

ÉTUDE DE CORROSION MARINE POUR LA PROTECTION
DES OUVRAGES DE L'USINE MARÉMOTRICE DE LA RANCE

Protection cathodique

MARINE CORROSION STUDY FOR THE PROTECTION
OF THE RANCE TIDAL POWER STRUCTURES

Cathodic protection

PAR

R. LEGRAND,

ET

M. LAMBERT,

CHEF DE LA DIVISION
«ESSAIS ET PROTECTION DES OUVRAGES»,

INGÉNIEUR A LA DIVISION
«ESSAIS ET PROTECTION DES OUVRAGES»,

GAZ DE FRANCE, PARIS

— *Densité de courant à retenir pour la protection des aciers inoxydables. Influence de la vitesse des filets d'eau;*
— *Phénomènes de corrosion pouvant résulter de l'affaiblissement de la densité de protection;*
— *Contrôle pratique de l'évolution des potentiels sur groupe moteur.*

The following points are considered:
— *The current density required for stainless steel protection and the influence of steam velocities;*
— *Probable corrosion effects due to a reduction in protection density;*
— *A practical check on power unit potential changes.*

Le présent entretien résume les réponses à quelques questions, posées à la suite de la communication sur les mesures électrochimiques

appliquées à l'étude de la protection cathodique des ouvrages de la Rance présentée lors du Comité Technique 69.

I. — LA DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DE COURANT A RETENIR POUR LA PROTECTION DE L'ACIER INOXYDABLE

Notons tout d'abord que cette question appelle une précision. En effet, le problème consiste à régler la densité de courant sur l'acier inoxyda-

ble résultant de l'application de la protection cathodique à l'acier ordinaire.

La protection cathodique n'a pas été envisa-

gée, *a priori*, pour améliorer les qualités d'alliages, dont une des propriétés intrinsèques est de résister à la corrosion.

Les données que nous avons utilisées pour fixer la densité sont :

- du côté de l'acier ordinaire, le potentiel de protection déduit du diagramme d'équilibre fer-eau, soit -850 mV par rapport à l'électrode au calomel Cl K saturé. Les essais de longue durée entrepris à Saint-Malo sur des éprouvettes d'acier doux Martin, immergées, ayant montré que la densité limite pour atteindre le potentiel de protection était de 80 mA par mètre carré d'acier au carbone nu, en contact avec l'eau de mer;
- d'autre part, pour les alliages inoxydables, les travaux que nous avons menés dans les mêmes conditions sur les aciers et sur les bronzes, ont mis en évidence l'intérêt qu'il y avait à ne pas descendre en dessous d'une certaine densité fonction de la composition des aciers.

Dans le cas pratique de la Rance, les aciers retenus sont :

- d'une part, un 18 Cr 11 Ni 2,3 Mo austénitique aucunement sensible à la corrosion dans le domaine cathodique;
- d'autre part, un acier martensitique à durcissement structural du type 17 Cr 4 Ni, 1 à 1,5 Mo et 2,5 Cu.

Ce dernier présente de légères attaques localisées entre 0 et 80 mA/m² avec un maximum correspondant à une perte de poids de $0,5$ g/m²/24 h pour une densité de 40 mA/m².

Par ailleurs l'application d'une densité supérieure ou égale à 220 mA/m² conduit à une diminution des propriétés plastiques de l'acier martensitique, alors que l'acier au carbone et

l'acier 18/11 austénitique ne présentent pas de modifications de leurs propriétés mécaniques.

Bien que nous n'ayons pas à envisager le travail du métal au-delà du domaine élastique, nous pensons qu'à la lumière des données précédentes, il est raisonnable d'assurer sur le métal en contact avec l'eau de mer une polarisation cathodique sous une densité comprise entre 80 et 200 mA/m². Nous avons retenu pour la Rance une densité de 140 mA/m².

C'est d'ailleurs cette densité que nous avons appliquée aux aciers du groupe expérimental de Saint-Malo et les examens périodiques de tenue des matériaux ont confirmé que la protection ainsi réalisée assurait l'arrêt total de l'évolution de la corrosion. Un essai de réduction systématique de la densité de protection a montré qu'avec abaissement de 20% du courant la fourchette des potentiels mesurés sur le groupe passait de $-950 - 1150$ mV à $-850 - 1050$ mV.

Il faut remarquer que ces variations de 200 mV étaient, pour une bonne part, provoquées par des arrêts avec vidange du groupe expérimental. En fonctionnement régulier, les potentiels s'étagent, suivant l'emplacement de la mesure, entre -1085 et 1195 mV.

Comme lors de l'immersion des groupes neufs, ceux-ci seront totalement peints, l'intensité de protection sera celle qui est nécessaire à la polarisation des surfaces accidentellement dépourvues de peintures, compte tenu de l'intensité absorbée par les conduits béton amont et aval, environ 4 A.

Le contrôle de l'intensité débitée sera effectué au moyen des appareils à cadre mobile classique placés à demeure sur les redresseurs alimentant les anodes. Par contre, le potentiel du groupe dans l'eau de mer devra être mesuré au moyen des électrodes de référence.

II. — PRISES DE POTENTIEL ET ÉLECTRODES DE RÉFÉRENCE

Un premier type d'électrode a été essayé à Saint-Malo; il est représenté sur la figure 1 : Ce dispositif a donné satisfaction dans l'ensemble; toutefois, trois critiques ont été formulées à la suite de son utilisation :

- quelques électrodes donnaient des potentiels erronés par suite de l'interruption de la conduction électrolytique le long des filets de la vis nylon;
- le démontage du conduit vissé était assez difficile;
- l'électrode au calomel était fragile.

Ces observations nous ont amenés à concevoir un autre modèle de prise de potentiel représenté sur la figure 2. Un fil d'argent chloruré anodiquement est noyé dans une gelée d'agar-agar à $27,5\%$ de ClNa; à cette concentration, la gelée se trouve en équilibre osmotique avec l'eau de mer, et le potentiel propre de l'électrode d'argent est, dans ces conditions, presque identique à celui de l'électrode au calomel.

Deux prises de ce genre sont actuellement montées et expérimentées sur la ceinture du groupe de Saint-Malo.

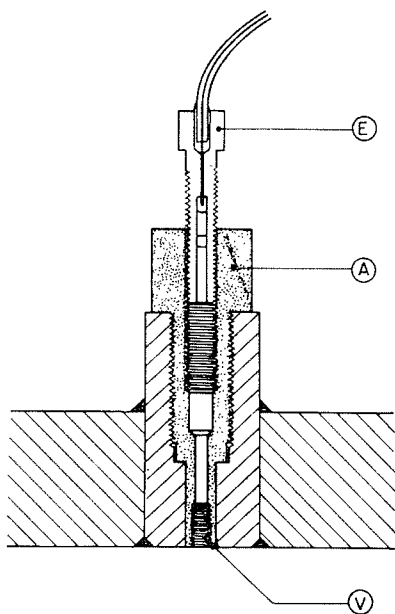


FIG. 1

- A : Conduit vissé rempli d'agar-agar.
- V : Vis de fermeture (conduction électrolytique capillaire entre les filets).
- E : Electrode au calomel.

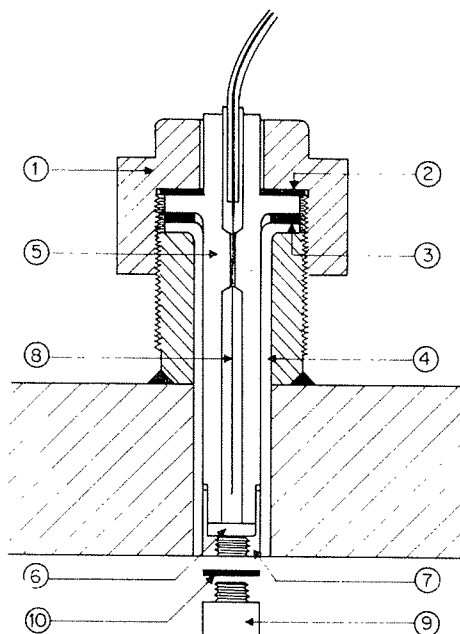


FIG. 2

- 1 : Bouchon de fermeture. - 2, 3 et 10 : Rondelles en néoprène. - 4 : Tube guide plastique. - 5 : Electrode. - 6 : Rondelle de porcelaine poreuse. - 7 : Manchon sur 5. - 9 : Bouchon d'obturation.

III. — INFLUENCE DE LA VITESSE DE L'EAU SUR LA POLARISATION

Cette influence avait été mise en évidence expérimentalement au moyen de courbes de polarisation intensostatiques effectuées sur des échantillons au contact de veines liquides se déplaçant entre 0 et 5 m/s. Une action très sensible de la vitesse sur la polarisation avait été mise en évidence. Elle se traduisait par une augmentation notable du courant dans la zone où ce courant est limité par la diffusion de l'oxygène dissous dans la solution. Ce phénomène n'a pas été retrouvé lors de mesures effectuées à l'arrêt et en marche sur le groupe bulbe.

Il y a à cela une explication :

La polarisation cathodique appliquée sur le bulbe a provoqué sur ce dernier un dépôt calco-magnésien adhérent et dense, de ce fait, la diffusion de l'oxygène passe au second ordre pour limiter le courant réactionnel derrière la migration ionique à travers la couche calco-magnésienne.

A titre d'exemple, les mesures effectuées à 48 h d'intervalle entre le groupe à l'arrêt et le groupe en marche ont donné les résultats suivants :

	GRUPE A L'ARRÊT (mV)	GRUPE EN MARCHÉ (mV)	Δ mV
Ceinture côté bassin.	-1 051	-1 036	+ 15
	-1 020	-1 005	+ 15
Distributeur.	-1 135	-1 065	+ 70
Cône turbine.	-1 115	-1 060	+ 55
	-1 120	-1 062	+ 58
Anneau alternateur.	-1 089	-1 059	+ 30
	-1 075	-1 046	+ 29

Ces chiffres confirment la faible influence de la dépolarisation due au mouvement de l'eau sur l'acier revêtu de calco-magnésien.

IV. — TENUE DES MATÉRIAUX DU GROUPE EN CAS D'AFFAIBLISSEMENT DE LA DENSITÉ DE PROTECTION

Nos inquiétudes à ce sujet sont des plus modérées : en effet, hormis l'acier ordinaire nu qui sera, bien entendu, le siège d'attaques notables, seuls, les éléments en acier martensitique risquent une légère attaque si la densité tombe au-dessous de 80 mA/m^2 , ce qui représente une diminution de près de 100 % du taux de polarisation.

Par ailleurs, les qualités de tenue et de compacité du dépôt calco-magnésien assureront une forte réduction des échanges ioniques entre l'eau de mer et l'acier.

Lors des essais sur le bulbe de Saint-Malo, la protection cathodique a d'ailleurs été supprimée pendant huit mois et nous avons pu suivre l'évolution et la tenue du dépôt calcaire. Après une première période de quinze jours, où le dépôt blanc adhérent aux métaux mis à nu a pris une teinte brunâtre, nous n'avons constaté qu'une diminution restreinte du dépôt. A la fin de cette période de 8 mois, dans les conditions de fonctionnement limité de ce groupe, l'aspect d'ensemble des aciers inoxydables avait peu évolué.

Deux facteurs conditionnent la stabilité de la densité de courant.

Ce sont :

a) Le rapport des surfaces métalliques peintes et des surfaces nues, en contact avec l'eau de mer;

b) La tenue des dispositifs de fourniture du courant de polarisation.

En ce qui concerne le premier point :

a) La polarisation cathodique sera assurée au moyen d'un dispositif fournissant un courant constant. La densité serait donc amenée à décroître avec la diminution de la surface peinte.

Toutefois, le contrôle du potentiel, au moyen des électrodes placées à poste fixe, permettra de s'assurer que l'intensité débitée est suffisante. En cas de chute de la tension, une correction de l'intensité pourra être opérée.

Quant au second point :

b) La tenue du matériel assurant la polarisation des bulbes dépend de celle de ses composants : les redresseurs, et les anodes.

Les redresseurs sont d'un type classique à cellules oxy métal au sélénium offrant une grande sécurité.

Nos efforts ont porté sur la fabrication industrielle d'anodes présentant de bonnes qualités de tenue dans les conditions d'exploitation de la Rance. Plusieurs dispositifs ont été réalisés avec succès et sont actuellement en essais à Saint-Malo. Leur comportement fixera le choix de la solution économique assurant la meilleure sécurité.

Nous voyons donc que la marge entre la densité de travail adoptée et la densité critique minimale ainsi que la robustesse des matériels mis en œuvre rendent la diminution de la densité du courant très aléatoire.

Nous remercions M. le Président, ainsi que les membres de la Société Hydrotechnique de France qui ont bien voulu s'intéresser à nos travaux et espérons que ces remarques confirmeront les premières conclusions émises lors de l'exposé effectué ici même en novembre 1961, où nous disions que la protection cathodique associée aux revêtements de peinture fournit une solution économique au problème de la protection des groupes bulbes contre l'agressivité de l'eau de mer.

DISCUSSION

Président : M. BERGERON

Personne ne demandant la parole, M. le Président remercie M. LAMBERT d'avoir présenté ce rapport et remarque que les précédentes communications de MM. LICHERON et SANHÈS et de MM. LEGRAND et LAMBERT avaient présenté tant d'intérêt que de multiples ques-

tions avaient été posées à leurs auteurs dès la discussion de la première.

M. le Président regrette toutefois que la discussion s'arrête si rapidement.