Exercice 1 : Dismutation de l'eau oxygénée

11 points

Partie A : concentration de la solution commerciale

1) D'après la définition du titre, un litre de solution libère $20\,\text{L}$ de dioxygène. Le flacon contient $V_{\text{sol}} = 250\,\text{mL} = 0{,}250\,\text{L}$ de solution ; il peut donc libérer

$$V(\text{O}_2) = 20 \times 0{,}250 = 5{,}0\,\text{L}.$$

La quantité de matière de dioxygène correspondante est

$$n(\text{O}_2) = \frac{V(\text{O}_2)}{V_{\text{m}}} = \frac{5{,}0\,\text{L}}{25\,\text{L·mol}^{-1}} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{n(\text{O}_2) = 0{,}20\,\text{mol}}$$

2) D'après l'équation de la réaction, totale, 2 moles de H_2O_2 donnent 1 mole de O_2 :

$$\frac{n_0(\text{H}_2\text{O}_2)}{2} = \frac{n(\text{O}_2)}{1}, \quad \text{soit} \quad n_0(\text{H}_2\text{O}_2) = 2\,n(\text{O}_2) = 0{,}40\,\text{mol}.$$

$$[\text{H}_2\text{O}_2]_{\text{th}} = \frac{n_0(\text{H}_2\text{O}_2)}{V_{\text{sol}}} = \frac{2\,n(\text{O}_2)}{V_{\text{sol}}} = \frac{2 \times 0{,}20}{0{,}250} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{[\text{H}_2\text{O}_2]_{\text{th}} = 1{,}6\,\text{mol·L}^{-1}}$$

3) La dismutation est lente à température ordinaire, mais elle n'est pas nulle : depuis la fabrication du flacon, une partie du peroxyde d'hydrogène s'est déjà décomposée en eau et en dioxygène. La solution contient donc moins de H_2O_2 qu'à sa fabrication, d'où $[\text{H}_2\text{O}_2]_{\text{exp}} < [\text{H}_2\text{O}_2]_{\text{th}}$.

Partie B : catalyse

4) Le catalyseur (platine, solide) et le réactif (H_2O_2, en solution aqueuse) ne sont pas dans la même phase : c'est une **catalyse hétérogène**.

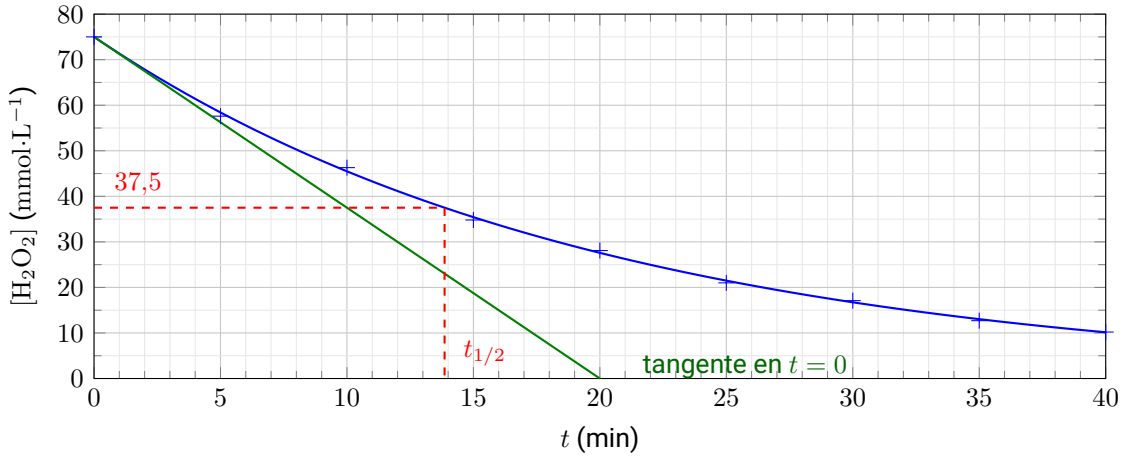
5) Un catalyseur accélère la réaction sans figurer dans son bilan : il participe aux étapes du mécanisme mais il est intégralement régénéré à la fin. Le platine n'est donc pas consommé ; on le réutilise et il n'y a pas à en racheter.

Partie C : suivi cinétique de la réaction catalysée

6) La réaction produit un gaz, le dioxygène : dans un récipient fermé, la pression augmente au fur et à mesure de l'avancement. On choisit donc le **capteur de pression**.

Le conductimètre ne convient pas : la réaction ne consomme ni ne produit d'ions. Le pH-mètre non plus : la réaction ne fait intervenir ni ions H_3O^+ ni ions HO^-.

7) La concentration des réactifs est un **facteur cinétique** : plus elle est faible, plus la réaction est lente. En diluant la solution, on diminue la concentration initiale en H_2O_2 ; la réaction est plus lente et son évolution peut être suivie.



8) **a.** $v_{\text{disp}}(H_2O_2) = -\dfrac{\mathrm{d}[H_2O_2]}{\mathrm{d}t}$

b. La vitesse à l'instant initial est l'opposé du coefficient directeur de la tangente à la courbe $[H_2O_2] = f(t)$ à la date $t = 0$. La tangente (en vert) passe par les points $(0\ ;\ 75)$ et $(20\ ;\ 0)$:

$$v_{\text{disp},0} = -\frac{\Delta[H_2O_2]}{\Delta t} = -\frac{0-75}{20-0} = 3{,}75 \quad \Longrightarrow \quad \boxed{v_{\text{disp},0} \approx 3{,}8\ \text{mmol·L}^{-1}\text{·min}^{-1}}$$

(Une valeur entre $3{,}5$ et $4{,}0\ \text{mmol·L}^{-1}\text{·min}^{-1}$ est acceptable : la tangente se trace à la main.)

9) **a.** Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale : $x(t_{1/2}) = \dfrac{x_f}{2}$.

b. La réaction est totale et H_2O_2 est le seul réactif : à $t_{1/2}$, la moitié de H_2O_2 a été consommée, donc $[H_2O_2](t_{1/2}) = \dfrac{[H_2O_2]_0}{2} = \dfrac{75}{2} = 37{,}5\ \text{mmol·L}^{-1}$. On lit sur la courbe l'abscisse du point d'ordonnée 37,5 (tracé en rouge) :

$$\boxed{t_{1/2} \approx 14\ \text{min}}$$

(Une lecture entre 13 et $15\ \text{min}$ est acceptable.)

c. La température est un **facteur cinétique** : à température plus élevée, la réaction est plus rapide, donc le temps de demi-réaction aurait été plus court.

Partie D : loi de vitesse d'ordre 1

10) Les points de la figure 2 sont, aux erreurs de mesure près, alignés sur une droite passant par l'origine : $v_{\text{disp}}(H_2O_2)$ est proportionnelle à $[H_2O_2]$, soit $v_{\text{disp}}(H_2O_2) = k\,[H_2O_2]$. C'est la définition d'une loi de vitesse d'ordre 1 par rapport à H_2O_2 : les mesures sont **en accord** avec cette loi.

(Si la vitesse est en $\text{mmol·L}^{-1}\text{·min}^{-1}$, le coefficient directeur vaut $k \approx \dfrac{3{,}73}{75} \approx 0{,}050\ \text{min}^{-1}$.)

11) Pour une loi d'ordre 1, $-\dfrac{\mathrm{d}[H_2O_2]}{\mathrm{d}t} = k\,[H_2O_2]$, dont la solution est une exponentielle décroissante.

On teste donc le modèle

$$[\mathrm{H_2O_2}](t) = [\mathrm{H_2O_2}]_0\,\mathrm{e}^{-kt}$$

sur la courbe de la figure 1 (de façon équivalente : $\ln[\mathrm{H_2O_2}]$ doit être une fonction affine du temps, de coefficient directeur $-k$).

Exercice 2 : Un phénomène lumineux étonnant

9 points

Partie A : dispositif expérimental

1) On observe sur l'écran une alternance de franges brillantes et de franges sombres, rectilignes, parallèles aux fentes et régulièrement espacées : c'est le phénomène d'**interférences** lumineuses.

2) Les deux ondes doivent être **cohérentes** : elles ont la même fréquence et un déphasage constant dans le temps. C'est le cas ici, car les deux fentes sont éclairées par la même source monochromatique.

3) Les maxima des deux ondes coïncident : les ondes 1 et 2 sont **en phase**. L'amplitude de l'onde résultante est la somme des amplitudes : les interférences sont **constructives**.

4) Les franges brillantes correspondent à $\Delta L = k\,\lambda$; avec $\Delta L = \dfrac{b\,x}{D}$, leurs positions sont

$$\frac{b\,x_k}{D} = k\,\lambda \quad\Longrightarrow\quad x_k = \frac{k\,\lambda\,D}{b}.$$

L'interfrange est la distance entre les centres de deux franges brillantes consécutives :

$$i = x_{k+1} - x_k = \frac{(k+1)\,\lambda\,D}{b} - \frac{k\,\lambda\,D}{b} \quad\Longrightarrow\quad \boxed{i = \frac{\lambda\,D}{b}}$$

5) L correspond à 10 interfranges :

$$i = \frac{L}{10} = \frac{8{,}00\,\mathrm{mm}}{10} \quad\Longrightarrow\quad \boxed{i = 0{,}800\,\mathrm{mm}}$$

De $i = \dfrac{\lambda\,D}{b}$, on tire

$$\lambda = \frac{i\,b}{D} = \frac{0{,}800\times10^{-3}\,\mathrm{m}\times1{,}00\times10^{-3}\,\mathrm{m}}{2{,}00\,\mathrm{m}} \quad\Longrightarrow\quad \boxed{\lambda = 4{,}00\times10^{-7}\,\mathrm{m} = 400\,\mathrm{nm}}$$

6) L'interfrange est obtenu en divisant L par 10, donc $u(i) = \dfrac{u(L)}{10} = 0{,}002\,\mathrm{mm}.$

$$\frac{u(\lambda)}{\lambda} = \sqrt{\left(\frac{0{,}05}{2{,}00}\right)^2 + \left(\frac{0{,}002}{0{,}800}\right)^2 + \left(\frac{0{,}05}{1{,}00}\right)^2} = 5{,}6\times10^{-2}$$

$$u(\lambda) = 5{,}6 \times 10^{-2} \times 400\,\text{nm} = 22{,}4\,\text{nm} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{u(\lambda) \approx 2{,}3 \times 10^{-8}\,\text{m}}$$

(arrondi par excès). Résultat de la mesure : $\lambda = 4{,}00 \times 10^{-7}\,\text{m}$, avec $u(\lambda) = 0{,}23 \times 10^{-7}\,\text{m}$. Arrondie à un seul chiffre significatif par excès, l'incertitude vaut $3 \times 10^{-8}\,\text{m}$, ce qui est aussi accepté. Le terme dominant vient de la distance b entre les fentes.

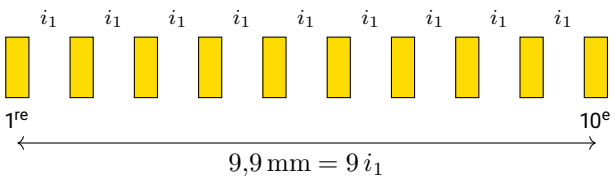
7) On calcule la différence de chemin optique au point d'abscisse $x = 12{,}0\,\text{mm}$ et on la compare à λ :

$$\frac{\Delta L}{\lambda} = \frac{b\,x}{D\,\lambda} = \frac{1{,}00 \times 10^{-3}\,\text{m} \times 12{,}0 \times 10^{-3}\,\text{m}}{2{,}00\,\text{m} \times 4{,}00 \times 10^{-7}\,\text{m}} = 15$$

On obtient le même résultat avec $x/i = 12{,}0/0{,}800 = 15$. $\Delta L = 15\,\lambda$ est un multiple entier de la longueur d'onde : les interférences sont constructives, c'est une **frange brillante**.

Partie B : une série d'expériences

8) Entre le centre de la 1re frange brillante et celui de la 10e, il y a 9 interfranges, et non 10 :



$$i_1 = \frac{9{,}9\,\text{mm}}{9} = 1{,}1\,\text{mm}$$

De $i = \dfrac{\lambda\,D}{b}$ on tire :

$$\lambda_1 = \frac{i_1\,b}{D} = \frac{1{,}1 \times 10^{-3}\,\text{m} \times 1{,}00 \times 10^{-3}\,\text{m}}{2{,}00\,\text{m}} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{\lambda_1 = 5{,}5 \times 10^{-7}\,\text{m} = 550\,\text{nm}}$$

9) On repère les positions à partir du centre de la frange centrale, qui est brillante pour les deux radiations.

- La 8e frange brillante de λ_1 (la frange centrale étant la 1re) est à $7\,i_1$ du centre.
- Les franges sombres de λ_2 sont à mi-chemin entre deux franges brillantes : la 1re est à $0{,}5\,i_2$, la 2e à $1{,}5\,i_2$… la 6e à $5{,}5\,i_2$.

La coïncidence s'écrit $7\,i_1 = 5{,}5\,i_2$. Avec $i = \dfrac{\lambda\,D}{b}$ et les mêmes D et b :

$$7\,\frac{\lambda_1\,D}{b} = 5{,}5\,\frac{\lambda_2\,D}{b} \quad \Longrightarrow \quad \lambda_2 = \frac{7\,\lambda_1}{5{,}5} = \frac{7 \times 550}{5{,}5} \quad \Longrightarrow \quad \boxed{\lambda_2 = 700\,\text{nm}}$$

C'est une radiation rouge, de longueur d'onde plus grande que λ_1 : son interfrange est plus grand, ce qui est bien visible sur la figure 3.