Baccalauréat général

Session 2023 – Centres Étrangers Afrique

Épreuve de Physique-Chimie

Sujet de spécialité n° 1

—

Proposition de corrigé

Ce corrigé est composé de 8 pages.

Exercice 1 — Contrôle de la qualité d'un biberon

Partie A : Dosage spectrophotométrique des ions nitrate dans une eau

1. On cherche la longueur d'onde λ à choisir judicieusement pour procéder au titrage. Une solution ayant pour couleur la complémentaire de son maximum d'absorption, la solution étudiée (couleur jaune) admettra un maximum d'absorption dans le bleu.

On choisit donc de travailler à $\underline{\lambda = 440\,\mathrm{nm}}$.

2. La loi de Beer-Lambert précise que l'absorbance est proportionnelle à la concentration en espèce colorée. Ainsi, grâce à la droite d'étalonnage qui nous est fournie, on lit graphiquement $\underline{t_1 = 3,2 \times 10^{-2}\,\mathrm{g \cdot L^{-1}}}$.

3. On a, pour l'incertitude-type :

$$\frac{u(t_1)}{t_1} \sim 0,15 \implies u(t_1) \sim 0,15 t_1 = 0,15 \times 3,2 \times 10^{-2}$$

D'où, $\underline{t_1 = 3,2(\pm 0,5) \times 10^{-2}\,\mathrm{g \cdot L^{-1}}}$.

Partie B : Dosage par titrage conductimétrique des ions nitrate

4. À l'étape 2, on mesure la conductivité en fonction du volume versé de dichromate de potassium.

L'espèce titrante est donc le dichromate $Cr_2O_7{}^{2-}$, et l'espèce titrée les ions fer (II) Fe^{2+}.

5. À l'équivalence, *i.e.* au changement de pente, on a :

$$\frac{n(Cr_2O_7{}^{2-})}{1} = \frac{n(Fe^{2+})_e}{6} \implies \boxed{n(Fe^{2+})_e = 6CV_E}$$

D'où, $n(Fe^{2+})_e = 6 \times 5,0 \times 10^{-2} \times 12 \times 10^{-3} \underline{= 3,6\,\mathrm{mmol}}$

6. La réaction étudiée est la suivante :

$$NO_3{}^- + 3\,Fe^{2+} + 4\,H_3O^+ \longrightarrow NO + 3\,Fe^{3+} + 6\,H_2O$$

de réactif limitant $NO_3{}^-$. Ainsi, la réaction admet un avancement maximal $\xi_m = n(NO_3{}^-)$. Les ions fer (II) n'étant pas intégralement consommés, on aura[1] :

$$n(Fe^{2+})_e = n(Fe^{2+})_{\mathrm{tot}} - 3\xi_m \implies 3\xi_m = n(Fe^{2+})_{\mathrm{tot}} - n(Fe^{2+})_e$$

On a donc bien, finalement,

$$\boxed{n(NO_3{}^-) = \frac{1}{3}\left(n(Fe^{2+})_{\mathrm{tot}} - n(Fe^{2+})_e\right)}$$

7. On calcule donc :

$$n(NO_3{}^-) = \frac{1}{3}\left(4,0 \times 10^{-3} - 3,6 \times 10^{-3}\right) \underline{= 0,1 \times 10^{-3}\,\mathrm{mol}}$$

Ou, en concentration massique :

$$\boxed{t_2 = \frac{m}{V} = \frac{n(NO_3{}^-)M(NO_3{}^-)}{V}} = \frac{0,1 \times 10^{-3} \times 62,0}{250,0 \times 10^{-3}} \underline{= 0,33\,\mathrm{g \cdot L^{-1}} = 33\,\mathrm{mg \cdot L^{-1}}}$$

1. On peut très bien faire un tableau d'avancement pour s'en convaincre.

8. On calcule l'incertitude-type sur t_2 :

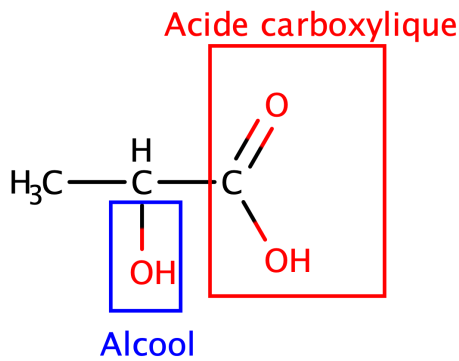
$$u(t_2) = 33 \times \sqrt{\left(\frac{0,2}{5,0}\right)^2 + \left(\frac{0,2}{250}\right)^2 + \left(\frac{0,5}{12}\right)} = 1,9\,\mathrm{mg}\cdot\mathrm{L}^{-1}$$

D'où, la concentration massique en ions nitrate vaut $\underline{t_2 = 33(\pm 1,9)\,\mathrm{mg}\cdot\mathrm{L}^{-1}}$.

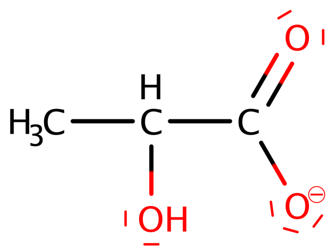
9. On remarque alors que les deux résultats obtenus, en prenant en compte leurs incertitudes, restent inférieurs à la concentration maximale autorisée par l'OMS. L'eau est donc potable.

Partie C : Combien de temps peut-on conserver un biberon ?

10. On entoure et nomme les groupes caractéristiques de la molécule d'acide lactique :



11. On représente l'ion lactate :



12. On a le diagramme de prédominance du couple acide lactique / ion lactate :

On remarque alors que dans le biberon (pH $= 6,2$) l'espèce prédominante est l'ion lactate.

13. La constante d'acidité d'un couple est la constante d'équilibre associée à la réaction de l'acide sur l'eau. Ainsi, on a :

$$\boxed{K_A = \frac{[\mathrm{A}^-][\mathrm{H_3O}^+]}{[\mathrm{AH}]c^\circ}}$$

14. On a :

$$K_A = \frac{[\mathrm{A}^-][\mathrm{H_3O^+}]}{[\mathrm{AH}]c^\circ} \implies [\mathrm{A}^-] = \frac{K_A[\mathrm{AH}]}{[\mathrm{H_3O^+}]}$$

Et comme $\mathrm{pKa}_{AH/A-} = -\log(K_A)$ et $\mathrm{pH} = -\log\left([\mathrm{H_3O^+}]\right)$, il vient :

$$[\mathrm{A}^-] = \frac{10^{-3,9}}{10^{-6,2}}[\mathrm{AH}] = 199,5[\mathrm{AH}]$$

Et on a donc bien $\boxed{[\mathrm{A}^-] \approx 200[\mathrm{AH}]}$

15. On titre l'acide lactique par la soude, la réaction support du titrage est donc la suivante :

$$\mathrm{AH(aq)} + \mathrm{HO-(aq)} \longrightarrow \mathrm{A-(aq)} + \mathrm{H_2O}(\ell)$$

16. On cherche la concentration en masse d'acide lactique dans le lait de biberon. À l'équivalence, on a :

$$\frac{n(\mathrm{AH})}{1} = \frac{n(\mathrm{HO^-})}{1} \implies CV_L = c_B V_{BE} \implies C = \frac{c_B V_L}{V_{BE}}$$

Ce qui donne, en masse :

$$\boxed{C_m = CM(\mathrm{AH}) = \frac{c_B v_{BE}}{V_L} M(\mathrm{AH})}$$

D'où,

$$C_m = \frac{2,0 \times 10^{-2} \times 12,2 \times 90,0}{40} = 0,5\,\mathrm{g\cdot L^{-1}}$$

Le lait contient donc une concentration massique $\underline{C_m = 0,5\,\mathrm{g\cdot L^{-1}}}$ d'acide lactique.

17. Le paramètre ayant une incidence sur la valeur de V_{BE} est le volume V_L de lait : en effet, c'est par cette mesure que l'on apporte l'espèce titrée.

18. On souhaite savoir au bout de combien de temps les échantillons 2 et 3 ne sont plus frais. Mais avant, il faut associer les courbes aux échantillons.

Pour cela, on sait que la température est un facteur cinétique, qui accélère une réaction chimique : on sait donc que la courbe (a) correspond à l'échantillon 3, et la courbe (b) à l'échantillon 2.

Maintenant, on va lire graphiquement au bout de combien de temps la concentration en acide lactique dépasse $C_l = 18 \times 0,1 = 1,8\,\mathrm{g\cdot L^{-1}}$. Graphiquement, on lit $t_2 = 42\,\mathrm{h}$ pour l'échantillon 2, et $t_3 = 24\,\mathrm{h}$ pour l'échantillon 3.

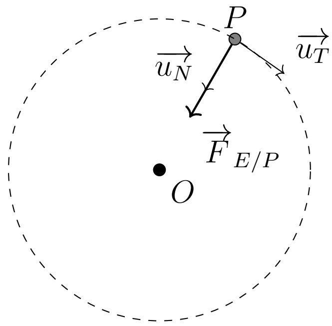
Exercice 2 — À la recherche d'une autre Terre

Partie A : Détection par la méthode du transit

1. Sur la **figure 3**, on remarque que l'évolution de la luminosité relative suit un motif qui se répète indéfiniment dans le temps. Il s'agit donc d'un phénomène périodique.
2. On souhaite mesurer la période le plus précisément possible. Pour cela, on mesure la durée du plus grand nombre de périodes possible, puis on divise par le nombre de périodes. Graphiquement, on mesure $14T = 110\,\text{h}$. D'où, $\underline{T = \frac{110}{14} = 7,8\,\text{h}}$.

Partie B : Mouvement de l'exoplanète GJ 367b

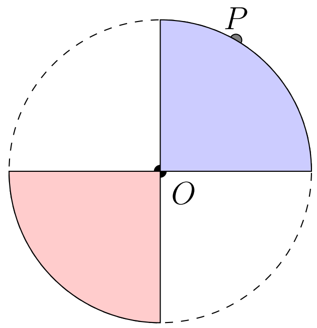
3. On représente sur le schéma qui nous est fourni la force gravitationnelle $\overrightarrow{F}_{E/P}$:



4. On a la force de E sur P, dirigée selon $\overrightarrow{u_N}$:

$$\boxed{\overrightarrow{F}_{E/P} = G\frac{M_E m_P}{r^2}}\overrightarrow{u_N}$$

5. La deuxième loi de Kepler énonce que sur une orbite, le rayon-vecteur balaie des aires égales en des temps égaux.
6. L'orbite de l'exoplanète est circulaire. On peut compléter le schéma qui nous est donné et séparer l'orbite en deux parties d'aire égale :



On remarque donc que l'exoplanète parcourt des distances égales en des temps égaux, son mouvement est donc uniforme.

7. On considère l'exoplanète, supposée ponctuelle de masse m_P constante, en orbite circulaire uniforme autour de l'étoile E, dont on étudie le mouvement dans le référentiel étoile-centrique supposé galiléen.

La seule force s'appliquant sur le système étant l'attraction gravitationnelle $\overrightarrow{F}_{E/P} = F_{E/P}\overrightarrow{u_N}$. Il vient donc la loi de quantité de mouvement :

$$m_P\,\overrightarrow{a} = F_{E/P}\overrightarrow{u_N} \implies a = a_x = G\frac{M_E}{r^2}$$

Or, pour un mouvement circulaire uniforme, on a [2] $a = \frac{v^2}{r}$. D'où, il vient :

$$a = \frac{v^2}{r} = G\frac{M_E}{r^2} \implies v^2 = \frac{GM_E}{r}$$

D'où, on a bien :

$$\boxed{v_P = \sqrt{\frac{GM_E}{r}}}$$

8. En une période, l'exoplanète parcourt une distance $d = 2\pi r$. On a donc, par définition, l'expression de la vitesse :

$$v = \frac{2\pi r}{T} \implies T = \frac{2\pi r}{v}$$

On passe alors l'égalité au carré :

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{v} = 4\pi^2 r^2 \times \frac{r}{GM_E}$$

On retrouve donc bien :

$$\boxed{T^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{GM_E}}$$

9. De la relation précédente, on déduit :

$$r^3 = \frac{T^2 GM_E}{4\pi^2} \implies \boxed{r = \sqrt[3]{\frac{T^2 GM_E}{4\pi^2}}}$$

D'où,

$$r = \sqrt[3]{\frac{(7,7 \times 3600)^2 \times 6,67 \times 10^{-11} \times 9,5 \times 10^{29}}{4\pi^2}} \underline{= 1,1 \times 10^9\,\mathrm{m}}$$

Le rayon r est donc effectivement de l'ordre du million de kilomètres.

Partie C : GJ 367b : une exoplanète de fer ?

10. On cherche à calculer la masse volumique de l'exoplanète P. On sait pour cela que :

$$V_P = 0,37V_T = 0,37 \times \frac{4}{3}\pi {R_T}^3 \tag{1}$$

Et aussi :

$$M_P = 0,55M_T \tag{2}$$

Ainsi, à partir de (1) et (2) on exprime la masse volumique de l'exoplanète P :

$$\boxed{\rho_P = \frac{M_P}{V_P} = \frac{0,55M_T}{0,37 \times \frac{4}{3}\pi {R_T}^3}} \underline{= 8,2 \times 10^3\,\mathrm{kg \cdot m^{-3}} \approx \rho(\mathrm{Fe})}$$

La masse volumique de cette exoplanète est donc suffisamment proche de celle du fer pour justifier la référence à ce dernier.

2. on laisse au lecteur le plaisir de le démontrer…

Exercice 3 — Four à céramique

Partie A : Durée de la mise en température du four

1. Pour le chauffage de θ_i à θ_f, on a :

$$\boxed{\Delta U = m_f c_f(\theta_f - \theta_i)} = 120 \times 800 \times (1000 - 20) \underline{= 94,1\,\mathrm{MJ}}$$

2. Au niveau macroscopique, le premier principe de la thermodynamique énonce :

$$\Delta U = Q - W$$

Or, à volume constant, il vient :

$$\boxed{\Delta U = Q} = \underline{94,1\,\mathrm{MJ}}$$

3. On perd de la chaleur pendant la chauffe. Aussi, on a :

$$Q = 0,67 Q_A \implies Q_A = \frac{Q}{0,77} = \frac{94,1}{0,67} = 140\,\mathrm{MJ}$$

On a donc bien $\underline{Q_A = 1,4 \times 10^8}$ J.

4. Pour la combustion du propane, on a :

$$Q_A = n_g E_n = \frac{m_g}{M} E_n \implies \boxed{m_g = \frac{M Q_A}{E_n}}$$

D'où,

$$m_g = \frac{44,1 \times 1,4 \times 10^5}{2004} \underline{= 3,1\,\mathrm{kg}}$$

5. Pour un débit constant D, il faut donc un temps

$$\boxed{\Delta t_A = \frac{m_g}{D}} = \frac{3,1 \times 10^3}{1250} \underline{= 2,48\,\mathrm{h}}$$

pour atteindre la valeur souhaitée.

Partie B : Maintien en température

1. Le four échange de l'énergie thermique avec l'extérieur par transferts :

— conductif (conduction thermique) ;

— conducto-convectif (échauffement de l'air et mouvment des masses d'air autour du four) ;

— par rayonnement.

2. À θ_{four}, on a un flux thermique :

$$\boxed{\phi = \frac{\theta_f - \theta_{ext}}{R_{th}}}$$

D'où,

$$\phi = \frac{1000 - 20}{0,60} \underline{= 1,6 \times 10^3\,\mathrm{W}}$$

3. Le flux étant homogène à une puissance, l'énergie ainsi perdue qu'il faudra compenser vaut :

$$\boxed{Q_B = \phi \Delta t_B} = 1,6 \times 10^3 \times 20 \times 60 \underline{= 1,9 \times 10^6\,\mathrm{J} \approx 2\,\mathrm{MJ}}$$

4. En reprenant le résultat des questions précédentes, on calcule $\underline{m_{min} = 42\,\mathrm{g}}$. Ce qui est bien loin de la masse nécessaire pour la mise en température !

5. Ainsi, on peut conclure que si plusieurs cuissons sont nécessaires, il est plus intéressant énergétiquement de maintenir le four à température plutôt que de l'éteindre et le rallumer à chaque fois.

* *
*

Proposé par T. Prévost (thomas.prevost@protonmail.com),
pour le site https://www.sujetdebac.fr/
Compilé le 18 mars 2023.