



Petit Livre Blanc

CORROSION | ELECTROLYSE

LA PROTECTION CATHODIQUE DES PETITS NAVIRES

Bateaux de plaisance et de travail < 24 m



V10 – REVISEE ET AUGMENTEE

www.galvatest.com

For english version, please see last page



Les sondes plongeantes **Galvatest** permettent de déterminer la sensibilité à la corrosion de la coque (acier/alu) ou des équipements métalliques immergés de votre bateau (propulsion) et de réduire ainsi les coûts de maintenance associés.

En mesurant la valeur du potentiel de corrosion des métaux immergés, les sondes **Galvatest** constituent le moyen le plus simple, le plus efficace, le plus fiable et le plus économique pour contrôler l'efficacité de la protection cathodique et détecter la présence de courants de fuite nocifs du bord ou du quai.

LES QUESTIONS QUE VOUS VOUS POSEZ :

- Ai-je suffisamment d'anodes ?
- Sont-elles efficaces ?
- Suis-je victime de courants de fuite nocifs du bord ou du quai ?
- Mes voisins consomment-ils mes anodes ou mon embase (sail ou Z-drive) ?
- Mon système de mise à la masse est-il fonctionnel ?
- Mon isolateur galvanique ou mon transformateur d'isolement sont-ils fonctionnels ?
- Quel est le débit réel de mon contrôleur de courants imposés ?
- Quel est le niveau de protection des caissons, ducs d'Albe et palplanches du port de mouillage ?

Autant de questions auxquelles répond le contrôle élémentaire du potentiel de corrosion de la coque ou des équipements métalliques immergés.

Photo de couverture :

Remplacer un élément corrodé sans avoir correctement diagnostiqué la cause du désordre expose à devoir recommencer à brève échéance...

Notes

SOMMAIRE

- Les questions que vous vous posez
- Introduction
- Un bref état des lieux
- Si ce n'est toi, c'est donc ton frère
- L'échelle galvanique des métaux
- Corrosion galvanique et électrolytique
- Corrosion aérienne et sous-marine
- Les anodes sacrificielles
 - Zinc, aluminium, magnésium
 - Leur composition
 - Le rapport de surface anode/cathode
 - Les autres facteurs d'influence
 - Un peu de bon sens (marin...)
- Le potentiel de corrosion du bateau
 - Les conséquences de la sous-protection
 - Les conséquences de la sur-protection
- La boucle corrosive
 - Aspect galvanique
 - Aspect électrolytique
 - La règle générale
 - Les courants de fuite corrosifs
 - Le circuit continu 12/24 V
 - Le circuit alternatif 110/230 V
- Les défauts de masse
- Les différents contextes
 - Eau de mer/eau douce
 - Coque métallique/GRP (polyester)
- Quelques atteintes courantes
 - Les métaux « oxydo-protégés »
 - La corrosion piqûrante
 - La corrosion caverneuse

- La corrosion filiforme
- La cavitation
- Les pièces d'accastillage
- Les plaques de masse
- Les équipements portuaires
- En guise de conclusion
 - Mesure sur coque métallique
 - Mesure sur équipement immergé
 - Vos mesures

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 d'attaques de corrosion.

Ils sont souvent les conséquences d'un manque, voire, d'un excès 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 (acier ou aluminium), bois ou polyester. Le simple coup d'œil annuel, éventuellement assorti de leur remplacement, n'apporte quant à lui aucune garantie quant à l'efficacité de la protection procurée, les dégâts éventuels apparaissant toujours « a posteriori » !

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

Enfin, l'identification rapide d'éventuels phénomènes électrolytiques reste essentielle, particulièrement lors d'amarrages prolongés sans surveillance particulière (hivernage).

40 mA reçus sur une période de 30 jours détruisent de manière irréversible 10 g. d'aluminium !
--

UN BREF ETAT DES LIEUX

Outre l'acier, les petits bateaux recourent aujourd'hui massivement aux alliages d'aluminium, d'inox et de bronze.

Or, métaux et liquides (dont eau...) ne font généralement pas bon ménage. Afin de protéger les premiers contre la corrosion dévastatrice qui résultera de l'immersion, on met simultanément en œuvre plusieurs techniques complémentaires destinées à limiter les conséquences toujours néfastes de cette cohabitation forcée :

- **L'oxydo-protection**, qui s'appuie sur le développement de la couche naturelle d'oxydation protectrice des métaux concernés,
- **Les systèmes de peinture**, constitués de revêtements techniques isolants, spécialement élaborés,
- **La protection cathodique**, notamment :
 - **Les anodes sacrificielles**, qui délivrent une quantité limitée de courant de protection et équipent la plupart des bateaux.
 - **Les anodes à courant imposé (ICCP)** qui délivrent une quantité régulée de courant de protection et ne se rencontrent, sur les bateaux à coque métallique, qu'au-delà 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 liquide conducteur), et, en conséquence, la perte de matière qui en résulte. Elle 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...

Par ailleurs, 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...

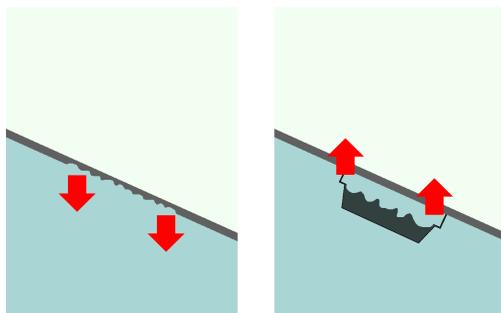
Ainsi, tous les métaux peuvent être classés selon la valeur de leur potentiel de corrosion électrochimique naturel selon l'échelle galvanique et il est relativement aisé de prévoir leur comportement :

Ce potentiel est d'environ (-) 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 par anodes 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.



Les anodes inversent le sens du courant électrique et de la perte de matière résultante en faveur du matériau à protéger...

L'ECHELLE GALVANIQUE DES METAUX

L'échelle galvanique des métaux les classifie du plus au moins anodique selon la valeur de leur potentiel de corrosion (attention au signe conventionnel !) :

Potentiel de corrosion	Corrosion potential	de/from	à/to
Magnésium et ses alliages	Magnesium and its alloys	-1630	-1600
Anode magnésium	Magnesium anode	-1510	-1460
Anode aluminium	Aluminium anode	-1150	-1050
Anode Zinc	Zinc anode	-1090	-1050
Zinc	Zinc	-1030	-980
Alliages d'aluminium	Aluminium alloys	-1000	-760
Acier doux	Mild steel	-710	-600
Fonte	Cast iron	-710	-600
Acier inoxydable 304, actif	Stainless steel 304, active	-580	-460
Acier inoxydable 316, actif	Stainless steel 316, active	-540	-430
Aluminium bronze	Aluminium bronze	-420	-310
Laiton, tous	Brass, all	-400	-300
Cuivre	Copper	-570	-300
Bronze B62	Bronze B62	-310	-240
Plomb	Lead	-250	-190
Acier inoxydable 304, passif	Stainless steel 304, passive	-100	-50
Acier inoxydable 316, passif	Stainless steel 316, passive	-100	0
Graphite	Graphite	200	300

Eau de mer mouvante 10-27°C Flowing sea water 10-27°C

Tableau A (valeurs mV environ à partir de - eau de mer 10 à 27°C - Réf. Ag/AgCl). L'inox s'active lorsqu'immérgé durablement 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 toujours au profit du plus électropositif.

Il s'agit la toutefois 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 « **surprotection** » avec des dégradations pouvant être importantes pour les revêtements (**cloquage**), voire, pour les matériaux eux-mêmes (dégagement d'hydrogène fragilisateur). De plus, la surprotection peut favoriser la prolifération des organismes marins (balanes)...

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.



Revers de la médaille, la protection cathodique favorise la fixation des organismes marins...

CORROSION GALVANIQUE ET ELECTROLYTIQUE

La corrosion est un phénomène multiforme et complexe mettant en jeu un métal et son environnement pour revenir à son état naturel (minerai).

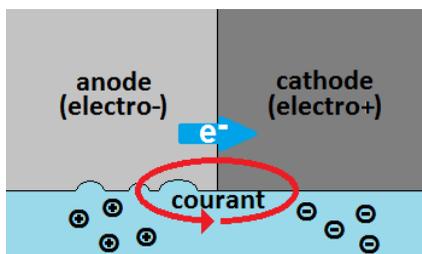
Improprement dénommée « électrolyse » dans le milieu des petits bateaux, elle est le résultat d'un transfert d'électrons pour lequel trois conditions sont impérativement nécessaires :

1. L'existence d'une anode et d'une cathode
2. Leur jonction au moyen d'un lien métallique
3. Leur immersion dans un même électrolyte

Ainsi, stopper la corrosion consiste à supprimer l'une de ces trois conditions.

Concernant les bateaux, on distingue :

- La **corrosion galvanique** se produit toujours lorsque différents métaux en contact, donc en continuité électrique, sont également au contact d'un électrolyte. Il s'agit d'un phénomène naturel d'évolution lente. La corrosion se produit aux points de contact, à l'interface métal/électrolyte.
- Dans un bateau, la **corrosion électrolytique**, de mécanisme identique, implique l'action supplémentaire, rapide et autrement plus nocive, de courants électriques indésirables non contrôlés, produits par une source extérieure (fuite d'un circuit électrique...). Ces courants, dits de fuite, vont rejoindre la mer (potentiel 0 V) par le chemin de moindre résistance. Accidentelle et très agressive en raison de l'apport d'énergie ainsi réalisé, cette dernière peut et doit donc être constamment détectée et évitée.



Rappelons que les électrons « quittent » l'anode via le lien métallique avec la cathode (à l'inverse du sens conventionnel du courant électrique). Ils ne savent pas « nager » : au sein de l'électrolyte, les transferts de charge sont assurés par les ions.

CORROSION AERIENNE ET SOUS-MARINE

Si les mécanismes de la corrosion aérienne sont similaires à ceux de la corrosion sous-marine il existe néanmoins une différence fondamentale liée à l'environnement : la présence d'un électrolyte - liquide conducteur - est permanente en immersion. Cette seule rend le danger omni-présent et potentiellement dangereux. Elle impacte le choix des moyens de protection et des éventuelles mesures de correction à mettre en œuvre.

Par ailleurs alors que la corrosion aérienne provoque essentiellement des atteintes esthétiques, notamment sur les pièces d'accastillage soudées ou serties, la corrosion sous-marine ne se remarque visuellement que lorsque le bateau est à terre, souvent une fois l'an et lorsque cela est trop tard.

LES ANODES SACRIFICIELLES

Sacrificielles, car elles se sacrifient au profit des métaux protégés et sont, en contrepartie, à surveiller et remplacer régulièrement. Elles ne doivent jamais être peintes et il peut s'avérer nécessaire de les griffer à la mise en service, mais jamais avec de l'acier...

Elles présentent toujours un potentiel plus électro-négatif que celui des métaux à protéger et la quantité de courant de protection qu'elles délivrent durant une période donnée est autorégulée selon :

- *Leur nature (Zn, Al ou Mg)*
- *Leurs dimensions (taille, poids)*
- *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. La résistance mesurée entre une anode et le métal qu'elle protège ne doit pas excéder 1 ohm.

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 privilégier. En effet, plus sensibles, des anodes en Magnésium s'y useraient très rapidement et entraîneraient un phénomène de sur-

protection. Elles sont donc à réserver prioritairement pour l'eau douce.

A 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 20% 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, soit 0.1 A sur 46 semaines...

LEUR COMPOSITION

La composition des anodes est essentielle à leurs bonnes performances. En particulier, la moindre impureté est susceptible de les neutraliser : c'est la raison pour laquelle elles ne doivent jamais être nettoyées avec une brosse en acier.

Il s'agit toujours d'alliages de leur composant principal et leurs caractéristiques physico-chimiques sont généralement fixées par les standards militaires dont les plus courants sont les normes US Mil. (USA) et Marine Nationale (France).

Capacité approximative des alliages utilisés :

- Zinc 750 Ah/kg
- Aluminium 2 500 Ah/kg
- Magnésium 1 250 Ah/kg

A noter qu'afin d'éviter passivation et inversion de potentiel, les anodes Aluminium sont activées par adjonction d'Indium, un matériau critique assez coûteux.

LE RAPPORT DE SURFACE ANODE/CATHODE

Plus la surface de la cathode est importante par rapport à celle de l'anode, plus il est défavorable. La peinture de la cathode permet alors de le modifier favorablement.

LES AUTRES FACTEURS D'INFLUENCE

Outre le rapport de surface anode/cathode, les conditions de mouillage influent fortement sur l'activité électrique résultante, donc sur les besoins en courant de protection et la consommation des anodes. Les propriétés à prendre en compte concernant la consommation des anodes sont (valeurs indicatives) :

- La vitesse de l'eau sous la coque
(x 2 de 0 à 1000 l/h)
- Sa conductivité
- Sa salinité
- Sa température
(x 2 de 0 à 45°C)
- Son pH
(x 5 de 2 à 10)

UN PEU DE BON SENS (MARIN...)

De tout ce qui précède vous pouvez déduire que la durée de vie de vos anodes n'est pas, 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 surconsommation, qui doit, quant à elle, obligatoirement vous alerter afin d'en rechercher les causes...

¹ Leur non consommation absolue restant toutefois anormale

LE POTENTIEL DE CORROSION DU BATEAU

La mesure du potentiel de corrosion « E_{corr} » de la coque ou des équipements métalliques immergés du bateau s'effectue à flot à l'aide d'une sonde de contrôle plongeante correctement calibrée, (électrode de référence Ag-AgCl).

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.

Les mesures de potentiel recommandé des métaux immergés doivent se situer dans les plages :

Matériau de coque	Hull material	de/from	à/to
Polyester fibre de verre	Polyester fiberglass	-1100	-550
Bois	Wood	-600	-550
Aluminium	Aluminium	-1100	-950
Acier	Steel	-1100	-850
Embase aluminium	Aluminium drive	-1100	-950
Eau de mer mouvante 10-27°C	Flowing sea water 10-27°C	mV vs	Ag/AgCl

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

Il y a « sous-protection » au-delà de ces limites (vers le plus) et « surprotection » en deçà (vers le moins). La nature et la quantité d'anodes utilisées (pendanodes incluses...) ainsi que leur éventuel remplacement à échéance programmée permettra, dans la plupart des cas, de réguler correctement la protection cathodique de votre bateau.

LES CONSEQUENCES DE LA SOUS-PROTECTION

Craintes et bien connues, elles consistent en une corrosion destructive des métaux, se traduisant par une perte de matière parfois dramatique.

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

LES CONSEQUENCES DE LA SUR-PROTECTION

La surprotection 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. Elle est également susceptible de provoquer la fragilisation des métaux atteints.

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 des pièces métalliques (peintures et/ou antifouling).

Coques Acier et Aluminium

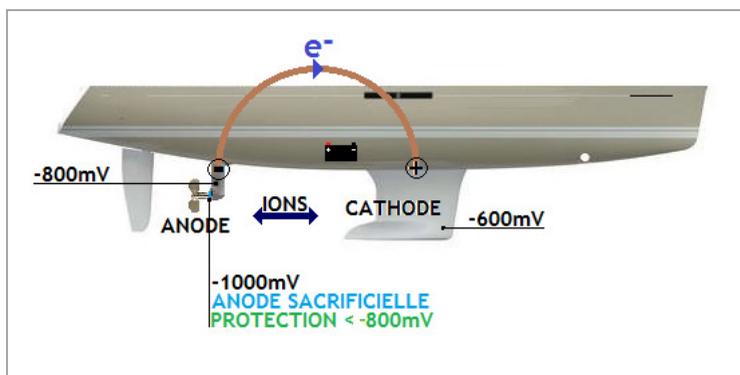
Il y a dégradation et risque de décollement des revêtements de protection (peintures et/ou antifouling) par apparition de cloques régulières liées à la production d'hydrogène à la surface du métal, et ce, plus particulièrement dans le cas de l'Aluminium.

Par ailleurs, la surprotection favorise la colonisation et la prolifération des organismes vivants.

LA BOUCLE CORROSIVE

La boucle corrosive est l'unique responsable de la corrosion des équipements métalliques immergés. Elle peut être de nature galvanique, électrolytique ou bien les deux à la fois.

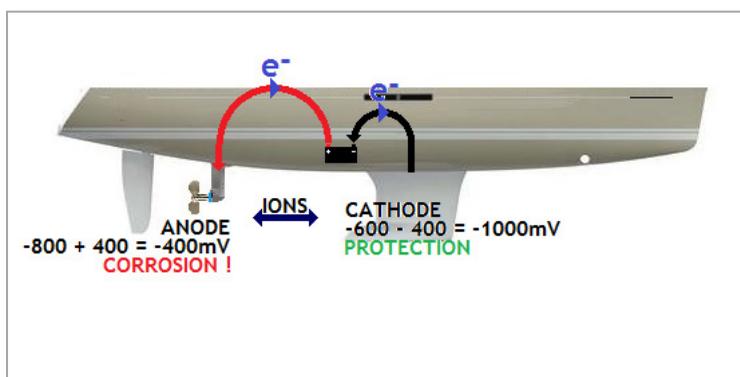
ASPECT GALVANIQUE



Lorsqu'il existe une liaison métallique, volontaire ou accidentelle entre deux métaux de nature différente (arc brun), il y a circulation d'un courant naturel de la cathode à l'anode et circulation d'électrons dans le sens inverse. L'anode est alors le métal présentant le potentiel le plus électronégatif. Dans l'électrolyte (l'eau), ce sont les ions, positifs ou négatifs, qui ferment la boucle et assurent le transfert de charge. Le métal qui assure la sortie du courant perd ses électrons, s'oxyde et se corrode (le carter de sail-drive). Les électrons quittant toujours le métal le plus électronégatif, il suffit donc, pour le

protéger efficacement, de créer une nouvelle liaison métallique avec un métal plus électronégatif que lui-même. C'est le rôle de l'anode sacrificielle et le principe de la protection cathodique : le carter de sail-drive devient ainsi cathode au lieu d'anode et se trouve en conséquence protégé.

ASPECT ELECTROLYTIQUE

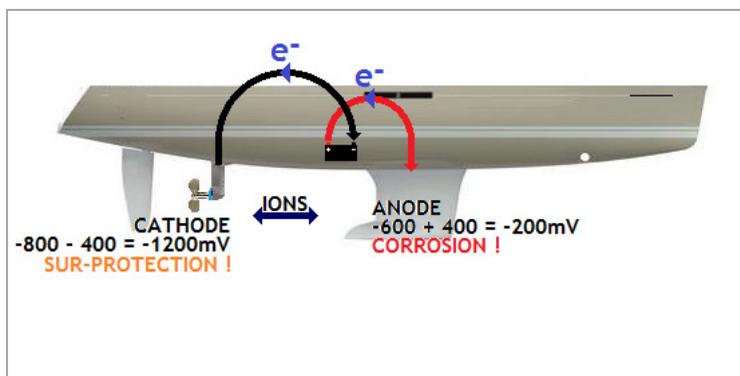


Dans un contexte similaire, lorsque s'ajoute au courant galvanique naturel un courant extérieur, volontaire ou accidentel (fuite), le métal connecté au (+) devient l'anode. Le courant circulant toujours de la cathode à l'anode et les électrons en sens inverse, il renforce ainsi le courant de corrosion de la boucle galvanique : Conformément à la loi d'Ohm, le sail-drive est d'autant plus en danger que le courant est durablement intense, la perte de matière résultante obéissant aux **lois de Faraday**². Attention ! Dans une boucle électrolytique, les polarités sont à l'inverse de celles d'une boucle

² Voir calculateur sur le site Galvatest

galvanique ! La logique d'ensemble est toutefois conservée.

Ainsi, un sail-drive en aluminium dont le potentiel est de (-) 800 mV (sans anode sacrificielle) « gagnera » 400 mV (exemple) et passera ainsi à (-) 400 mV, valeur très supérieure à son potentiel de corrosion. Plus ce potentiel sera élevé, plus les dégâts seront rapides et importants.



Il est un cas, toutefois, où le courant extérieur, toujours accidentel ou non, peut s'avérer bénéfique. En effet, le métal connecté au (-) devient la cathode et reçoit des électrons, ce qui a pour résultat d'abaisser son potentiel et le protège de la corrosion. La boucle galvanique est inhibée : c'est le principe de la protection active. La quantité de courant doit toutefois être adaptée en conséquence, au risque de surprotéger le métal en question. Attention ! Lorsqu'un métal est fortement surprotégé, il perd ses revêtements de protection (peinture) et peut se fragiliser. Ainsi en est-il de l'aluminium, particulièrement sensible à la surprotection.

LA REGLE GENERALE

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

S'il n'existe pas de système d'interconnexion³, ils doivent au besoin être individuellement protégés et se situer dans les limites de potentiel indiquées au tableau B.

LES COURANTS DE FUITE CORROSIFS

Créant une boucle corrosive dans l'eau, c'est une véritable calamité pour les coques et les équipements métalliques immergés car ils provoquent généralement une corrosion électrolytique⁴ très agressive, capable de consommer rapidement les anodes et de détruire irrémédiablement les équipements touchés (rappel : la corrosion se produit aux points de sortie du courant !).

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 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

³ Usage controversé

⁴ Dénommée électrolyse en langage plaisance

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 (+) 100 mV au niveau d'un alternateur couplé de 10 ampères, par 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 embase S-Z Drive⁵ 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 d'une fuite électrique, il conviendra de tester séparément les appareils de chaque circuit afin d'identifier le coupable :

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 de WC
Broyeurs
Essuie-glaces
Feux de navigation
Electronique de navigation

⁵ Sur certaines embases les anodes ne sont pas opérationnelles en position relevée

LE CIRCUIT ALTERNATIF 110/230 V

L'implication des courants alternatifs en matière de corrosion n'est pas clairement démontrée.

Toutefois, si la prise de terre⁶ commune du quai vous protège de l'électrocution, en contrepartie, elle permet la circulation de fuites indésirables au niveau de chaque bateau connecté, créant possiblement des couples galvaniques destructeurs 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.

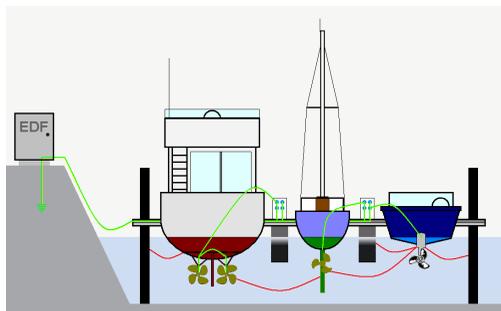
Cette situation est susceptible d'entraîner, outre une consommation excessive des anodes, les différents troubles précédemment évoqués. C'est notamment le cas lorsqu'un écart supérieur à +10 mV est constaté entre deux mesures, avec et sans prise de quai.

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.

⁶ 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 d'amarrage prolongé sous tension alternative, de tester l'isolation galvanique de votre bateau.



Les fuites électriques propagées par la terre agressent votre bateau au mouillage et amplifient la corrosion des métaux immergés ou en contact...

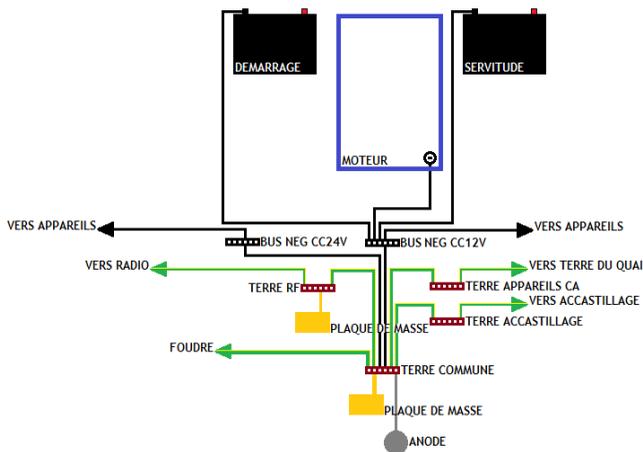
LES DEFATS DE MASSE

Les défauts de masse sont susceptibles de provoquer des défaillances importantes, en particulier sur les coques métalliques. Ils font l'objet d'un bulletin technique spécial édité par Galvatest.⁷

De fait, et, en matière de corrosion, une distribution électrique bifilaire reste une évidence et le câblage approprié du circuit de masse correspondant fondamental : en effet, c'est par lui que transiteront la plupart des fuites électriques.

⁷ Nota Amplia : La controverse des masses

- La masse, c'est la plus grande surface conductrice d'un système quelconque
- L'équipotentialité, c'est, dans le cadre d'une pluralité de systèmes, la mise au même potentiel de l'ensemble de leurs masses afin de constituer une masse unique
- La terre, enfin, c'est le potentiel de sécurité de l'ensemble des systèmes. En pratique, c'est celui que nous avons sous les pieds... Et à flot, la terre... c'est la mer !



Câblage type du circuit de masse : le diamètre des conducteurs est adapté aux puissances véhiculées et position dans le schéma

Le circuit de masse doit obéir à des règles strictes de conception et de câblage obéissant aux règles fondamentales de l'électricité. En particulier, le respect du **point unique** de masse réunissant les connexions à la mer de tous les circuits va s'avérer essentiel en matière de prévention de la corrosion sous-marine.

LES DIFFERENTS CONTEXTES

EAU DE MER / EAU DOUCE

Les besoins en courant de protection sont plus importants en eau de mer mais l'eau douce, moins conductrice et plus variée, nécessite la création d'un potentiel électronégatif plus élevé (anodes magnésium (-) 1600 mV vs anodes zinc (-) 1030 mV). Utilisez toujours des anodes formulées pour l'usage envisagé. Enfin, ne montez jamais d'anodes magnésium si vous envisagez un séjour en eau de mer supérieur à deux semaines.

COQUE METALLIQUE / GRP (POLYESTER)

Le besoin en courant de protection de l'acier en eau de mer côtière est d'environ 20 mA/m² de surface mouillée. Il est environ 10 fois inférieur pour l'aluminium.

La perte de matière subie obéit aux lois de Faraday⁸. Ainsi, une perte de matière de 10 g constatée sur une durée de 21 jours correspond à un courant de fuite de :

- 9 A pour l'acier
- 28 A pour l'aluminium

Le contrôle régulier du potentiel 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. Identifie les éventuelles fuites électriques du bord ou du quai
3. Préserve de coûteuses réparations sur l'embase, l'arbre et/ou l'hélice

⁸ Voir calculateur sur le site Galvatest

QUELQUES ATTEINTES COURANTES

Outre qu'il convient de distinguer entre corrosion aérienne et corrosion immergée, toute corrosion est liée à un déplacement d'électrons de l'anode vers la cathode. Il convient toutefois de bien garder à l'esprit qu'une corrosion aérienne n'est pas liée à un courant de fuite et qu'une corrosion immergée ne l'est pas systématiquement !

LES METAUX « OXYDO-PROTEGES »

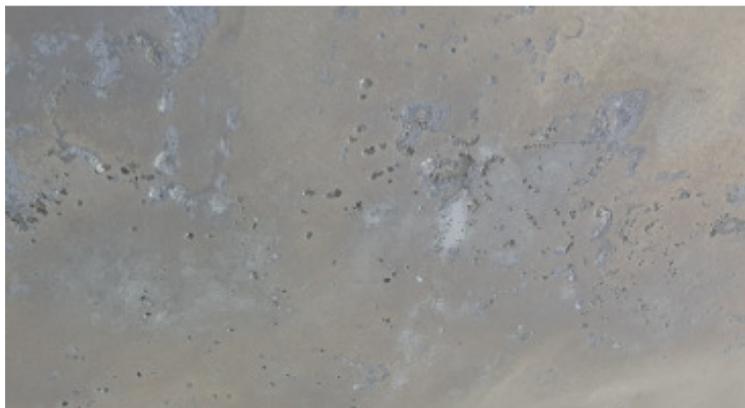
A l'exception de l'acier, qui subit spontanément une corrosion non stabilisée et destructrice en profondeur⁹, les principaux métaux immergés en usage sur les petits bateaux ne sont pas immunes contre la corrosion. En effet, ils sont tous constitués d'alliages protégés par une couche d'oxydation naturelle de quelques nanomètres et/ou artificielle de quelques microns d'épaisseur :

- l'**aluminium**, protégé par une couche d'oxyde d'aluminium, renforcée lorsque anodisé,
- l'**acier inoxydable**, protégé par une couche d'oxyde de chrome,
- le **bronze**, protégé par une couche d'oxyde de cuivre. A noter que ce dernier ne contient jamais de zinc !

Ces métaux « **oxydo-protégés** » étant particulièrement sensibles aux différentes atteintes présentées ci-après, il convient de s'assurer de la bonne constitution de leur couche d'oxydation protectrice, préalablement à leur mise en service à la mer et, plus particulièrement concernant les NAB (Nickel Aluminium Bronze)..

⁹ A l'exception des aciers spéciaux

LA CORROSION PIQRANTE



La corrosion par piqûres concerne la plupart des métaux protégés par une couche naturelle d'oxydation protectrice : aluminium, acier inoxydable et bronze (NAB = nickel-aluminium-bronze) mis en présence de chlorures (milieu salin).

Les piqûres, plus ou moins larges et profondes, apparaissent tant sur les œuvres vives que mortes. Ce type de corrosion est souvent initié par une défaillance localisée de la couche naturelle d'oxydation sous l'effet des ions chlorures et est accentuée par l'alternance de conditions sèches et humides. Elle apparaît souvent assez rapidement mais tend à se stabiliser sans occasionner de dégâts majeurs. Elle est, dans ce cas, efficacement prévenue en immersion par la protection cathodique en place. Toutefois, en particulier lorsqu'elle est accentuée électrolytiquement, elle peut conduire au percement du substrat.

LA CORROSION CAVERNEUSE



Très proche de la corrosion par piqûres, la corrosion caverneuse (ou par crevasses) se produit au niveau des zones présentant un accès restreint à l'oxygène nécessaire au maintien de la couche naturelle d'oxydation. C'est typiquement le cas sous une rondelle ou une tête de boulon, par exemple, ou encore, sous une bague, cerclage ou un évidement enserrant imparfaitement un arbre d'hélice ou une mèche de safran, comme sur l'illustration ci-dessus. Là encore, une protection cathodique appropriée permettra d'en limiter les effets.

LA CORROSION FILIFORME



La corrosion filiforme concerne principalement les œuvres mortes et espars en aluminium revêtus d'une couche de peinture. Elle prend la forme de filaments et excroissances en surimpression, toujours originaires d'un évidement ou d'un alésage, progressant radialement selon des directions aléatoires. Elle se produit généralement dans les conditions d'humidité relative supérieure à 55% et affecte négativement l'aspect des éléments impactés sans porter atteinte à leurs capacités fonctionnelles. Elle est ici accentuée par la corrosion galvanique sous-jacente provoquée par le pontet et les rivets en acier inoxydable, cette dernière étant par ailleurs susceptible de fragiliser la fixation. Se produisant à l'air libre, donc en l'absence de permanence de l'électrolyte, la protection cathodique n'est, ici, d'aucune utilité.

LA CAVITATION



La cavitation affecte principalement les hélices de propulsion et turbines de pompes.

A ne pas confondre avec la ventilation – quand l'hélice est proche de la surface – la cavitation consiste en l'implosion de bulles de vapeur sur l'extrados de chaque pale et est souvent liée à l'inadéquation entre l'hélice atteinte et les paramètres de la motorisation. Elle s'accompagne toujours d'une corrosion consécutive localisée très caractéristique, pouvant être utilement contrecarrée par une protection cathodique adéquate.

Lorsqu'elles sont constituées d'un alliage cupro-aluminium, les pales d'hélice peuvent prendre une coloration rougeâtre, ce dernier élément se consommant sacrificiellement au profit du cuivre résiduel, les rendant alors friables et impropres aux efforts demandés.

LES PIÈCES D'ACCASTILLAGE

Les pièces d'accastillage souffrent principalement de corrosion aérienne, en particulier .

- **Balcons et chandeliers inox**

Des phénomènes de corrosion liés à un appauvrissement en chrome peuvent se manifester à proximité immédiate des cordons de soudure en raison d'une maîtrise insuffisante de la température de soudage.

- **Filières inox**

La corrosion apparaît généralement au niveau des sertissages en raison de la présence fréquente de zones humides contenant des chlorures.

LES PLAQUES DE MASSE

Les plaques de masse en bronze exigent un câblage rigoureux, particulièrement en ce qui concerne l'équipotentialité. Elles sont constituées de micro-billes de bronze agglomérées destinées à accroître la surface de contact à la mer et deviennent extrêmement brillantes lorsque sujettes à fuites électriques. Elles doivent impérativement être installées en respectant les normes en vigueur (voir schéma précédent).

LES EQUIPEMENTS PORTUAIRES

Les caissons, ducs d'Albe et palplanches ne sont pas épargnés par la corrosion. En général, leur design leur confère une durée de vie initiale d'environ 20 ans. A l'issue de cette première période, et, nonobstant une surveillance régulière, il est vraisemblable que des mesures de protection soient rendues nécessaires. Toutefois, en raison des atteintes existantes de l'équipement considéré, elles ne protégeront celui-ci que pour une période plus courte que la période initiale.

Duc d'Albe/Pile

Une solution de protection cathodique est nécessaire à l'issue de la durée de vie du revêtement initial.

Cathodic protection solution is necessary at end of service life of initial coating.

Marées /Tides : A+B+C+D+E+F
Autres /Others : A+D+E+F

virulence de la corrosion



A Zone aérienne

Aerial zone

B Zone "splash" haute

High attack splash zone

C Zone de marnage

Intertidal zone

D Zone "splash" basse

High attack splash zone

E Zone d'immersion permanente

Permanent immersion zone

F Zone d'enfouissement

Perte typique d'épaisseur/Typical thickness loss/Ans/years/mm

Eau/Water	Zone	5	25	50
Douce/Fresh	Splash	0.15	0.55	0.90
Polluée/Poluted	Splash	0.30	1.30	2.30
Salée/Salted	Splash	0.55	1.90	3.75
Salée/Salted	Marnage/Tidal	0.25	0.90	1.75

Informations non contractuelles délivrées sous réserves.
Non contractual informations delivered under reserves.

EN GUISE DE CONCLUSION

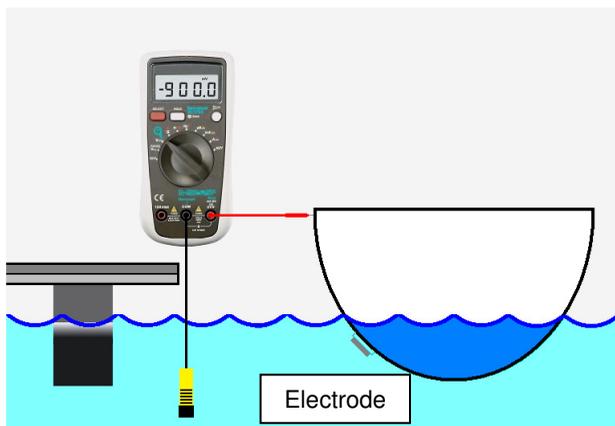


La corrosion est un phénomène complexe et multiforme. Elle se produit toujours à l'interface matériau-électrolyte. Surveiller régulièrement le potentiel de corrosion de vos coques ou équipements métalliques **immergés** à l'aide d'une électrode de contrôle vous évitera de nombreux problèmes en vous tenant informé de l'efficacité de votre protection cathodique, de l'intégrité électrique de votre bateau ainsi que de la sécurité de votre mouillage. En effet, ce contrôle vous indique le niveau de performance de vos anodes et permet de détecter les courants de fuite nocifs du bord ou du quai qui transitent toujours à la mer. Il s'applique également aux équipements portuaires métalliques immergés.

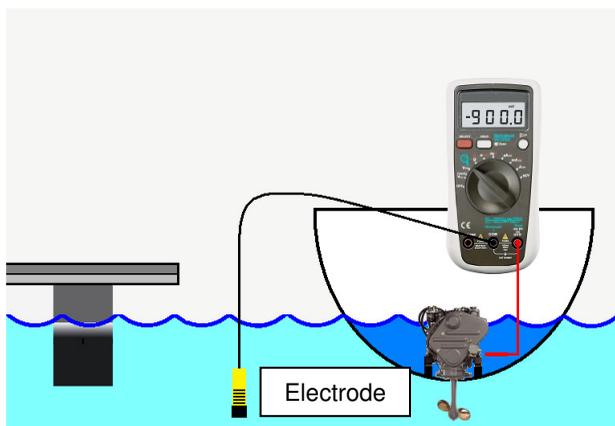
Il convient de toujours distinguer corrosion aérienne et corrosion immergée (sous-marine...), cette dernière se distinguant par la permanence de l'électrolyte, permettant seule la mesure du potentiel de corrosion des éléments métalliques immergés par lesquels sont susceptibles de transiter, en provoquant la corrosion correspondante, les courants de fuite indésirables.

Enfin, Galvatest publie de multiples bulletins techniques additionnels concernant la corrosion des bateaux sur son site internet.

Mesure sur coque métallique (acier et aluminium)



Mesure sur équipement immergé (coque bois et GRP)



ATTENTION !

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

Contrôlez régulièrement votre bateau !

A retenir...

1. La mesure instantanée du potentiel de corrosion d'une coque métallique ou d'une propulsion indique s'ils sont protégés par les anodes et/ou victimes d'un courant de fuite
2. Parce qu'ils s'échappent toujours à la mer par les métaux qu'ils corrodent, les courants de fuite responsables se recherchent toujours dans l'eau
3. Une variation de quelques dizaines de mV de la mesure à la mise en service d'un circuit électrique indique un courant de fuite affectant ce circuit
4. Le sens et l'intensité de la variation permettent de préciser la dangerosité et l'urgence de la situation



dernière version FR



last edition EN

