

## CHAP 03

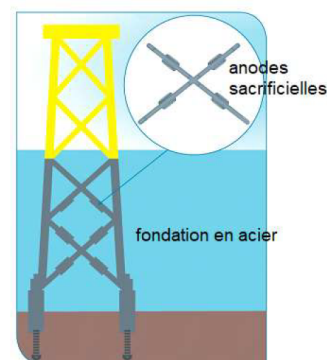
# SENS D'EVOLUTION SPONTANEE D'UN SYSTEME CHIMIQUE

Sujet : Protection des fondations en acier des éoliennes en mer – Amérique du Nord – Juin 2021

Un projet de parc éolien en mer, celui des îles d'Yeu et de Noirmoutier, prévoit l'installation de soixante-deux éoliennes.

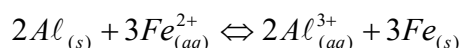
La méthode de protection contre la corrosion des structures immergées de ces éoliennes a été débattue.

La « protection cathodique » envisagée initialement consiste à placer des anodes dites « sacrificielles », composées essentiellement d'aluminium, sur les fondations en acier (95% de fer) des éoliennes. En effet, la réaction des anodes sacrificielles avec le dioxygène dissous dans l'eau permet par transformation électrochimique de protéger le fer de la corrosion.



### 1. Notion de réaction totale et limitée : Protection du fer par l'aluminium.

On souhaite étudier la transformation chimique modélisée par l'équation (1) :



dont la constante d'équilibre associée est :  $K = 10^{166}$ .

**Donnée:** Masses molaires :  $M(Fe) = 55,6 \text{ g.mol}^{-1}$  et  $M(Al) = 27,0 \text{ g.mol}^{-1}$

- Écrire les demi-équations électroniques qui conduisent à cette équation. Faire apparaître les couples oxydant/réducteur. Attribuer les termes oxydation et de réduction.
- Pour étudier expérimentalement des transformations mettant en jeu les espèces chimiques  $Fe_{(aq)}^{2+}$ ,  $Al_{(s)}$ ,  $Al_{(aq)}^{3+}$ ,  $Fe_{(s)}$  on dispose à  $t = 0$  dans un grand béccher:
  - Un volume  $V_1 = 50,0 \text{ mL}$  d'une solution aqueuse de chlorure de fer II ( $Fe_{(aq)}^{2+} + 2Cl_{(aq)}^{-}$ ) contenant des ions  $Fe_{(aq)}^{2+}$  de concentration  $1,00 \times 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$
  - Un volume  $V_2 = 50,0 \text{ mL}$  d'une solution aqueuse de sulfate d'aluminium ( $2Al_{(aq)}^{3+} + 3SO_4^{2-}_{(aq)}$ ) contenant des ions  $Al_{(aq)}^{3+}$  de concentration  $5,00 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$

On y plonge :

- une plaque de fer de masse  $m = 556 \text{ mg}$
- une plaque d'aluminium de masse  $m = 270 \text{ mg}$ ,

puis on agite.

Calculer à l'état initial, la valeur de la concentration en quantité de matière des ions  $Al_{(aq)}^{3+}$  et celle des ions  $Fe_{(aq)}^{2+}$

- Introduire la notion de quotient de réaction.
- Donner l'expression du quotient de réaction initial. Calculer sa valeur.
- Donner l'expression de ce quotient à l'équilibre K. En déduire si la réaction est totale ou limitée ?
- Dans quel sens le système va-t-il évoluer ? La transformation est-elle forcée ou spontanée ? Justifier la réponse.
- Une analyse du système permet d'obtenir des histogrammes qui donnent les concentrations en ions fer (II) et en ions aluminium (III) pour différents états du système. Découper et coller les trois histogrammes représentés sur les figures 1 à 3 correspondent chacun à un état du système lors de son évolution. Quel histogramme correspond à l'état initial ?
- Sans calcul, les deux états  $E_1$  et  $E_3$  peuvent-ils correspondre à des états intermédiaires du système entre l'état initial et l'état final ? Justifier.
- Pour confirmer la réponse à la question précédente, calculer le quotient de réaction correspondant à l'état intermédiaire ( $E_1$  ou  $E_3$ ).
- Construire le tableau descriptif de l'évolution du système. Déterminer les quantités de matière à l'état final, sachant que l'avancement de la transformation à l'état final est égal à  $x_f = 1,66 \times 10^{-3} \text{ mol}$ .
- Compléter l'historgramme donnant les concentrations en ions fer (II) et en ions aluminium (III) dans l'état final (figure 4 de l'annexe)

## 2. Masse d'aluminium nécessaire à la protection de la structure métallique d'une éolienne.

Le dioxygène dissous dans l'eau réagit préférentiellement avec l'aluminium de l'anode sacrificielle plutôt qu'avec le fer de la structure immergée de l'éolienne.

On souhaite évaluer la masse d'aluminium nécessaire à la protection de la structure d'une éolienne, c'est-à-dire à la protection cathodique.

### Donnée:

- 1<sup>er</sup> Couple oxydant/réducteur mis en jeu  $Al_{(aq)}^{3+} / Al_s$
- Demi-équation du 2<sup>nd</sup> couples mis en jeu  $O_{2(aq)} + 2H_2O + 4e^- \leftrightarrow 4HO_{(aq)}^-$

12. Écrire la demi-équation oxydoréduction du couple  $Al_{(aq)}^{3+} / Al_s$

13. Identifier le second couple oxydant/réducteur.

14. Ecrire l'équation de la réaction modélisant la transformation chimique de l'aluminium par le dioxygène dissous.  
Identifier l'oxydation et la réduction.

15. La quantité d'électron échangée peut se calculer par la relation  $n(e^-) = \frac{I \times \Delta t}{F}$  avec :

- L'intensité I du courant qui circule
- pendant un intervalle de temps  $\Delta t$
- F la constante dite de Faraday  $F = 96,5 \times 10^3 \text{ C.mol}^{-1}$ .

L'étude théorique des transferts d'électrons entre l'anode sacrificielle en aluminium et la structure d'une éolienne, montre qu'une protection efficace correspond à un courant électrique d'intensité de l'ordre de 400 A.

En appliquant la relation ci-dessus, calculer la quantité de matière d'électrons échangée pendant une durée de 25 ans.

16. En vous aidant de la demi-équation mettant en jeu le couple  $Al_{(aq)}^{3+} / Al_s$ , calculer la masse d'aluminium nécessaire à la « protection cathodique » pendant une durée de 25 ans.

17. Finalement, après concertation, le constructeur du parc lui a préféré un système de protection dit « par courant imposé » qui permet d'éviter le rejet de métaux dans l'environnement.

Citer au moins un argument expliquant que le constructeur ait finalement renoncé à la protection par anode sacrificielle.