

La protection cathodique

I - Généralités sur la corrosion

- Corrosion ou oxydation naturelle :

L'acier ne se trouve pas à l'état naturel, on le trouve sous forme de minerai de fer. Lorsqu'on met de l'acier dans le sol ou dans de l'eau, avec le temps il retourne sous forme d'oxyde de fer.

C'est pareil pour nos vieilles coques, dès qu'il y a le moindre contact avec l'eau l'acier se corrode (s'oxyde), plus ou moins vite suivant la conductibilité de l'eau et la valeur d'isolement de la coque.

- Corrosion par couple galvanique :

Tous les métaux ont entre eux des potentiels différents. Si on met en contact 2 métaux de nature différente dans un électrolyte (eau ou sol), le plus négatif (anode) se corrode et le plus positif (cathode) est protégé.

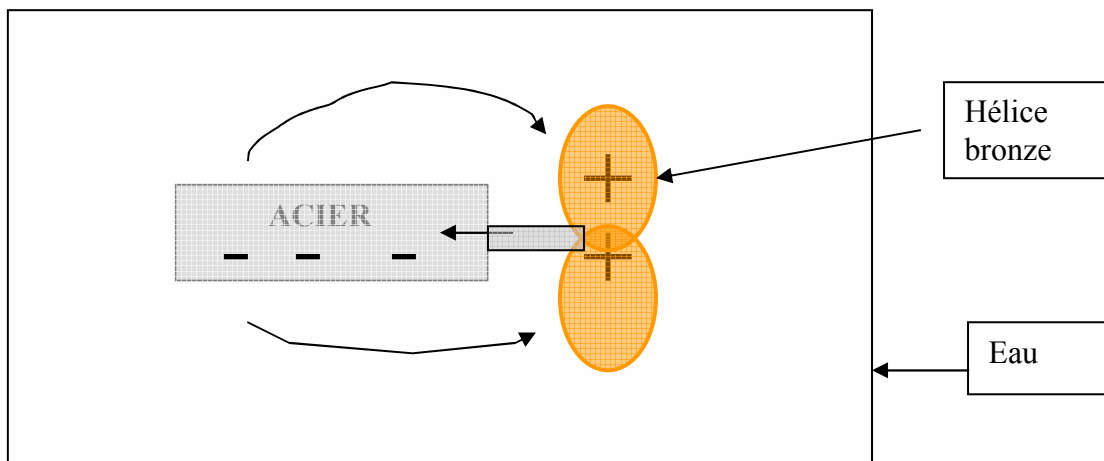
Toutes les mesures de potentiel sont faites avec une électrode de référence au cuivre/sulfate de cuivre (Cu/CuSo_4)

J'expliquerai plus tard comment faire une mesure et ce qu'est une électrode Cu/CuSo_4

Voir l'échelle de Nernst qui classe les métaux suivant leur potentiel propre.

Nous avons sur nos coques de l'acier (voire des aciers de nature différente), du laiton, du bronze (hélice et vannes) et de la fonte (hélice).

On voit sur le tableau que l'acier est plus négatif que les autres métaux c'est donc lui qui sera l'anode et qui se corrodera.



Un courant circule entre les 2 métaux, le plus électro-négatif se corrode (les flèches indiquent le sens du courant)

L'échelle de Nernst permet de voir la valeur des potentiels de chaque élément par rapport à une **électrode à hydrogène**

| Eléments | Potentiels |
|------------|-------------|
| or | +1420 |
| cuivre | +1200 |
| bronze | +700 |
| plomb | -130 |
| fonte | -390 |
| fer | -440 |
| zinc | -760 |
| aluminium | -1660 |
| magnésium | -2370 |

Les métaux en rouge corrodent l'acier, les métaux en vert le protègent

- Corrosion par aération différentielle et pile géologique :

La corrosion naturelle dépend beaucoup de l'électrolyte (eau et terrain) plus l'électrolyte sera conducteur plus rapide sera la corrosion. Voir tableau de différents sols ou eaux. La corrosion sera souvent plus importante sur un canal ou les parties en surplomb par rapport aux champs environnants, ont été étanchées par de l'argile (sur le midi), que sur une rivière ou l'eau est plus claire, plus oxygénée avec des fonds de sable ou gravier.

| Terrains | résistivité moyenne des terrains |
|------------------|----------------------------------|
| sable ou gravier | 500 Ω .m |
| eau douce | 50 Ω .m |
| argile | 10 Ω .m |
| eau de mer | 0.3 Ω .m |

- Il existe d'autres formes de corrosion ; courants telluriques, bactériennes ou par courants vagabonds, mais qui ne concernent pas ou peu nos bateaux.

II – Protection passive

- Elle est essentiellement constituée sur nos bateaux par la peinture bitumineuse sur les œuvres vives. Plus la couche sera épaisse, plus l'isolement électrique de la coque par rapport à l'eau sera bon, plus la corrosion sera lente.
- Il est bien sur fortement recommandé de peindre avec de la peinture isolante les parties métalliques positives comme les hélices en fonte où en bronze, l'extrémité des bagues bronze d'arbre.
J'ai vu certains briquer à la brosse leur hélice en bronze ce qui ne manquera pas d'améliorer.... la corrosion.

- Vous avez certainement remarqué lorsqu'on démonte des hublots en laiton que l'acier qui est dessous est corrodé. Cette corrosion est due au couple galvanique acier laiton qui est défavorable à l'acier.
Si on veut éviter ça on peut mettre un joint isolant entre l'acier et le laiton.
Style joint de bride pour gaz.

III – Protection active

- L'acier a un potentiel naturel dans le sol d'environ -600mV (mesuré avec une électrode au $\text{Cu} \setminus \text{Cu SO}_4$, je ne le redis plus), il faut pour le protéger le faire descendre en dessous du critère de protection qui est de -850mV
- Protection par anode galvanique :

Puisque lors d'un couple galvanique le métal le plus électronégatif se corrode, on associe à l'acier un métal plus électronégatif que lui.

On voit sur l'échelle de Nernst qui y a l'aluminium, le zinc et le magnésium.

On laissera tomber tout de suite l'aluminium, il se met rapidement à sa surface une oxydation (l'alumine qui a tendance à être isolante) et qui empêche ces anodes de fonctionner, tout au moins en eau douce.

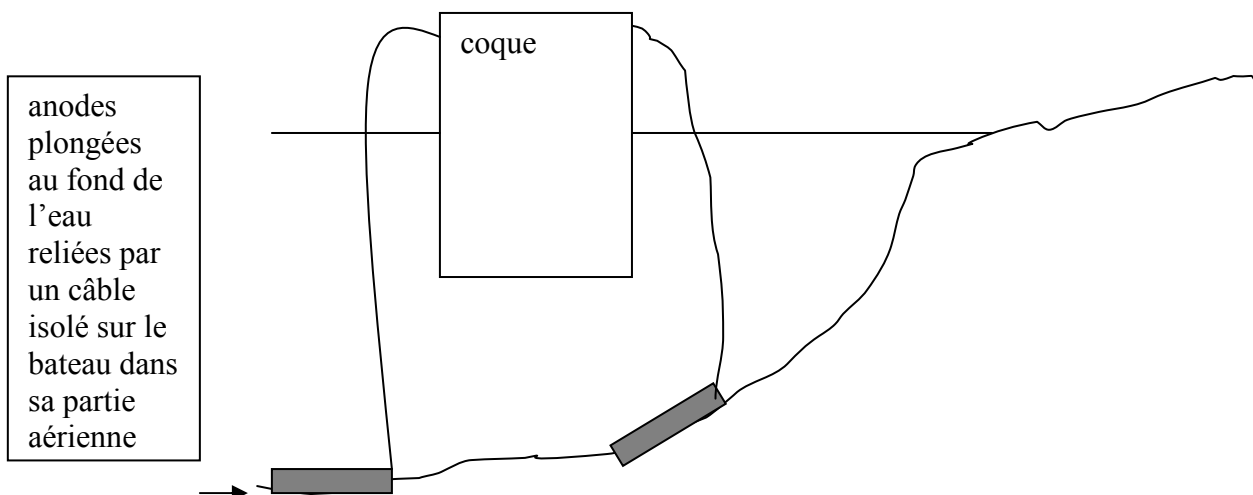
Reste le zinc (-1100mV) et le magnésium (-1500mV).

Si on peut choisir vaut mieux prendre du magnésium, c'est plus « puissant », pour la même surface d'anode on protégera une plus grande surface d'acier.

Pour vous donner une idée j'utilise pour mon boulot des anodes en forme de lingot de 20 kg. Dans le meilleur des cas une anode zinc débite 10mA alors qu'une anode magnésium 20mA , on protégera environ le double de surface.

Pour les bateaux qui se déplacent peu il peut être plus facile de mettre des anodes amovibles plutôt que des anodes soudées sur la coque. On peut mettre des anodes amovibles sans passer en cale. Prendre des anodes assez grosses 10 à 20 kg par exemple elles ont une plus grande surface et donc un pouvoir de protection plus grand.

Anode amovible :



Maintenant il ne faut pas rêver en eau douce les anodes marchent beaucoup moins bien qu'en eau de mer et il faut, pour avoir une protection correcte un nombre d'anode important.

Essayez de mesurer le potentiel de votre coque et vous verrez qu'il est difficile d'atteindre les -850mV requis.

Il existe un système beaucoup plus puissant, le soutirage de courant

- Protection par soutirage de courant

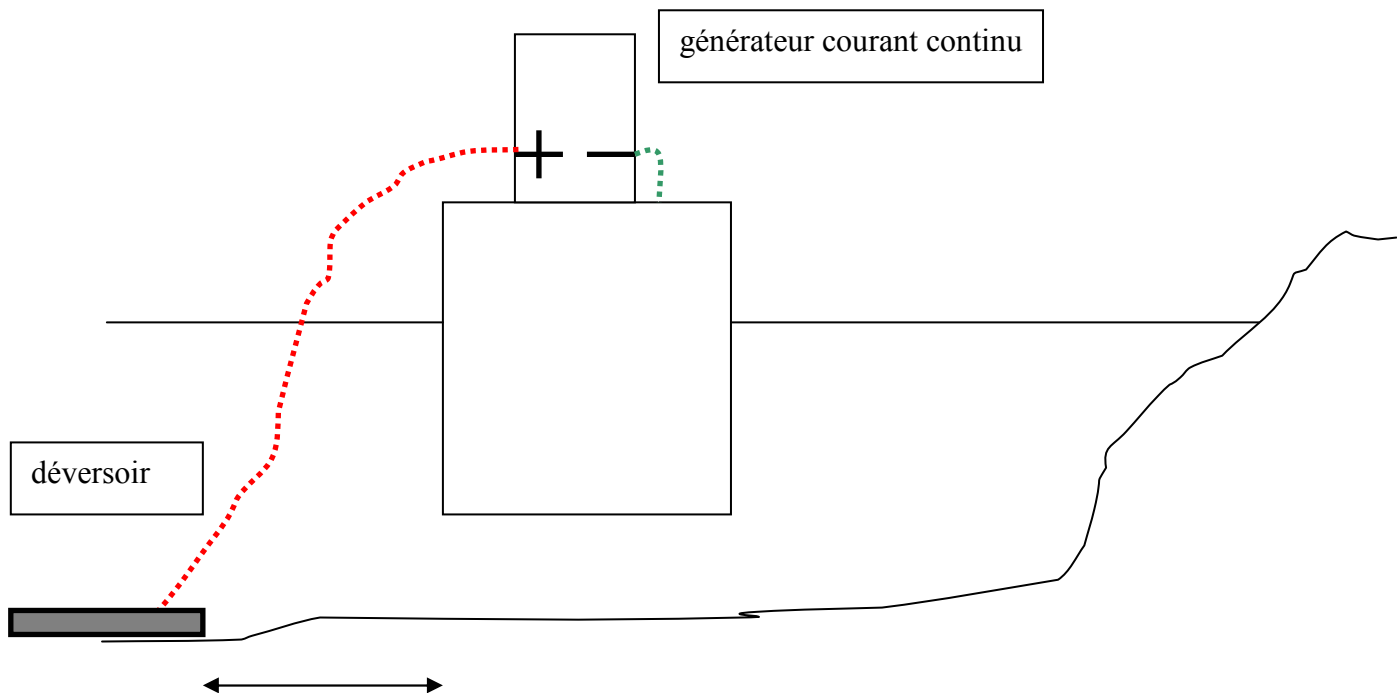
Si on peut espérer, dans le meilleur des cas, débiter 10 à 20 mA pour une anode de 20kg, sachant que pour être sûr d'être protégé avec une 38m il faut (suivant l'isolement de la coque par rapport au sol et suivant la résistivité de l'eau ambiante) environ 150 à 200mA Je vous laisse le soin de calculer le nombre d'anode nécessaire.

Avec un soutirage de courant on n'est plus limité en débit.

Comment ça marche ? Avec une anode on crée une pile dans l'eau ici on se servira d'un générateur de courant continu (style chargeur de batterie par exemple.)

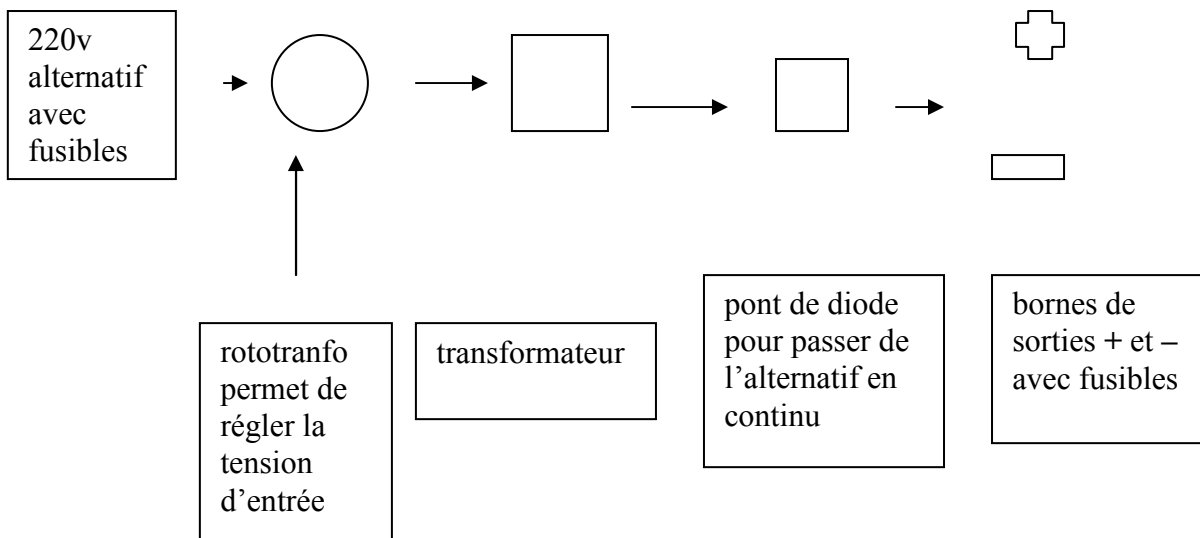
On met le **moins** sur la coque et le **plus** sur une masse métallique (appelée déversoir) qui sera plongée dans l'eau.

On créera un courant a circulation imposée qui sortira du déversoir (sortie = plus = corrosion) et qui entrera par la coque (entrée = moins = protection)



distance entre coque et déversoir $>$ à 5 m

Schéma de principe d'un générateur de courant continu :



On règle le redresseur afin d'obtenir entre -1000mV et -1300mV sur la coque (soit en dessous du critère de protection de -850mV)

ATTENTION :

Il faut évidemment ne pas se tromper de branchement et inverser le + et le - ce qui provoquerait des trous dans la coque en quelques mois. C'est le moins qui est sur la coque.

Eloigner le déversoir de la coque (5 ou 6 m minimum), 10 ou 15 m c'est mieux ; il n'y a pas de distance maxi.

- Le déversoir :

Les déversoirs qui fonctionnent bien dans l'eau sont en :

acier (vieux rail SNCF, 1.5m environ soit 75kg) avantage pas cher mais consommation de $10\text{kg}\backslash\text{ampère}\backslash\text{an}$

un barreau de ferrosilicium (se vend au barreau)(environ 1.5 m et 35kg) conso, $300\text{gr}\backslash\text{ampère}\backslash\text{an}$

Il existe d'autres déversoirs, mais qui sont déconseillés en milieu aquatique ou plus coûteux pour des particuliers.

ATTENTION :

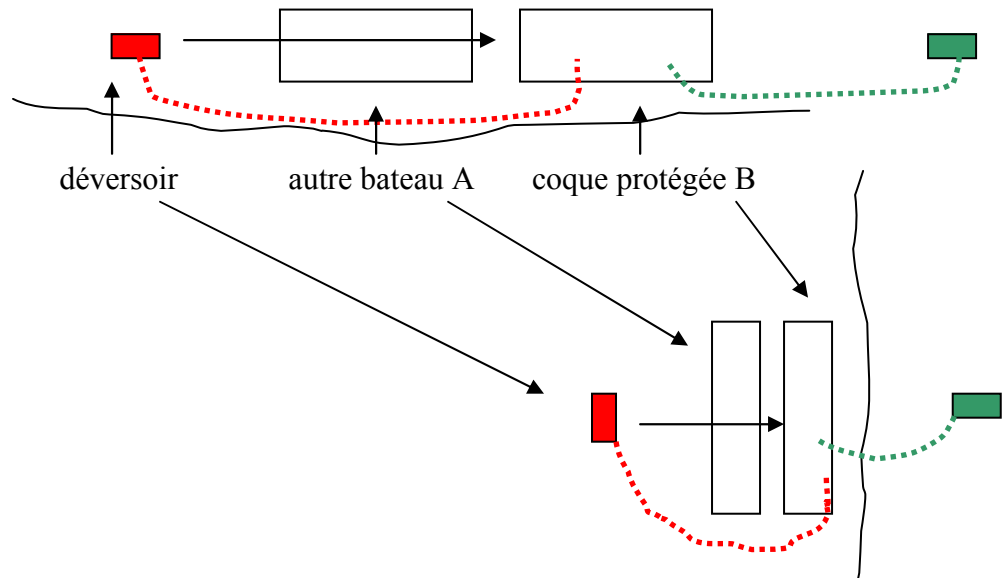
La connexion du câble sur le déversoir doit être absolument isolée de l'eau ou bien le câble sera détruit en quelques semaines (à couler dans de la résine isolante par exemple, à poser dans des boîtes Scotch ou Barnier ou encore protéger avec de la gaine thermo rétractable.

Vérifier une fois tous les 2 mois environ si le système fonctionne (mesure du potentiel de la coque)

ATTENTION ENCORE :

Il ne faut rien intercaler de métallique entre le déversoir et la coque protégée.

Attention aux bateaux à couple.



Les courants de protection traverseraient le bateau A, le protégeraient coté entrée et corroderaient coté sortie, la position en rouge est néfaste, la position en vert est correcte.

Rappelez-vous : (plus = sorties = corrosion, moins = entrées = protection)

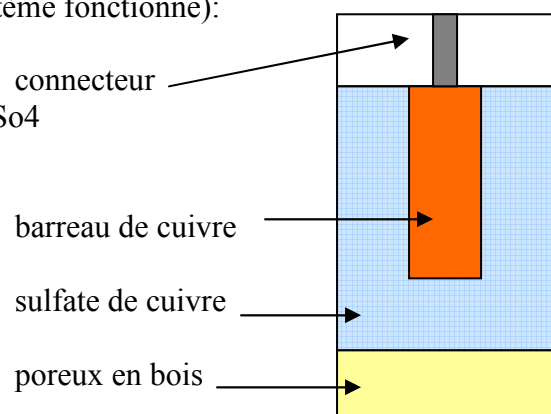
Si ces recommandations sont respectées, cette solution est la meilleure protection contre la corrosion. Le déversoir peut être mis dans l'eau ou côté berge dans la terre (enterrer à 1m de profondeur environ)

J'ai déjà monté ou aidé à monter des protections par soutirage sur plusieurs péniches (De Ware Vrienschap, Galatée, Bargeote, Ghysliane, Nuance..) Après plusieurs carénages, tous en sont satisfaits. Pas 1cm² de corrosion sur les œuvres vives de la coque.

- Mesure du potentiel (pour vérifier si le système fonctionne):

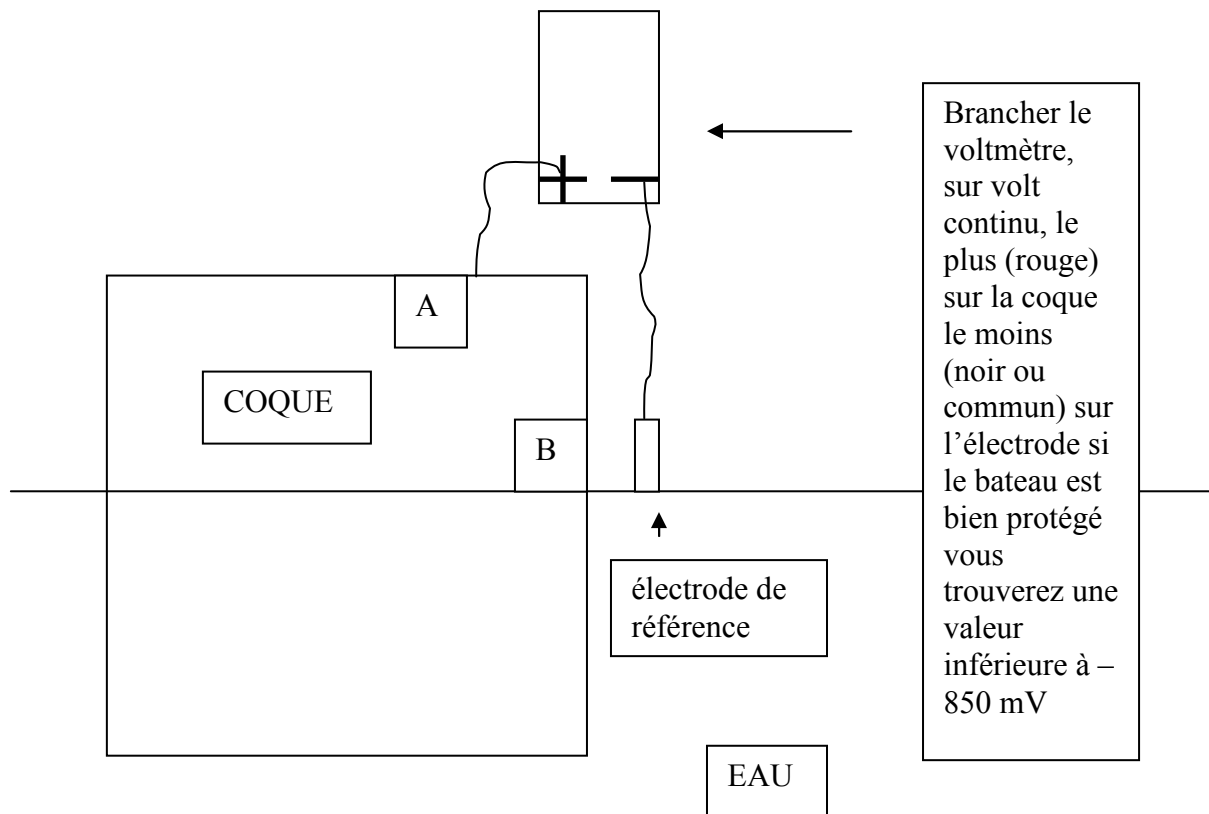
Pour mesurer le potentiel de la coque il faut
Un voltmètre et une électrode de référence Cu\CuSo₄
(cuivre / sulfate de cuivre)

L'électrode, c'est un tube PVC ou plonge un barreau de cuivre dans une solution de sulfate de cuivre, avec un poreux (en bois) pour le contact avec le sol ou l'eau. On emploie une telle électrode afin que le contact avec le sol soit toujours fait, avec la même matière.



Elle ne se polarise pas et est stable dans le temps.
Vous serez obligé d'en acheter une.
Il existe plusieurs types d'électrodes, celle ci est la plus utilisée.

mesurer le potentiel de la coque :



Le point que l'on mesure n'est pas le point qui est posé sur le bateau (A) mais le point de la coque le plus près de l'électrode (B).

On peut ainsi, avec un fil assez long, le laisser branché au même endroit sur la coque et déplacer l'électrode tout autour du bateau pour avoir un maximum de points mesurés.

Placer l'électrode au plus près de la coque (5 à 10 cm)

Il faut bien sûr que le poreux touche l'eau.

Attention de ne pas échapper l'électrode au fond. (oui, oui c'est arrivé)

- Quelques précisions supplémentaires :

Ce type de protection ne convient pas pour les bateaux qui naviguent 300 jours par an (les veinards) en effet, la mise sous PC réduit les oxydes (en gros ça dissout la rouille dans l'eau) et l'acier devient « gris » sans oxyde.

Il faut donc éviter d'alterner les cycles : oxydation-réduction-oxydation-réduction ce qui pourrait accélérer la corrosion.

Pour ceux qui, comme moi, naviguent 3 semaines l'été et 4 ou 5 week-ends par an, il n'y a pas de problème.

- Combien ça coûte ?

Je ne peux pas vous donner les prix exacts des matériels car j'achète de grosses quantités, mais pour un système de soutirage de courant soit l'achat de:

1 redresseur (1 ampère), une électrode de référence Cu/CuSO_4 , un barreau de Ferrosilicium, cela vous coûtera moins de 1000€, voire moins pour les bricoleurs qui peuvent se faire le redresseur (avec un vieux chargeur de batterie qui peut se régler 6,12,24v par exemple). Pour les électrodes que vous commanderez, précisez que vous les voulez avec le sulfate de cuivre.

Coordonnées des entreprises qui vendent du matériel de protection cathodique :
En gras ce que je commande

ADCA (redresseurs, **électrodes de référence**) Corbeil Essonnes 01 60 83 37 37

Jacquet Dechaume (**redresseurs**) Le Plessis Bouchard 01 34 13 14 67

Corexco (anodes, **déversoirs**, électrodes de référence) Décines (Lyon) 04 37 42 32 32

Ipsi (anodes de carène (jusqu'à 55kg l'anode), déversoirs) Courbevoie 01 47 68 75 00

Voilà ya plus Ka

J'espère que je ne vous ai pas donné trop mal à la tête.

Allez, bonne navigation.....sans corrosion !!

ps : pour ceux qui voudraient encore plus de renseignements :

rene.palous@planetis.com