

Retour d'expérience

La corrosion, un fléau pour les navires

La corrosion touche tous les domaines de l'industrie et n'épargne pas les installations, sites industriels, machines ou tout autre équipement de production. Mais c'est en pleine mer qu'elle apparaît encore plus tenace, et c'est bien naturel compte tenu de la présence permanente d'humidité et de sel. C'est pourquoi ce retour d'expérience de la part de Lionnel Parant, officier mécanicien et ingénieur en maintenance (MIMarEST – MNI), peut s'avérer très utile et riche en conseils et bonnes pratiques pour les responsables de maintenance industrielle.

Véritable fléau pour les navires⁽¹⁾, la corrosion provoque les mêmes dommages que l'ostéoporose pour le corps humain avec une perte de masse sur la structure, une fragilité du squelette et une réelle vulnérabilité face aux contraintes et aux chocs. Une corrosion qui n'est pas traitée à temps peut avoir des conséquences fatales pour le navire lui-même, l'équipage et, le cas échéant, les passagers et la cargaison. Il est utile de citer, pour mémoire, le naufrage du chimiquier italien *Ievoli Sun* qui a coulé⁽²⁾ au nord-ouest de la presqu'île du Cotentin à la fin du mois d'octobre 2000.

Une des causes principales fut l'état déplorable des systèmes d'obturation des dégagements d'air des ballasts par lesquels l'eau de mer est venue envahir ces ballasts. Les conséquences furent alors une perte de flottabilité et de stabilité du navire, responsable de son chavirement puis de son naufrage.

La corrosion était à l'origine des dysfonctionnements de ces systèmes d'obturation qui, au premier abord, ne semblaient pas être nécessairement une source de vulnérabilité du navire.

Ayant donc tendance à se nicher quasiment partout à bord, le capitaine et son

équipage ont alors le devoir de lutter contre la corrosion :

- en la traquant : il s'agit de la rechercher dans les moindres recoins du navire, en particulier dans les zones sensibles et vulnérables (structures, soutes, fonds,...)
- en la traitant : dès qu'une zone corrodée est repérée, elle doit être notée dans un historique (date, type et nature de la corrosion, étendue, actions entreprises,...) puis, si possible immédiatement, être stabilisée pour éviter toute propagation et aggravation
- en la détruisant : les actions correctives pour éliminer la corrosion sont à mettre en œuvre sans délai. Elles doivent ensuite être suivies d'actions préventives pour éviter qu'elle ne réapparaisse.

LA CORROSION ET L'ENVIRONNEMENT MARIN

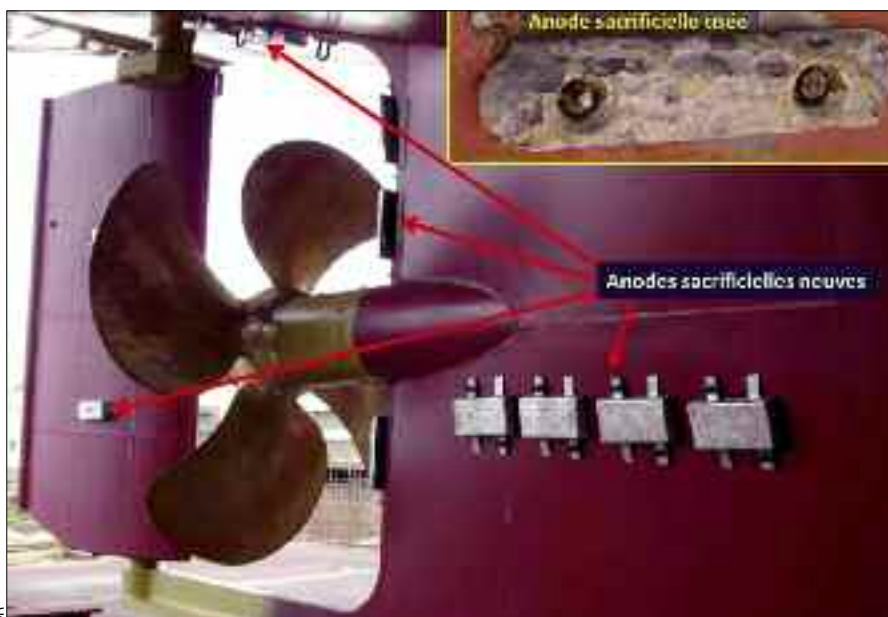
La corrosion des métaux est un processus de retour à leur état d'origine ; c'est-à-dire à l'état qu'ils avaient avant la mise en œuvre des procédés métallurgiques et notamment les opérations d'affinage qui rendent les métaux instables.

La corrosion d'un métal agit ainsi par oxydation et dégradation sous l'action de contraintes dans un milieu dit corrosif. Pour ce qui concerne la constitution des navires, les métaux utilisés sont principalement les aciers, l'aluminium, le cuivre ; le milieu corrosif considéré étant l'environnement marin : l'eau de mer et l'air salin.

Cet environnement est en effet le milieu idéal pour la création et le développement de la corrosion compte tenu des propriétés physiques et chimiques spécifiques à l'eau de mer.

(1) Pour la suite, ne seront considérés que les navires principalement constitués de métaux (aciers, alliages, aluminium,...)

(2) Sans perte humaine



Citons notamment :

- la présence de plusieurs gaz dissous ; en particulier le dioxygène qui est un des principes actifs de la corrosion
- la très bonne conductivité électrique⁽³⁾
- la teneur en sels⁽⁴⁾
- la concentration en bactéries
- le pH qui est compris entre 7,5 (en eaux chaudes) et 8,5 (en eaux froides)

On distingue deux types de corrosion : sèche et aqueuse. Celle qui préoccupe le monde maritime est la corrosion aqueuse. Cette corrosion, de nature électrochimique, est caractérisée par le déplacement d'électrons sans aucune source externe. Dans l'environnement marin on parle dans ce cas de corrosion marine.

LES TYPES DE CORROSION

Plusieurs classifications sont possibles pour lister les types de corrosion auxquels doivent faire face les navires. Dans cet article, nous proposons de scinder les types de corrosion en considérant le fluide électrolyte⁽⁵⁾ en mouvement ou immobile. À bord des navires, nous pouvons donc être amenés à faire face aux phénomènes suivants.

1) FLUIDE EN MOUVEMENT

a) Corrosion par cavitation

La cavitation se produit dans un écoulement relativement turbulent. Il s'agit de la formation de bulles consécutive à une diminution locale de la pression au dessous de celle de la vapeur saturée.

Lorsque la pression du fluide autour de ces bulles augmente au-dessus d'une valeur critique, elles implosent très rapidement tout en libérant une énergie considérable⁽⁶⁾ altérant ainsi les surfaces métalliques avoisinantes. Lorsque ce phénomène se répète régulièrement en un même endroit, cela engendre alors une fatigue du matériau et une détérioration progressive des protections superficielles entraînant ainsi une perte de masse localisée.

Nous retrouvons souvent la corrosion par cavitation sur les pales d'hélice des navires, les rouets de pompes et les pales de turbines. Cette perte de masse entraîne alors un déséquilibre des rotors générant ainsi du bruit⁽⁷⁾, des vibrations et des pertes de performance.

b) Corrosion par abrasion

Ce phénomène se rencontre essentiellement lorsque le fluide est chargé de particules en suspension frottant ainsi les surfaces telles que les parois des corps de pompe ou les revêtements intérieurs des circuits. Il s'en suit alors une altération et, à terme, une détérioration des films de protection du métal qui, une fois à nu, voit le processus de corrosion aqueuse démarrer.

c) Corrosion par érosion

Ce type de corrosion est généré par :

- le choc répété par des gouttes ou des particules projetées (ex. : paquets de mer, embruns)
- les turbulences d'un fluide générées par à un défaut de surface (ex. : finition

grossière d'un revêtement de protection intérieur d'un circuit)

Une perte progressive d'une partie du revêtement de protection est alors observée jusqu'à sa complète disparition.

2) FLUIDE STAGNANT

a) Corrosion galvanique

Cette corrosion apparaît en présence de métaux de nature différente baignés dans un électrolyte, en l'occurrence le milieu marin pour ce qui concerne les navires. Rappelons pour mémoire que les métaux sont classés par leur potentiel de corrosion pour un électrolyte donné ; les métaux à potentiel élevé sont dits nobles alors que ceux à potentiel faible sont dits basiques. Pour ce qui est de l'eau de mer à 20°C, le potentiel de corrosion du titane est donné à -0,05 volt, celui de l'acier inox est de -0,5 volt et celui du zinc est de -1,05 volt. De ce fait, deux métaux de potentiels de corrosion différents engendrent ainsi une différence de potentiel qui entraîne la circulation d'un courant électrique responsable de la corrosion du matériau le moins noble.

Les principaux facteurs favorisant la corrosion galvanique induite par le couplage de deux métaux sont essentiellement :

- La nature des métaux : composition, valeur de la différence de potentiel, taux d'impuretés, présence éventuelle d'une protection
- Les paramètres géométriques : surfaces relatives entre les zones anodiques et cathodiques, la distance entre les deux métaux
- Les propriétés locales de l'eau de mer : pH, température, environnement (pleine mer, delta, embouchure,...), turbulences, agitation.

b) Corrosion par piqûres

Elle affecte les métaux passifs et concerne principalement les aciers, l'aluminium et le cuivre. Après avoir perdu sa protection suite, par exemple, à un poinçonnage,



(3) La résistivité de l'eau de mer est proche des 20 ohms par centimètre

(4) Entre 33 et 37 g/litre

(5) C'est-à-dire l'eau de mer ou l'air salin

(6) La pression engendrée par cette libération d'énergie peut dépasser les 109 N/m²

(7) Ce qui est, en termes de discrétion acoustique, très contraignant pour sous-marins et les frégates anti-sous-marines

le processus de corrosion s'établit par une perforation localisée et rapide du métal dans une cavité de quelques micromètres⁽⁸⁾.

c) Corrosion par crevasse

Appelée aussi caverneuse, ce type de corrosion se retrouve dans les fentes et les interstices dans lesquels le fluide reste stagner sans pouvoir se renouveler entraînant une consommation rapide de l'oxygène et une concentration d'ions. Dans le cas des alliages tels que l'acier inoxydable et l'alliage de nickel, ce déficit d'oxygène empêche la réparation du film protecteur passif et le matériau devient alors actif.

Nous pouvons retrouver la corrosion caverneuse :

- sur la portée d'un joint
- sur un filet de vis ou un taraudage
- entre deux plaques rivetées

La coque d'un navire qui présente des désordres par interstices sera davantage sensible à la corrosion par crevasse s'il est amarré à quai qu'en pleine mer. En effet, une fois en mer, ces interstices ne sont plus considérés comme des milieux confinés du fait du renouvellement de fluide à l'intérieur grâce à la vitesse du navire.

d) Corrosion par micro-organismes marins

La composition chimique de l'eau de mer permet une activité biologique très prolifique. Certains micro-organismes tels que les bactéries et les algues ainsi que quelques crustacés⁽⁹⁾ ont tendance à coloniser très rapidement les métaux immergés dépourvus de protection. Cette colonisation constitue ce que l'on appelle les salissures (fouling en anglais) générant des réactions physico-chimiques⁽¹⁰⁾ favorables à une accélération du processus de corrosion. La coque et les circuits d'eaux de mer sont principalement concernés par ce phénomène.

e) Corrosion sous contrainte

Cette corrosion provient de l'association entre des contraintes mécaniques et le fait d'être dans un milieu corrosif étant entendu que l'application de ces mêmes contraintes sur un métal aurait eu moins d'effets néfastes si celui-ci avait été placé en dehors de ce milieu corrosif.



DR

Ces contraintes mécaniques sont d'ordres résiduels (soudure, cintrage,...), thermiques (dilatation,...) ou en rapport à une nécessité fonctionnelle (câbles, poutres,...).

Les symptômes apparaissent essentiellement sous forme de craquelures. Les inspections réglementaires périodiques des navires ont, entre autres, pour but de détecter ce type de dommage dont une non-prise en compte peut concourir à une fragilisation de la structure rendant vulnérable le navire par gros temps.

COMMENT LUTTER CONTRE CES CORROSIONS

L'évaluation et la mise en œuvre d'une protection adaptée du navire contre la corrosion dès sa construction est essentielle compte tenu, entre autres, des coûts relatifs aux actions correctives lors de l'exploitation tels que la mise au sec, la durée de l'arrêt technique, la réfection des revêtements (coque, soutes, mailles vides,...) et les moyens de d'accès (nacelles, échafaudages,...).

On estime qu'une réfection des revêtements de peintures coûte environ dix fois plus que les opérations d'application lors de la construction⁽¹¹⁾. La mise en place des protections doit donc s'effectuer avec rigueur et en étant pleinement conscient des différents phénomènes de corrosion en jeu.

Il existe plusieurs systèmes de protection contre la corrosion que l'on peut répartir en trois catégories : la protection cathodique, les revêtements de protection et la protection dite géométrique.

1) LA PROTECTION CATHODIQUE

Ce type de protection repose sur le fait d'abaisser le potentiel de corrosion du

métal à protéger (voir pour exemple le diagramme de Pourbaix de l'acier) en plaçant des anodes. Sur les navires nous retrouvons deux types de protection cathodique.

a) Les anodes sacrificielles

Il s'agit de répartir de telles anodes dans le but de créer un courant galvanique. Le plus souvent en zinc ou en aluminium, ces anodes subissent à elles seules la corrosion et préservent ainsi les métaux plus nobles. Elles sont placées dans les équipements utilisant l'eau de mer (circuits, échangeurs, ballasts,...), sur la coque et les appendices immergés du navire (voir photo).

Pour être réellement efficace, certaines précautions sont à prendre :

- la nature des anodes doit être de telle sorte que son potentiel soit assez négatif pour assurer une polarisation suffisante et une différence de potentiel adéquate
- la répartition et le poids des anodes doivent être calculés au mieux⁽¹²⁾
- la surface de contact doit être nominale afin que les anodes soient correctement reliées à la structure pour assurer une bonne conductibilité ; leur fixation et leur forme sont alors choisies en conséquence
- une surveillance périodique de l'usure est nécessaire pour prévoir leur remplacement en temps utile
- leur emplacement et le type de fixation sont étudiés de telle sorte qu'elles puissent être changées rapidement et avec peu de démontage ; les anodes sacrificielles immergées sont de préférence vissées plutôt que soudées.

Les anodes sacrificielles sur les coques de navire ont néanmoins pour principal inconvénient de créer une résistance à l'avancement générant ainsi une surconsommation de carburant. Celles-ci devront être remplacées assez fréquemment⁽¹³⁾.

(8) En anglais, on parle de phénomène de pitting ; pit=puits/trou profond

(9) En particulier les balanes, bernacles et les anatifes

(10) Modification locale du pH et de

la concentration de dioxygène, par exemple

(11) Concerne la coque, les infrastructures

et locaux intérieurs

(12) Des règles de calcul sont en vigueur

(13) Selon les navires, en moyenne tous les cinq ans



b) La protection cathodique par imposition de courant

Cette protection est assurée par un générateur de courant continu à partir duquel le pôle négatif est relié à l'équipement à protéger et le pôle positif à l'anode.

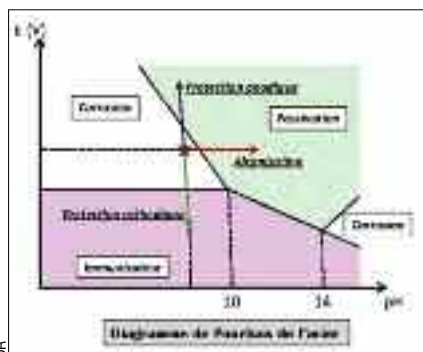
Si ce système peut représenter un coût important à l'installation, il devient rentable lors de l'exploitation puisqu'il ne nécessite pas beaucoup d'énergie⁽¹⁴⁾.

Le dégagement d'hydrogène issu de la réaction électrochimique impose que ce type de protection ne soit pas utilisé dans les milieux confinés.

2) REVÊTEMENTS DE PROTECTION

Il s'agit de revêtements superficiels, de trois types :

- métalliques pour protéger en particulier les aciers. On utilise pour cela du chrome, du cuivre ou du zinc⁽¹⁵⁾
- polymériques à l'aide de thermoplastes, de caoutchouc ou de thermodurcissables
- par peintures successives⁽¹⁶⁾ : une couche primaire dite anticorrosion, des couches secondaires pour assurer l'étanchéité et parfaire l'état de surface puis une couche de finition terminant le pouvoir d'étanchéité et, si nécessaire, donnant une touche esthétique. L'application des peintures nécessitent de respecter impérativement les prescriptions du fabricant pour garantir une tenue efficace dans le temps. Le respect des conditions hygrométriques ambiantes et la préparation de la surface sont primordiaux. Notons que plus de 90% des désordres



de revêtements des carènes des navires sont dus à une mauvaise application.

Ces trois types de revêtements sont des revêtements durs par opposition aux revêtements dits mous qui sont utilisés pour des applications de courtes durées comme pour la conservation de pièces de rechange ou pour les axes de panneaux mobiles (portes, écoutilles,...).

Dans la majorité des cas, ces revêtements mous sont des graisses spéciales. Si la préparation de la surface est simple et rapide, les inconvénients sont en revanche nombreux : ré-applications fréquentes, produit inflammable, sensibilité à l'eau et opération de retrait contraignante.

3) PROTECTION DITE GÉOMÉTRIQUE

Cette protection consiste à concevoir les pièces et les montages mécaniques de telle sorte à limiter les risques de corrosion. Par exemple, il convient de :

- réaliser des courbes de collecteurs permettant un écoulement de fluide non turbulent. Les turbulences étant en

partie responsables des corrosions par cavitation et par érosion

- concevoir des récipients et des réservoirs ne favorisant pas la stagnation de l'eau.

Les risques de corrosion sur un navire étant relativement élevés, il est primordial de veiller à ce que la corrosion ne puisse pas s'installer. En plus des actions préventives données supra, il existe des principes simples à appliquer permettant de limiter une éventuelle prolifération de la corrosion si elle venait à apparaître :

- assurer une ventilation correcte des locaux en veillant à maintenir une hygrométrie et un débit adéquats
- rincer régulièrement à l'eau douce les superstructures exposées aux intempéries (vagues, embruns, air salin,...)
- évacuer l'eau stagnante, notamment dans les cales, les fonds et sous les caillebotis
- repérer et, si possible, traiter sans délai les désordres subis sur les revêtements de protection
- assurer une parfaite étanchéité des coffrets et armoires techniques et, en particulier, électriques
- traquer sans relâche tous les recoins du navire pour tenter de détecter les amorces de corrosion (cloques, boursofflures, cracks, rouille,...)
- historiser les corrosions découvertes au fur et à mesure
- respecter impérativement les recommandations des fabricants pour l'application des peintures ■

Lionnel Parant

(MIMarEST – MNI)

Officier mécanicien

Ingénieur maintenance

marine.maintenance.management@gmail.com

(14) Pour un navire de 10 000 tonnes et d'une longueur d'environ 150 mètres : alimentation de quatre anodes (5 volts – 4 ampères)

(15) Processus de galvanisation

(16) Epaisseur totale de quelques centaines de micromètres