Corrigé – Bac 2026 – Physique-chimie – Métropole, jour 2

Le kéfir de fruit, La yaourtière, Le satellite TESS

Corrigé détaillé rédigé par Ben, professeur particulier – benprofparticulier.fr

Exercice 1 – Le kéfir de fruit *(9 pts)*

1. Détermination de la concentration des ions chlorure présents dans l'eau du robinet

Q1. Schéma à faire sur la copie, avec les légendes suivantes :

- une **burette graduée** (25 mL), fixée à un support, qui contient la **solution titrante** de nitrate d'argent ($Ag^+(aq)$; $NO_3^-(aq)$) de concentration $C = 1{,}00 \times 10^{-2}$ mol·L^{-1} ;
- un **bécher** (400 mL environ) qui contient la **solution titrée** : $V_1 = 250{,}0$ mL d'eau du robinet, prélevés à la fiole jaugée de 250,0 mL ;
- la **cellule conductimétrique**, plongée dans la solution titrée et reliée au **conductimètre** ;
- un **agitateur magnétique** et son **barreau aimanté**, placé dans le bécher pour homogénéiser le mélange.

Q2. D'après les commentaires du programme, les volumes sont exprimés en mL et les concentrations en mol/L (en Python, le séparateur décimal est le point) :

ligne 4 : **V1=250.0**
ligne 5 : **C=1.00E-2** (on peut aussi écrire C=0.01)

Q3. À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de l'équation (nombres stœchiométriques 1 et 1) : la quantité d'ions argent versée est égale à la quantité initiale d'ions chlorure, soit $C \times V_E = C_1 \times V_1$, d'où $V_E = \dfrac{C_1 \times V_1}{C}$.

ligne 7 : **VE=C1*V1/C**

Avec les valeurs du programme : $V_E = \dfrac{5 \times 10^{-4} \times 250{,}0}{1{,}00 \times 10^{-2}} = 12{,}5$ mL, ce qui correspond bien aux ruptures de pente visibles sur la figure de l'annexe.

Q4. Avant tout ajout ($V = 0$), il n'y a pas de chlorure d'argent. À l'équivalence, il s'en est formé autant que d'ions argent versés, soit $C \times V_E$. Après l'équivalence, les ions chlorure sont épuisés : la quantité de AgCl n'évolue plus. Les volumes étant en mL, on multiplie par 0.001 pour les convertir en L, comme aux lignes 11 et 13 :

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

Q5. Les ions nitrate sont spectateurs : ils ne sont pas consommés, leur quantité de matière est celle apportée par la burette, $n(NO_3^-) = C \times V$. Sur l'annexe, on trace donc **une droite passant par l'origine, sans rupture de pente à l'équivalence**, passant par les points (0 mL ; 0 mol), (12,5 mL ; $1{,}25 \times 10^{-4}$ mol) et (25 mL ; $2{,}50 \times 10^{-4}$ mol), c'est-à-dire le coin supérieur droit du graphique. Avant l'équivalence, elle se superpose à la courbe du chlorure d'argent formé (même pente C) ; au-delà de 12,5 mL, elle continue de monter au lieu de rester horizontale, parallèlement à la courbe des ions argent.

Q6. La conductivité est due aux seuls ions : $\sigma = \sum_i \lambda_i [X_i]$. Le chlorure d'argent, solide, ne contribue pas. Les ions sodium et les autres ions de l'eau du robinet ne réagissent pas : leur contribution reste quasi constante (la dilution est faible, au plus 25 mL versés dans 250 mL).

- **Avant l'équivalence** : chaque ion Ag^+ versé précipite avec un ion Cl^- (la quantité d'ions argent reste nulle, la quantité d'ions chlorure diminue) ; tout se passe comme si un ion chlorure ($\lambda = 7{,}6$ mS·m²·mol^{-1}) était remplacé par un ion nitrate ($\lambda = 7{,}1$ mS·m²·mol^{-1}), un peu moins conducteur : **σ diminue légèrement**.
- **Après l'équivalence** : il n'y a plus d'ions chlorure à précipiter ; les ions Ag^+ et NO_3^- versés s'accumulent dans le mélange : **σ augmente**, et plus fortement qu'elle ne diminuait, car chaque mole versée apporte $\lambda(Ag^+) + \lambda(NO_3^-) = 13{,}3$ mS·m²·mol^{-1}.

La courbe σ = f(V) est donc formée de deux portions quasi rectilignes, l'une légèrement décroissante, l'autre croissante ; leur intersection (minimum de σ) correspond à l'équivalence.

Q7. Volume équivalent. On trace les deux droites qui modélisent les points de la figure 2 avant et après le minimum ; l'abscisse de leur point d'intersection est le volume à l'équivalence : $V_E \approx 11$ **mL** (lecture graphique).

Concentration en quantité de matière. À l'équivalence, $C_1 \times V_1 = C \times V_E$, donc $C_1 = \dfrac{C \times V_E}{V_1} = \dfrac{1{,}00 \times 10^{-2} \times 11 \times 10^{-3}}{250{,}0 \times 10^{-3}} = 4{,}4 \times 10^{-4}$ mol·L^{-1}.

Concentration en masse. $C_m = C_1 \times M(\mathrm{Cl}) = 4{,}4 \times 10^{-4} \times 35{,}5 = 1{,}6 \times 10^{-2}$ g·L^{-1}, soit environ **16 mg·L^{-1}**.

Conclusion. $1{,}6 \times 10^{-2}$ g·L^{-1} est très inférieur à la teneur maximale de 2 g·L^{-1} (plus de cent fois moins) : **cette eau du robinet peut être utilisée pour préparer le kéfir**, ses ions chlorure n'empêcheront pas l'activité fermentaire des bactéries.

> 💡 **Astuce.** Ne prends pas le volume de la simulation (12,5 mL, calculé avec une concentration « proche de celle attendue ») : la question porte sur la mesure réelle, donc sur la figure 2. Trace les deux droites à la règle et lis leur intersection ; le point le plus bas (11 mL) donne ici la même valeur, mais c'est la méthode des droites que le correcteur attend.

2. Évolution de la cinétique de la réaction de fermentation

Q8. On peut suivre la formation du dioxyde de carbone gazeux : en réacteur fermé, par la mesure de la **pression** du gaz (capteur de pression) ; en réacteur ouvert, par la mesure de la **perte de masse** du mélange (balance) due au départ du CO_2. On peut aussi recueillir le gaz dégagé et mesurer son volume.

Q9. Tableau d'avancement (aucune espèce produite n'est présente au départ) :

État	**Avancement**	**$C_6H_{12}O_6$**	**2 CH_3CH_2OH**	**2 CO_2**
initial ($t_0 = 0$)	0	$n_{glu}(t_0)$	0	0
date t	$x(t)$	$n_{glu}(t_0) - x(t)$	$2x(t)$	$2x(t)$

La quantité d'éthanol dissous à la date t vaut $n_{eth}(t) = C_{eth}(t) \times V_{Boisson} = 2x(t)$, d'où $x(t) = \dfrac{C_{eth}(t) \times V_{Boisson}}{2}$. En reportant dans la colonne du glucose :

$$n_{glu}(t) = n_{glu}(t_0) - \frac{C_{eth}(t) \times V_{Boisson}}{2}$$

(en supposant le volume de boisson constant et tout l'éthanol formé dissous).

Q10. La vitesse volumique de disparition du glucose est définie par $v_d(t) = -\dfrac{\mathrm{d}C_{glu}(t)}{\mathrm{d}t}$. Si elle suit une loi d'ordre 1, elle est proportionnelle à la concentration du réactif : $v_d(t) = k \times C_{glu}(t)$, où k (en $\mathrm{s^{-1}}$) est la constante de vitesse. En égalant les deux expressions : $-\dfrac{\mathrm{d}C_{glu}(t)}{\mathrm{d}t} = k\,C_{glu}(t)$, soit

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

Q11. On dérive la fonction proposée : $\dfrac{\mathrm{d}C_{glu}(t)}{\mathrm{d}t} = C_{glu}(0) \times (-k)\,\mathrm{e}^{-kt} = -k\,C_{glu}(t)$. Donc $\dfrac{\mathrm{d}C_{glu}(t)}{\mathrm{d}t} + k\,C_{glu}(t) = -k\,C_{glu}(t) + k\,C_{glu}(t) = 0$: l'équation différentielle est vérifiée pour tout t. De plus, en $t = 0$: $C_{glu}(0) \times \mathrm{e}^{0} = C_{glu}(0)$, la condition initiale est respectée. La fonction $C_{glu}(t) = C_{glu}(0)\,\mathrm{e}^{-kt}$ est donc bien solution.

Q12. Si la loi de vitesse est d'ordre 1, en prenant le logarithme népérien de la solution : $\ln C_{glu}(t) = \ln C_{glu}(0) - k\,t$. Le logarithme de la concentration est alors une **fonction affine décroissante du temps**, de coefficient directeur $-k$. Sur la figure 3, les points expérimentaux se répartissent de part et d'autre d'une droite décroissante, bien modélisée par $\ln C_{glu} = -5{,}34 \times 10^{-6} \times t - 2{,}22$: le tracé confirme que la disparition du glucose suit une loi de vitesse d'ordre 1, avec $k = 5{,}34 \times 10^{-6}\ \mathbf{s^{-1}}$ (opposé du coefficient directeur).

Q13. Par identification, l'ordonnée à l'origine est $\ln C_{glu}(0) = -2{,}22$, donc $C_{glu}(0) = \mathrm{e}^{-2{,}22} = 0{,}109\ \mathrm{mol\cdot L^{-1}}$. Avec $V_{Boisson} = 1{,}00\ \mathrm{L}$:

$m = C_{glu}(0) \times V_{Boisson} \times M(\mathrm{C_6H_{12}O_6}) = 0{,}1086 \times 1{,}00 \times 180{,}0 = 19{,}5\ \mathrm{g}$, soit $m \approx 19{,}5\ \mathbf{g}$.

Commentaire. La recette prévoit 20 g de glucose ; l'écart relatif vaut $\dfrac{20 - 19{,}5}{20} \approx 2\ \%$. La valeur déduite du modèle est donc cohérente avec la masse réellement introduite ; le faible écart s'explique par la dispersion des mesures autour de la droite et par l'arrondi de l'ordonnée à l'origine.

Q14. D'après la figure 3, $k = 5{,}34 \times 10^{-6}\ \mathrm{s^{-1}}$, donc $t_{1/2} = \dfrac{\ln 2}{k} = \dfrac{0{,}693}{5{,}34 \times 10^{-6}} = 1{,}30 \times 10^{5}\ \mathrm{s}$, soit $t_{1/2} \approx 36\ \mathbf{h}$ (environ un jour et demi).

Conclusion. La recette indique de laisser fermenter « au moins 24 h ». Au bout de 24 h ($8{,}64 \times 10^{4}$ s), il reste la fraction $\mathrm{e}^{-kt} = \mathrm{e}^{-5{,}34\times10^{-6}\times8{,}64\times10^{4}} = \mathrm{e}^{-0{,}461} \approx 0{,}63$ du glucose initial : environ 63 % du sucre (près de 13 g) est encore présent, la boisson reste sucrée. La durée de 24 h est donc adaptée, avec $24\ \mathrm{h} < t_{1/2}$. En revanche, l'indication « au moins » est trop vague : au bout de quelques temps de demi-réaction (par exemple 5 jours, soit environ $3{,}3\,t_{1/2}$, il ne reste qu'environ 10 % du glucose), la boisson ne serait presque plus sucrée. Il vaut mieux limiter la fermentation à un ou deux jours.

> ⚠ **Piège.** Le coefficient directeur de la droite vaut $-5{,}34 \times 10^{-6}\ \mathrm{s^{-1}}$: la constante de vitesse k est son opposé, donc positive. Et l'ordonnée à l'origine donne $\ln C_{glu}(0)$, pas $C_{glu}(0)$: n'oublie pas de prendre l'exponentielle avant de calculer la masse.

3. Arôme de la boisson végétale de kéfir

Q15. Le citral possède un groupe carbonyle (fonction aldéhyde, C=O) et des liaisons C=C, mais **aucune liaison O–H**. L'acide citrique possède trois groupes carboxyle et un groupe hydroxyle : des liaisons **O–H** et **C=O**.

- **Spectre A → citral** : pas de bande forte et large entre 3 200 et 3 700 $\mathrm{cm^{-1}}$ (donc pas de liaison O–H) ; bandes fortes vers 2 850-3 000 $\mathrm{cm^{-1}}$ (C–H) ; bande forte et fine vers 1 680 $\mathrm{cm^{-1}}$ (C=O), suivie d'une seconde bande fine vers 1 630 $\mathrm{cm^{-1}}$ compatible avec C=C.

- **Spectre B → acide citrique** : absorption intense vers 3 500 et 3 300 cm^{-1}, sur un large massif qui s'étend jusque vers 2 500 cm^{-1} (liaisons O–H) et bande forte et fine vers 1 700-1 750 cm^{-1} (C=O des groupes carboxyle).

Q16. Le solvant doit dissoudre les trois espèces et ne pas être miscible (ou très peu) avec l'eau de la boisson, pour pouvoir séparer la phase organique.

- L'eau ne convient pas : le limonène y est peu soluble et le citral très peu soluble (et c'est déjà le solvant de la boisson).
- Le cyclohexane ne convient pas : l'acide citrique y est insoluble (solubilité nulle).
- L'acétate d'éthyle dissout les trois espèces (solubilité convenable pour le limonène et le citral, grande pour l'acide citrique) et il est peu miscible avec l'eau.

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

Q17. Après révélation, le dépôt K (extrait de kéfir) ne donne qu'**une seule tache**, restée au niveau de la ligne de dépôt, à la même hauteur que la tache du dépôt A (acide citrique). Le citral (C) et le limonène (L) ont migré plus haut, et aucune tache de K ne se trouve à leur hauteur. L'extrait contient donc de l'acide citrique, mais ni citral ni limonène : **l'espèce issue du citron retrouvée dans la boisson est l'acide citrique**, qui peut être responsable du goût acidulé du kéfir.

Exercice 2 – La yaourtière *(5.5 pts)*

1. Fabrication des yaourts dans la yaourtière

Q1. Pendant l'étape A, la température du système {S} passe de $\theta_{amb} = 20\ ^\circ\text{C}$ à $\theta_{fab} = 43\ ^\circ\text{C}$, sans changement d'état. L'énergie thermique à lui transférer vaut :

$Q_{chauffage} = C \times (\theta_{fab} - \theta_{amb}) = 4{,}0 \times 10^3 \times (43 - 20) = 4{,}0 \times 10^3 \times 23 = 9{,}2 \times 10^4$ J.

$Q_{chauffage} \approx 9{,}2 \times 10^4$ **J** (une variation de température a la même valeur en kelvin et en degré Celsius).

Q2. L'énergie électrique consommée pendant l'étape A vaut $E_A = P_A \times \Delta t_A$, dont 85 % est transférée au système : $Q_{chauffage} = 0{,}85 \times P_A \times \Delta t_A$, donc

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

La phase de chauffage dure 8 h au total : $\Delta t_B = 8\text{ h} - 12\text{ min} = 7\text{ h } 48\text{ min}$, soit **de l'ordre de 7 h 50 min**.

Q3. Coût de l'électricité. $E_A = P_A \times \Delta t_A = 150 \times 0{,}20 = 30$ Wh ; $E_B = P_B \times \Delta t_B = 20 \times 7{,}8 = 156$ Wh (avec 7 h 48 min = 7,8 h). Au total, $E = 30 + 156 = 186$ Wh $= 0{,}186$ kWh, qui coûtent $0{,}186 \times 0{,}20 \approx 0{,}04$ €.

Coût des ingrédients. Lait : $0{,}700 \times 1{,}05 \approx 0{,}74$ € ; ferments : 0,64 €.

Coût total pour 7 yaourts : $0{,}74 + 0{,}64 + 0{,}04 \approx 1{,}41$ €, soit $\dfrac{1{,}41}{7} \approx 0{,}20$ € : **un yaourt fait maison coûte environ 0,20 €**.

Discussion. C'est nettement moins que les 0,35 € d'un yaourt de qualité comparable acheté en grande distribution (environ 40 % de moins) : l'argument du coût est vérifié. Il faut cependant nuancer : ce calcul ne tient pas compte de l'achat de la yaourtière et des pots (à amortir sur de nombreuses fournées), ni de l'électricité consommée par le réfrigérateur ; l'économie reste réelle si l'on fabrique régulièrement ses yaourts.

2. Refroidissement des yaourts dans le réfrigérateur

Q4. Les trois modes de transfert thermique sont la **conduction** (à travers le verre et le couvercle), la **convection** (mouvements de l'air froid du réfrigérateur au contact du pot) et le **rayonnement** (émission et absorption de rayonnement infrarouge).

Q5. D'après la loi de Newton, à $t = 0$:

$\Phi_0 = h \times S \times (\theta_0 - \theta_{refri}) = 10 \times 0{,}019 \times (30 - 4{,}0) = 0{,}19 \times 26 = 4{,}9$ W, soit $\Phi_0 \approx 4{,}9$ **W**.

Au cours du refroidissement, la température θ du système diminue et se rapproche de θ_{refri} : l'écart $\theta - \theta_{refri}$ diminue, donc **le flux thermique Φ diminue au cours du temps** (h et S étant constants), et tend vers 0.

Q6. Après un temps très long, le système est en équilibre thermique avec l'air du réfrigérateur : **sa température vaut** $\theta_{refri} = 4{,}0$ °**C**.

L'énergie thermique perdue par le système est $Q = m \times c_Y \times (\theta_0 - \theta_{refri}) = 0{,}19 \times 2{,}5 \times 10^3 \times (30 - 4{,}0) = 1{,}2 \times 10^4$ J, soit **environ 12 kJ** (12 350 J avant arrondi).

Q7. À puissance constante Φ_0 : $Q = \Phi_0 \times \Delta t_0$, donc $\Delta t_0 = \dfrac{Q}{\Phi_0} = \dfrac{12 \times 10^3}{4{,}94} = 2{,}4 \times 10^3$ s, soit $\Delta t_0 \approx 2{,}4 \times 10^3$ **s ≈ 40 min** (avec les valeurs non arrondies, 12 350 J et 4,94 W, on trouve $2{,}5 \times 10^3$ s).

Q8. Allure à tracer sur la copie : une **exponentielle décroissante** qui part de $\theta_0 = 30$ °C à $t = 0$ et tend vers l'**asymptote horizontale** $\theta = \theta_{refri} = 4{,}0$ °C (température finale), sans jamais descendre en dessous.

Méthode graphique pour τ : on trace la **tangente à la courbe à l'origine** ; elle coupe l'asymptote $\theta = 4{,}0$ °C en un point dont l'abscisse est τ. (Autre méthode : τ est la date à laquelle l'écart à la température finale a été divisé par e, c'est-à-dire $\theta(\tau) = \theta_{refri} + 0{,}37 \times (\theta_0 - \theta_{refri}) \approx 13{,}6$ °C.)

Q9. $\tau = \dfrac{m \times c_Y}{h \times S} = \dfrac{0{,}19 \times 2{,}5 \times 10^3}{10 \times 0{,}019} = \dfrac{475}{0{,}19} = 2{,}5 \times 10^3$ s, soit $\tau \approx 2{,}5 \times 10^3$ **s ≈ 42 min**.

Comparaison. τ et Δt_0 ont la même valeur, à l'arrondi près. Ce n'est pas un hasard : $\Delta t_0 = \dfrac{m\,c_Y(\theta_0 - \theta_{refri})}{h\,S(\theta_0 - \theta_{refri})} = \dfrac{m\,c_Y}{h\,S} = \tau$. Le temps caractéristique est la durée du refroidissement complet *si le flux restait égal à sa valeur initiale*, ce qui correspond à la tangente à l'origine de la question 8.

Commentaire. En réalité, le flux diminue au cours du temps : au bout de τ, le pot n'a perdu qu'environ 63 % des 12 kJ (il est à 13,6 °C environ), et il faut environ $5\tau \approx 3{,}5$ h pour que le refroidissement soit pratiquement terminé. Au bout des 2 h de la recette ($t \approx 2{,}9\,\tau$), la température vaut $\theta = 26 \times \mathrm{e}^{-2{,}9} + 4{,}0 \approx 5{,}5$ °C : le yaourt est déjà bien froid.

> 💡 **Astuce.** Les données de la question 6 et de la question 9 se ressemblent : ce n'est pas une coïncidence si $\Delta t_0 = \tau$. Dans la question « Commenter », montre-le littéralement, puis explique que le vrai refroidissement est plus long parce que le flux diminue : c'est l'idée attendue.

Exercice 3 – Le satellite TESS *(5.5 pts)*

1. Étude du système « TOI 270 »

Q1. La force d'attraction gravitationnelle exercée par l'étoile sur l'exoplanète 2 est dirigée de l'exoplanète vers le centre de l'étoile, donc selon $\vec{u}_N$ (vecteur normal orienté vers E) :

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

Q2. On applique la deuxième loi de Newton au système {exoplanète 2}, dans le référentiel supposé galiléen, en ne retenant que l'attraction de l'étoile : $M_2\,\vec{a} = \vec{F}$, donc $\vec{a} = G\,\dfrac{M_E}{R_2^2}\,\vec{u}_N$.

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

Par identification : $\dfrac{\mathrm{d}v_2}{\mathrm{d}t} = 0$ (le mouvement est bien uniforme) et $\dfrac{v_2^2}{R_2} = \dfrac{G\,M_E}{R_2^2}$, d'où $v_2^2 = \dfrac{G\,M_E}{R_2}$ et

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

Q3. Pendant une période T_2, l'exoplanète parcourt à vitesse constante la circonférence $2\pi R_2$: $T_2 = \dfrac{2\pi R_2}{v_2}$. En élevant au carré et en remplaçant v_2^2 : $T_2^2 = \dfrac{4\pi^2 R_2^2}{v_2^2} = \dfrac{4\pi^2 R_2^2 \times R_2}{G\,M_E} = \dfrac{4\pi^2 R_2^3}{G\,M_E}$. On en déduit :

$$M_E = \frac{4\pi^2\,R_2^3}{G\,T_2^2}$$

Q4. Conversions dans le système international : $R_2 = 1{,}08 \times 10^{7}$ km $= 1{,}08 \times 10^{10}$ m ; $T_2 = 11{,}4 \times 24 \times 3600 = 9{,}85 \times 10^{5}$ s.

$$M_E = \frac{4\pi^2 \times (1{,}08\times10^{10})^3}{6{,}67\times10^{-11} \times (9{,}85\times10^{5})^2} = 7{,}69 \times 10^{29}\ \text{kg}.$$

On trouve $M_E \approx 7{,}69 \times 10^{29}$ **kg**, très proche de la valeur du tableau ($7{,}68 \times 10^{29}$ kg) : la relation est vérifiée.

> ⚠ **Piège.** Avec G en $\mathrm{m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}}$, le rayon doit être en mètres et la période en secondes : laisser les kilomètres ou les jours donne un résultat faux de plusieurs puissances de 10. En revanche, à la question 5, le rapport R_1/R_2 permet de garder les km et les jours.

Q5. D'après la troisième loi de Kepler, pour toutes les planètes en orbite autour de la même étoile E, le rapport $\dfrac{T^2}{R^3}$ est le même $\left(= \dfrac{4\pi^2}{G\,M_E}\right)$. Donc $\dfrac{T_1^2}{R_1^3} = \dfrac{T_2^2}{R_2^3}$, d'où :

$$T_1 = T_2 \times \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^{3/2} = 11{,}4 \times \left(\frac{6{,}77\times10^{6}}{1{,}08\times10^{7}}\right)^{3/2} = 11{,}4 \times 0{,}496 = 5{,}66\ \text{jours}.$$

$T_1 \approx 5{,}66$ **jours terrestres.**

2. Mesure expérimentale de la période de révolution T_1 de l'exoplanète 1

Q6. D'après la relation $\Delta P_{lum} = \left(\dfrac{r_1}{r_E}\right)^2$, pour une même étoile, la diminution de puissance lumineuse est d'autant plus grande que l'exoplanète est grosse (elle masque une plus grande partie du disque de l'étoile) : ΔP_{lum} est proportionnelle au carré du rayon de l'exoplanète (rayon doublé, diminution quatre fois plus grande).

Q7. Sur la figure 3, P_{lum} vaut 1 hors transit et descend jusqu'à 0,996 environ au milieu du transit : $\Delta P_{lum} = 1 - 0{,}996 = 4{,}0 \times 10^{-3}$.

$r_1 = r_E \times \sqrt{\Delta P_{lum}} = 2{,}63\times10^{5} \times \sqrt{4{,}0\times10^{-3}} = 2{,}63\times10^{5} \times 0{,}063 = 1{,}7\times10^{4}$ km.

$r_1 \approx 1{,}7 \times 10^{4}$ **km**, ce qui est bien la valeur annoncée.

Q8. Durée du transit. Sur la figure 3, le transit commence à $t_i \approx -0{,}8$ h et se termine à $t_f \approx +0{,}8$ h : $\Delta t = t_f - t_i \approx 1{,}6$ h.

Angle balayé pendant le transit. D'après la figure 2, au début du transit l'exoplanète touche le bord du disque de l'étoile vu par la caméra : son centre est à la distance $r_E + r_1$ de l'axe de visée et à la distance R_1 de E. Donc $\sin\alpha = \dfrac{r_E + r_1}{R_1}$, et comme α est petit, $\alpha \approx \dfrac{r_E + r_1}{R_1} = \dfrac{2{,}63 \times 10^5 + 0{,}17 \times 10^5}{6{,}77 \times 10^6} = \dfrac{2{,}80 \times 10^5}{6{,}77 \times 10^6} = 4{,}14 \times 10^{-2}$ rad.

Entre le début et la fin du transit, l'exoplanète passe de la position $-\alpha$ à la position $+\alpha$: elle balaie l'angle 2α.

Période. Le mouvement étant circulaire uniforme, l'angle balayé est proportionnel à la durée : $\dfrac{2\alpha}{\Delta t} = \dfrac{2\pi}{T_1}$, d'où $T_1 = \dfrac{\pi\,\Delta t}{\alpha} = \dfrac{\pi \times 1{,}6}{4{,}14 \times 10^{-2}} = 1{,}2 \times 10^2$ h, soit $T_1 \approx 5{,}1$ **jours**.

Commentaire. Cette valeur est du même ordre de grandeur que celle obtenue par la troisième loi de Kepler (5,66 jours), avec un écart relatif d'environ 10 %. L'écart s'explique par l'imprécision de la lecture de t_i et t_f (la descente et la remontée de la courbe ne sont décrites que par quelques points) et surtout par le modèle : on a supposé que l'exoplanète passe exactement devant le centre de l'étoile ; si elle passe un peu au-dessus ou au-dessous, la corde parcourue devant le disque est plus courte, la durée du transit aussi, et la période est sous-estimée, ce qui est bien le sens de l'écart observé.

Conseils pour le jour J

Le sujet est long (trois exercices pour 3 h 30) mais très guidé : commence par les questions de cours qui rapportent vite (schéma du titrage, tableau d'avancement, équation différentielle d'ordre 1, deuxième loi de Newton dans le repère de Frenet, troisième loi de Kepler, modes de transfert thermique). Les deux questions « à prise d'initiative » (Q7 de l'exercice 1 et Q8 de l'exercice 3) valent beaucoup de points : présente ta démarche étape par étape, même si tu n'aboutis pas, et termine toujours par une phrase de conclusion qui répond à la question posée.

Les pièges de calcul sont surtout des conversions : mL et L dans le programme Python (le facteur 0.001), km en m et jours en s dans la relation donnant la masse de l'étoile, heures en jours pour la période de l'exoplanète. Écris toujours la relation littérale avant l'application numérique, puis le résultat avec son unité et un nombre raisonnable de chiffres significatifs (deux ou trois, comme les données).

Les lectures graphiques comptent : intersection des deux droites pour le volume équivalent, ordonnée à l'origine et coefficient directeur de la droite ln C = f(t), minimum de la courbe de transit et dates t_i et t_f. Fais apparaître tes tracés sur l'annexe et sur les figures, et n'oublie pas de rendre l'annexe 1 avec ta copie, avec la droite des ions nitrate.

Ce document est la propriété intellectuelle de Ben, professeur particulier (benprofparticulier.fr), protégée par le Code de la propriété intellectuelle (art. L. 111-1 et L. 122-4). Il est mis à disposition pour un usage personnel de révision. Toute reproduction, diffusion, mise en ligne ou revente, totale ou partielle, sans autorisation écrite est interdite et constitue une contrefaçon (art. L. 335-2).