

CORROSION ET PROTECTION DU FER

CONTEXTE DU SUJET

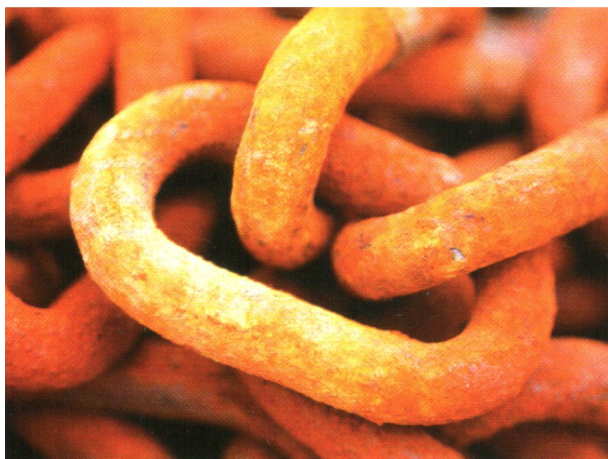
L'oxydation du fer représente un coût colossal pour la société. On estime que 2% du produit mondial brut est dépensé dans cette lutte inégale de l'Homme face à la nature : un quart de la production d'acier disparaît en effet chaque année sous forme de rouille. À travers l'étude des origines du phénomène, on se propose ici d'étudier un moyen d'éviter la corrosion.

Comment des pièces en zinc peuvent-elles protéger
les coques des bateaux contre la corrosion ?

DOCUMENTS MIS À DISPOSITION

DOCUMENT I : CORROSION DES MÉTAUX ET PROTECTION

Les objets en acier, alliage dont le principal composant est le fer, finissent par rouiller lorsqu'ils sont exposés à l'air (voir ci-dessous). C'est le cas, par exemple, des carrosseries de voitures lorsqu'elles ne sont pas protégées. Le responsable de ce phénomène est le dioxygène de l'air : il réagit en surface avec le fer, créant une couche de divers oxydes de fer (voir ci-contre). Cette couche poreuse a tendance à se détacher de sa surface.

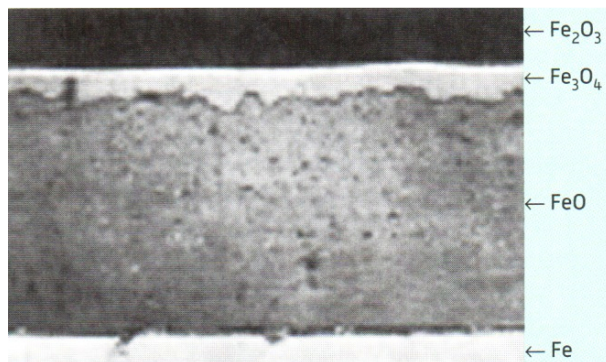


Chaîne en acier corrodée :
le métal est recouvert de couches d'oxydes de fer

La situation est bien différente pour le cuivre, le zinc, l'aluminium ou le titane, car la couche d'oxydes formée en surface est étanche à l'eau et à l'air, et contribue ainsi à les protéger d'une oxydation en profondeur. Les métaux précieux, comme l'or ou le platine, ne sont pratiquement pas sujets à la corrosion.

Pour éviter la corrosion d'un métal et assurer sa protection contre le vieillissement, plusieurs techniques sont utilisées :

- appliquer à la surface du métal un revêtement étanche à l'air et à l'eau (comme une peinture ou un vernis) ;
- le recouvrir par un autre métal dont l'oxydation crée une couche étanche : dans les boîtes de conserve, le fer est recouvert d'étain ; les tôles d'acier des voitures sont zinguées ;
- l'utiliser sous forme d'alliage : dans l'acier inox, le fer est mélangé à du chrome et à du nickel. Il « rouille », certes, mais la couche d'oxydes formée à sa surface joue désormais le rôle de vernis étanche.



Coupe de la pellicule d'oxydes formée sur du fer pur à 700° C, observée en microscopie optique

Pour conclure, on peut donc affirmer que la corrosion est un phénomène d'oxydation des métaux qui dégrade généralement leurs propriétés mais qui, dans certains cas, assure une protection de surface.

DOCUMENT II : PROTECTION CONTRE LA CORROSION DANS LE DOMAINE NAVAL

Les coques de nombreux bateaux sont fabriquées en acier. C'est un alliage, constitué essentiellement de fer, qui est très utilisé dans le domaine naval pour sa grande résistance aux chocs.

Le fer présente pourtant un inconvénient : il se corrode, c'est-à-dire qu'il s'oxyde au contact de l'eau. À la suite de plusieurs réactions d'oxydoréduction, l'oxydation du fer forme de la rouille.

Cette réaction est à l'origine de dégâts importants sur les coques en acier des bateaux (voir ci-dessous) car la rouille, qui remplace alors le fer, est très friable, ce qui fragilise grandement les matériaux.

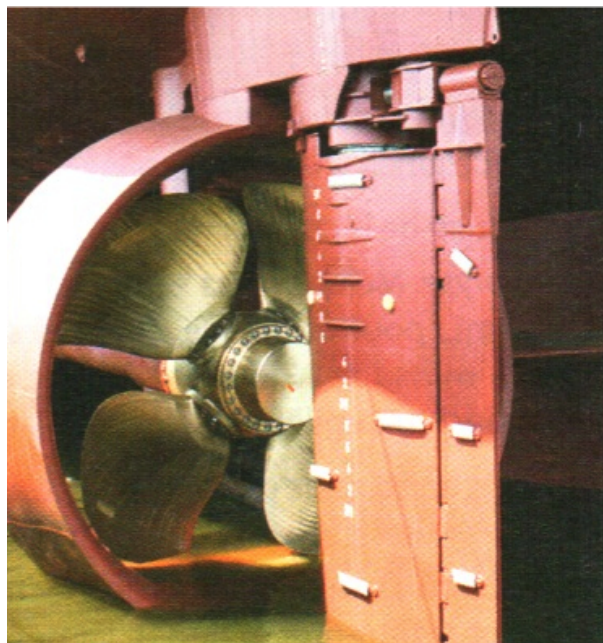
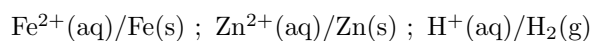


Coque d'un bateau corrodée

La réaction de corrosion est très lente en milieu neutre (impossible à observer en quelques heures) mais elle est plus rapide en milieu acide.

Pour lutter contre le phénomène de corrosion, l'industrie navale fixe sur les coques en acier des bateaux des pièces métalliques, souvent en zinc (voir ci-dessous), un métal plus réducteur que le fer.

On donne les couples rédox suivants :



*Pièces en zinc sur la coque d'un bateau
(anodes sacrificielles)*

MATÉRIEL MIS À DISPOSITION DU CANDIDAT

- tubes à essais avec bouchons
- bûchette
- cristalliseur
- fil de zinc
- paille de fer
- supports à électrode
- fils de connexion
- balance au cg ou au mg
- solution d'acide chlorhydrique de concentration $c = 1,0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$
- gants de protection
- lunettes de protection
- verrerie diverse disponible dans les meubles

1. Construction des étapes de la résolution

En vous aidant du questionnaire suivant, vous proposerez deux protocoles : le premier permettant d'observer la corrosion du fer métallique en solution aqueuse, le second permettant d'observer la protection du fer par le zinc.

- ➡ Quels sont les facteurs qui favorisent la corrosion du fer ?
- ➡ Quelle est la réaction d'oxydoréduction qui traduit la corrosion du fer métallique en solution aqueuse acide ? Quel est le gaz formé ? Quel test, rencontré en classe de 3^e, permet de l'identifier ?
- ➡ **Proposer un protocole expérimental permettant d'observer, en quelques secondes, la corrosion du fer métallique en solution aqueuse et d'identifier le gaz formé au cours de cette réaction.**
- ➡ Dans le dernier paragraphe du document II, que signifie l'expression « plus réducteur que le fer » ?
- ➡ Quelle réaction d'oxydoréduction peut se produire lorsque l'on plonge du zinc métallique dans une solution aqueuse acide ? Quels sont alors les phénomènes observables ?
- ➡ *La coque en fer d'un bateau, sur laquelle sont fixées des pièces de zinc, plonge dans l'eau de mer. Quel système électrochimique est alors formé ? Schématiser le circuit électrique équivalent. Quelle réaction se produit préférentiellement en présence de deux métaux ? Pourquoi ?*
- ➡ **Proposer un protocole expérimental permettant d'observer, en quelques secondes, le phénomène précédent.**

APPEL N°1

Appeler le professeur et lui présenter vos deux protocoles.

2. Mise en œuvre des étapes de la résolution

2.1. Première étape : observation de la corrosion en milieu aqueux

Plonger un morceau de paille de fer dans un tube à essais contenant de l'acide chlorhydrique ($H^+(aq) + Cl^-(aq)$) sur la moitié de sa hauteur. Boucher le tube quelques secondes puis réaliser le test de reconnaissance du gaz formé prévu précédemment.

- ➡ Vos observations sont-elles en accord avec vos prévisions ?

2.2. Seconde étape : protection du fer par le zinc

Pour protéger le fer métallique contre la corrosion, on utilise du zinc métallique. Dans un cristallisateur contenant de l'acide chlorhydrique ($H^+(aq) + Cl^-(aq)$), plonger le fil de zinc à l'aide d'un support à électrode.

- ➡ Quel phénomène se produit dans le cristallisateur ?

Sortir le fil de zinc, le sécher, le peser et noter sa masse m_1 . À l'aide d'un fil de connexion, relier le support du fil de zinc à un support auquel aura été fixé de la paille de fer. Plonger la paille de fer suffisamment profondément pour que le dégagement gazeux sur le fil de zinc cesse ou diminue très fortement. Laisser l'expérience se dérouler pendant environ 30 minutes. Retirer alors le fil de zinc, le sécher et le peser à nouveau. Noter sa masse m_2 .

- ➡ Quel phénomène se produit dans le cristallisateur ?

- ➡ Écrire la demi-équation qui se produit sur chacune des électrodes et préciser la nature (oxydation ou réduction) de la réaction observée.
- ➡ Comment évolue le pH dans le cristalliseur ? Comment pourrait-on confirmer cette évolution expérimentalement ?
- ➡ Préciser la polarité de chaque électrode. Quel système électrochimique est formé au cours de cette expérience ?
- ➡ *La masse de fer protégée par cette méthode s'exprime comme le produit de la perte de masse de zinc par la masse molaire du fer ($M_{\text{Fe}} = 55,85 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$), divisé par la masse molaire du zinc ($M_{\text{Zn}} = 65,41 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$). Donner l'expression littérale de la masse de fer protégée et calculer sa valeur pendant la durée de l'expérience.*

APPEL N°2

Appeler le professeur afin de lui présenter vos résultats et lui proposer une explication à vos observations.

3. Conclusion

- ➡ Quelle est la principale cause d'incertitude sur le résultat obtenu ?
- ➡ En tenant compte de la précision imposée par les mesures de masse, exprimer le résultat de votre mesure avec la même précision.
- ➡ Selon vous, un nombre important de pièces de zinc sur la coque du bateau est-il nécessaire pour une bonne protection ?
- ➡ Commenter l'expression « protection par anode sacrificielle » employée pour désigner ce type de protection.

APPEL N°3

Enregistrer votre conclusion sous la forme d'un fichier audio (logiciel Audacity) d'une durée maximale de 3 minutes.