94$ W (Q5)

Un flux thermique est une puissance : à flux constant Φ_0, $|Q| = \Phi_0\,\Delta t_0$.

$$\Delta t_0 = \frac{|Q|}{\Phi_0} = \frac{12 \times 10^3}{4{,}94} = 2{,}4 \times 10^3 \text{ s}$$

$\Delta t_0 = 2{,}4 \times 10^3$ s ≈ 40 min

PIÈGE
Laisser l'énergie en kJ : avec des watts, il faut des joules pour obtenir des secondes.

COMPRENDRE
Avec la valeur non arrondie $|Q| = 12{,}35$ kJ, on obtient exactement $2{,}5 \times 10^3$ s. Les deux réponses sont acceptables ; l'écart ne vient que de l'arrondi à 12 kJ.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$\frac{12 \times 10^3}{4.94}$
≈ 2429.15
$\frac{2429.149798}{60}$
≈ 40.48583

Q8 Tracer l'allure de l'évolution de la température θ en fonction du temps en indiquant les températures initiale et finale ; faire apparaître une méthode graphique de détermination de τ.

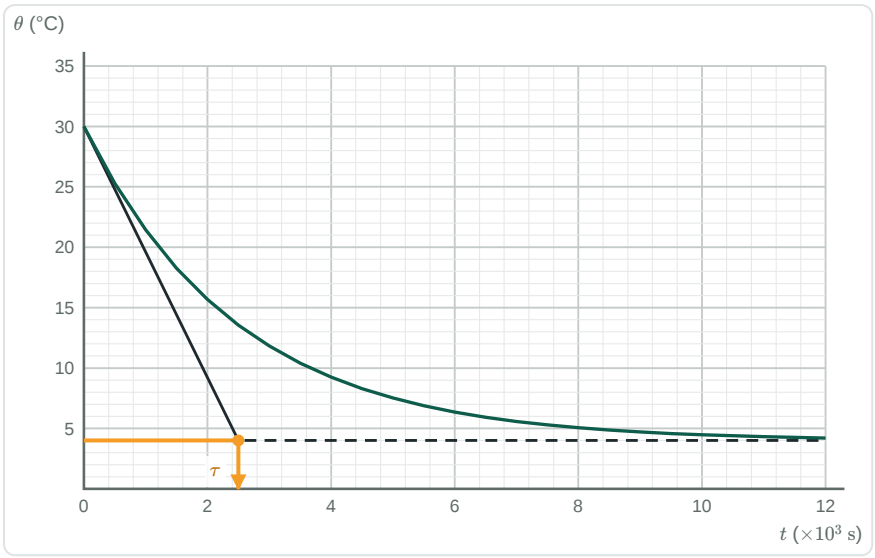
La courbe est une exponentielle décroissante : elle part de $\theta_0 = 30$ °C à $t = 0$ et tend vers l'asymptote horizontale $\theta = \theta_{\text{réfri}} = 4{,}0$ °C.

Méthode graphique : on trace la tangente à la courbe à $t = 0$; elle coupe l'asymptote à la date $t = \tau$.

Exponentielle décroissante de 30 °C vers $4{,}0$ °C ; τ est l'abscisse du point où la tangente à l'origine coupe l'asymptote.

PIÈGE
Une allure sans les valeurs 30 °C et $4{,}0$ °C sur l'axe, ou une courbe qui touche ou traverse l'asymptote, fait perdre des points.

MÉTHODE
Autre méthode acceptée : à $t = \tau$, l'écart à l'asymptote ne vaut plus que 37 % de l'écart initial. On lit donc l'abscisse du point d'ordonnée $4{,}0 + 0{,}37 \times 26 \approx 13{,}6$ °C.



Q8 · Allure de $\theta(t)$: tangente à l'origine et asymptote ; la graduation en temps utilise la valeur de τ calculée en Q9

Q9 Comparer la valeur de τ à celle de Δt_0 obtenue en Q7. Commenter.

Données utiles $m = 0{,}19$ kg ; $c_Y = 2{,}5 \times 10^3$ J · kg^{-1} · K^{-1} ; $h = 10$ W · m^{-2} · K^{-1} ; $S = 0{,}019$ m^2 ; $\Delta t_0 = 2{,}4 \times 10^3$ s (Q7)

$$\tau = \frac{m\,c_Y}{h\,S} = \frac{0{,}19 \times 2{,}5 \times 10^3}{10 \times 0{,}019} = 2{,}5 \times 10^3 \text{ s}$$

Les deux durées sont égales, à l'arrondi de 12 kJ près. C'est attendu, car littéralement :

$$\Delta t_0 = \frac{m\,c_Y\,(\theta_0 - \theta_{\text{réfri}})}{h\,S\,(\theta_0 - \theta_{\text{réfri}})} = \frac{m\,c_Y}{h\,S} = \tau$$

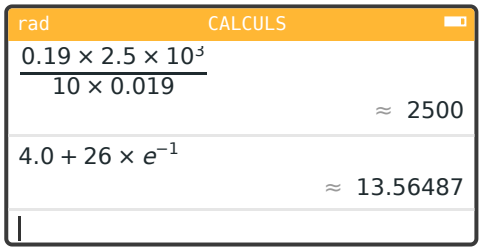
τ est donc la durée que prendrait le refroidissement si le flux gardait sa valeur initiale Φ_0 : c'est ce que traduit la tangente à l'origine. En réalité le flux diminue, le refroidissement est plus lent : à $t = \tau$ le système est encore à environ $14\ ^\circ$C, et il faut à peu près $5\,\tau \approx 1{,}3 \times 10^4$ s, soit environ 3 h 30, pour atteindre pratiquement $4{,}0\ ^\circ$C.

> $\tau = 2{,}5 \times 10^3$ s $\approx \Delta t_0$: le temps caractéristique est la durée du refroidissement à flux constant Φ_0 ; le refroidissement réel dure environ $5\,\tau$.

COMPRENDRE

Les 2 heures de réfrigérateur de la recette représentent près de $3\,\tau$: l'écart à $4{,}0\ ^\circ$C est alors réduit à environ 5 % de sa valeur initiale, le yaourt est vers $5{,}5\ ^\circ$C.

À LA CALCULATRICE



Le satellite TESS

Bac 2026 Métropole Jour 2 · Exercice 3 **5,5 points** **Durée conseillée 58 min**

Q1 Exprimer la force d'attraction gravitationnelle $\vec{F}$ exercée par l'étoile E sur l'exoplanète 2, en fonction de M_2, M_E, G, R_2 et $\vec{u}_N$.

La force est attractive, dirigée de P vers E, donc de même sens que $\vec{u}_N$:

$$\vec{F} = \frac{G\,M_E\,M_2}{R_2^2}\,\vec{u}_N$$

PIÈGE
Mettre un signe « $-$ » par habitude. Sur la figure 1, $\vec{u}_N$ pointe vers le centre E de l'orbite, comme la force : le signe est positif.

Q2 En utilisant la deuxième loi de Newton, établir l'expression de la vitesse v_2 de l'exoplanète 2 en fonction de G, M_E et R_2.

Système {exoplanète 2}, de masse M_2 constante ; référentiel centré sur E, supposé galiléen ; seule force : $\vec{F}$ (l'action de l'exoplanète 1 est négligée).

Deuxième loi de Newton : $\vec{F} = M_2\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \dfrac{G\,M_E}{R_2^2}\,\vec{u}_N$.

Dans le repère de Frenet, pour un mouvement circulaire de rayon R_2 : $\vec{a} = \dfrac{v_2^2}{R_2}\,\vec{u}_N + \dfrac{\mathrm{d}v_2}{\mathrm{d}t}\,\vec{u}_T$.

Par identification selon $\vec{u}_N$: $\dfrac{v_2^2}{R_2} = \dfrac{G\,M_E}{R_2^2}$, soit $v_2^2 = \dfrac{G\,M_E}{R_2}$.

$$v_2 = \sqrt{\frac{G\,M_E}{R_2}}$$

COMPRENDRE
La masse M_2 se simplifie : la vitesse sur l'orbite ne dépend que de l'étoile et du rayon de l'orbite, pas de la planète.

MÉTHODE
Orbite circulaire : 1) système, référentiel, force ; 2) deuxième loi de Newton ; 3) accélération dans le repère de Frenet ; 4) identification selon $\vec{u}_N$ pour la vitesse.

Q3 Établir que la masse de l'étoile est donnée par la relation $M_E = \dfrac{4\pi^2\,R_2^3}{G\,T_2^2}$.

Le mouvement est uniforme : en une période T_2, l'exoplanète parcourt le périmètre $2\pi R_2$ de son orbite, donc $v_2 = \dfrac{2\pi R_2}{T_2}$.

Avec le résultat de Q2 : $\dfrac{2\pi R_2}{T_2} = \sqrt{\dfrac{G\,M_E}{R_2}}$.

On élève au carré : $\dfrac{4\pi^2 R_2^2}{T_2^2} = \dfrac{G\,M_E}{R_2}$, puis on isole M_E.

$M_E = \dfrac{4\pi^2\,R_2^3}{G\,T_2^2}$: c'est la relation attendue.

PIÈGE
Pour un « établir que », partir de la formule donnée et la retourner ne rapporte rien : il faut partir de $v_2 = 2\pi R_2/T_2$ et arriver à la relation.

Q4 Vérifier que la valeur de M_E déduite de cette relation est voisine de celle du tableau de données.

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ m$^3 \cdot$ kg$^{-1} \cdot$ s^{-2} ; $R_2 = 1{,}08 \times 10^7$ km ; $T_2 = 11{,}4$ jours ; tableau : $M_E = 7{,}68 \times 10^{29}$ kg

Conversions : $R_2 = 1{,}08 \times 10^{10}$ m et $T_2 = 11{,}4 \times 24 \times 3600 = 9{,}85 \times 10^5$ s.

$$M_E = \frac{4\pi^2 \times (1{,}08 \times 10^{10})^3}{6{,}67 \times 10^{-11} \times (11{,}4 \times 24 \times 3600)^2} = 7{,}69 \times 10^{29}\ \text{kg}$$

$M_E = 7{,}69 \times 10^{29}$ kg, très proche de $7{,}68 \times 10^{29}$ kg (écart d'environ 0,1 %).

PIÈGE
Laisser R_2 en km ou T_2 en jours. L'unité de G impose des mètres et des secondes ; avec des km, le résultat est 10^9 fois trop petit.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme G, R_2 et T_2. Garder la valeur complète de T_2 dans la calculatrice plutôt que la valeur arrondie.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$11.4 \times 24 \times 3600$
≈ 984960

$\frac{4 \times \pi^2 \times (1.08 \times 10^{10})^3}{6.67 \times 10^{-11} \times (11.4 \times 24 \times 3600)^2}$
$\approx 7.685427 \times 10^{29}$

$\frac{7.69 \times 10^{29} - 7.68 \times 10^{29}}{7.68 \times 10^{29}}$
≈ 0.001302083

Q5 En utilisant la troisième loi de Kepler et les données R_1, R_2 et T_2, déterminer la valeur de la période T_1 en jours terrestres.

Données utiles $R_1 = 6{,}77 \times 10^6$ km ; $R_2 = 1{,}08 \times 10^7$ km ; $T_2 = 11{,}4$ jours

Les deux exoplanètes tournent autour de la même étoile. D'après la troisième loi de Kepler, le rapport $\frac{T^2}{R^3}$ est le même pour les deux :

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} \quad \text{donc} \quad T_1 = T_2 \sqrt{\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3}$$

$$T_1 = 11{,}4 \times \sqrt{\left(\frac{6{,}77 \times 10^6}{1{,}08 \times 10^7}\right)^3} = 5{,}66 \text{ jours}$$

$T_1 = 5{,}66$ jours terrestres

COMPRENDRE
Contrôle rapide : l'exoplanète 1 est plus proche de l'étoile, sa période doit être plus courte que 11,4 jours.

MÉTHODE
La formule ne contient que des rapports : aucune conversion n'est nécessaire si R_1 et R_2 ont la même unité, et T_1 sort dans l'unité de T_2.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$11.4 \times \sqrt{\left(\frac{6.77 \times 10^6}{1.08 \times 10^7}\right)^3}$
≈ 5.65786

Q6 Indiquer qualitativement l'influence de la taille de l'exoplanète sur la diminution ΔP_{lum} de la puissance lumineuse relative au cours d'un transit.

Dans la relation $\Delta P_{\text{lum}} = \left(\frac{r_1}{r_E}\right)^2$, le rayon r_E de l'étoile est fixé et r_1 est au numérateur.

Plus l'exoplanète est grande, plus la diminution ΔP_{lum} est importante : la planète masque une plus grande partie du disque de l'étoile.

COMPRENDRE
La baisse suit le carré du rayon : une planète deux fois plus grande cache une surface quatre fois plus grande, donc ΔP_{lum} est multipliée par quatre.

Q7 Vérifier que le rayon r_1 de l'exoplanète 1 vaut environ $1{,}7 \times 10^4$ km.

Données utiles $r_E = 2{,}63 \times 10^5$ km ; figure 3

Lecture de la figure 3 : hors transit $P_{\text{lum}} = 1{,}000$; au creux du transit $P_{\text{lum}} \approx 0{,}996$. Donc $\Delta P_{\text{lum}} = 1{,}000 - 0{,}996 = 0{,}004$.

De $\Delta P_{\text{lum}} = \left(\frac{r_1}{r_E}\right)^2$ on tire $r_1 = r_E \sqrt{\Delta P_{\text{lum}}}$.

$$r_1 = 2{,}63 \times 10^5 \times \sqrt{0{,}004} = 1{,}7 \times 10^4 \text{ km}$$

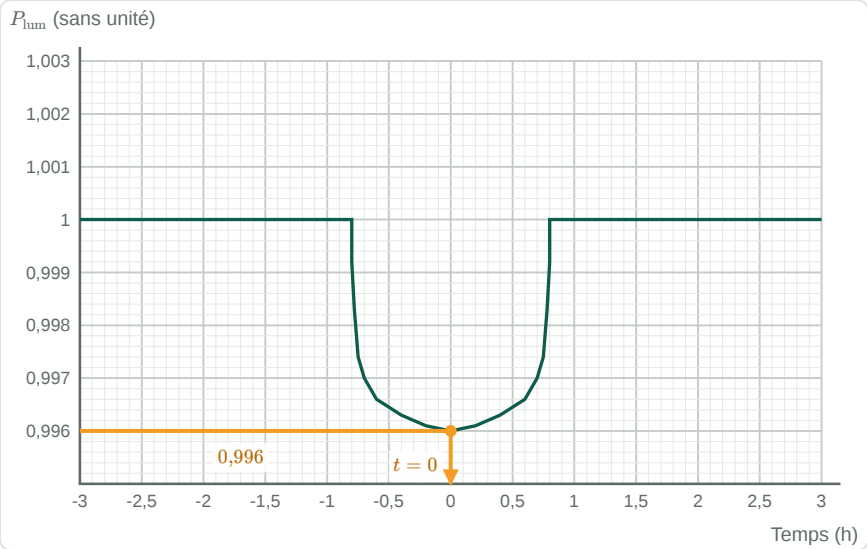
$r_1 \approx 1{,}7 \times 10^4$ km : c'est bien la valeur annoncée.

PIÈGE
Prendre pour ΔP_{lum} la valeur lue au creux (0,996) : c'est l'écart avec le palier 1 qu'il faut, soit 0,004. Oublier la racine carrée donne un rayon absurde.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$2.63 \times 10^5 \times \sqrt{0.004}$
≈ 16633.58



Q7 · Figure 3 du sujet : lecture du creux du transit

Q8 En utilisant les figures 2 et 3, et sachant que l'angle α est très petit devant 1 rad, estimer la période T_1 de révolution de l'exoplanète 1 déduite des observations. Commenter.

Données utiles $R_1 = 6{,}77 \times 10^6$ km ; $r_E = 2{,}63 \times 10^5$ km ; $r_1 = 1{,}7 \times 10^4$ km (Q7) ; $T_1 = 5{,}66$ jours (Q5)

Durée du transit. Sur la figure 3, la puissance chute à $t_i \approx -0{,}8$ h et remonte à $t_f \approx 0{,}8$ h : $\Delta t = t_f - t_i \approx 1{,}6$ h.

Angle balayé. Sur la figure 2, entre t_i et t_f l'exoplanète tourne de l'angle 2α. Dans le triangle rectangle d'hypoténuse R_1, le côté opposé à α mesure $r_1 + r_E$:

$$\sin\alpha = \frac{r_1 + r_E}{R_1}$$

L'angle étant petit :

$$\alpha \approx \frac{1{,}7 \times 10^4 + 2{,}63 \times 10^5}{6{,}77 \times 10^6} = 4{,}1 \times 10^{-2} \text{ rad}$$

Période. Le mouvement est uniforme : l'angle balayé est proportionnel à la durée. Un tour complet (2π rad) dure T_1, l'angle 2α est balayé en Δt :

$$\frac{T_1}{2\pi} = \frac{\Delta t}{2\alpha} \quad \text{donc} \quad T_1 = \frac{\pi\,\Delta t}{\alpha} = \frac{\pi\, R_1\, \Delta t}{r_1 + r_E}$$

$$T_1 = \frac{\pi \times 6{,}77 \times 10^6 \times 1{,}6}{1{,}7 \times 10^4 + 2{,}63 \times 10^5} = 1{,}2 \times 10^2 \text{ h, soit } \frac{122}{24} = 5{,}1 \text{ jours}$$

Commentaire. Cette estimation est du même ordre que la valeur de Q5 (5,66 jours), avec un écart d'environ 10 %. Il s'explique par la lecture de la figure 3 : les dates t_i et t_f sont lues à 0,1 h près, et avec 0,9 h au lieu de 0,8 h on trouverait 5,7 jours. Les deux méthodes sont donc compatibles.

$T_1 \approx 1{,}2 \times 10^2$ h $\approx 5{,}1$ jours, compatible avec les 5,66 jours de Q5 compte tenu de la précision de lecture.

PIÈGE
Associer la durée totale du transit (1,6 h) au seul angle α : la période est alors doublée. Autre oubli fréquent : r_1 dans le côté opposé, la planète étant tangente au disque de l'étoile à t_i.

COMPRENDRE
« Commenter » attend une comparaison chiffrée avec Q5 et une cause d'écart. Le transit ne dure que 1,6 h sur une révolution de plus de 120 h : une petite erreur de lecture pèse lourd.

MÉTHODE
Les rayons restent en km (seul leur rapport compte) et Δt en heures : T_1 sort en heures, à diviser par 24. Vérifier que $\alpha \ll 1$ rad justifie l'approximation.

À LA CALCULATRICE

