

F. COBOS INGÉNIERIE sous-marine

Siège Social : Résidence Le Nautica 9 corniche de Neuburg 34200 SETE France
SIRET 441 627 528 00017 - Code APE 7112 B - N° TVA intracommunautaire FR 454 416 27 528
tél : (+33) 6 14 86 83 18 Mail : cobos.f@wanadoo.fr Web : <https://f-cobos.jimdo.com/>



Fort de France : février 2018

Agences :

- Caraïbes à FORT de FRANCE Martinique GSM : 06 96 20 96 25 ou 06 96 48 29 32
- Sud AIX en PROVENCE GSM : 06 15 78 63 38
- Centre Saint ETIENNE GSM : 06 14 86 83 18

LA PROTECTION CATHODIQUE DES OUVRAGES À LA MER

Par : **Hervé BARREDA**

Responsable de l'agence Caraïbes - Ingénieur Chargé d'études - Corrosionniste certifié Afnor/Compétence en Protection Cathodique Secteur Mer - Membre du CEFRACOR*
Scaphandrier-Plongeur professionnel IIA et Expert du RST** Ex-Responsable du Service des Phares et Balises-Polmar de La Martinique (2010-2015)



Figure 1 : Relevé du potentiel électrochimique de la tourelle métallique de Perduto Corse du Sud -1023 mV Ag/AgCl/eau de mer



*Centre Français de l'AntiCorrosion 28 Rue Saint-Dominique, 75007 Paris- Site : www.cefracor.org

**Réseau Scientifique et Technique du Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, actuellement de la Transition écologique et solidaire, pendant 29 ans (de 1981 à 2010 CEREMA)

I - La protection cathodique, une protection active

La protection cathodique (PC) d'un ouvrage immergé dans l'eau de mer consiste à placer cet ouvrage à un potentiel électrochimique négatif tel que la corrosion devienne thermodynamiquement impossible.

Comme valeur de potentiel, au dessous duquel l'acier ne peut se corroder dans un milieu ayant un pH compris entre 4 et 9 (*8,2 en moyenne pour l'eau de mer*), on admet le critère de -800 mV (NF EN 12495 Mai 2000 «*Protection cathodique des structures en acier fixes en mer*»), mesuré par rapport à l'électrode impolarisable en Argent/Chlorure d'argent/Eau de mer (Ag/AgCl/eau de mer).

Le principe de la PC trouve son application dans la pile élémentaire ou l'une des électrodes (*anode*) est toujours corrodée alors que l'autre ne l'est pas. De façon imagée c'est toujours le métal le plus électronégatif qui se corrode (*perte d'ions métal à l'anode*).

La PC est la technique qui permet de conserver dans son intégrité les parties d'un ouvrage à la mer en acier en zones marnantes, immergées ou fichées dans le sol sous-marin, en s'opposant au processus électrochimique d'attaque du métal par le milieu ambiant (*eau de mer*), c'est-à-dire **la corrosion**.

Les palpieux, pieux-tubes, piles, duc d'Albe, palplanches, palfeuilles, émissaires, pipes, grilles, navires (*figure 2*), ... en acier constituent le champ d'application principal de cette protection. Les ouvrages en acier, même anciens et dégradés, peuvent également bénéficier de cette technique



Figure 2 : Anodes sur un remorqueur de la SOMARA (photo Maxime Herbland)

II - Définition

Un métal en contact avec un milieu conducteur, ici l'eau de mer, est le siège de réactions électrochimiques appelées effet de pile. Ce phénomène entraîne une dissolution du métal de l'anode vers la cathode, c'est-à-dire de la structure métallique vers le milieu ambiant : c'est la corrosion ou oxydation. Deux moyens complémentaires existent pour maîtriser cette corrosion : Protection passive (*voir le §III*) et active (*voir les §IV et V*).

III - La protection passive

Elle est constituée par le **revêtement extérieur** (*peinture ou métallisation : shoopage, galvanisation*) dont le rôle est de créer un effet de barrière électrique entre le métal et le milieu environnant. Ce revêtement ne constitue cependant pas une protection absolue et définitive en raison des imperfections ou blessures susceptibles de se produire lors de la pose ou au cours de la vie de l'ouvrage et aussi en raison de la faible épaisseur de la couche (*maximum de 100 microns/m pour la galvanisation*). C'est pourquoi on maîtrise ces risques par l'installation d'une PC.

IV La protection active par anode galvanique ou sacrificielle

Elle consiste à amener par des moyens extérieurs et artificiels l'ensemble de la structure métallique à

protéger à un potentiel suffisamment électro-négatif [1] (voir le §I ci-avant) pour rendre le métal entièrement cathodique et ainsi supprimer ainsi tout risque de corrosion.

Pour réaliser la PC de structures maritimes, immergées ou fichées en acier, il suffit donc de constituer une pile à l'aide d'un métal plus électro-négatif que l'acier (*magnésium, aluminium ou zinc*) : c'est la protection par **anode galvanique (ou sacrificielle)**.

Principe : on crée un couple galvanique dont la structure métallique sera la cathode de la pile et l'anode un métal choisi pour son potentiel plus électro-négatif (*anode en aluminium/zinc/indium -Al/Zn/In-*).

Un système actif et économique ; la PC complète de manière absolue la protection passive du revêtement [2] et ceci quelles que soient les modifications de l'environnement de la structure dans le temps :

- blessures du revêtement pendant les travaux ;
- altération du revêtement lors du stockage sur parc ;
- ou métallisation (*shoopage, galvanisation*) entièrement consommée.

Exemple du Wharf de Léava à Futuna (Wallis et Futuna) - Assistance à Maîtrise d'Œuvre de sept. à nov. 2015



Figure 3 : Vue du wharf : 180 pieux-tubes



13 tonnes d'anodes sacrificielles Al/Zn/In à fixer

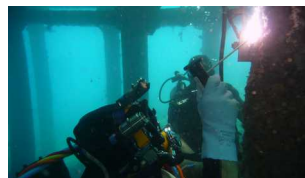


Figure 5 : Soudage en pleine eau des cavaliers supports d'anodes



Figure 6 : Anodes en place : Durée de vie de 15 ans minimum

V - La protection active par courant imposé

Tout comme par anodes sacrificielles il suffit d'amener le potentiel de la structure à protéger à un potentiel suffisamment électro-négatif (voir le §I ci-avant) pour supprimer tout risque de corrosion.

Dans le cas de la PC par courant imposé des ouvrages fixes, les anodes sont généralement immergées à une distance assez grande de l'ouvrage à protéger en essayant de minimiser les risques d'interférence avec d'autres structures métalliques (*navires à quai, ouvrages portuaires, courants vagabonds, ...*). Le tableau I ci-après compare les deux systèmes de PC. Précisons que pour un ouvrage portuaire, il conviendra de retenir une PC par anodes galvanique qui est tout à fait adapté (*voir le tableau I en rouge les paramètres négatifs*) : sécuritaire pour les navires à quai, les structures portuaires à proximité et les risques générés par les courants vagabonds.

Tableau I : Comparaison des systèmes de PC

Paramètres	Système galvanique	Système à courant imposé
Installation	Simple	Complexe (<i>électricité, câbles, transfo-redresseur, armoire de commande,...</i>)
Source d'énergie	Aucune	Indispensable
Distribution du courant sur l'ouvrage	Dépend de l'implantation des anodes	Risque d'être hétérogène en l'absence de revêtement performant
Dimensions de l'ouvrage à protéger	Possibilité de surcharges en masse	Généralement sans difficulté
Influence de la résistivité du milieu	Adapté en eau de mer	Aucune limite
Débit d'anode (<i>densité de courant sur l'anode</i>)	Faible	Élevé
Nombre d'anodes	Important	Faible
Flexibilité dans le fonctionnement	Auto-régulation	Forte
Risques de surprotection	Quasi nul	Possibles (<i>risque par mauvaise manipulation du</i>

		<i>transfo-redresseur</i>)
Interférences avec autres structures	Faible	<i>Forte (avec les navires à quai***, les structures portuaires proches, les courant vagabonds)</i>
Risques humains	Non	<i>Possibles, élevés</i>
Surveillance et maintenance	Faible mais remplacement périodique des anodes parfois nécessaire	<i>Régulière et spécialisée (risque accidentel de rupture de câbles de continuité électrique)</i>
Coût	Investissement relativement faible, coût du courant élevé	<i>Investissement élevé, coût du courant faible</i>

***Le courant suit le parcours de moindre résistance, avec pour risque une perforation à la sortie. Car en effet, le courant entre, mais il faut qu'il sorte.

VI - Conclusion

Précisons toutefois qu'il n'est pas nécessaire de protéger une structure immergée à l'aide d'une protection passive s'il est prévu de la protéger avec une PC. La PC y pourvoira, très efficacement, à la seule différence que le courant de protection sera moins important et donc la masse anodique sera plus faible si la structure est revêtue (*peinture ou métallisation*).

Cela peut être intéressant dans certain cas au niveau de la masse de l'ouvrage (*plate-forme pétrolière, bouées de balisage, ...*) ou lorsque le calcul économique fait apparaître un gain notable.

Signalons, simplement, que la PC n'est pas active sur les parties d'ouvrage constamment hors d'eau. Il convient alors de prévoir un revêtement époxydique ou un chemisage sur ces parties : il s'agit de la protection anticorrosion par système duplex.

Indiquons que le courant de protection pour de l'acier nu immergé est d'environ 100 mA/m² alors que pour une structure peinte il ne sera plus que de 30 mA/m² (*ces valeurs ne constituent qu'une moyenne*).

Pour un investissement minimum, l'exploitant d'une structure sous PC pourra régulièrement contrôler le niveau de potentiel électrochimique de la structure par rapport au milieu environnant et, de ce fait, être alerté de toute dégradation accidentelle c'est **la surveillance des ouvrages à la mer**.

Il assurera ainsi la pérennité de sa structure et de son investissement : c'est l'assurance vie du l'ouvrage.



Figure 7 : Hervé BARREDA en Assistance Maîtrise d'Œuvre (AMOE) au Wharf de Léava à Futuna

[1] Ange LAZZERI, Hervé BARREDA « Protection cathodique des palplanches en eau de mer : dimensionnement des anodes sacrificielles » Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées - LCPC n°195 janv-fév 1995 ;

[2] Hervé BARREDA, Emmanuel ARAGON, Marielle EYRAUD, Lionel PELLON, Florence VACANDIO et Nicole VERRIER «Élaboration d'une méthode d'évaluation des performances de revêtements époxydiques applicables en immersion» Colloque des IX^{es} Journées Nationales Génie Civil - Génie Côtier - Brest - 12 et 14 septembre 2006.