## Exercice 2 : La dépollution par les plantes pour extraire du nickel (5 points)

La restauration de la qualité des sols et des eaux grâce aux végétaux, notamment dans les anciens sites industriels, devient une alternative sérieuse à la production de nickel par extraction de minerais. Une nouvelle filière a ainsi vu le jour. Elle récupère des métaux biosourcés comme le nickel grâce à des plantes « hyperaccumulatrices » comme *Phyllanthus rufuschaneyi* capables d'absorber, accumuler et stocker des quantités importantes de nickel.



Source : *the university of Queensland*

Cet exercice traite de la photosynthèse dans une plante, puis de l'extraction du nickel obtenu grâce aux plantes hyperaccumulatrices ainsi que de sa purification par électrolyse, et enfin de son utilisation dans les batteries de trottinettes électriques.

### 1. Photosynthèse dans la plante

Lors de la photosynthèse, les plantes vertes synthétisent des matières organiques. Grâce à l'énergie lumineuse, elles transforment le dioxyde de carbone de l'air et l'eau puisée par le système racinaire, en glucose $C_6H_{12}O_{6(aq)}$ et en dioxygène.

**Données :** couples oxydant-réducteur : $O_2(g)$ / $H_2O(\ell)$ ; $CO_2(g)$ / $C_6H_{12}O_6(aq)$

**Q.1.** Écrire les demi-équations électroniques associées aux couples oxydant-réducteur mis en jeu lors de la photosynthèse.

**Q.2.** En déduire l'équation de la réaction modélisant la transformation ayant lieu lors de la photosynthèse.

**Q.3.** Nommer la forme d'énergie produite lors de la photosynthèse.

### 2. Extraction et purification du nickel Ni par électrolyse

Après la récolte, les plantes sont calcinées et broyées. Le nickel est alors extrait des cendres obtenues puis purifié. Le pourcentage en masse de nickel peut atteindre 12,7 % d'une plante séchée de *Phyllanthus rufuschaneyi*.

Sur un terrain de 100 $m^2$, jusqu'à 1,0 kg de plante séchée de *Phyllanthus rufuschaneyi* peut être récolté.

**Q.4.** Déterminer la masse maximale de nickel récupérée sur un terrain de 100 $m^2$.

Pour récupérer le nickel solide, on dissout les cendres issues des plantes séchées dans l'eau et on obtient une solution aqueuse qui contient des ions $Ni^{2+}(aq)$.

On effectue une électrolyse permettant de déposer le nickel sur une électrode afin d'obtenir du nickel de grande pureté.

Pour ce faire, la cuve à électrolyse contient une solution aqueuse acidifiée contenant les ions nickel $Ni^{2+}(aq)$ et deux électrodes inattaquables. L'une est en titane et l'autre en carbone.

**Données :**

- Charge électrique élémentaire : $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C ;
- Constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol$^{-1}$ ;
- Constante de Faraday : $F = N_A \times e = 96\,500$ C·mol$^{-1}$ ;
- Masse molaire atomique du nickel (Ni) : $M(\text{Ni}) = 58{,}7$ g·mol$^{-1}$ ;
- Relation entre la capacité $Q$, l'intensité $I$ et la durée d'utilisation $\Delta t$ d'une pile $Q = I \cdot \Delta t$.

La cuve à électrolyse est représentée dans le montage suivant :

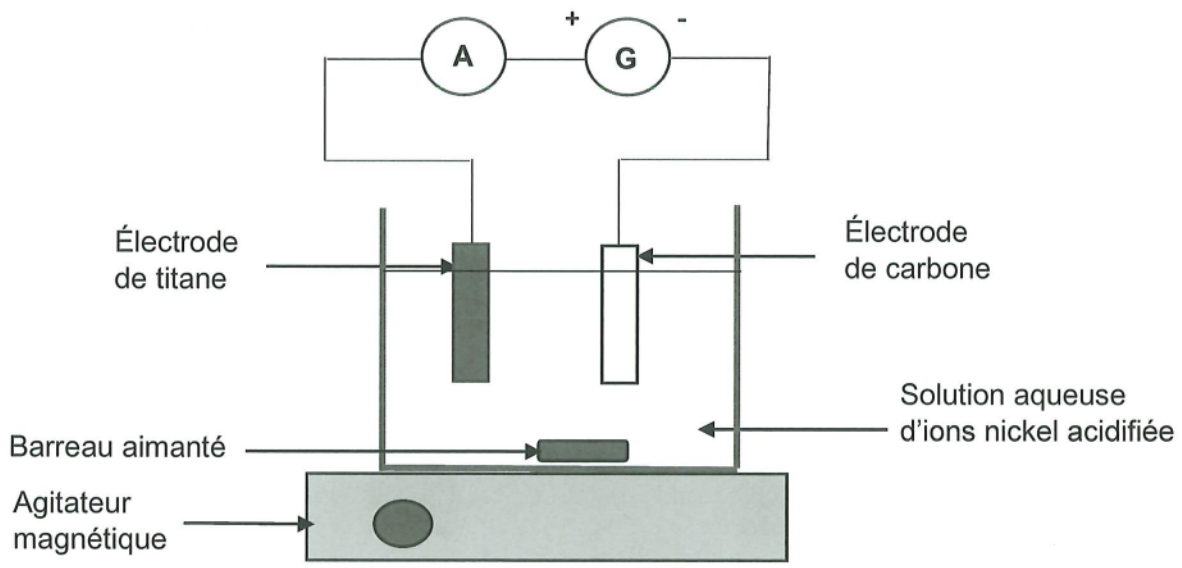



Figure 1 – Schéma du montage

Sous l'effet d'un courant électrique, les ions nickel $Ni^{2+}(aq)$ se transforment en nickel métallique à l'une des électrodes, selon la réaction électrochimique d'équation : $Ni^{2+}(aq) + 2e^- \rightarrow Ni(s)$

**Q.5.** Indiquer s'il s'agit d'une réaction d'oxydation ou de réduction.

**Q.6.** Reproduire un schéma simplifié du montage de la figure 1 et indiquer sur ce schéma :

- le sens de déplacement des électrons ;
- le sens conventionnel du courant électrique ;
- le dépôt de nickel.

L'électrolyseur est parcouru par un courant électrique constant d'intensité $I$ = 2,0 A. On supposera qu'il n'y a pas de réactions parasites aux électrodes.

**Q.7.** Déterminer la durée de l'électrolyse permettant de purifier 1,3 $\times 10^2$ g de nickel.

**Q.8.** Commenter la durée de l'électrolyse. Proposer une solution pour réduire cette durée.

Ce procédé permet d'obtenir du nickel pur à 99,9 % adapté aux applications industrielles.

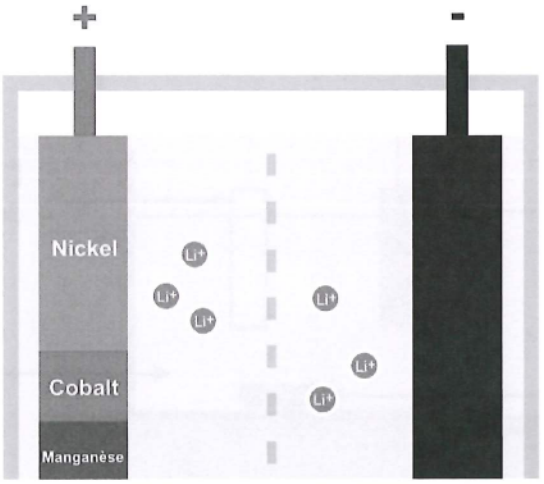
### 3. Utilisation dans les batteries de trottinettes électriques

Les batteries utilisées dans les trottinettes électriques sont en majorité des batteries lithium-ion type NMC (Nickel-Manganèse-Cobalt) : elles présentent un bon équilibre entre la performance et le coût.

On s'intéressera à une batterie Li-NMC 622 dont une électrode contient 60 % de nickel, 20 % de manganèse et 20 % de cobalt en masse.

**Données :**

- Schéma d'une cellule de la batterie :




- Masse totale de l'électrode contenant du nickel $m_{\text{électrode}}$ = 0,53 kg ;
- 1 hectare (ha) : 1 ha = 1,0$\times 10^4$ m$^2$.

On estime les pertes à 45 % en nickel, suite aux trois étapes de l'extraction à la purification.

**Q.9.** Calculer, en s'appuyant sur le résultat obtenu à la question Q4, le nombre de batteries qu'il serait possible de produire avec le nickel extrait à partir des plantes séchées, en supposant de pouvoir effectuer une récolte sur 1 millier d'hectares. Commenter.

*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.*