Baccalauréat Général

Session 2024 – Asie

Épreuve de Physique-Chimie

Sujet de spécialité n° 1

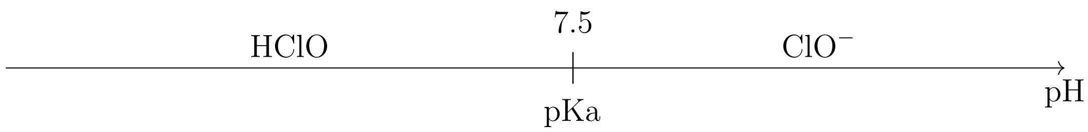
Proposition de corrigé

Ce corrigé est composé de 7 pages.

Exercice 1 — Ne jamais mélanger eau de Javel et acide

Partie A – Étude du dégagement de dichlore

Q1. On représente le diagramme de prédominance du couple $HClO/ClO^-$:



Q2. Par lecture de ce diagramme, on peut affirmer que dans l'eau de Javel, à un pH compris entre 11,5 et 12,5, l'espèce prédominante est ClO^-.

Q3. En abaissant le pH par ajout d'acide, on forme progressivement de l'acide hypochloreux. À pH ≈ 0, il est donc raisonnable de dire que l'espèce prédominante est HClO, et que les ions ClO^- sont en quantité plus que négligeable.

Q4. On écrit les demi-équations redox des couples du chlore :

$$\begin{cases} \mathrm{Cl_2} + 2\,\mathrm{e^-} = 2\,\mathrm{Cl^-} \\ 2\,\mathrm{HClO} + 2\,\mathrm{H^+} + 2\,\mathrm{e^-} = \mathrm{Cl_2} + 2\,\mathrm{H_2O} \end{cases}$$

Q5. On peut alors combiner ces demi-équations,chacune dans le sens de la formation du dichlore :

$$2\,\mathrm{Cl^-} + 2\,\mathrm{HClO} + 2\,\mathrm{H^+} \rightleftharpoons 2\,\mathrm{Cl_2} + 2\,\mathrm{H_2O}$$

On peut alors simplifier cette équation en divisant par 2 des deux côtés :

$$\mathrm{Cl^-} + \mathrm{HClO} + \mathrm{H^+} \rightleftharpoons \mathrm{Cl_2} + \mathrm{H_2O}$$

Et finalement, en prenant en compte le fait que les protons forment des ions oxonium dans l'eau (donc il suffit d'ajouter une molécule d'eau de chaque côté), il vient finalement l'équation de réaction des ions chlorure avec l'acide hypochloreux :

$$\boxed{\mathrm{Cl^-} + \mathrm{HClO} + \mathrm{H_3O^+} \rightleftharpoons \mathrm{Cl_2} + 2\,\mathrm{H_2O}}$$

Et on remarque bien la formation de dichlore gazeux (hautement dangereux !).

Q6. On cherche quelle quantité de dichlore sera théoriquement produite dans l'hypothèse d'une réaction totale.

En exploitant l'équation de réaction, et en considérant que HClO est le réactif limitant, il vient l'avancement maximal :

$$\xi_{\text{max}} = \frac{n_{\text{HClO}}}{1} = \frac{0,40}{1} = 0,40\,\text{mol}$$

Et il vient alors, par un bilan de matière immédiat :

$$\boxed{n_{\mathrm{Cl_2}} = \xi_{\text{max}}} = \underline{0,40\,\text{mol}}$$

Q7. Ce qui correspond à un volume de dichlore :

$$\boxed{V_{\mathrm{Cl_2}} = n_{\mathrm{Cl_2}} V_m(\mathrm{Cl_2})} = 0,40 \times 24 = \underline{9,6\,\text{L}}$$

Partie B – État de conservation de l'acide chlorhydrique

Q8. La solution d'acide chlorhydrique commerciale contient 23 % en masse d'acide chlorhydrique.

La concentration massique en HCl est donc :

$$C_m = w\rho$$

Ou, en quantité de matière :

$$\boxed{C_a = \frac{C_m}{M(\mathrm{HCl})} = \frac{w\rho}{M(\mathrm{HCl})}} = \frac{0,23 \times 1120,0}{36,5} = \underline{7\,\mathrm{mol\cdot L^{-1}}}$$

Q9. On titre l'acide chlorhydrique par une solution de soude. L'équation support du titrage est donc :

$$\mathrm{H_3O^+ + HO^- \longrightarrow 2\,H_2O}$$

Q10. Pour préparer $V = 1,0\,\mathrm{L}$ de solution S par dilution 500 fois de la solution d'acide chlorhydrique, il faut prélever $V_0 = \frac{1000}{500} = \underline{2,0\,\mathrm{mL}}$ de solution commerciale.

Q11. On souhaite réaliser une dilution de la solution commerciale pour préparer $V = 1,0\,\mathrm{L}$ de solution S diluée 500 fois. Pour cela, le protocole à mettre en œuvre est le suivant :

- préparer une fiole jaugée de $1,0\,\mathrm{L}$ contenant un fond d'eau distillée [1] ;
- verser quelques millilitres de solution commerciale d'acide chlorhydrique dans un bécher [2] ;
- avec une pipette jaugée de $2,0\,\mathrm{mL}$, prélever le volume V_0 de solution commerciale ;
- verser ce volume dans la fiole jaugée ;
- remplir la fiole d'eau distillée jusqu'à la moitié ;
- boucher la fiole et homogénéiser la solution ;
- compléter d'eau distillée jusqu'au trait de jauge (les yeux en face, bas du ménisque sur le trait) ;
- boucher de nouveau, homogénéiser une dernière fois.

Q12. On souhaite exploiter le titrage afin de déterminer la concentration en ions oxonium dans la solution commerciale. En exploitant l'équation support de la réaction, on peut écrire à l'équivalence :

$$\frac{n_{\mathrm{H_3O^+}}}{1} = \frac{n_{\mathrm{HO^-}}}{1}$$

Ou, en concentration et volume :

$$C_S V_S = C_b V_E \implies C_S = \frac{C_b V_E}{V_S}$$

Et comme la solution commerciale a été diluée 500 fois pour obtenir la solution S, il vient finalement pour la solution commerciale :

$$\boxed{C_0 = 500 C_S = 500 \cdot \frac{C_b V_E}{V_S}}$$

Par lecture graphique, on trouve $V_E = 14\,\mathrm{mL}$. D'où,

$$C_0 = 500 \times \frac{2,0 \times 10^{-2} \times 14}{20,0} = \underline{7\,\mathrm{mol\cdot L^{-1}}}$$

Ce qui est bien la valeur calculée initialement, le faible dégagement de dichlore ne provient pas de la décomposition de l'acide chlorhydrique.

1. Pour éviter plus tard de verser directement de l'eau dans l'acide, cette étape relève d'avantage des bonnes pratiques de laboratoire que des attendus de lycée en termes de protocole…
2. Pour éviter de prélever directement dans le contenant commercial.

Partie C – Conservation de l'eau de Javel

Q13. Le temps de demi-réaction est le temps nécessaire pour atteindre la moitié de l'avancement final (donc généralement, le temps nécessaire à la consommation de la moitié du réactif limitant).

Dans le cas particulier de la courbe 30 °C, on repère la quantité $\frac{C_0}{2}$ et on lit en abscisse le temps mis pour atteindre cette valeur.

Q14. On remarque, sur le document 3, que l'augmentation de la température induit une baisse du temps de demi-réaction : la température accélère la réaction.

Q15. La température ayant une influence sur la cinétique de décomposition, il est logique de vouloir limiter cette dernière en réduisant la température de conservation (le temps de demi-réaction augmente d'un facteur 2 en passant de 35 °C à 20 °C pour le stockage !).

Q16. L'eau de Javel a été ouverte il y a 18 mois (donc environ $18 \times 30 = 540$ jours), et a été conservée à 20 °C. Par lecture graphique, sa concentration en ions hypochlorite était donc $\underline{C = 0,04\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}}$, soit 10 fois moins que dans une bouteille neuve !

On comprend donc d'où peut venir la faible quantité de gaz produite pendant la réaction.

Exercice 2 — Observation distante

Discernabilité à l'œil nu

Q1. En travaillant dans le triangle rectangle formé entre l'objet et l'œil lors de l'observation, il vient :

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

D'où,

$$\theta = \frac{44}{195 \times 10^3} = \underline{2,3 \times 10^{-4}\,\text{rad}}$$

Q2. Comme $\theta < \varepsilon$, l'observateur ne pourra donc pas discerner la pale de l'éolienne à l'œil nu.

Recours à une lunette afocale

Q3. On identifie l'objectif et l'oculaire sur le schéma de la lunette (voir Q7).

Q4. Le principe d'une lunette afocale est de rendre en parallèles en sortie des rayons qui seront rentrés parallèles (l'image d'un objet à l'infini est à l'infini).

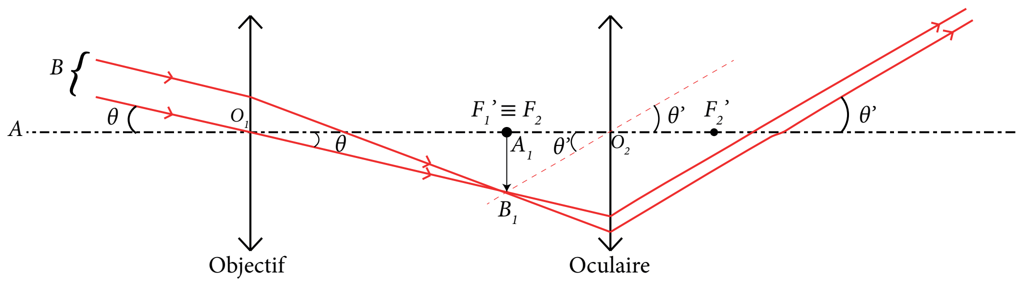
Dans ce sens, par parcours inverse de la lumière, il faudra nécessairement que le foyer objet de l'oculaire soit confondu avec le foyer image de l'objectif.

Q5. On place alors les foyer F_2 et $F_2{}'$ de manière à avoir $F_2 \equiv F_1{}'$ sur le schéma de la lunette (voir Q7).

Q6. Très logiquement, pour avoir une lunette afocale, il faut séparer objectif et oculaire d'une distance :

$$\boxed{d = f_1{}' + f_2{}'}$$

Q7. On trace la marche des rayons lumineux sur le schéma de la lunette :



Q8. On rajoute alors sur le schéma les angles θ et θ'.

Q9. On souhaite exploiter le schéma tout juste complété pour exprimer le grossissement en fonction des focales des lentilles.

Pour rappel, le grossissement nous est donné comme le rapport :

$$G = \frac{\theta'}{\theta} \tag{1}$$

Il faut donc chercher une expression des angles θ et θ' en fonction des focales. On commence alors par compléter le schéma (voir Q7) pour faire apparaître ces angles dans des triangles rectangles nous permettant d'appliquer les formules de trigonométrie bien connues.

Ainsi, dans un premier temps, dans le triangle $O_1A_1B_1$ rectangle en A_1, il vient :

$$\tan\theta = \frac{A_1B_1}{f_1{}'} \overset{\theta \ll 1}{\Longrightarrow} \theta = \frac{A_1B_1}{f_1{}'} \tag{2}$$

Et de la même manière, dans le triangle $O_2A_1B_1$ rectangle en A_1 :

$$\tan\theta' = \frac{A_1B_1}{f_2'} \overset{\theta' \ll 1}{\Longrightarrow} \theta' = \frac{A_1B_1}{f_2'} \tag{3}$$

Il suffit alors d'injecter (2) et (3) dans l'expression du grossissement (1) :

$$G = \frac{\frac{A_1B_1}{f_2'}}{\frac{A_1B_1}{f_1'}} = \frac{A_1B_1}{f_2'} \times \frac{f_1'}{A_1B_1} \Longrightarrow \boxed{G = \frac{f_1'}{f_2'}}$$

Q10. On cherche finalement un assemblage de lentilles permettant de distinguer confortablement les pales de l'éolienne.

Pour rappel, à l'œil nu, une pale est perçue sous l'écart angulaire $\theta = 2,3 \times 10^{-4}\,\text{rad}$, et on souhaite l'observer *a minima* sous un angle $\theta'_m = 4\varepsilon = 1,2 \times 10^{-3}\,\text{rad}$.

Le grossissement minimal doit donc être :

$$G_m = \frac{\theta'_m}{\theta} = \frac{1,2 \times 10^{-3}}{2,3 \times 10^{-4}} = 5,2$$

Et en étudiant rapidement les combinaisons possibles, on remarque facilement que la seule acceptable pour garantir le confort de l'observateur est de prendre $\underline{f_1' = 30,0\,\text{cm}}$ et $\underline{f_2' = 5,0\,\text{cm}}$.

Exercice 3 — Au bonheur des hippocampes

Q1. Les modes de transfert thermique pouvant contribuer au refroidissement de l'aquarium sont le transfert radiatif (perte sous forme de rayonnement), le transfert conductif (par diffusion de chaleur), et le transfert conducto-convectif (échange lié au mouvement de l'air à l'interface).

Q2. L'air ambiant étant de température constante, et en quantité suffisamment grande devant le volume de l'aquarium pour être considérée infinie, la température la plus basse que l'eau est susceptible d'atteindre est $\boxed{T_{\text{min}} = \theta_{\text{air}}} = \underline{20\,°\text{C}}$.

Q3. On cherche à calculer la résistance thermique totale des parois en plexiglass de l'aquarium. Il faut pour cela exprimer la surface totale des parois étudiées, à savoir :

- deux parois latérales (surface $S_{g,d} = 2PH$) ;
- les parois avant et arrière (surface $S_{av,ar} = 2LH$) ;
- le couvercle (surface $S_c = LP$).

La surface totale est donc :

$$S_T = 2PH + 2LH + LP = 2H(P+L) + LP$$

Et finalement, il vient donc :

$$\boxed{R_{th} = \frac{e}{(2H(P+L)+LP)\lambda}}$$

D'où,

$$R_{th} = \frac{8,0 \times 10^{-3}}{(2 \times 0,40 \times (0,40+0,60) + 0,60 \times 0,40) \times 0,17} = \underline{4,5 \times 10^{-2}\ °\text{C} \cdot \text{W}^{-1}}$$

Et on a donc bien $R_{th} \approx 4,6 \times 10^{-2}\ °\text{C} \cdot \text{W}^{-1}$

Q4. En considérant que les seules pertes thermiques sont par conduction, la puissance à apporter pour maintenir l'eau à la bonne température est simplement :

$$\boxed{P_{th} = \Phi = \frac{\theta_{\text{eau}} - \theta_{\text{air}}}{R_{th}}}$$

D'où, on a bien :

$$P_{th} = \frac{26 - 20}{4,6 \times 10^{-2}} = \underline{130\,\text{W}}$$

Q5. Si on éteint le chauffage et qu'on laisse le soleil chauffer l'eau, il lui apportera une puissance thermique $P_S = 30\,\text{W}$. Cette puissance étant inférieure à la puissance de conduction (pertes), la température de l'eau diminuera pendant la journée.

Q6. On souhaite faire un bilan thermique sur l'eau de l'aquarium. Les puissances échangées avec son environnement sont :

— la puissance P_S reçue par rayonnement solaire ;

— la puissance Φ perdue par conduction avec l'air au-travers des parois.

Q7. En observant l'équation différentielle régissant l'évolution de la température de l'eau, et sa solution, on ressort le temps caractéristique d'évolution du système, ayant pour valeur :

$$\tau = mcR_{th} = 100 \times 3930 \times 4,6 \times 10^{-2} = \underline{1,8 \times 10^4\,\text{s} = 5\,\text{h}}$$

Q8. Pour $t \gg \tau$, on a $e^{-\frac{t}{\tau}} \to 0$, et alors :

$$\boxed{\theta(t) \overset{t \gg \tau}{\rightarrow} \theta_f = \theta_{\text{air}} + R_{th} P_S}$$

D'où,

$$\theta_f = 20 + 4,6 \times 10^{-2} \times 30 = \underline{21,4\,°\text{C}}$$

Q9. On se pose la question de la pertinence de n'utiliser que le soleil pour maintenir la température de l'aquarium entre 24 et 28 °C pendant la journée.

En supposant que la journée (entièrement ensoleillée) dure de l'ordre de 8 heures, la température de l'eau en fin de journée sera de $\theta(8 \times 3600) = 22,3\,°\text{C} < 24\,°\text{C}$, donc trop basse !

On peut alors rapidement se poser la question du temps maximal qu'il est possible de passer sans allumer le chauffage, lorsque l'aquarium est au soleil. On regarde donc l'évolution de la température heure par heure sur la journée :

$t\,[h]$	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
$\theta(t)\,[°\text{C}]$	26	25,2	24,5	23,9	23,5	23,1	22,8	22,5	22,3

On constate alors qu'il n'est pas envisageable d'utiliser la puissance du soleil pour maintenir l'aquarium à la bonne température pendant la journée !

* *
*

Proposé par T. Prévost (thomas.prevost@protonmail.com),
pour le site https://www.sujetdebac.fr/
Compilé le 9 avril 2025.