BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

ÉPREUVE D'ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ

SESSION 2026

PHYSIQUE-CHIMIE

Mercredi 17 juin 2026

Durée de l'épreuve : **3 heures 30**

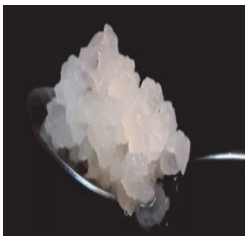
L'usage de la calculatrice avec mode examen actif est autorisé.
L'usage de la calculatrice sans mémoire, « type collège », est autorisé.

Dès que ce sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Ce sujet comporte 14 pages numérotées de 1/14 à 14/14.

L'annexe page 14 est à rendre avec la copie.

Exercice 1 – Le kéfir de fruit (9 points)

Le kéfir de fruit est une boisson fermentée, naturellement pétillante et peu sucrée, obtenue par la fermentation à l'aide de grains de kéfir. Ces grains sont constitués de levures et de bactéries, micro-organismes responsables du processus de fermentation.



Grains de kéfir
D'après mnhn.fr/fr

L'objectif de cet exercice est d'étudier différents paramètres de la préparation du kéfir susceptibles d'influencer ses caractéristiques gustatives, en particulier les paramètres liés à la fermentation.

On peut trouver sur internet une recette permettant de produire 1 litre de kéfir de fruit :

- ingrédients :
  - 20 g de grains de kéfir ;
  - 20 g de sucre ;
  - 2 tranches de citron ;
  - 1 figue sèche ;
  - quantité suffisante d'eau du robinet pour obtenir 1 L de boisson ;
- recette :
  - introduire tous les ingrédients dans un grand bocal fermé ;
  - laisser fermenter à température ambiante dans un endroit sec, à l'abri de la lumière, durant au moins 24 h.

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

La teneur en ions chlorure de l'eau du robinet doit être contrôlée car une concentration trop élevée détruit les bactéries, empêchant ainsi les transformations chimiques qui se produisent lors de la fermentation.

On réalise le titrage par conductimétrie d'un volume V_1 = 250,0 mL d'eau du robinet par une solution aqueuse de nitrate d'argent ($Ag^+(aq)$; $NO_3^-(aq)$) de concentration C = 1,00 x 10^{-2} mol·L^{-1}.

L'équation de réaction modélisant la transformation support de ce titrage est :

$$Ag^+(aq) + C\ell^-(aq) \rightarrow AgC\ell(s)$$

Données :

- masse molaire atomique du chlore :
  - $M(C\ell)$ = 35,5 g·mol^{-1} ;
- conductivités ioniques molaires à 25 °C de quelques ions :
  - $\lambda(C\ell^-)$ = 7,6 mS·m^2·mol^{-1} ;
  - $\lambda(NO_3^-)$ = 7,1 mS·m^2·mol^{-1} ;
  - $\lambda(Ag^+)$ = 6,2 mS·m^2·mol^{-1}.

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

On souhaite étudier l'évolution des quantités de matière des espèces $C\ell^-$, Na^+, et $AgC\ell$ présentes dans le milieu au cours du titrage et prévoir l'allure de la courbe de titrage. Un programme en langage Python permet de simuler le titrage réalisé, en prenant une valeur de concentration de la solution titrée proche de celle attendue. Un extrait de ce programme est fourni sur la figure 1.

```
1   from pylab import *
2
3   C1=5E-4        # Concentration solution titrée en mol/L
4   V1=            # Volume de solution titrée en mL
5   C=             # Concentration solution titrante en mol/L
6   Vmax=25        # Volume maximal affiché en mL
7   VE=            # Calcul du volume à l'équivalence en mL
8
9   ### Listes des quantités de matière [initiale, à VE, à Vmax] (en mol)
10  ### Quantité de matière en ions argent (en mol)
11  ntitrant=[0,0,C*(Vmax-VE)*0.001]
12  ### Quantité de matière en ions chlorure (en mol)
13  ntitré=[C1*V1*0.001,0,0]
14  ### Quantité de matière en chlorure d'argent formé (en mol)
15  nproduit=
16
17  V=[0,VE,Vmax]
```

Figure 1. Extrait du programme en langage Python

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

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

Les lignes de code 11, 13 et 15 permettent de calculer les quantités de matière pour les espèces chimiques mentionnées sur la simulation. La ligne de code 15 donne les expressions des quantités de matière du chlorure d'argent formé pour trois volumes versés différents de solution titrante : V = 0 ; V = VE et V = Vmax.

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

L'ion nitrate NO_3^- est une autre espèce ionique présente dans le milieu réactionnel : cette espèce ne participe pas à la transformation chimique mise en jeu.

Après exécution, le programme de simulation fournit la figure de l'**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE** représentant l'évolution, au cours du titrage, des quantités de matière des espèces qui interviennent dans la réaction support du titrage : Ag^+, $C\ell^-$ et $AgC\ell$.

Q5. Tracer sur la figure de l'**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE** l'évolution de la quantité de matière des ions nitrate en fonction du volume *V* de solution titrante ajouté.

Q6. À l'aide des courbes fournies par le programme de simulation et présentées sur l'**ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE**, interpréter qualitativement l'évolution de la conductivité au cours du titrage.

Une fois le titrage réalisé, on trace l'évolution de la conductivité du mélange, notée σ, en fonction du volume V de solution titrante ajouté. On obtient les résultats expérimentaux fournis en figure 2.

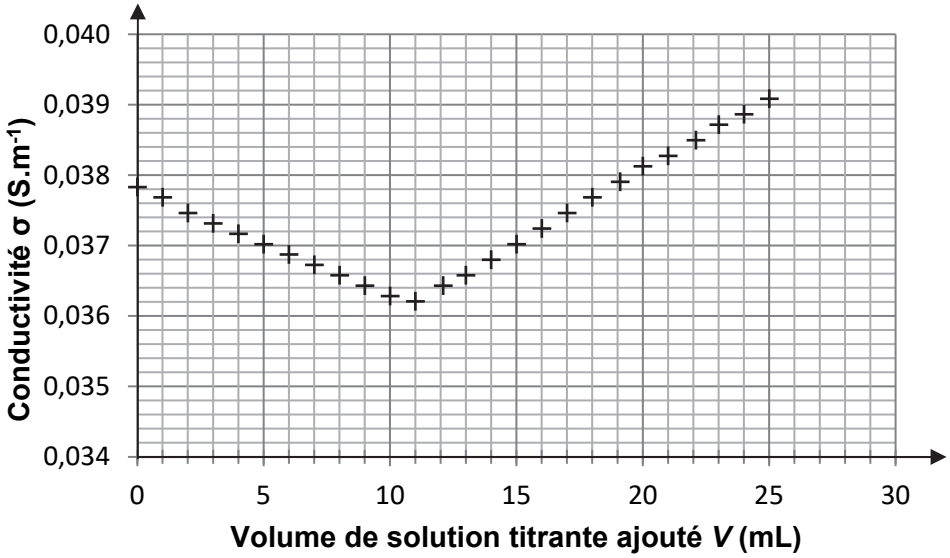


Figure 2. Suivi conductimétrique du titrage de l'eau du robinet

La teneur maximale en ions chlorure permettant l'activité fermentaire des bactéries contenues dans les grains de kéfir est de 2 $g \cdot L^{-1}$.

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

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter sa démarche même si elle n'a pas abouti. La démarche suivie est évaluée et nécessite donc d'être correctement présentée.

2. Évolution de la cinétique de la réaction de fermentation

Lors du processus de fermentation, le glucose apporté par le sucre est transformé en éthanol et en dioxyde de carbone : le dégagement gazeux qui en résulte est responsable de l'aspect pétillant de cette boisson.
On se propose d'étudier la cinétique de cette fermentation, qu'on modélise par l'équation de réaction suivante :

$$C_6H_{12}O_6(aq) \rightarrow 2\ CH_3CH_2OH(aq) + 2\ CO_2(g)$$

Données :

- masse molaire moléculaire : $M(C_6H_{12}O_6) = 180{,}0\ g \cdot mol^{-1}$.

La méthode étudiée consiste à suivre l'évolution de la concentration en éthanol au cours du temps dans le milieu réactionnel, à l'aide d'une sonde spécifique.

Pour cela, on prépare au laboratoire un litre de kéfir de fruit et on mesure la concentration en éthanol dissous dans le milieu réactionnel à l'aide d'une acquisition informatisée. La recette utilisée est celle proposée en début d'énoncé, les 20 g de sucre de la recette étant remplacés par 20 g de glucose. Pour la suite de l'exercice, on note $V_{Boisson}$ le volume de boisson préparé.

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

Afin de suivre la cinétique de la réaction de fermentation par la méthode choisie, il est nécessaire de relier la concentration en glucose à la concentration d'éthanol dans le milieu réactionnel.

Q9. Montrer que l'évolution de la quantité de matière de glucose au cours du temps peut être définie à partir de la quantité de matière d'éthanol selon l'expression littérale :

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

où $n_{glu}(t)$ et $n_{glu}(t_0)$ sont les quantités de matière de glucose respectivement à la date t et à l'instant initial $t_0 = 0$ et $C_{éth}(t)$ est la concentration en quantité de matière d'éthanol à la date t.
On pourra s'aider d'un tableau d'avancement.

On se propose de vérifier que l'évolution de la concentration en glucose suit une loi de vitesse d'ordre 1.

Q10. À partir de la définition de la vitesse de disparition du glucose et en supposant que cette vitesse suit une loi d'ordre 1, montrer que :

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

Q11. Justifier que cette équation différentielle admet pour solution une fonction d'expression :

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

À partir des résultats expérimentaux, on trace l'évolution temporelle du logarithme népérien de la concentration en quantité de matière de glucose, en mol·L^{-1}. Le graphique obtenu est fourni en figure 3.

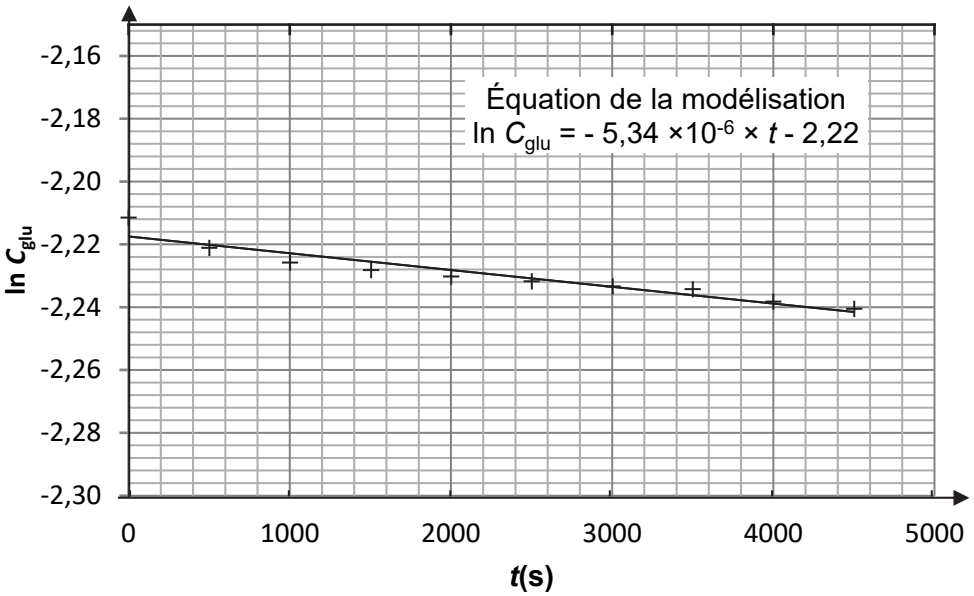


Figure 3. Évolution temporelle du logarithme népérien de la concentration en glucose

Q12. Justifier que ce tracé permet de confirmer que la vitesse de disparition du glucose lors de la fermentation suit bien une loi de vitesse d'ordre 1.

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

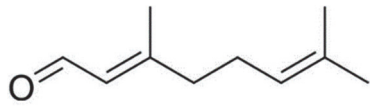
Le temps de demi-réaction peut se calculer à l'aide de l'expression suivante :

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

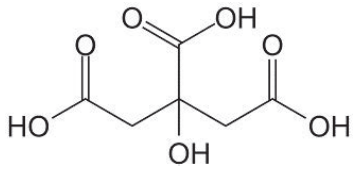
Q14. Déterminer la valeur du temps de demi-réaction à l'aide des résultats expérimentaux. Conclure quant à la recette fournie en début d'énoncé, sachant que la boisson doit encore contenir du sucre pour être agréable au goût.

3. Arôme de la boisson végétale de kéfir

La recette étudiée propose d'ajouter quelques tranches de citron pour donner un goût acidulé. Cet agrume contient dans son écorce des espèces chimiques telles que le limonène et le citral ; son jus est riche en acide citrique.
On se propose dans cette partie d'identifier les espèces présentes dans la boisson préparée et qui pourraient alors être responsables du goût acidulé de la boisson.



Citral



Acide citrique

Figure 4. Formules topologiques du citral et de l'acide citrique

Données :

- données de spectroscopie infrarouge :

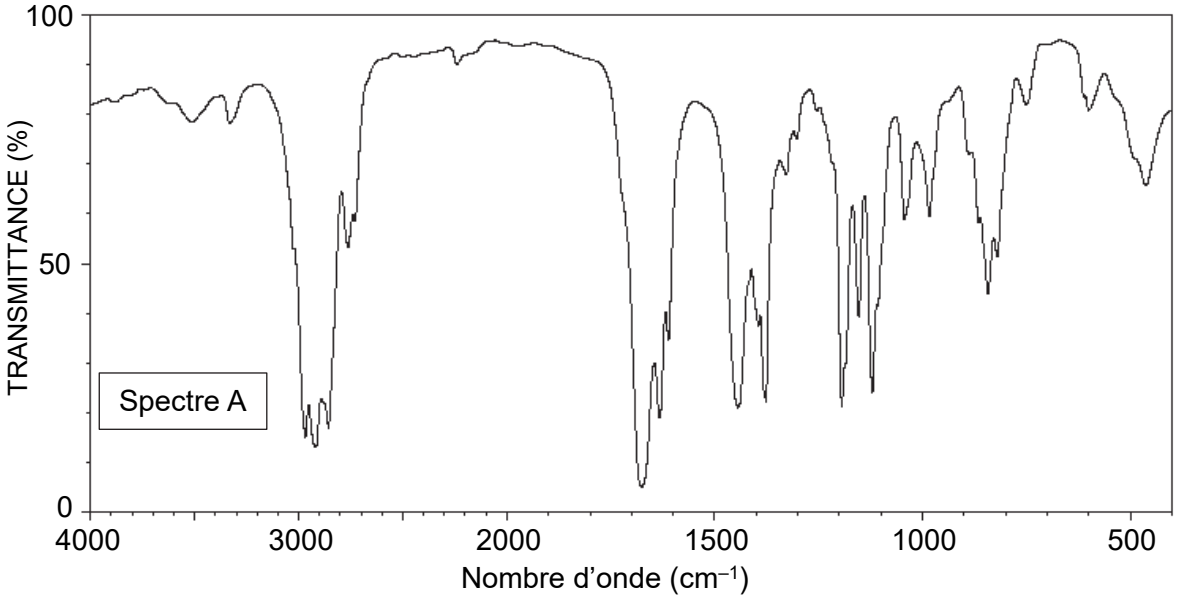
Liaison	O–H	C–H	C=C	C=O
Nombre d'onde (en cm^{-1})	3200 – 3700	2850 – 3100	1620 – 1680	1650 – 1730
Allure de la bande caractéristique	Forte et large	Forte	Faible et fine	Forte et fine

- données de solubilité de différents composés présents dans le citron :

Espèce chimique	Solubilité dans l'eau	Solubilité dans l'acétate d'éthyle	Solubilité dans le cyclohexane
Limonène	Faible	Convenable	Grande
Citral	Très faible	Convenable	Grande
Acide citrique	Grande	Grande	Nulle

- miscibilité des différents solvants avec l'eau :

acétate d'éthyle	cyclohexane
faible	nulle



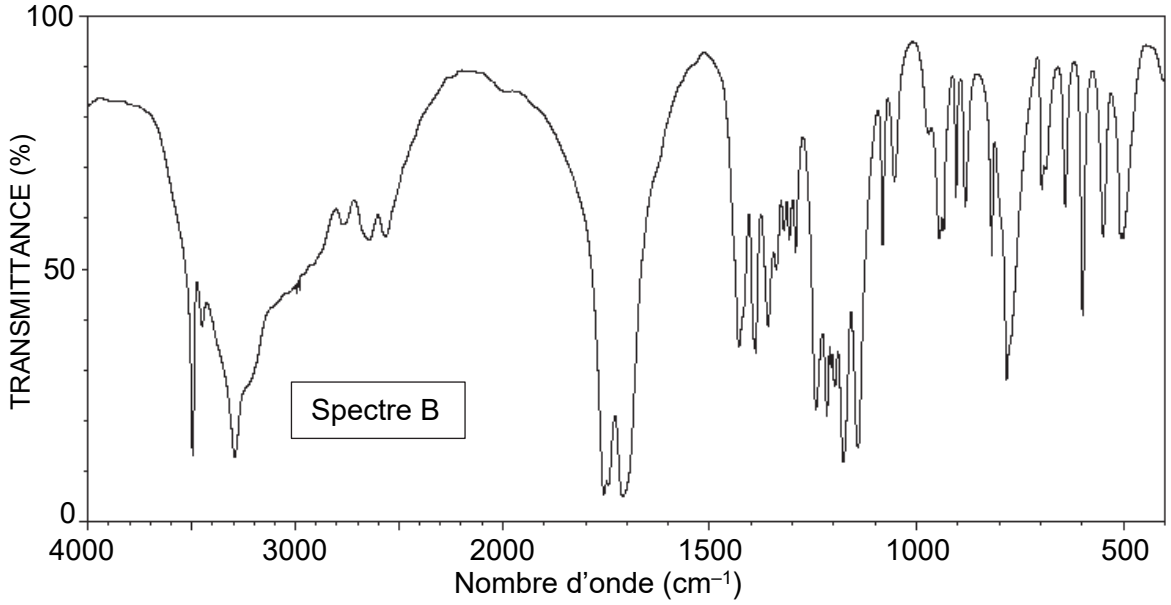


Figure 5. Spectres d'absorption de deux espèces présentes dans un citron

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

On souhaite identifier les espèces présentes dans le kéfir préparé. Pour cela, on réalise leur extraction à l'aide d'un solvant.

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.

Après l'extraction, on réalise une chromatographie sur couche mince pour analyser l'extrait, noté K. Après révélation avec une solution de permanganate de potassium, on obtient un chromatogramme dont une représentation est donnée en figure 6.

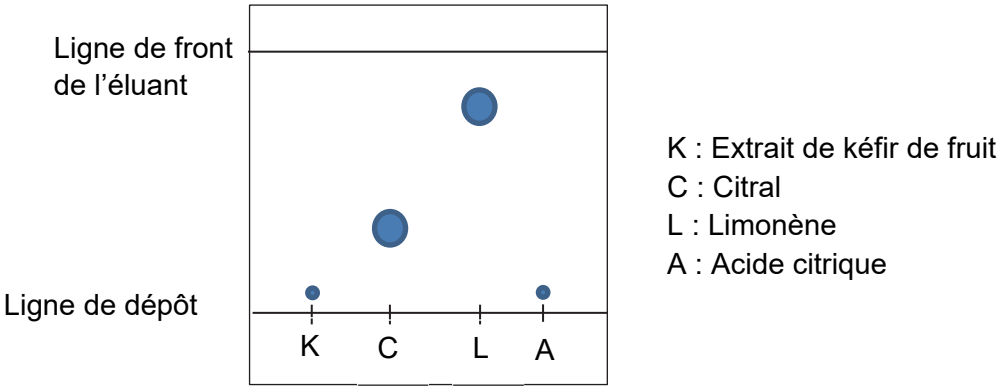


Figure 6. Schéma du chromatogramme obtenu

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

Exercice 2 – La yaourtière (5,5 points)

La préparation de yaourt « maison » à partir de lait est une pratique de plus en plus courante. Cette préparation repose sur une prise en masse progressive du lait sous l'action de ferments lactiques pendant environ 8 heures, à la température de 43 °C, qui est maintenue automatiquement dans la yaourtière. Il faut encore attendre 2 heures pour que les yaourts ainsi préparés refroidissent, à l'air libre puis au réfrigérateur.

Un exemple de yaourtière

Les objectifs de cet exercice sont d'étudier quelques aspects de la fabrication d'un yaourt maison, d'estimer son coût puis de modéliser l'étape finale de refroidissement des yaourts dans le réfrigérateur.

1. Fabrication des yaourts dans la yaourtière

Certains ferments lactiques utilisés pour la fabrication des yaourts maison contiennent des bactéries alimentaires qui présentent un optimum de croissance à la température de 43 °C.

La yaourtière utilisée permet la préparation de 7 yaourts. On utilise la recette suivante :

- verser 700 mL de lait à la température ambiante dans un récipient ;
- ajouter un sachet de 2 g de ferments lactiques puis mélanger ;
- répartir la préparation dans les 7 pots en verre de la yaourtière et les fermer à l'aide d'un couvercle ;
- phase de chauffage : mettre les 7 pots dans la yaourtière, fermer la yaourtière, la démarrer et la faire fonctionner pendant 8 heures ;
- phase de refroidissement : laisser refroidir les pots puis les mettre au réfrigérateur pendant 2 heures.

Afin d'effectuer des bilans d'énergie, on définit le système étudié, noté {S}, constitué de la yaourtière contenant les 7 pots en verre fermés et remplis. On admet que tous les composants du système {S} sont à la même température.

Lors de la phase de chauffage de 8 heures, il est possible de distinguer deux étapes :

- étape A : chauffage du système {S} de la température ambiante à la température de 43 °C pendant une durée Δt_A ;
- étape B : maintien en continu du système {S} à la température de 43 °C pendant une durée Δt_B.

<u>Données</u> :

- conversion d'une énergie en wattheure (Wh) en une énergie en joule (J) : 1 kWh = 3 600 kJ ;
- puissance électrique moyenne consommée par la yaourtière durant l'étape A : P_A = 150 W ;
- puissance électrique moyenne consommée par la yaourtière durant l'étape B : P_B = 20 W ;
- estimation de la capacité thermique du système {S} : $C = 4{,}0\times10^3$ J·K^{-1} ;
- température de fabrication d'un yaourt : θ_{fab} = 43 °C ;
- température de l'air ambiant : θ_{amb} = 20 °C.

Q1. Montrer que la valeur de l'énergie thermique $Q_{chauffage}$ qui doit être transférée au système {S} lors de l'étape A est voisine de $9{,}2\times10^4$ J.

Q2. Calculer la durée Δt_A de l'étape A, en supposant que, pendant cette étape, 85 % de l'énergie électrique consommée par la yaourtière est fournie par transfert thermique au système {S}. En déduire que la durée Δt_B de l'étape B est de l'ordre de 7 heures et 50 minutes.

Un des arguments souvent avancés qui encouragent à faire ses yaourts soi-même est le prix : à qualité égale, ils coûteraient moins cher que ceux achetés directement dans la grande distribution.

On donne des coûts approximatifs ci-dessous :

1 kWh électrique	1 L de lait	2 g de ferments lactiques	1 pot de yaourt nature de grande distribution et de qualité comparable à celui fait maison
0,20 €	1,05 €	0,64 €	0,35 €

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

2. Refroidissement des yaourts dans le réfrigérateur

Dans cette partie, on étudie le refroidissement d'un seul pot de yaourt.

Après avoir passé 8 h dans la yaourtière, le pot de yaourt, avec son couvercle, est d'abord refroidi à l'air jusqu'à atteindre la température de 30 °C. On étudie dans cette partie la seconde phase de refroidissement à partir de l'instant initial où le pot de yaourt est placé dans le réfrigérateur.

Le système d'étude est noté {P} ; il comprend le pot en verre, le couvercle et le yaourt qu'il contient. On admet que tous ses composants sont à la même température.

<u>Données</u> :

- loi de Newton donnant l'expression du flux thermique Φ, en watt, cédé par le système {P} de température θ, en contact avec l'air intérieur du réfrigérateur de température $\theta_{réfri}$:

$$\Phi = h \cdot S \cdot (\theta - \theta_{réfri})$$

  avec : • h, coefficient de transfert thermique surfacique : $h = 10\ \mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}$;
  • S, surface d'échange entre l'air de l'intérieur du réfrigérateur et le système {P} : $S = 0{,}019\ \mathrm{m^2}$.
- masse du système {P} : $m = 0{,}19$ kg ;
- température, considérée constante, de l'intérieur du réfrigérateur : $\theta_{réfri} = 4{,}0$ °C ;
- température initiale du système {P} : $\theta_0 = 30$ °C ;
- capacité thermique massique du système {P} : $c_Y = 2{,}5 \times 10^3\ \mathrm{J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$.

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

Q5. Calculer la valeur du flux thermique initial Φ_0 cédé par le système {P} à l'instant initial $t = 0$ et indiquer, en justifiant, comment varie le flux thermique au cours du temps.

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

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

En tenant compte de la variation du flux thermique au cours du temps, on montre que l'évolution de la température du système {P} peut être modélisée par la fonction :

$$\theta(t) = (\theta_0 - \theta_{\text{réfri}})\, \mathrm{e}^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_{\text{réfri}} \qquad \text{où} \qquad \tau = \frac{m\, c_Y}{h\, S}$$

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 du temps caractéristique τ.

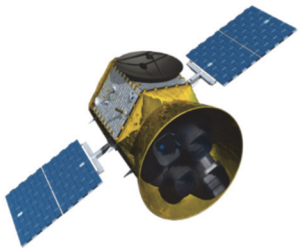
Q9. Comparer la valeur de τ à celle de Δt_0 obtenue en **Q7**. Commenter.

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

Les exoplanètes sont des planètes en orbite autour d'une étoile autre que le Soleil. Les physiciens Michel Mayor et Didier Queloz ont reçu en 2019 le prix Nobel de physique pour la première détection d'une exoplanète.

Le satellite TESS « Transiting Exoplanet Survey Satellite » est à la recherche de nouvelles exoplanètes depuis le 18 avril 2018. En juillet 2019, le satellite TESS a permis la découverte du système planétaire « TOI 270 », composé entre autres de deux exoplanètes, que l'on appellera exoplanète 1 et exoplanète 2, en orbite autour de l'étoile E.

D'après https://www.sciencesetavenir.fr



Vue d'artiste du satellite TESS

L'objectif de cet exercice est d'étudier le système planétaire « TOI 270 » pour lequel on supposera que les mouvements des exoplanètes 1 et 2 autour de l'étoile E sont circulaires uniformes.
L'interaction entre les deux exoplanètes est négligée.

Données :

- constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67\times10^{-11}$ m³·kg⁻¹·s⁻² ;
- approximations dans le cas de petits angles ($\alpha << 1$ rad) : $\sin\alpha = \alpha$; $\tan\alpha = \alpha$.
- données relatives au système « TOI 270 » :

Objet	Étoile E	Exoplanète 1	Exoplanète 2
Rayon de l'orbite autour de E en km		$R_1 = 6{,}77\times10^6$	$R_2 = 1{,}08\times10^7$
Période de révolution autour de E en jours terrestres		T_1	$T_2 = 11{,}4$
Rayon de l'objet en km	$r_E = 2{,}63\times10^5$	r_1	
Masse de l'objet en kg	$M_E = 7{,}68\times10^{29}$		M_2

1. Étude du système « TOI 270 »

On étudie le mouvement de l'exoplanète 2, de masse M_2, en orbite circulaire autour de l'étoile E. L'étude est conduite dans un référentiel dont l'origine est prise au centre de l'étoile E et dont les axes pointent vers des étoiles lointaines ; il est supposé galiléen. On travaille dans le repère de Frenet (P, $\overrightarrow{u_T}$, $\overrightarrow{u_N}$).

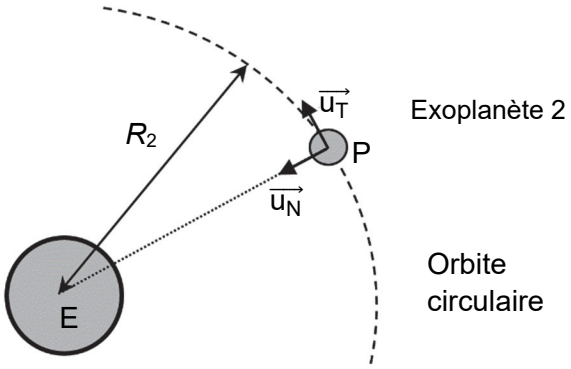


Figure 1. Trajectoire de l'exoplanète 2 autour de l'étoile E

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

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.

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

Q4. Vérifier que la valeur de la masse M_E déduite de cette relation est voisine de celle indiquée dans le tableau de données.

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

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

Le satellite TESS utilise une caméra pour détecter des exoplanètes. Lorsqu'une exoplanète passe entre l'étoile et la caméra, la puissance lumineuse reçue par la caméra diminue. Ce phénomène est appelé transit planétaire et indique la présence d'une exoplanète en orbite autour de l'étoile pointée par la caméra.

On se propose de déterminer la valeur de la période T_1 de révolution de l'exoplanète 1 autour de l'étoile E en exploitant les relevés envoyés par le satellite TESS. Lors du transit de l'exoplanète 1 devant l'étoile E (schématisé sur la figure 2), on mesure la puissance lumineuse relative* P_{lum} reçue par la caméra en fonction du temps (figure 3). L'origine des dates (t = 0) est prise au milieu du transit.

* *La puissance lumineuse relative est définie comme le rapport de la puissance lumineuse reçue par la caméra à un instant donné sur la valeur moyenne de cette puissance. C'est une grandeur sans dimension.*

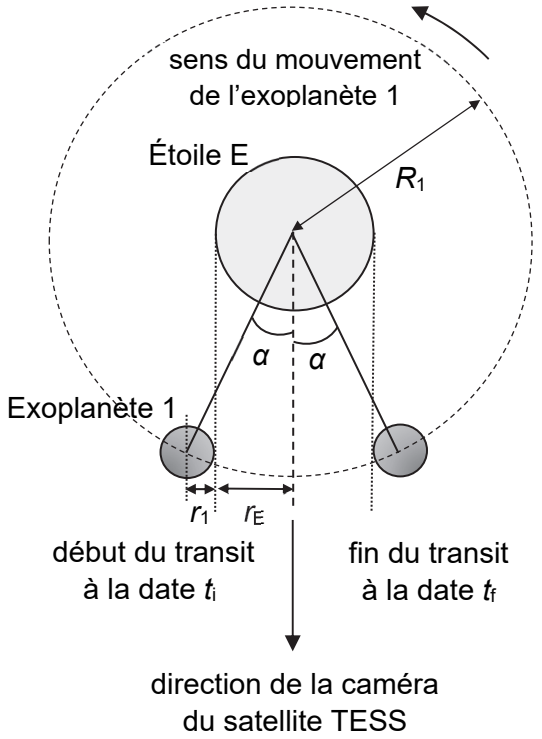


Figure 2. Positions de l'exoplanète 1 au début et à la fin de la phase de transit (le schéma n'est pas à l'échelle)

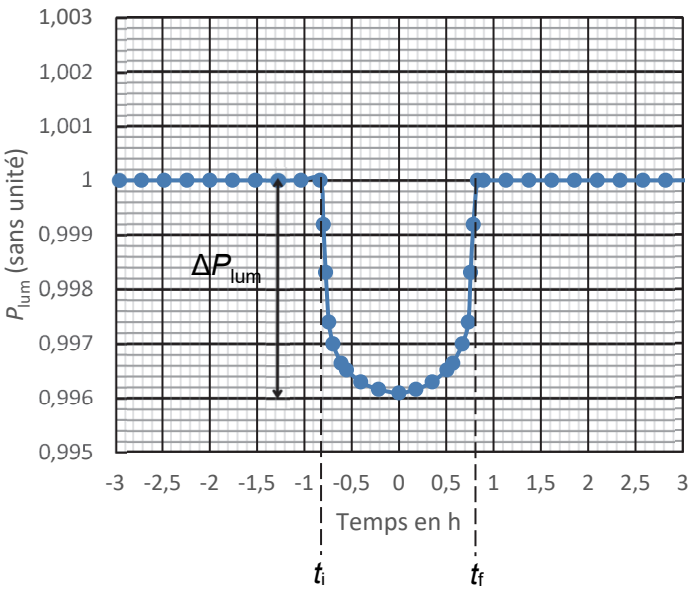


Figure 3. P_{lum} en fonction du temps lors d'un transit de l'exoplanète 1

On admet que le rayon r_1 de l'exoplanète 1, le rayon r_E de l'étoile E et la diminution ΔP_{lum} de la puissance lumineuse relative reçue par la caméra pendant le transit de l'exoplanète 1 vérifient la relation suivante :

$$\Delta P_{lum} = \left(\frac{r_1}{r_E}\right)^2$$

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

Q7. Vérifier que le rayon r_1 de l'exoplanète 1 vaut environ $1{,}7\times10^4$ km.

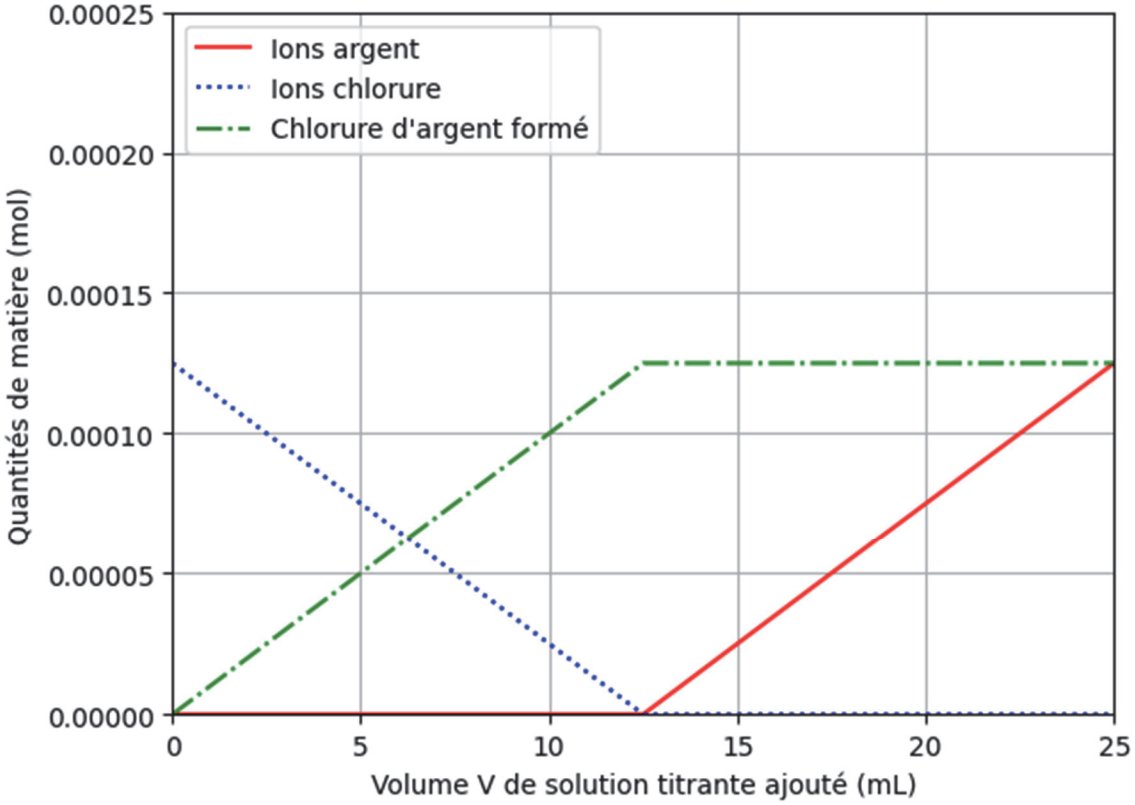
Q8. En utilisant les figures 2 et 3, et sachant que l'angle α est très petit devant 1 rad, estimer la valeur de la période T_1 de révolution de l'exoplanète 1 que l'on peut déduire des observations. Commenter.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche suivie est évaluée et nécessite donc d'être correctement présentée.

Page blanche laissée intentionnellement.

Ne rien inscrire dessus.

ANNEXE 1 À RENDRE AVEC LA COPIE



Résultats obtenus après exécution du programme Python

Modèle CCYC : ©DNE

NOM DE FAMILLE (naissance) **:**
(en majuscules)

PRENOM :
(en majuscules)

N° candidat :

N° d'inscription :

(Les numéros figurent sur la convocation, si besoin demander à un surveillant.)

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Né(e) le : / /

1.2