

DS n° 6 (rattrapage) Corrosion

La corrosion est un phénomène bien connu des marins. Les bateaux dont la coque est en acier en sont victimes et doivent en être protégés. Une méthode de protection consiste à poser à la surface de la coque des blocs de métal que l'on appelle « anodes sacrificielles ».

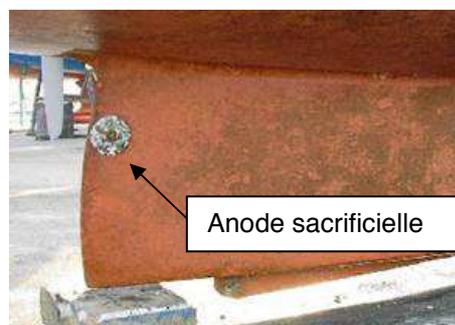


Image provenant du site www.hisse-et-oh.com

L'objectif de l'exercice est d'évaluer, à l'aide des documents ci-après, la masse de l'anode sacrificielle nécessaire à la protection d'un bateau.

Document 1. Le phénomène de corrosion

La corrosion d'un métal M est sa transformation à l'état de cation métallique M^{k+} par réaction avec le dioxygène dissous dans l'eau.

Le métal perd un ou plusieurs électrons, il est oxydé selon la demi-équation rédox :



Une mole de métal oxydé produit k moles d'électrons.

Document 2. Potentiels standard de différents métaux

Pour prévoir les réactions d'oxydoréduction, on peut s'appuyer en première approche sur l'échelle suivante, appelée échelle des potentiels standard. Tous les couples oxydant/réducteur peuvent être classés par leur potentiel standard.

Échelle des potentiels standard de quelques couples à 20°C :

Élément	Couple	Potentiel standard (V)
Plomb	Pb^{2+} / Pb	-0,126
Étain	Sn^{2+} / Sn	-0,138
Nickel	Ni^{2+} / Ni	-0,257
Fer	Fe^{2+} / Fe	-0,447
Zinc	Zn^{2+} / Zn	-0,760
Aluminium	Al^{3+} / Al	-1,67
Magnésium	Mg^{2+} / Mg	-2,37

Lorsque deux métaux sont en contact et peuvent être oxydés par le dioxygène, c'est celui dont le couple a le potentiel standard le plus faible qui s'oxyde : il constitue l'anode et protège l'autre métal qui ne réagira pas.

Document 3. Protection d'un bateau avec coque en acier

Lors de l'oxydation de l'anode sacrificielle, il s'établit un courant de protection au niveau de la surface S de la coque immergée. Sa densité de courant moyenne, intensité de courant par unité de surface, vaut :
 $j = 0,1 \text{ A.m}^{-2}$.

Ce courant a son origine dans la charge électrique échangée lors de la réaction d'oxydo-réduction. 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, dans le système international, I s'exprime en ampère (A), Q en coulomb (C) et Δt en seconde (s).

Résolution de problème

Questions préalables

- Un bateau possède une coque en acier donc composée essentiellement de fer. Écrire la demi-équation de l'oxydation du fer métallique en considérant uniquement les couples du **document 2**.
- Citer en justifiant votre réponse, les métaux du tableau du **document 2** susceptibles de protéger la coque en acier d'un bateau. Pourquoi l'anode utilisée est-elle qualifiée de « sacrificielle » ?

Problème

On désire protéger pendant une année la coque en acier d'un bateau par une anode sacrificielle en zinc. La surface de coque immergée dans l'eau de mer vaut $S = 40 \text{ m}^2$. Une anode sacrificielle sur une coque de bateau doit être remplacée quand elle a perdu 50 % de sa masse.

Quelle est la masse totale d'anode sacrificielle en zinc qu'on doit répartir sur la coque pour la protéger pendant une année ? Exercer un regard critique sur la valeur trouvée.

Données :

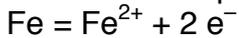
- Masse molaire du zinc : $M = 65,4 \text{ g.mol}^{-1}$
- Une mole d'électrons possède une charge électrique $q = 9,65 \times 10^4 \text{ C}$

Remarque :

L'analyse des données, la démarche suivie et l'analyse critique du résultat sont évaluées et nécessitent d'être correctement présentées.

Questions préalables

- Demi-équation d'oxydation du fer métallique :



- Métaux susceptibles de protéger la coque en acier :
Les métaux dont le potentiel standard est inférieur à celui du fer conviennent.
Il s'agit du zinc, de l'aluminium et du magnésium.
Ces métaux vont être oxydés à la place du fer.
Le métal protecteur est rongé, les atomes métalliques sont transformés en ions métalliques qui sont dissous.

Problème :

Déterminons d'abord la masse de zinc consommée en une année.

Comme $n_{\text{Zn}} = \frac{m_{\text{Zn}}}{M_{\text{Zn}}}$ alors $m_{\text{Zn}} = n_{\text{Zn}} \cdot M_{\text{Zn}}$

Équation d'oxydation du zinc de l'anode : $\text{Zn} = \text{Zn}^{2+} + 2 e^{-}$

D'après cette équation $n_{\text{Zn}} = \frac{n(e^{-})}{2}$, donc $m_{\text{Zn}} = \frac{n(e^{-})}{2} \cdot M_{\text{Zn}}$

La charge électrique échangée au cours de la réaction est : $Q = n(e^{-}) \cdot q$ où $n(e^{-})$ correspond à la quantité de matière d'électrons libérée par l'oxydation du zinc.

Ainsi $n(e^{-}) = \frac{Q}{q}$, alors $m_{\text{Zn}} = \frac{Q}{2 \cdot q} \cdot M_{\text{Zn}}$

D'après $I = \frac{Q}{\Delta t}$, on a $Q = I \cdot \Delta t$.

Densité de courant : $j = 0,1 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$

Au regard des unités, on peut penser que $j = \frac{I}{S}$ donc $I = j \cdot S$ ainsi **$Q = j \cdot S \cdot \Delta t$** Expression (2)

Enfinement

$$m_{\text{Zn}} = \frac{j \cdot S \cdot \Delta t}{2 \cdot q} \cdot M_{\text{Zn}}$$

$$m_{\text{Zn}} = \frac{0,1 \times 40 \times (365 \times 24 \times 3600)}{2 \times 9,65 \times 10^4} \times 65,4 = 4,27 \times 10^4 \text{ g}$$

Soit environ 43 kg de zinc consommé par an.

L'anode sacrificielle doit être remplacée lorsqu'elle a perdu 50 % de sa masse.

La masse totale de zinc à répartir doit être égale au double de la masse consommée.

$$m_{\text{totale}} = 2 \cdot m_{\text{Zn}} = 2 \times \frac{0,1 \times 40 \times (365 \times 24 \times 3600)}{2 \times 9,65 \times 10^4} \times 65,4$$

$$m_{\text{totale}} = 8,5 \times 10^4 \text{ g} = 85 \times 10^3 \text{ g} = 85 \text{ kg}.$$

On doit garder un seul chiffre significatif (cf. $j = 0,1 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$) donc $m_{\text{totale}} = \mathbf{9 \times 10^1 \text{ kg}}$.

Il faut donc répartir $9 \times 10^1 \text{ kg}$ de zinc sur la surface de la coque.

Ce résultat semble élevé, la photo montre une anode sacrificielle qui semble assez petite. Il y a sans doute plusieurs blocs de zinc répartis sur la coque.

Grille DS6

Appropriation

- $\text{Fe} = \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$
- Les métaux de potentiel standard *inférieur* au fer conviennent
- Donc : zinc, alu et magnésium
- Sacrificiels : ces métaux vont être rongés à la place du fer

Réalisation

- Des calculs sont réalisés correctement
- Avec des chiffres significatifs corrects
- Des unités sont employées correctement
- Avec des formules littérales

Appropriation

- Le résultat est analysé, quelqu'il soit
- Le résultat est analysé, quelqu'il soit
- Il est critiqué, comparé (par exemple à la masse du bateau)
- Des sources d'erreurs sont proposées si le résultat est aberrant

Analyse (et résolution proprement dite !)

- $I = j \cdot S$ donc $Q = I \cdot \Delta t = j \cdot S \cdot \Delta t$
- $Q = n(\text{e}^-) \cdot q$
- $n(\text{Zn}) = n(\text{e}^-)/2$ à partir de la demi-équation
- $m(\text{Zn}) = n(\text{Zn}) \cdot M(\text{Zn})$ et finalement $m(\text{Zn}) = j \cdot S \cdot \Delta t / 2q$ ou calculs peu à peu
- $m(\text{Zn}) = 0,1 \times 40 \times 365 \times 24 \times 3600 / 2 / 9,65 \times 10^4 = 4,27 \times 10^4 \text{ g} = 4 \times 10^1 \text{ kg}$
- Or 50% donc il faut 80 kg

Total .../20

Note au demi-point près .../5