EXERCICE III – UN TRÉSOR DANS NOS ÉGOUTS ? (5points)

Les eaux usées sont traitées dans les stations d'épuration et les boues d'épuration recueillies en sortie de stations contiennent des métaux précieux. Les boues d'épuration produites en une année par une ville d'un million d'habitants contiendraient pour 13 millions de dollars de métaux ! Des chercheurs proposent un procédé d'extraction des métaux précieux tels que l'or.
L'objectif de cet exercice est d'en étudier une des étapes, celle de la purification de l'or par électrolyse.

Système d'épuration collectif

L'Équivalent-habitant (Eh) est une unité de mesure permettant d'évaluer la capacité d'une station d'épuration. Un Équivalent-habitant génère par jour un rejet moyen de 150 L d'eau et d'environ 60 g de boue. Actuellement la France compte près de 20 000 stations d'épuration, ce qui correspond à une capacité d'environ 79 millions d'Équivalents-habitants (Eh).

D'après le site du ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie

Affinage électrolytique à anode soluble de l'or

Les métaux précieux, comme l'or, récupérés dans les boues d'épuration contiennent des impuretés. L'affinage consiste à purifier ce métal par électrolyse. Par cette technique, on peut obtenir de l'or à 99,99% de pureté (or pur) selon un procédé dit à « anode soluble » (figure 1).

L'électrolyte est une solution qui contient notamment des ions or Au^{3+}. L'anode est constituée de l'or à purifier, l'or pur se dépose sur la cathode elle-même en or pur. L'électrolyse s'effectue sous une tension de 0,5 à 0,7 V, avec une valeur de densité de courant J de l'ordre de 600 $A.m^{-2}$.

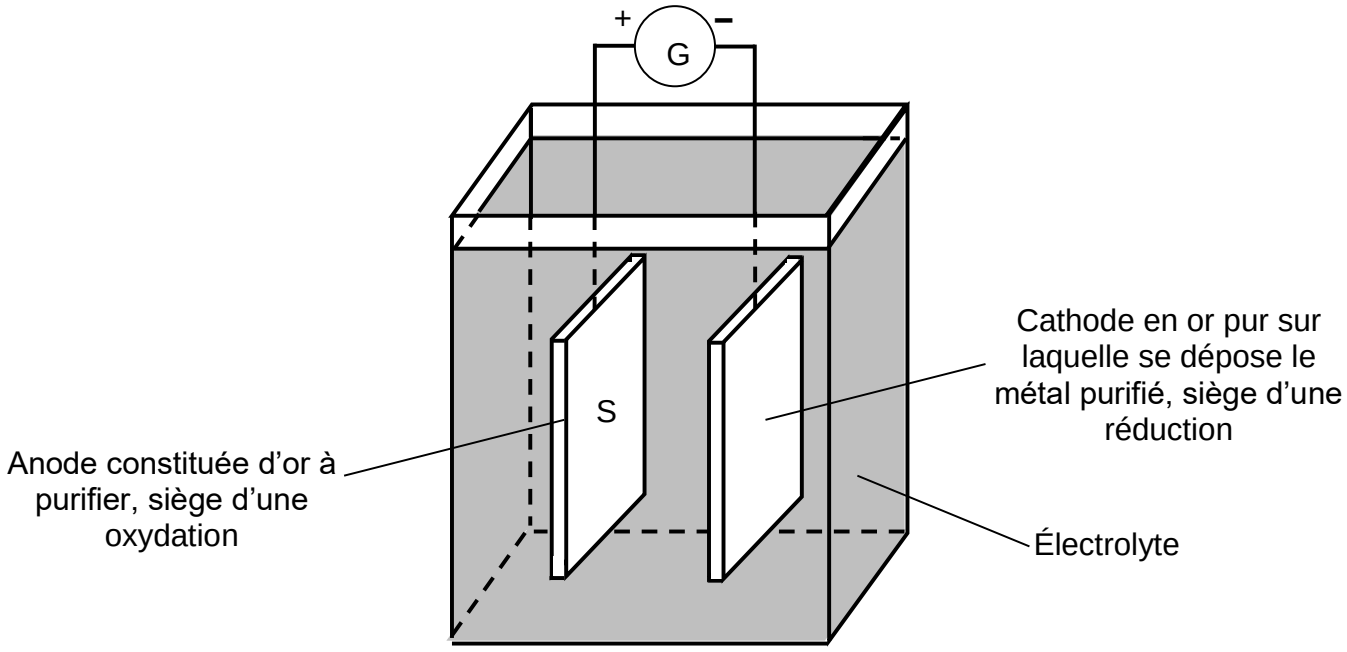


Figure 1. Schéma simplifié d'un dispositif d'affinage électrolytique par anode soluble.

D'après techniques de l'Ingénieur, traité des Matériaux métalliques & Encyclopédie de sécurité et de santé au travail & Universalis 2015

On admettra que seules les surfaces des électrodes, en face l'une de l'autre, sont actives et que l'épaisseur de l'anode est négligeable devant les dimensions de sa surface.

Données :

- masse molaire atomique de l'or : $M(Au) = 197\ g.mol^{-1}$;
- constante de Faraday (produit de la charge élémentaire par la constante d'Avogadro) : $F = 9{,}65\times10^{4}\ C.mol^{-1}$;
- couple rédox : $Au^{3+}(aq)$ / Au(s) ;
- une tonne de boues d'épuration contient 0,3 g d'or à purifier ;
- l'intensité I d'un courant électrique peut s'exprimer en fonction de la charge électrique Q échangée au cours de la réaction pendant une durée Δt :

$$I = \frac{Q}{\Delta t}$$

où I s'exprime en ampère (A), Q en coulomb (C) et Δt en seconde (s) ;

- la densité de courant J est donnée par la relation : $J = \frac{I}{S}$, avec I intensité du courant électrique traversant la surface active S.

Questions préliminaires

1. Écrire l'équation de la réaction se produisant à l'anode de l'électrolyseur et celle se produisant à la cathode.
2. Estimer la masse de boue moyenne produite par un Équivalent-habitant en France en un an.
3. Établir la relation donnant la quantité de matière d'électrons échangés pendant la durée Δt en fonction de l'intensité du courant I, de la constante de Faraday F et de Δt.

Problème

On fait l'hypothèse que tout l'or à purifier extrait des boues en un an par le système d'épuration collectif français a été coulé sous la forme d'une unique anode ayant la forme d'une plaque rectangulaire. Cette plaque a été transmise à une entreprise de métallurgie pour affinage électrolytique.
Si l'or à purifier renferme 98,5% d'or pur et si l'affinage complet de l'anode nécessite une durée d'environ deux semaines, quel est l'ordre de grandeur de la surface de cette plaque ?

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.