

Différents types de corrosion :

La corrosion est l'un des plus grands ennemis d'un plaisancier. Il y a beaucoup d'incompréhension à propos de la corrosion. On confond souvent la corrosion qui se produit sous l'eau avec la corrosion qui se produit au-dessus du pont.

Il est très important d'identifier deux types de corrosion :

- Corrosion chimique ou corrosion sèche. Ce type de corrosion se produit lorsque les métaux sont attaqués par certains éléments ou combinaisons d'éléments. Ce type de corrosion a lieu au-dessus du pont. Un type bien connu de cette corrosion est le fer rouillé. La protection contre ce type de corrosion est obtenue par un traitement de surface.
- Corrosion électrochimique ou corrosion humide. Ce type de corrosion provient de la création d'un élément électrique dans un milieu aqueux. Cet élément électrique est construit par deux métaux différents avec un électrolyte entre les deux. Le meilleur exemple d'un tel élément est une batterie utilisée dans chaque yacht ou voiture. Cette corrosion électrochimique est également appelée électrolyse ou corrosion galvanique. Comme cette corrosion est le plus grand danger pour tous les métaux sous-marins, nous verrons en profondeur comment l'éviter.



Exemple 1 de corrosion électrochimique causée par une connexion électrique de la mèche de gouvernail avec un autre objet sous-marin comme l'arbre porte-hélice.



Exemple 2 de corrosion électrochimique causée par une connexion électrique de la mèche de gouvernail avec un autre objet sous-marin comme l'arbre porte-hélice.



Exemple 3 de corrosion électrochimique provoquée par l'utilisation d'un anti-failling à base de cuivre en contact avec l'arbre de gouvernail.



Exemple 4 de corrosion électrochimique extrême causée par une connexion électrique de la mèche de gouvernail avec un autre objet sous-marin comme l'arbre porte-hélice.



Exemple 5 de corrosion électrochimique extrêmement lourde causée par une connexion électrique de la mèche de gouvernail avec un autre objet sous-marin comme l'arbre porte-hélice. Veuillez noter que le matériau de l'arbre de gouvernail est en acier inoxydable, ce qui prouve que l'électrolyse n'est pas un problème de mèche de gouvernail en aluminium, mais un problème général indépendant du matériau.



Exemple d'un arbre de gouvernail en aluminium 6082 de plus de 25 ans qui a servi sur un X99. Lorsque des mesures appropriées sont prises pour prévenir la corrosion électrochimique, les mèches de gouvernail en aluminium dureront plus d'une vie.

Le principe de l'électrolyse :

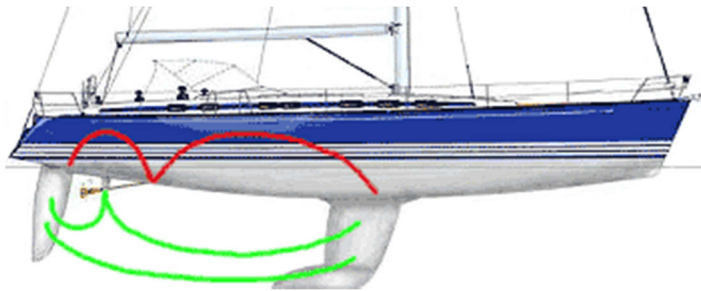
Le principe de l'électrolyse est basé sur le fait que lorsqu'un métal est mis dans l'eau, il crée une tension non neutre. Sur la surface, une très petite quantité d'ions métalliques chargés positivement éclatera en laissant la charge négative sous la forme d'électrodes dans le métal. La réaction est (Me=métal) $\text{Me} \rightarrow \text{Me}^{z+} + z \text{ e}$. Le métal sera chargé négativement. Tant que ce métal n'est pas connecté à un autre objet avec une charge *différente*, rien ne se passera et un équilibre aura été atteint.

La réaction telle que décrite ci-dessus n'est pas suffisante pour que l'électrolyse se produise. Le problème commence parce que tous les métaux existants ont une charge différente lorsqu'ils sont mis sous l'eau. Certains positifs, certains négatifs. La charge absolue varie et augmente lorsque la température augmente, la quantité de sel dans l'eau est plus élevée et si plus d'oxygène est présent dans l'eau. Le pire endroit absolu pour l'électrolyse est la Méditerranée, car tous les facteurs sont les pires.

Les phénomènes décrits ci-dessus ne suffisent toujours pas pour que l'électrolyse se produise. Ce n'est que lorsque les deux métaux différents sont électriquement connectés que l'électrolyse peut commencer. Un métal (celui avec la charge la plus négative) agira comme anode et se

sacrifiera. L'autre métal sert de cathode. Comme l'anode est connectée électriquement à la cathode chargée positivement, elle ne peut pas atteindre son équilibre naturel chargé négativement comme décrit ci-dessus. Mais il essaiera constamment de l'atteindre. Pour obtenir une charge plus négative, le métal se divisera constamment en ions métalliques chargés positivement sortant de la surface et laissant derrière eux les électrons chargés négativement. Les électrons seront transportés à travers la connexion filaire des deux métaux vers la cathode chargée la plus positive, et tout le processus recommencera.

Électrolyse sur GRP et yachts composites :



Projetons maintenant ce phénomène

théorique sur votre voilier. Nous devons d'abord déterminer quel métal commencera à agir comme anode. La liste suivante est un résumé des métaux par ordre d'électronégativité, en commençant par le métal le plus chargé négativement : magnésium, zinc, aluminium, acier et fer, fonte, acier inoxydable (actif), plomb, laiton, cuivre, bronze, inoxydable. Acier (passif), Carbone. (On peut rendre l'inox passif par traitement chimique après usinage). Deuxièmement, le matériau de la coque est important. Commençons par les coques composites.

Les métaux typiques de la mèche de gouvernail sont l'aluminium et l'acier inoxydable (actif). Le métal typique de l'arbre d'hélice est l'acier inoxydable (passif). Le métal typique de l'hélice est le bronze. Le matériau typique de la quille est le plomb ou la fonte ou une combinaison des deux. (L'arbre porte-hélice peut être réalisé en inox passif car la géométrie est souvent très simple, aucune soudure n'est à faire et peut être commandé en inox passif).

Prenons un yacht avec un arbre de gouvernail en aluminium, un système d'entraînement d'hélice standard et une quille en fonte. Certains constructeurs de bateaux choisissent de connecter les trois parties avec un fil de cuivre (voir la ligne rouge sur l'illustration). Ils protègent le système complet avec une anode en zinc sur l'hélice ou l'arbre d'hélice. L'anode de zinc a l'électronégativité la plus faible et agira comme anode. L'arbre porte-hélice, en acier inoxydable passif, fera office de cathode. Tant que l'anode de zinc est présente, tout ira bien. Des problèmes surgiront lorsque l'anode de zinc sera complètement dissoute ou tombera. La nouvelle anode sera l'arbre de gouvernail en aluminium, qui commencera à se sacrifier. Même si l'on avait choisi d'utiliser un arbre de gouvernail en acier inoxydable (actif), la même chose se produirait : l'arbre du gouvernail commencerait à se dissoudre dans l'eau. Un exemple typique est un propriétaire de bateau scandinave, ayant navigué des années sans aucun problème, emmène maintenant son yacht en Méditerranée et est confronté après un an dans l'eau au fait que l'anode de zinc a été complètement dissoute dans l'eau et son arbre de gouvernail montre des signes d'électrolyse. L'environnement extrêmement salé et chaud augmente fortement la différence de potentiel électrique entre les différents métaux, ce qui rend la réaction beaucoup plus rapide.

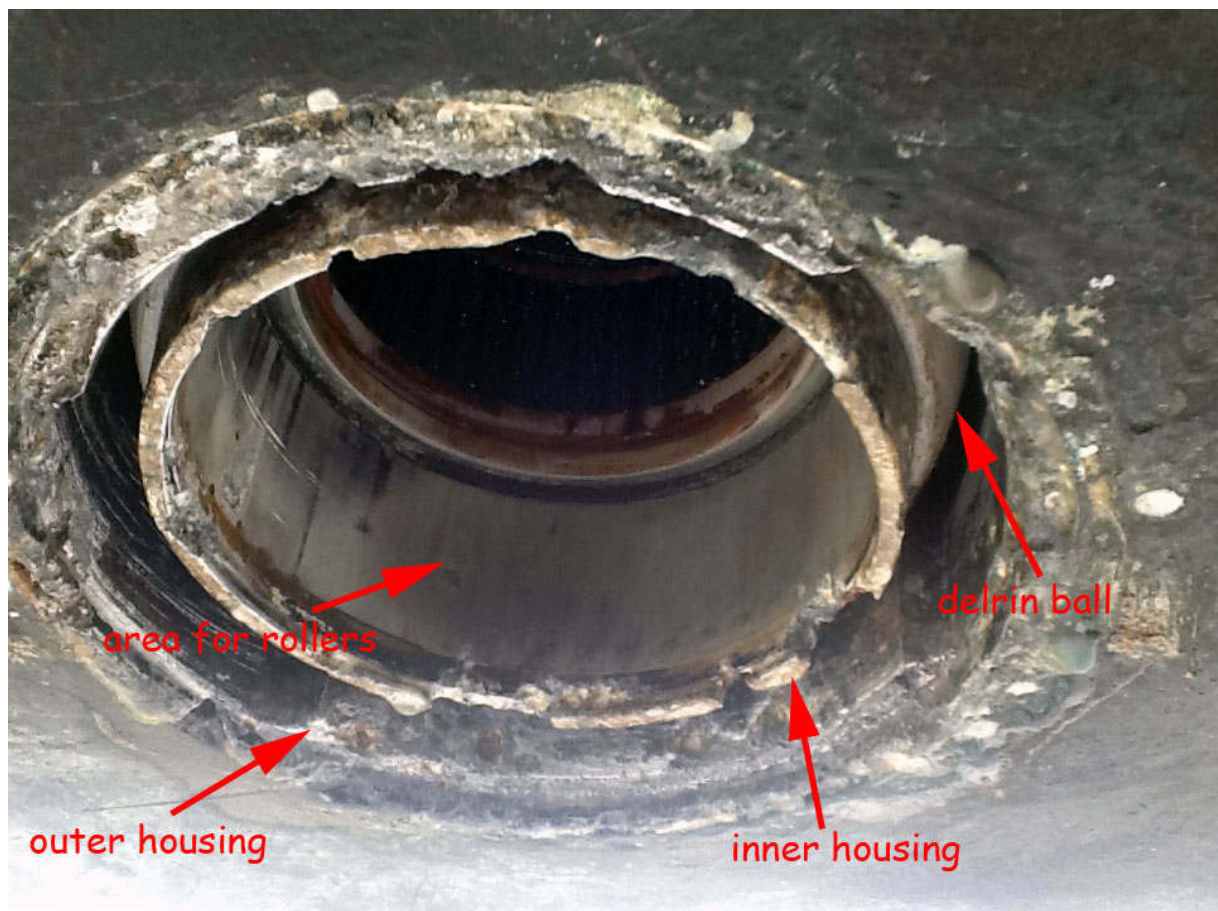
Solution pour éviter l'électrolyse :

C'est la raison pour laquelle nous ne pouvons que conseiller de s'assurer que l'arbre du gouvernail est complètement déconnecté électriquement du reste du navire. Souvent, cette connexion se fait à l'insu du propriétaire du bateau. D'autres parties du yacht, comme le système de direction et

l'entraînement du pilote automatique, sont liées à l'arbre du gouvernail. Des pièces telles que la commande du moteur et les instruments sont à nouveau liées au système de direction. Sans aucune précaution, une connexion au moteur et à l'arbre d'hélice se fait facilement. Comme le pôle négatif général de l'alimentation électrique du yacht est principalement connecté au moteur, chaque fonction électrique à bord est connectée à l'arbre d'hélice. (Une exception à cela est lorsqu'un roulement de confiance en combinaison avec un accouplement flexible électriquement isolé est utilisé dans le système d'entraînement de l'hélice).

- **Entraînement du pilote automatique :** Comme le pôle négatif de l'entraînement du pilote automatique est principalement connecté en permanence à la batterie et donc à l'arbre d'hélice, nous avons un connecteur de potentiel très dangereux. Il faut donc toujours vérifier si le boîtier et l'arbre d'entraînement de l'entraînement du pilote automatique sont isolés du pôle négatif (la plupart des fabricants d'entraînement du pilote automatique ne garantissent pas une isolation électrique !). Même lorsqu'il n'y a pas de connexion (une résistance infinie sur le compteur de résistance), une connexion à l'intérieur du moteur électrique peut éventuellement se produire en raison de la poussière de carbone, usée par les balais de charbon du moteur, reliant le pôle moins au boîtier.
La meilleure solution pour la déconnexion consiste à isoler l'arbre d'entraînement du pilote automatique du bras de barre relié à la gouverne de direction. Comme la plupart des pilotes automatiques utilisent une connexion rosace – broche, il est recommandé d'utiliser une rosace isolée. Comme la plupart des rosaces utilisées dans cette application sont des produits standards de l'industrie, l'isolation n'est pas un sujet. La plupart du temps, le boîtier et la bille sont en acier inoxydable. Entre la boule, on peut trouver soit une douille en bronze, soit une fine couche de téflon. Le premier est complètement non isolant, le second est isolant jusqu'à l'usure du téflon. Comme aucune solution appropriée n'est disponible sur le marché, Jefa marine a décidé de développer une gamme de joints de rosette entièrement isolés sur mesure. Veuillez consulter régulièrement notre page d'actualités pour les annonces.
- **Système de direction :** Si vous utilisez un système de direction hydraulique, en combinaison avec des flexibles en nylon, il n'y a aucun problème. Comme l'utilisation d'un système hydraulique sur un voilier est très rare, il convient de se concentrer sur les systèmes de direction mécaniques. Deux méthodes de direction peuvent être utilisées : direction par câble ou direction par bielle. Les systèmes de direction à câble ne peuvent pas être déconnectés électriquement du gouvernail. Les systèmes de direction à tige utilisent toujours une rosace pour se connecter au gouvernail. Les mêmes règles de déconnexion sont valables comme indiqué dans la section ci-dessus sur les pilotes automatiques. Si l'isolation complète de la biellette (draglink) n'est pas possible, il convient de prendre les mêmes mesures que sur les systèmes de câbles ; isoler électriquement le système de direction et le socle du reste du yacht.
- **Commande moteur montée sur colonne de direction :** Comme les câbles de commande de la commande moteur sont en acier et en acier inoxydable, il convient d'isoler soigneusement le boîtier de commande moteur du socle.
- **Divers instruments et interrupteurs.** Souvent, le piédestal est recouvert d'instruments et d'interrupteurs. Il faut s'assurer que les câbles attachés à ces instruments et interrupteurs ne sont pas en contact avec des parties métalliques du socle de direction.

- Fil de la boussole : Dans la plupart des cas, le fil de la boussole traversera le piédestal. Un joint de câble sera réalisé dans le haut du socle ou de l'habitacle. Veuillez vérifier si aucun contact n'est établi avec le piédestal ou l'habitacle.
- Anti-encrassement : Soyez absolument en alerte lorsque l'anti-encrassement avec des composants métalliques (souvent du cuivre) est utilisé. Après avoir peint votre coque avec cet antifouling, vous devez traiter votre coque comme une coque métallique. Ainsi, lorsque vous connectez une coque en cuivre à un arbre de gouvernail en aluminium, vous pouvez être sûr que l'arbre en aluminium souffrira d'électrolyse. S'assurer absolument qu'il n'y a pas de liaison entre la peinture et le fût, s'arrêter à quelques centimètres du fût avec de l'antifouling ! Lorsque vous souhaitez utiliser un antifouling sur l'arbre de gouvernail, veuillez utiliser le même antifouling que celui utilisé sur un saildrive. Voir ce manuel important pour plus d'explications.



Exemple typique des dégâts énormes qu'un mauvais antifouling peut causer aux pièces métalliques sous l'eau. Veuillez noter que les pièces de roulement de cette image sont en aluminium 6082 résistant à l'eau de mer et anodisées dures noires (le mieux que vous puissiez obtenir). En raison du contact avec l'anti-encrassement, le roulement a agi comme anode et s'est dissous.

Méthodes d'essai:

Lorsque le yacht est à terre, ces connexions peuvent être testées à l'aide d'un compteur de résistance précis. Il faut connecter un pôle à l'arbre du gouvernail et l'autre pôle à l'arbre d'hélice ou à la quille. La résistance doit être infinie. Si la résistance est inférieure, il y a une fuite de courant et il faut tester toutes les connexions possibles ci-dessus.

Lorsque le yacht est dans l'eau, on peut faire le même test. Un deuxième test consiste à mesurer la

différence de tension entre le gouvernail et l'arbre porte-hélice. Selon les facteurs type d'eau, température, métaux utilisés comme décrit ci-dessus, la différence de tension peut varier de quelques millivolts à des dixièmes de volts. Si une différence de tension est présente, il n'y aura pas de connexion entre les pièces mesurées.

Électrolyse sur yachts aluminium et acier :

Les règles pour éviter l'électrolyse sur les yachts en aluminium et en acier sont les mêmes que sur les yachts en composite : Déconnectez le safran du reste du navire. La plupart des navires en métal auront des safrans en métal. Il est conseillé de protéger ces lames avec une anode en zinc séparée sur le safran. Surtout lorsque différents types de métaux ou de mélanges de métaux sont utilisés. Par exemple une mèche de safran en acier inoxydable avec une lame en acier, ou une mèche de safran en aluminium avec une lame en aluminium. L'aluminium de la mèche de safran n'est pas le même que l'aluminium de la pale. Un petit élément galvanique est créé qui doit être protégé par une anode.

Électrolyse entre le yacht et le monde extérieur :

Ce type d'électrolyse est le type le plus redouté. Une coque en aluminium complète peut se dissoudre en un mois, faisant du yacht une perte totale. Des exemples sont connus même sur des yachts composites qui ont perdu un gouvernail complet en acier inoxydable en un mois. Comme cette explication de l'électrolyse est principalement basée sur la protection du système de gouvernail, et tant que l'arbre du gouvernail est électriquement déconnecté du reste du yacht, l'arbre du gouvernail ne peut pas souffrir d'électrolyse.

Le seul moyen d'empêcher l'électrolyse entre votre yacht et le monde extérieur est d'isoler complètement l'alimentation électrique via un isolateur galvanique.

Les liens suivants fournissent plus d'informations sur l'électrolyse et les isolateurs galvaniques.

<http://www.yandina.com/electrolysis.htm>

<http://www.islandnet.com/robb/marine.html#CorrosionProtection>

<https://www.yachtsurvey.com/corrosion.htm>