

BAC 2026
Correction épreuve de physique-chimie
Mercredi 17 juin 2026

Exercice 1 – Le kéfir de fruit

1 – Titrage conductimétrique des ions chlorure

Question 1 – Schéma du dispositif de titrage conductimétrique

Le dispositif comprend les éléments suivants, légendés :

- Une burette graduée (solution titrante) contenant la solution de nitrate d'argent (Ag^+ , NO_3^-) à $C = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.
- Un bécher (solution titrée) contenant $V_1 = 250,0 \text{ mL}$ d'eau du robinet à titrer, munie d'une cellule conductimétrique reliée à un conductimètre.
- Un agitateur magnétique avec barreau aimanté pour homogénéiser la solution après chaque ajout.
- Un conductimètre affichant la conductivité σ du milieu.

La solution titrante (Ag^+ , NO_3^-) est dans la burette. La solution titrée (eau du robinet, contenant les ions Cl^-) est dans le bécher.

Question 2 – Lignes de code 4 et 5

La ligne 4 correspond à V_1 , le volume de solution titrée en mL, et la ligne 5 à C, la concentration de la solution titrante en mol/L.

D'après l'énoncé : $V_1 = 250,0 \text{ mL}$ et $C = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1} = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol/L}$.

Lignes complétées :

$V_1 = 250,0$ # Volume de solution titrée en mL

$C = 1,00 \text{ E-2}$ # Concentration solution titrante en mol/L

Question 3 – Ligne de code 7 – Volume à l'équivalence VE

À l'équivalence, les quantités de matière de Ag^+ versé et de Cl^- initialement présent sont introduites en proportions stoechiométriques :

$$\begin{aligned}n(\text{Ag}^+)_{\text{éq}} &= n(\text{Cl}^-)_{\text{initial}} \\C \times V_E \times 10^{-3} &= C_1 \times V_1 \times 10^{-3} \\V_E &= (C_1 \times V_1)/C\end{aligned}$$

Ligne de code 7 complétée :

$$VE = C1 \cdot V1 / C \quad \# \text{ Calcul du volume à l'équivalence en mL}$$

Question 4 – Ligne de code 15 – Quantité de matière de AgCl formé

Le chlorure d'argent AgCl se forme à raison d'un mol pour chaque mol de Ag⁺ versé avant l'équivalence :

- Pour $V = 0$: $n(\text{AgCl}) = 0$
- Pour $V = VE$: $n(\text{AgCl}) = C \times VE \times 10^{-3}$ (tout le Cl⁻ initial a été précipité)
- Pour $V = V_{\text{max}}$: $n(\text{AgCl}) = C \times VE \times 10^{-3}$ ($n[\text{AgCl}]$ reste constant après l'équivalence)

Ligne de code 15 complétée :

$$n_{\text{produit}} = [0, C \cdot VE \cdot 0.001, C \cdot VE \cdot 0.001]$$

Question 5 – Évolution de la quantité de matière des ions nitrate NO₃⁻

Les ions NO₃⁻ proviennent uniquement de la solution titrante (Ag⁺, NO₃⁻).

Ils ne participent pas à la réaction de titrage, ils sont spectateurs donc ils s'accumulent proportionnellement au volume versé :

$$n(\text{NO}_3^-) = C \times V \times 10^{-3}$$

Cette quantité est nulle à $V = 0$ et augmente linéairement jusqu'à :

$$n(\text{NO}_3^-)_{\text{max}} = C \times V_{\text{max}} \times 10^{-3} = 1,00 \times 10^{-2} \times 25 \times 10^{-3} = 2,5 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

Sur le graphe de l'ANNEXE 1 : tracer une droite passant par l'origine (0 ; 0) et atteignant $2,5 \times 10^{-4}$ mol pour $V = 25$ mL. La droite est croissante, continue, sans rupture de pente.

Question 6 – Évolution qualitative de la conductivité au cours du titrage

La conductivité σ dépend des concentrations et conductivités ioniques molaires des ions en solution. On analyse chaque phase :

Avant l'équivalence ($V < VE$) :

Les ions Cl⁻ ($\lambda = 7,6 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$) disparaissent progressivement (précipitation sous forme de AgCl) et sont remplacés par des ions NO₃⁻ ($\lambda = 7,1 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$) de conductivité légèrement inférieure. La conductivité diminue donc légèrement (les Cl⁻ partent, les NO₃⁻ arrivent mais sont légèrement moins conducteurs).

Après l'équivalence ($V > VE$) :

Les ions Cl⁻ sont intégralement précipités. On ajoute désormais un excès de Ag⁺ ($\lambda = 6,2 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$) et NO₃⁻ ($\lambda = 7,1 \text{ mS} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mol}^{-1}$) qui s'accumulent librement en solution. La conductivité augmente avec le volume versé.

Conclusion : la courbe de conductimétrie présente un minimum au point d'équivalence – la conductivité décroît avant l'équivalence puis croît après. Ce comportement est bien visible sur la figure 2.

Question 7 – Concentration massique en ions Cl^- et conclusion

Lecture graphique sur la figure 2 : le minimum de conductivité correspond au volume à l'équivalence :

$$V_E = 10,5 \text{ mL} = 10,5 \times 10^{-3} \text{ L}$$

Calcul de la quantité de matière de Cl^- :

$$n(\text{Cl}^-) = C \times V_E = 1,00 \times 10^{-2} \times 10,5 \times 10^{-3} = 1,05 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

Calcul de la concentration en quantité de matière de Cl^- dans l'eau du robinet :

$$C(\text{Cl}^-) = n(\text{Cl}^-)/V_1 = 1,05 \times 10^{-4} / (250,0 \times 10^{-3}) = 4,20 \times 10^{-4} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

Calcul de la concentration massique :

$$C_m(\text{Cl}^-) = C(\text{Cl}^-) \times M(\text{Cl}) = 4,20 \times 10^{-4} \times 35,5 = 1,49 \times 10^{-2} \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$$

$$C_m(\text{Cl}^-) = 1,49 \times 10^{-2} \text{ g}\cdot\text{L}^{-1} = 0,0149 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$$

Cette valeur est très inférieure à la teneur maximale autorisée de $2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. Cette eau du robinet est donc parfaitement utilisable pour préparer du kéfir de fruit, elle ne détruira pas les bactéries.

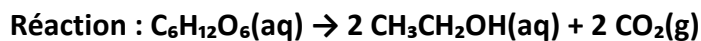
2 – Cinétique de la fermentation

Question 8 – Autre méthode de suivi cinétique envisageable

On peut suivre la cinétique de la fermentation en mesurant le volume de CO₂ dégagé au cours du temps (dégagement gazeux). En utilisant une éprouvette graduée inversée au-dessus du bocal, on mesure le volume cumulé de dioxyde de carbone, proportionnel à l'avancement de la réaction.

Question 9 – Expression de $n_{\text{glu}}(t)$

On établit un tableau d'avancement partiel pour la réaction :



	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	CO_2	avancement x
$t = t_0$	$n_{\text{glu}}(t_0)$	0	0	0
t quelconque	$n_{\text{glu}}(t_0) - x$	$2x$	$2x$	x

D'après le tableau, la quantité de matière d'éthanol formée est :

$$n_{\text{éth}}(t) = 2x \rightarrow x = n_{\text{éth}}(t)/2$$

Or $n_{\text{éth}}(t) = C_{\text{éth}}(t) \times V_{\text{Boisson}}$, donc :

$$x = C_{\text{éth}}(t) \times V_{\text{Boisson}}/2$$

Et la quantité de matière de glucose restante est :

$$n_{\text{glu}}(t) = n_{\text{glu}}(t_0) - x = n_{\text{glu}}(t_0) - C_{\text{éth}}(t) \times V_{\text{Boisson}}/2$$

$$n_{\text{glu}}(t) = n_{\text{glu}}(t_0) - [C_{\text{éth}}(t) \times V_{\text{Boisson}}]/2 \quad \blacksquare$$

Question 10 – Établissement de l'équation différentielle

Par définition, la vitesse de disparition du glucose est :

$$v = -dC_{\text{glu}}/dt$$

Si la réaction suit une loi d'ordre 1 par rapport au glucose :

$$v = k \times C_{\text{glu}}(t)$$

En combinant les deux expressions :

$$-dC_{\text{glu}}/dt = k \times C_{\text{glu}}(t)$$

$$dC_{\text{glu}}(t)/dt + k \times C_{\text{glu}}(t) = 0 \quad \blacksquare$$

Question 11 – Justification de la solution de l'équation différentielle

L'équation différentielle est du premier ordre, à coefficients constants et sans second membre.

Sa solution générale est une exponentielle décroissante.

Vérifions que $C_{\text{glu}}(t) = C_{\text{glu}}(0) \times e^{(-kt)}$ est bien solution :

$$dC_{\text{glu}}/dt = C_{\text{glu}}(0) \times (-k) \times e^{(-kt)} = -k \times C_{\text{glu}}(t)$$

En substituant dans l'équation différentielle :

$$dC_{\text{glu}}/dt + k \times C_{\text{glu}}(t) = -k \times C_{\text{glu}}(t) + k \times C_{\text{glu}}(t) = 0 \quad \checkmark$$

La condition initiale est bien vérifiée : pour $t = 0$, $C_{\text{glu}}(0) = C_{\text{glu}}(0) \times e^0 = C_{\text{glu}}(0)$.

La fonction $C_{\text{glu}}(t) = C_{\text{glu}}(0) \times e^{(-kt)}$ est bien la solution de l'équation différentielle.

Question 12 – Justification de l'ordre 1 par le tracé de $\ln(C_{\text{glu}}) = f(t)$

Si $C_{\text{glu}}(t) = C_{\text{glu}}(0) \times e^{(-kt)}$, alors en prenant le logarithme népérien :

$$\ln[C_{\text{glu}}(t)] = \ln[C_{\text{glu}}(0)] - k \times t$$

Cette expression est de la forme $y = a + b \times t$, soit une fonction affine de t . Ainsi, si la réaction est d'ordre 1, le tracé de $\ln(C_{\text{glu}})$ en fonction du temps doit être une droite de pente $-k$.

La figure 3 montre bien une droite d'équation $\ln(C_{\text{glu}}) = -5,34 \times 10^{-6} \times t - 2,22$, ce qui confirme que la vitesse de disparition du glucose suit bien une loi d'ordre 1.

Question 13 – Calcul de la masse de glucose initialement introduite

L'ordonnée à l'origine de la droite de la figure 3 donne :

$$\ln[C_{\text{glu}}(0)] = -2,22$$

$$C_{\text{glu}}(0) = e^{(-2,22)} = 0,109 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

La masse de glucose introduite pour 1 L de boisson ($V_{\text{Boisson}} = 1 \text{ L}$) :

$$m(\text{glucose}) = C_{\text{glu}}(0) \times V_{\text{Boisson}} \times M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$$

$$m(\text{glucose}) = 0,109 \times 1 \times 180,0 = 19,6 \text{ g}$$

$$m(\text{glucose}) = 19,6 \text{ g}$$

Commentaire : cette valeur est très proche des 20 g de glucose prévus dans la recette. Le léger écart s'explique par les incertitudes expérimentales et le fait que la fermentation avait peut-être légèrement démarré avant t_0 . Le résultat valide la cohérence du modèle.

Question 14 – Calcul du temps de demi-réaction et conclusion

La pente de la droite de la figure 3 donne la constante de vitesse :

$$-k = -5,34 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

$$k = 5,34 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

Le temps de demi-réaction est :

$$t_{1/2} = \ln(2)/k = 0,693/(5,34 \times 10^{-6})$$

$$t_{1/2} = 1,30 \times 10^5 \text{ s} \approx 36 \text{ heures}$$

$$t_{1/2} = 1,30 \times 10^5 \text{ s} \approx 36 \text{ heures}$$

Conclusion : Le temps de demi-réaction est d'environ 36 heures, ce qui signifie qu'il faut attendre 36 heures pour que la moitié du glucose soit consommée. La recette préconise une fermentation d'au moins 24 heures. À $t = 24 \text{ h}$, la fermentation n'est pas encore à mi-chemin – une proportion importante de glucose est encore présente, ce qui assure à la boisson un goût sucré résiduel. La recette est donc cohérente avec l'exigence que la boisson doit encore contenir du sucre.

3 – Arôme de la boisson végétale de kéfir

Question 15 – Attribution des spectres IR au citral et à l'acide citrique

On analyse les groupes fonctionnels présents dans chaque molécule :

Citral : (possède une fonction aldéhyde) il a donc une double liaison $C=O$ vers 1700 cm^{-1} , une double liaison $C=C$ (vers $1620\text{--}1680\text{ cm}^{-1}$), des liaisons $C-H$. Il ne possède pas de groupe $O-H$.

Acide citrique : (possède des fonctions acide carboxylique et alcools) il a donc des liaisons $O-H$ larges et fortes vers $2500\text{--}3300\text{ cm}^{-1}$ et $C=O$ vers $1700\text{--}1720\text{ cm}^{-1}$) et des liaisons $C-H$.

Lecture des spectres :

- Spectre A : présente une bande large et forte vers $2\ 800\text{--}3\ 100\text{ cm}^{-1}$ caractéristique des liaisons $C-H$, et une bande $C=O$ forte vers $1\ 700\text{ cm}^{-1}$.
- Spectre B : présente une bande forte $C=O$ vers $1\ 680\text{ cm}^{-1}$ et une bande large et forte vers $3\ 200\text{--}3\ 700\text{ cm}^{-1}$

Spectre A → CITRAL | Spectre B → ACIDE CITRIQUE

Question 16 – Choix du solvant d'extraction

Pour extraire simultanément le citral, l'acide citrique et le limonène depuis la phase aqueuse (kéfir), le solvant doit :

- Dissoudre les trois espèces (citral, acide citrique, limonène)
- Ne pas être miscible à l'eau (sinon il n'y a pas de séparation de phases)

Analyse des solvants :

- Eau : miscible à elle-même, et limonène/citral y sont très peu solubles → ne convient pas.
- Cyclohexane : non miscible à l'eau, mais l'acide citrique y est insoluble → ne convient pas.
- Acétate d'éthyle : faiblement miscible à l'eau (décante), convenable pour citral et limonène, et grande solubilité pour l'acide citrique → convient pour les trois espèces.

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

Question 17 – Identification de l'espèce responsable du goût acidulé

Analyse du chromatogramme (figure 6):

- L'extrait de kéfir K présente une tache, au même R_f que la tache de l'acide citrique C (au même niveau).

C'est donc l'acide citrique qui est présent dans la boisson kéfir et qui pourrait être responsable de son goût acidulé.

Exercice 2 — La yaourtière

1 — Fabrication des yaourts dans la yaourtière

Question 1 – Énergie thermique $Q_{\text{chauffage}}$ lors de l'étape A

Le système {S} est chauffé de la température ambiante $\theta_{\text{amb}} = 20\text{ °C}$ à la température de fabrication $\theta_{\text{fab}} = 43\text{ °C}$. L'expression de l'énergie thermique à fournir est :

$$Q_{\text{chauffage}} = C \times \Delta T = C \times (\theta_{\text{fab}} - \theta_{\text{amb}})$$

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

$$Q_{\text{chauffage}} = 4,0 \times 10^3 \times 23 = 9,2 \times 10^4 \text{ J}$$

$$Q_{\text{chauffage}} = 9,2 \times 10^4 \text{ J} \quad \blacksquare$$

Question 2 – Durée Δt_A de l'étape A et déduction de Δt_B

Pendant l'étape A, seulement 85 % de l'énergie électrique consommée sont effectivement transférés au système {S} sous forme thermique. Si $W_{\text{élec}}$ est l'énergie électrique consommée :

$$0,85 \times W_{\text{élec}} = Q_{\text{chauffage}}$$

$$W_{\text{élec}} = Q_{\text{chauffage}} / 0,85 = 9,2 \times 10^4 / 0,85 = 1,1 \times 10^5 \text{ J}$$

Or $W_{\text{élec}} = P_A \times \Delta t_A$, donc :

$$\Delta t_A = W_{\text{élec}} / P_A = 1,1 \times 10^5 / 150 = 721 \text{ s} = 12 \text{ min}$$

$$\Delta t_A = 721 \text{ s} \approx 12 \text{ minutes}$$

La durée totale de la phase de chauffage est de 8 heures = $8 \times 3600 = 28\,800 \text{ s}$. Donc :

$$\Delta t_B = 28\,800 - 721 = 28\,079 \text{ s} = 7 \text{ h } 48 \text{ min} \approx 7 \text{ h } 50 \text{ min}$$

$$\Delta t_B \approx 7 \text{ heures } 50 \text{ minutes} \quad \blacksquare$$

Question 3 – Estimation du coût de fabrication d'un yaourt maison

Calcul de l'énergie électrique totale consommée par la yaourtière pendant 8 heures :

$$W_{\text{total}} = P_A \times \Delta t_A + P_B \times \Delta t_B$$

$$W_{\text{total}} = 150 \times 721 + 20 \times 28\,079 = 108\,150 + 561\,580 = 669\,730 \text{ J}$$

$$W_{\text{total}} \approx 6,70 \times 10^5 \text{ J} = 6,70 \times 10^5 / (3,6 \times 10^6) \approx 0,186 \text{ kWh}$$

Coût de l'électricité : $0,186 \times 0,20 = 0,037 \text{ €}$

Coût du lait (700 mL de lait pour 7 yaourts) : $0,700 \times 1,05 = 0,735 \text{ €}$

Coût des ferments : 0,64 €

Coût total pour 7 yaourts : $0,037 + 0,735 + 0,64 = 1,41 \text{ €}$

l'Étudiant

Coût par yaourt = $1,41 / 7 \approx 0,20$ €

Coût d'un yaourt maison $\approx 0,20$ € par yaourt

Un yaourt équivalent en grande distribution coûte 0,35 €. L'argument économique est donc vérifié : le yaourt fait maison revient environ 1,7 fois moins cher.

2 — Refroidissement dans le réfrigérateur

Question 4 – Les trois modes de transfert thermique

Les trois modes de transfert thermique participant au refroidissement du pot {P} sont :

- La conduction thermique : transfert de chaleur à l'intérieur du verre et du yaourt.
- La convection thermique : mouvement de l'air froid à l'intérieur du réfrigérateur autour du pot.
- Le rayonnement thermique : émission d'ondes électromagnétiques par le pot vers son environnement.

Question 5 – Flux thermique initial Φ_0 et évolution au cours du temps

À $t = 0$, la température du pot est $\theta_0 = 30 \text{ °C}$ et la température du réfrigérateur est $\theta_{\text{réfri}} = 4,0 \text{ °C}$:

$$\begin{aligned}\Phi_0 &= h \times S \times (\theta_0 - \theta_{\text{réfri}}) \\ \Phi_0 &= 10 \times 0,019 \times (30 - 4,0) \\ \Phi_0 &= 10 \times 0,019 \times 26 = 4,9 \text{ W}\end{aligned}$$

$$\Phi_0 = 4,9 \text{ W}$$

Au cours du temps, la température θ du pot diminue et tend vers $\theta_{\text{réfri}}$.

L'écart $(\theta - \theta_{\text{réfri}})$ diminue donc.

Comme $\Phi = h \times S \times (\theta - \theta_{\text{réfri}})$, le flux thermique Φ diminue au cours du temps et tend vers 0.

Question 6 – Température finale et énergie thermique perdue

Après un temps très long, le pot atteint l'équilibre thermique avec l'intérieur du réfrigérateur :

$$\theta_{\text{finale}} = \theta_{\text{réfri}} = 4,0 \text{ °C}$$

L'énergie thermique perdue par le pot {P} lors de son refroidissement complet (de 30 °C à $4,0 \text{ °C}$):

$$\begin{aligned}Q_{\text{perdue}} &= m \times c_Y \times |\Delta\theta| = m \times c_Y \times (\theta_0 - \theta_{\text{réfri}}) \\ Q_{\text{perdue}} &= 0,19 \times 2,5 \times 10^3 \times (30 - 4,0) \\ Q_{\text{perdue}} &= 0,19 \times 2\,500 \times 26 = 12\,350 \text{ J} = 12 \text{ kJ}\end{aligned}$$

$$Q_{\text{perdue}} = 12 \text{ kJ} \quad \blacksquare$$

Question 7 – Durée Δt_0 pour un transfert à puissance constante Φ_0

Si le flux était constant et égal à $\Phi_0 = 4,9 \text{ W}$, la durée nécessaire pour transférer $Q = 12\,000 \text{ J}$ serait :

$$\Delta t_0 = Q_{\text{perdue}} / \Phi_0 = 12\,000 / 4,94$$

$$\Delta t_0 = 2\,430 \text{ s} = 40 \text{ min}$$

$$\Delta t_0 = 2\,430 \text{ s} = 40 \text{ minutes}$$

Question 8 – Allure de la courbe $\theta(t)$ et détermination graphique de τ

Le modèle donne :

$$\theta(t) = (\theta_0 - \theta_{\text{réfri}}) \times e^{(-t/\tau)} + \theta_{\text{réfri}}$$

$$\text{avec } \tau = m \times c_Y / (h \times S) = (0,19 \times 2\,500) / (10 \times 0,019) = 475 / 0,19 = 2\,500 \text{ s}$$

La courbe est une exponentielle décroissante :

- Valeur initiale ($t = 0$) : $\theta(0) = \theta_0 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$
- Valeur finale ($t \rightarrow +\infty$) : $\theta \rightarrow \theta_{\text{réfri}} = 4,0 \text{ }^\circ\text{C}$
- Le temps caractéristique τ correspond au temps au bout duquel la température a diminué de 63 % de l'écart initial : $\theta(\tau) = \theta_{\text{réfri}} + (\theta_0 - \theta_{\text{réfri}})/e \approx 4,0 + 26/2,718 \approx 13,6 \text{ }^\circ\text{C}$

Méthode graphique de détermination de τ : tracer la tangente à la courbe en $t = 0$. Elle coupe l'asymptote horizontale $\theta = \theta_{\text{réfri}}$ au point d'abscisse τ . Alternativement, relever sur la courbe l'instant où $\theta = \theta_{\text{réfri}} + (\theta_0 - \theta_{\text{réfri}})/e \approx 13,6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Question 9 – Comparaison de τ et Δt_0

$$\tau = m \times c_Y / (h \times S) = (0,19 \times 2\,500) / (10 \times 0,019) = 475 / 0,19 = 2\,500 \text{ s} \approx 42 \text{ min}$$

$\tau \approx 2\,500 \text{ s} \approx 42 \text{ min} > \Delta t_0 \approx 2\,430 \text{ s} \approx 40 \text{ min}$. Ces deux valeurs sont très proches (environ 40 minutes). Cela est cohérent : Δt_0 correspond à une durée calculée avec un flux constant égal au flux maximal initial Φ_0 . En réalité, le flux diminue au cours du temps (la loi exponentielle), donc le refroidissement réel prend légèrement plus longtemps. Le temps caractéristique τ , légèrement supérieur, intègre bien cette décroissance du flux.

Exercice 3 — Le satellite TESS

1 — Étude du système TOI 270

Question 1 – Expression de la force d'attraction gravitationnelle exercée sur l'exoplanète 2

L'étoile E exerce sur l'exoplanète 2 une attraction gravitationnelle. Dans le repère de Frenet, le vecteur $-u_N$ est orienté de l'exoplanète vers l'étoile (vers le centre de la trajectoire circulaire). La force est donc :

$$\text{Vecteur (F)} = G \times M_E \times M_2 / R_2^2 \times \text{vecteur (}u_N\text{)}$$

Question 2 – Expression de la vitesse v_2 de l'exoplanète 2

Dans le repère de Frenet, on a :

$$\text{Vecteur (a)} = dv/dt \times \text{vecteur (}u_T\text{)} + (v_2^2 / R_2) \times \text{vecteur (}u_N\text{)}$$

On applique la 2^e loi de Newton à l'exoplanète 2 :

$$M_2 \times \text{vecteur (a)} = \text{somme vectorielle (Fext)}$$

$$\text{Vecteur (a)} = (G \times M_E / R_2^2) \times \text{vecteur (}u_N\text{)}$$

Par identification on a donc sur u_T , $dv/dt = 0$

et sur u_N , $v_2^2 / R_2 = G \times M_E / R_2^2$

$$v_2^2 = G \times M_E / R_2$$

$$v_2 = \sqrt{G \times M_E / R_2}$$

Question 3 – Établissement de la relation $M_E = 4\pi^2 R_2^3 / (G \cdot T_2^2)$

La vitesse orbitale peut aussi s'exprimer à l'aide de la période T_2 (un tour de périmètre $2\pi R_2$ en une durée T_2) :

$$v_2 = 2\pi \times R_2 / T_2$$

En élevant au carré et en utilisant le résultat de Q2 :

$$(2\pi \times R_2 / T_2)^2 = G \times M_E / R_2$$

$$4\pi^2 \times R_2^2 / T_2^2 = G \times M_E / R_2$$

$$M_E = 4\pi^2 \times R_2^3 / (G \times T_2^2)$$

Question 4 – Vérification numérique de M_E

On convertit R_2 et T_2 :

$$R_2 = 1,08 \times 10^7 \text{ km} = 1,08 \times 10^{10} \text{ m}$$

$$T_2 = 11,4 \text{ jours} = 11,4 \times 24 \times 3600 = 984\,960 \text{ s} \approx 9,85 \times 10^5 \text{ s}$$

Application numérique :

$$ME = 4\pi^2 \times (1,08 \times 10^{10})^3 / (6,67 \times 10^{-11} \times (9,85 \times 10^5)^2)$$

$$ME = 7,69 \times 10^{29} \text{ kg}$$

$$ME = 7,69 \times 10^{29} \text{ kg}$$

Cette valeur est bien voisine de $ME = 7,68 \times 10^{29} \text{ kg}$ donnée dans le tableau. Le calcul est validé.

Question 5 – Détermination de T_1 par la 3^{ème} loi de Kepler

La 3^e loi de Kepler (loi des périodes) pour deux planètes orbitant autour du même astre central:

$$T_1^2 / R_1^3 = T_2^2 / R_2^3$$

$$T_1^2 = T_2^2 \times (R_1/R_2)^3$$

Application numérique avec $R_1 = 6,77 \times 10^6 \text{ km}$, $R_2 = 1,08 \times 10^7 \text{ km}$, $T_2 = 11,4 \text{ jours}$:

$$T_1^2 = (11,4)^2 \times 0,2464 = 32,03$$

$$T_1 = \sqrt{32,03} = 5,66 \text{ jours}$$

$$T_1 = 5,66 \text{ jours terrestres}$$

2 — Mesure expérimentale de T_1 par transit planétaire

Question 6 – Influence de la taille de l'exoplanète sur ΔP_{lum}

Plus l'exoplanète est grande (r_1 grand), plus elle occulte une grande surface de l'étoile, et plus la puissance lumineuse reçue par la caméra diminue. La relation $\Delta P_{\text{lum}} = (r_1/r_E)^2$ montre que ΔP_{lum} est proportionnel au carré du rayon de l'exoplanète : une exoplanète plus grande produit une diminution plus importante de la puissance lumineuse relative.

Question 7 – Vérification de $r_1 \approx 1,7 \times 10^4$ km

La relation donnée est :

$$\Delta P_{\text{lum}} = (r_1 / r_E)^2$$

D'après la figure 3, la puissance lumineuse relative lors du transit descend à une valeur minimale d'environ 0,996, donc :

$$\Delta P_{\text{lum}} = 1 - 0,996 = 0,004$$

On isole r_1 :

$$r_1 = r_E \times \sqrt{\Delta P_{\text{lum}}} = 2,63 \times 10^5 \times \sqrt{0,004}$$

$$r_1 = 1,66 \times 10^4 \text{ km}$$

$$r_1 \approx 1,7 \times 10^4 \text{ km} \quad \blacksquare$$

Question 8 – Estimation de T_1 à partir des figures 2 et 3

D'après la figure 3, le transit dure de $t_i \approx -1$ h à $t_f \approx +1$ h, soit une durée de transit :

$$\Delta t_{\text{transit}} = t_f - t_i \approx 2 \text{ h} = 7\,200 \text{ s}$$

D'après la figure 2, pendant le transit, l'exoplanète 1 (de rayon r_1) traverse devant l'étoile E (de rayon r_E). La distance parcourue est approximativement $2(r_1 + r_E)$ (la corde visible vaut environ le diamètre de l'étoile pour une petite exoplanète, mais plus précisément la longueur parcourue lors du transit est $2(r_1 + r_E)$).

L'angle α est petit (approximation des petits angles), et la distance parcourue lors du transit est $d \approx 2(r_1 + r_E) \times (R_1/r_E)$, mais on peut raisonner plus simplement :

La vitesse orbitale de l'exoplanète 1 est $v_1 = 2\pi R_1/T_1$. Pendant le transit, elle parcourt une distance $d \approx 2(r_1 + r_E)$:

$$v_1 = d / \Delta t_{\text{transit}} = 2(r_1 + r_E) / \Delta t_{\text{transit}}$$

$$v_1 = 2 \times (1,7 \times 10^4 + 2,63 \times 10^5) \times 10^3 / 7\,200$$

$$v_1 = 2 \times 2,80 \times 10^8 / 7200 = 7,78 \times 10^4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

On en déduit T_1 :

l'Étudiant

$$T_1 = 2\pi \times R_1 / v_1 = 2\pi \times 6,77 \times 10^9 / 7,78 \times 10^4$$

$$T_1 = 5,47 \times 10^5 \text{ s} \approx 6,3 \text{ jours}$$

$T_1 \approx 6$ jours (estimation expérimentale par transit)

Commentaire : cette valeur expérimentale d'environ 6 jours est cohérente avec la valeur calculée par la 3^e loi de Kepler à la question 5 ($T_1 \approx 5,66$ jours). Le léger écart s'explique par l'incertitude sur la lecture graphique du début et de la fin du transit sur la figure 3, et par l'approximation utilisée pour la longueur de la corde du transit.