Ce document a été mis en ligne par l'organisme FormaV®.

Toute reproduction, représentation ou diffusion, même partielle, sans autorisation préalable, est strictement interdite.

Pour consulter tous nos sujets d'annales et corrigés du Bac Général Maths + Physique, veuillez visiter :
bac-maths-physique.fr/annales-sujets-et-corriges

Baccalauréat Général

Session septembre 2024 – Métropole

Épreuve de Physique-Chimie

Sujet de spécialité n° 2

Proposition de corrigé

Ce corrigé est composé de 8 pages.

Exercice 1 — Vol en montgolfière

1. L'envol de la montgolfière

Q1. L'air est supposé composé de 80 % de diazote et 20 % de dioxygène. Sa masse molaire sera donc :

$$\boxed{M(\text{air}) = 0,8M(\text{N}_2) + 0,2M(\text{O}_2)} = 0,8 \times 28 \times 10^{-3} + 0,2 \times 32 \times 10^{-3}$$
$$= \underline{29 \times 10^{-3}\,\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}}$$

Q2. On a, pour l'air supposé gaz parfait, à l'intérieur du ballon :

$$p_{\text{int}}V = nRT_{\text{int}} \implies n = \frac{p_{\text{int}}V}{RT_{\text{int}}}$$

Et avec $n = \frac{m_{\text{int}}}{M(\text{air})}$ la quantité de matière d'air dans le ballon, il vient :

$$\frac{m_{\text{int}}}{M(\text{air})} = \frac{p_{\text{int}}V}{RT_{\text{int}}} \implies \boxed{m_{\text{int}} = \frac{p_{\text{int}}VM(\text{air})}{RT_{\text{int}}}} \quad (1)$$

Q3. Sachant que la masse totale de la montgolfière correspond à la somme de la masse vide et de la masse de l'air intérieur, il vient :

$$\boxed{P_{\text{total}} = (m_{\text{ens}} + m_{\text{int}})g}$$

Q4. Le volume de la montgolfière étant considéré égal à celui de l'enveloppe, la poussée d'Archimède vaut, au niveau du sol :

$$\boxed{\pi_A = \rho_{\text{ext}}Vg} = 1,2 \times 2,5 \times 10^3 \times 9,81 = \underline{2,9 \times 10^4\,\text{N}}$$

Q5. Pour avoir décollage de la montgolfière, il faut au minimum que son poids soit compensé par la poussée d'Archimède au niveau du sol. Il faudra donc :

$$(m_{\text{ens}} + m_{\text{int}})g = \pi_A \implies m_{\text{int}} = \frac{\pi_A}{g} - m_{\text{ens}}$$

Et en utilisant (1), il vient bien :

$$\frac{p_{\text{int}}VM(\text{air})}{RT_{\text{min}}} = \frac{\pi_A}{g} - m_{\text{ens}} \implies \boxed{T_{\text{min}} = \frac{p_{\text{int}}VM(\text{air})}{R\left(\frac{\pi_A}{g} - m_{\text{ens}}\right)}}$$

D'où,

$$T_{\text{min}} = \frac{1,0 \times 10^5 \times 2,5 \times 10^3 \times 29 \times 10^{-3}}{8,314 \times \left(\frac{2,9 \times 10^4}{9,81} - 500\right)} = \underline{355\,\text{K} = 82\,^\circ\text{C}}$$

Q6. On souhaite calculer l'accélération de la montgolfière au moment de son décollage. Pour cela, on applique la loi de quantité de mouvement [1] au système {montgolfière + air intérieur} de masse supposée constante, soumis uniquement à son poids et à la poussée d'Archimède, dans le référentiel terrestre supposé galiléen :

$$m_{\text{tot}}\vec{g} + \overrightarrow{\pi_A} = m_{\text{tot}}\vec{a}$$

1. ou « principe fondamental de la dynamique »

Et en projetant sur l'axe vertical (orienté vers le haut) :

$$-m_{\text{tot}}g + \pi_A = m_{\text{tot}}a \implies \boxed{a = \frac{\pi_A}{m_{\text{tot}}} - g} \tag{2}$$

D'où,

$$a = \frac{2,9 \times 10^4}{2,8 \times 10^3} - 9,81 = \underline{0,55\,\text{m}\cdot\text{s}^{-2}}$$

Ensuite, comme $a = \frac{\text{d}\,v}{\text{d}\,t}$, il vient en intégrant (2) en temps (le système étant initialement immobile) :

$$\boxed{v(t) = \left(\frac{\pi_A}{m_{\text{tot}}} - g\right) t = a \cdot t}$$

Et il vient alors :

$$\underline{v(t = 10\,\text{s}) = 5,5\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1} = 19\,\text{km}\cdot\text{h}^{-1}} \quad \text{et} \quad \underline{v(t = 60\,\text{s}) = 33\,\text{m}\cdot\text{s}^{-1} = 119\,\text{km}\cdot\text{h}^{-1}}$$

Q7. On remarque que ces valeurs sont bien surévaluées, ce qui peut s'expliquer non seulement par le fait que la différence de pression en fonction de l'altitude n'ait pas été prise en compte, mais aussi par la négligence de tout transfert thermique au-travers de la paroi du ballon.

2. Une enveloppe de montgolfière plus performante

Q8. L'air le plus chaud se trouvant à l'intérieur du ballon, le flux thermique sera dirigé de l'intérieur vers l'extérieur ($\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{ext}} > 0$).

Q9. En appliquant la formule qui nous est donnée, il vient :

$$\Phi_1 = \frac{106 - 21}{3,0 \times 10^{-4}} = \underline{2,8 \times 10^5\,\text{W}}$$

Q10. On remarque que le flux thermique au-travers de l'enveloppe à double paroi est de l'ordre de 100 fois inférieur à celui au-travers de l'enveloppe simple, ce qui signifie que les pertes thermiques le sont tout autant. L'enveloppe double paroi est donc bien plus performante énergétiquement que l'enveloppe simple.

3. Une gourde en aluminium à bord de la montgolfière

Q11. Le premier principe de la thermodynamique appliqué au système étudié de volume incompressible sur la transformation infinitésimale entre t et $t + \Delta t$, permet d'écrire :

$$\frac{\text{d}\,U}{\Delta t} = \frac{\delta Q}{\Delta t} = \Phi$$

Ou, en d'autres termes et avec la loi de Newton :

$$\frac{C(\theta(t + \Delta t) - \theta(t))}{\Delta t} = hS\Delta(\theta_{\text{ext}} - \theta(t))$$

Et il vient finalement [2] :

$$\boxed{\theta(t + \Delta t) - \theta(t) = \frac{hS(\theta_{\text{ext}} - \theta(t))\Delta t}{C}}$$

2. Pour la culture, l'équation différentielle est obtenue en se souvenant que par définition, pour Δt infinitésimal, $\theta(t + \Delta t) - \theta(t) = \frac{\text{d}\,\theta(t)}{\text{d}\,t} \cdot \Delta t$.

Q12. À partir de l'équation différentielle et de la forme proposée pour la solution, il vient :

— Pour $t = 0$, on a $\theta(t = 0) = A + B = \theta_0$, alors $A = \theta_0 - B$;

— Pour $t \to +\infty$, on a $\theta(t) \to \theta_{\text{ext}}$, alors $B = \theta_{\text{ext}}$.

Et donc finalement :

$$\underline{A = \theta_0 - \theta_{\text{ext}} = 48 - 21 = 27°C} \quad \text{et} \quad \underline{B = \theta_{\text{ext}} = 21°C}$$

On retrouve bien les valeurs présentées dans la modélisation numérique du document 2.

Q13. On nous donne l'expression calculée par régression numérique, qui nous permet alors d'identifier :

$$\frac{1}{\tau} = 0,000196 \implies \tau = \frac{1}{0,000196} = \underline{5102\,\text{s}}$$

Q14. On a le temps caractéristique :

$$\tau = \frac{C}{hS} \implies \boxed{h = \frac{C}{\tau S}}$$

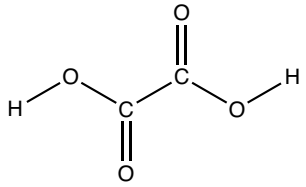
D'où,

$$h = \frac{2,1 \times 10^3}{5102 \times 0,042} = \underline{9,8\,\text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}}$$

Cette valeur étant compatible avec un échange thermique dans un cas sans courant d'air, ce qui est tout à fait compatible avec les conditions d'étude en laboratoire. Cependant, le pilote de la montgolfière ne doit pas s'attendre à d'aussi bonnes caractéristiques pour la gourde une fois en l'air, dans des conditions météo sûrement bien plus capricieuses qu'en laboratoire...

Exercice 2 — Traitement contre le varroa

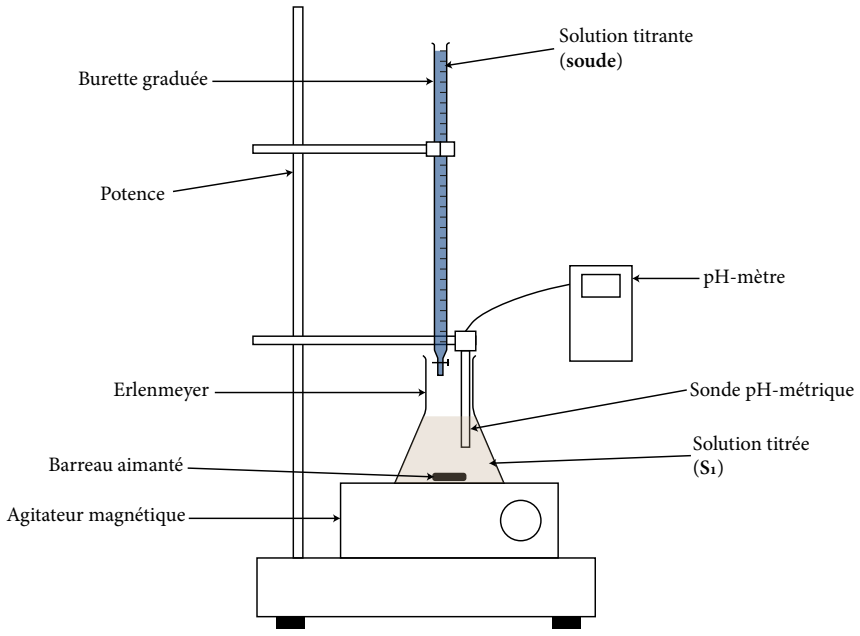
Q1. On sait que l'acide oxalique a pour formule brute $C_2H_2O_4$ et comporte deux fonctions acide carboxylique. La seule structure possible est la suivante :



Q2. Pour préparer avec la meilleure précision $V = 100,0\,\text{mL}$ de S_1 par dilution 10 fois de S, il faut suivre le mode opératoire suivant :

- Prélever $V_0 = 10\,\text{mL}$ de solution S avec une *pipette jaugée* (idéalement une seule de 10 mL, au pire deux fois avec la même pipette de 5 mL [3]), permettant de mesurer précisément le volume prélevé ;
- Placer le volume prélevé dans une *fiole jaugée* (meilleure précision de la mesure) de 100 mL ;
- Y rajouter de l'eau distillée jusqu'environ la moitié de la contenance ;
- Boucher et agiter pour homogénéiser la solution ;
- Compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge (les yeux à hauteur de jauge, bas du ménisque sur la jauge) ;
- Boucher puis agiter une nouvelle fois pour obtenir une solution homogène.

Q3. On schématise le montage expérimental nécessaire au titrage pH-métrique :



Q4. On a le diagramme de prédominance des couples de l'acide oxalique :



3. Dans le meilleur des mondes, on pourrait également utiliser une pipette de précision bien étalonnée.

On remarque alors que dans la solution S_1, à pH $= 1,5$, la forme présente en plus grande quantité est $C_2HO_4^-$.

Q5. Dans la solution S_1, on vient de vérifier que la forme majoritaire est $C_2HO_4^-$, qui correspondra donc à la courbe n2. Cependant, le pH initial étant proche de pKa_1, la solution contiendra également en moindre mesure le diacide $C_2H_2O_4$, qu'il est possible d'associer à la courbe n1.

Finalement, à la fin du titrage, *i.e.* à pH bien supérieur à pKa_2, la seule forme présente sera la plus basique des trois, à savoir $C_2O_4^{2-}$ qui sera donc très logiquement associée à la courbe n3.

Q6. On souhaite retrouver la valeur de pKa_2 à partir des courbes expérimentale et numérique. Pour cela, il faut se souvenir qu'à l'équivalence, on observe une égalité des quantités de matière de base et d'acide d'un couple.

Il faut alors, à partir de la figure 2, déterminer le volume tel que $n_{C_2HO_4^-} = n_{C_2O_4^{2-}}$, et lire sur la figure 1 le pH de la solution à cet instant, qui sera égal à pKa_2.

En l'occurrence, en appliquant cette méthode, on trouve $pKa_2 = 4,5$, ce qui est proche de la valeur tabulée.

Q7. On cherche la concentration massique en acide oxalique de la solution S. Pour cela, on va exploiter le titrage mené au laboratoire. Pour simplifier l'écriture, on note X_1 (resp. X_S) la grandeur X dans la solution S_1 (resp. S).

À l'équivalence, on a :

$$\frac{n_1}{1} = \frac{n_{OH^-}}{2}$$

Ou, en masse et volume :

$$\frac{C_{m,1}V_1}{M} = \frac{cV_E}{2} \implies C_{m,1} = \frac{cV_EM}{2V_1}$$

Et comme la solution S_1 est préparée en diluant 10 fois la solution S, il vient finalement :

$$\boxed{C_{m,S} = \frac{5cV_EM}{V_1}}$$

D'où,

$$C_{m,S} = \frac{5 \times 1,0 \times 10^{-1} \times 10,8 \times 126}{20,0} = \underline{34\,\text{g} \cdot \text{L}^{-1}}$$

Cette valeur, si on en croit le tableau qui nous est donné, est tout à fait correcte pour traiter efficacement les abeilles tout en s'assurant une bonne tolérance de la part de ces dernières.

Exercice 3 — Suivi cinétique d'une décoloration

1. Étude des conditions initiales

Q1. Le pictogramme de sécurité associé à la phénolphtaléine signifie qu'il s'agit d'un composé CMR (cancérogène, mutagène ou reprotoxique). On comprend alors la manipulation d'une solution aqueuse de phénolphtaléine, moins volatile que le solide, permettant de réduire le risque d'exposition par inhalation.

Q2. Dans la solution aqueuse de soude, on a :

$$\boxed{\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 + \log\left([\text{OH}^-]\right)} = 14 + \log(0,5) = \underline{13,7}$$

Q3. En introduisant la solution de phénolphtaléine dans le bécher, on la dilue $\frac{30}{0,5} = 60$ fois. La concentration en ions P^{2-} sera donc :

$$\boxed{[\text{P}^{2-}]_0 = \frac{[\text{P}^{2-}]}{60}} = \frac{1,6 \times 10^{-3}}{60} = \underline{2,6 \times 10^{-5}\,\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}}$$

2. Étude cinétique de la décoloration

Q4. L'évolution de la vitesse tracée expérimentalement laisse apparaître une relation linéaire entre la vitesse de disparition et la concentration en ions P^{2-}, ce qui est compatible avec une loi de vitesse d'ordre 1.

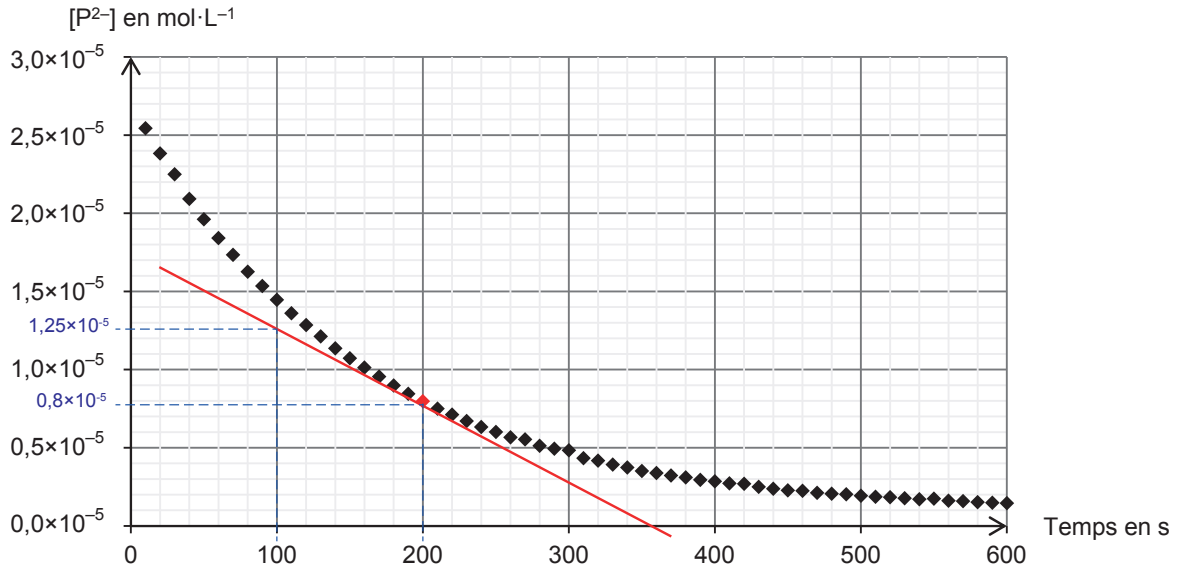
Q5. On cherche à mesurer la valeur de la constante cinétique k, qui correspond au coefficient directeur de la droite tracée expérimentalement, passant par l'origine.
Par lecture graphique, on a :

$$k = \frac{0,84 \times 10^{-7}}{1,5 \times 10^{-3}} = \underline{6 \times 10^{-3}\,\text{s}^{-1}}$$

Q6. On souhaite lire graphiquement la valeur de la vitesse de disparition v_d à $t = 200\,\text{s}$. Or, on sait que par définition,

$$v_d = -\frac{\text{d}[\text{P}^{2-}]}{\text{d}\,t}(t = 200\,\text{s})$$

Il faut donc déterminer par lecture graphique le coefficient directeur de la tangente à la courbe représentative de $[\text{P}^{2-}]$ à l'abscisse $t = 200\,\text{s}$.
On commence par tracer cette dernière :



Graphiquement, on lit alors :

$$v_d = -\frac{0,8 \times 10^{-5} - 1,25 \times 10^{-5}}{200 - 100} = \underline{4,5 \times 10^{-8}\,\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}}$$

Q7. On remarque aisément que dans le temps, la décroissance de $[P^{2-}]$ devient de moins en moins importante ; la vitesse de disparition va donc diminuer au cours du temps.

Q8. Le temps de demi-réaction est le temps au bout duquel la moitié du réactif est consommé. On a donc, à cet instant,

$$[P^{2-}](t = t_{1/2}) = \frac{[P^{2-}]_0}{2} \tag{3}$$

Graphiquement, on lit $\underline{t_{1/2} = 120\,\text{s}}$.

Q9. En exploitant la définition (3), et avec l'expression qui nous est donnée :

$$[P^{2-}]_0 e^{-kt_{1/2}} = \frac{[P^{2-}]_0}{2} \implies e^{-kt_{1/2}} = \frac{1}{2}$$

Et finalement, par passage au logarithme :

$$-kt_{1/2} = \ln\frac{1}{2} \implies \boxed{t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}}$$

D'où,

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{6 \times 10^{-3}} = \underline{116\,\text{s}}$$

Q10. Cette valeur correspond bien à celle qui a été déterminée expérimentalement, l'hypothèse de départ était donc correcte.

Q11. On remarque que le temps de demi-réaction est de l'ordre de 2 minutes, ce qui signifie donc que la décoloration est suffisamment lente pour ne pas être problématique sur la durée standard d'un titrage. Néanmoins, il faudra dans ce cas veiller à préparer la solution juste avant le titrage, ce qui n'en fait pas l'indicateur coloré le plus pratique à mettre en œuvre...

* *
*

Proposé par T. Prévost (thomas.prevost@protonmail.com),
pour le site https://www.sujetdebac.fr/
Compilé le 6 février 2025.

Copyright © 2027 FormaV®. Tous droits réservés.

FormaV® est une marque déposée auprès de l'INPI sous le numéro 5227897.

Ce document a été élaboré par FormaV® avec le plus grand soin afin d'accompagner chaque apprenant vers la réussite de ses examens. Son contenu (textes, graphiques, méthodologies, tableaux, exercices, concepts, mises en forme) constitue une œuvre protégée par le droit d'auteur.

Toute copie, partage, reproduction, diffusion ou mise à disposition, même partielle, gratuite ou payante, est strictement interdite sans accord préalable et écrit de FormaV®, conformément aux articles L.111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle. Dans une logique anti-plagiat, FormaV® se réserve le droit de vérifier toute utilisation illicite, y compris sur les plateformes en ligne ou sites tiers.

En utilisant ce document, vous vous engagez à respecter ces règles et à préserver l'intégrité du travail fourni. La consultation de ce document est strictement personnelle.

Merci de respecter le travail accompli afin de permettre la création continue de ressources pédagogiques fiables et accessibles.