



Petit Livre Blanc

CORROSION | ELECTROLYSE | ECAILLAGE

LA PROTECTION CATHODIQUE DES BATEAUX DE PLAISANCE



www.galvatest.fr

Contrôlez l'efficacité de vos anodes !

INTRODUCTION

Observez attentivement les coques, quilles, embases, arbres, hélices, etc. des nombreux bateaux de plaisance au sec lors d'un carénage ou d'un hivernage, à la recherche des quelques symptômes plus ou moins visibles illustrés sur la page de couverture.

Ils sont généralement les conséquences d'un excès ou d'un manque de protection cathodique, dans un contexte toujours particulier d'activité électrique soutenue.

C'est pourquoi un juste fonctionnement de votre système de protection par anodes sacrificielles est nécessaire à la bonne conservation de votre bateau, qu'il soit à coque métallique, bois ou polyester, le simple coup d'œil annuel, éventuellement assorti de leur remplacement, n'apportant aucune garantie quant à leur efficacité.

En effet, la quantité de courant délivrée par vos anodes doit être régulée avec précision afin d'éviter l'apparition de désagréments imprévus, pouvant s'avérer aussi coûteux que dangereux.

Par ailleurs, l'identification rapide d'éventuels phénomènes électrolytiques reste essentielle, particulièrement lors des mouillages prolongés sans surveillance particulière (hivernage).

Les photos de couverture :

1. Cloques non osmotiques (6 mois, en cause sur-protection cathodique)
2. Corrosion électrolytique (6 mois, en cause sous-protection cathodique)
3. Corrosion aqueuse (6 mois, en cause sous-protection cathodique)

UN BREF ETAT DES LIEUX

Métaux et liquides (dont eau...) ne font généralement pas bon ménage. Afin de protéger les premiers contre la corrosion dévastatrice qui résultera d'une mise en présence avec les seconds, on met simultanément en œuvre deux techniques complémentaires destinées à limiter les conséquences toujours néfastes de cette cohabitation forcée :

- Les revêtements sous-marins, constitués de peintures techniques isolantes, elles-mêmes recouvertes d'anti-fouling.
- Les anodes de protection, parmi lesquelles :
 - **Les anodes sacrificielles**, qui présentent un potentiel électrique plus électronégatif que celui du métal à protéger. Elles équipent la plupart des bateaux de plaisance et sont constituées d'alliages de Zinc, Aluminium ou Magnésium.
 - **Les anodes à courant imposé (ICCP)** qui délivrent une quantité régulée de courant de protection aux navires et grands équipements et ne se rencontrent, sur les bateaux de plaisance, qu'à partir d'une certaine taille.

De fait, la corrosion des métaux obéit aux mécanismes d'oxydo-réduction qui régissent les mouvements de leurs électrons au sein d'un électrolyte (milieu conducteur), et, en conséquence, la perte de matière qui en résulte et doit faire l'objet d'une « veille attentive ».

SI CE N'EST TOI, C'EST DONC TON FRERE !

Un métal au contact d'un électrolyte a naturellement tendance à perdre ses électrons et sa matière en se corrodant : c'est le phénomène d'oxydation entraînant une corrosion (ou une dissolution) électrochimique.

Et c'est notamment le cas lorsqu'il y a destruction de ses revêtements de protection...

Mais si deux métaux en contact sont immergés dans le même électrolyte, il se créera une pile électrique et le plus réactif d'entre eux (l'anode) perdra préférentiellement ses électrons au profit du moins réactif (la cathode). Ces réactions ne pouvant être évitées, il s'agira dès lors de s'assurer qu'aucun métal structurel immergé (coque, quille, embase, arbre, hélice, passe-coque...) ou en continuité électrique avec un autre métal du bord (échangeur, par exemple...) ne soit spontanément placé en position anodique.

Et qui dit circulation d'électrons, dit électricité...

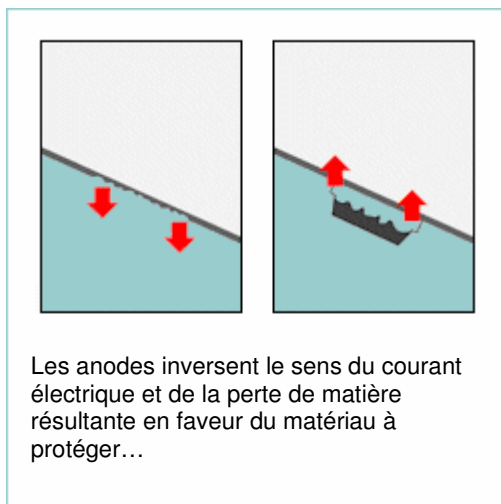
Ainsi, tous les métaux peuvent être classés selon leur potentiel électrique naturel sur une échelle galvanique et il est aujourd'hui relativement aisé de prévoir leur comportement :

Ce potentiel est de (-) 650 mV dans l'eau de mer à 20° C pour l'acier et (-) 1000 mV pour le Zinc. Sur cette échelle, plus l'écart entre deux métaux est important, plus active sera l'oxydation ! Et le Zinc, au potentiel beaucoup plus bas que l'acier, donc beaucoup plus anodique, s'oxydera au profit de ce dernier.

Qu'en est-il dès lors d'une hélice en bronze [potentiel (-) 280 mV] située à l'extrémité d'un arbre en acier inoxydable [potentiel (-) 550 mV activé], lui-même asservi à un moteur avec échangeur (vraisemblablement en acier...) et équipant une coque en aluminium [potentiel (-) 650 mV] ? Le résultat risque d'être catastrophique si l'on n'y prend pas garde ! L'aluminium de la coque est en effet placé en position anodique et se détruira donc irrémédiablement, en se sacrifiant plus ou moins rapidement au profit des autres équipements, tous plus cathodiques que lui.

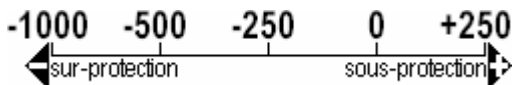
Installer une protection anodique en Zinc (rappel (-) 1000 mV) permet d'inverser la situation en repositionnant l'aluminium en tant que cathode, le Zinc devenant alors l'anode et se sacrifiant à sa place.

La protection cathodique est le corollaire de la corrosion galvanique.



L'ECHELLE GALVANIQUE DES METAUX

L'échelle galvanique des métaux est aujourd'hui bien connue :



Anode Magnésium	-1600 mV
Acier galvanisé	-1100 mV
Anode Aluminium	-1050 mV
Anode Zinc	-1030 mV
Embase Aluminium	-700 mV
Aluminium 5000+	-650 mV
Acier doux	-650 mV
Acier inox actif*	-550 mV
Laiton	-350 mV
Cuivre	-330 mV
Etain	-320 mV
Soudure	-320 mV
Bronze	-280 mV
Plomb	-220 mV
Nickel	-150 mV
Acier inox passif*	-50 mV

Tableau A (eau de mer 10 à 25° C – Réf. Ag/AgCl)

* L'acier inox s'active lorsqu'il est immergé dans l'eau de mer !

Elle permet d'ordonner l'agencement de métaux destinés à cohabiter en milieux hostiles et de rechercher l'abaissement souhaité du potentiel électronégatif à atteindre en vue d'obtenir une protection efficace : en effet, le métal au potentiel le plus électronégatif se dégrade au profit du plus électropositif.

Il s'agit là d'une connaissance essentiellement empirique, la multiplicité des alliages compliquant singulièrement la bonne appréhension des phénomènes de corrosion.

Bref, vous l'avez maintenant compris, tout est affaire de potentiel. De juste potentiel même, car le voltage nécessaire pour être à l'abri des problèmes doit généralement se situer entre (-) 500 et (-) 200 mV en deçà de celui du métal à protéger en priorité.

En dessous de la limite inférieure de cette fourchette (en allant vers le -), il y aura « **sur-protection** » avec des dégradations pouvant être importantes pour les revêtements, voire, pour les matériaux eux-mêmes (dégagement d'hydrogène). De plus, la sur-protection peut favoriser la prolifération des patelles (berniques)...

Au dessus des valeurs indiquées dans le tableau A (en allant vers le +), il y aura « **sous-protection** », et donc apparition d'une corrosion galvanique plus ou moins sévère.

CORROSION GALVANIQUE VS ELECTROLYTIQUE

- La **corrosion galvanique** se produit toujours lorsque différents métaux, reliés entre eux, sont plongés dans un électrolyte. Il s'agit d'un phénomène naturel.
- La **corrosion électrolytique** implique l'action supplémentaire, et autrement plus nocive, de courants électriques non contrôlés, produits par une source extérieure (fuite d'un circuit électrique, par exemple...). Accidentelle et très agressive, cette dernière peut et doit donc être constamment évitée.

LES ANODES SACRIFICIELLES

Sacrificielles, car elles se sacrifient au profit des métaux protégés et sont, en contrepartie, à remplacer régulièrement.

En théorie, la quantité de courant qu'elles délivrent durant une période donnée est autorégulée selon :

- De leur nature (Zn, Al ou Mg)
- De leurs dimensions (taille, poids)
- De leur pureté (en particulier, éviter toute pollution par des particules d'acier)

Des calculs permettent ainsi de les dimensionner et de les dénombrer, pour un équipement donné, immergé dans un électrolyte donné. Toutefois, là encore, il s'agit d'une connaissance essentiellement empirique et ce qui marche pour l'un ne marche pas nécessairement pour l'autre.

ZINC, ALUMINIUM, MAGNESIUM

Usuellement, les anodes sacrificielles sont composées d'alliages. Par commodité, nous nous référerons uniquement à leur composant principal. Du tableau A nous pouvons déduire que, dans l'eau de mer, plus conductrice que l'eau douce, Zinc et Aluminium sont suffisamment efficaces et donc à préférer. En effet, plus sensibles, des anodes en Magnésium s'useraient plus rapidement et ne constitueraient pas une solution économique acceptable. Elles sont donc à réserver prioritairement pour l'eau douce.

Par ailleurs, à intensité égale, une anode en Aluminium pèse trois fois moins qu'une anode en Zinc et présente un potentiel électrochimique plus important...

Enfin, on considère qu'une anode conserve sa capacité de protection jusqu'à 50% de son poids.

La capacité théorique du Zinc pur est de 820 Ah/kg. Si l'on retient un coefficient de disponibilité de 95 %, une anode de 1 kg pourra débiter continuellement 1 A sur 779 h et 0.1 A sur 7 790 h, soit 46 semaines...

LES CONDITIONS DE MOUILLAGE

Les conditions de mouillage influent fortement sur l'activité électrique résultante, donc sur la consommation des anodes. Les propriétés à prendre en compte sont :

- La vitesse de l'eau sous la coque (le besoin en courant de protection peut être multiplié par 30 !)
- Sa conductivité
- Sa salinité
- Sa température
- Son pH

UN PEU DE BON SENS (MARIN...)

De tout ce qui précède vous pouvez maintenant déduire que la durée de vie de vos anodes n'est probablement pas, et sauf coïncidence, indexée sur vos seuls carénages annuels. Et que leur sous consommation¹ n'est pas nécessairement signe d'un problème particulier (contrairement à une croyance très répandue...), à l'inverse de leur sur-consommation, qui doit, quant à elle, vous alerter afin d'en rechercher les causes...

¹ Leur non consommation restant toutefois anormale

LE POTENTIEL DE LA COQUE

La mesure du potentiel de la coque² s'effectue à l'aide d'une électrode de contrôle correctement calibrée.

Certains bateaux non-métalliques disposent d'une interconnexion, reliant à un système de protection commun (masse) tous les métaux immergés. Toutefois, la plupart du temps, ces derniers restent indépendants et bénéficient parfois de leurs propres anodes.

Ainsi, pour un matériau de coque donné, les mesures de potentiel recommandées doivent se situer dans les plages :

	-1000	-500	-250	0	+250
Bois	(-)	600	à (-)	550	mV
Polyester avec moteur IB	(-)	1000	à (-)	750	mV
Polyester avec HB ou Z-Drive	(-)	1050	à (-)	900	mV
Aluminium	(-)	1100	à (-)	900	mV
Acier	(-)	1050	à (-)	800	mV

Tableau B (eau de mer 10° à 25° C – Réf. Ag/AgCl)

Une fois encore, il y aura « sous-protection » au-delà de ces limites (vers le plus) et « sur-protection » en deçà (vers le moins)³.

La nature et la quantité d'anodes utilisées (incluant les pendants...) ainsi que leur éventuel remplacement à échéance programmée permettra, dans la plupart des cas, de réguler correctement la protection cathodique de votre bateau.

² Ou des équipements métalliques immergés (coques bois/polyester)

³ Attention aux signes négatifs

LES CONSEQUENCES DE LA SUR-PROTECTION

La sur-protection crée les conditions d'une dégradation accélérée des revêtements de protection sous-marins, ainsi que des coques en bois et des pièces en alliages d'aluminium.

Coques Bois

Il y a destruction des fibres du bois aux abords des pièces métalliques protégées (délignification alcaline).

Coques Polyester

Il y a altération des revêtements de protection dans les mêmes conditions (peintures et/ou antifouling).

Coques Acier et Aluminium

Il y a dégradation et risque de décollement des revêtements de protection (peintures et/ou antifouling) par apparition de cloques régulières liées à la production d'hydrogène à la surface du métal, et ce, plus particulièrement dans le cas de l'Aluminium.

Par ailleurs, la sur-protection favorise la colonisation et la prolifération des patelles (berniques).

LES CONSEQUENCES DE LA SOUS-PROTECTION

Plus craintes et mieux connues, elles consistent en une corrosion des métaux, se traduisant par une perte de matière parfois dramatique.

Ainsi, une pollution électrique accidentelle est-elle capable de couler un bateau au mouillage par corrosion électrolytique en seulement quelques mois !

LE POTENTIEL DES EQUIPEMENTS METALLIQUES

Tous les équipements métalliques immergés en continuité électrique doivent présenter le même potentiel (interconnexion).

S'il n'existe pas de système d'interconnexion⁴, ils doivent être individuellement protégés et se situer dans les limites de potentiel indiquées au tableau B.

LES COURANTS DE FUITE

Circulants dans l'eau, c'est une véritable calamité pour les coques et les équipements métalliques immergés car ils provoquent généralement une corrosion électrolytique⁵ très agressive, capable de consommer rapidement les anodes et de détruire irrémédiablement les équipements touchés (la corrosion se produit aux points de sortie !).

LE CIRCUIT CONTINU 12/24 V

Les causes les plus fréquentes concernent :

- **Les fuites électriques** du circuit de bord proviennent souvent d'un câblage défectueux en contact avec les eaux de cale. Ce point est

⁴ Usage controversé

⁵ Dénommée électrolyse en langage plaisance

particulièrement sensible et doit faire l'objet d'une surveillance attentive.

- **Les pertes en ligne du système d'interconnexion** lorsque ce dernier est improprement utilisé comme masse principale du circuit de bord, ou lorsqu'il comporte plus d'une connexion à cette masse, ce qui ne doit jamais être le cas.
- **Un câblage défectueux de la masse électrique** du moteur de propulsion. Ainsi, une résistance de 0.01 ohms provoquera une chute de tension de (+) 200 mV au niveau d'un alternateur couplé de 20 ampères, par simple application de la loi d'Ohm ($U = RI$). Cette chute de tension se traduira dès lors par un courant de fuite empruntant arbre d'hélice ou Z-Drive⁶ avec les conséquences que l'on imagine...

Il est donc primordial, voire vital, d'identifier rapidement l'existence de tels courants de fuite et, le cas échéant, de remédier sans tarder aux problèmes constatés.

Ainsi, en cas de présence constatée d'une fuite électrique, il conviendra de tester séparément les appareils de chaque circuit :

Equipements de bord (liste non exhaustive) :

Producteurs

Chargeur(s) de batterie(s)
Alternateur(s)
Générateur(s)

Consommateurs

Pompes de cale
Pompes de distribution
d'eau douce
Pompes des WC
Broyeurs
Essuie-glaces

⁶ Sur certaines embases les anodes ne sont pas opérationnelles en position relevée

Feux de navigation
Electronique de navigation

LE CIRCUIT ALTERNATIF 110/220 V

La prise de terre⁷ commune du quai vous protège de l'électrocution mais, en contrepartie, communique à chaque bateau connecté des fuites indésirables, créant un couple galvanique destructeur avec les équipements environnants (dont bateaux voisins...).

Bien évidemment les bateaux en bois ou polyester ne sont pas épargnés dans la mesure où ils sont généralement équipés d'arbre(s), hélice(s), embase(s), inverseur(s), échangeur(s), passe-coque(s) et, pour les voiliers, d'une quille...métalliques.

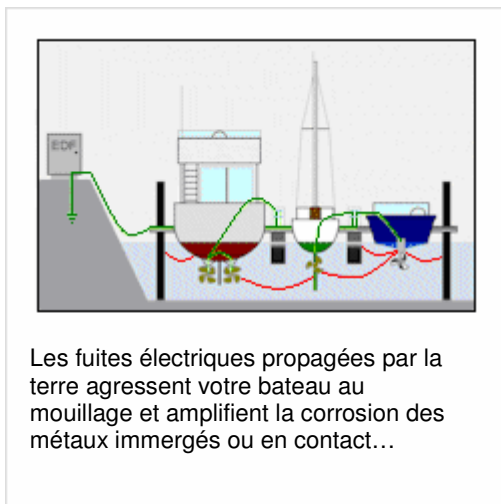
Cette situation est susceptible d'entraîner, outre une consommation excessive des anodes, les différents troubles précédemment évoqués. C'est notamment le cas lorsqu'un écart supérieur à +10 mV est constaté entre deux mesures, avec et sans prise de quai.

De même, la mise en évidence d'un écart supérieur à +100 mV doit impérativement être investiguée afin d'en déterminer la cause, le risque de corrosion électrolytique étant alors bien réel.

Il existe plusieurs dispositifs techniques pour remédier à ce danger : transformateurs d'isolement (très sûrs) et isolateurs à diodes notamment.

⁷ Les règlements de sécurité imposent la présence d'une prise de terre, nécessaire au bon fonctionnement des disjoncteurs différentiels

Il est donc primordial, notamment en cas de mouillage prolongé sous tension alternative, de tester l'isolation galvanique de votre bateau.



LES DIFFERENCES

EAU DE MER / EAU DOUCE

Les besoins en courant de protection sont plus importants en eau de mer mais l'eau douce, moins conductrice, nécessite la création d'un potentiel électro-négatif plus élevé (anodes magnésium (-) 1600 mV vs anodes zinc (-) 1030 mV). Utilisez toujours des anodes formulées pour l'usage envisagé. Ne montez jamais d'anodes magnésium si vous envisagez un séjour en eau de mer sans avis spécialisé.

COQUE ACIER / COQUE ALUMINIUM

Le besoin en courant de protection d'une coque acier en eau de mer côtière est d'environ 20 mA/m² de surface mouillée [cs x longueur flottaison x (largeur + tirant d'eau)] avec $0.6 < cs < 1$ selon la forme de la coque. Il est environ 10 fois inférieur avec une coque aluminium.

COQUE POLYESTER

Le contrôle régulier du potentiel électrique des équipements immergés :

1. Renseigne sur le niveau d'usure et d'efficacité des anodes sans plonger ou sortir le bateau de l'eau
2. Préserve de coûteuses réparations sur l'embase, l'arbre et/ou l'hélice
3. Identifie les éventuelles fuites électriques du bord ou du quai

EN GUISE DE CONCLUSION

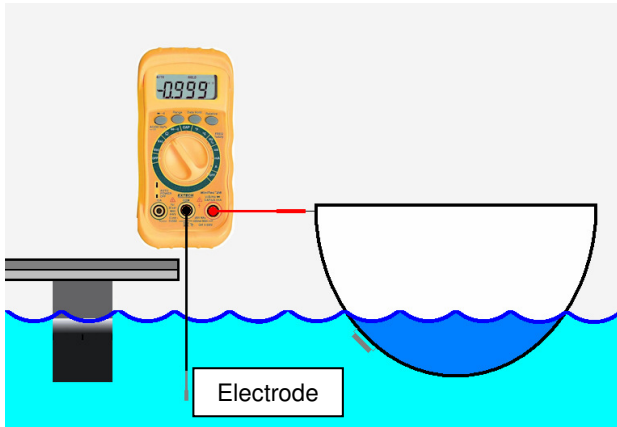
Surveiller vos anodes régulièrement à l'aide d'une électrode de contrôle vous évitera de nombreux problèmes en vous tenant informé de l'intégrité électrique de votre bateau ainsi que de la sécurité de votre mouillage.

www.galvatest.fr

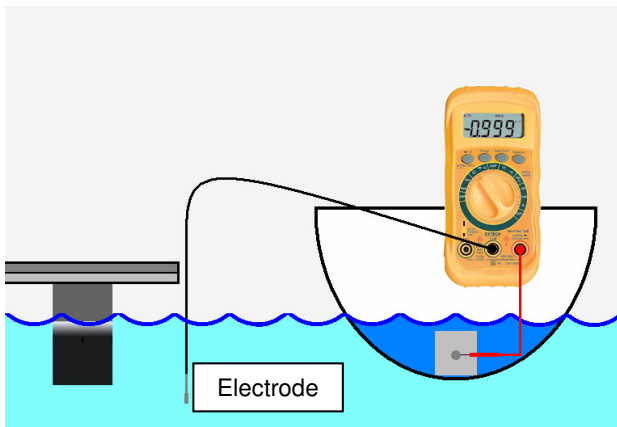
Electrode **EC4870** plaisance



Mesure sur coque métallique



Mesure sur équipement immergé (coque bois et GRP)

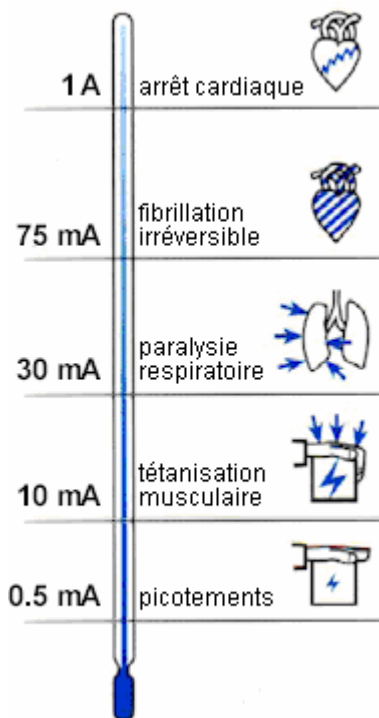


ATTENTION !

Assurez-vous d'être en possession de la dernière version de ce document !



Le réseau alternatif est particulièrement dangereux !



www.galvatest.fr