
Bac Terminale Physique Chimie - Métropole 2026 - J2

Exercice 1 – Le kéfir de fruit (9 points)

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

Q1. Le dispositif de titrage conductimétrique se compose des éléments suivants :

Une burette graduée contenant la solution titrante : solution aqueuse de nitrate d'argent ($Ag^+(aq) + NO_3^-(aq)$) de concentration $C = 1,00 \times 10^{-2} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Un bécher contenant la solution titrée : eau du robinet de volume $V_1 = 250,0 \text{ mL}$.

Un système d'agitation magnétique (agitateur magnétique et barreau aimanté) permettant d'homogénéiser le mélange.

Un conductimètre relié à une cellule conductimétrique immergée dans la solution titrée (sans toucher le barreau aimanté).

Q2. Lignes de code 4 et 5 complétées :

Ligne 4: $V1 = 250.0$

Ligne 5: $C = 1 * 10 * (-2)$

Q3. À l'équivalence d'un titrage, les réactifs sont introduits dans les proportions stœchiométriques. D'après l'équation de la réaction $Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \rightarrow AgCl(s)$, on a à l'équivalence :

$$n_i(Cl^-) = n_E(Ag^+), \text{ soit } C_1 \cdot V_1 = C \cdot V_E.$$

La ligne 7 complétée est :

$$VE = (C1 * V1)/C$$

Q4. La quantité de chlorure d'argent $AgCl(s)$ formé (produit) évolue ainsi :

À l'état initial ($V = 0$), la quantité de produit est nulle : 0.

À l'équivalence ($V = V_E$), la quantité formée est maximale et vaut $n(AgCl) = C \cdot V_E \cdot 10^{-3}$ mol.

Après l'équivalence ($V = V_{max}$), la quantité de produit n'augmente plus et reste égale à $C \cdot V_E \cdot 10^{-3}$ mol.

La ligne 15 complétée est :

$$n_{produit} = [0, C * VE * 0.001, C * VE * 0.001]$$

Q5. L'ion nitrate $NO_3^-(aq)$ est un ion spectateur. Sa quantité de matière introduite à un volume V de solution titrante versé vaut $n(NO_3^-) = C \cdot V$ (avec V exprimé en litres).

Pour $V = 0$ mL : $n(NO_3^-) = 0$ mol.

Pour $V = V_E = 12,5$ mL : $n(NO_3^-) = 1,00 \times 10^{-2} \times 12,5 \times 10^{-3} = 1,25 \times 10^{-4}$ mol.

Pour $V = V_{max} = 25$ mL : $n(NO_3^-) = 1,00 \times 10^{-2} \times 25 \times 10^{-3} = 2,50 \times 10^{-4}$ mol.

Le tracé correspondant est une droite passant par l'origine (0 ; 0), par le point (12,5 mL ; $1,25 \times 10^{-4}$ mol) et se terminant au point (25 mL ; $2,50 \times 10^{-4}$ mol).

Q6. Interprétation qualitative de l'évolution de la conductivité σ :

Avant l'équivalence ($V < V_E$) : Chaque ion Ag^+ apporté réagit immédiatement avec un ion Cl^- pour former un précipité neutre de $AgCl$. Les ions Cl^- consommés sont ainsi remplacés par des ions

spectateurs NO_3^- de conductivité ionique molaire légèrement inférieure ($\lambda(NO_3^-) = 7,1 \text{ mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1} < \lambda(Cl^-) = 7,6 \text{ mS}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$). En conséquence, la conductivité du mélange diminue légèrement.

Après l'équivalence ($V > V_E$) : Tous les ions Cl^- ont été consommés. Les ions Ag^+ et NO_3^- ajoutés ne réagissent plus et s'accumulent dans la solution, augmentant fortement la conductivité de la solution.

Q7. Sur la courbe de suivi conductimétrique (figure 2), l'équivalence correspond au minimum de conductivité, soit un volume équivalent $V_E = 12,5 \text{ mL}$.

Calculons la concentration en quantité de matière C_1 d'ions chlorure dans l'eau :

$$C_1 = \frac{C \cdot V_E}{V_1} = \frac{1,00 \times 10^{-2} \times 12,5}{250,0} = 5,00 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Calculons la concentration en masse $t(Cl^-)$:

$$t(Cl^-) = C_1 \cdot M(Cl) = 5,00 \times 10^{-4} \times 35,5 = 1,78 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$$

La teneur maximale tolérée pour l'activité fermentaire des grains de kéfir est de $2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$. Comme $1,78 \times 10^{-2} \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \ll 2 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, cette eau du robinet convient parfaitement pour préparer le kéfir de fruit.

2. Évolution de la cinétique de la réaction de fermentation

Q8. On peut également suivre la cinétique de cette réaction par pressiométrie (en mesurant l'augmentation de la pression due au dégagement de $CO_2(g)$ dans un bocal hermétiquement fermé) ou par suivi de la perte de masse du système ouvert (due à la fuite de CO_2).

Q9. Établissons un tableau d'avancement simplifié en quantité de matière :

État	Avancement	$C_6H_{12}O_6$	$2CH_3CH_2OH$	$2CO_2$
Initial	0	$n_{glu}(t_0)$	0	0
Encours	$x(t)$	$n_{glu}(t_0) - x(t)$	$2x(t)$	$2x(t)$

D'après ce tableau, à l'instant t :

$$n_{\text{éth}}(t) = 2x(t) \implies x(t) = \frac{n_{\text{éth}}(t)}{2} = \frac{C_{\text{éth}}(t) \cdot V_{\text{Boisson}}}{2}$$

En remplaçant dans l'expression de la quantité de glucose :

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

Q10. La vitesse de disparition du glucose est définie par $v_{\text{disp}} = -\frac{dC_{\text{glu}}}{dt}$.

Si cette vitesse suit une loi d'ordre 1, elle est proportionnelle à la concentration restante en glucose :

$$v_{\text{disp}} = k \cdot C_{\text{glu}}(t).$$

Par égalité des deux expressions, on obtient :

$$-\frac{dC_{\text{glu}}(t)}{dt} = k \cdot C_{\text{glu}}(t) \implies \frac{dC_{\text{glu}}(t)}{dt} + k \cdot C_{\text{glu}}(t) = 0$$

Q11. En dérivant l'expression proposée par rapport au temps :

$$\frac{dC_{\text{glu}}}{dt} = \frac{d}{dt}(C_{\text{glu}}(0) \cdot e^{-k \cdot t}) = -k \cdot C_{\text{glu}}(0) \cdot e^{-k \cdot t} = -k \cdot C_{\text{glu}}(t)$$

En injectant cette dérivée dans l'équation différentielle :

$$-k \cdot C_{\text{glu}}(t) + k \cdot C_{\text{glu}}(t) = 0$$

L'équation différentielle est bien vérifiée. De plus, à $t = 0$, $C_{\text{glu}}(0) \cdot e^0 = C_{\text{glu}}(0)$, ce qui valide la condition initiale.

Q12. D'après la solution de l'équation différentielle :

$$\ln(C_{\text{glu}}(t)) = \ln(C_{\text{glu}}(0) \cdot e^{-k \cdot t}) = \ln(C_{\text{glu}}(0)) - k \cdot t$$

Le graphique représentant $\ln(C_{\text{glu}})$ en fonction de t doit donc être une droite de pente négative égale à $-k$ et d'ordonnée à l'origine égale à $\ln(C_{\text{glu}}(0))$. Les points expérimentaux de la figure 3 étant parfaitement alignés sur une droite d'équation $\ln C_{\text{glu}} = -5,34 \times 10^{-6} \cdot t - 2,22$, la loi de vitesse d'ordre 1 est confirmée.

Q13. Par identification avec l'équation de la modélisation :

$$\ln(C_{\text{glu}}(0)) = -2,22 \implies C_{\text{glu}}(0) = e^{-2,22} \approx 0,1086 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Le volume de la boisson préparée étant $V_{\text{Boisson}} = 1,0 \text{ L}$, la quantité de matière initiale de glucose est $n_{\text{glu}}(0) = 0,1086 \text{ mol}$.

La masse de glucose initialement introduite est :

$$m_{\text{glu}}(0) = n_{\text{glu}}(0) \cdot M(C_6H_{12}O_6) = 0,1086 \times 180,0 \approx 19,5 \text{ g}$$

Cette valeur de 19,5 g est très proche des 20 g introduits expérimentalement (écart de 2,5 % dû aux approximations de lecture graphique), ce qui est tout à fait cohérent.

Q14. Déterminons la valeur de la constante de vitesse d'après la pente : $k = 5,34 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$.

Le temps de demi-réaction est :

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{\ln 2}{5,34 \times 10^{-6}} \approx 1,30 \times 10^5 \text{ s} \approx 36 \text{ h}$$

La recette préconise une fermentation de "durant au moins 24 h". Au bout de 24 h ($t < t_{1/2}$), moins de la moitié du sucre initial a été consommée. La boisson contiendra donc encore une quantité significative de glucose non fermenté, assurant ainsi le goût sucré agréable recherché pour cette boisson.

3. Arôme de la boisson végétale de kéfir

Q15. Attribution des spectres :

L'acide citrique possède plusieurs groupes hydroxyle $-OH$ (alcool et acides carboxyliques). Son spectre infrarouge doit donc présenter une bande d'absorption caractéristique très forte et large vers $3200 - 3700 \text{ cm}^{-1}$. C'est le cas du **Spectre A**.

Le citral ne comporte pas de groupe hydroxyle $-OH$, mais possède un groupe carbonyle $C=O$ (aldéhyde) se traduisant par une bande forte et fine vers $1650 - 1730 \text{ cm}^{-1}$. Son spectre ne doit pas présenter de bande large vers 3300 cm^{-1} . C'est le cas du **Spectre B**.

Q16. Analyse des critères pour le choix du solvant d'extraction :

Le solvant ne doit pas être miscible avec l'eau (le kéfir étant une solution aqueuse). L'eau est donc exclue.

Les trois composés (limonène, citral et acide citrique) doivent y être solubles. Le cyclohexane n'est pas adapté car l'acide citrique y possède une solubilité nulle.

L'acétate d'éthyle est faiblement miscible avec l'eau et offre une solubilité convenable pour le limonène et le citral, et grande pour l'acide citrique. C'est donc le solvant idéal pour l'extraction simultanée.

Q17. Sur le chromatogramme (figure 6), on observe que le dépôt K de l'extrait de kéfir présente une tache à la même hauteur que le dépôt de référence A (acide citrique). L'acide citrique est donc présent dans la boisson.

L'acide citrique, naturellement présent dans le citron, est l'espèce responsable de la saveur acide/acidulée du kéfir.

Exercice 2 – La yaourtière (5,5 points)

1. Fabrication des yaourts dans la yaourtière

Q1. Lors de l'étape A, le système $\{S\}$ subit une augmentation de température de $\theta_{\text{amb}} = 20^\circ\text{C}$ à $\theta_{\text{fab}} = 43^\circ\text{C}$. L'énergie thermique transférée est :

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

Q2. Pendant l'étape A, l'énergie électrique consommée par la yaourtière est $E_{\text{el},A} = P_A \cdot \Delta t_A$. D'après l'énoncé, 85 % de cette énergie est convertie en transfert thermique :

$$Q_{\text{chauffage}} = 0,85 \cdot P_A \cdot \Delta t_A \implies \Delta t_A = \frac{Q_{\text{chauffage}}}{0,85 \cdot P_A} = \frac{9,2 \times 10^4}{0,85 \times 150} \approx 722 \text{ s}$$

Soit $\Delta t_A \approx 12 \text{ min}$.

La phase de chauffage totale durant 8 heures, la durée de l'étape B est :

$$\Delta t_B = 8 \text{ h} - \Delta t_A = 8 \text{ h} - 12 \text{ min} = 7 \text{ h } 48 \text{ min}$$

Cette durée est bien de l'ordre de 7 heures et 50 minutes.

Q3. Déterminons d'abord l'énergie électrique totale consommée lors de la fabrication (8 h) :

Énergie consommée lors de l'étape A :

$$E_{el,A} = 150 \text{ W} \times 722 \text{ s} = 1,08 \times 10^5 \text{ J} = \frac{1,08 \times 10^5}{3600} \text{ Wh} \approx 30 \text{ Wh}.$$

Énergie consommée lors de l'étape B : $E_{el,B} = P_B \cdot \Delta t_B = 20 \text{ W} \times 7,8 \text{ h} = 156 \text{ Wh}$.

Énergie totale consommée : $E_{el,tot} = 30 + 156 = 186 \text{ Wh} = 0,186 \text{ kWh}$.

Calculons le coût total pour une fournée de 7 yaourts :

Électricité : $0,186 \text{ kWh} \times 0,20 \text{ €/kWh} \approx 0,04 \text{ €}$.

Lait : $0,700 \text{ L} \times 1,05 \text{ €/L} = 0,735 \text{ €}$.

Ferments lactiques : $0,64 \text{ €}$.

Coût total pour 7 yaourts : $0,04 + 0,735 + 0,64 = 1,415 \text{ €}$.

Le coût d'un yaourt maison est ainsi de $1,415/7 \approx 0,20 \text{ €}$.

Comparé au prix d'un yaourt du commerce (0,35 €), le yaourt maison est près de deux fois moins cher. L'argument économique est donc pleinement vérifié.

2. Refroidissement des yaourts dans le réfrigérateur

Q4. Les trois modes de transfert thermique sont la conduction, la convection et le rayonnement.

Q5. Le flux thermique initial Φ_0 cédé par le pot à $t = 0$ (pour $\theta_0 = 30\text{ °C}$) est :

$$\Phi_0 = h \cdot S \cdot (\theta_0 - \theta_{\text{réfri}}) = 10 \times 0,019 \times (30 - 4,0) = 4,94\text{ W}$$

Au cours du temps, la température $\theta(t)$ du yaourt diminue et se rapproche de celle du réfrigérateur $\theta_{\text{réfri}}$. L'écart thermique $(\theta - \theta_{\text{réfri}})$ diminuant, le flux thermique $\Phi(t)$ diminue lui aussi progressivement au cours du temps pour tendre vers 0.

Q6. Après un temps très long, le système est à l'équilibre thermique avec l'air du réfrigérateur, sa température finale est donc de $\theta_f = 4,0\text{ °C}$.

L'énergie thermique Q perdue par le système au cours du refroidissement vaut :

$$Q = m \cdot c_Y \cdot (\theta_f - \theta_0) = 0,19 \times 2,5 \times 10^3 \times (4,0 - 30) = -12350\text{ J} \approx -12\text{ kJ}$$

La valeur absolue de l'énergie thermique transférée est donc bien voisine de 12 kJ.

Q7. Si le transfert thermique s'effectuait à la puissance constante Φ_0 :

$$\Delta t_0 = \frac{|Q|}{\Phi_0} = \frac{1,235 \times 10^4}{4,94} = 2500\text{ s} \approx 42\text{ min}$$

Q8. La courbe représentative de la température $\theta(t)$ est une décroissance exponentielle commençant à $\theta_0 = 30\text{ °C}$ et tendant vers l'asymptote horizontale $\theta = 4,0\text{ °C}$.

Méthode graphique pour déterminer le temps caractéristique τ :

Tracer la tangente à la courbe à l'instant $t = 0$.

L'abscisse du point d'intersection entre cette tangente et l'asymptote horizontale $\theta = 4,0\text{ °C}$ correspond à τ .

Alternativement, τ correspond au temps au bout duquel la température a diminué de 63 % de sa variation totale, soit : $\theta(\tau) = 30 - 0,63 \times (30 - 4,0) = 13,6^\circ\text{C}$.

Q9. Calculons la valeur de τ :

$$\tau = \frac{m \cdot c_Y}{h \cdot S} = \frac{0,19 \times 2,5 \times 10^3}{10 \times 0,019} = 2500 \text{ s}$$

On constate que $\tau = \Delta t_0 = 2500 \text{ s}$. La constante de temps τ représente la durée qu'aurait pris le refroidissement si la vitesse de refroidissement (le flux thermique) était restée constante et égale à sa valeur initiale.

Exercice 3 – Le satellite TESS (5,5 points)

1. Étude du système « TOI 270 »

Q1. Force d'attraction gravitationnelle exercée par l'étoile E sur l'exoplanète 2 :

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

Q2. En appliquant la deuxième loi de Newton à l'exoplanète 2 dans le référentiel galiléen de l'étoile, on a : $\vec{F} = M_2 \cdot \vec{a}$.

$$\frac{G \cdot M_2 \cdot M_E}{R_2^2} \vec{u}_N = M_2 \cdot \left(\frac{dv_2}{dt} \vec{u}_T + \frac{v_2^2}{R_2} \vec{u}_N \right)$$

Par identification sur l'axe normal de Frenet $\vec{u}_N$:

$$\frac{G \cdot M_E}{R_2^2} = \frac{v_2^2}{R_2} \implies v_2 = \sqrt{\frac{G \cdot M_E}{R_2}}$$

Q3. La période de révolution de l'exoplanète 2 s'écrit :

$$T_2 = \frac{2\pi \cdot R_2}{v_2} \implies T_2^2 = \frac{4\pi^2 \cdot R_2^2}{v_2^2}$$

En remplaçant v_2^2 par son expression :

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

Q4. Convertissons les données de l'exoplanète 2 en unités SI :

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

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

Calculons la masse M_E :

$$M_E = \frac{4\pi^2 \times (1,08 \times 10^{10})^3}{6,67 \times 10^{-11} \times (9,85 \times 10^5)^2} \approx 7,68 \times 10^{29} \text{ kg}$$

La valeur obtenue est identique à celle fournie dans le tableau de données.

Q5. La troisième loi de Kepler appliquée au système s'écrit :

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3} \implies T_1 = T_2 \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{3/2}$$

Calculons T_1 :

$$T_1 = 11,4 \times \left(\frac{6,77 \times 10^6}{1,08 \times 10^7} \right)^{3/2} = 11,4 \times (0,627)^{1,5} \approx 5,66 \text{ jours}$$

2. Mesure expérimentale de la période de révolution T1 de l'exoplanète 1

Q6. D'après la formule fournie, la diminution relative de puissance ΔP_{lum} est proportionnelle au carré du rayon r_1 de l'exoplanète. Ainsi, plus l'exoplanète est grande, plus l'atténuation lumineuse lors du transit est importante.

Q7. Sur la figure 3, on lit une diminution de la puissance lumineuse relative d'environ $\Delta P_{\text{lum}} = 1,000 - 0,9958 = 0,0042$.

On en déduit :

$$\frac{r_1}{r_E} = \sqrt{\Delta P_{\text{lum}}} = \sqrt{0,0042} \approx 0,0648 \implies r_1 = 0,0648 \times 2,63 \times 10^5 \approx 1,7 \times 10^4 \text{ km}$$

La valeur attendue est bien confirmée.

Q8. D'après le graphe du transit (figure 3), la baisse de luminosité commence à $t_i \approx -0,85 \text{ h}$ et s'achève à $t_f \approx 0,85 \text{ h}$, ce qui donne une durée de transit de :

$$\Delta t_{\text{transit}} \approx 1,7 \text{ h}$$

Pendant cette durée, l'exoplanète parcourt sur son orbite un angle égal à 2α . Comme le mouvement est uniforme, on a :

$$\frac{2\alpha}{2\pi} = \frac{\Delta t_{\text{transit}}}{T_1} \implies T_1 = \pi \cdot \frac{\Delta t_{\text{transit}}}{\alpha}$$

Par trigonométrie (figure 2), pour α petit (en radians) :

$$\alpha \approx \sin \alpha \approx \frac{r_E + r_1}{R_1} \approx \frac{2,63 \times 10^5 + 1,7 \times 10^4}{6,77 \times 10^6} \approx 0,0414 \text{ rad}$$

Estimons alors la période de révolution T_1 :

$$T_1 = \pi \times \frac{1,7}{0,0414} \approx 129 \text{ h} \approx 5,4 \text{ jours}$$

Cette estimation expérimentale (5,4 jours) est très cohérente avec la valeur théorique obtenue par la troisième loi de Kepler (5,66 jours). L'écart minime s'explique par la précision limitée de la lecture graphique de la durée du transit.

