Baccalauréat Général

Session 2024 – Polynésie

Épreuve de Physique-Chimie

Sujet de remplacement n° 2

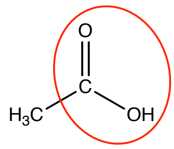
Proposition de corrigé

Ce corrigé est composé de 8 pages.

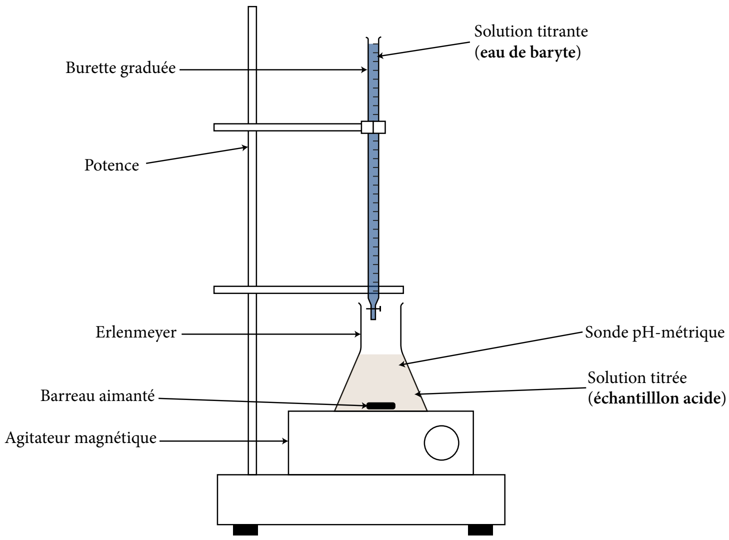
Exercice 1 — La réaction d'estérification étudiée par Marcellin Berthelot

1. Dosage par titrage

Q1. On représente la formule semi-développée de l'acide éthanoïque, en entourant en rouge son groupe acide carboxylique :



Q2. On schématise le montage de titrage colorimétrique :



Q3. L'équation de titrage est la suivante :

$$CH_3COOH + HO^- \longrightarrow CH_3COO^- + H_2O$$

Pour être utilisée pour un titrage, une réaction doit être quantitative [1] et relativement rapide [2].

Q4. D'après les données, la forme acide de l'indicateur coloré est de couleur rose.

Q5. On cherche la quantité de matière d'acide n_A initialement introduite.

D'après l'équation de réaction, on a à l'équivalence :

$$\frac{n_A}{1} = \frac{n_{HO^-}}{1}$$

Ou, en volume de base :

$$\boxed{n_A = c_B V_{BE}}$$

D'où,

$$n_A = 2,0 \times 5,0 \times 10^{-3} = \underline{1,0 \times 10^{-2}\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}}$$

Q6. On souhaite vérifier la valeur de la quantité d'acide initialement introduite.

1. condition thermodynamique
2. condition cinétique

Sachant que l'échantillon titré était d'un volume 100 fois inférieur à celui du mélange réactionnel, il vient la quantité de matière d'acide dans le milieu réactionnel à l'instant du titrage :

$$n_m = 100 n_A$$

Et comme seul 10 % de l'acide initialement ajouté a réagi, il vient :

$$n_m = n_i - 0,1 n_i = 0,9 n_i \implies n_i = \frac{n_m}{0,9}$$

Ou, en fonction de n_A :

$$\boxed{n_i = \frac{100 n_A}{0,9}} = \frac{100 \times 1,0 \times 10^{-2}}{0,9} = 1,1\,\text{mol}$$

La quantité d'acide initialement ajoutée est donc bien $\underline{n_i = 1,1\,\text{mol}}$.

2. Cinétique chimique

Q7. On remarque, dans les résultats des expériences de Berthelot, que le temps nécessaire pour observer la réaction d'environ la moitié de l'acide initialement introduit passe de presque 300 jours à T_1 contre seulement une trentaine de jours à T_2.

Ainsi, la réaction s'accélère lorsqu'on chauffe le milieu, la température est bien un facteur cinétique.

Q8. Le temps de demi-réaction est la durée au bout de laquelle l'avancement est égal à la moitié de l'avancement final.

À T_2, on peut estimer grâce à la figure 2 que $4 < t_{1/2} < 9$ jours[3].

Q9. À $t = 15$ jours à température ambiante, 10 % de l'acide initial a été consommé, il reste donc, à cet instant, $n(t = 15) = 0,9 n_i = \underline{1\,\text{mol}}$ d'acide dans le milieu.

Q10. À température ambiante, sur les 15 premiers jours, la vitesse moyenne de disparition de l'acide est donnée par :

$$v = \frac{c_i - c(t = 15)}{15} \tag{1}$$

Or, le volume étant constant de valeur $V_m = V_{\text{mélange}}$, il vient à un instant t quelconque de la réaction :

$$c(t) = \frac{n(t)}{V_m}$$

Et en injectant dans (1), il vient :

$$v = \frac{\frac{n_i}{V_m} - \frac{n(t=15)}{V_m}}{15}$$

Ou encore :

$$\boxed{v = \frac{n_i - n(t = 15)}{15 V_m}}$$

D'où,

$$v = \frac{1,1 - 1}{15 \times 130 \times 10^{-3}} = \underline{5,1 \times 10^{-2}\,\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{j}^{-1}}$$

3. en cherchant plus de précision, on pourrait tout à fait utiliser les capacités de notre machine de calcul pour faire une régression, connaissant les valeurs mesurées et la forme de l'équation de la courbe

Q11. Le volume étant constant, une consommation de l'acide entraîne une diminution de la concentration. Or, la concentration en réactif étant un facteur cinétique, une diminution de cette dernière aura pour conséquence une diminution de la vitesse de réaction au fil du temps.

Q12. Sans modifier la température, la réaction d'estérification pourrait être accélérée soit en introduisant un excès de réactif, soit, plus simplement, en introduisant un catalyseur bien choisi dans le milieu.

3. Équilibre chimique

Q13. Une réaction est totale lorsque son avancement est maximal, *i.e.* que tout le réactif limitant est consommé. Au contraire, un état d'équilibre est observé lorsque l'avancement final est différent de l'avancement maximal : il reste alors une partie des réactifs, en équilibre avec les produits dans le milieu.

Dans son ouvrage, Berthelot évoque une « saturation complète de l'acide par l'alcool » pour parler de réaction totale.

Q14. On remarque, dans le tableau de la figure 2, que le système semble ne plus évoluer au-delà de $t = 150$ jours, les deux dernières mesures étant identiques.

Tout l'acide n'ayant à ce moment-là pas été consommé, on peut intuiter sans difficultés un état d'équilibre.

Berthelot évoque l'intérêt de chauffer : « à une température suffisamment élevée, la composition des systèmes devient sensiblement invariable », on comprend donc bien que chauffer permet de s'affranchir au moins en partie de l'attente nécessaire à la réaction.

Q15. On a, à l'équilibre, les concentrations :

$$\begin{cases} [\mathrm{CH_3COOH}] = (1 - 0,67)\mathrm{C}_{\mathrm{CH_3COOH}} = [\mathrm{C_2H_5OH}] = (1 - 0,67)\mathrm{C}_{\mathrm{CH_3C_5OH}} \\ [\mathrm{CH_3COOC_2H_5}] = 0,67\mathrm{C}_{\mathrm{CH_3COOH}} = [\mathrm{H_2O}] \end{cases}$$

Or, à l'état initial, on a :

$$\mathrm{C}_{\mathrm{CH_3COOH}} = \mathrm{C}_{\mathrm{C_2H_5OH}} = \frac{n_{\mathrm{C_2H_5OH},i}}{V_m} = \frac{1,1}{130 \times 10^{-3}} = 8,5\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$$

Il vient donc bien, à l'équilibre :

$$\begin{cases} [\mathrm{CH_3COOH}] = [\mathrm{C_2H_5OH}] = (1 - 0,67) \times 8,5 = \underline{2,8\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}} \\ [\mathrm{CH_3COOC_2H_5}] = [\mathrm{H_2O}] = 0,67 \times 8,5 = \underline{5,7\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}} \end{cases}$$

Q16. On exprime le quotient de réaction :

$$\boxed{Q = \frac{\mathrm{C}_{\mathrm{CH_3COOC_2H_5}} \times \mathrm{C}_{\mathrm{H_2O}}}{\mathrm{C}_{\mathrm{CH_3COOH}} \times \mathrm{C}_{\mathrm{C_2H_5OH}}}}$$

Il vient donc, à l'état initial :

$$Q_i = \frac{0}{8,5^2} = \underline{0}$$

Et à l'équilibre :

$$Q_{\text{éq}} = \frac{[\mathrm{CH_3COOC_2H_5}][\mathrm{H_2O}]}{[\mathrm{CH_3COOH}][\mathrm{C_2H_5OH}]} = \frac{5,7^2}{2,8^2} = \underline{4,14}$$

Q17. Pour améliorer le rendement, il faut chercher à déplacer l'équilibre dans le sens de la formation de l'ester, donc la rendre thermodynamiquement favorable.

Pour cela, une méthode serait de chauffer à reflux, et d'éliminer l'eau du milieu au fur et à mesure de sa formation, avec un montage adapté (par exemple, l'utilisation d'un appareil de Dean-Stark).

Exercice 2 — Une brosse à dents

Détermination du diamètre d'un brin de brosse à dents manuelle

Q1. On étudie le triangle rectangle formé entre le fil, le centre de la tache centrale de diffraction et l'extrémité de la tache centrale.

On a alors, dans ce triangle rectangle, aux petits angles :

$$\theta \sim \tan\theta = \frac{L}{2D}$$

Il vient donc, en utilisant l'expression donnée pour θ :

$$\theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D} \implies \boxed{L = \frac{2\lambda D}{a}} \tag{2}$$

Ce qui est bien l'expression donnée, avec $k = 2\lambda D$.

Q2. On remarque, dans l'expression que nous venons d'établir, que la largeur L de la tache centrale de diffraction est inversement proportionnelle au diamètre a de l'objet diffractant.

Ainsi, la figure de tache centrale la plus grande sera celle donnée par le fil le plus fin.

Autrement dit, l'expérience A a été menée avec le fil de calibre a_1, tandis que l'expérience B ($L_B < L_A$) a été conduite avec le fil de calibre a_2 ($= 300\,\mu\text{m} > a_1$).

Q3. À partir de (2), il vient bien :

$$a_{\text{brosse}} = \frac{k}{L} = \frac{1,96 \times 10^{-6}}{1,89 \times 10^{-2}} = \underline{1,04 \times 10^{-4}\,\text{m}}$$

Q4. En utilisant la formule donnée, on calcule l'incertitude-type associée au diamètre du brin de brosse à dent :

$$u(a_{\text{brosse}}) = 1,04 \times 10^{-4} \times \sqrt{\left(\frac{0,03 \times 10^{-6}}{1,96 \times 10^{-6}}\right)^2 + \left(\frac{1,0 \times 10^{-3}}{1,89 \times 10^{-2}}\right)^2} = \underline{5,73 \times 10^{-6}\,\text{m}}$$

Q5. On calcule le Z-score sur le diamètre du brin de brosse à dents :

$$Z = \frac{|1,04 \times 10^{-4} - 1,0 \times 10^{-4}|}{5,73 \times 10^{-6}} = \underline{0,7 < 2}$$

Le brin étudié a donc un diamètre en accord avec la valeur de référence.

Niveau d'intensité sonore d'une brosse à dents électrique

Q6. D'après les données, on a :

$$L_1 = 10\log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) \implies \log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) = \frac{L_1}{10} \implies \boxed{I_1 = I_0 \times 10^{\frac{L_1}{10}}} \tag{3}$$

D'où,

$$I_1 = 1,0 \times 10^{-12} \times 10^{\frac{65}{10}} = \underline{3,2 \times 10^{-6}\,\text{W} \cdot \text{m}^{-2}}$$

Q7. On souhaite savoir si une personne peut prendre sa douche pendant qu'une seconde se brosse les dents, sans être incommodée par le bruit.

On émet pour cela les hypothèses :

— La brosse à dents est relativement immobile dans l'espace pendant son fonctionnement ;

— On néglige toute action des murs et de la géométrie de la pièce sur le son perçu ;
— On suppose que la puissance de la source sonore est constante dans le temps.

On va alors chercher la distance d minimale pour ne pas être gêné par le bruit de la brosse à dents.
On a, en fonction de la distance à la source sonore :

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi d^2} \implies d^2 = \frac{P}{4\pi I}$$

Or, on dispose d'une valeur de niveau d'intensité sonore en décibels. On injecte donc (3) dans l'expression tout juste établie :

$$\boxed{d^2 \overset{(3)}{=} \frac{P}{4\pi \times I_0 \times 10^{L/10}}} \tag{4}$$

D'où,

$$d^2 = \frac{4,0 \times 10^{-7}}{4\pi \times 1,0 \times 10^{-12} \times 10^{25/10}} = 101\,\mathrm{m}^2$$

Alors :

$$d = \sqrt{101} = \underline{10\,\mathrm{m}}$$

Au vu des dimensions de la salle de bain, il n'est donc pas possible de prendre une douche pendant que quelqu'un se brosse les dents, sans être incommodé par le bruit de la brosse à dents.

Exercice 3 — Émilie du Châtelet, Madame Pompon Newton

Q1. Dans un langage plus moderne, le principe d'inertie dicte qu'un corps soumis à des forces de résultante nulle est soit immobile, soit en mouvement rectiligne uniforme.

En d'autres termes,

$$\sum_i \vec{F}_i = \vec{0} \iff \vec{v} = \overrightarrow{\text{cte}}$$

Q2. Le centre de masse de la plume, proche de son centre géométrique mais plus proche de la partie la plus lourde de la plume, est le point B.

Q3. Par mesure sur la chronophotographie, on a $G_6G_7 = 29\,\text{cm}$ et $G_8G_9 = 29\,\text{cm}$.

Il vient donc très logiquement :

$$v_7 = v_9 = \frac{29 \times 10^{-2}}{0,085} = \underline{3,4\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1}}$$

Q4. En considérant la plume de masse m constante en mouvement uniforme dans le référentiel terrestre supposé galiléen, les forces s'exerçant sont :

- son poids $m\vec{g}$;
- la force de frottement de l'air $\vec{f}$;
- on néglige la poussée d'Archimède.

Par application directe du principe d'inertie dans le cas du mouvement uniforme de la plume, il vient :

$$\boxed{m\vec{g} + \vec{f} = 0} \tag{5}$$

Et il est ainsi possible de calculer la valeur de la force de frottement :

$$m\vec{g} + \vec{f} = 0 \implies \boxed{f = mg} = 0,985 \times 10^{-3} \times 9,81 = \underline{9,7 \times 10^{-3}\,\text{N}}$$

Q5. La deuxième loi de Newton prédit que la variation temporelle de la quantité de mouvement d'un système en mouvement dans un référentiel galiléen ne dépend que des force s'exerçant sur lui.

En d'autres termes, pour un système de masse m soumis à des forces extérieures $\overrightarrow{F_i}$ en mouvement dans un référentiel galiléen, on a :

$$\frac{\mathrm{d}\,m\vec{v}}{\mathrm{d}\,t} = \sum_i \overrightarrow{F_i}$$

Ou, à masse constante :

$$m\vec{a} = \sum_i \overrightarrow{F_i}$$

Q6. Pour un système quelconque de masse m constante en mouvement dans le référentiel terrestre supposé galiléen, soumis uniquement à son propre poids, la deuxième loi de Newton permet d'écrire :

$$m\vec{a} = m\vec{g} \implies \vec{a} = \vec{g}$$

Ou, projeté sur l'axe (Oy) :

$$\frac{\mathrm{d}^2\,y}{\mathrm{d}\,t^2}(t) = a_y(t) = -g \tag{6}$$

On intègre en temps, avec une vitesse initiale nulle :

$$\frac{\mathrm{d}\,y}{\mathrm{d}\,t}(t) = v_y(t) = -gt \tag{7}$$

Et finalement, en intégrant une seconde fois dans le temps, avec $y_0 = H$:

$$\boxed{y(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + H} \tag{8}$$

Et on remarque bien que cette grandeur est indépendante de la masse de l'objet !

Q7. En utilisant les expressions précédemment établies, on peut sans difficulté associer l'accélération (6) à la courbe A qui est une fonction constante, la vitesse (7) à la courbe B qui est une droite passant par l'origine, et la position (8) à la courbe C qui est une portion de parabole.

Q8. On cherche à calculer la valeur de la hauteur H depuis laquelle les objets sont lâchés, en connaissant la vitesse de l'objet à une altitude donnée.

Par application du théorème de l'énergie mécanique[4] entre les points A et B d'altitudes H et d, la seule force s'exerçant étant le poids (conservative) :

$$\begin{aligned}\Delta_{A\to B}\mathcal{E}_m = 0 \implies \mathcal{E}_m(A) = \mathcal{E}_m(B) &\implies 0 + mgH = \frac{1}{2}m{v_d}^2 + mgd \\ &\implies gH = \frac{1}{2}{v_d}^2 + gd \\ &\implies \boxed{H = \frac{1}{2g}{v_d}^2 + d}\end{aligned}$$

D'où,

$$H = \frac{1}{2 \times 9,81} \times 14^2 + 20 \times 10^{-2} = \underline{10,2\,\mathrm{m}}$$

Q9. La troisième loi de Newton est le « principe des actions réciproques », qui prévoit donc que la force exercée par un objet sur un second est très exactement l'opposée de la force que le second objet exerce sur le premier.

L'exemple parfait pour illustrer cette loi est donc l'extrait n°2.

* *
*

Proposé par T. Prévost (thomas.prevost@protonmail.com),
pour le site https://www.sujetdebac.fr/
Compilé le 30 octobre 2024.

4. On peut aussi très bien (ce qui est tentant dans le contexte de l'exercice) calculer le temps t_d mis pour arriver à l'altitude d grâce à (7), puis isoler H. On calcule $t_d = 1,43\,\mathrm{s}$, et on retrouve bien $H = 10,2\,\mathrm{m}$.