

Ingénieur ICAM
Expert Maritime – Marine Surveyor
Plaisance voile/moteur – Servitude – Militaire

Corrosion galvanique - Electrolyse

Du point de vue du système de protection anti-corrosion du bateau : il faut commencer par expliquer graduellement ce qu'est la corrosion galvanique puis les moyens pour s'en protéger. Ensuite on saura mieux ce qu'il faut chercher.

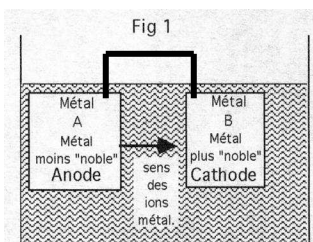


Figure 1 :
La corrosion électrolytique ou corrosion galvanique nécessite 4 choses :

- l'électrolyte : c'est-à-dire un liquide, une solution, légèrement conducteur de l'électricité. Ici c'est l'eau de mer.
- un métal B qui est le métal noble.
- un métal A différent du premier, qui est moins noble.
- Et un contact électrique entre les deux.

Les métaux sont classés suivant leur différence de potentiel galvanique, selon une échelle qui les place les uns par rapport aux autres.

Echelle galvanique : POTENTIELS GALVANIQUES

mV	Métal en eau de mer agitée et à 25°	
		Anode, côté +, « métal moins noble »
- 1600	Magnésium	↓ vers
- 1130	Zinc	
- 900	Chrome	
- 850 à - 750	Aluminium et alliages d'aluminium	
- 700	Cadmium	
- 610	Acier/Fonte	
- 510	Plomb	
- 500	Inox 18/8 (304) et 18/8/3%Mo (316) Actifs	
- 360	Cuivre, Laiton, Bronze, Bronze d'alu	
- 310	Etain	
- 150	Titane	
- 50 à - 80	Inox 18/8 (304) et 18/8/3%Mo (316) Passifs	
+ 90	Graphite	Cathode, côté -, « métal Noble »

Inox Actif : dont la couche superficielle est absente, rayée.

Inox Passifs : état « normal », la couche superficielle d'oxyde est formée et protège l'inox.

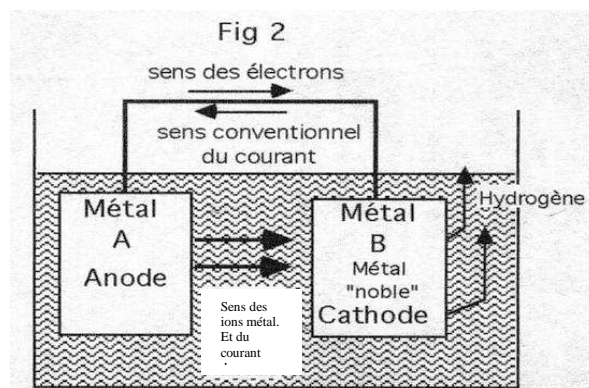


Fig 2 :

Si on établit une liaison électrique (fil conducteur) entre les deux métaux, dans l'électrolyte il y a un transport de matière du métal A, moins noble, qui est l'anode vers le métal B la cathode. Ce transport de matière se fait sous forme de transfert d'ions métalliques : le métal A, l'anode, se « consomme », il se corrode. Dans le fil conducteur, la circulation des électrons produit le courant électrique (le sens conventionnel du courant est inverse de celui des électrons). Côté cathode, les électrons qui y arrivent par le fil conducteur se combinent aux anions H^+ de l'eau de mer pour donner de l'hydrogène H_2 qui se dégage. On a formé une pile.

On admet que pour que ce phénomène de corrosion soit significatif, il faut une différence de potentiel de 100 à 250 mV (millivolt) entre les deux métaux.

C'est l'anode qui se bouffe. L'anode c'est le +. Dans l'électrolyte, le courant va de l'anode vers la cathode qui ne se bouffe pas. Dans le fil, le courant va de la cathode vers l'anode.

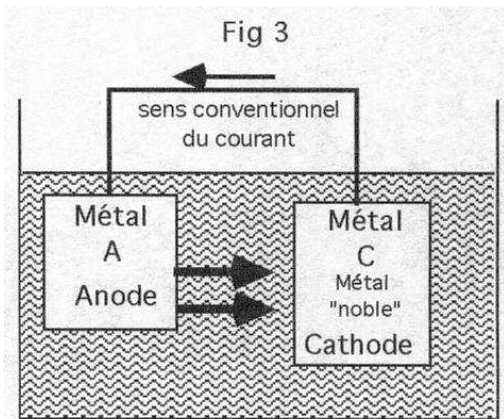


Fig 3 :
Si on remplace le métal B par un métal C, "encore plus différent" du métal A, c'est-à-dire plus éloigné du métal A dans l'échelle galvanique, le phénomène est accentué, c'est-à-dire que le courant est plus fort et le transport de matière est plus important, l'anode se "bouffe" ou se consomme plus rapidement.

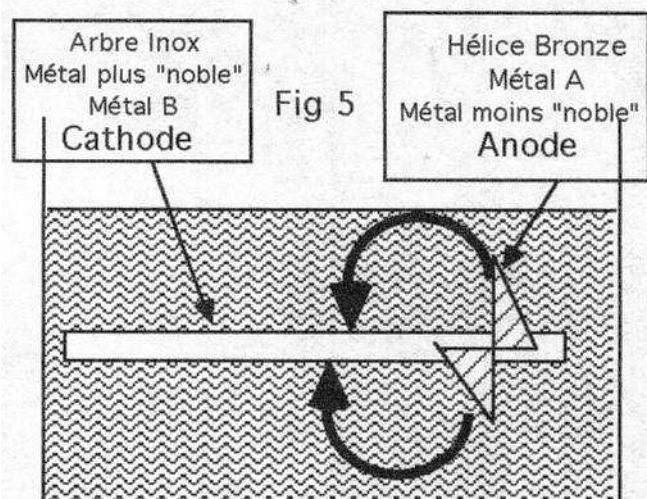


Fig 5 :
C'est ce qui se passe quand on a une hélice en bronze qui est fixée sur un arbre de métal différent, de l'inox par exemple. Si l'hélice est en bronze d'aluminium et l'arbre est en inox passif : l'écart dans l'échelle galvanique est de $360 - 50 = 310\text{mV}$. Cet écart, supérieur aux $200/250\text{mV}$ indiqués plus haut, est donc capable de provoquer une corrosion, l'hélice en bronze d'aluminium se « bouffe ».

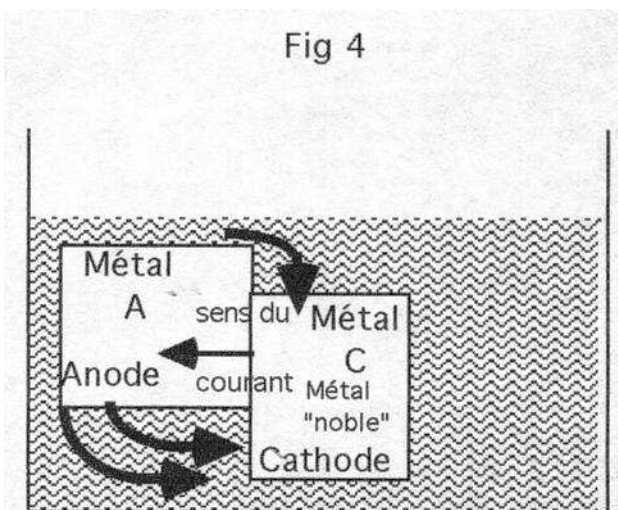


Fig 4 :
La liaison électrique peut se faire simplement par le contact des 2 pièces métalliques l'une contre l'autre.

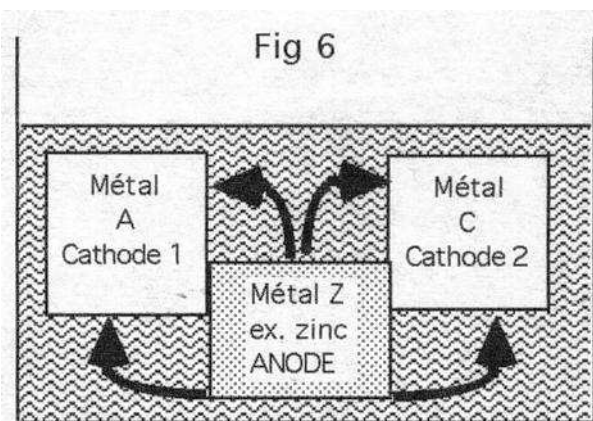


Fig 6 :
Si on veut protéger le métal A, on peut mettre un troisième métal encore plus différent dans l'échelle galvanique, c'est le cas des anodes en zinc, qui en liaison avec les autres métaux, A et B, protègent le métal A (et le métal B aussi bien sûr). C'est le métal Z (le zinc) qui est l'anode par rapport à l'un et à l'autre des deux autres métaux et qui les protège. Le métal Z de l'anode se « bouffe », l'anode se « consomme » pour protéger les autres, on l'appelle aussi « anode sacrificielle ».

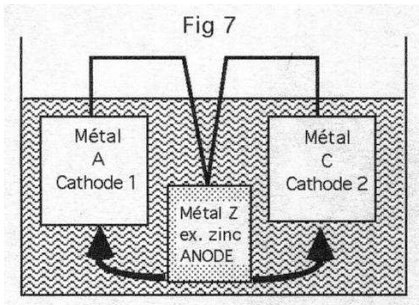


Fig 7 :

C'est aussi la même chose si le métal Z est relié électriquement aux 2 autres métaux au lieu d'être en contact direct avec l'un et l'autre.

La protection cathodique, c'est-à-dire le système qui permet de protéger les différents métaux des différents composants du bateau, peut donc se faire de 2 façons :

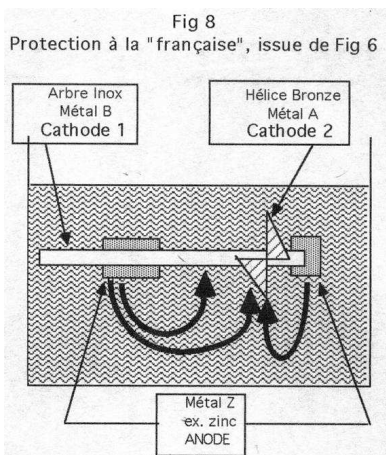
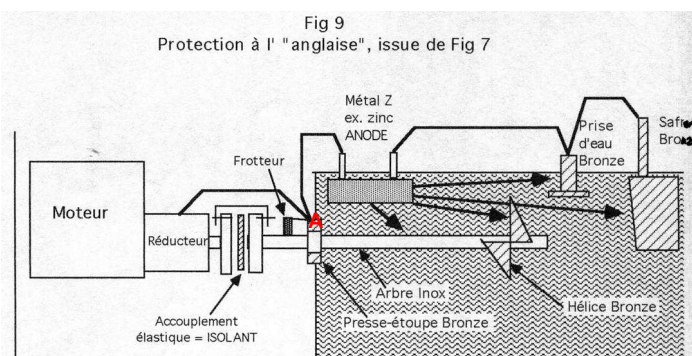


Fig 8 :

Soit à partir de la figure 6 précédente : des anodes en zinc sont fixées pour être en contact direct sur les pièces à protéger, c'est la méthode qui est usuellement employée par les constructeurs français. Une anode est montée sur l'écrou qui fixe l'hélice sur l'arbre, et une anode est fixée sur l'arbre lui-même. D'autres anodes sont aussi fixées sur les autres composants (safrans, chaise, etc...).

Fig 9 :

Soit à partir de la figure 7 précédente, on a le montage usuellement employé par les constructeurs anglais : l'anode en zinc est fixée sous la coque et à l'intérieur du bateau il y a des fils électriques pour la relier aux différentes pièces métalliques.



L'avantage c'est qu'on peut mettre une grosse anode de coque qui durera plusieurs années alors que dans le système français leur taille n'est pas suffisante pour cela et une anode peut se desserrer et ne plus faire effet. Inconvénient : il faut que le circuit soit parfait, si j'ai une interruption en A (ou simplement un mauvais contact), mon arbre inox et mon hélice bronze ne sont plus protégés par l'anode, ils se débrouillent tout seul, mon hélice va se corroder rapidement au contact de l'inox de l'arbre.

Pour l'instant il n'était pas envisagé l'addition d'une tension parasite (courant "parasite" ou courant de "fuite"). Faisons le maintenant :

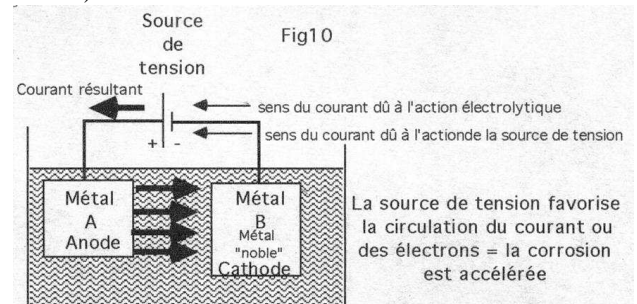
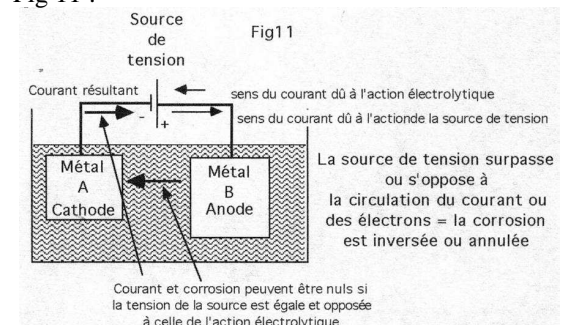


Fig 10 :

Si à la figure 2 précédente on ajoute une source de tension qui est « orientée » dans le même sens que le phénomène précédent, le phénomène va être très accéléré : c'est le cas si on insère dans le circuit une pile électrique, ou une batterie, connectée dans le sens de la circulation précédente. Et plus la tension de cette batterie est forte, plus le courant et donc la corrosion sont accélérés.

Fig 11 :



Si

au contraire la batterie est connectée en opposition, c'est le métal B qui se corrode. Mais si la source de tension a un potentiel faible et juste égal à celui de la corrosion, on annihile la circulation de courant due à la corrosion : c'est le principe de la protection cathodique « active » ou à « courant imposé ». Mais cela ne nous intéresse pas pour l'instant.

Bon, on a vu qu'avec deux métaux différents, de potentiel galvaniques différents, avec une liaison conductrice quelle que soit, et trempant dans l'électrolyte, l'un est la cathode et ne se bouffe pas, l'autre est l'anode et se bouffe. C'est la corrosion galvanique.

Il faut y penser quand on choisit sa peinture antifouling.

Pour les coques en alu il ne faut pas utiliser un antifouling « classique » chargé en cuivre, il faut choisir un antifouling « spécial alu ». Tout le monde le sait.

Mais pour une coque en bois ou stratifié polyester par exemple, il faut penser aux accessoires en alu.

Exemple une embase Z-drive (bateau moteur) ou sail-drive (voilier) : l'embase est en alu. Au début quand elle est neuve elle bien protégée et isolée par le revêtement époxy du fabricant, tout va bien même si vous la recouvrez d'un antifouling « classique » chargé en cuivre. Mais au fil du temps et des accrocs, cet époxy va se dégrader et si on met alors un antifouling « classique » chargé en cuivre, l'embase va se corroder. Il faut choisir un antifouling spécial alu.

Autre exemple, ce tube de jaumière (tube du gouvernail) en alu. S'il est couvert par le VC 17 (antifouling fortement chargé en cuivre), il y a électrolyse de l'alu. Il faut utiliser plusieurs couches d'époxy pour isoler l'alu et un antifouling « spécial alu ».

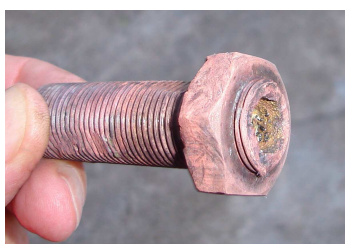


La corrosion peut se produire avec un seul métal et sans défaut électrique. C'est le « bête » défaut matière, ou le choix de la matière n'est pas correct vis à vis du service qu'on va demander à la pièce dans des conditions de fonctionnement données. On va comprendre mieux en donnant des exemples.

Alliages :

Avec les alliages donc un mélange de deux métaux ou plus : suivant la nature des métaux composant l'alliage, au niveau microscopique, le métal le moins noble joue le rôle d'anode et il se bouffe.

C'est le cas dans le laiton ordinaire, dans certains bronzes, généralement tous les alliages contenant une bonne proportion de zinc. Une seule pièce, pas besoin de deux, plongée dans l'eau de mer va se dé-zinguifier, son zinc (l'anode) se consomme et disparaît, le métal change



de couleur, il devient plus rouge, poreux et il casse comme du verre, sans prévenir, comme ce passe-coque. Il est conseillé de changer, préventivement, l'ensemble passe-coque + vanne + embout cranté tous les 12/15 ans.

Corrosion inter-granulaire dans certains inox comme pour cette cadène-fil (voir le document « Cadène Inox ») :



Hétérogénéités :

Mais encore plus inattendu, un seul métal, pas un alliage, peut se corroder parce que le procédé pour l'élaborer le rend hétérogène. A la fabrication d'une tôle en acier ordinaire au laminoir, l'étirement du métal plus fort « ici » que « là », ou le dépôt de calamine « ici » et pas « là » ... va créer des hétérogénéités qui seront à des potentiels galvaniques différents (on cite 300mV), les sites anodiques se boufferont en piqûres, cratères ou crevasses, en plus de la rouille générale qui se forme normalement à la surface de l'acier ordinaire.

Milieu dans lequel se trouve la pièce :

Et même de l'acier inox, homogène à sa fabrication, peut développer de la corrosion par privation d'oxygène. Dans la liste des potentiels galvaniques vous avez remarqué que l'inox est cité deux fois, « passif » ou « actif ».

Pour l'acier ordinaire, la rouille, l'oxyde de fer, n'est pas étanche donc l'oxydation peut continuer à se développer en profondeur.

L'acier inox est inoxydable par l'addition de chrome (et quelques autres métaux) qui au contact de l'oxygène crée une très fine couche d'oxyde de chrome qui a la particularité d'être étanche, elle protège donc l'inox qui est dessous.

Si la couche d'oxyde de chrome est bien là, l'inox est « passif ».

Mais si cette couche d'oxyde de chrome n'existe pas, localement, à cet endroit l'inox est « actif », il peut réagir. Sur une même pièce, une tôle, un arbre, s'il y a des sites actifs, anodiques, ils vont se corroder pour protéger le reste de la pièce où l'inox est passif.

En particulier, si la pièce est immobile assez longtemps, mettant une partie de la surface à l'abri de l'air ou de l'eau de mer (qui contient de l'oxygène), ou baignant dans une eau stagnante (pas de renouvellement de l'oxygène), on parle de désaération ou d'aération différentielle, les surfaces privées d'oxygène vont devenir « actives » et jouer le rôle d'anode par rapport au reste de la pièce qui a bien son oxyde de chrome donc qui est passive.

Et d'après la table des potentiel galvaniques on a 400 à 450mV d'écart, c'est bien plus qu'il n'en faut pour avoir de la corrosion.

Vous avez l'exemple classique de l'arbre d'hélice en inox qui est marqué au serrage du presse-étoupe (presse-étoupe classique, à tresses). Il est marqué par l'usure mécanique due au serrage/frottement des tresses, soit. Mais il y a aussi, après quelques années, de la corrosion. Elle est due à l'inox qui devient là « actif » par privation d'oxygène et qui devient anode. Même chose sur un axe de dérive en inox

Autre exemple classique : au niveau de la flottaison, la différence de concentration en oxygène entre l'eau à la surface qui est au contact de l'air et l'eau qui est en dessous. L'acier, ordinaire ou inox, y est très sensible mais pas l'aluminium (les flotteurs de votre ponton en alu ne sont pas peints et ils résistent bien).


Corrosion feuilletante :

Les plis de métal sain sont repoussés par les plis de métal corrodé qui gonflent. Les plis sont formés par le laminage.

Vu sur certains alu haute résistance comme ici sur cette barre d'écoute.



Gérard Boulant, expert maritime. Mise à jour février 2008


C.M.F.L. - G. BOULANT
EXPERT MARITIME
N° 64 Sainte-Candide
83520 Roquebrune/Argens