

## Etude d'une pile au laboratoire

Chaque année en France, 1,3 milliard de piles sont vendues dans le commerce. Petits réservoirs d'énergie, elles constituent des objets indispensables au quotidien. L'objectif de cet exercice est d'étudier le fonctionnement d'une pile réalisée au laboratoire et de comparer sa capacité électrique à celle d'une pile AA vendue dans le commerce.

### Données

masses molaires :

espèce chimique	Al	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
masse molaire en g.mol <sup>-1</sup>	27,0	342,15

- couples oxydants-réducteurs : (Cu<sup>2+</sup> (aq) / Cu(s)) et (Al<sup>3+</sup> (aq) / Al (s))
- charge élémentaire :  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  C
- constante d'Avogadro :  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>
- 1 mAh = 3,60 C

Pour réaliser la pile étudiée, deux solutions aqueuses sont préparées : une de sulfate d'aluminium notée S, et une de sulfate de cuivre (Cu<sup>2+</sup> (aq) ; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (aq)), notée S', toutes les deux sont à la concentration en soluté apporté de  $C = 0,100$  mol.L<sup>-1</sup>. Le sulfate d'aluminium est un solide de formule Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (s), disponible sous forme de poudre.

- 1 Rédiger le protocole expérimental précis à mettre en œuvre pour préparer 50,0 mL de la solution S à partir du sulfate d'aluminium en poudre.
- 2 Calculer les concentrations en quantité de matière en ions aluminium Al<sup>3+</sup> (aq) et en ion sulfate SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (aq) dans la solution S.

La pile est assemblée selon le schéma de la figure 1 représenté ci-dessous :

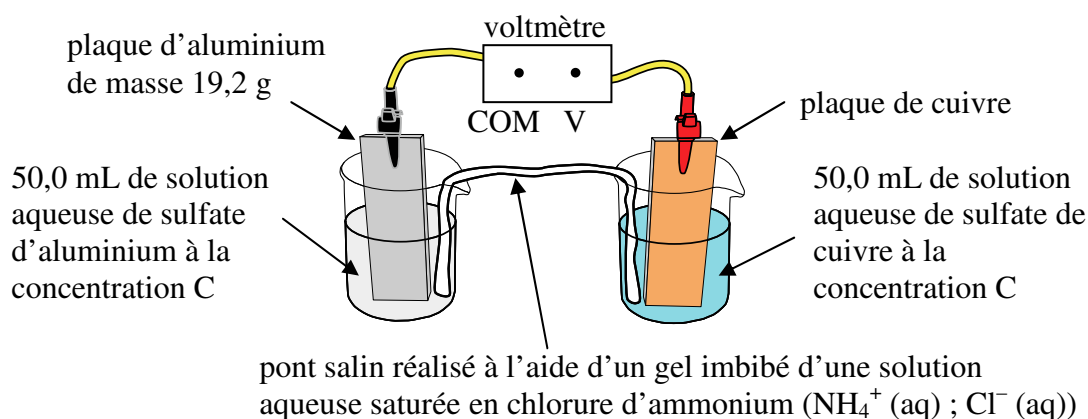


figure 1  
schéma de la constitution de la pile

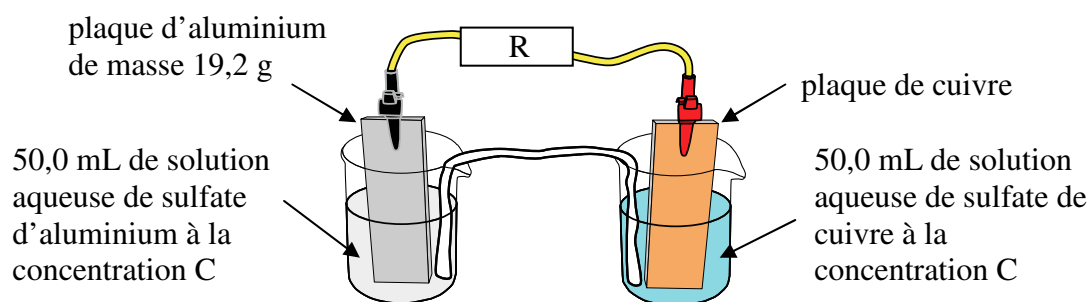
Pour déterminer la polarité de la pile ainsi constituée, un voltmètre est relié aux deux plaques métalliques. La borne COM du voltmètre est reliée à la plaque d'aluminium. Dans ces conditions, la tension mesurée aux bornes de la pile vaut  $U = 0,92$  V.

- 3 Déterminer le pôle positif de la pile à l'aide du montage expérimental de la figure 1.

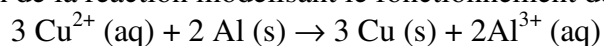
Dans la suite de l'étude, le voltmètre est retiré puis est remplacé par un conducteur ohmique de résistance R.

- 4 Compléter le schéma ci-dessous en y indiquant la polarité de la pile, le sens du courant électrique et le sens de circulation des porteurs de charge dans la pile et à l'extérieur de la pile lors de son

fonctionnement.



- 5 Etablir les équations modélisant les réactions aux électrodes lors du fonctionnement de la pile. En déduire que l'équation de la réaction modélisant le fonctionnement de la pile s'écrit :



La constante d'équilibre K associée à cette réaction a pour valeur  $K \approx 10\,200$ , à 25 °C.

- 6 Montrer que la valeur initiale du quotient de réaction du système vaut  $Q_r = 40$ . Conclure quant à l'évolution du système.
- 7 Capacité électrique de la pile
- 7.1 Déterminer quel est le réactif limitant.
- 7.2 Déterminer la capacité électrique Q de la pile du laboratoire, puis la comparer aux piles commerciales de type « AA » de capacité 2 800 mAh.
- 8 Identifier un paramètre de la composition de la pile de laboratoire qu'il faudrait faire évoluer pour augmenter la capacité électrique de la pile, en précisant comment ce paramètre doit évoluer. Justifier.

# Corrigé

## Etude d'une pile au laboratoire

Chaque année en France, 1,3 milliard de piles sont vendues dans le commerce. Petits réservoirs d'énergie, elles constituent des objets indispensables au quotidien. L'objectif de cet exercice est d'étudier le fonctionnement d'une pile réalisée au laboratoire et de comparer sa capacité électrique à celle d'une pile AA vendue dans le commerce.

### Données

masses molaires :

espèce chimique	Al	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
masse molaire en g.mol <sup>-1</sup>	27,0	342,15

- couples oxydants-réducteurs : (Cu<sup>2+</sup> (aq) / Cu(s)) et (Al<sup>3+</sup> (aq) / Al (s))
- charge élémentaire :  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  C
- constante d'Avogadro :  $N_A = 6,022 \cdot 10^{23}$  mol<sup>-1</sup>
- 1 mAh = 3,60 C

Pour réaliser la pile étudiée, deux solutions aqueuses sont préparées : une de sulfate d'aluminium notée S, et une de sulfate de cuivre (Cu<sup>2+</sup> (aq) ; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (aq)), notée S', toutes les deux sont à la concentration en soluté apporté de  $C = 0,100$  mol.L<sup>-1</sup>. Le sulfate d'aluminium est un solide de formule Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> (s), disponible sous forme de poudre.

- 1 Rédiger le protocole expérimental précis à mettre en œuvre pour préparer 50,0 mL de la solution S à partir du sulfate d'aluminium en poudre.

quantité de sulfate d'aluminium pour fabriquer S

$$n(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = C * V = 0,100 * 50,0 \cdot 10^{-3} = 5,00 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

masse de sulfate d'aluminium pour fabriquer S

$$m(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = n(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) * M(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 5,00 \cdot 10^{-3} * 342,15 = 1,71 \text{ g}$$

protocole expérimental

peser 1,71 g de poudre de sulfate d'aluminium

verser cette poudre dans une fiole jaugée de 50,0 mL

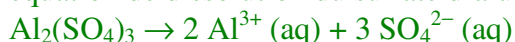
remplir à moitié la fiole d'eau déminéralisée et agiter pour dissoudre le solide

ajouter de l'eau déminéralisée dans la fiole jusqu'au trait de jauge

homogénéiser

- 2 Calculer les concentrations en quantité de matière en ions aluminium Al<sup>3+</sup> (aq) et en ion sulfate SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> (aq) dans la solution S.

équation de dissolution du sulfate d'aluminium



l'équation de dissolution montre que :

$$\frac{c(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)}{1} = \frac{[\text{Al}^{3+}]}{2} = \frac{[\text{SO}_4^{2-}]}{3}$$

$$[\text{Al}^{3+}] = 2 * c(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 2 * 0,100 = 0,200 \text{ mol.L}^{-1}$$

$$[\text{SO}_4^{2-}] = 3 * c(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 3 * 0,100 = 0,300 \text{ mol.L}^{-1}$$

La pile est assemblée selon le schéma de la figure 1 représenté ci-dessous :

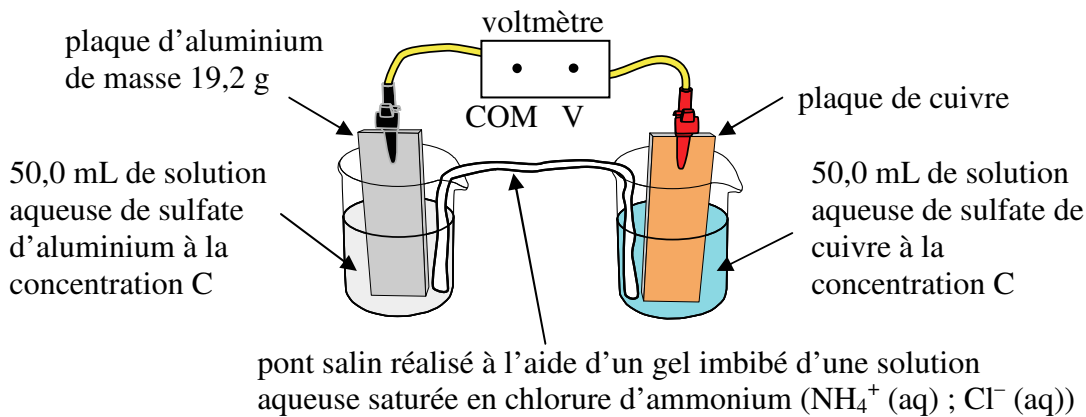


figure 1  
schéma de la constitution de la pile

Pour déterminer la polarité de la pile ainsi constituée, un voltmètre est relié aux deux plaques métalliques. La borne COM du voltmètre est reliée à la plaque d'aluminium. Dans ces conditions, la tension mesurée aux bornes de la pile vaut  $U = 0,92 \text{ V}$ .

3 Déterminer le pôle positif de la pile à l'aide du montage expérimental de la figure 1.

notation : tension électrique  $U$  ; potentiel électrique  $V$

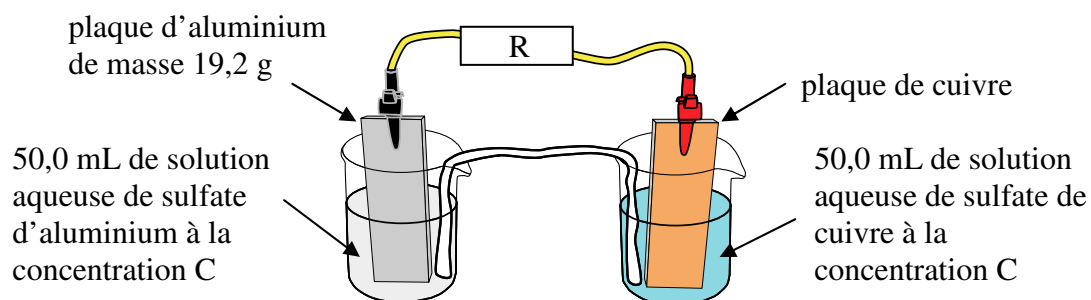
une tension électrique est une différence de potentiel électrique :  $U_{V-COM} = V_V - V_{COM}$

énoncé :  $U_{V-COM} = 0,92 \text{ V} > 0 \text{ V}$

$V_V > V_{COM}$  : le pôle + de la pile est la demi pile  $\text{Cu}^{2+} / \text{Cu}$  (l'autre demi-pile constitue le pôle -)

Dans la suite de l'étude, le voltmètre est retiré puis est remplacé par un conducteur ohmique de résistance  $R$ .

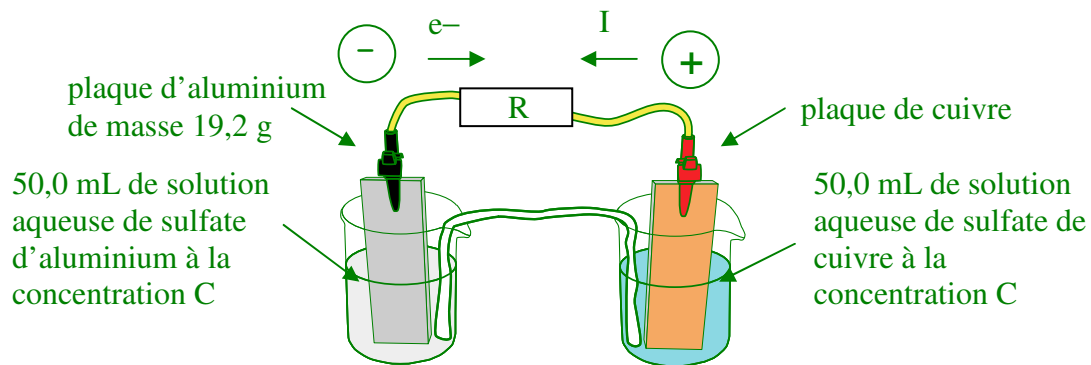
4 Compléter le schéma ci-dessous en y indiquant la polarité de la pile, le sens du courant électrique et le sens de circulation des porteurs de charge dans la pile et à l'extérieur de la pile lors de son fonctionnement.



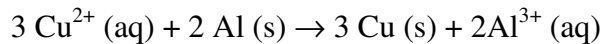
le courant électrique circule du pôle + vers le pôle - à l'extérieur de la pile

le sens du courant électrique est défini comme le sens de déplacement de charges positives (ou le sens inverse de déplacement de charges négatives)

des charges négatives (des électrons) se déplacent donc dans le métal du fil dans le sens inverse de celui du courant électrique



- 5 Etablir les équations modélisant les réactions aux électrodes lors du fonctionnement de la pile. En déduire que l'équation de la réaction modélisant le fonctionnement de la pile s'écrit :



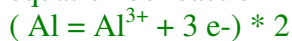
des électrons quittent l'électrode d'aluminium



des électrons rejoignent l'électrode de cuivre



équation de réaction



La constante d'équilibre K associée à cette réaction a pour valeur  $K \approx 10\,200$ , à  $25\text{ }^\circ\text{C}$ .

- 6 Montrer que la valeur initiale du quotient de réaction du système vaut  $Q_r = 40$ . Conclure quant à l'évolution du système.

quotient de réaction

$$Q_{r_i} = \frac{[\text{Al}^{3+}]_i^2 * c^\circ}{[\text{Cu}^{2+}]_i^3}$$

question n°2 :  $[\text{Al}^{3+}]_i = 0,200 \text{ mol.L}^{-1}$

énoncé :  $[\text{Cu}^{2+}]_i = 0,100 \text{ mol.L}^{-1}$

$$Q_{r_i} = \frac{0,200^2 * 1}{0,100^3} = 40$$

$Q_{r_i} < K (T) \Rightarrow$  le système va évoluer dans le sens direct de l'équation de réaction (question 5)

- 7 Capacité électrique de la pile

- 7.1 Déterminer quel est le réactif limitant.

quantité initiale des ions cuivre II

$$n_i (\text{Cu}^{2+}) = [\text{Cu}^{2+}] * V_{\text{sol}} = 0,100 * 50,0 \cdot 10^{-3} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

quantité initiale de poudre d'aluminium

$$n_i (\text{Al}) = \frac{m(\text{Al})}{M(\text{Al})} = \frac{19,2}{27,0} = 0,71 \text{ mol.}$$

réactif limitant

$$x_{\max} = \min \left( \frac{n_i(\text{Al})}{2}, \frac{n_i(\text{Cu}^{2+})}{3} \right) = \min \left( \frac{0,71}{2}, \frac{5,0 \cdot 10^{-3}}{3} \right) = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ mol.}$$

les ions cuivre II sont le réactif limitant

- 7.2 Déterminer la capacité électrique Q de la pile du laboratoire, puis la comparer aux piles commerciales de type « AA » de capacité 2 800 mAh.

les ions cuivre II sont le réactif limitant (question 7.1)

$\text{Cu}^{2+} + 2 \text{e}^- = \text{Cu}$  (question 5)

quantité d'électrons qui ont circulé jusqu'à l'usure de la pile

$$n(\text{e}^-) = 2 * n_i(\text{Cu}^{2+}) = 2 * 5,0 \cdot 10^{-3} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ mol.}$$

capacité électrique de la pile

$$Q = n(\text{e}^-) * N_A * e = 1,0 \cdot 10^{-2} * 6,022 \cdot 10^{23} * 1,602 \cdot 10^{-19} = 964 \text{ C}$$

capacité électrique d'une pile commerciale de type « AA »

$$2\,800 \text{ mAh} = 2\,800 * 3,60 = 10\,080 \text{ C}$$

la capacité électrique de la pile de laboratoire est environ 10 fois plus faible que la capacité électrique de la pile commerciale de type « AA »

- 8 Identifier un paramètre de la composition de la pile de laboratoire qu'il faudrait faire évoluer pour augmenter la capacité électrique de la pile, en précisant comment ce paramètre doit évoluer. Justifier.

on pourrait augmenter la concentration molaire des ions cuivre II

$$[\text{Cu}^{2+}] \nearrow \rightarrow n_i(\text{Cu}^{2+}) \nearrow \rightarrow n(\text{e}^-) \nearrow \rightarrow Q \nearrow$$