EXERCICE 3. Poignées de porte antibactériennes (4 points)

Les expériences menées en milieu hospitalier dans des services particulièrement sensibles comme la réanimation, la néonatalité ou les soins intensifs, ont prouvé que l'utilisation de cuivre sur les surfaces ou les objets les plus touchés par le personnel et les patients permettait de mieux protéger ces derniers contre les infections nosocomiales, et plus largement de limiter la transmission de bactéries résistantes aux antibiotiques.

D'après un article www.lesechos.fr

Ce sujet s'intéresse à un procédé électrochimique dit « à anode inerte » permettant de recouvrir une poignée de porte d'une fine couche de cuivre (cuivrage).

Partie 1 : cuivrage électrolytique

La poignée à cuivrer est placée dans un bain électrolytique. Ce bain est composé d'une solution aqueuse acidifiée de sulfate de cuivre ($Cu^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$) préparée par dissolution de $130\ g$ de sulfate de cuivre pentahydraté dans $1\ L$ d'eau distillée.

La figure 1 décrit le dispositif : un générateur de tension continue, noté G, est relié à une électrode en graphite et à la poignée ; un ampèremètre, noté A, permet de mesurer l'intensité du courant.

Lors de l'électrolyse, on observe un dégagement gazeux de dioxygène au niveau de l'électrode de graphite.

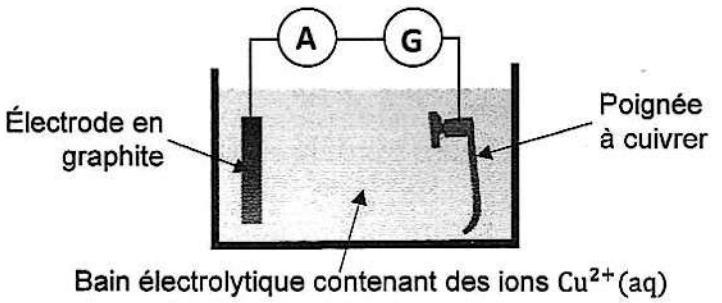


Figure 1. Schéma de l'électrolyseur utilisé

Données :

- couples d'oxydo-réduction mis en jeu lors de la transformation : $Cu^{2+}(aq)$ / $Cu(s)$ et $O_2(g)$ / $H_2O(\ell)$;
- masse molaire du cuivre : $M_{Cu} = 63{,}5\ g{\cdot}mol^{-1}$;
- intensité parcourant le circuit : $I = 750\ mA$;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ mol^{-1}$;
- charge élémentaire : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}\ C$;
- charge électrique totale (en C) parcourant le circuit pendant la durée Δt (en s) : $Q = I \cdot \Delta t$ avec un courant I (en A) supposé constant.

Q1. Établir les équations modélisant les réactions aux électrodes qui ont lieu lors de l'électrolyse.

Q2. Indiquer, en justifiant, si la poignée est reliée à la borne positive ou négative du générateur.

Q3. Montrer que la réaction d'oxydo-réduction modélisant la transformation chimique s'effectuant au sein de l'électrolyseur est :

$$2\ Cu^{2+}(aq) + 2\ H_2O(\ell) \rightleftarrows 2\ Cu(s) + O_2(g) + 4\ H^+(aq)$$

Le dépôt d'une épaisseur de 15 micromètres sur cette poignée correspond à une masse de 400 mg de cuivre.

Q4. Calculer la valeur de la quantité de cuivre n_{Cu} déposé sur la poignée.

Q5. Calculer la valeur de la charge électrique totale Q qui permet d'effectuer ce dépôt.

Q6. Calculer la valeur du temps Δt nécessaire pour effectuer le cuivrage de la poignée.

Partie 2 : analyse du bain après électrolyse

Lors de l'électrolyse, les ions Cu^{2+} sont consommés pour réaliser le dépôt métallique et peuvent également former des oxydes de cuivre qui se déposent au fond du bain.

Or, pour une électrolyse efficace, la concentration en masse de sulfate de cuivre pentahydraté apporté dans le bain électrolytique doit être au minimum de 100 $g \cdot L^{-1}$ tout au long du processus.

Pour vérifier si le bain peut être réutilisé pour recouvrir d'autres pièces identiques, on met en œuvre un dosage spectrométrique par étalonnage des ions cuivre contenus dans l'électrolyseur. Le protocole expérimental est le suivant :

Étape 1 : Après l'électrolyse de la première poignée, on prélève un volume V de la solution S contenue dans l'électrolyseur. Ce prélèvement est ensuite dilué d'un facteur 10 pour créer la solution S'.

Étape 2 : On mesure l'absorbance A de différentes solutions étalons de concentration en ions cuivre connue. On trace l'évolution de l'absorbance des solutions en fonction de leur concentration C et on modélise une partie de la courbe obtenue (figure 2).

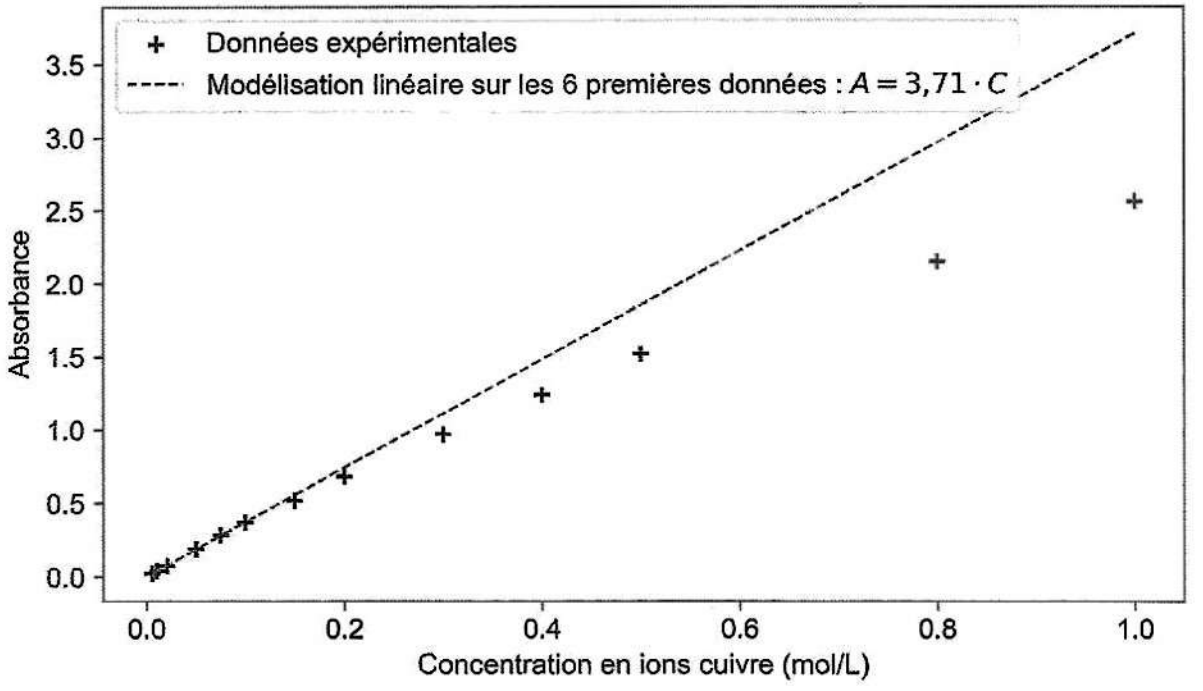


Figure 2. Courbe d'étalonnage et modélisation linéaire pour les solutions de concentration en ions cuivre inférieure ou égale à 0,10 $mol \cdot L^{-1}$

Étape 3 : On mesure l'absorbance A de la solution S'. La valeur obtenue est 0,180.

Donnée : masse molaire du sulfate de cuivre pentahydraté : $M_{CuSO_4,5H_2O} = 249{,}6\ g{\cdot}mol^{-1}$.

Q7. Décrire le protocole de dilution de l'étape 1 permettant d'obtenir $50\ mL$ de solution S'.

Q8. Justifier l'intérêt de diluer le prélèvement d'un facteur 10 avant d'effectuer le dosage.

Q9. Déterminer la concentration en quantité de matière d'ions cuivre $C(Cu^{2+})$ dans la solution S'.

Q10. Indiquer si le bain électrolytique peut être réutilisé pour cuivrer une deuxième poignée.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.