Baccalauréat Général

Session 2024 – Polynésie

Épreuve de Physique-Chimie

Sujet de spécialité n° 2

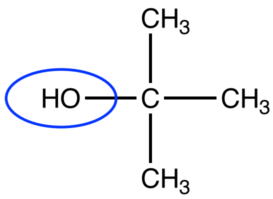
Proposition de corrigé

Ce corrigé est composé de 6 pages.

Exercice 1 — Suivi cinétique par conductimétrie de l'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle

Suivi conductimétrique de l'hydrolyse du chlorure de tertiobutyle

Q1. L'hydrolyse conduit à la formation de R−OH par substitution du chlore par un groupe hydroxyle (entouré en bleu). Le produit a donc la formule semi-développée :



Q2. Si on applique la loi de Kohlrausch à la solution, il vient :

$$\boxed{\sigma = \lambda_{\mathrm{H_2O^+}} \cdot [\mathrm{H_3O^+}] + \lambda_{\mathrm{Cl^-}} \cdot [\mathrm{Cl^-}]} \tag{1}$$

Q3. De plus, une étude rapide de l'avancement de la réaction permet d'obtenir [1] que $[\mathrm{Cl^-}] = [\mathrm{H_3O^+}]$.

Et en injectant dans (1), il vient finalement :

$$\boxed{\sigma = (\lambda_{\mathrm{H_3O^+}} + \lambda_{\mathrm{Cl^-}})[\mathrm{H_3O^+}]}$$

Q4. On remarque alors que la conductivité de la réaction est directement liée à la concentration en ions oxonium dans la solution. Il est alors plutôt simple d'opérer un suivi cinétique de la réaction par conductimétrie (en remontant simplement à la vitesse de formation de $\mathrm{H_3O^+}$ donc de disparition de RCl).

Q5. On a versé initialement un volume $V = 1,0\,\mathrm{mL}$ de RCl. On peut donc exprimer la quantité de matière initialement introduite :

$$n_0 = \frac{m_0}{M(\mathrm{RCl})} \implies \boxed{n_0 = \frac{\rho V}{M(\mathrm{RCl})}}$$

D'où,

$$n_0 = \frac{0,850 \times 1,0}{4 \times 12,0 + 9 \times 1,00 + 35,5} = \underline{9,2 \times 10^{-3}\,\mathrm{mol}}$$

Q6. On a introduit le chlorure de tertiobutyle dans un volume total $V + V_e = 201\,\mathrm{mL}$. Sa concentration molaire dans cette solution sera donc :

$$\boxed{c_0 = \frac{n_0}{V + V_e}} = \frac{9,2 \times 10^{-3}}{201 \times 10^{-3}} = \underline{4,6 \times 10^{-2}\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}}$$

Q7. On souhaite identifier, pour chaque courbe tracée, l'espèce chimique étudiée.

Dans le premier cas, on remarque une décroissance de la concentration mesurée dans le temps, ce qui signifie que l'espèce étudiée disparait au cours de la réaction : la courbe 1 trace donc $[\mathrm{RCl}] = f(t)$.

Dans le second cas, on remarque bien augmentation de la concentration au cours du temps, ce qui correspond à une formation d'espèce chimique, permettant de confirmer que la courbe 2 représente $[\mathrm{H_3O^+}] = f(t)$.

1. On pourra s'en convaincre en dressant le tableau d'avancement.

Q8. De plus, en étudiant la courbe 1, on remarque que la concentration en RCl tend vers 0 à t grand, ce qui signifie que le réactif tend à entièrement disparaître au cours de la réaction. La réaction est donc bien totale, l'un des réactifs sera entièrement consommé.

Q9. Le temps de demi-réaction d'une transformation chimique est le temps nécessaire pour atteindre la moitié de l'avancement final (en d'autres termes, le temps nécessaire à la disparition de la moitié du réactif limitant).

Q10. Par lecture graphique sur la courbe 1 (en trouvant $t_{1/2}$ tel que $[\mathrm{RCl}](t = t_{1/2}) = \frac{[\mathrm{RCl}]_0}{2}$), on mesure $\underline{t_{1/2} = 1300\,\mathrm{s}}$.

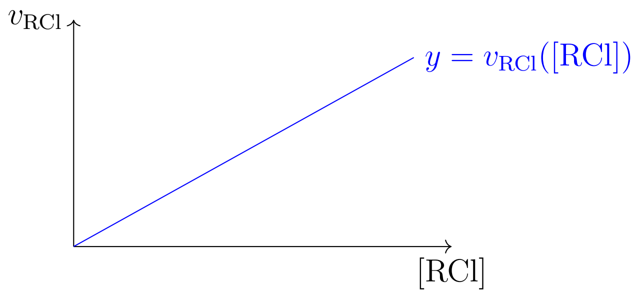
Loi de vitesse

Q11. Par définition, la vitesse volumique de disparition de RCl est donnée par :

$$\boxed{v_{\mathrm{RCl}} = -\frac{\mathrm{d}[\mathrm{RCl}]}{\mathrm{d}\,t}} \tag{2}$$

Q12. Qualitativement, cette vitesse va décroître au cours du temps. On peut s'en convaincre en observant l'évolution de la concentration en RCl au cours du temps, et en remarquant que sa dérivée, en valeur absolue, diminue au cours du temps [2].

Q13. La réaction suivant une cinétique d'ordre 1, on peut tracer l'allure de la droite de coefficient directeur positif $v_{\mathrm{RCl}} = f([\mathrm{RCl}])$:



Q14. À partir de la relation qui nous est donnée, il est possible de reprendre (2), afin d'obtenir :

$$v_{\mathrm{RCl}} = -\frac{\mathrm{d}[\mathrm{RCl}]}{\mathrm{d}\,t} = k[\mathrm{RCl}]$$

Et finalement, on obtient l'équation différentielle homogène du premier ordre :

$$\frac{\mathrm{d}[\mathrm{RCl}]}{\mathrm{d}\,t} + k[\mathrm{RCl}] = 0 \tag{$\mathcal{E}$}$$

Q15. On cherche maintenant la valeur de la constante permettant de caractériser intégralement l'évolution de [RCl] dans le temps.

À $t = 0$, on sait que $[\mathrm{RCl}](t = 0) = c_0$. Et en injectant dans la solution qui nous est proposée, il vient :

$$[\mathrm{RCl}](t = 0) = Ae^{-k\times 0} = c_0 \implies \underline{A = c_0}$$

Q16. Par lecture graphique, on a :

$$a = \frac{-4,4 + 3,1}{2100 - 0} = \underline{-6,2 \times 10^{-4}\,\mathrm{s}^{-1}}$$

2. Chimiquement, cela s'explique par l'allongement du libre-parcours moyen des réactifs en solution, du fait de leur concentration décroissante au cours de la réaction, et de l'apparition de produits dans le milieu réactionnel.

Q17. Il est alors possible de calculer le temps de demi-réaction grâce à l'expression qui nous est fournie et le coefficient directeur que nous venons de mesurer :

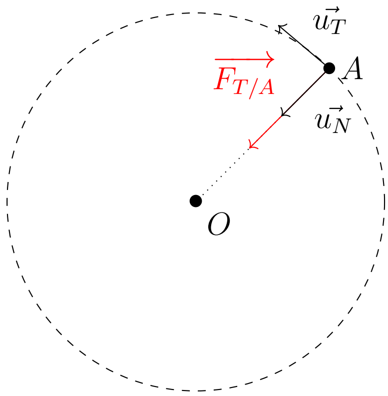
$$\boxed{t_{1/2} = -\frac{\ln 2}{a}} = -\frac{\ln 2}{-6,2 \times 10^{-4}} = \underline{1118\,\mathrm{s}}$$

Ce qui est relativement proche de la valeur mesurée précédemment (à 3 minutes près), il est donc possible de valider l'ordre 1 de la loi de vitesse.

Exercice 2 — La masse de la Terre

Mesure de la masse de la Terre à l'aide d'un satellite

Q1. On reproduit la figure, et on y représente la force d'interaction gravitationnelle exercée sur le satellite par la Terre :



Q2. Dans la base de Frenet $(A; \vec{u_T}, \vec{u_N})$, on exprime l'attraction exercée par la Terre sur le satellite :

$$\boxed{\overrightarrow{F_{T/A}} = G\frac{M_T m}{r^2}\vec{u_N}} \quad (3)$$

Q3. On souhaite exprimer la vitesse du satellite. Pour cela, en le supposant ponctuel et de masse constante, on lui applique le principe fondamental de la dynamique dans le référentiel géocentrique supposé galiléen. Ce qui permet d'écrire, le satellite étant uniquement soumis à l'attraction gravitationnelle de la Terre :

$$m\vec{a} = \overrightarrow{F_{T/A}} \overset{(3)}{=} G\frac{M_T m}{r^2}\vec{u_N} \implies \vec{a} = G\frac{M_T}{r^2}\vec{u_N}$$

Et en projetant sur le vecteur normal :

$$a = \frac{GM_T}{r^2} \quad (4)$$

Or, on sait que pour un mouvement circulaire uniforme, on a la relation :

$$a = \frac{v^2}{r}$$

Et en reprenant l'expression (4), il vient :

$$\frac{v^2}{r} = \frac{GM_T}{r^2} \implies v^2 = \frac{GM_T}{r} \overset{v>0}{\implies} \boxed{v = \sqrt{\frac{GM_T}{r}}} \quad (5)$$

Q4. On souhaite vérifier la troisième loi de Kepler, et donc montrer que le rapport du carré de la période sur le cube du rayon est une constante.

Pour cela, on commence par exprimer la période de révolution du satellite en fonction des données du problème :

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

Et très logiquement, il vient donc =

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

On peut alors y injecter l'expression de la vitesse (5) :

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{\frac{GM_T}{r}} = \frac{4\pi^2 r^2}{GM_T} \times r = \frac{4\pi^2 r^3}{GM_T}$$

Et il vient donc bien, finalement :

$$\boxed{\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM_T}} = \text{cste}$$

Q5. À partir du schéma donné en figure 2, on devine le demi-grand axe :

$$\boxed{d = \frac{BC}{2} = \frac{BO + OC}{2}} = \frac{6,89 \times 10^6 + 8,07 \times 10^6}{2} = \underline{7,5 \times 10^6\,\text{m}}$$

Q6. On sait que le satellite effectue $N = 1400$ révolutions en Δt. On en déduit donc la période :

$$T = \frac{\Delta t}{N}$$

Et en injectant dans l'expression traduisant la troisième loi de Kepler, il vient :

$$\frac{(\Delta t)^2}{d^3 N^2} = \frac{4\pi^2}{GM_T} \implies \boxed{M_T = \frac{4\pi^2}{G} \cdot \frac{d^3 N^2}{(\Delta t)^2}}$$

D'où,

$$M_T = \frac{4\pi^2}{6,67 \times 10^{-11}} \times \frac{(7,5 \times 10^6)^3 \times 1400^2}{(9,03 \times 10^6)^2} = \underline{6,0 \times 10^{24}\,\text{kg}}$$

Mesure de la masse de la Terre à l'aide d'un pendule

Q7. On souhaite lire graphiquement, avec la meilleure précision, la valeur de la période T du pendule. Pour cela, il suffit de lire la durée du plus grand nombre possible de périodes.

En l'occurrence, on lit :

$$5T = 10,0\,\text{s} \implies \underline{T = 2,0\,\text{s}}$$

Q8. À partir de la relation qui nous est donnée, on isole g :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}} \implies T^2 = \frac{4\pi^2 \ell}{g} \implies \boxed{g = \frac{4\pi^2 \ell}{T^2}}$$

D'où,

$$g = \frac{4\pi^2 \times 1,0}{2,0^2} = \underline{9,9\,\text{m} \cdot \text{s}^{-2}}$$

Ce qui est une valeur tout à fait cohérente, et proche de la valeur communément admise pour l'intensité du champ de pesanteur terrestre au niveau de la mer ($9,81\,\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$).

Q9. On a, pour le pendule dont on admet que le poids est égal à la force d'attraction terrestre :

$$mg = G\frac{M_T m}{{R_T}^2} \overset{m\neq 0}{\Longrightarrow} g = \frac{GM_T}{{R_T}^2} \Longrightarrow \boxed{M_T = \frac{g{R_T}^2}{G}}$$

D'où,

$$M_T = \frac{9,9 \times (6,37 \times 10^6)^2}{6,67 \times 10^{-11}} = \underline{6,0 \times 10^{24}}$$

Ce qui correspond bien à la valeur trouvée précédemment (et relativement proche de la valeur réelle). Les oscillations d'un pendule semblent donc une bonne méthode pour mesurer la masse de la Terre.

Exercice 3 — Étude de la caléfaction

Q1. On remarque aisément, sur la figure 2, que les gouttes ont une durée de vie particulièrement faible en zone B, ne permettant pas d'observation.

La zone B est donc peu intéressante pour l'étude que nous souhaitons mener.

Q2. La figure 4 présente un phénomène de diffraction.

Q3. Une condition *sine qua non* de l'observation du phénomène de diffraction est d'avoir a proche de λ en ordre de grandeur, et faible par rapport à la distance de l'écran.

Q4. En travaillant dans le triangle rectangle formé entre la goutte et l'écran, on a :

$$\theta \sim \tan\theta = \frac{\left(\frac{L}{2}\right)}{D} \Longrightarrow \boxed{\theta = \frac{L}{2D}} \tag{6}$$

Q5. En injectant l'expression de θ qui nous est donnée en fonction de λ et a dans (6), il vient :

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D} \Longrightarrow \boxed{a = \frac{2\lambda D}{L}} \tag{7}$$

Q6. Par lecture graphique, on trouve :

$$L = 0,15 - 0,11 = \underline{0,04\,\mathrm{m}}$$

Q7. Et finalement, en injectant cette valeur dans (7), on peut calculer l'intervalle entre la goutte et la plaque :

$$a = \frac{2 \times 532 \times 10^{-9} \times 2,00}{0,04} = \underline{5,32 \times 10^{-5}\,\mathrm{m}}$$

* *
*

Proposé par T. Prévost (thomas.prevost@protonmail.com),
pour le site https://www.sujetdebac.fr/
Compilé le 28 mars 2025.