La pile au méthanol

Bac 2022 Nouvelle-Calédonie Jour 1 · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 53 min**

A.1.1 Identifier quelle électrode constitue l'anode et quelle électrode constitue la cathode dans la pile au méthanol.

À l'électrode 1, le méthanol cède des électrons : CH_3OH est oxydé. L'électrode où se produit l'oxydation est l'anode.

À l'électrode 2, le dioxygène capte des électrons : O_2 est réduit. L'électrode où se produit la réduction est la cathode.

Électrode 1 : **anode** (oxydation) ; électrode 2 : **cathode** (réduction).

MÉTHODE
Repérer de quel côté de la demi-équation se trouvent les électrons quand la pile débite : produits, c'est une oxydation (anode) ; consommés, c'est une réduction (cathode).

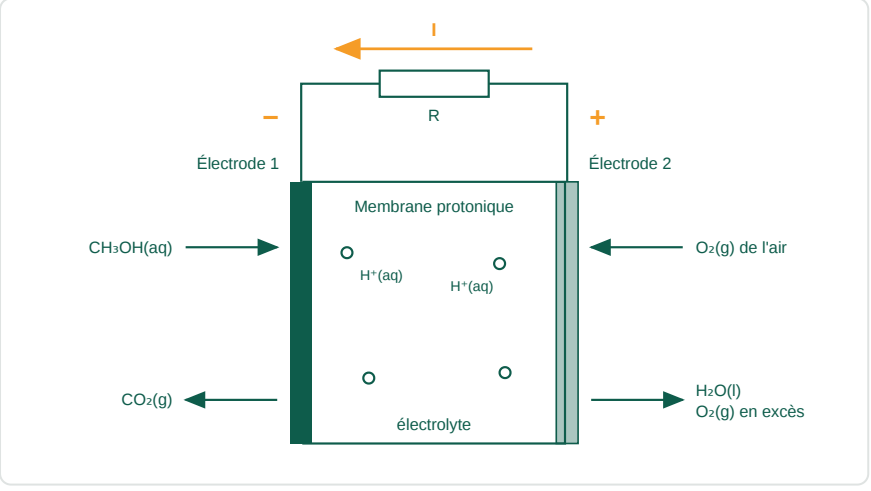
A.1.2 Indiquer sur le schéma de l'annexe les pôles de la pile ainsi que le sens du courant électrique.

L'électrode 1 libère des électrons vers le circuit extérieur : c'est le pôle négatif. L'électrode 2 reçoit ces électrons : c'est le pôle positif.

À l'extérieur de la pile, le courant sort par le pôle positif : il traverse la résistance R de l'électrode 2 vers l'électrode 1.

Pôle $-$: électrode 1 ; pôle $+$: électrode 2 ; courant de l'électrode 2 vers l'électrode 1 à travers R.

PIÈGE
Orienter le courant dans le sens de déplacement des électrons. Le sens conventionnel du courant est l'opposé : du pôle $+$ vers le pôle $-$ dans le circuit extérieur.



A.1.2 · Annexe complétée : pôles de la pile et sens du courant (en orange)

A.1.3 Expliquer le rôle de la membrane protonique dans la pile au méthanol.

La membrane laisse passer les ions H^+ produits à l'électrode 1 vers l'électrode 2, où ils sont consommés. Elle joue le rôle d'un pont salin :

- elle assure le passage du courant à l'intérieur de la pile, donc la fermeture du circuit ;
- elle maintient l'électroneutralité de chaque côté de la pile.

La membrane ferme le circuit électrique par le déplacement des ions H^+ et garantit la neutralité électrique.

COMPRENDRE
Les électrons ne circulent pas dans l'électrolyte. Sans la membrane, les charges s'accumuleraient aux électrodes et la pile cesserait aussitôt de débiter.

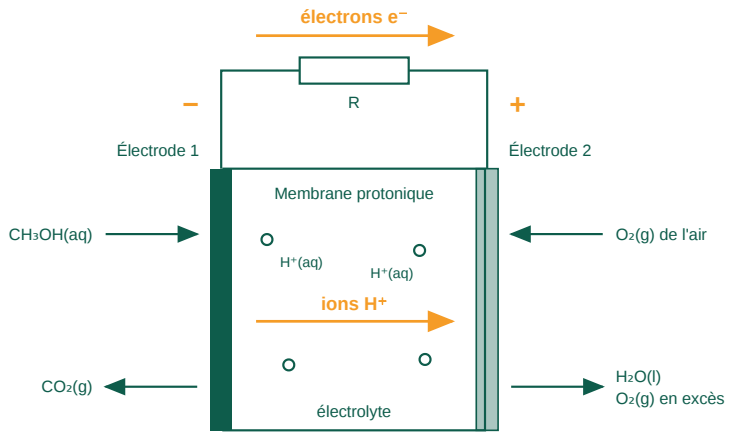
A.1.4 Indiquer sur le schéma de l'annexe le sens de circulation des porteurs de charge à l'intérieur et à l'extérieur de la pile.

À l'extérieur (fils et résistance), les porteurs de charge sont les électrons : ils vont de l'électrode 1, où ils sont produits, vers l'électrode 2, où ils sont consommés, en sens inverse du courant.

À l'intérieur, les porteurs de charge sont les ions H^+ : chargés positivement, ils se déplacent dans le sens du courant, de l'électrode 1 vers l'électrode 2.

Électrons : de l'électrode 1 vers l'électrode 2 par le circuit extérieur ; ions H^+ : de l'électrode 1 vers l'électrode 2 à travers la membrane.

COMPRENDRE
Les demi-équations le confirment : les ions H^+ sont produits à l'électrode 1 et consommés à l'électrode 2, tout comme les électrons.



A.1.4 · Annexe complétée : sens de circulation des porteurs de charge (en orange)

A.2 Écrire l'équation de la réaction chimique modélisant le fonctionnement de la pile.

Il faut échanger le même nombre d'électrons, soit 12 : la demi-équation de l'électrode 1 est multipliée par 2, celle de l'électrode 2 par 3.

$$2\,CH_3OH + 2\,H_2O + 3\,O_2 + 12\,H^+ \longrightarrow 2\,CO_2 + 12\,H^+ + 6\,H_2O$$

Après simplification des ions H^+ et de l'eau :

$$2\,CH_3OH\,(aq) + 3\,O_2\,(g) \longrightarrow 2\,CO_2\,(g) + 4\,H_2O\,(l)$$

PIÈGE
Additionner les deux demi-équations telles quelles : il resterait des électrons dans le bilan. Vérifier à la fin la conservation de C, H et O.

A.3.1 Montrer que la quantité de matière de méthanol introduite dans la pile a pour valeur $n(CH_3OH) = 1{,}2 \times 10^{-2}$ mol.

Données utiles $V = 5{,}0$ mL de solution à 10 % en volume ; $\rho_{méthanol} = 0{,}792\ g \cdot mL^{-1}$; $M_{méthanol} = 32{,}0\ g \cdot mol^{-1}$

Volume de méthanol pur : $V_{méthanol} = 0{,}10 \times V$.

Masse correspondante : $m = \rho_{méthanol} \times V_{méthanol}$, d'où

$$n(CH_3OH) = \frac{m}{M_{méthanol}} = \frac{\rho_{méthanol} \times 0{,}10 \times V}{M_{méthanol}} = \frac{0{,}792 \times 0{,}10 \times 5{,}0}{32{,}0}$$

$n(CH_3OH) = 1{,}24 \times 10^{-2}$ mol $\approx 1{,}2 \times 10^{-2}$ mol : c'est la valeur attendue.

PIÈGE
Prendre les 5,0 mL comme du méthanol pur : la solution n'en contient que 10 % en volume, soit 0,50 mL.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme V et le pourcentage volumique, données les moins précises. La valeur non arrondie est gardée en mémoire pour les calculs suivants.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.792 \times 0.10 \times 5.0}{32.0} \approx 0.012375$$

A.3.2 Justifier que le dioxygène est le réactif en excès.

Le méthanol est introduit une fois pour toutes, en quantité fixée. Le dioxygène, lui, provient de l'air ambiant, avec lequel le compartiment reste constamment en contact : il est renouvelé au fur et à mesure de sa consommation.

Le dioxygène, apporté sans limite par l'air, est en excès ; le méthanol est le réactif limitant.

COMPRENDRE
La figure 1 le montre aussi : du dioxygène ressort de la pile, il n'est donc pas entièrement consommé.

A.3.3 Déterminer le volume d'air $V(\text{air})$ consommé lors du fonctionnement de la pile jusqu'à son usure.

Données utiles $n(CH_3OH)$ (A.3.1) ; équation de la réaction (A.2) ; $V_m = 24{,}5\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$; air : 20 % de dioxygène en volume

La pile est usée quand tout le méthanol a réagi. D'après l'équation de la réaction :

$$\frac{n(O_2)}{3} = \frac{n(CH_3OH)}{2} \quad \text{soit} \quad n(O_2) = \frac{3}{2}\,n(CH_3OH)$$

Volume de dioxygène consommé : $V(O_2) = n(O_2) \times V_m$.

Le dioxygène occupe 20 % du volume de l'air : $V(O_2) = 0{,}20 \times V(\text{air})$, donc

$$V(\text{air}) = \frac{3 \times n(CH_3OH) \times V_m}{2 \times 0{,}20} = \frac{3 \times 1{,}24 \times 10^{-2} \times 24{,}5}{2 \times 0{,}20}$$

$V(\text{air}) = 2{,}3\ \text{L}$

PIÈGE
Multiplier par 0,20 au lieu de diviser : le volume d'air est cinq fois plus grand que celui du dioxygène qu'il contient.

COMPRENDRE
Avec la valeur arrondie $1{,}2 \times 10^{-2}$ mol, on obtient 2,2 L : l'écart vient seulement de l'arrondi intermédiaire.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{3 \times 0.012375 \times 24.5}{2 \times 0.20} \approx 2.273906$$

B.1 Calculer la capacité électrique théorique de la pile au méthanol étudiée dans la partie A.

Données utiles $n(CH_3OH)$ (A.3.1) ; $F = 9{,}6 \times 10^4\ \text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$

La capacité théorique est la charge maximale que la pile peut faire circuler : $Q_{max} = n(e^-)_{max} \times F$.

Le méthanol est le réactif limitant. D'après la demi-équation de l'électrode 1, chaque mole de méthanol libère 6 moles d'électrons : $n(e^-)_{max} = 6 \times n(CH_3OH)$.

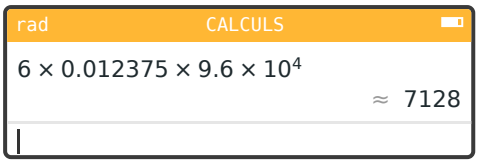
$$Q_{max} = 6 \times n(CH_3OH) \times F = 6 \times 1{,}24 \times 10^{-2} \times 9{,}6 \times 10^4$$

$Q_{max} = 7{,}1 \times 10^3\ \text{C}$

PIÈGE
Prendre 12 électrons en lisant l'équation de la réaction : ces 12 électrons correspondent à 2 moles de méthanol, soit toujours 6 par mole.

COMPRENDRE
Avec $n(CH_3OH)$ arrondie à $1{,}2 \times 10^{-2}$ mol, on trouve $6{,}9 \times 10^3$ C : l'écart vient de l'arrondi intermédiaire.

À LA CALCULATRICE



B.2 Les élèves souhaitent faire fonctionner le ventilateur pendant au moins une heure. Expliquer en argumentant s'ils y parviendront.

Données utiles $Q_{max} = 7{,}1 \times 10^3$ C (B.1) ; deux piles en série ; $r = 0{,}70$; $I = 450\ \text{mA} = 0{,}450$ A

Capacité réelle d'une pile : $Q'_{max} = r \times Q_{max}$.

D'après l'énoncé, les capacités de deux piles en série s'ajoutent : $Q_{tot} = 2 \times r \times Q_{max}$.

Le courant étant d'intensité constante, $Q_{tot} = I \times \Delta t_{max}$, d'où

$$\Delta t_{max} = \frac{2 \times r \times Q_{max}}{I} = \frac{2 \times 0{,}70 \times 7{,}1 \times 10^3}{0{,}450} = 2{,}2 \times 10^4\ \text{s}$$

soit environ 6,2 h. Cette durée dépasse largement une heure.

Remarque : en réalité, les capacités de piles en série ne s'ajoutent pas. Avec une seule capacité, $\Delta t_{max} = \dfrac{r \times Q_{max}}{I} \approx 3{,}1$ h : la conclusion reste la même.

$\Delta t_{max} \approx 2{,}2 \times 10^4\ \text{s} \approx 6{,}2\ \text{h} > 1\ \text{h}$: les élèves y parviendront.

PIÈGE
Oublier le rendement ou laisser l'intensité en milliampères : la durée serait fausse d'un facteur 1000.

COMPRENDRE
Erreur du sujet : en série, le même courant traverse les deux piles, qui s'usent ensemble. La charge disponible reste celle d'une pile ; c'est la tension, donc l'énergie, qui double.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer la démarche (capacité réelle, puis durée par $Q = I \times \Delta t$), convertir I en ampères, puis comparer explicitement la durée obtenue à la durée demandée.

À LA CALCULATRICE

