BURHAN

Transformations spontanées dans les piles et récupération d'énergie : exercices, niveau examen

2ème Année Baccalauréat · Sciences Physiques · Physique-Chimie

Corrigé détaillé en ligne : burhan.ma/2bac/pc/physique-chimie/piles-et-recuperation-d-energie/exercices/examen

Chapitre	Palier	Exercices
Transformations spontanées dans les piles et récupération d'énergie	Niveau examen	5

Exercice 1 6,75 pts

Pile étain-plomb, puis charge d'une pile plomb-cuivre

Les piles étain-plomb ont une constante d'équilibre proche de 1 : selon les concentrations choisies, l'une ou l'autre lame peut devenir l'anode. On étudie une telle pile, puis la relation entre la charge débitée par une pile plomb-cuivre et l'avancement de sa transformation. Les deux parties sont indépendantes.

À $25\,^{\circ}\mathrm{C}$, la réaction d'équation

$$\mathrm{Sn_{(s)} + Pb^{2+}_{(aq)} \rightleftharpoons Sn^{2+}_{(aq)} + Pb_{(s)}}$$

a pour constante d'équilibre $K = 2{,}2$. Données : $\mathcal{F} = 9{,}65 \times 10^{4}\ \mathrm{C\cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{Cu}) = 63{,}5\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{Pb}) = 207{,}2\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$.

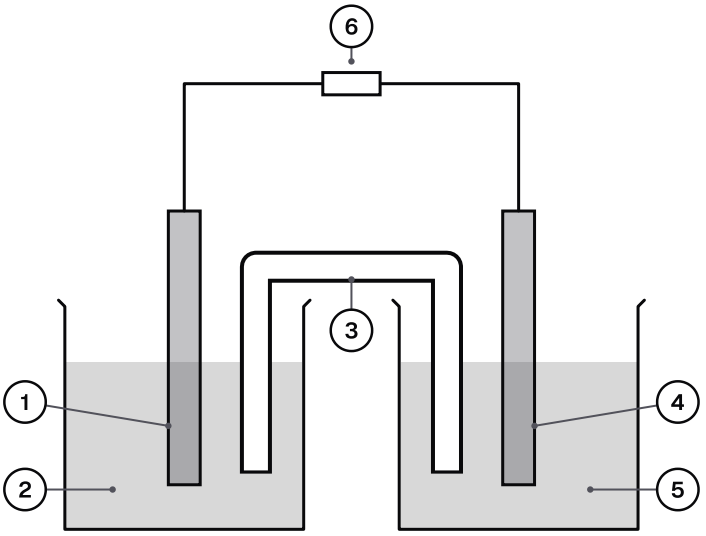
1. 0,5 pts

Partie A : polarité prévue par le critère

Une lame d'étain trempe dans une solution d'ions Sn^{2+}, une lame de plomb dans une solution d'ions Pb^{2+}. Un pont salin contenant du nitrate de potassium assure la jonction entre les deux solutions, et un conducteur ohmique relie les lames : le document représente ce montage. Les concentrations initiales sont données dans le tableau.

Ion	Sn^{2+}	Pb^{2+}
concentration initiale ($\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$)	$0{,}50$	$0{,}10$

Exprimer puis calculer le quotient de réaction initial $Q_{r,i}$.



Montage de la pile étain-plomb fermée sur un conducteur ohmique.

1 : lame d'étain Sn
2 : solution d'ions étain (II)
3 : pont salin au nitrate de potassium
4 : lame de plomb Pb
5 : solution de nitrate de plomb (II)
6 : conducteur ohmique

INDICE

Le quotient de réaction suit l'équation telle qu'elle est écrite, sans les métaux solides.

2. 0,75 pts

Prévoir le sens d'évolution spontanée du système et écrire l'équation bilan du fonctionnement de la pile.

INDICE

Comparer le quotient initial à la constante d'équilibre ; le bilan s'écrit dans le sens trouvé.

3. 0,5 pts

Nommer alors l'anode et la cathode, indiquer les pôles et le trajet des électrons dans les fils.

INDICE

Repérer le métal oxydé dans le bilan écrit à la question précédente.

4. 0,75 pts

Écrire les demi-équations des réactions aux électrodes.

INDICE

Une demi-équation par couple, chacune avec la double flèche.

5. 0,5 pts

Écrire le schéma conventionnel de la pile étudiée.

INDICE

Le pôle négatif s'écrit à gauche du schéma.

6. 0,75 pts

Un élève veut construire une pile étain-plomb dont la lame d'étain soit l'anode. Proposer des concentrations initiales qui conviennent, puis une mesure simple qui permet de vérifier la polarité obtenue.

INDICE

Comparer le quotient de réaction initial à la constante d'équilibre ; penser à un appareil qui mesure une tension entre les lames.

7. 0,75 pts

Partie B : charge débitée et avancement

On étudie maintenant une autre pile, plomb-cuivre : sa lame de plomb est l'anode. À $25\,^{\circ}\mathrm{C}$, sa réaction a pour constante d'équilibre $K' = 8 \times 10^{15}$: cette valeur très grande garde le système loin de l'équilibre pendant tout le fonctionnement étudié. L'équation bilan du fonctionnement est :

$$\mathrm{Pb_{(s)}} + \mathrm{Cu^{2+}_{(aq)}} \longrightarrow \mathrm{Pb^{2+}_{(aq)}} + \mathrm{Cu_{(s)}}$$

La pile débite un courant d'intensité constante I pendant une durée Δt ; on note x l'avancement atteint.

Dresser le tableau d'avancement en y ajoutant la quantité d'électrons échangés, et montrer que $n(\mathrm{e^-}) = 2\,x$.

INDICE

Partir de la demi-équation de l'anode : elle donne le nombre d'électrons libérés par chaque atome de plomb oxydé.

8. 0,75 pts

Montrer que $I \cdot \Delta t = z \cdot x \cdot \mathcal{F}$, et préciser la valeur de z pour cette pile.

INDICE

Chercher deux expressions de la charge débitée par la pile.

9. 0,5 pts

La pile débite $I = 30{,}0\,\mathrm{mA}$ pendant $\Delta t = 4{,}00\,\mathrm{h}$. Calculer la charge Q débitée et l'avancement x atteint.

INDICE

Convertir l'intensité en ampères et la durée en secondes avant d'utiliser la relation établie.

10. 0,5 pts

Calculer la variation de masse de chacune des deux lames pendant ces quatre heures.

INDICE

Le tableau d'avancement donne la quantité de plomb consommée et celle de cuivre formée ; conserver la charge non arrondie.

11. 0,5 pts

La solution d'ions cuivre (II) a un volume $V = 150\,\mathrm{mL}$ et une concentration initiale $[\mathrm{Cu^{2+}}]_0 = 0{,}250\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$. Calculer la concentration en ions cuivre (II) au bout des quatre heures.

INDICE

Le tableau d'avancement donne la quantité d'ions cuivre (II) restante ; la diviser par le volume.

Exercice 2 6,75 pts

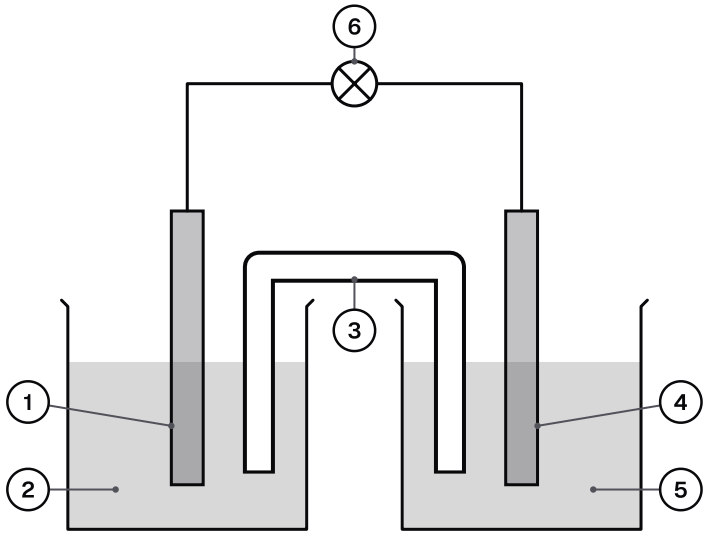
Pile nickel-cuivre : fonctionnement et durée maximale

Une pile nickel-cuivre alimente une petite lampe de démonstration. Le document représente sa constitution. On étudie son fonctionnement, puis la durée pendant laquelle elle peut éclairer. Les deux parties sont indépendantes.

À $25\,^{\circ}\mathrm{C}$, la réaction d'équation

$$\mathrm{Ni_{(s)}} + \mathrm{Cu^{2+}_{(aq)}} \rightleftharpoons \mathrm{Ni^{2+}_{(aq)}} + \mathrm{Cu_{(s)}}$$

a pour constante d'équilibre $K = 9 \times 10^{19}$. Données : $\mathcal{F} = 9{,}65 \times 10^{4}\,\mathrm{C \cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{Ni}) = 58{,}7\,\mathrm{g \cdot mol^{-1}}$.



Constitution de la pile nickel-cuivre qui alimente la lampe.

1 : lame de nickel Ni

2 : solution de sulfate de nickel (II)

4 : lame de cuivre Cu

5 : solution de sulfate de cuivre (II)

6 : lampe

1. 0,5 pts

Partie A : prévoir le fonctionnement de la pile

Nommer la partie numérotée 3 du document et indiquer deux de ses rôles.

INDICE

Penser au circuit électrique et à la neutralité des solutions.

2. 0,75 pts

Les concentrations initiales sont $[\mathrm{Ni^{2+}}]_0 = 2{,}0 \times 10^{-2}\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ et $[\mathrm{Cu^{2+}}]_0 = 0{,}25\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$. Calculer $Q_{r,i}$. Dans quel sens le système évolue-t-il spontanément ?

INDICE

Les métaux solides ne figurent pas dans le quotient de réaction ; comparer le résultat à la constante d'équilibre.

3. 0,75 pts

En déduire les pôles de la pile, puis le sens de déplacement des électrons, du courant et des ions du pont salin.

INDICE

Le métal oxydé désigne l'anode ; dans le pont, chaque bécher doit rester électriquement neutre.

4. 0,75 pts

Écrire les demi-équations de l'anode et de la cathode, puis le bilan du fonctionnement.

INDICE

Une double flèche pour chaque couple ; une seule flèche, sans électron, pour le bilan.

5. 0,5 pts

Donner le schéma conventionnel de cette pile.

INDICE

Commencer, à gauche, par la demi-pile du pôle négatif.

6. 1 pts

Partie B : capacité et durée d'éclairage

On considère une pile nickel-cuivre dont la lame de nickel est l'anode, d'équation bilan :

$$\mathrm{Ni_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \longrightarrow Ni^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}}$$

La solution d'ions cuivre (II) a un volume $V = 180\,\mathrm{mL}$ et une concentration initiale $[\mathrm{Cu^{2+}}]_0 = 0{,}200\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; la lame de nickel a une masse initiale $m_0 = 6{,}00\,\mathrm{g}$. La constante d'équilibre est très grande : la transformation s'arrête quand le réactif limitant est épuisé.

À l'aide d'un tableau d'avancement, identifier le réactif limitant et calculer l'avancement maximal $x_{\max}$.

INDICE

Calculer les deux quantités de réactifs, l'une avec une masse molaire, l'autre avec un volume ; les comparer en tenant compte des coefficients.

7. 0,5 pts

Calculer la capacité $Q_{\max}$ de la pile.

INDICE

La capacité est la charge débitée jusqu'à l'avancement maximal ; deux électrons sont échangés par réaction.

8. 0,75 pts

La pile débite un courant d'intensité constante $I = 50{,}0\,\mathrm{mA}$. Calculer sa durée maximale de fonctionnement, en heures.

INDICE

À intensité constante, la durée maximale relie la capacité à l'intensité ; une heure compte trois mille six cents secondes.

9. 0,5 pts

Calculer la masse de la lame de nickel lorsque la pile est usée.

INDICE

Le tableau d'avancement donne la quantité de nickel consommée à l'état final.

10. 0,75 pts

Pour vérifier que l'intensité reste constante pendant le fonctionnement, on veut la mesurer. Indiquer où et comment brancher un ampèremètre, et la valeur qu'il doit afficher.

INDICE

Un ampèremètre se branche en série ; le courant sort de la pile par un pôle précis.

Exercice 3 6,25 pts

Pile plomb-cuivre : mesure de tension et suivi de masse

Un groupe d'élèves étudie une pile plomb-cuivre : ils l'identifient d'abord par une mesure au voltmètre, puis suivent la masse d'une lame pendant que la pile débite. Les deux parties sont indépendantes.

Données : $\mathcal{F} = 9{,}65 \times 10^{4}\,\mathrm{C\cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{Pb}) = 207{,}2\,\mathrm{g\cdot mol^{-1}}$.

1. 0,75 pts

Partie A : interpréter une mesure de tension

Cette pile associe une demi-pile plomb, couple $\mathrm{Pb^{2+}/Pb}$, et une demi-pile cuivre, couple $\mathrm{Cu^{2+}/Cu}$, reliées par un pont salin. Un voltmètre branché seul entre les lames, borne V sur la lame de plomb et borne COM sur la lame de cuivre, affiche $U = -0{,}50\,\mathrm{V}$.

En déduire la polarité de la pile et sa force électromotrice E.

INDICE

L'affichage est positif quand la borne V est reliée au pôle positif ; le voltmètre ne fait pratiquement pas débiter la pile.

2. 0,5 pts

On ferme la pile sur un conducteur ohmique. Nommer l'anode et la cathode.

INDICE

Faire le lien entre pôle négatif et électrode où a lieu l'oxydation.

3. 0,75 pts

Écrire la demi-équation de chaque lame et l'équation bilan correspondante.

INDICE

Oxydation du métal à l'anode, réduction du cation à la cathode ; vérifier que les électrons s'éliminent dans la somme.

4. 0,75 pts

Les concentrations initiales sont $[\mathrm{Pb^{2+}}]_0 = 5{,}0 \times 10^{-2}\,\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$ et $[\mathrm{Cu^{2+}}]_0 = 0{,}50\,\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; à $25\,^{\circ}\mathrm{C}$, la réaction d'équation

$$\mathrm{Pb_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \rightleftharpoons Pb^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}}$$

a pour constante d'équilibre $K = 8 \times 10^{15}$. Montrer que la polarité déduite de la mesure est celle que prévoit le critère d'évolution spontanée.

INDICE

Calculer le quotient de réaction initial, le comparer à la constante, puis chercher le métal oxydé.

5. 0,5 pts

Écrire le schéma conventionnel correspondant.

INDICE

La demi-pile du pôle négatif se place à gauche.

6. 0,5 pts

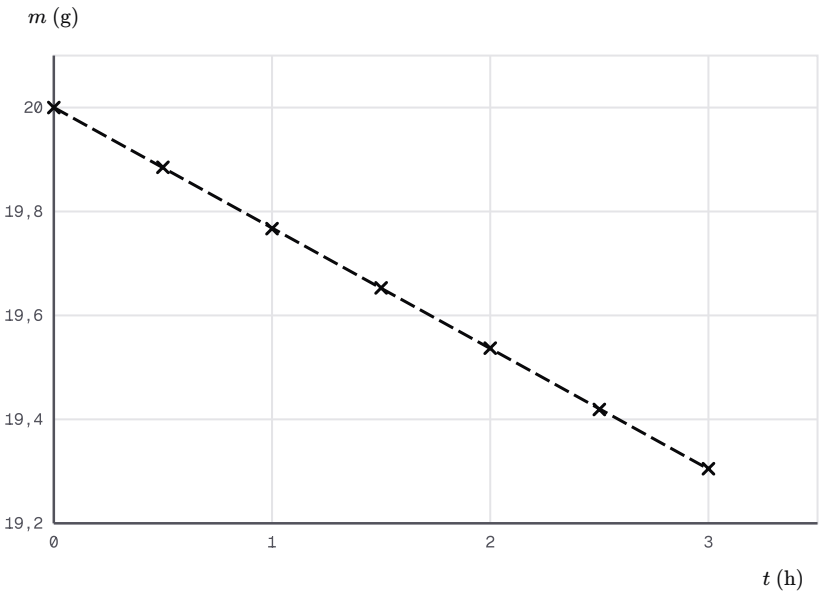
Partie B : suivi de la masse de l'anode

Une pile plomb-cuivre, dont la lame de plomb est l'anode, fonctionne selon l'équation bilan

$$\mathrm{Pb_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \longrightarrow Pb^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}}$$

et débite un courant d'intensité constante I. Toutes les demi-heures, on pèse la lame de plomb, rincée et séchée. Le document donne les mesures de sa masse m en fonction de la durée t de fonctionnement, avec la droite de modélisation.

Expliquer pourquoi la masse de la lame de plomb diminue.



Masse de la lame de plomb en fonction de la durée de fonctionnement : mesures et droite de modélisation.

Droite de modélisation calculée par moindres carrés sur 7 points : y = a x + b, avec a ≈ −0,2319 et b ≈ 20.

INDICE

Regarder ce que devient le plomb de la lame d'après le bilan.

7. 0,75 pts

Relever le coefficient directeur a de la droite de modélisation et préciser son unité. Que représente $|a|$?

INDICE

Le coefficient est écrit dans la légende du document ; son unité est celle de l'ordonnée divisée par celle de l'abscisse.

8. 1 pts

À l'aide d'un tableau d'avancement, établir l'expression de la masse de la lame : $m(t) = m_0 - \dfrac{M(\mathrm{Pb}) \cdot I}{2\,\mathcal{F}}\,t$, où m_0 est sa masse initiale.

INDICE

Relier la charge débitée pendant t à l'avancement par les électrons échangés, puis l'avancement à la masse de plomb consommée.

9. 0,75 pts

En déduire l'intensité I du courant débité par la pile.

INDICE

Identifier la pente de l'expression établie avec celle des mesures, après avoir exprimé cette dernière en grammes par seconde.

Exercice 4 6,25 pts

Pile bouton à l'oxyde d'argent d'une montre

De nombreuses montres fonctionnent avec une pile bouton à l'oxyde d'argent. Son électrolyte est une solution concentrée d'hydroxyde de potassium ; l'équation bilan de son fonctionnement est :

$$\mathrm{Zn_{(s)} + Ag_2O_{(s)} \longrightarrow ZnO_{(s)} + 2\,Ag_{(s)}}$$

On étudie la quantité d'électricité qu'une pile neuve peut débiter, puis sa durée d'usage dans une montre. Les deux parties sont indépendantes.

Données : $\mathcal{F} = 9{,}65 \times 10^{4}\ \mathrm{C \cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{Zn}) = 65{,}4\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{Ag}) = 107{,}9\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{O}) = 16{,}0\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $1\ \mathrm{mA \cdot h} = 3{,}6\ \mathrm{C}$.

1. 0,5 pts

Partie A : capacité d'une pile neuve

Une pile neuve contient les masses de réactifs du tableau ; son étiquette indique sa capacité.

Grandeur	Valeur
masse de zinc	$0{,}250\ \mathrm{g}$
masse d'oxyde d'argent	$0{,}580\ \mathrm{g}$
capacité indiquée	$130\ \mathrm{mA \cdot h}$
tension nominale	$1{,}55\ \mathrm{V}$

Les demi-équations aux électrodes sont :

$$\mathrm{Zn_{(s)} + 2\,HO^-_{(aq)} \rightleftharpoons ZnO_{(s)} + H_2O_{(\ell)} + 2\,e^-}$$

$$\mathrm{Ag_2O_{(s)} + H_2O_{(\ell)} + 2\,e^- \rightleftharpoons 2\,Ag_{(s)} + 2\,HO^-_{(aq)}}$$

Identifier l'espèce oxydée pendant le fonctionnement et en déduire l'électrode qui joue le rôle d'anode, ainsi que le pôle négatif de la pile.

INDICE

Chercher, dans le sens du fonctionnement, l'espèce qui cède des électrons.

2. 0,75 pts

Vérifier que la somme des deux demi-équations donne l'équation bilan, et donner le nombre z d'électrons échangés.

INDICE

Additionner membre à membre dans le sens du fonctionnement, puis éliminer les espèces présentes des deux côtés.

3. 1 pts

Calculer la masse molaire de l'oxyde d'argent. Dresser le tableau d'avancement, déterminer le réactif limitant et l'avancement maximal $x_{\max}$.

INDICE

Additionner les masses molaires des atomes de la formule ; convertir chaque masse en quantité de matière avant de comparer.

4. 0,5 pts

Calculer la capacité $Q_{\max}$ de la pile, en coulombs.

INDICE

La capacité est la charge débitée jusqu'à l'avancement maximal ; garder la masse d'oxyde d'argent dans le calcul pour éviter un arrondi.

5. 0,5 pts

Exprimer cette capacité en $\mathrm{mA \cdot h}$ et la comparer à la valeur de l'étiquette. Proposer une explication de l'écart.

INDICE

Utiliser la correspondance entre milliampère-heure et coulomb donnée dans l'énoncé ; penser à l'état de la pile quand la montre s'arrête.

6. 0,5 pts

Partie B : durée d'usage dans une montre

Une autre pile bouton de même technologie porte l'indication $165\,\mathrm{mA \cdot h}$. Exprimer cette capacité en coulombs.

INDICE

Un milliampère-heure est la charge débitée par un courant d'un milliampère pendant une heure.

7. 0,75 pts

La montre consomme en permanence un courant d'intensité $I = 6{,}00\,\mu\mathrm{A}$. Calculer la durée d'usage de cette pile, en secondes puis en années ($1\,\mathrm{an} = 3{,}15 \times 10^{7}\,\mathrm{s}$).

INDICE

La durée d'usage relie la charge disponible à l'intensité, exprimée en ampères.

8. 0,75 pts

Calculer la masse de zinc consommée pendant cette durée d'usage.

INDICE

Relier la charge débitée à l'avancement par le nombre d'électrons échangés, puis l'avancement à la quantité de zinc consommée.

9. 0,5 pts

La tension aux bornes de la pile reste pratiquement égale à $1{,}55\ \mathrm{V}$ pendant le fonctionnement. Calculer l'énergie électrique fournie à la montre pendant toute la durée d'usage.

INDICE

L'énergie électrique reçue par un dipôle dépend de la tension, de l'intensité et de la durée ; leur produit fait apparaître la charge.

10. 0,5 pts

Proposer une mesure qui permet de vérifier qu'une pile bouton de cette montre n'est pas usée.

INDICE

Penser à l'appareil qui mesure la tension d'une pile sans la faire débiter, et à la valeur attendue pour une pile en état de marche.

Exercice 5 6,75 pts

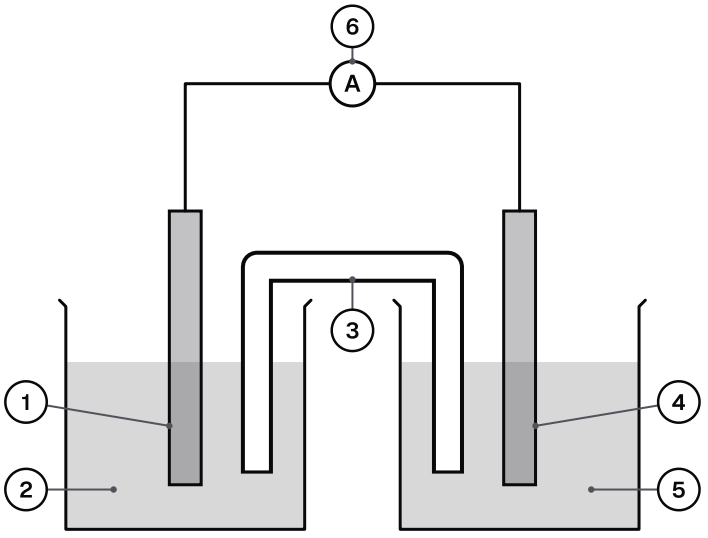
Pile zinc-nickel : montage, pile usée et réactifs restants

Des élèves réalisent une pile zinc-nickel et la ferment sur un ampèremètre. Le document représente le montage. On étudie son fonctionnement, puis l'état final de la pile usée. Les deux parties sont indépendantes.

À $25\,^{\circ}\mathrm{C}$, la réaction d'équation

$$\mathrm{Zn_{(s)} + Ni^{2+}_{(aq)} \rightleftharpoons Zn^{2+}_{(aq)} + Ni_{(s)}}$$

a pour constante d'équilibre $K = 2 \times 10^{17}$. Données : $\mathcal{F} = 9{,}65 \times 10^{4}\,\mathrm{C \cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{Zn}) = 65{,}4\,\mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $M(\mathrm{Ni}) = 58{,}7\,\mathrm{g \cdot mol^{-1}}$.



Montage de la pile zinc-nickel fermée sur un ampèremètre.

1 : lame de zinc Zn
2 : solution de sulfate de zinc
3 : pont salin au chlorure de potassium
4 : lame de nickel Ni
5 : solution de sulfate de nickel (II)
6 : ampèremètre

1. 0,5 pts

Partie A : prévoir et mesurer le fonctionnement

Les solutions ont pour concentrations initiales $[\mathrm{Zn^{2+}}]_0 = 0{,}400\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$ et $[\mathrm{Ni^{2+}}]_0 = 0{,}200\,\mathrm{mol \cdot L^{-1}}$. Calculer $Q_{r,i}$ et en déduire l'anode de la pile.

INDICE

Comparer le quotient de réaction initial à la constante d'équilibre, puis repérer le métal oxydé.

2. 0,75 pts

Recopier le schéma du document et le compléter pour un affichage positif de l'ampèremètre : sens du courant dans les fils, borne A et borne COM de l'appareil.

INDICE

Le courant sort de la pile par un pôle précis, puis traverse l'ampèremètre.

3. 0,75 pts

Décrire le trajet des électrons et du courant dans le circuit extérieur, la migration des ions du pont salin, puis nommer les pôles de la pile.

INDICE

Partir de l'anode trouvée ; dans le pont salin, chaque bécher doit rester électriquement neutre.

4. 0,75 pts

Écrire les demi-équations aux électrodes et le bilan de la transformation de la pile.

INDICE

Oxydation du zinc d'un côté, réduction des ions nickel (II) de l'autre, chacune avec la double flèche.

5. 0,5 pts

Représenter cette pile par son schéma conventionnel.

INDICE

Placer à gauche la demi-pile qui contient l'anode.

6. 0,75 pts

Partie B : composition de la pile usée

Dans une pile zinc-nickel dont la lame de zinc est l'anode, d'équation bilan

$$\mathrm{Zn_{(s)} + Ni^{2+}_{(aq)} \longrightarrow Zn^{2+}_{(aq)} + Ni_{(s)}}$$

chaque solution a un volume $V = 100\,\mathrm{mL}$; les concentrations initiales sont $[\mathrm{Zn^{2+}}]_0 = 0{,}400\,\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$ et $[\mathrm{Ni^{2+}}]_0 = 0{,}200\,\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$, et la lame de zinc a une masse initiale $m_0 = 5{,}00\,\mathrm{g}$. Dresser le tableau d'avancement et déterminer l'avancement maximal $x_{\max}$.

INDICE

Calculer la quantité de zinc avec sa masse molaire et les quantités d'ions avec le volume ; repérer le réactif qui s'épuise le premier.

7. 0,75 pts

La pile est usée lorsque son quotient de réaction atteint K. Calculer la concentration en ions nickel (II) dans la pile usée et justifier que l'avancement final est pratiquement égal à $x_{\max}$.

INDICE

Écrire le quotient de réaction à l'équilibre ; la concentration en ions zinc (II) se lit dans le tableau quand le réactif limitant est presque épuisé.

8. 0,5 pts

Déterminer la composition finale de la pile usée : concentration en ions zinc (II), masse de la lame de zinc et masse de nickel déposée.

INDICE

Lire la dernière ligne du tableau d'avancement avec l'avancement maximal, puis convertir en concentration et en masses.

9. 0,5 pts

Calculer la quantité d'électricité totale débitée par la pile jusqu'à son usure.

INDICE

La charge totale correspond à l'avancement maximal ; deux électrons sont échangés par réaction.

10. 1 pts

Question de synthèse. Un élève affirme : « quand une pile est usée, les cations qu'elle consomme ont tous disparu ». On compare la pile zinc-nickel à une pile étain-plomb, pour laquelle la réaction d'équation

$$\mathrm{Sn_{(s)} + Pb^{2+}_{(aq)} \rightleftharpoons Sn^{2+}_{(aq)} + Pb_{(s)}}$$

a pour constante $K' = 2{,}2$ à $25\,^{\circ}\mathrm{C}$. Cette pile est préparée avec deux solutions de $100\,\mathrm{mL}$, à $[\mathrm{Sn^{2+}}]_0 = 0{,}100\,\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$ et $[\mathrm{Pb^{2+}}]_0 = 0{,}200\,\mathrm{mol\cdot L^{-1}}$; ses lames sont en excès. Discuter l'affirmation de l'élève.

INDICE

Chercher l'état d'équilibre de la pile étain-plomb, puis le comparer à celui de la pile zinc-nickel.