

37 Étude d'une transformation chimique

Au cours d'une séance de travaux pratiques, un professeur propose à ses élèves de déterminer la valeur du taux d'avancement final d'une transformation en effectuant une mesure pH-métrique et une mesure conductimétrique.

1. Une solution commerciale, notée S_0 , d'un acide AH porte les indications suivantes.



Acide AH
 $c_0 = 17,5 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$

R36/R38 : Irritant pour la peau et les yeux
R37 : Irritant pour les voies respiratoires

Pour la suite, et tant qu'il n'aura pas été identifié, l'acide contenu dans la bouteille sera noté AH et sa base conjuguée A^- .

1.1. Donner la définition d'une espèce acide au sens de Brønsted.

1.2. Quelles précautions doit-on prendre pour manipuler cette solution ?

2. Dans une fiole jaugée de volume $V_1 = 500,0 \text{ mL}$, partiellement remplie d'eau distillée, le professeur verse avec précaution $V_0 = 1,00 \text{ mL}$ de la solution S_0 d'acide AH, puis il complète jusqu'au trait de jauge. La solution obtenue est notée S_1 .

Les élèves, après avoir étalonné un pH-mètre, mesurent le pH de la solution S_1 . Ils obtiennent $\text{pH} = 3,1$.

2.1. Déterminer la valeur de c_1 , concentration molaire en soluté apporté de la solution S_1 .

2.2. À l'aide de l'équation de la réaction acide-base entre l'acide AH et l'eau, construire le tableau d'avancement. Indiquer l'état initial, intermédiaire (en cours), et final d'équilibre.

2.3. Déterminer la valeur de l'avancement maximal de la réaction noté x_{max} en considérant la transformation comme totale.

2.4. Quelle est la valeur de la concentration finale en ions oxonium $[\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{f}}$? En déduire la valeur $x_{1,\text{f}}$ de l'avancement final de la réaction.

2.5. La transformation associée à la réaction de l'acide AH avec l'eau est-elle totale ? Justifier la réponse.

2.6. Donner la définition du taux d'avancement final d'une transformation chimique et calculer sa valeur $\tau_{1,\text{f}}$ pour la réaction de AH avec l'eau.

3. À l'aide du tableau suivant, dans lequel les solutions sont à la concentration c_1 , identifier l'acide contenu dans la solution S_0 .

Acide contenu dans la solution	Valeur du taux d'avancement final
Acide méthanoïque HCOOH	0,072
Acide éthanoïque CH_3COOH	0,023
Acide propanoïque $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	0,018

4. Dans la seconde partie de la séance, le professeur donne une solution aqueuse S_2 de l'acide précédent à la concentration $c_2 = 5,0 \times 10^{-3} \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Les élèves procèdent à une mesure conductimétrique sur un volume V_2 de cette solution : ils trouvent une conductivité de valeur $\sigma_2 = 1,07 \times 10^{-2} \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$.

On donne les valeurs des conductivités molaires ioniques des ions suivants :

- $\lambda_{A^-} = 4,1 \times 10^{-3} \text{ S}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$;
- $\lambda_{\text{H}_3\text{O}^+} = 35 \times 10^{-3} \text{ S}\cdot\text{m}^2\cdot\text{mol}^{-1}$.



4.1. Donner l'expression de la conductivité σ en fonction des concentrations molaires $[\text{H}_3\text{O}^+]_{2,\text{f}}$ et $[A^-]_{2,\text{f}}$.

4.2. Calculer la valeur de la concentration finale en ions oxonium $[\text{H}_3\text{O}^+]_{2,\text{f}}$ dans la solution S_2 .

4.3. Montrer que l'avancement final a pour expression $\tau_{2,\text{f}} = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]_{2,\text{f}}}{c_2}$ et calculer sa valeur.

4.4. Comparer les valeurs de $\tau_{1,\text{f}}$ (question 2.6) et de $\tau_{2,\text{f}}$. Ce résultat était-il prévisible ? Justifier la réponse.

Adapté du sujet de Bac Centres étrangers, juin 2010.

DES CLÉS POUR RÉUSSIR

1. Revoir la définition d'un acide et celle d'une base.

► Chapitre 1 p. 38

2. Revoir la relation entre le pH et la concentration $[\text{H}_3\text{O}^+]$.

► Chapitre 2 p. 62

4.1. Revoir la relation entre la conductivité et les concentrations molaires en ions.

► Chapitre 2 p. 64

4.4. La constante d'équilibre ne dépend pas de la composition initiale du système.

► Cours 2 p. 184

67 1.1. Un acide de Brönsted est une espèce susceptible de perdre un proton H^+ .

1.2. Le produit est corrosif, il faut porter des gants et des lunettes de protection.

2.1. Conservation de la quantité de matière lors de la dilution :

$$c_1 = \frac{c_0 \times V_0}{V_1} = \frac{17,5 \times 1,00}{500} = 3,50 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

2.2.

$AH_{(aq)} + H_2O_{(l)} \rightleftharpoons A^{-}_{(aq)} + H_3O^{+}_{(aq)}$					
Av.	Quantité de matière...	...de AH	...de H_2O	...de A^{-}	...de H_3O^{+}
0	...apportée à l'état initial	$n = cV$	excès	0	0
x	...en cours de réaction	$cV - x$	excès	x	x
x_{eq}	...présente à l'état d'équilibre	$cV - x_{max}$	excès	x_{max}	x_{max}
x_{max}	...présente à l'état final	$cV - x_f$	excès	x_f	x_f

2.3. La réaction est totale, alors $cV - x_{max} = 0$

d'où $x_{max} = 1,75 \times 10^{-2} \text{ mol}$.

2.4. $[H_3O^+] = c_0 \times 10^{-pH} = 10^{-3,1} = 7,94 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
donc $x_{1,f} = [H_3O^+] \times V = 3,97 \times 10^{-4} \text{ mol}$.

2.5. L'avancement à l'état final est inférieur à l'avancement maximal donc la réaction n'est pas totale.

$$2.6. \tau_{1,f} = \frac{x_{1,f}}{x_{max}} = \frac{3,97 \times 10^{-4}}{1,75 \times 10^{-2}} = 2,3 \times 10^{-2}$$

3. Il s'agit de l'acide éthanoïque.

$$4.1. \sigma = \lambda_{H_3O^+} \times [H_3O^+] + \lambda_{A^{-}} \times [A^{-}]$$

$$4.2. [H_3O^+] = \frac{\sigma}{\lambda_{H_3O^+} + \lambda_{A^{-}}} = \frac{1,07 \times 10^{-2}}{35 \times 10^{-3} + 4,1 \times 10^{-3}}$$

$$[H_3O^+] = 0,27 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3} = 2,7 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$4.3. \tau_{2,f} = \frac{x_{eq}}{x_{max}} = \frac{[H_3O^+]_{2,f}}{c_2} = \frac{2,7 \times 10^{-4}}{5,0 \times 10^{-3}} = 5,4 \times 10^{-2}$$

4.4. Le taux d'avancement est plus grand car la solution est plus diluée.

68 Capacité d'une pile cuivre-aluminium

Une pile est composée de deux demi-piles reliées par un pont salin.

- La première demi-pile est constituée d'une lame d'aluminium de masse $m_1 = 1,0 \text{ g}$ qui plonge dans 50 mL de solution de sulfate d'aluminium ($2 \text{ Al}^{3+}_{(\text{aq})}$, $3 \text{ SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$) de concentration $[\text{Al}^{3+}] = 0,50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

- La seconde est constituée d'une lame de cuivre de masse $m_2 = 8,9 \text{ g}$ qui plonge dans 50 mL de solution de sulfate de cuivre ($\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}$, $\text{SO}_4^{2-}_{(\text{aq})}$) de concentration $[\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}] = 0,50 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

On relie les deux électrodes de la pile avec un ampèremètre et un dipôle ohmique en série. L'ampèremètre indique que le courant électrique circule de la plaque de cuivre vers la plaque d'aluminium.

Données

- Constante de Faraday (valeur absolue de la charge molaire électronique) : $F = Q_m = 96,5 \times 10^4 \text{ C}\cdot\text{mol}^{-1}$
- Couples oxydant-réducteur : $\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}/\text{Cu}_{(\text{s})}$ et $\text{Al}^{3+}_{(\text{aq})}/\text{Al}_{(\text{s})}$

- Réaliser le schéma annoté de la pile.
- Préciser, en le justifiant, la polarité de la pile. Compléter le schéma en indiquant cette polarité.
- Écrire les demi-équations des réactions se produisant à chaque électrode et l'équation d'oxydoréduction de fonctionnement de la pile.
- La constante d'équilibre associée à l'équation de fonctionnement de la pile vaut $K = 10^{200}$. Déterminer le quotient initial de réaction $Q_{r,i}$ du système ainsi constitué et vérifier que le sens d'évolution du système étudié est cohérent.
- Calculer la capacité maximale que peut débiter cette pile.

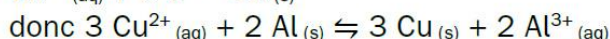
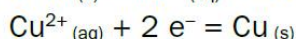
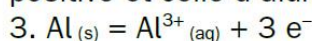
Adapté du sujet de Bac Antilles, juin 2004.

DES CLÉS POUR RÉUSSIR

- Déterminer le sens de déplacement des électrons à partir du sens du courant.
- Ajuster les demi-équations pour que le même nombre d'électrons soit échangé. Déterminer ce nombre z .
- Établir le lien entre la capacité et l'avancement.

68 1. Schéma de la pile :  Cours 3 p. 185

2. Le courant circule de la borne positive vers la borne négative : la plaque de cuivre est la borne positive et celle d'aluminium, la borne négative.



$$4. Q_{r,i} = \frac{[\text{Al}^{3+}]^2 c^0}{[\text{Cu}^{2+}]^3} = \frac{(5,0 \times 10^{-1})^2}{(5,0 \times 10^{-1})^3} = 2$$

$Q_{r,i}$ est inférieur à K , le système évolue dans le sens direct, ce qui est cohérent.

5. On calcule les quantités de matière en présence :

$$n_{\text{Cu}^{2+}} = n_{\text{Al}^{3+}} = C \times V = 2,5 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$n_{\text{Cu}} = \frac{m}{M} = \frac{8,9}{63,5} = 1,4 \times 10^{-1} \text{ mol}$$

$$n_{\text{Al}} = \frac{m}{M} = \frac{1,0}{27} = 3,7 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

On construit le tableau d'avancement :

$3 \text{ Cu}^{2+}_{(\text{aq})} + 2 \text{ Al}_{(\text{s})} \rightleftharpoons 3 \text{ Cu}_{(\text{s})} + 2 \text{ Al}^{3+}_{(\text{aq})}$					
Av.	Quantité de matière...	...de Cu^{2+}	...de Al	...de Cu	...de Al^{3+}
0	...apportée à l'état initial	$2,5 \times 10^{-2}$	$3,7 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-2}$
x	...en cours de réaction	$2,5 \times 10^{-2} - 3x$	$3,7 \times 10^{-2} - 2x$	$1,4 \times 10^{-2} + 3x$	$2,5 \times 10^{-2} + 2x$
x_{eq}	...présente à l'état final	$2,5 \times 10^{-2} - 3x_{\text{max}}$	$3,7 \times 10^{-2} - 2x_{\text{max}}$	$1,4 \times 10^{-2} + 3x_{\text{max}}$	$2,5 \times 10^{-2} + 2x_{\text{max}}$

On en déduit que $x_{\text{max}} = 8,3 \times 10^{-3} \text{ mol}$.

La capacité vaut donc : $Q = 6 \times x_{\text{max}} \times Q_m$

$$\text{soit } Q = 6 \times 8,3 \times 10^{-3} \times 96\,500 = 4,8 \times 10^3 \text{ C}$$