



Fort-de-France le 18 juin 2020

F.C
INGENIERIE
sous-marine

Siège Social : 25 bis Rue Émile
Clermont 42100 Saint-Étienne -
France

Agences :
- Centre S'-Étienne France
- Caraïbes-Guyane Fort-de-
France Martinique
- Méditerranée Aix-en-P^{ce}
France

Tél : (+33) 477 25 38 86
GSM : (+33) 614 86 83 18
Email : cobos.f@wanadoo.fr
Web : f-cobos.jimdo.com



Vue d'artiste du Port Nador West Med



Royaume du Maroc
Port Nador West Med
Dimensionnement de la protection cathodique
(PC) des pieux-tubes des Terminaux à
conteneurs

Destinataire :

HYDROKAST

9 bis Avenue de la Falaise

38360 Sassenage

A l'attention de M. **Nicolas COUTIER** Chargé d'étude technico-commercial 1 ex.

Copie :

- Chrono F. C INGENIERIE sous-marine.....1 ex.
- Archives F. C INGENIERIE sous-marine.....1 ex.

Réf. : 2020 - 06 HB/FC

Rédigé par : le Responsable ingénierie
portuaire et maritime

Hervé BARREDA
Responsable d'agence
Ingénieur Chargé d'études
Corrosionniste - Scaphandrier II.A

Hervé BARREDA

Corrosionniste - Scaphandrier II A agréé BV - Certifié
Afnor/Compétence en Protection Cathodique secteur mer

Vu et transmis par : Le gérant

F. COBOS INGENIERIE Sous-Marine
Félix COBOS - Directeur Général
25 bis, rue Emile Clermont 42100 SAINT ETIENNE
Tél. (33) 477 25 38 86 - GSM : 06 14 86 83 18

Félix COBOS

Ingénieur travaux sous-marins - Scaphandrier III A

SOMMAIRE

I - Introduction	Page 3
II - Les termes de la demande	Page 3
III - Discussion et hypothèses de calcul	Page 4
1 - Discussion	
2 - Hypothèses de calcul	
3 - Éléments normatifs utilisés	
IV – Dimensionnement	Page 5
1 - Calcul des surfaces (<i>S</i>)	
2 - Densité du courant de protection (<i>d</i>)	
3 - Résistivité de l'eau	
4 - Durée de vie	
5 - Choix de l'alliage anodique	
6 - Résultats du dimensionnement	
6 - 1 Besoins en courant de protection	
6 - 2 Bases du calcul	
6 - 3 Calcul automatique	
V - Préconisations constructives	Page 7
1 - Préparations des anode	
2 - Dispositions constructives	
3 - Fixation des anodes	
4 - Anodes témoins	
5 - Connexions électriques	
VI - Contrôles : Recette, Installation, Suivi du chantier et Réception	Page 10
1 - Avant les travaux	
2 - Pendant les travaux	
3 - A la fin des travaux : Réception d'achèvement des travaux	
4 - Avant 1 ans : Réception de parfait achèvement des travaux dans le cadre de la garantie	
VII - Convention de surveillance et de maintenance de la PC	Page 11
VIII - Annexes	Page 12
1 - Anode type de principe	
2 - La protection cathodique par courant imposé	

Royaume du Maroc - Port Nador West Med - Dimensionnement de la protection cathodique (PC) des pieux-tubes des Terminaux à conteneurs

I - Introduction

Le présent document est destiné à justifier les éléments de calcul, les dispositions et préconisations constructives, la recette des anodes sacrificielles en fonderie, l'installation de la protection cathodique (PC) ainsi que le suivi de la PC des pieux-tubes métalliques des Terminaux à conteneurs de port Nador West Med au Maroc.

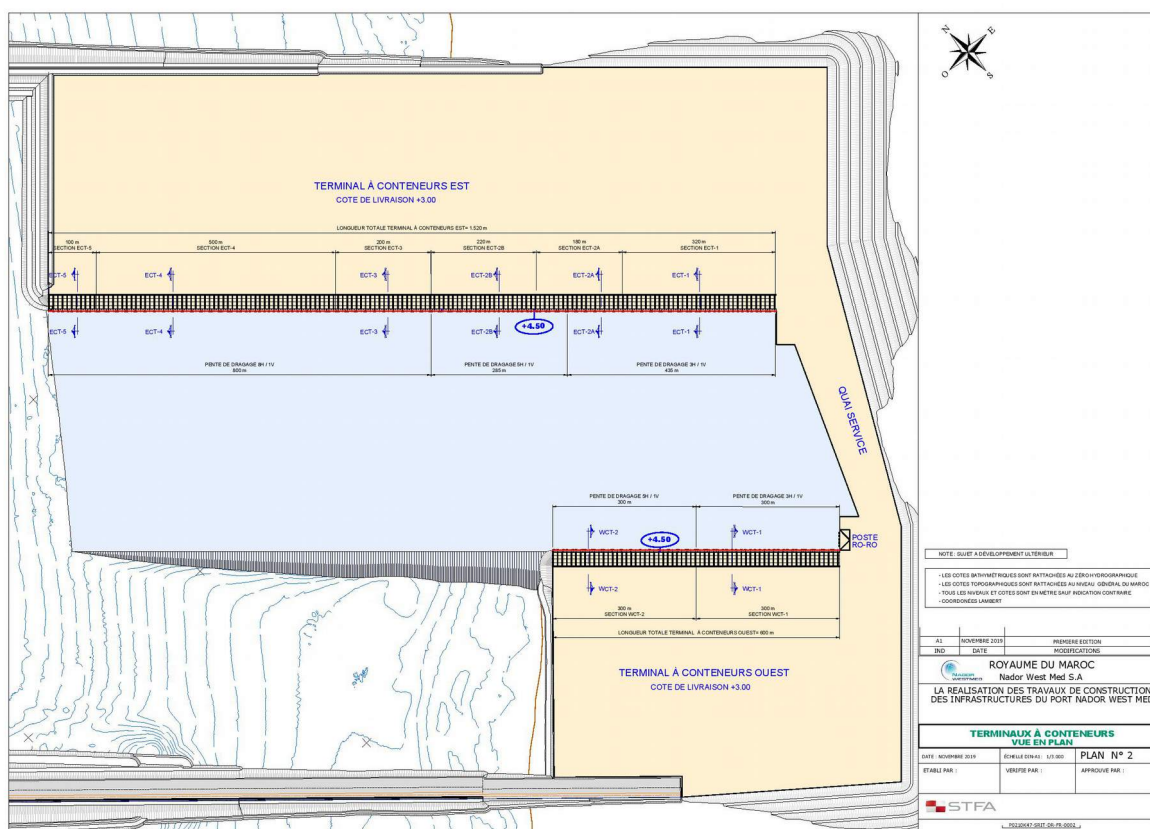


Figure 1 : Vue en plan des deux terminaux à conteneurs

Les Terminaux à conteneurs (figure 1) se déclinent comme suit : Terminal Est 1 520 ml et Terminal Ouest 600 ml. Au total 1 110 pieux sont à protéger de la corrosion.

II - Les termes de la demande (mél du 4 juin 2020 de M. Nicolas COUTIER)

Soit :

- « Réalisation d'un pré-dimensionnement de la protection cathodique par anodes sacrificielles pour une durée de vie de 10 et 15 ans.

Merci de me communiquer les budgets prévisionnels suivants pour la partie étude et de suivi :

- campagne initiale (analyse eau et sédiment) ;
- dimensionnement (nombre d'anode, calepinages) ;
- suivi à 6 mois ;
- campagne de contrôle à 1 an et annuelle. »

III - Discussion et hypothèses de calcul

1 - Discussion

Les calculs sont menés avec un alliage ternaire : aluminium, zinc et indium (*tableau I*) pour une durée de vie de 10 ans puis de 15 ans. Le potentiel de protection en fin de vie sera plus électro-négatif que -800 mV Ag/AgCl/eau de mer (NF EN 12473 «Les principes généraux de la protection cathodique en eau de mer»);

Pour mémoire ci-après (*tableau I*) les caractéristiques chimiques de l'alliage fourni par le fonderie Ampère industrie 7 Rue Pierre Devaux, 69360 Sérézin-du-Rhône (Mél : Anodes@ampere.com) en coulée semi-continu verticale du type Hydral 2C (NF EN 12496 Août 2013 -alliage A1- et DNV-RP-B 401 Octobre 2010.)

Tableau I : Caractéristiques des anode aluminium activée à l'Indium (Al/Zn/In)

<p>Composition chimique (% en poids) :</p> <p>Fer 0,10 % max. Silicium 0,10 % max. Manganèse 0,01 % max. Cuivre 0,005 % max. Magnésium 0,01 % max. Titane 0,015 % max. Indium 0,010 à 0,030 % max. Mercure 0 Zinc 4 à 6 % max. Aluminium Le reste</p> <p>Densité : 2,74</p> <p>Caractéristiques électrochimiques :</p> <p>.potentiel en circuit fermé : - 1090 mV ±25mV électrode de référence Ag/AgCl/eau de mer .capacité en courant (<i>énergie massique</i>) : 2500 A.h/kg ±3% .taux de consommation du matériau anodique (<i>capacité pratique</i>) : 3,5 kg/A.an ±3%</p> <p>Facteur d'utilisation ou rendement : 85 %</p>

Précisons que les anodes aluminium offrent :

- .un coût de revient (*en €/A.an*), de 10,5 contre 25,8 pour le Zn. Le Zn est environ 2,5 x plus cher ;
- .une capacité pratique (*consommation en kg/A.an*) de 3,5 pour Al/Zn/In contre 11,2 pour le Zn.
Le Zn se consomme, environ, 3 x plus vite ;
- .et un potentiel bien adapté à la protection de structures compactes -en acier- à la mer.

2 - Hypothèses de calcul

Courant de protection : (à noter que les pieux-tubes depuis la cote -2,00 ZH jusqu'à la sous face du tablier recevront un système de peinture anticorrosion de 530 microns d'épaisseur, soit plus d' 1/2 mm)

- .zone revêtue marnante 35 mA/m² ;
- .zone revêtue immergée 25 mA/m² ;
- .zone immergé 60 mA/m² ;
- .zone fichée 25 mA/m².

La vitesse de corrosion est 4 fois moindre dans un sol qu'en pleine eau. Pour un acier immergé non revêtu elle est de 0,12 mm/an, soit 102 mA/m² (Source ROSA 2000 : Eau de mer en climat tempéré en zone de haute agressivité) et d'environ 0,03 mm/an dans le sol, soit 25 mA/m².

Pour mémoire le courant de corrosion de Méditerranée, considérée comme une mer de corrosivité moyenne, est de 102 mA/m², soit une vitesse de corrosion de 0,12 mm/an sur un acier non revêtu. Nous retiendrons un courant de protection de 60 mA/m².

3 - Éléments normatifs utilisés

Le contenu de l'étude est une présentation du dimensionnement des anodes sacrificielles à installer pour protéger le quai de la corrosion. Le dispositif a été dimensionné en application des normes suivantes :

- .DNV - RPB 401 (*Dest Norske Veritas - Recommended Practice Cathodic Protection Désign*) octobre 2010 ;
- .RP 0387 - 99 de la NACE (*National Association of Corrosion Engineers de Houston au Texas USA*) sur «*les spécifications métallurgiques et d'inspection pour la réception d'anodes sacrificielles coulées en application offshore*» ;
- .NF EN 12495 - 2000 «*Protection cathodique des structures en acier fixes en mer*» ;
- .NF EN 12496 - 2013 «*Anodes galvaniques pour la protection cathodique dans l'eau de mer et les boues salines*» ;
- .NF EN ISO 12473 - 2017 «*Principes généraux de la protection cathodique en eau de mer*» ;
- .NF EN ISO 13174 - 2013 «*Protection cathodique des installations portuaires*» ;
- .NF EN ISO 15257 - 2007 «*Protection cathodique - Niveaux de compétence et certification du personnel en protection cathodique*» ;

IV - Dimensionnement (note de calcul justificative)

Il s'agit de dimensionner les anodes sacrificielles (ou galvaniques) pour 1 110 pieux-tubes.

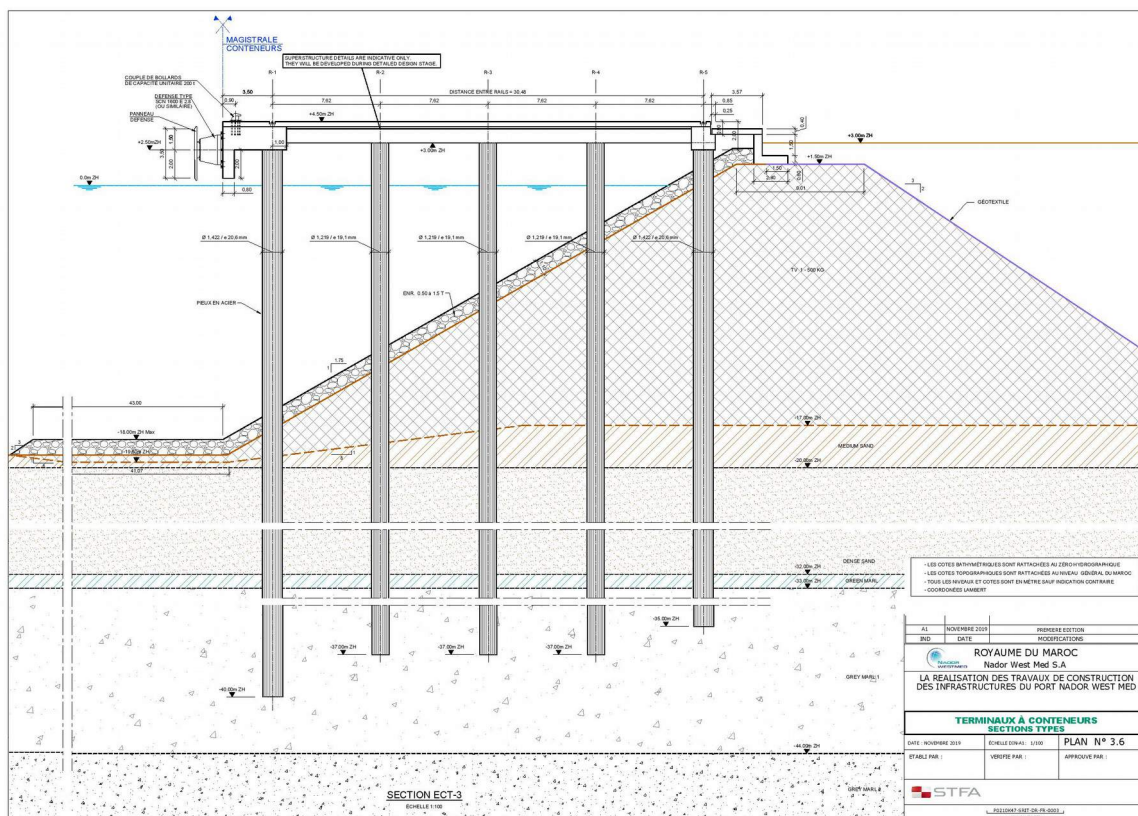


Figure 2 : Section type des terminaux à conteneurs

La section type (figure 2) indique deux types de pieux-tubes , soit : File 1 (R1) et file 5 (R5) diamètre 1,422/épaisseur 20,6 mm et les files 2, 3 et 4 (R2, R3 et R4) diamètre 1,219 m et épaisseur 19,1 mm.

1 - Calcul des surfaces (S)

Le tableau II indique toutes les hauteurs et les surfaces à prendre en compte dans les calculs de la PC.

Tableau II : Récapitulatif des hauteurs et surfaces concernées par la PC

Repérage n° de la file de pieux	Dimensions des pieux (m/mm)	Nombre de pieux par files (u)	Surface de pieu par ml (m²/ml)	Hauteur de marnage revêtue (m)	Hauteur revêtue immergée (m)	Hauteur nue immergée (m²)	Hauteur nue fichée (m)	Hauteur totale concernée* (m)	Surface revêtue marnante (m²)	Surface revêtue immergée (m²)	Surface nue immergée (m)	Surface nue fichée (m²)
R1	Dn1,422/ep20,6mm	222	4,467	1,00	2,00	14,00	24,00	41,00	4,47	8,93	62,54	107,22
R2	Dn1,219/ep19,1mm	222	3,830	1,00	2,00	10,00	25,00	38,00	3,83	7,66	38,30	95,74
R3	Dn1,219/ep19,1mm	222	3,830	1,00	2,00	5,60	29,40	38,00	3,83	7,66	21,45	112,59
R4	Dn1,219/ep19,1mm	222	3,830	1,00	2,00	1,20	33,80	38,00	3,83	7,66	4,60	129,44
R5	Dn1,422/ep20,6mm	222	4,467	1,00	2,00	0,00	33,00	36,00	4,47	8,93	0,00	147,42

*Les surfaces et donc les hauteurs de pieux non immergées ou non marnantes ne sont pas protégées par la PC (protection cathodique). Le revêtement y pourvoira

2 - Densité du courant de protection (d)

Les densités retenues pour chaque zone, en application de l'annexe A de la NF EN ISO 13174 (§ I - 2), sont les suivantes :

- .zone revêtue marnante 35 mA/m² ;
- .zone revêtue immergée 25 mA/m² ;
- .zone immergé 60 mA/m² ;
- .zone fichée 25 mA/m².

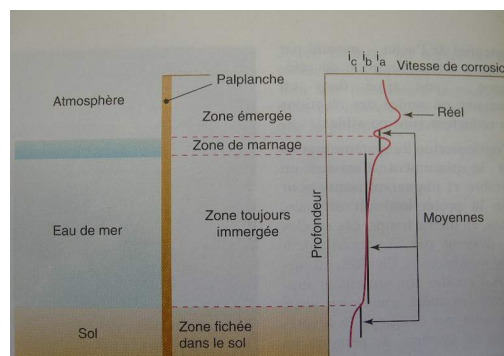


Figure 3 : Distribution des vitesses de corrosion

3 - Résistivité de l'eau

La résistivité de l'eau de mer sera prise égale à 0,25 Ω.m. Il s'agit d'une valeur parfaitement fondée. Précisons que la résistivité est fonction de la température et de la salinité.

4 - Durée de vie

Les anodes sont dimensionnées pour assurer un minimum de potentiel de -0,800V Ag/AgCl/eau de mer (NF EN 12473 - voir le § III - 1 ci-avant) pour une durée de vie de 10 ans, puis de 15 ans.

5 - Choix de l'alliage anodique (voir III - 1) Les calculs seront menés avec l'Al/Zn/In type Hydral 2C.

6 - Résultats du dimensionnement

6 - 1 Besoins en courant de protection ($S \times d = I$) Intensité nécessaire pour protéger chacun des pieux-tubes (tableau III) :

Tableau III : Récapitulatif de l'intensité nécessaire par pieu-tube

Repérage n° de la file de pieux	Dimensions des pieux (m/mm)	Intensité du courant de protection par pieux (A)
R1	Dn1,422/ep20,6mm	6,81
R2	Dn1,219/ep19,1mm	5,02
R3	Dn1,219/ep19,1mm	4,43
R4	Dn1,219/ep19,1mm	3,84
R5	Dn1,422/ep20,6mm	4,47

6 - 2 Bases du calcul

.Masse anodique nette

M = Masse anodique nette (kg)
 I = Intensité nécessaire à la protection des Palplanches (Ampère)
 8766 = Nombre d'heures moyen par an
 t = Durée de vie requise 15 ans
 α = Facteur d'utilisation ou rendement 0,85 Al à 0,95 Zn
 e_{masse} = Énergie massique pratique de l'anode Al/Zn/In soit : 2500 A.h/kg ±3%

$$M = \frac{I.8766.t}{\alpha.e_{masse}}$$

.Résistance de l'anode (R_a)

Dans les conditions et selon les préconisations de la norme DNV RPB 401, la résistance d'anode est calculée à partir de la formule de Dwight, quand :

R_a = Résistance d'anode (en Ω)
 r = Rayon équivalent de l'anode en m (r = C/(2 x π) où C est le périmètre de la section en m)
 ρ = Résistivité de l'eau en Ω.m (0,25 Ω.m)
 L_a = Longueur de l'anode (en m)

$$R_a = \frac{\rho}{2.\pi.L_a} \left[\ln \left(\frac{4.L_a}{r} \right) - 1 \right]$$

$$L_a \geq 4.r$$

Les dimensions des anodes sont déterminées afin que sa résistance permette d'assurer le potentiel d'immunité en fin de vie.

.Potentiel de la structure

Le potentiel, exprimé en volts par rapport à l'électrode de référence Ag/AgCl/eau de mer, est calculé suivant la formule :

E_s = Potentiel de la structure après polarisation (en V)
 E_a = Potentiel de l'anode en débit en circuit fermé (en V)
 R_a = Résistance de l'anode (en Ω)
 I_n = Débit nominal de l'anode (en A)

$$E_s = E_a + (R_a \times I_n)$$

6 - 3 Calcul automatique (Tableaux IV et V)

Le potentiel E_s en fin de vie est plus électro-négatif que -0,800V Ag/AgCl/eau de mer, le dimensionnement est validé (NF EN 12473 - voir le § III - 3 ci-avant).

Tableau IV : Récapitulatif du calcul automatique pour 10 ans de durée de vie

Repérage n° de la file de pieux	Dimensions des pieux (m/mm)	Nombre de pieux par files (u)	Nombre d'anodes par pieux (u)	Nombre d'anodes total (u)	Masse anodique par anode (kg)	Masse anodique totale (kg)	Longueur anode (m)	Longueur coté anode parallélépipédique (m)	Potentiel -Es en fin de vie* (V)
R1	Dn1,422/ep20,6mm	222	4	888	70	62 160	0,950	0,164	0,814
R2	Dn1,219/ep19,1mm	222	3	666	70	46 620	0,950	0,164	0,818
R3	Dn1,219/ep19,1mm	222	3	666	61	40 626	0,950	0,153	0,847
R4	Dn1,219/ep19,1mm	222	3	666	53	35 298	0,950	0,142	0,875
R5	Dn1,422/ep20,6mm	222	3	666	56	37 296	0,950	0,147	0,864
Total pour 10 ans				3 552		222 000			

*inférieur à -0,800 V Ag/AgCl/eau de mer.

Tableau V : Récapitulatif du calcul automatique pour 15ans de durée de vie

Repérage n° de la file de pieux	Dimensions des pieux (m/mm)	Nombre de pieux par files	Nombre d'anodes par pieux (u)	Nombre d'anodes total (u)	Masse anodique par anode (kg)	Masse anodique totale (kg)	Longueur anode (m)	Longueur coté anode parallélépipédique (m)	Potentiel -Es en fin de vie* (V)
R1	Dn1,422/ep20,6mm	222	4	888	105	93 240	0,950	0,201	0,828
R2	Dn1,219/ep19,1mm	222	3	666	105	69 930	0,950	0,201	0,832
R3	Dn1,219/ep19,1mm	222	3	666	91	60 606	0,950	0,187	0,859
R4	Dn1,219/ep19,1mm	222	3	666	80	53 280	0,950	0,174	0,866
R5	Dn1,422/ep20,6mm	222	3	666	84	55 944	0,950	0,179	0,876
Total pour 15 ans				3 552		333 000			

*inférieur à -0,800 V Ag/AgCl/eau de mer.

La masse anodique totale est de 222 t pour 10 ans de durée de vie et de 333 t pour 15 ans.

V - Préconisations constructives

Les préconisations constructives sont les suivantes, soit dans le détail :

- 1 - préparations des anodes (*lumières, anneau de manutention, revêtement, boulonnerie et cavaliers supports*) ;
- 2 - disposition constructive (*distance, profondeur d'immersion, distribution verticale et horizontale*) ;
- 3 - fixation des anodes (*soudage des cavaliers support et boulonnage des anodes*) ;
- 4 - plaques identification de repérage des 15 anodes témoins (*2 plaques par anodes*) ;
- 5 - connexions électriques soudées entre les pieux-tubes R4 et R5.

1 - Préparations des anode

Chaque anode sera munie d'un insert débordant de part et d'autre d'environ 15 cm (*Figure 4*), ainsi que d'un anneau de levage de manutention.

D'autre part, des lumières oblongues (*16 mm x 32 mm*) destinées au passage des vis de 15 mm avec rondelles Grower ou similaire, seront pratiquées dans les inserts.

L'isolement avec la structure (*risque de bouclage du courant*) sera réalisé par application d'un revêtement d'environ 150 microns sur la face de l'anode vue par les palplanches.

Les lumières, l'anneau de levage et le revêtement seront préparés en usine par le fondeur. La boulonnerie, y compris, les rondelles seront fournies par le fondeur.

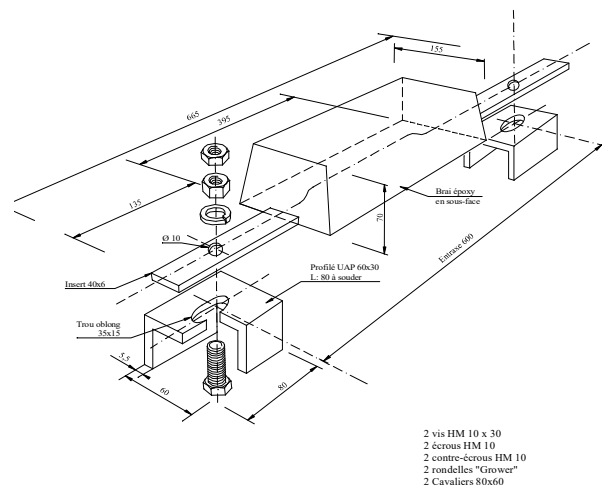


Figure 4 : Plan de principe non contractuel

2 - Dispositions constructives

Distribution verticale :

La position du centre de gravité (CDG) des anodes des files est indiquée dans le tableau VI.

A noter que la hauteur d'eau des files R3 et R4 n'étant pas assez importante il conviendra de les placer le plus près possible du fond.

Tableau VI : Calcul automatique de la profondeur d'immersion des anodes

Repérage n° de la file de pieux		R1	R2	R3	R4	R5
H h.e	Hauteur hors d'eau jusque sur la plate-forme	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
H rv	Hauteur revêtue	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
H im.	Hauteur immergée	14,00	10,00	5,60	1,20	0,00
H f.	Hauteur fichée nue	24,00	25,00	29,40	33,80	33,00
i rv	Densité de courant de la zone de marnage	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
i im	Densité de courant de la zone immergée	0,060	0,060	0,060	0,060	0,060
i f	Densité de courant de la fiche	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
H i.h	Position du CDG de l'anode (à partir du 0,00 ZH)	11,25	9,46	8,18	6,89	6,13

Concernant la file R5 les pieux sont complètement fichés, aussi les anodes seront placées sur les pieux de la file R4.

Une connexion électrique (voir le § III - 5 ci-après) sera soudée entre les pieux-tubes R4 et R5 (câble électrique ou fer à béton rond lisse de \varnothing 8 mm ou plat métallique équivalent).

Distribution horizontale :

Chaque pieu recevra 3, 4 ou 6 anodes placées verticalement. Les anodes seront placées suivant le code o'clock ou en degrés d'angle.

Tableau VII : Nombre d'anodes par pieux à 10 ans et à 15 ans

10 ans				15 ans			
Repérage n° de la file de pieux	Dimensions des pieux (m/mm)	Nombre de pieux par files (u)	Nombre d'anodes par pieux 10 ans (u)	Repérage n° de la file de pieux	Dimensions des pieux (m/mm)	Nombre de pieux par files	Nombre d'anodes par pieux 15 ans (u)
R1	Dn1,422/ep20,6mm	222	4	R1	Dn1,422/ep20,6mm	222	4
R2	Dn1,219/ep19,1mm	222	3	R2	Dn1,219/ep19,1mm	222	3
R3	Dn1,219/ep19,1mm	222	3	R3	Dn1,219/ep19,1mm	222	3
R4	Dn1,219/ep19,1mm	222	3	R4	Dn1,219/ep19,1mm	222	3
R5	Dn1,422/ep20,6mm	222	3	R5	Dn1,422/ep20,6mm	222	3

La file R1 recevra 4 anodes la première à midi, la deuxième à 3 h, la troisième à 6 h la quatrième à 9h. Les files R2 et R3 recevront 3 anodes placées à 120°. La file R4 recevra 6 anodes (les 3 anodes de la file R4 et les 3 anodes de la file R5), placées à 60°.

Distance : Un éloignement de la sous-face des anodes avec les pieux d'environ 10 à 15 cm est conseillé pour optimiser le dispositif (risque de blocage de l'anode).

Précisons qu'il conviendra d'utiliser un chariot élévateur pour la manutention des anodes in situ.

3 - Fixation des anodes

Fixation : Soudage en pleine eau des cavaliers supports par scaphandriers classe II ou III mention A (Décret 90-277 du 28 mars 1990 et ses arrêtés d'application ainsi que le décret n° 2011-45 du 11 janvier 2011 relatif à la protection des travailleurs intervenant en milieu hyperbare et les arrêtés

d'application et l'arrêté du 14 mai 2019 relatif aux travaux hyperbares effectués en milieu subaquatique -mention A-) titulaire des agréments suivants :

- .qualification Bureau Véritas, Cofrend, Afnor,... pour les scaphandriers-inspecteurs (*essais non destructifs*) ;
- .qualification norme AFNOR A 88-950 de Novembre 1989 «*travaux sous-marin - soudage en pleine eau*» pour les scaphandriers-soudeurs. Le soudage des cavaliers supports (*figure 5*) utilisera une pince Broco ou similaire et les cordons de soudures seront effectués en deux passes sur les fers cavaliers supports avec des électrodes enrobées, suivant les normes AFNOR A 81-950 de Juillet 1991 et A 81-952 de Juin 1992 - Exemple : Broco Underwater ou similaire.



Figure 5 : Soudage en pleine eau des cavaliers supports - Wharf de Léava à Futuna - Archipel de Wallis et Futuna



Figure 6 : Boulonnage d'une anode - Wharf de Léava à Futuna - Archipel de Wallis et Futuna

Boulonnage : Chaque anode sera boulonnée (*figure 6*) sur deux cavaliers supports (*haut et bas*) soudés en pleine eau. Les anodes seront boulonnées, avec rondelles Grower, par serrage énergétique.

4 - Anodes témoins (Exemple : R1 - Pieu n° 122 - Anode témoin - Masse initiale 105 kg)

Quinze (15) anodes témoins amovibles seront placées et repérées sur le quai. Cette disposition est destinée à prédire la durée de vie de la protection par simple pesée. Les pesées seront toujours effectuées avec le même appareil de pesage (*balance, peson, ...*).

Pour chaque anode témoin une plaque inox gravée (*figure 7*), servant de repérage, sera fixée au droit du pieu-tube sur la poutre de couronnement (*magistrale*) et une étiquette en matière plastique résistante sera placée sur l'anode concernée. Ces dispositions sont destinées à retrouver et replacer facilement l'anode concernée.

**File R1 - Pieu n°122 - Anode témoin -
Masse initiale 105 kg**

Figure 7 : Exemple de plaque de repérage

5 - Connexions électriques

Comme indiqué précédemment les pieux de la file R5 sont complètement fichés et donc les anodes lui étant destinées seront placées sur les pieux de la file R4.

Une connexion électrique sera soudée entre les pieux-tubes R4 et R5 (*câble électrique ou fer à béton rond lisse de \varnothing 8 mm ou plat métallique équivalent*). Cette connexion conductrice est destinée à assurer une continuité électriquement entre les pieux-tubes des deux files.

La longueur de la connexion est de 8,50 m et le nombre est de 222.

Les parties de pieux meulées, pour le soudage des connexions, seront protégées par un revêtement. On utilisera efficacement, comme revêtement, une résine époxydique applicable en immersion.

VI - Contrôles : Recette, Installation, Suivi du chantier et Réception (tableau IV)

Les contrôles, réalisés par le Représentant du Maître d'Oeuvre, font toujours l'objet de la rédaction d'un procès-verbal (PV).

1 - Avant les travaux

.Recette en usine de fonderie (*traçabilité*)

- la provenance
- la coulée et pour chaque anode son numéro de série et sa masse
- le certificat d'analyse chimique et de tests électrochimiques

2 - Pendant les travaux

.Contrôle des anodes à la livraison in situ (*nombre, masse, dimension, état,...*)

.Installation et suivi du chantier par scaphandriers agréés Bureau Véritas, Cofrend, Afnor, CEFACOR ou similaire.

- organiser, coordonner, contrôler le matériel, la qualité des matériaux utilisés et les qualifications des intervenants
- contrôler le positionnement vertical et la distribution des anodes, boulonnerie et serrage
- contrôler les connexions électriques entre les pieux-tubes des files R4 et R5
- pesage et positionnement des 15 anodes témoins

3 - A la fin des travaux : Réception d'achèvement des travaux

.contrôle de l'état de l'installation (*activation des anodes*)

.mesures de potentiels électrochimiques

.pesage des 15 anodes témoins (*pour mémoire voir ci-avant*)

.vérification des connexions électriques (*pour mémoire voir ci-avant*)

.photos de points particuliers ou remarquables

4 - Avant 1 ans : Réception de parfait achèvement des travaux dans le cadre de la garantie

.contrôle de l'état de l'installation (*activation et dépôts calcomagnésiens*)

.mesures de potentiels électrochimiques

.pesage de l'anode témoin (*débit, densité du courant de protection, prédiction durée de vie*)

.vérification des connexions électriques

.photos de points particuliers ou remarquables

Tableau VIII : Récapitulatif des contrôles

Nombre d'intervention	Chronologie des contrôles	Détails des contrôles, recette, installation et suivi
Pour mémoire	Note de calcul et plans d'exécution	Contrôles de cohérence des hypothèses de calcul et simulation avec logiciel, vérification des plans d'exécution des anodes et des connexions électriques
1	Recette en usine (2020)	Contrôles des anodes effectués en usine de fonderie (<i>traçabilité, qualité, tests électrochimiques, composition de l'alliage et essais destructifs</i>)
Pour mémoire	Contrôle in situ des anodes (2020)	Contrôles des anodes effectués in situ au port Nador West Med, à la livraison
1 (au début des travaux)	Installation et suivi du chantier (2020)	Coordonner et organiser le chantier, contrôler le matériel et la qualité des matériaux utilisés et les qualifications des intervenants
1 (à la fin des travaux)	Réception d'achèvement des travaux (2020)	Contrôle de l'état de l'installation, relevés de potentiels électrochimiques, pesage des 15 anodes témoins, vérification des connexions électriques et photos
1 (avant 1 ans)	Réception de parfait achèvement à 1 ans (2021)	Dans le cadre de la garantie de parfait achèvement : Contrôle de l'état de l'installation, relevés de potentiels électrochimiques, pesage de l'anode témoin, vérification des connexions électriques et photos

VII - Convention de surveillance et de maintenance de la PC

Dans le cadre de la surveillance et de la maintenance de la PC des Terminaux à conteneurs il convient de prévoir une inspection annuelle de la PC. La convention entre les deux parties (*Port Nador West Med/Entreprise*) qui peut être fournie sur demande, ne fait pas partie de la présente étude. Pour un investissement minimum, l'exploitant 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 de l'ouvrage.



Figure 8 : Mesures de potentiels électrochimiques - Doralhé Djibouti

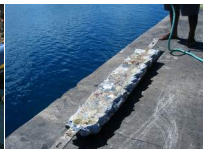


Figure 9 : Anode témoin - Quai de Longoni Mayotte



Figure 9 : Coulage anodes - Copenhague Danemark



Figure 10 : Tests électrochimiques - Copenhague Danemark



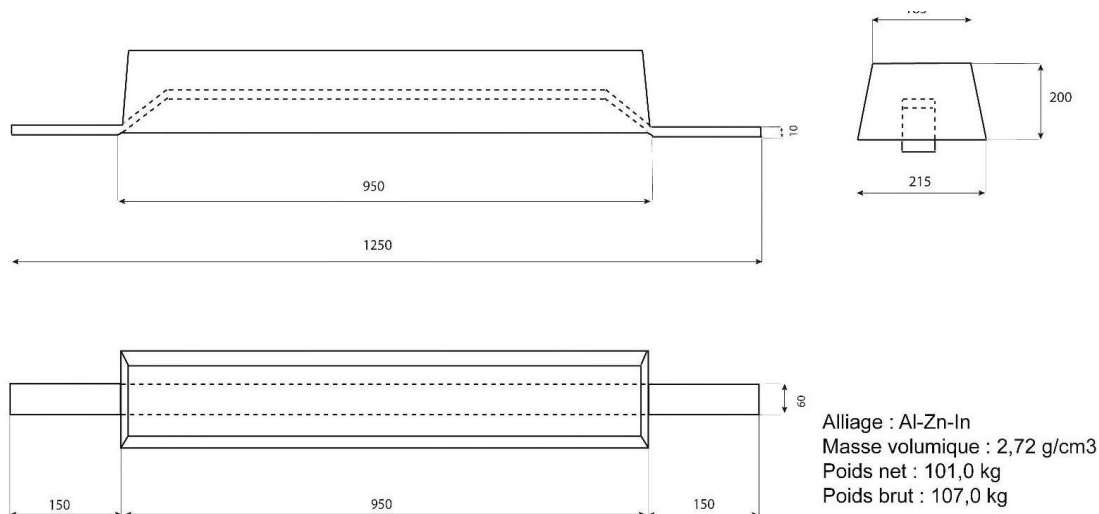
Figure 11 : Analyses chimiques - Copenhague Danemark



Figure 12 : Recette fonderie - Copenhague Danemark

VIII - Annexes

1 - Anode type de principe




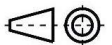
 A.M.P.E.R.E Industrie département Protection Cathodique 7 rue Pierre Devaux 69360 Sérézin du Rhône Tél: 04 78 02 32 00 - Fax: 04 78 02 13 43 Mail: anodes@ampere.com - www.ampere.com/protection	Réf: 135226000	ANODE ALLIAGE Al-Zn-In	HYDRAL 2C®
		TYPE ZA200 - 101kg	Révision 0 Echelle : nc
		Reproduction interdite	Date: 07/04/2017

Figure 13 : Plan de principe, non contractuel, d'un exemple d'anode à installer

2 - La protection cathodique par courant imposé

Tout comme par anodes sacrificielles il suffit d'amener le potentiel de la structure à protéger à un potentiel suffisamment électrochimique 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, installations et outillages portuaires, courants vagabonds,...*).

Le tableau IX 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 en rouge les paramètres négatifs*).

Globalement une PC par courant imposé n'est pas recommandé dans un port, car en effet, il y a toujours des interférences avec les installations et d'outillages électriques (*portiques,...*), les risques générés par les courants vagabonds, les risques d'arrachement et rupture des câbles électriques d'alimentation menant aux anodes déversoirs avec arrêt immédiat du fonctionnement de la PC.

De plus la PC par courant imposé, demande un suivi et un contrôle permanent des installations par des électriciens formés à gérer les armoires de commandes (*transfo-redresseur*) et les anodes déversoirs immergées y compris les câbles d'alimentation (*intervention de plongeurs pas toujours formés*), ce qui est une contrainte et engendre des coûts de maintenance importants.

Tableau IX : Comparaison des systèmes de PC

Paramètres	Système galvanique	Système à courant imposé
Installation	Simple	Complexe (<i>électricité en courant continu, câbles électriques, transfo-redresseur, armoire de commande, lits d'anodes déversoirs,...</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 de mauvaises manipulations du transfo-redresseur et/ou d'arrachement ou de rupture de câbles d'alimentation, courants vagabonds</i>)
Interférences avec autres structures	Faible	Forte (<i>avec les navires à quai*, les structures portuaires proches, les installations et l'outillage portuaire</i>)
Risques humains	Non	Possibles, élevés
Surveillance et maintenance	Faible mais remplacement périodique des anodes parfois nécessaire	Régulière et spécialisée (<i>risque accidentel de rupture de câbles de continuité électrique</i>)
Coût	Investissement relativement faible, coût du courant élevé	Investissement élevé, coût du courant faible

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