

Nom:..... Prénom:..... Classe:..... Date: .....

## Cuivrage d'une pièce en étain par électrolyse

| ✔ Objectifs  | 👤 Classe      |
|--|---------------|
| <input type="checkbox"/> Passage forcé d'un courant pour réaliser une transformation chimique. Constitution et fonctionnement d'un électrolyseur.<br><input type="checkbox"/> Modéliser et schématiser, à partir de résultats expérimentaux, les transferts d'électrons aux électrodes par des réactions électrochimiques. Déterminer les variations de quantité de matière à partir de la durée de l'électrolyse et de la valeur de l'intensité du courant.<br><input type="checkbox"/> Identifier les produits formés lors du passage forcé d'un courant dans un électrolyseur. Relier la durée, l'intensité du courant et les quantité de matière de produits formés. | Terminale Spé |
|  | 🕒 Durée       |
|  | 2 h           |

### ✂ Sur la paillasse

- 6 fils de connexion rouge et noir (4 longs et 2 moyens),
- 1 bécher de 100 mL,
- Potence avec pince;
- Deux pinces à linges;
- Un générateur électrique (sur lequel on peut régler la tension ou l'intensité),
- Deux multimètres,
- Un chronomètre,
- Un agitateur magnétique,
- Deux lames de cuivre,
- Un fil d'étain de 3 mm de diamètre et d'une longueur de 15 cm,
- Un flacon noté  $S_1$  de 100 mL contenant une solution de sulfate de cuivre de concentration  $C_1 = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,
- Papier abrasif,
- Papier absorbant,
- Éprouvette graduée de 100 mL,
- Balance de précision au centigramme,
- Sèche-cheveux électrique,
- Gants et lunettes de protection.

Au fond de la salle: Bidon de récupération ions métalliques.

L'objectif de ce TP est de réaliser un cuivrage, en recouvrant une pièce d'étain par un dépôt de cuivre protecteur, qui va protéger l'étain contre la corrosion.

### 📄 Document 1: Différents types de cuivrage

Le cuivrage est un terme général désignant tout traitement de surface entraînant la formation d'un revêtement métallique de cuivre. L'objectif est d'empêcher la dégradation du métal recouvert par corrosion. En effet, le cuivre est un métal très réducteur qui est donc oxydé à la place du métal qu'il protège. Le langage courant utilise une terminologie spéciale suivant le procédé de cuivrage :

- Cuivrage électrolytique : déposition électrolytique de cuivre. Les produits ainsi revêtus sont appelés produits électrozingués;
- Cuivrage à chaud: recouvrement par immersion dans un bain de cuivre fondu. Les produits ainsi revêtus sont appelés produits galvanisés;
- Cuivrage par projection à chaud : recouvrement par projection de cuivre fondu au pistolet. Les produits ainsi revêtus sont appelés métallisés au cuivre.

Source: <https://fr.wikipedia.org/wiki/cuivrage>

## Document 2: Principe du cuivrage électrolytique

Lors d'une électrolyse, les électrons sont forcés de circuler en sens inverse du sens naturel dans une pile grâce à un générateur relié entre 2 électrodes. L'électrolyse permet, sous l'effet d'un courant électrique imposé, de produire un métal à partir d'une solution aqueuse contenant le cation métallique correspondant. Il est essentiel que la solution ne contienne qu'un seul type de cation métallique pour que le métal produit soit pur. Plus la concentration en ions est élevée, plus le dépôt sera efficace.

L'électrolyse permet de déposer une fine couche d'un métal sur un autre (électrodéposition ou placage) dans un but de protection ou d'ordre esthétique. Ainsi, un métal peu esthétique mais bon marché peut servir à faire des objets qui sont ensuite recouverts d'une fine couche d'or, d'argent, de chrome. Un métal oxydable peut, de la même manière, être recouvert d'un métal non oxydable protecteur : par exemple, recouvrir une plaque en étain d'une fine couche d'or. La pièce à protéger constitue la cathode; l'anode est dite soluble : elle est constituée de cuivre pur à 99,9%. L'électrolyse est une solution aqueuse à base de chlorure de cuivre ou de sulfate de cuivre en présence d'un électrolyte support qui favorise la conduction électrique (chlorure d'ammonium ou chlorure de potassium par exemple) qui ainsi améliore la qualité du dépôt. Le cuivre déposé à la cathode lors du dépôt (par réduction des ions cuivre) est régénéré à l'anode par oxydation du cuivre. Une électrolyse est une réaction endo-énergétique (elle consomme de l'énergie) au cours de laquelle l'énergie électrique reçue provoque des réactions d'oxydoréductions inverses aux réactions spontanées.

## 1 Réalisation du montage



### Protocole expérimental

- Décaper la pièce à cuivrer au papier abrasif de façon à ôter la rouille ou un éventuel étamage (dépôt de métal protecteur).
- Peser le fil d'étain à l'aide d'une balance de précision.
- Placer le bécher sur l'agitateur magnétique et placer le turbulent au fond,
- Fixer le fil d'étain au centre et verticalement dans la cuve à électrolyse tout en assurant la conduction du courant électrique (on pourra le torsader). Attention, ce dernier doit permettre au turbulent de tourner au fond du bécher.
- Réaliser le montage série ci-contre : pièce à traiter + générateur + ampèremètre sur le calibre 10 A + plaques de cuivre en parallèle. On ne placera pas de résistance. ⚠ Laisser le générateur éteint !
- Fixer les deux plaques de cuivre sur les bords du bécher avec les pinces en bois; suspendre la pièce à traiter à l'aide du support.
- Rajouter en dernier un voltmètre (calibre 20 V, à adapter plus tard si besoin) en dérivation entre entre les plaques, tel que représenté ci-contre.
- Remplir le bécher de 60 mL environ de solution électrolytique, c'est-à-dire la solution aqueuse de sulfate de cuivre ( $\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ).

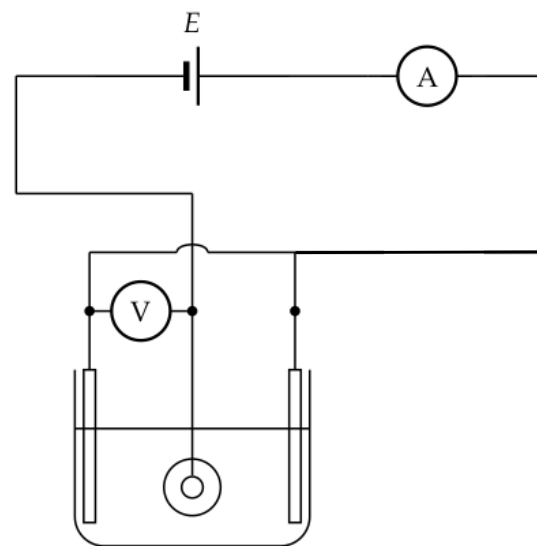


Figure 1: Circuit électrique pour le cuivrage.

- Réaliser le protocole expérimental ci-dessus.

### Appel 1

Appeler le professeur pour vérification du circuit.

**Solution:** On mesure une masse du fil d'étain de 8,50 g avant cuivrage.

Réalisation du dépôt



### Protocole expérimental

- Mettre en marche l'agitation.
- Simultanément, mettre en marche le chronomètre et allumer le générateur. Vérifier que l'intensité dans le circuit est de 0,40 A (la réajuster éventuellement grâce au bouton de réglage de l'intensité du générateur).
- Laisser l'électrolyse se dérouler pendant la durée  $\Delta t = 15 \text{ min}$ . Répondre aux questions ci-dessous en attendant.
- Sortir le fil d'étain et le sécher au sèche-cheveux (5 minutes environ).
- Mesurer sa nouvelle masse, notée  $m'$  (quand le fil d'étain a refroidi).

## 2 Exploitation

- Schématiser le montage, le légendé et indiquer le sens conventionnel du courant puis indiquer le sens de déplacement des électrons libres.

**Solution:** On mesure la nouvelle masse  $m' = 8,62 \text{ g}$ .



Figure 2: Résultat final du cuivrage du fil d'étain.

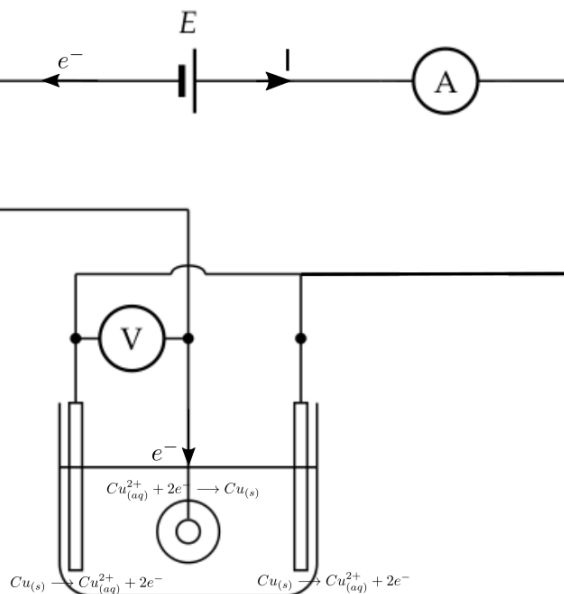


Figure 3: Dépôt d'étain par électrolyse.

3. Écrire la demi-équation ayant lieu à l'électrode de cuivre. S'agit-il d'une oxydation ou d'une réduction ? La lame de cuivre du montage est-elle l'anode ou la cathode ?

**Solution:** À l'électrode de cuivre:  $\text{Cu}_{(s)} \longrightarrow \text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2e^{-}$ .  
L'électrode de cuivre joue le rôle d'anode car elle est le siège d'une réaction d'oxydation.

4. Écrire la demi-équation ayant lieu au niveau du fil d'étain. S'agit-il d'une oxydation ou d'une réduction ? Le fil d'étain du montage est-il l'anode ou la cathode ?

**Solution:** À l'électrode d'étain:  $\text{Cu}^{2+}_{(aq)} + 2e^{-} \longrightarrow \text{Cu}_{(s)}$ .  
L'électrode d'étain joue le rôle de cathode car il est le siège d'une réaction de réduction.

5. Le montage est qualifié d'anode double en cuivre. Pourquoi ? Quel est son intérêt ?

**Solution:** L'intérêt de l'anode double en cuivre est d'obtenir un dépôt plus homogène sur la pièce à protéger.

6. La concentration en ions cuivre (II) varie-t-elle au cours du cuivrage ?

**Solution:** La concentration en ions cuivre ne change pas pendant la transformation car il se forme autant d'ions  $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$  à l'anode en cuivre qu'il en est consommé à la cathode en étain.

7. Montrer que la masse de cuivre  $m(\text{Cu})$  déposée est liée à l'intensité  $I$  du courant et à la durée  $\Delta t$  de l'électrolyse par la formule :

$$m(\text{Cu}) = \frac{I \cdot \Delta t \cdot M(\text{Cu})}{2\mathcal{F}} \quad (1)$$

**Solution:** D'après la demi-équation électronique:



Pour chaque mole d'ions  $\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$ , il faut deux moles d'électrons:

$$n(e^{-}) = 2 \times n(\text{Cu}^{2+}_{(aq)}) \quad (2)$$

Or la charge totale échangée est

$$Q = I \times \Delta t$$

$$n(e^-) \times N_A \times e = I \times \Delta t$$

$$2 \times n(\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}) \times \mathcal{F} = I \times \Delta t$$

$$2 \times \frac{m(\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})})}{M(\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})})} \times \mathcal{F} = I \times \Delta t$$

$$m(\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})}) = \frac{I \times \Delta t \times M(\text{Cu}^{2+}_{(\text{aq})})}{2\mathcal{F}}$$

### Données:

- $1\mathcal{F} \approx 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;
- $M(\text{Cu}) = 63,55 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

8. En déduire la masse théorique  $m_{th}$  de cuivre qui doit s'être déposée sur la pièce. Comparer à la masse mesurée et conclure.

### Solution:

$$m(\text{Cu}) = \frac{I \cdot \Delta t \cdot M(\text{Cu})}{2\mathcal{F}} = \frac{0,40 \text{ A} \cdot 15 \text{ min} \times 60 \text{ s} \cdot 63,55 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{2 \times 96500 \text{ C} \cdot \text{mol}^{-1}} \approx 0,12 \text{ g} \quad (3)$$

On a  $m' = m_{th}$ , ce qui semble peu plausible. Ceci peut être due:

- Plaques insuffisamment séchées,
- Incertitude des pesées (précision de la balance),
- L'intensité du courant n'a pas été rigoureusement maintenue à une valeur constante (supérieure à la valeur théorique).

Si une différence est observée, celle-ci peut être due:

- Plaques insuffisamment séchées,
- Perte lors du séchage à cause d'une mauvaise adhérence,
- Incertitude des pesées (précision de la balance),
- Réactions parasite (à l'origine notamment du dégagement gazeux observé),
- L'intensité du courant n'a pas été rigoureusement maintenue à une valeur constante.

### Document 3: Rendement faradique

On définit le rendement faradique comme le rapport de la masse réelle de produit formé sur la masse théorique que l'on pourrait produire en absence de réaction parasite:

$$\eta_f = \frac{m_{réelle}}{m_{th}} \quad (4)$$

9. Calculer la valeur du rendement faradique de l'électrolyse. Conclure sur cette valeur.

**Solution:**

$$\eta_f = \frac{m_{réelle}}{m_{th}} = \frac{8,62 \text{ g} - 8,50 \text{ g}}{0,12 \text{ g}} = 100\% \quad (5)$$

Cette valeur est peu plausible, un rendement de 100% n'étant possible qu'en théorie.

10. Expliquer pourquoi on dit que la couche de cuivre protège l'étain contre la corrosion.

**Solution:** Le cuivre n'est pas un métal inoxydable, mais son oxyde ( $\text{CuO}$ ) a la propriété d'être imperméable à l'air. Une fois oxydé en surface, il protégera donc les couches internes de cuivre et bien entendu l'étain recouvert.