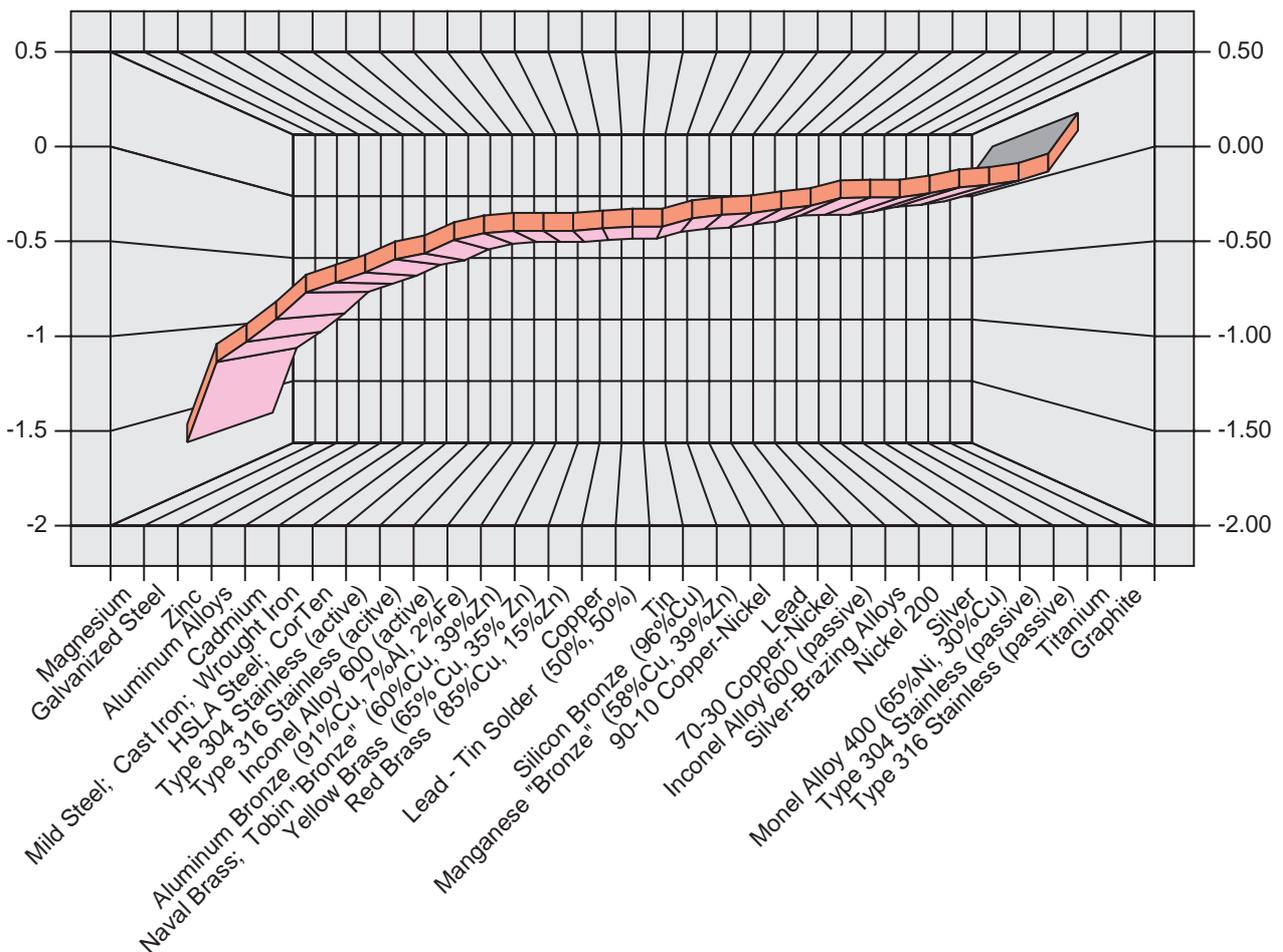


Corrosion, Zincs & Bondings

Average Voltage in Seawater



The Metal Boat Society

6251 Goodhew Road
Sedro-Woolley, Wa. 98284

The Metal Boat Society is a volunteer, nonprofit organization open to anyone sharing its dedication to the international promotion of metal-hulled boats. Founded in October 1987, the Society's membership is based in the US, Canada, and abroad.

President: Pete Silva
Vice President: Gary Noble Curtis
Secretary: Teri Silva
Treasurer: Carol Parks
Membership Promotions: Pete & Teri Silva
Librarian: John Parks

Send your ideas and questions regarding the next MB Festival directly to Pete Silva at the following address... Also, send both commercial and regular MBS Membership queries, payments, changes of address, and requests for our member list (\$35.00) to:

The Metal Boat Society
6251 Goodhew Road
Sedro-Woolley, Wa. 98284

360-856-5316 eves
360-856-5298 days

Our officers meet periodically to conjure and scheme how to keep the MBS alive. Our members meet once a year at the annual Festival, and every three months right here through the Metal Boat Quarterly.

*Look at the mailing label on the back page for the date of your membership expiration. **Renew early!***

The Metal Boat Quarterly

PO Box 991
Port Townsend, Wa. 98368

Editor & Publisher: Michael Kasten

The Metal Boat Quarterly is usually published during January, April, July, and October, by The Metal Boat Society.

*Metal Boat Quarterly © 1998 Michael Kasten
Metal Boat Society Logo © 1998 Dana Snyder*

Deadlines for contributions to the Quarterly are the middle of the month prior to publishing, as above. MBQ Classified Ads have the same deadline.

All opinions expressed in the Metal Boat Quarterly are those of the authors. The Metal Boat Society takes no responsibility for the use or misuse of the information contained herein. Nothing printed herein may be reproduced without prior written permission from the authors, and the Metal Boat Society.

Send all editorial contributions, letters, questions for the Boat Doctor, articles, drawings, boat designs, recipes, cruising stories, advertising (classified or otherwise), etc. to:

Michael Kasten, Editor
The Metal Boat Quarterly
PO Box 991
Port Townsend, Wa. 98368

360-385-6407 Ph
360-385-6409 Fax

redpath@olympus.net

Contributions to the MBQ, along with questions for the Editor or for the Boat Doctor, may be made via the internet directly to Michael Kasten at redpath@olympus.net.

Membership in the Metal Boat Society includes receiving the Metal Boat Quarterly.

Corrosion, Anodes & Interconnexion

Édition Spéciale, Été 1998 ²

Ce petit fascicule, conjointement à l'Édition Spéciale précédente d'été, "la Référence des Métaux Marins" (Marine Metals Reference) fait partie d'un travail plus vaste, "le Guide des Métaux Marins" (Guide to Marine Metals).

Le texte présenté ici se préoccupe de la tendance moderne vers des bateaux de plus en plus complexes. Des opinions sont exprimées, mais suffisamment d'information est fournie pour permettre au lecteur de se faire son propre jugement. Mon but avec ces Éditions Spéciales de MBQ a été de fournir une ressource clairement présentée, simple et concise à l'intention des concepteurs de bateau, des constructeurs de bateau et des propriétaires de bateau.

Les illustrations sur la première et la quatrième de couverture comportent les diagrammes des séries galvaniques qui constituent l'élément de base de vos décisions concernant les métaux.

En tant que canotier ³, un de nos soucis principaux est la préservation de nos bateaux et de leurs diverses parties métalliques. À cette fin, il est essentiel que nous développions une connaissance pratique des différents métaux et de la manière dont ils réagissent lorsqu'ils sont immergés ensemble dans l'eau de mer. Non seulement devons-nous savoir quels métaux toléreront quels autres métaux ou quelles combinaisons seront couronnées de succès, mais nous devons aussi avoir des connaissances sur l'électricité et les métaux dans l'eau de mer.

Mettez ensemble, dans l'eau de mer, des métaux et de l'électricité et vous avez une source potentielle de problèmes. Les règles de base pour empêcher la Corrosion Galvanique par l'utilisation appropriée d'anode ou par l'interconnexion des pièces métalliques sont traitées à fond ici et ensuite récapitulées dans une brève table de référence.

Le désordre dans lequel on peut être plongé par l'ignorance des métaux marins et de leurs utilisations correctes est souvent incroyable. Un morceau gravement corrodé est peut être ce qui maintient encore votre bateau à flot. S'il part, le bateau partira! La connaissance anticipée et la vigilance sont essentielles.

Il y a de grandes différences d'opinion à propos de l'**interconnexion** des masses métalliques ⁴ -les raisons de l'utiliser et les raisons de ne pas l'utiliser. Les questions principales ne sont pas là où l'on s'y attendrait!

Les questions concernant la corrosion, les anodes et l'interconnexion sont donc suffisamment importantes pour qu'une Édition Spéciale entière soit consacrée au sujet.

Ce chapitre du *Guide des Métaux Marins* est la partie qui sera la première démodée, au fur et à mesure que de nouvelles pratiques et de nouvelles technologies exerceront leur pression sur nous. Il est basé sur mon expérience personnelle et une certaine quantité de recherches, mais je serai enchanté de recevoir les réactions techniques d'autrui.

J'ai essayé de présenter une image suffisamment complète pour que des lecteurs à différents niveaux d'implication soient à même de se former leur propre jugement sur la meilleure manière de se protéger, eux et leurs bateaux.

- Michael Kasten

5

¹ **Page 3** du document original, la traduction ne permettant pas de conserver pas la pagination d'origine, celle-ci sera rappelée à chaque changement de page afin de faciliter d'éventuelles vérifications, d'identifier des contresens ou des passages obscurs liés à la traduction.

² La version originale de cet article, en langue américaine, est accessible à <http://www.kastenmarine.com/mbqCref.pdf>

³ *boater* est plus vaste que plaisancier, marin, ..., reste batelier ou canotier

⁴ *bonding*

⁵ **Page 4**

Corrosion, Anodes & Interconnexion

Michael Kasten

Extraits d'un travail en cours plus vaste par Michel Kasten : "le Guide Marine des Métaux." Ceci est le chapitre traitant de la corrosion et des questions concernant sa prévention. Il est présenté ici comme un service à la Société des Bateaux Métallique (Metal Boat Society), pour que ses membres puissent prendre des décisions informées à l'occasion de la conception, la construction, la réparation et, plus important encore, pour une navigation à voile sans dangers!

"Bonding? Not for me!"
-Giffy Full, hero.

La corrosion est un processus de dégradation du métal. Deux types de corrosion sont à considérer lors de l'utilisation de métaux sur un bateau.

La corrosion **mécanique**, comme par exemple la cavitation sur les pales d'une hélice, est une forme sélective de corrosion. Elle peut apparaître aussi sur le côté humide des chemises d'un moteur diesel à cause de vibrations à haute fréquence.

La corrosion **électro-chimique** est liée à la présence d'un électrolyte, solution conductrice d'électricité grâce à la présence d'atomes (ou groupe d'atomes) chargés électriquement : les ions. Un ion est un atome qui soit a capturé un ou plusieurs électrons supplémentaires (ion négatif, anion) soit a perdu un ou plusieurs électrons (ion positif, cation). Corrosion mécanique et corrosion chimique se produisent toutes deux à la surface du métal ou elles peuvent interagir avec l'eau salée environnante.

Les métaux ont une charge électrique intrinsèque qui permet de maintenir la cohésion de leurs molécules. Cette charge varie faiblement, son **potentiel** peut dépendre de la température et de la teneur en sel, en air et en polluants de l'eau de mer.

Vous pourrez constater, sur le tableau des potentiels galvaniques des métaux⁷ au verso de ce numéro, une progression de ces potentiels (tension, en Volt) des métaux les moins nobles (tensions les plus négatives) vers les métaux réputés les plus nobles (tensions les moins négatives).

Lorsque deux métaux de potentiel galvanique différent sont reliés entre eux et plongés dans un électrolyte tel que l'eau de mer, leurs charges respectives sont "égalisées". Le métal le moins noble est *dépouillé de sa charge protectrice intrinsèque* et ne peut empêcher ses propres atomes ou molécules d'être capturés par les ions chlorures présents dans l'eau de mer. C'est la corrosion **électro-chimique**.

Les métaux les moins nobles (dit **anodiques** ou electro-négatifs) sont sacrifiés au profit des métaux les plus nobles présents dans un milieu électrolytique et avec lesquels ils sont en contact galvanique. Le métal le plus noble est dit **cathodique** (soit positif soit simplement moins négatif)

Le métal le moins noble est le donneur, le plus noble le receveur.

⁷ La série galvanique, l'échelle galvanique.

⁸ La “*corrosion galvanique*” apparaît lorsque deux métaux dissemblables et électriquement reliés sont plongés dans un électrolyte, constituant une cellule galvanique, une pile. Le courant produit peut être mesurable et même être utilisé. La corrosion du métal le plus noble sera réduite aux dépens du métal le moins noble qui sera corrodé plus rapidement.

Deux métaux dissemblables plongés dans un électrolyte mais *non reliés entre eux* se corroderont chacun à leur rythme naturel, il n’y aura pas de pile et pas non plus de corrosion ou de protection augmentée.

La “*corrosion par courant de fuite*” se produit lorsqu’un courant – le *courant de fuite* - quitte le chemin qui lui est à priori destiné et passe par le bateau ou ses équipements sous-marins. C’est une forme de corrosion beaucoup plus violente. Les courants de fuite peuvent être la cause de consommation très rapide de métaux, limitée uniquement par la quantité de courant disponible. Un court circuit franc entrainera un taux de corrosion extrêmement important.

Le mot “*électrolyse*” désigne tous les processus électro-chimiques, y compris la corrosion galvanique, la corrosion par courant de fuite ainsi que certains processus de dépôt de revêtement métalliques, d’épilation, ... Le terme d’*électrolyse* est souvent incorrectement utilisé dans le sens restreint de *corrosion par courant de fuite* alors qu’il englobe tous les phénomènes de corrosion impliquant un courant électrique.

Au sens strict, le terme *électrolyse* désigne une transformation chimique au sein d’un électrolyte traversé par un courant électrique. Dans le cas de la *corrosion galvanique* il y a aussi un courant électrique, mais il est créé par les charges intrinsèques différentes des métaux dissemblables.

Les surfaces des équipements métalliques⁹ victimes de corrosion significative, quelle que soit la nature de l’électrolyte mise en jeu, se reconnaîtront à une érosion brillante, comme s’ils avaient été récemment sablés. L’aluminium et l’acier seront de couleur argentée, brillante. On retrouvera la même apparence au niveau des surfaces victimes de *corrosion par cavitation*.

Anodes de protection en Zinc

Du strict point de vue de la *corrosion*, la meilleure protection d’une pièce en métal située sous la ligne de flottaison, qu’elle soit en bronze, en monel, en plomb, en cuivre, en acier peint, en acier galvanisé ou en inox, sera obtenue en lui adjoignant sa propre *anode en zinc*¹⁰.

Certains alliages de zinc ont de meilleurs comportements que d’autres en tant qu’anode, les anodes de protection ne devraient utiliser que ceux fabriqués à cet effet. L’*ABYC*¹¹ recommande d’utiliser les qualités *MIL-A-18001* ou *ASTM B-418*.

Le *magnésium* ne convient pas pour des anodes de protection dans l’eau salée, son potentiel galvanique entraînant une sur-protection. Des anodes en magnésium sont parfois utilisées en eau douce qui a une plus forte résistivité. La présence de polluants peut augmenter les qualités électrolytiques de l’eau douce et rendre le magnésium impropre pour la protection.

La *surface exposée* à l’eau de mer des anodes de protection doit être proportionnée à la surface de métal à protéger. C’est la surface plus que le volume ou le poids de l’anode qui importe.

L’efficacité des anodes de protection décroît lorsque la *distance* à la pièce qu’elles protègent augmente. Une anode devrait être placée directement sur la pièce de métal qu’elle protège, ou aussi proche que possible. On peut considérer que la protection décroît graduellement jusqu’à 1,25 mètre et qu’au-delà il n’y a plus de protection.

La *soudure* est la manière la plus efficace de relier une anode à la pièce sous-marine qu’elle protège, c’est celle qui assure un contact électrique parfait. Le zinc est fondu directement sur une plaque d’acier qui est à son tour soudée à la pièce sous-marine à protéger.

⁸ Page 5

⁹ *Areas of a metal fitting which are actively suffering from corrosion*. Le terme *fitting*, qui désigne des accessoires, des pièces, des parties, le plus souvent métalliques et sous marines sera traduit par “équipement, accessoire”.

¹⁰ *zinc* à le sens de “zinc” (le métal) et aussi de “anode sacrificielle en zinc”.

¹¹ *American Boating and Yacht Council*, une description de cet organisme se trouve à la fin de ce document.

Si l'anode est *boulonnée*, pratique plus courante sur les bateaux non métalliques, il faudra s'attacher à garantir la *continuité électrique*. Une anode du type de celles traversées par une plaque d'acier peut être utilisée en perçant la plaque et en la boulonnant à la pièce à protéger. Les mastics (pâtes) à base de cuivre qu'utilisent les électriciens pour revêtir les contacts électriques sont efficaces pour conserver le contact au niveau de la tête du boulon. Le brasage ou la soudure de cette boulonnerie de connexion permettra également d'assurer un bon contact électrique.

Un bon truc pour fixer une anode qui n'est pas équipée d'une plaque d'acier consiste à chauffer le zinc jusqu'à le faire fondre localement et ensuite d'y noyer un boulon ou une tige filetée.

Si ces précautions ne peuvent être mises en vigueur, il faudra faire preuve de vigilance et périodiquement rénover le contact ou resserrer la boulonnerie et ainsi conserver une bonne continuité. L'anode ne sera d'aucun effet si elle est fixée lâchement.

¹² Les vannes passe-coques peuvent être protégées en les équipant – à l'intérieur- d'un 'T ' dans une branche duquel on insérera une anode crayon du type de celle qui protège l'intérieur des moteurs. On pensera également à ajouter un tamis ou une passoire pour récupérer les éventuels débris de zinc.

L'anode d'arbre d'hélice devrait être remplacée à chaque mise à terre et l'arbre décappé au papier de verre fin pour rénover le contact.

Si on constate que l'anode est en bon état, c'est peut-être qu'elle est sur-dimensionnée. Si elle est à moitié usée, elle est appropriée et devra être remplacée par une anode neuve et de même taille. Si elle est complètement usée, ou presque, vous avez sans doute besoin d'une anode de plus grande surface, ou peut-être faut-il la remplacer plus fréquemment. Si l'anode n'est pas du tout usée, c'est soit que le contact est défectueux soit que l'anode est beaucoup trop grosse et qu'il faut la remplacer par une plus petite.

Cette règle s'applique à toute anode sur toute partie sous-marine à protéger. Même une quille à lest en plomb doit être protégée et sans doute par plus d'une anode.

Des anodes sont nécessaires à l'intérieur du bateau, pour protéger les tuyauteries d'eau salée. Des anodes crayons sont nécessaires pour protéger le chemisage du moteur. Des anodes doivent enfin protéger le côté "eau de mer" de l'échangeur de chaleur d'un circuit de refroidissement à l'eau douce

Il faut éventuellement protéger la tuyauterie "eau de mer" des pompes, wc, condenseur de circuit de réfrigération, circuit de chauffage à eau ; chacun devant idéalement avoir sa propre anode, ou jeu d'anodes, de type crayon pour être protégé de la corrosion.

Quelle quantité de Zinc?

Même si des règles générales permettent d'évaluer la quantité de zinc de protection qui est nécessaire, les différences de salinité, de température, la présence de courants de fuite ou toute autre influence externe conduiront à déterminer la quantité réellement nécessaire par des essais successifs.

L'ABYC a publié des directives concernant la dimension des anodes pour des coques de différents matériaux. directives qui, bièvement, précisent :

La protection cathodique est exprimée par un potentiel relatif à une électrode de référence de type argent / chlorure d'argent ¹³ et doit s'inscrire dans les plages de valeurs suivante, en fonction des différents matériaux de construction des coques :

| | |
|-----------------|-------------------------|
| Aluminium | -900 à -1100 millivolts |
| Acier | -800 à -1050 millivolts |
| Polyester (GRP) | -550 à -900 millivolts |
| Bois | -550 à -600 millivolts |

¹² **Page 6**

¹³ Sur la manière de fabriquer ses propres électrodes Ag / AgCl, voir le site de l'université de l'état de Washington : <http://www.aer.wsu.edu/FTP/CHEM 222/CHEM222MANUAL/CHEM 222 10.5 EXPT 8.pdf>

Le potentiel négatif global doit rester compris, dans la mesure du possible, dans les plages de valeur recommandées. Sur les bateaux en bois ou en polyester on fait l'hypothèse que les mesures seront relatives au potentiel global des métaux à protéger.

Trop d'anodes n'est pas une bonne chose. Une croute se développe à la surface de l'anode qui se couvre de saletés et cesse d'être efficace. Trop de zinc peut aussi entraîner une sur-protection qui peut être particulièrement destructive sur une coque ou une embase en aluminium.

La sur-protection d'une coque en aluminium (au-delà de $-1\ 200\text{ mV}$) peut entraîner une corrosion alcaline et un dégagement d'hydrogène conduisant au cloquage de la peinture, phénomène connu sous le nom de *délitage cathodique*¹⁴. Ce délitage cathodique est la destruction de l'adhésion d'un revêtement sur son substrat, provoqué par les sous-produits d'une réaction cathodique.

L'ABYC recommande que tout bateau métallique utilisant l'électricité du quai soit équipé en permanence d'un appareil de mesure du potentiel de la coque relativement à une électrode de référence.

Quelque soit le matériau dont est construite la coque, un potentiel galvanique¹⁵ dépassant $-1\ 050\text{ mV}$ provoquera une diminution de l'efficacité des peintures antifouling.

Si la surface de zinc est trop faible les anodes seront consommées trop vite, après quoi la coque ou ses équipements ne seront plus protégés et ce jusqu'au remplacement des anodes.

D'une manière générale la vitesse de consommation des anodes augmente avec la vitesse du courant d'eau qui les baigne. De même, une salinité accrue ou une température plus élevée, en augmentant la conductivité de l'eau de mer, accéléreront le processus de consommation.

16

Comment mesurer ?

La méthode recommandée par l'ABYC pour dimensionner les anodes consiste à utiliser une électrode de référence (en argent / chlorure d'argent) placée en dehors de la coque, dans l'eau, à proximité de la partie à protéger et à mesurer la tension avec un voltmètre numérique. Reliez la borne négative du voltmètre à l'électrode de référence et la borne positive à la partie à protéger en vous assurant de la qualité du contact.

Relevez la valeur affichée sur le voltmètre numérique.

Installez l'anode, ou les anodes, de la taille appropriée sur la partie métallique – ou les parties métalliques reliées entre elles - à protéger.

Relevez la valeur affichée sur le voltmètre numérique.

« La protection est appropriée lorsque cette dernière tension est de 200 mV **plus négative** que celle mesurée sans les anodes sacrificielles de protection. »

« Un système de protection cathodique doit être capable d'induire et de maintenir un décalage de tension d'au moins -200 mV par rapport au potentiel galvanique du métal le moins noble qu'on veut protéger. »

L'interconnexion...

Qu'est-ce que c'est ?

C'est devenu une pratique courante de relier entre elles toutes les pièces métalliques sous-marines en contact avec l'eau de mer et de relier l'ensemble à une grosse anode protectrice. Cette pratique, appelée interconnexion¹⁷ fait l'objet de pas mal de controverse.

¹⁴ *cathodic disbondment*.

¹⁵ Ou "couple galvanique".

¹⁶ **Page 7**

¹⁷ "réseau assurant l'équipotentialité des masses métalliques", raccourci en "interconnexion" ou "système d'interconnexion".

L'ABYC donne la définition suivante de l'interconnexion : « c'est le fait de relier électriquement entre eux des objets métalliques en contact avec l'eau de mer puis avec le pôle négatif du moteur, ou son bus, et enfin aux anodes de protection ou au système de protection cathodique par courant imposé. »

L'ABYC recommande d'utiliser, pour cette interconnexion, un conducteur d'au moins 8 mm²¹⁸. Ce conducteur doit être isolé, et de préférence mono-brin. Si du câble multibrins est utilisé il faut choisir des gros brins, les brins fins étant sujets à dégradation rapide dans un environnement marin. Les fils utilisés dans des câblages marins devraient être soigneusement étamés pour éviter leur corrosion.

Il est habituel, pour les bateaux en plastique, d'utiliser un conducteur non isolé tel que du câble mono brin ou de la grosse tresse. Cette pratique doit être déconseillée pour des bateaux en bois, en métal ou en ferrociment dans lesquels il faut toujours utiliser un conducteur isolé.

L'ABYC recommande une couleur d'isolant verte ou verte et jaune pour identifier ce conducteur.

Le circuit d'interconnexion se trouvant généralement dans la cale, il est exposé aux effets corrosifs de l'eau de mer. L'éventualité de vibrations du conducteur doit être prise en compte, les cosses doivent être de préférence soudées ou brasées

L'intensité du courant transporté est généralement minuscule et réclame de chaque connexion qu'elle soit aussi parfaite que possible. La résistance du circuit de connexion ou sa liaison avec l'anode doit être **inférieure à un ohm**.

Un défaut courant dans un système d'interconnexion vient de l'utilisation d'un balai d'arbre pour réaliser la liaison avec l'arbre d'hélice, un tel balai devant fonctionner comme les balais d'un moteur électrique. En pratique la liaison est affectée par des traces de corrosion ou un film d'huile sur l'arbre au niveau du contact et les courants impliqués sont si minuscules qu'ils ne permettent pas de rompre (claquer) cette barrière, laissant du coup l'arbre et l'hélice sans protection.

Une connexion au bloc moteur est généralement insuffisante pour garantir la liaison vers l'hélice et son arbre et pour la même raison : le film d'huile à l'intérieur du moteur est ici aussi un bon isolant. De plus il y a souvent un tourteau d'accouplement souple qui isole le moteur de l'arbre d'hélice.

¹⁹ *L'ABYC recommande d'interconnecter toutes les pièces métalliques sous-marines sur un bateau équipé d'un circuit de courant continu.*

Globalement, la position de l'ABYC est que l'interconnexion fournit :

- I. Une protection contre les chocs électriques
- II. Une protection contre la foudre
- III. L'amélioration du fonctionnement des équipements radio
- IV. Une protection contre la corrosion.

Les gens en sont arrivés à attendre que leur bateau soit équipé d'un système d'interconnexion. Cette attente a produit une pression sur les constructeurs pour qu'ils équipent leurs bateaux d'interconnexion. Cette tendance ne signifie pas qu'un système d'interconnexion soit nécessaire pour protéger de la corrosion, elle signifie simplement que la plupart des gens et l'ABYC en sont arrivés à attendre que des systèmes d'interconnexion soient utilisés.

L'unique et irrésistible raison de créer un système d'interconnexion des pièces métalliques sous-marines concerne la protection des personnes à bord contre les décharges électriques.

Si toutes les pièces métalliques, tous les équipements, tous les boîtiers des instruments, le moteur, les réservoirs et le pôle négatif sont au même potentiel, le danger d'être électrocuté en touchant un équipement défectueux est réduit, ceci bien sûr si les connexions ont été mises en place correctement et si elles sont correctement entretenues.

Une personne peut toujours être électrocutée en touchant simultanément l'un des composants interconnectés et un fil positif du circuit CC ou le fil de phase du circuit CA.

¹⁸ #8 AWG, précisément 8,35 mm². AWG est l'acronyme de American Wire Gauge, système non métrique, s'il en est.

¹⁹ Page 8

L'interconnexion est très répandue sur les bateaux en plastique. Chimiquement, le plastique est quasiment à l'abri de la corrosion électro-chimique²⁰ et il n'est pas conducteur d'électricité. Avec ou sans interconnexion à bord, la structure de la coque n'en tire ni avantage ni inconvénient.

Comme nous le verrons, il n'y a pas de nécessité, en terme de corrosion, à interconnecter les pièces métalliques sous-marines d'un bateau en plastique, même si c'est couramment fait. Ces pièces seront tout aussi bien ou même mieux protégées contre la corrosion si elles sont chacune, individuellement, équipées de leur propre anode.

L'interconnexion peut être utilisée sur les bateaux métalliques ou en ferrociment mais une fois encore, du strict point de vue de la corrosion, cette interconnexion n'est pas nécessaire, des anodes individuelles protègent tout aussi bien.

Sur un bateau métallique, interconnecté ou pas, chaque pièce métallique d'équipement, sauf bien sûr si elle soudée directement à la coque, doit être isolée de la coque par de la peinture, des matériaux isolants et un enduit adhésif pour empêcher l'humidité de pénétrer dans le joint, isolation qui préviendra de possibles interactions électriques entre la coque et les équipements.

S'ils sont interconnectés, les équipements doivent n'être en contact électrique qu'avec le fil d'interconnexion, et ce quelque soit le matériau de construction de la coque. Une coque en acier, aluminium ou ferrociment aura ses propres anodes, distinctes de celles des équipements.

Sur un bateau en bois il est extrêmement difficile de recommander quelque interconnexion que ce soit à cause des problèmes extrêmes que la proximité d'équipements métalliques nobles entraîne sur la structure en bois. Considérez les points suivants :

Au niveau du couple galvanique créé par l'interconnexion, les équipements protégés sont les cathodes et les anodes de zinc placées à distance sont les anodes. La partie sous-marine de la structure en bois gorgé d'eau est électriquement conductrice.

Dans une zone située autour de chaque équipement en métal noble (les cathodes) un hydroxyde de sodium (de la soude), très alcalin, se forme, et le bois est détruit. Un duvet blanc se forme qui ressemble à de la neige ou à des petits cristaux de glace, et qui est très caustique/décapant. La matière ligneuse qui constitue la structure cellulaire du bois est délabrée et ne subsiste que la cellulose, spongieuse. Là où il s'en trouve, l'hydroxyde de sodium peut être neutralisé en surface par du vinaigre, mais le problème n'est pas résolu pour autant.

Sur un bateau en bois, le système installé pour protéger les pièces métalliques sous-marines *dévore le bateau lui-même*.

Sur n'importe quel bateau le système d'interconnexion est rapidement négligé voir complètement ignoré et la continuité électrique du système peut en fin de compte être perdue. Tout ceci est des plus communs dans la mesure où le système est entièrement logé dans la cale.

Avec toute une série de raccordements douteux dans le système d'interconnexion, on n'a plus aucune idée du nombre d'équipement, si même il en reste, qui sont toujours intégrés dans le système, à moins de faire une inspection régulière et des vérifications au multimètre. *Combien de fois vous êtes vous trouvé en train de faire ça ?*

Bien trop souvent un système d'interconnexion est mal mis en place, dès le début, avec des connexions serties, ou de tout autre manière mécanique. Toutes les connexions devraient être soudées, les courants étant trop faible pour arriver à rétablir une continuité basée uniquement sur des contacts. Comme évoqué précédemment, la résistance maximum entre un équipement et l'anode est de *un ohm*.

A bord d'un bateau équipé d'interconnexion, la menace est très réelle de corrosion rapide liée aux courants de fuite circulant à travers les pièces interconnectées et le réseau d'interconnexion.

²¹ A bord d'un bateau **non** équipé d'interconnexion, lorsqu'un défaut apparaît en un endroit il est relativement aisé d'en isoler la cause et le problème ne risque pas d'impliquer le reste des équipements sous-marins.

Interconnectés ou pas, les métaux des équipements sous-marins doivent être aussi proches que possible les uns des autres sur l'échelle galvanique.

²⁰ NDT : mais pas de la corrosion chimique : hydrolyse du polyacétate par hydratation (osmose)

²¹ Page 9

Une vérité semble émerger de l'expérience de la majorité des gens qui surveillent et entretiennent les bateaux : *s'il s'agit simplement de prévenir la corrosion, il est difficile de mal faire avec l'approche qui consiste à doter chaque équipement métallique sous-marin de sa propre anode de protection, correctement dimensionnée.*

Un système d'interconnexion est trop souvent la porte ouverte à des problèmes. C'est une approche qui ratisse trop large et qui englobe toute une série de problèmes dont chacun est mieux traité individuellement.

A quoi sert l'interconnexion ?

Dans ce qui suit nous aborderons chacune des grandes raisons qu'on peut trouver pour ne pas recommander ou au contraire justifier l'interconnexion des pièces métalliques sous-marines ...

En défaveur de l'interconnexion

La corrosion

L'assertion selon laquelle l'interconnexion aide à empêcher la corrosion reste l'objet de débats. La connexion de métaux sous-marins entre-eux change leur potentiel intrinsèque, protégeant les métaux nobles et exposant sans défense les métaux les moins nobles de l'ensemble.

L'intention est que le métal le moins noble de l'ensemble soit toujours le zinc des anodes. L'histoire change du tout au tout si le zinc est entièrement consommé, diminue ou devient mal raccordé. Si le zinc vient à manquer, l'ensemble va se nourrir du métal moins noble suivant dans l'échelle galvanique, lequel peut avoir un rôle important dans la structure du bateau.

L'interconnexion peut aider à la protection de la corrosion si les anodes sont bien entretenues et de taille correcte, si le câblage est fait correctement et reste intact et si on n'est pas soumis à d'autres influences externes telles que les courants de fuite. Malheureusement un système d'interconnexion constitue un cheminement très commode pour des courants de fuite trouvant leur origine en dehors du bateau.

Des courants de fuite peuvent apparaître lorsqu'on raccorde le pôle négatif du circuit de courant continu, ou le fil vert de la terre de protection du cordon de quai, à l'ensemble des métaux sous-marins. Charlie Wing, dans son excellent *Boatowner's Illustrated Handbook of Wiring* met très correctement en évidence que l'interconnexion de ces pièces sous-marines, si elle protège efficacement des courants de fuite émanant de l'intérieur du bateau, permet la corrosion en présence de courant de fuite venant de l'extérieur du bateau.

Une corrosion par courant de fuite peut être due au câblage déficient d'une marina, déficience qui crée des différences de potentiels dans l'eau, et ce même sur un bateau dont le système d'interconnexion et les anodes sont impeccables. Si un bateau interconnecté se trouve sur le chemin du courant électrique de fuite, ce courant empruntera le chemin de moindre résistance, lequel chemin sera de préférence les conducteurs et les connexions de l'interconnexion en bon état plutôt que l'eau de mer, plus résistive. Selon la direction du courant électrique, les anodes peuvent être tout à fait incapables d'empêcher la corrosion aux points les plus éloignés de l'ensemble des pièces métalliques.

Un tel chemin bien commode pour un courant de fuite n'existe pas sur un bateau non interconnecté.

Une exception à ce qui précède pourrait être le cas d'un bateau avec un arbre d'hélice long et bien exposé, dans lequel existe une différence de potentiel entre ses extrémités. Une solution dans ce cas sera d'équiper l'arbre d'anodes régulièrement espacées.

22

les courants de fuite

Un bateau non raccordé électriquement au quai peut quand même être victime de corrosion par courant de fuite.

Supposons que notre bateau soit pris entre deux bateaux, l'un avec une terre de protection et l'autre avec un défaut électrique, une partie du courant électrique, circulant dans l'eau entre ces deux bateaux peut fort bien transiter par notre bateau. Les équipements métalliques sous-marins se trouveront alors à un potentiel électrique

différent selon qu'ils sont situés d'un côté ou extrémité du bateau ou de l'autre, et la corrosion par courant de fuite sévira. Un système d'interconnexion ne peut empêcher cette corrosion là car c'est lui qui en est la *cause* !

D'un autre côté, si chaque pièce métallique sous-marine est électriquement disjointe et dispose de sa propre anode, la possibilité qu'un courant de fuite (d'origine externe) passe à travers notre bateau pour rejoindre la terre se trouve réduite.

Si notre bateau est interconnecté et que nous voulions le protéger contre la corrosion par courant de fuite, nous pouvons tenter de créer, dans l'eau, un chemin préférentiel pour que ce courant *contourne* notre bateau.

En plaçant une plaque de cuivre dans l'eau à chaque extrémité du bateau et en les reliant entre elles, nous créons un chemin favorable que tout courant de fuite dont c'est le trajet empruntera, et notre bateau sera contourné.

Pour que ça marche dans toutes les directions il faudra répartir des plaques et des liaisons partout autour et en dessous du bateau. Quelque-soit le trajet du courant de fuite il empruntera les chemins ainsi créés, et notre bateau sera épargné.

Cette "cage" tout autour du bateau est certes une mesure extrême mais qui marchera s'il n'y a pas d'autres solutions. Ca peut constituer une contre-attaque, une défense, pour un bateau qui n'est pas interconnecté et qui est attaqué par des courants de fuite.

Un courant de fuite peut être mesuré au multimètre en plaçant de la même manière des plaques, d'un même métal et approximativement de même taille, aux extrémités du bateau et en mesurant la différence de potentiel qui existe entre elles. En changeant la localisation de la paire de plaques autour du bateau, on se fera une bonne idée de l'existence éventuelle de problèmes dans la marina ²³.

Ces courants de fuite dans l'eau, qui peuvent être causés par un câblage défectueux de la marina ou par un autre bateau électriquement défectueux, sont potentiellement extrêmement dangereux pour un baigneur à proximité. Si vous suspectez leur présence, la dernière chose à faire est de passer à l'eau pour procéder à des vérifications !!!

D'excellentes indications sur la manière de mesurer les courants de fuite sont mentionnées dans le livre de Edgar Beyn : *The 12 Volt Doctor's Practical Handbook*, et dans celui de Charlie Wing : *The Boatowner's Illustrated Handbook of Wiring*

Le plan de terre de la radio

La meilleure manière d'améliorer les performances de la radio est d'être généreux au niveau de son "**plan de terre**", qui d'ailleurs n'a même pas besoin d'être en contact avec l'eau de mer. Seule une moitié de l'antenne est hors de l'eau, l'autre moitié, qui est l'eau elle-même, est appelée "**contreponds**" ou plan de terre. Le contreponds idéal pour la radio devrait être la plus grande surface possible de métal à proximité de l'eau de mer, sans nécessairement être en contact avec l'eau de mer.

Sur un bateau en bois ou en plastique, du grillage en fil de cuivre ou du film étiré de cuivre constituent un matériau idéal pour un plan de terre et peuvent être placés à l'*intérieur* de la coque, sous la ligne de flottaison. Sur un bateau en plastique ce matériau peut même être intégré directement dans l'épaisseur de la coque. Sur un bateau en métal ou en ferrociment, le contreponds peut prendre la forme d'une connexion directe à la coque, ou à l'armature dans le cas d'un ferrociment.

Avec une coque métallique, même complètement entourée de peinture époxy, les anodes de zinc serviront de terre radio (décharge statique). La coque est par elle-même un contreponds radio approprié, même sans anode.

Ce dont nous parlons ici est le plan de terre (le contreponds) de la radio et non le pôle négatif de l'équipement de radio. Le contreponds est relié à la gaine du câble coaxial de l'antenne et au châssis du poste radio. Le fil électrique négatif du courant continu est, quand à lui, raccordé à la batterie.

²³ NDT : L'auteur rappelle plus loin que des baigneurs peuvent être tués par des courants de fuite dans l'eau. Du coup, il y a peut-être un risque de s'électrocuter en manipulant ces plaques.

²⁵ **Page 11**

²⁵Le moins du circuit de courant continu et le contrepoids de l'antenne sont souvent reliés au goujon de terre à l'arrière du poste de radio. Néanmoins un "circuit d'isolation de terre"²⁶ rend possible, si on le souhaite, l'isolation du moins électrique et du plan de terre.

Dans ce cas une terre flottante peut être réalisée, dans laquelle ni le contrepoids ni le moins électrique ne sont en contact avec l'eau de mer. Ceci est valable si votre souhait est d'avoir une terre flottante, terre qui n'est nulle part connectée à l'eau de mer. Dans ce cas le contrepoids peut contrecarrer nos efforts s'il est en contact avec l'eau de mer puisqu'il peut introduire une fuite dans ce système par ailleurs flottant²⁷.

Selon les ingénieurs de SEA, les postes de radio européens des installations en 24 volts sont dotés d'un transformateur d'isolation pour fabriquer le 12 volts interne, permettant ainsi de séparer la terre d'antenne du pôle électrique négatif. Ils ont toutefois rapidement fait remarquer qu'une connexion à la mer peut aider à réduire les bruits de type statiques d'un système flottant, ce qui peut être facilement fait par un interrupteur qu'on ferme lorsque ces bruits statiques constituent un problème.

L'idée de ces stratégies est d'empêcher les interactions entre le circuit électrique de courant continu et les pièces métalliques sous-marines, ces stratégies sont poursuivies dans le but d'obtenir la meilleure protection possible contre la corrosion de ces pièces métalliques.

*La Foudre*²⁸

Introduction

Aux US, sur les 100 morts annuels dus à la foudre, 13 se produisent à bord de bateaux. Si la foudre est un danger potentiel là où vous utilisez votre bateau vous devriez donc prévoir un système de protection.

[...]

La différence de potentiel précédant un éclair peut s'élever jusqu'à plus de 100 millions de volts, l'éclair délivre un courant de 20 à 50000 Ampères et génère des températures de 55 000 degrés. Heureusement cela ne dure qu'une fraction de seconde.

Il faut donc éviter qu'un impact trouve son chemin à l'intérieur du bateau. Un système de protection aura deux objectifs :

1. Il aura un effet préventif en permettant en permanence la fuite des charges électriques se formant sur le bateau, le rendant ainsi "invisible" pour l'éclair.
2. Il servira de système de protection anti-foudre en conduisant sans dommages l'éclair jusqu'au sol (l'eau).

Le système de protection sera donc constitué d'une "ligne primaire" largement dimensionnée pour conduire un impact jusqu'à l'eau, et une série de "lignes secondaires" pour dissiper l'accumulation de charges par le bateau et qui seront reliées à la ligne primaire.

Ligne primaire

La ligne primaire sera constituée de :

1. Un aérien
2. Relié à un gros conducteur cheminant verticalement jusqu'à
3. Une plaque de "mise à la terre" immergée dans l'eau.

²⁶ *Ground Isolation Network*. En 1995, un tel circuit était disponible, sous la référence (*Part number*) ASY-1615-03 (as of 1995), auprès de SEA à Seattle, Washington, +1 206-771-2182.

²⁷ La répétition est la base de l'enseignement, mais à ce stade ... *In this case a "floating ground" can be maintained, where neither the counterpoise nor the DC negative are in contact with the seawater. This is a valid consideration if our wish is to maintain a floating ground—one that is nowhere connected to the seawater. In this case, the counterpoise may foil our best efforts if it contacts the seawater. It would then provide a "leak" in our otherwise floating system.*

²⁸ Le traducteur du paragraphe sur la foudre (pages 11 à 15 du document original) a eu le courage de comprendre le texte et le récrire en français – compact - plutôt que simplement traduire paragraphe après paragraphe comme c'est le cas ailleurs. Du coup il est difficile, ici, de rappeler précisément la pagination du document original.

La partie supérieure, l'aérien, doit être une pointe métallique aiguisée, ou alternativement en forme de pinceau avec les poils pointant vers le haut. Certains pensent qu'une seule grosse pointe est plus efficace qu'un "pinceau" pour dissiper les charges statiques.

En règle générale, la pointe ou le pinceau doit être au moins 15 cm au-dessus de tout autre objet à proximité (antennes, girouette etc...) et un cône imaginaire de 90° (45° autour de la verticale) ayant sa pointe au sommet de l'aérien doit englober tout le bateau. A l'intérieur d'un tel cône l'expérience montre que l'on est en relative sécurité car les charges formées seront dissipées et un impact sera attiré préférentiellement par la pointe. Ceci est du apparement à ce que la pointe émet vers le haut un émissaire ascendant qui se connectera à l'émissaire descendant de l'éclair préférentiellement à tout autre objet situé en-dessous et à l'intérieur de ce cône. Selon E.M. Thomson, chercheur sur les éclairs, le cône de protection pourrait faire jusqu'à 138°.

Il est essentiel que le conducteur primaire soit aussi solide et direct que possible: éviter les coudes brusques jusqu'à la plaque de mise à terre. Les connexions doivent avoir une très faible résistance pour ne pas fondre au passage du courant de l'impact. E.W. Thomson recommande des conducteurs de section minimum de 21mm² (#4 AWG) en cuivre étamé²⁹.

Un bateau avec un mât métallique posé sur la quille représente la situation idéale. Un mât en aluminium est un excellent conducteur et il suffira le relier sérieusement à l'aérien et à la plaque de mise à terre. Avec un mât en bois, il peut être nécessaire d'installer tout le long un conducteur en cuivre à moins que l'on dispose d'un rail de voile en bronze de dimensions suffisantes (équivalent à du cuivre de 21mm²) que l'on devra relier mécaniquement ou par soudure ou brasure aux autres éléments de la "ligne primaire".

Les autres mâts: bois renforcés carbone ou composite renforcé avec du carbone ne sont pas suffisamment conducteurs. L'inox également n'est pas un bon conducteur donc un rail de voile en inox sera généralement de section insuffisante.

Lignes secondaires

L'objet des lignes secondaires, constituant le réseau secondaire, est d'égaliser les charges des pièces métalliques du bord qui sont susceptibles d'être frappées par la foudre, en dissipant leurs charges éventuelles vers la mer.

Ce réseau peut comporter les parties suivantes :

- un réseau placé de préférence dans le plan horizontal et reliant l'ensemble du gréement (exemple : rail de fargue métallique).
- des lignes de descente, partant de ce réseau et aussi des objets métalliques de grande taille, et aboutissant sur la plaque de mise à la terre.
- optionnellement, un "bus d'égalisation" placé à fonde cale qui s'interpose entre les descentes et le ruban de mise à la terre lorsque la plaque de mise à la terre prend cette forme.

La disposition relative de la descente primaire, verticale, et de l'ensemble des lignes secondaire doit être étudiée de manière à éviter les courants induits par la descente primaire dans les lignes secondaires lors d'un coup de foudre. On jouera sur l'orthogonalité et sur les distances.

L'ABYC spécifie que les gréements métalliques (étais, haubans) doivent être reliés entre eux au niveau des cadènes et directement à la plaque de mise à terre par des conducteurs en cuivre de 13mm² (#6 AWG). L'ensemble de ces conducteurs reliés aux cadènes doit avoir une section agrégée d'au moins 21 mm². De plus les grands objets métalliques tels que réservoirs, moteur, winches, réchauds etc ... situés à moins de 2 m d'un conducteur de foudre devraient être reliés électriquement par un conducteur de 13 mm² de section (#6 AWG).

Pour minimiser le courant de décharge à travers les paliers et roulements du moteur il peut être préférable de relier directement les supports du moteur à la plaque de terre plutôt qu'en un point intermédiaire du circuit de protection. Pour éviter les arcs secondaires et l'induction de hauts voltages dans le câblage électrique du bateau, les lignes "foudres" ne doivent pas être proche de ces câblages et ne doivent pas leur être parallèles.

Par ailleurs l'ABYC recommande que les lignes "foudre" ne comportent pas d'angles inférieurs à 90° (évitez les angles aigus) et que les rayons de courbures aux angles soient d'au moins 20 cm.

²⁹ NDT : La foudre transportant de l'énergie dans les hautes fréquences (vérifier ce point) il est attrayant d'utiliser des conducteurs multi-brins et de bénéficier de l'effet de peau pour réaliser le câblage foudre ; à l'inverse on retiendra que le multi-brins est très sensible à la corrosion.

Si la plaque de mise à la terre prend la forme d'un ruban courant sous le bateau (voir paragraphe suivant), il est recommandé d'installer une ligne secondaire à l'intérieur et au fond du bateau, parallèlement au ruban. Cette ligne secondaire, qui constituera le "bus d'égalisation des charges", sera relié au ruban de mise à la terre à chacune de ses extrémités par un boulon traversant la coque. Les autres lignes secondaires internes (pour les objets métalliques, les haubans, le rail de fargue, ...) doivent y être reliées.

Plaque de mise à terre

La plaque de mise à terre doit faire 9 dm² et doit être en cuivre ou alliage de cuivre, en aluminium ou en inox (mais pas en bronze de fonderie – comme utilisé dans les plan de masse radio - car il peut contenir des bulles éventuellement humides qui exploseront sous l'effet de l'élévation "extraordinaire" de la température). Ses bords doivent être conservés coupants et bien propres, dégagés du reste du bateau. De ces arêtes vives pourront partir des arcs secondaires sous-marins améliorant l'efficacité du système. Une bande, de même masse / volume que cette plaque, soit 5mm d'épaisseur sur 20 mm de large et environ 3,7 m de long, sera six fois plus efficace que la plaque. Une telle bande, si elle est utilisée, doit s'étendre du point situé immédiatement sous le mat jusqu'à l'arrière du bateau, où le moteur pourra y être directement relié.

Sur un bateau ayant une quille ou un lest métallique, celui-ci peut constituer une excellente plaque de mise à terre. Il faut cependant s'assurer qu'une partie de cette quille reste nue et propre (pas de peinture ou antifouling) pour permettre l'évacuation des charges statiques dans la fonction "prévention de l'impact" du système (ce n'est pas nécessaire pour évacuer l'énorme courant d'un impact qui "claquera" facilement la couche de peinture). Une quille de plomb, qui se salit très rapidement, en particulier si elle est protégée par des anodes de zinc, n'est pas appropriée et nécessitera donc l'installation d'une plaque ou ruban de mise à terre.

Arcs secondaires ³⁰

La possibilité d'arcs secondaires depuis la ligne primaire est aussi à considérer. Ils peuvent se produire vers des objets métalliques voisins et sont favorisés par un chemin vers la terre défectueux ou insuffisamment dimensionné (par exemple, conducteur trop résistif, surface de plaque de mise à la terre trop faible). Les arcs secondaires peuvent se propager d'un objet métallique à un autre, jusqu'à l'eau. Ils se produisent le plus fréquemment en eau douce où la mise à terre est plus difficilement efficace. E. W. Thomson pense même qu'ils sont inévitables en eau douce et comme ils peuvent percer la coque, les dommages de ce type sont très fréquents après un impact en eau douce. Répétons à ce sujet que la forme de la plaque (ou ruban) de mise à terre est importante: des coins aigus, des bords acérés, voire des pointes, facilitent l'évacuation de courants dans l'eau et induisent des voltages moins élevés.

Pour diminuer la possibilité de ces décharges, il est recommandé d'avoir des lignes secondaires reliant tout objet métallique dont une dimension excède 30 cm au "bus d'égalisation" ³¹ interne. Les WC et passes-coque peuvent être reliés à cette ligne mais surtout pas directement à la descente primaire d'évacuation de courant. Ainsi ces objets seront tous au même potentiel (celui de l'eau) et le risque de décharges secondaires sera réduit.

Le système généralement installé à bord des bateaux américains et qui relie les pièces métalliques en contact avec l'eau de mer à des fins d'égalisation des potentiels galvaniques ou à des fins de protection des personnes ³² ne saurait être utilisé pour cela, le dimensionnement de ses conducteurs est largement insuffisant pour évacuer les charges d'un coup de foudre.

Effets magnétiques

La foudre passant dans la ligne principale sous forme d'un courant électrique variable et violent génère de plus un champ magnétique bref mais très intense qui peut à son tour induire des courants très intenses dans tout conducteur situé à proximité. Parmi les effets de tels courants induits citons, la destruction de l'électronique de bord, l'effacement des supports magnétiques (K7 audio, disque dur de l'ordinateur ...), dérèglement des compas.

³⁰ *Side flash*

³¹ NDT : la possibilité d'un raccord indirect n'est pas claire. On pourrait envisager de raccorder un winch au rail de fargue raccordé à son tour au bus d'égalisation. Les règles d'écartements et de perpendicularité de la ligne primaire et des lignes secondaire appellent pourtant cette possibilité.

³² *bonding system*. Le système d'interconnexion des masses métalliques, décrit précédemment.

La protection pratiquée par les avions est la “cage de Faraday”. Elle prendra à bord la forme d’une (ou plusieurs) boîte métallique reliée aux lignes secondaires dans laquelle on enfermera tous les appareils à protéger.

De ce point de vue, une coque métallique constitue une excellente cage de Faraday même si elle est recouverte d’une peinture époxy. Dans ce cas elle ne peut constituer cependant une bonne plaque de mise à terre notamment pour évacuer les charges statiques (fonction “éviter de la foudre”). Sur un bateau à coque métallique, il suffira d’installer une pointe en haut du mât et de le relier en ligne droite à une plaque de mise à terre située juste sous le mât par un conducteur cuivre de 21 mm² pour avoir une bonne protection. Si le mât est déjà relié électriquement à la coque, il n’est pas nécessaire d’installer de protection supplémentaire.

Courants de fuite:

Pour éviter de créer des chemins qu’emprunteraient des courants de fuite (générateurs de corrosion électrolytique) il est souhaitable de pouvoir déconnecter les différents appareils et matériels des lignes de protection anti-foudre lorsque ce danger est absent.

L’hélice et son arbre, par leurs dimensions importantes et donc leur capacité à écouler des courants importants, peuvent favoriser l’apparition d’arcs secondaires autour du moteur. Pour prévenir ce risque dont les conséquences seraient désastreuses, il importe que la mise à la terre du moteur soit très soignée et très largement dimensionnée.

Nous avons présenté précédemment les méthodes de protection contre les courants de fuite ou la corrosion, protection qui peut réclamer d’isoler le moteur de la mer. Nous pouvons retenir maintenant que les techniques de protection contre la foudre d’une part, et les techniques de protection contre les courants de fuite ou la corrosion d’autre part, peuvent être difficiles à concilier, voir être contradictoires.

Conclusion et remarques générales:

En cas d’orage, la place la plus sûre sera à l’intérieur du bateau et en se tenant éloigné de tous les objets métalliques importants: mât ou épontille, moteur, réchaud, évier, robinets, équipement électronique, lest interne, ancre et chaînes etc...³³. Si la coque est métallique on est à l’intérieur d’une cage de Faraday, donc bien protégé, à condition d’en être bien isolé.

L’ABYC note que même si toutes ces recommandations sont mises en œuvre, une protection totale n’est pas assurée. La protection sera inefficace si le bateau est à terre (bateaux pouvant échouer: dériveur intégral, biquille, catas, dériveurs lestés béquillant etc..) ou si le mât touche une ligne à haute tension. Les recommandations décrites dans ce texte sont donc de nature générale et en raison de la grande variété dans la conception et la construction des bateaux, de la nature imprédictible de la foudre, des recommandations couvrant tous les cas possibles ne peuvent pas être faites.

A bord d’un bateau, les effets de la foudre sont bien plus dangereux que sur terre donc un système de protection doit être conçu et réalisé avec une plus grande rigueur que ce qui est fait pour protéger des bâtiments terrestres. Un fonctionnement insuffisant, acceptable à terre, ne le sera pas au milieu de l’océan.

Cet essai sur la foudre, plus que de donner une approche spécifique vise à une prise de conscience de l’importance du problème. **Les experts et divers organismes n’ont pas atteints de consensus sur le sujet. Il revient donc à votre jugement personnel de décider et mettre en œuvre ce qui sera le mieux pour votre propre bateau. Bonne chance!**

³⁴ Pendant un orage le mieux est encore de suivre strictement le conseil de Frère Renard: “profil bas et pas un mot”.

En Résumé

De ce qui précède nous pouvons voir que la protection contre la corrosion n’est pas traitée de manière optimale par un *système d’interconnexion*, qui en lui-même ne prend pas convenablement en charge la protection contre la *foudre*, le *plan de terre* des radios ni même la *corrosion due aux courants de fuite*.

³³ NDT : pas facile de trouver un endroit comme ça !

³⁴ Page 15

En clair, si nous choisissons d'utiliser un système d'interconnexion à bord de nos bateaux, ce choix doit être fait de manière raisonnée plutôt que dans l'espoir que ce système réalise des tâches pour lesquelles il n'est pas adapté.

En faveur de l'interconnexion

Risques d'électrocution

Le risque d'électrocution résultant de ce qu'une personne devienne le meilleur chemin électrique vers la mer est indiscutable.

On peut dire avec certitude que l'interconnexion permet d'éviter l'électrocution, et ce en ramenant au même potentiel électrique toutes les pièces métalliques interconnectées.

Il est évident que, pour limiter sa responsabilité, un constructeur de bateau se convaincra aisément d'installer des systèmes d'interconnexion, ne serait-ce que pour éviter d'être la cible d'un procès alléguant qu'une installation électrique incorrecte est la cause de dommages corporels ou de décès.

Dans le contexte d'un système légal/juridique basé sur la responsabilité, il est difficile de ne pas recommander l'interconnexion. Nous devons toutefois avoir une compréhension de l'ensemble de la situation et éviter, par autosatisfaction, d'imaginer que nous avons résolu l'ensemble des problèmes d'un coup. C'est plutôt l'inverse qui se produit ... nous risquons fort d'avoir créé une multitude de problèmes inattendus.

En installant une interconnexion nous avons certainement réduit les risques d'électrocution des personnes, mais à ce prix nous avons :

- I. Augmenté le risque d'une corrosion grave et inattendue, et ce quelque soit le matériau de construction de la coque.
- II. Porté atteinte à l'intégrité de la structure de la coque, dans le cas d'un bateau en bois.
- III. Fait l'hypothèse incorrecte que l'interconnexion fournit un plan de sol ³⁶ efficace pour la radio
- IV. Fait l'hypothèse incorrecte que l'interconnexion est de toute façon efficace dans la protection contre la foudre.

Nous voyons bien qu'il n'y a pas une solution unique à ces problèmes disjoints, qu'idéalement il vaut mieux traiter individuellement.

37

Raccorder l'Électricité du Quai

Aux États-Unis la tension du courant secteur du quai est de 110V ou de 220V, à 60 Hz et peut à l'occasion être de 120 V ou 240 V. Dans le cas du 110/120V, les trois conducteurs sont le fil noir de phase, le fil blanc du neutre et le fil vert de la terre de protection. Dans le cas du 220V/240V, il y a quatre conducteurs : deux fils de phase, soit tous les deux noirs, soit un noir et un rouge, le fil blanc du neutre et le fil vert de la terre de protection. Une fois sur le bateau ce fil vert de protection peut rester vert ou être vert à bandes jaunes.

Le fil de terre vert ³⁹, qui est un conducteur ne transportant pas de courant, est prévu pour raccorder à la terre l'extérieur des équipements électriques.

Le fil blanc ⁴⁰ du neutre transporte du courant, il est ramené au potentiel de la terre.

³⁶ [...] effective radio counterpoise

³⁷ Page 16

³⁹ green AC ground wire, traduit par fil [vert] de terre de protection. La couleur ne sera pas systématiquement rappelée par la suite.

⁴⁰ white AC neutral, traduit par fil [blanc] du neutre. La couleur ne sera pas systématiquement rappelée par la suite.

La tension du fil noir ou rouge de phase ⁴¹ varie autour de la tension du neutre, d'abord en passant à plus 110 V et ensuite à moins 110V et ainsi de suite ⁴² et ce 60 fois par seconde (aux USA).

Le fil vert de la terre de protection doit être raccordé à bord à tous les équipements qui utilisent le courant secteur du quai. Ceci est un point de sécurité pertinent et important.

Si un fil de phase du secteur vient en contact avec l'extérieur d'un équipement, le fil vert du secteur peut se mettre à transporter du courant. Si nous entrons en contact avec cet équipement et touchions en même temps quelque chose en contact avec l'eau de mer, nous deviendrions alors le chemin préféré du courant ⁴³. C'est la logique qui conduit l'ABYC à recommander d'une part que le fil vert de terre de protection soit prolongé jusqu'à l'ensemble des métaux du bord en contact avec la mer et d'autre part que le fil blanc du neutre reste isolé.

Selon les manuels de l'ABYC, la destination de ce fil vert est le pôle négatif du moteur, ce qui fait l'hypothèse que le bateau est équipé d'interconnexion et que le moteur y est raccordé.

Dans un bateau en bois ou l'interconnexion peut ne pas être souhaitée et est donc éventuellement absente, cette directive peut ne pas être implémentable.

Par-dessus tout, Il est impératif qu'il n'y ait aucune connexion électrique quelle qu'elle soit entre le fil blanc du neutre du secteur et le système d'interconnexion du bateau, ou entre ce fil blanc et le pôle négatif du circuit de courant continu (circuit CC ⁴⁴) du bateau.

Pour être correcte, la liaison entre la terre de protection verte et le neutre blanc ne peut se produire qu'à terre où un robuste pieu en cuivre de mise à la terre est enfoncé dans le sol à l'endroit où les câbles électriques quittent le quai. Les recommandations de l'AYBC stipulent qu'en aucun cas le fil vert de terre de protection ne peut être connecté au fil blanc au-delà de ce point. La règle dit explicitement : « *Toutes les parties apparentes et électriquement conductrices des équipements fixes ou mobiles alimentés en courant secteur doivent être reliées au fil de terre de protection. S'il existe un pontage entre le neutre et la terre dans un équipement, ce pontage doit être enlevé.* »

S'ils sont incorrectement câblés, le fil de terre vert et le fil neutre blanc peuvent par erreur être reliés entre eux au niveau de l'armoire électrique du bassin et prendre en défaut la protection contre l'électrocution au niveau du bassin.

S'ils sont incorrectement câblés à bord, c'est la protection à bord qui sera prise en défaut.

Si le fil de phase noir et le fil neutre blanc sont inversés au niveau de la prise de quai ou du bord nous allons retrouver du courant ⁴⁵ sur le fil du neutre de notre installation.

Pour ces raisons l'ABYC recommande d'installer un indicateur de polarité là où le cordon secteur du quai rejoint le bord du bateau ⁴⁶.

Plus d'un bateau a du sa perte à un câblage électrique incorrect, ou a vu ses équipements décomposés au point d'introduire des risques structurels, à cause de courants de fuite créés par une inversion de polarité dans le réseau secteur du quai.

⁴¹ *black AC hot wire*, traduit par fil [noir] de phase. La couleur ne sera pas systématiquement rappelée par la suite.

⁴² Faut vraiment prendre les lecteurs pour des brèles ... ou craindre un procès pour n'avoir pas rappelé que le courant alternatif alterne !

⁴³ NDT : A ce stade, l'auteur, en oubliant de préciser les conséquences d'une telle situation, se rend sans doute coupable de quelque chose méritant procès.

⁴⁴ NDT : Trois circuits sont évoqués dans ce texte : le circuit secteur du quai (circuit de courant alternatif, circuit CA), le circuit de courant continu du bord (circuit CC) et le circuit de courant alternatif du bord. Lorsqu'ils ne sont pas ambigus, les noms abrégés, CA et CC, seront utilisés par la suite pour les deux premiers circuits.

⁴⁵ NDT : il s'agit de différence de potentiel plutôt que de courant. Avec un raccordement non inversé, seul un contact avec le fil de phase (« chaud ») peut entraîner une électrocution car un courant peut s'écouler vers/via la terre. L'inversion entre phase et neutre au niveau du branchement peut rendre « chaud » le circuit de neutre, normalement « froid », du courant alternatif du bord. Il reste qu'un interrupteur différentiel placé sur l'arrivée secteur protégera contre ce genre d'électrocution, que le fil « chaud » soit le noir ou le blanc.

⁴⁶ NDT : Et si l'indication d'inversion apparaît, comme c'est le cas plus d'une fois sur deux, on fait quoi ? On recâble le quai ? On inverse ? On change de port ?

En terme de protection contre la corrosion, en reliant le fil de terre vert du secteur au système d'interconnexion du bateau nous favorisons l'apparition de courants de fuite puisque, ce faisant, nous avons relié nos accessoires sous-marins et nos anodes aux accessoires sous-marins et aux anodes des autres bateaux de la marina qui seraient câblés de la même manière.

⁴⁷ Un défaut électrique quelconque sur ces autres bateaux impliquera immédiatement le nôtre. Un défaut électrique sur ces bateaux, s'il permet au courant de passer par la mer, conduira inmanquablement à la création d'un "point chaud" dans la marina.

Si le bateau défectueux consomme toutes ses anodes et est suffisamment proche du notre, il se mettra à utiliser nos anodes puisqu'il y est relié par le circuit de protection de terre du quai.

On sait qu'un défaut électrique de cette nature a tué des baigneurs à proximité du "point chaud", même si bizarrement certaines personnes restent incrédules quand à une telle extrémité. Lorsque le nageur se trouve dans le cheminement du courant électrique, une différence de potentiel peut apparaître entre certaines extrémités de ses membres engendrant un courant suffisamment intense à travers son corps pour lui être fatal ⁴⁸. Un tel cas est arrivé récemment à Seattle.

Ces périls pour le bateau et les personnes à bord ont conduit à recommander de transporter la terre de protection jusqu'au bord, au risque de créer un chemin pour des courants de fuite potentiellement destructeurs. Aussi l'ABYC recommande d'interposer un *transformateur d'isolement* ou un *isolateur galvanique*, à bord, entre l'arrivée de la ligne de quai et le panneau de distribution du courant alternatif à bord.

Un *isolateur galvanique* est un dispositif qu'on ajoute, à bord, sur l'arrivée du fil de terre du quai et qui bloque les courants galvaniques continus faibles tout en laissant passer, si nécessaire, les courants alternatifs. À lui tout seul il n'empêchera pas les dégâts potentiellement dévastateurs induits par un courant secteur dont la polarité est inversé, et n'empêchera pas non plus les dégâts induits par une inversion de polarité sur un bateau voisin quand bien même il n'y aurait pas d'inversion à votre bord.

De nombreuses boites noires sont mises sur le marché qui prétendent empêcher les autres bateaux de consommer vos anodes, elles peuvent utiliser des diodes pour empêcher un flux de courant dans une direction mais n'empêcheront pas le courant de passer dans le sens "préféré" et donc de constituer un danger pour nous ou les baigneurs à proximité ⁴⁹. De plus si ces dispositifs sont incorrectement installés à bord ils peuvent favoriser la corrosion, éventuellement dévastatrice.

Prévention de la Corrosion

Il y a essentiellement trois voies pour éviter de tels désastres, chacune avec ses variantes, ses avantages et ses inconvénients, ses laudateurs et ses dénégateurs, ceux qui y croient et ceux qui en doutent.

Chacun de ces choix doit être étudié en fonction du bateau et c'est le **propriétaire du bateau** qui choisira la voie à retenir pour le bateau en question. En bref, ces choix sont :

I. Ne pas utiliser le courant secteur du quai.

II. Utiliser le courant secteur du quai à travers un *transformateur d'isolement de qualité marine* et avec une "terre flottante", en ne reliant pas la terre de protection du quai au bus négatif du courant continu du bord. **Ce choix entraîne un risque d'électrocution pour les personnes à bord !**

⁴⁷ Page 17

⁴⁸ NDT : Dans "The green wire controversy", (in www.practical-sailor.com/newspics/charts/905greenwire.pdf), l'auteur, Robert Loeser précise : « Il faut une tension et une intensité très importante pour électrocuter quelqu'un mais un nageur peut être tué sans être électrocuté : lorsque le gradient de tension à proximité du nageur atteint 5 volts par mètre, ses muscles cessent de fonctionner et ce dernier coule ».

⁴⁹ NDT : les isolateurs galvaniques que je connais sont constitués d'un pont de diodes bloquant le courant – continu **aussi bien qu'alternatif** - dans chaque direction et ce pour tout courant dont la tension est inférieure à la chute de tension induite par les diodes. On met en général trois diodes dans chaque sens qui feront chuter la tension de 1,8 V, valeur supérieure au plus fort couple galvanique induit par les métaux les plus dissemblables. Je comprend mal ces isolateurs qui laisseraient passer le courant dans un sens, de même je comprend mal les isolateurs qu'il faut choisir spécifiquement selon que le bord est protégé ou non par un interrupteur différentiel. Au cœur des ténèbres ...

III. Utiliser un transformateur d'isolement de qualité marine et relier le fil vert de terre du secteur au bus négatif du bateau et par là au système d'interconnexion du bord.

I. Le premier cas est le choix le plus facile : en n'introduisant pas le courant du quai à bord le problème est résolu. C'est le choix évident pour les petites embarcations, il évite des dépenses énormes, une responsabilité immense et réduit considérablement la probabilité de corrosion liée à des courants de fuite. Toutefois, si ce bateau sans courant secteur est doté d'une interconnexion, des courants de fuite sous-marins peuvent encore endommager ses accessoires sous-marins.

II. Le deuxième cas peut être attrayant : si nous introduisons le courant secteur du quai à bord au travers d'un transformateur d'isolement, nous pourrions éviter le problème des courants de fuite en ne connectant pas la terre de protection du quai au système d'interconnexion du bord. Dans cette approche le fil de terre du quai sera transporté uniquement vers les accessoires alimentés en courant alternatif. De manière idéale, un interrupteur différentiel devrait protéger l'ensemble des circuits CA du bord, même lorsque le secteur provient d'une simple rallonge.

Si le fil de terre de protection n'est pas relié au système d'interconnexion du bateau, nous y gagnerons en plus une séparation complète des circuits de courant alternatif et continu, ce qui est souhaitable du point de vue de la corrosion.

⁵¹ Sur un bateau "rudimentaire", sans eau chaude et froide courante, bar bien fourni, micro-onde, congélateur et télévision, *ou sans système d'interconnexion*, il est vraisemblable qu'on préférera ne pas relier la terre de protection du secteur au pôle négatif du circuit CC du bateau, et ce quelque soit le matériau de construction de la coque.

À bord d'un bateau relativement sommaire qui utilise le courant secteur du quai uniquement pour charger ses batteries, on peut être attiré par cette stratégie de "terre flottante". Comme nous le verrons bientôt le maillon faible de cette stratégie se situe souvent au niveau du chargeur, ce dispositif qui est la raison première pour laquelle nous apportons le courant secteur à bord.

Il a été dit de nombreuses fois et par de nombreuses personnes que : « si la terre du quai n'est pas relié au système d'interconnexion du bord, il y a un risque d'électrocution à bord ». ***Ceci est entièrement vrai !***

Il faut se rendre compte que **même** si la terre de protection du secteur est reliée à notre système d'interconnexion, le risque *subsiste* de recevoir une décharge électrique en touchant un fil de phase ou en touchant un fil d'un circuit secteur défectueux.

Protection contre les Décharges Électriques

III. Le troisième cas autorise la protection maximum contre les décharges électriques. À bord d'un bateau doté d'une installation complexe nous n'aurons pas d'autres choix : les recommandations de l'ABYC devront être suivies.

*Le courant secteur devra arriver à bord à travers un **transformateur d'isolement de qualité marine** et le fil vert de la terre du secteur devra être transporté et raccordé non seulement au bus neutre du circuit CA (selon toute vraisemblance il s'agit du circuit CA du bord) mais aussi au système d'interconnexion du bateau au niveau du bus négatif du circuit CC*⁵².

⁵¹ **Page 18**

⁵² *The AC power will have to be brought aboard through a proper **Marine Isolation Transformer**, and the AC green ground wire will have to be extended and attached to not only the AC neutral bus, but also to the boat's bonding system at the DC negative bus.* Le texte ne fait pas toujours clairement la distinction entre le CA du quai et le CA du bord, d'où un risque d'ambiguïté. À la réflexion, ce raccordement de la terre de protection doit se faire à bord. Donc la terre du quai, la mer, le moins du circuit CC et le neutre du circuit CA du bord sont reliés et donc ramenés au même potentiel, celui de la terre.

La recommandation de l'ABYC conduit à ce que les équipements CA à bord fonctionnent de la même manière que les outils et accessoires que nous avons l'habitude d'utiliser à terre. La terre de protection (du quai) et le système d'interconnexion⁵³ seront au même "potentiel de terre" que l'eau de mer.

La règle de l'ABYC est très claire à ce sujet, le fil vert de terre de protection doit être traité uniquement de la façon prescrite. De toute façon un transformateur d'isolement de qualité marine isolera chacun des trois fils du courant secteur du quai, donc y compris l'isolation du fil vert de terre.

Le transformateur d'isolement

L'ABYC définit un **transformateur d'isolement** comme « *un transformateur installé à bord sur le circuit électrique venant du quai et qui isole électriquement l'ensemble des conducteurs du circuit CA du bord de l'ensemble des conducteurs du secteur venant du quai, y compris le fil de terre du circuit du bord.* »

Si nous apportons le courant secteur du quai sur un tableau électrique du bord, il faudra **toujours** équiper l'arrivée de courant secteur d'un transformateur d'isolement à son point d'arrivée à bord et avant qu'il n'atteigne le tableau électrique ou tout autre appareil.

Le courant secteur du quai ne passe que dans les enroulements du primaire du transformateur et induit un courant dans les enroulement du secondaire, ce dernier alimentant le bateau. Les enroulements primaires et secondaires étant mutuellement isolés, un défaut de terre coté quai n'aura pas d'incidence sur notre bateau.

Simplifié à l'extrême, un transformateur d'isolement se compose de deux bobinages, proches l'un de l'autre tout en étant isolées, généralement enroulées autour d'un noyau métallique commun qui contiendra le champs magnétique produit. Lorsqu'un courant alternatif est appliqué à une des bobines, un courant similaire est *induit* sur l'autre bobine.

Les transformateurs sont le plus souvent conçus pour augmenter ou diminuer la tension d'un courant en jouant sur le nombre de spires de chaque bobinage. Dans un *transformateur d'isolement* le nombre de spire est le même pour les deux bobinages, il sert seulement à **isoler** le bateau du courant secteur du quai tout en laissant la tension inchangée.

La nécessité d'un *transformateur d'isolement* vient de ce que le courant secteur du *quai* est référencé par rapport à la terre⁵⁴. Si vous êtes en contact avec la terre et que vous touchez simultanément le fil de phase d'une prise de quai, vous prendrez une décharge électrique.

Le *transformateur d'isolement* rompt ce référencement par rapport à la terre dans le courant qu'il livre à bord. Aucun des deux pôles du circuit CA isolé n'est relatif au potentiel de la terre⁵⁵, du coup il vous faudra toucher simultanément les deux fils du circuit CA du bord pour prendre une décharge électrique.

⁵⁷ Isoler les trois fils du quai par un transformateur a aussi comme conséquence qu'une fuite électrique à bord d'un bateau voisin ne passera pas par votre réseau d'interconnexion et qu'elle devra emprunter un autre chemin pour rejoindre la terre.

La question n'est pas de savoir si on devrait ou ne devrait pas utiliser un transformateur d'isolement : ***son utilisation est impérative dès lors que le courant secteur du quai est introduit à bord, quelqu'en soit la raison*** ! La question est plutôt de savoir précisément comment raccorder le fil vert de la terre de protection à travers le transformateur d'isolement et ensuite qu'en faire à bord.

La mise à jour de 1998 de l'ABYC⁵⁸ conseille trois voies de base pour raccorder un transformateur d'isolement à l'arrivée du secteur 120 VCA du quai, illustrant les trois différentes manières, mises au point par les différents constructeurs, de gérer cette terre de protection

⁵³ NDT : Système d'interconnexion qui, dans une installation domestique en France, porte le nom de "réseau de terre" et qui relie aussi bien les prises électriques que les baignoires, le chauffe-eau, les machines à laver, le chambranle métallique des huisseries, ...)

⁵⁴ *An Isolation Transformer is used because the shoreside AC power is referenced to ground*

⁵⁵ Car aucun de ces pôles n'est relié à la terre.

⁵⁷ **Page 19**

⁵⁸ La seule chose qui soit en ligne sur www.abycinc.org est un formulaire permettant de commander ces recommandations. Pas mal d'informations liées à ces documents se trouvent sur <http://www.blueseas.com/abyc.htm>

Les diagrammes de l'ABYC⁵⁹ doivent être méticuleusement étudiés ! Les méthodes présentées pour raccorder un transformateur d'isolement assurent qu'aucune continuité n'existe entre le fil vert de terre de protection du quai et le fil vert de mise à la terre du bateau. Vous trouverez l'adresse de l'ABYC dans la bibliographie à la fin de ce document.

On suggère couramment, lorsqu'on est confronté aux câblages pourris des marinas ou des bateaux voisins, d'utiliser un interrupteur différentiel⁶⁰ qui coupera le circuit dans lequel un défaut de terre serait détecté. Théoriquement un interrupteur différentiel se comportera comme un indicateur de la sécurité, pratiquement il vous rendra rapidement fou et vous l'enverrez assez vite par le fond, voir immédiatement^{61 62}. Les gardes côtes d'ici, à Port Townsend, à bord du cotre *Point Bennett*, ont fait une tentative valeureuse d'introduire des interrupteurs différentiels dans les boîtiers électriques du port, ils ont même recâblé une partie de la marina pour finalement abandonner cette idée d'interrupteur différentiel. Ils n'arrivaient même pas à suivre la fuite de terre.

Le Chargeur de Batterie

Le chargeur de batterie est la porte ouverte la plus courante et la moins soupçonnée permettant que le fil de terre vert et peut-être aussi le fil neutre blanc de l'alimentation secteur du quai arrivent à avoir un impact sur les pièces métalliques sous-marines. Beaucoup de chargeurs marine de haute qualité comportent un *transformateur d'isolement* alors que les chargeurs marine bon marché ou les chargeurs pour automobiles peuvent ne pas en comporter.

Si les trois fils de l'installation CA du bord ne sont pas correctement isolés du réseau du quai la possibilité existera d'une connexion entre la terre de votre bateau et celle de la totalité du réseau de distribution.

L'ABYC exige l'utilisation de chargeurs de batterie dotés d'un transformateur d'isolement afin de réduire le risque de chocs électriques et de réduire la possibilité de corrosion probablement sévère.

Le Verdict ?

Sur n'importe quelle sorte de bateau, nous devons chacun faire notre choix propre. Ce choix est individuel, chacun aura sa préférence personnelle.

Sur un bateau en bois, le choix peut être plus tranché, Nous devons choisir le moindre de deux maux :

I. Tenter de nous protéger du risque possible de choc électrique en l'équipant d'un système d'interconnexion relié d'une part au moins du circuit CC et d'autre part au fil de terre vert du secteur à travers un transformateur d'isolement, ou...

II. Empêcher la structure en bois de la coque en bois d'être attaqué par les conditions alcalines, qui se forment à proximité des accessoires nobles et qui sont fortement destructives, en n'installant pas de système d'interconnexion mais plutôt en protégeant chacun de ces accessoires sous-marins par son jeu propre d'anodes sacrificielles. Ceci contribue par ailleurs à éliminer le risque de corrosion de ces équipements sous-marins par des courants de fuite.

Sur n'importe quel navire, indépendamment des choix faits, s'il y a le courant secteur à bord, il devrait y avoir un transformateur d'isolement et le fil de terre vert devrait être relié au Transformateur d'Isolement de la façon prescrite par l'ABYC.

Vous ne trouverez pas ici de réponses définitives et rapides mais seulement un instantané des questions ouvertes, et ce quelque soit le matériau de construction du bateau . En conséquence, la conclusion à laquelle vous parviendrez sera probablement différente de celle à laquelle a abouti le type d'à coté.

Simple est beau!

⁵⁹ Sont-ce les "E-8.5.2.2 The secondary neutral of an isolation transformer or polarization transformer shall be grounded at the secondary of an isolation or polarization transformer. See Diagram 5, Diagram 6, Diagram 7, Diagram 8, Diagram 9, Diagram 10, Diagram 11, Diagram 12, and Diagram 13. See Exception." de <http://www.blueseas.com/abyc.htm> ?

⁶⁰ [...] *Ground Fault Circuit Interrupter*. Dans ce contexte il s'agit clairement d'un interrupteur différentiel. Voir à ce sujet <http://www.ac-poitiers.fr/cmnp/get/pdf/BCR01p.PDF>

⁶¹ NDT : Autant les ouèbes français tiennent pour acquis qu'on met des interrupteurs différentiels un peu partout autant les ouèbes américains déploient des trésors de persuasions pour amener les citoyens visés à envisager l'utilisation de ces équipements. Est-ce parce qu'une bourre de 240V laisse beaucoup la part au hasard qu'une bourre de 110V ?

⁶² NDT : les marinas en France, en Angleterre, en Irlande, en Espagne, ... seraient-elles mieux installées qu'aux USA ?

Les systèmes de contrôle de la Corrosion

Les systèmes à courant imposé

Les parties métalliques interconnectées sont parfois protégées par un système à “*courant imposé*”.

Un système à courant imposé utilise une *électronique* pour contrôler l'état des courants électriques sous-marins et imposer un courant “inverse” qui neutralisera les effets d'électrolyse. La source du courant imposé est habituellement la batterie du bateau.

Dans ce système, les métaux sous-marins sont interconnectés et attachés aux anodes de zinc via *un contrôleur électronique*. Ce contrôleur mesure en permanence le potentiel de coque et le compare à une “anode de référence”. Au besoin, le contrôleur ajuste la résistance de la connexion à l'anode de zinc, empêchant ainsi la sur-protection.

Ce type de système est candidat aux mêmes pièges qu'un système d'interconnexion, auxquels s'ajoute le risque de défaillance de l'électronique de contrôle.

Ces dispositifs doivent être constamment contrôlés pour s'assurer qu'ils restent opérationnels.

Si une défaillance électronique déconnecte les anodes, l'ensemble des parties interconnectées commencera à utiliser le métal suivant dans l'échelle galvanique. Cela pourra être l'arbre d'hélice, ou les boulons de quille...

Ce faisant, nous avons lié le destin des métaux sous-marins et probablement celui du bateau tout entier à l'état sans cesse changeant des batteries du bord en supposant qu'elles resteront chargées, en supposant que le bidule qui contrôle l'état des métaux sous-marins fonctionne effectivement, en supposant que ce bidule a été installé correctement dès le début, et en supposant qu'aucune partie ne se déconnecte du reste de l'ensemble interconnecté.

Les systèmes actuels à courant imposé sont le sujet de débats considérables. La grande majorité de ce qui est écrit ou dit en faveur de ces systèmes émane de gens qui vendent ces équipement –ils ont à l'évidence quelque chose à gagner si vous en prenez un.

Le fait est qu'un système de contrôle de corrosion par courant imposé doit être *parfaitement* déployé pour fonctionner correctement, doit être contrôlé en permanence pour assurer que rien ne tourne mal au niveau : de l'électronique ; des raccordements ; de l'alimentation électrique ; du système de contrôle ; du dispositif d'alarme ; du câblage du bateau ; du raccordement du bateau au quai ; etc. À moins d'être prêt à baby-sitter sérieusement l'ensemble, un tel système est plus qu'inutile dans la mesure où nous en tirerons très probablement l'impression, fausse, que ça fonctionne correctement.

Des systèmes de protection par courant imposé peuvent trouver une utilisation sur les très grands navires qui ont un équipage à plein temps formé pour entretenir ces systèmes et qui peuvent les contrôler continuellement. Un bateau moyen ne colle pas à cette description!

Les mesures de protection *de toutes* sortes sont souvent mises en échec par un câblage défectueux, tant à bord que dans la marina.

Si par erreur nous raccordons un système à courant imposé *à l'envers*, ce dernier protégera activement tout le reste dans marina en utilisant le métal sous-marin de notre bateau comme une gigantesque anode sacrificielle

On ne peut pas recommander un système à courant imposé pour un bateau en bois, en raison de l'apparition de conditions alcalines sous chaque accessoire métallique cathodique et à cause de la destruction résultante du bois qui l'entoure.

Une précaution supplémentaire concernant les systèmes à courant imposé devrait être gardée à l'esprit : nous pouvons en devenir la victime même si notre bateau n'en est pas équipé.

Si nous nous trouvons dans le “champ de courant” créée dans l'eau par le système à courant imposé d'un autre bateau, ou à proximité de pieux métalliques ou de toutes autres structures protégés par un système à courant

imposé, les fils de notre réseau d'interconnexion peuvent constituer le chemin de moindre résistance pour le "courant de fuite" créé par ce système.

Dans un tel cas, le courant qui circule protégera le métal situé sur un côté de notre bateau au dépens du métal situé sur l'autre côté.

Les avertissements concernant les systèmes d'interconnexion des bateaux, quelque'en soit le matériau de construction, s'appliquent également aux systèmes à courant imposé.

Quelques Notes Propres aux Bateaux Métalliques

Aluminium

Un nombre non négligeable de bateaux en aluminium ont été complètement ruinés par l'installation incorrecte d'un système à courant *imposé*, ou par un système qui s'est mis à mal fonctionner.

Comme on l'a dit, l'aluminium ne sait tolérer la *sur-protection*. Si un bateau en aluminium, ou d'un autre matériau mais équipé d'une transmission en aluminium⁶⁵ devient *sur-protégé*, la coque deviendra trop cathodique; une charge trop positive aura été créée.

S'il est sur-protégé, l'aluminium se corrodera rapidement en raison de la formation de conditions alcalines à proximité des zones métalliques où le flux est insuffisant pour restaurer le Ph naturel de l'eau.

Les conditions alcalines créées par la sur-protection peuvent ramollir et cloquer n'importe quelle peinture semi-poreuse, créant une condition encore plus alcaline à proximité du métal qui se trouve sous la peinture partiellement intacte.

C'est pour cette même raison que l'on ne peut pas recommander des anodes en magnésium pour un bateau d'aluminium dans l'eau salée car cela entraîne une sur-protection.

Concernant les navires en aluminium, ou autres matériaux mais doté d'une transmission en aluminium, l'ABYC déclare:

« Des navires en aluminium auront une couche de peinture protectrice qui constitue une barrière à haute résistance entre l'aluminium et l'eau. On n'utilisera pas de revêtements anti-fouling incompatibles en termes galvaniques. Les coques d'aluminium seront protégées par des anodes sacrificielles montées sur la coque. »

« Bien que les systèmes à courant imposé soient capables d'apporter une protection aux navires en aluminium, il ne sont pas, de manière générale, recommandés car un défaut dans le système à courant imposé peut détruire la coque dans un temps très bref. »

Acier

Concernant les systèmes à *courant imposé*, l'ABYC n'évoque pas, pour les navires en acier, les mêmes avertissements que ceux mentionnés pour les navires d'aluminium, le danger de sur-protection n'étant pas si sévère. Toutefois subsiste toujours le danger de panne ou de défaillance du système à courant imposé.

Il est peu probable qu'un système à courant imposé soit satisfaisant sur quelque petit navire en acier que ce soit, ce système réclamant un contrôle permanent.

Les avertissements que nous avons mentionnés à propos de l'interconnexion, la foudre, le courant secteur du quai, etc., s'appliquent tous.

N'importe quel Métal

L'ABYC recommande que *« tous les navires à coque métallique utilisant le courant secteur du quai seront équipés d'un instrument de mesure du potentiel de la coque et d'une électrode de référence, installés à demeure. Un instrument de mesure du potentiel de la coque est également recommandé pour tous les navires métalliques qui restent dans l'eau pendant des périodes prolongées. »*

« Les accessoires sous-marins, arbres d'hélice, hélices et gouvernes en bronze ou en alliage de métaux plus nobles que celui de la coque seront électriquement isolés du contact métallique avec la coque et avec la tuyauterie métallique interne. »

Un *Transformateur d'Isolement* de qualité maritime devrait être installé sur n'importe quel navire à bord duquel arrive le courant secteur du quai.

⁶⁴ Page 21

⁶⁵ [...]an aluminum outdrive

Un chargeur de batterie, ou un chargeur-inverseur (un convertisseur CC/CA) devraient être de type marine, pourvu d'un *transformateur d'isolement* interne.

L'ABYC présume que la coque métallique elle-même sera raccordée au bus négatif de l'installation CC du bateau par un raccord au moteur et donc que la coque sera raccordée aux autres métaux sous-marins qui participent au système d'interconnexion.

Au lieu de cela beaucoup de constructeurs de bateaux métalliques choisissent : de maintenir la coque complètement isolée des autres métaux sous-marins ; d'équiper la coque d'anode ; de protéger les autres métaux sous-marins séparément avec leurs propres anodes. Et tout ça **sans** système d'interconnexion *stricto sensu*.

Raccordement des Postes à Souder

Le Guide de l’AWS⁶⁷ pour la soudure des coques en aluminium précise la façon correcte de brancher des postes à souder afin d’empêcher la corrosion électrolytique de la coque dans l’eau.

Le poste de soudage à l’arc devrait être mis à bord du bateau à souder et son câble négatif devrait être connecté directement à la zone où on entreprend la soudure, si le câble négatif est connecté à une certaine distance de la zone de travail, un peu de courant peut transiter par l’eau le long du navire.

Un poste à souder devrait être installé de manière à éviter que du courant rejoigne le pôle négatif via l’eau. Un poste installé et mis à la terre sur un bateau ne devrait pas être utilisé pour exécuter une soudure sur un autre bateau.

Le câble négatif d’un poste à souder ne devrait pas être connecté au quai, ou à une prise de quai de quelque nature que ce soit. Les câbles devraient être tenus hors de l’eau. Il est essentiel qu’aucun courant lié à l’exécution de la soudure ne passe par l’eau de mer vers ou en provenance de la coque métallique.

Il n’est pas recommandé de souder sur deux bateaux simultanément à partir du même poste à souder, dans la mesure où les deux coques seraient mise à la même terre par ce poste, provoquant, lors de soudure sur une coque, la fermeture du circuit à travers l’autre coque

Les câbles devraient être de taille adéquate pour le travail à réaliser, tous les raccords étant propres et serrés.

Autres textes traitant du câblage électrique et de l’interconnexion

*Boatowners' Illustrated Handbook of Wiring, Charlie Wing
International Marine, Camden, Maine*

*The 12 Volt Doctor's Practical Handbook, Edgar J. Beyn
C. Plath, Annapolis, Maryland*

*The 12 Volt Bible for Boats, Miner Brotherton
International Marine, Camden, Maine*

*Boatowner's Mechanical and Electrical Manual, Nigel Calder
International Marine, Camden, Maine*

*Metal Corrosion in Boats, Second Edition, Nigel Warren
International Marine, Camden, Maine*

*ABYC Standards and Recommended Practices for Small Craft,
ABYC, 3069 Solomons's Island Road, Edgewater, MD 21037*

Les deux premières références sont les plus dissertes sur la corrosion et l’interconnexion.

Les trois références suivantes traitent des sujets non abordés par les deux premières

*Les fascicules de standards de l’ABYC peuvent être disponible dans votre bibliothèque locale, ils méritent
d’être étudiés.*

⁶⁶ Page 22

⁶⁷ American Welding Society (Association Américaine de Soudage): “Guide for Aluminum Hull Welding, D3.7-90 ». <http://www.aws.org/>

Éviter la corrosion galvanique ⁶⁸

- * Utilisez sous l'eau des métaux aussi proches que possible dans l'échelle galvanique, ne mélangez pas les métaux.
- * Le métal dont sont faits les attaches, serre-joints et colliers doit être plus noble que le métal qu'ils enserrent.
- * Du strict point de vue de la protection contre la corrosion d'un bateau pas compliqué ou d'un bateau en bois, il est préférable que chaque pièce sous-marine soit isolée des autres, et ensuite ...
- * Ajoutez-lui sa propre anode, en évitant de la sur-dimensionner ! Si possible soudez directement sur la pièce, sinon boulonnez.
- * Ne peignez jamais une anode !
- * Il est bon de peindre les métaux cathodiques
- * N'utilisez jamais d'huile graphitée pour les portées et roulements ⁶⁹, le graphite est plus noble que quasiment tout le reste !
- * Le courant alternatif du quai devrait toujours passer en premier lieu par un transformateur d'isolement, de qualité marine.
- * Les chargeurs de batterie devrait être du type à transformateur d'isolement ⁷⁰.
- * Utilisez l'interconnexion si nécessaire, si vous avez un système électrique franchement compliqué, de manière à réduire les risques d'électrocution.
- * Faites tout votre possible pour éviter les courants de fuite dans l'eau, et pour éviter de les avoir à bord.

Quelques mots concernant l'ABYC (American Boat and Yacht Council) : les standards de l'ABYC ne font pas force de loi. L'ABYC déclare ce qui suit à propos de l'utilisation de ses recommandations :

« *Les rapports techniques, les pratiques et standards sont uniquement consultatifs : ils sont considérés comme représentant – au jour de leur publication – le consensus de personnes bien informées et actives à ce moment là dans le domaine des petits navires, sur des objectifs de comportement, de performance, contribuant à la sécurité des petits navires. Ils sont d'application volontaire.* »

« *Autant que possible, les pratiques techniques volontaires et les standards d'ingénierie sont exprimés en terme de comportement, leur intention n'est pas d'empêcher d'atteindre les mêmes buts par des moyens différents. Ils sont généraux dans leur application, il peut exister des situations, liées à l'utilisation, la configuration ou toutes autres caractéristiques d'un bateau ou d'une classe de bateaux spécifiques, qui peuvent conduire à des contraintes spéciales différentes de celles envisagées par les standards généralement applicables.* » ⁷¹

⁶⁸ voir aussi le document plus général: [http://www.pilothouseonline.com/current/features/Metal Boats/metal_boats.htm](http://www.pilothouseonline.com/current/features/Metal%20Boats/metal_boats.htm), du même auteur

⁶⁹ *Never use graphite-bearing lubricants.*

⁷⁰ En vérifiant explicitement que ce chargeur, par les vis de fixation à la coque ou de toute autre manière, ne met pas la coque en continuité avec la terre de protection du secteur ou avec le moins du circuit CC ☺

⁷¹ NDT : je demande moi aussi à bénéficier, pour ce qui concerne ma traduction, de toutes les protections et exonérations de responsabilité qui sont sous jacentes dans ces deux paragraphes ☺

Le processus d'élaboration des standards de l'ABYC passe par une phase de développement au sein d'un comité technique, une revue par le conseil de direction de l'ABYC puis une revue publique suivie d'un nouvel examen par le comité technique et le conseil de direction, et enfin le standard proposé est publié.

Ce processus est tout à fait rigoureux. Néanmoins, comme mentionné ci-dessus, les standards de l'ABYC représentent un consensus entre professionnels de l'industrie nautique et restent volontairement généraux dans leur applications. Ils sont exprimés en terme de minimums : « *Ils précisent les bases sur lesquelles on pourra construire mieux, plus sûr, voir de la meilleure manière.* »

Ce numéro sur la corrosion, les anodes et l'interconnexion est © 1998 Michael Kasten, tout droits réservés. Aucune copie de cette brochure ne peut être faite sans l'autorisation expresse de l'auteur: Michael Kasten. Les demandes de copies sont à adresser à Kasten Marine Design, Inc., PO Box 991, Port Townsend, Wa. 98368. 360-385-6407 Phone, or 360-385-6409 Fax. redpath@olympus.net

⁷³ Ces valeurs sont estimées directement sur le tableau inclus en dernière page de la publication originale.

Potentiels moyens dans l'eau de mer ⁷³

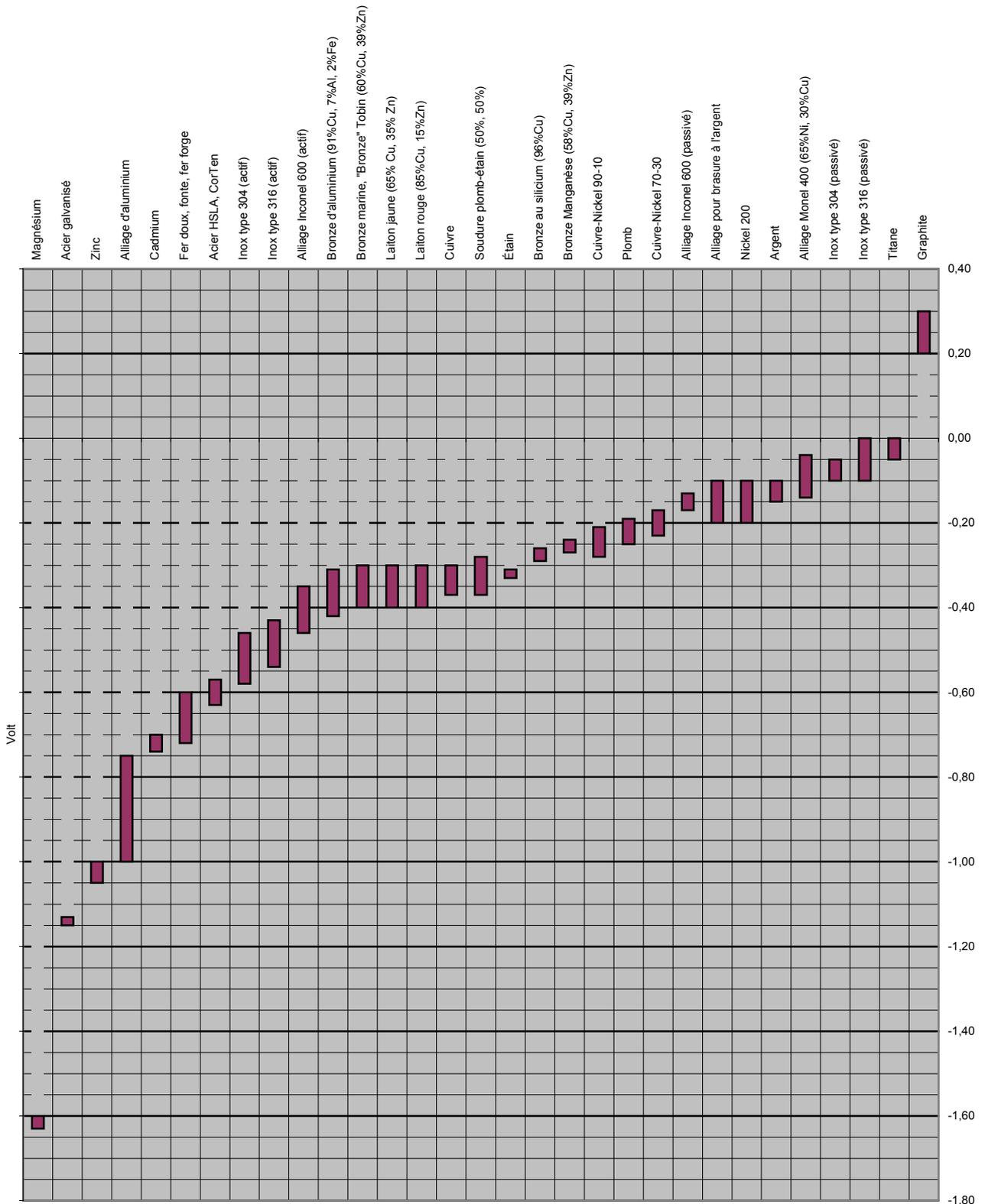
Métaux les moins nobles

| | |
|--|---------------|
| Magnésium | -1,60 ~ -1,63 |
| Acier galvanisé | -1,13 ~ -1,15 |
| Zinc | -1,00 ~ -1,05 |
| Alliage d'aluminium | -0,75 ~ -1,00 |
| Cadmium | -0,70 ~ -0,74 |
| Fer doux, fonte, fer forgé | -0,60 ~ -0,72 |
| Acier HSLA (haute résistance faiblement allié), CorTen | -0,57 ~ -0,63 |
| Inox type 304 (actif) | -0,46 ~ -0,58 |
| Inox type 316 (actif) | -0,43 ~ -0,54 |
| Alliage Inconel 600 (actif) | -0,35 ~ -0,46 |
| Bronze d'aluminium (91%Cu, 7%Al, 2%Fe) | -0,31 ~ -0,42 |
| Bronze marine, "Bronze" Tobin (60%Cu, 39%Zn) | -0,30 ~ -0,40 |
| Laiton jaune (65% Cu, 35% Zn) | -0,30 ~ -0,40 |
| Laiton rouge (85%Cu, 15%Zn) | -0,30 ~ -0,40 |
| Cuivre | -0,30 ~ -0,37 |
| Soudure plomb-étain (50%, 50%) | -0,28 ~ -0,37 |
| Étain | -0,31 ~ -0,33 |
| Bronze au silicium (96%Cu) | -0,26 ~ -0,29 |
| "Bronze" Manganèse (58%Cu, 39%Zn) | -0,24 ~ -0,27 |
| Cuivre-Nickel 90-10 | -0,21 ~ -0,28 |
| Plomb | -0,19 ~ -0,25 |
| Cuivre-Nickel 70-30 | -0,17 ~ -0,23 |
| Alliage Inconel 600 (passivé) | -0,13 ~ -0,17 |
| Alliage pour brasure à l'argent | -0,10 ~ -0,20 |
| Nickel 200 | -0,10 ~ -0,20 |
| Argent | -0,10 ~ -0,15 |
| Alliage Monel 400 (65%Ni, 30%Cu) | -0,04 ~ -0,14 |
| Inox type 304 (passivé) | -0,05 ~ -0,10 |
| Inox type 316 (passivé) | -0,00 ~ -0,10 |
| Titane | -0,05 ~ +0,06 |
| Graphite | +0,20 ~ +0,30 |

Métaux les plus nobles

La différence de potentiel maximum recommandée est de 0,2 Volts.

Potentiel galvanique moyen dans l'eau de mer



D'après M. Kasten : "Corrosion, Zincs & Bonding" in Metal Boat Quarterly, Summer 1998 ⁷⁴

⁷⁴ La plage du potentiel galvanique s'étend de -0,05 V à +0,06 V et non de -0,05 V à 0,00V comme le suggère ce tableau.