Chimie et mouvement pour un projet scientifique

Bac S 2007 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 4 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 Identifier les couples oxydant/réducteur mis en jeu dans l'équation de la réaction.

Données utiles $\mathrm{Mg\,(s) + 2\,H^+\,(aq) = Mg^{2+}\,(aq) + H_2\,(g)}$

Le magnésium cède deux électrons, il est oxydé :
$\mathrm{Mg\,(s) = Mg^{2+}\,(aq) + 2\,e^-}$

Les ions hydrogène captent ces électrons, ils sont réduits :
$\mathrm{2\,H^+\,(aq) + 2\,e^- = H_2\,(g)}$

Couples : $\mathrm{Mg^{2+}\,(aq)\ /\ Mg\,(s)}$ et $\mathrm{H^+\,(aq)\ /\ H_2\,(g)}$

PIÈGE
Un couple s'écrit toujours dans l'ordre oxydant / réducteur. Écrire $\mathrm{Mg\ /\ Mg^{2+}}$ ou associer Mg et $\mathrm{H^+}$ (les deux réactifs) dans un même couple fait perdre les points.

1.2 À partir des quantités de matière initiales des réactifs, montrer que l'avancement maximal vaut $x_{max} = 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol.

Données utiles acide : $c = 0{,}50\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$, $V = 40$ mL ; magnésium : $m = 0{,}12$ g, $M = 24\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

Quantités initiales :

$$n_0(\mathrm{Mg}) = \frac{m}{M} = \frac{0{,}12}{24} = 5{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$$

$$n_0(\mathrm{H^+}) = c\,V = 0{,}50 \times 40 \times 10^{-3} = 2{,}0 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$$

Tableau d'avancement (quantités en mmol) :

État	Mg	$\mathrm{2\,H^+}$	$\mathrm{Mg^{2+}}$	$\mathrm{H_2}$
$x = 0$	$5{,}0$	20	0	0
x	$5{,}0 - x$	$20 - 2x$	x	x
x_{max}	$5{,}0 - x_{max}$	$20 - 2x_{max}$	x_{max}	x_{max}

Si Mg est limitant : $5{,}0 - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = 5{,}0$ mmol $= 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol. Si $\mathrm{H^+}$ est limitant : $x_{max} = \dfrac{2{,}0 \times 10^{-2}}{2} = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol.

La plus petite valeur est la bonne : le magnésium est le réactif limitant.

$x_{max} = 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol, valeur attendue.

PIÈGE
Oublier le nombre stœchiométrique 2 devant $\mathrm{H^+}$: il faut comparer $n_0(\mathrm{Mg})$ à $n_0(\mathrm{H^+})/2$, pas à $n_0(\mathrm{H^+})$. Penser aussi à convertir 40 mL en litres.

COMPRENDRE
Les données ont deux chiffres significatifs (0,12 g ; 24 ; 0,50) : les résultats en gardent deux. Sans calculatrice : $0{,}12/24 = 12 \times 10^{-2}/24 = 0{,}50 \times 10^{-2}$.

1.3 Déterminer graphiquement le volume de dihydrogène à l'état final et en déduire l'avancement final x_f.

Données utiles figure 2 de l'annexe ; $V_m = 24\ \mathrm{L \cdot mol^{-1}}$

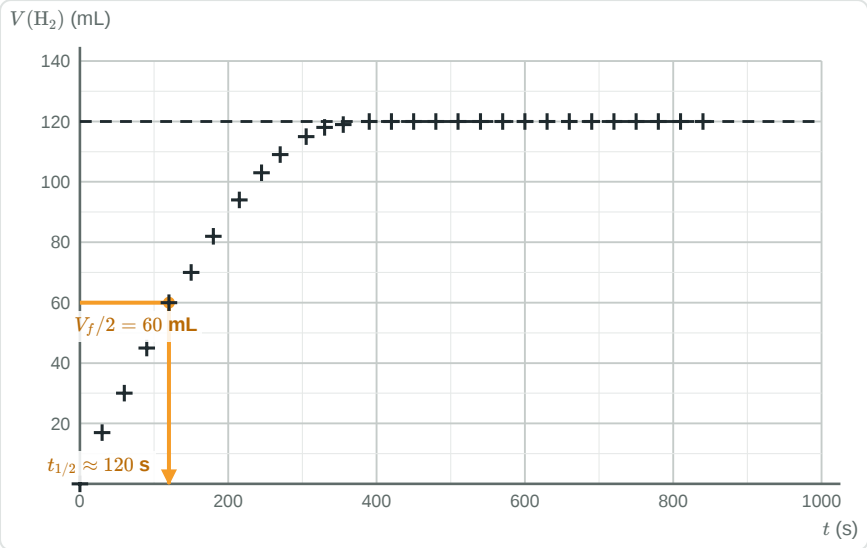
La courbe atteint un palier horizontal : $V_f(\mathrm{H_2}) = 120\ \mathrm{mL} = 0{,}12$ L.

D'après le tableau d'avancement, $n_f(\mathrm{H_2}) = x_f$, et $n_f(\mathrm{H_2}) = \dfrac{V_f(\mathrm{H_2})}{V_m}$, donc

$$x_f = \frac{V_f(\mathrm{H_2})}{V_m} = \frac{0{,}12}{24} = 5{,}0 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$$

$V_f(\mathrm{H_2}) = 1{,}2 \times 10^2$ mL et $x_f = 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol

PIÈGE
Le volume lu est en mL alors que V_m est en $\mathrm{L \cdot mol^{-1}}$: sans conversion, on trouve une valeur mille fois trop grande.



1.3 · Annexe complétée (figure 2) : palier final et lecture de $t_{1/2}$

1.4 La transformation est-elle totale ? Justifier.

Données utiles x_{max} (1.2) ; x_f (1.3)

On compare l'avancement final à l'avancement maximal : $x_f = 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol et $x_{max} = 5{,}0 \times 10^{-3}$ mol.

Le taux d'avancement final vaut $\tau = \dfrac{x_f}{x_{max}} = 1{,}0$: le réactif limitant (le magnésium) est entièrement consommé.

$x_f = x_{max}$: la transformation est totale.

COMPRENDRE
Le palier de la courbe indique seulement que le système n'évolue plus. Pour savoir si la transformation est totale, il faut comparer la valeur de ce palier à ce que prévoit x_{max}.

1.5 Définir le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ puis le déterminer graphiquement, la méthode apparaissant sur la figure 2.

Données utiles $V_f(H_2) = 120$ mL (1.3)

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

Comme $x = \dfrac{V(H_2)}{V_m}$, l'avancement est proportionnel au volume dégagé : à $t_{1/2}$, $V(H_2) = \dfrac{V_f(H_2)}{2} = 60$ mL.

On trace l'horizontale d'ordonnée 60 mL ; elle coupe la courbe en un point dont on lit l'abscisse (tracé orange sur la figure de la question 1.3).

$t_{1/2} \approx 1{,}2 \times 10^2$ s

PIÈGE
$t_{1/2}$ n'est pas la moitié de la durée de la transformation. Lire l'abscisse du début du palier (environ 400 s) et la diviser par deux donnerait 200 s, ce qui est faux.

MÉTHODE
Temps de demi-réaction sur une courbe : 1) lire la valeur finale ; 2) la diviser par deux ; 3) reporter cette ordonnée sur la courbe ; 4) lire l'abscisse. Laisser les traits de construction apparents.

1.6 Proposer une méthode pour augmenter le temps de demi-réaction.

Augmenter $t_{1/2}$ revient à ralentir la transformation : il faut agir sur un facteur cinétique.

- Température : refroidir le mélange réactionnel, par exemple en plongeant le ballon dans un bain d'eau glacée.
- Concentration : utiliser un acide chlorhydrique moins concentré, en gardant les ions H^+ en excès pour ne pas modifier l'état final.

On abaisse la température (ou la concentration de l'acide) : la transformation est plus lente et $t_{1/2}$ augmente.

COMPRENDRE
Une seule proposition justifiée suffit. On peut aussi employer un ruban d'un seul tenant plutôt que de la poudre ou des copeaux : une surface de contact plus faible ralentit la réaction.

2.1.1 Quel nom donne-t-on au régime R2 ?

Pendant R2, la vitesse de la bulle ne varie plus.

R2 est le régime permanent (R1 est le régime transitoire).

2.1.2 Déterminer graphiquement la valeur v_{lim} de la vitesse limite.

Données utiles figure 3

La vitesse limite est l'ordonnée du palier horizontal de la courbe modélisée : ce palier se situe juste sous la graduation $0{,}30\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$.

$v_{lim} \approx 0{,}29\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

COMPRENDRE
Les points expérimentaux sont dispersés autour du palier : on lit la valeur sur la courbe tracée, pas sur un point isolé. Une lecture de $0{,}29$ ou $0{,}30\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ est acceptable.

2.2.1 Donner l'expression de la valeur Π de la poussée d'Archimède exercée par l'eau sur la bulle, avec les notations des données.

Données utiles volume de la bulle V_b ; masse volumique de l'eau ρ_0 ; intensité de la pesanteur g

La poussée d'Archimède a pour valeur le poids du volume d'eau déplacé par la bulle, soit un volume V_b d'eau de masse $\rho_0 V_b$.

$\Pi = \rho_0 V_b g$

PIÈGE
La masse volumique est celle du fluide déplacé (l'eau, ρ_0), pas celle du dihydrogène contenu dans la bulle.

2.2.2 À partir du rapport P/Π exprimé en fonction de ρ et ρ_0, justifier que le poids de la bulle est négligeable devant la poussée d'Archimède.

Données utiles $\rho = 0{,}083\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $\rho_0 = 1{,}0\times10^{3}\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; Π (2.2.1)

Poids de la bulle : $P = m\,g = \rho\,V_b\,g$.

$$\frac{P}{\Pi} = \frac{\rho\,V_b\,g}{\rho_0\,V_b\,g} = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{0{,}083}{1{,}0\times10^{3}} = 8{,}3\times10^{-5}$$

Ce rapport est très inférieur à 1 : $P \ll \Pi$.

$\dfrac{P}{\Pi} = \dfrac{\rho}{\rho_0} = 8{,}3\times10^{-5}$: le poids est négligeable devant la poussée d'Archimède.

COMPRENDRE
Le poids est environ 12 000 fois plus faible que la poussée d'Archimède. Le rapport ne dépend ni de V_b ni de g : la conclusion vaut pour toutes les bulles, quelle que soit leur taille.

2.2.3 Parmi les trois représentations de la figure 4, choisir celle qui correspond aux forces exercées sur la bulle pendant le régime R1. Justifier.

Système {bulle}, référentiel terrestre supposé galiléen.

- La poussée d'Archimède $\vec{\Pi}$ est verticale vers le haut ; la bulle monte, donc $\vec{f}$, opposée à $\vec{v}$, est verticale vers le bas. Le schéma b ($\vec{\Pi}$ vers le bas) est éliminé.
- Pendant R1, le mouvement est rectiligne et la vitesse augmente : l'accélération $\vec{a}$ a le sens du mouvement, vers le haut. D'après la deuxième loi de Newton, $\vec{\Pi} + \vec{f} = m\,\vec{a}$: la somme des forces est vers le haut, donc $\Pi > f$.

Sur le schéma a, $f > \Pi$; sur le schéma c, $\Pi > f$.

La représentation correcte est la représentation c.

MÉTHODE
Pour choisir un schéma de forces : vérifier d'abord le sens de chaque force, puis comparer leurs longueurs grâce au sens de l'accélération (vitesse qui augmente, diminue ou reste constante).

2.2.4 Que peut-on dire de ces forces lorsque le régime R2 est atteint ? Justifier.

Pendant R2, le mouvement de la bulle est rectiligne et sa vitesse garde la valeur v_{lim} : le vecteur vitesse est constant, donc $\vec{a} = \vec{0}$.

La deuxième loi de Newton (ou le principe d'inertie) donne alors $\vec{\Pi} + \vec{f} = \vec{0}$.

Les deux forces se compensent : $\vec{f} = -\vec{\Pi}$, soit $f = \Pi$.

COMPRENDRE
La valeur de f augmente avec la vitesse alors que Π reste constante : f croît pendant R1 jusqu'à égaler Π. À cet instant, la vitesse cesse d'augmenter.

3.1 Quel nom donne-t-on au mouvement de la bille lorsque frottements et poussée d'Archimède sont négligés ?

La bille n'est soumise qu'à son poids.

Il s'agit d'une chute libre (ici verticale).

PIÈGE
« Chute libre » ne signifie pas « lâché sans vitesse initiale » : une bille lancée vers le haut est aussi en chute libre, dès lors que le poids est la seule force.

3.2 En appliquant la deuxième loi de Newton à la bille, établir l'expression de la coordonnée $v_y(t)$ du vecteur vitesse.

Données utiles axe Oy vertical descendant ; à $t = 0$, $\vec{v}_0 = v_{0y}\,\vec{j}$

Système {bille} de masse m, référentiel terrestre supposé galiléen.
Seule force : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$.

Deuxième loi de Newton : $\vec{P} = m\,\vec{a}$, soit $m\,\vec{g} = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$.

L'axe Oy est orienté vers le bas, comme $\vec{g}$: $a_y = \dfrac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t} = g$.

Par intégration : $v_y(t) = g\,t + C$. À $t = 0$, $v_y(0) = v_{0y}$, donc $C = v_{0y}$.

$v_y(t) = g\,t + v_{0y}$

PIÈGE
L'axe est descendant : $a_y = +g$ et non $-g$. Ne pas oublier non plus la constante d'intégration, fixée par la condition initiale.

3.3 Associer à chacune des conditions initiales a), b) et c) la courbe de la figure 5 qui représente $v_y(t)$. Justifier.

Données utiles $v_y(t) = g\,t + v_{0y}$ (3.2) ; ordonnées à l'origine lues : courbe (1) : $2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; courbe (2) : 0 ; courbe (3) : $-2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Les trois droites ont la même pente g ; elles diffèrent par leur ordonnée à l'origine, qui est v_{0y}. L'axe Oy étant orienté vers le bas :

- a) bille lâchée sans vitesse initiale : $v_{0y} = 0$, courbe (2) ;
- b) bille lancée vers le haut : $\vec{v}_0$ de sens opposé à $\vec{j}$, $v_{0y} < 0$, courbe (3) ;
- c) bille lancée vers le bas : $\vec{v}_0$ de même sens que $\vec{j}$, $v_{0y} > 0$, courbe (1).

a) courbe (2) ; b) courbe (3) ; c) courbe (1)

COMPRENDRE
Sur la courbe (3), v_y s'annule vers 200 ms : la bille atteint alors le sommet de sa trajectoire, puis redescend ($v_y > 0$).

4 Arthur affirme que, dans un tube où l'on a fait le vide, l'objet lourd tombe plus vite que l'objet léger. Que penser de cette réponse ?

Données utiles $v_y(t) = g\,t + v_{0y}$ (3.2)

Dans le vide, il n'y a ni frottement ni poussée d'Archimède : chaque objet n'est soumis qu'à son poids, c'est une chute libre.

La deuxième loi de Newton donne $m\,\vec{a} = m\,\vec{g}$, soit $\vec{a} = \vec{g}$: la masse se simplifie. L'expression $v_y(t) = g\,t + v_{0y}$ ne contient pas m.

Lâchés dans les mêmes conditions initiales, les deux objets ont à chaque instant la même vitesse et touchent le fond du tube en même temps.

La réponse d'Arthur est fausse : dans le vide, la chute ne dépend pas de la masse.

COMPRENDRE
Dans l'air, une plume tombe moins vite qu'une bille parce que les frottements ne sont pas négligeables devant son poids. C'est cette expérience quotidienne qui trompe Arthur.