

Elaboration d'une méthode d'évaluation des performances de revêtements époxydiques applicables en immersion

Hervé BARREDA¹, Emmanuel ARAGON², Marielle EYRAUD³, Lionel PELLON¹, Florence VACANDIO³ et Nicole VERRIER¹

¹CETMEF, 2, boulevard du Président Kennedy, BP 543, 13092 Aix-en-Provence cedex Tél. : 04 42 52 74 10 - 06 15 96 31 65 fax : 04 42 52 74 01 - herve.barreda@equipement.gouv.fr

²ISITV, Université de Toulon et du Var, EA 3834 «Matériaux à Finalités Spécifiques», Avenue G. Pompidou, BP 56, 83162 La Valette du Var cedex Tél. : 04 94 14 25 68 emmanuel.aragon@univ-tln.fr

³Laboratoire MADIREL, UMR - CNRS, Université de Provence, Centre de St Jérôme Traverse Susini, 13397 Marseille Cedex 20 Tél. : 04 91 63 71 40 fax : 04 91 63 71 11 m.eyraud@newsup.univ-mrs.fr et florence.vacandio@up.univ-mrs.fr

Mots-clés : peinture anticorrosion, application en immersion, eau de mer, SIE, adhérence, Résumé

Il s'agit d'une méthode de caractérisation expérimentale, essentiellement non destructive, destinée à évaluer l'efficacité anticorrosive de revêtements époxydiques applicables en immersion.

La méthode comprend 6 essais adaptés et discriminants vis à vis des revêtements : vieillissement en brouillard salin, spectroscopie d'impédance électrochimique, tests d'arrachement, vieillissement en eau distillée, décollement cathodique et vieillissement sous ultraviolet artificiel. Ces essais sont réalisés sur des éprouvettes en acier revêtues de 8 revêtements époxydiques en adéquation avec l'étude.

Ces essais permettent de juger de la pertinence de la méthode utilisée, pour qualifier la résistance d'un revêtement vis à vis de la corrosion.

Les résultats obtenus permettent de retenir les essais les plus adaptés, d'en supprimer d'autres et de proposer des suppléments d'étude. Ces résultats sont précieux pour déterminer la protection anticorrosion des ouvrages métalliques fixes à la mer (quais, digues, ducs d'Albe, tourelles, balises,...), notamment dans la mise en place de systèmes duplex (revêtement anticorrosion associé à une protection cathodique).

Introduction

La conservation des ouvrages à la mer représente un enjeu économique important. Cette étude s'inscrit dans le cadre général de la surveillance et de la maintenance des ouvrages métalliques fixes à la mer. La protection de la corrosion des installations utilise principalement deux modes de défense, souvent associés pour former un système duplex : revêtements anticorrosion pour les zones aériennes et protection cathodique pour les zones immergées, immergées et fichées.

Ici, on considère une protection cathodique (PC) par anodes sacrificielles associées à un revêtement. Cette technique est utilisée dans des mers à faible marnage (environ 2,00 m).

Il existe une zone intermédiaire, correspondant à la zone d'éclaboussures, qui nécessite une protection spécifique. Dans cette zone, la protection cathodique n'est pas opérante et la protection par revêtement est nécessaire. Cette

zone, continuellement détrempée et mouillée, pose des problèmes d'application. Il faut que le revêtement soit appliqué sur la zone d'éclaboussures jusqu'à environ 0,40 m sous le niveau des plus basses eaux (PBE).

L'efficacité du revêtement ne sera obtenue que s'il y a recouvrement continu des surfaces, que le revêtement soit peu perméable à l'eau et surtout, que l'adhérence soit optimale. Le revêtement appliqué sous l'eau doit sécher correctement et les solvants doivent s'évaporer.

Il n'existe pas de revêtements anticorrosion applicables en immersion certifiés par l'ACQPA. L'absence sur les performances de ces revêtements, a donc conduit le CETMEF à mener cette étude.

Les enjeux : **prolongation de la durée de vie** des ouvrages métalliques fixes à la mer et **diminution des frais d'intervention** ultérieurs.

Conditions expérimentales

Recensement des fabricants : 48. Répertoire des produits et détermination de leurs adéquations à l'étude. In fine, 8 revêtements à base de résines époxydiques ont été sélectionnés pour cette étude.

Recensement des essais, des méthodes de caractérisations et des référentiels normatifs associés.

Préparation des éprouvettes

La préparation de surface des éprouvettes acier (E24) de 150x150x5 mm d'épaisseur a été effectuée conformément au protocole suivant :

- rectification des arêtes et angles ;
- dégraissage à l'acétone puis avec un détergent anionique ;
- décapage par projection d'abrasif A Sa 2^{1/2} ;
- dépoussiérage à l'air comprimé ;
- dégraissage de finition à l'acétone.

Contrôle des épaisseurs sèches des revêtements

Les revêtements ont une épaisseur moyenne de 400 microns. Les mesures se sont avérées impossibles sur le revêtement n°6 trop épais (mortier de résine).

Essais et méthodes de caractérisation

Résultats expérimentaux

Applicabilité

Classement	Revêtements	Observations
1	n°3	Revêtement facile à mettre en œuvre, après mélange la viscosité de ce produit ne pose aucune difficulté à l'application. Il présente une excellente adhérence (monnaie) au substrat.
2	n°1	Le revêtement est une pâte liquide visqueuse qui s'applique assez facilement sous l'eau, grâce à une bonne adhérence au substrat. On observe une légère coloration rosée de l'eau à la fin de l'application (très légère solubilisation du produit dans l'eau).
3	n°4	La mise en œuvre de ce revêtement n'a présenté aucune difficulté. Son adhérence au support métallique est très bonne malgré son aspect très liquide. Il forme cependant de nombreuses gouttes de produit à la surface de l'eau lorsque qu'il est immergé (gouttelettes en suspension dans l'eau).
4	n°2	Le revêtement se sépare en gouttelettes et filaments qui flottent (trop de gouttes et filaments en suspension dans l'eau). Ceci rendrait son application délicate en condition réelle ou le plongeur est entièrement immergé et le support vertical. Il mouille bien le substrat.
5	n°5	L'application du produit est délicate. Il s'agit d'une pâte granuleuse très visqueuse qui s'arrache par plaques lorsqu'elle est appliquée au gant. Cependant, il donne un bon aspect final après passage de la règle (Figure 1).
6	n°6	Il s'agit d'une pâte solide difficile à mettre en œuvre car elle colle aux gants. L'application à la règle d'épaisseur ou à la spatule est exclue car le produit n'accroche pas assez le support. Il n'est applicable que par pression et lissage à mains nues. Il s'agit d'un mortier de résine essentiellement destiné au ragréage de structure en béton ou en maçonnerie.
néant	n°7	Cette pâte fibreuse n'a pu être appliquée par défaut d'homogénéité. (Figure 2).
néant	n°8	Cette résine destinée à l'injection n'a pas pu être utilisée. Trop liquide, elle ne présente aucune adhérence au substrat (Figure 3).

Tableau 2 : Classement des revêtements en fonction de leur applicabilité

Les figures 1 à 3 illustrent, à titre d'exemples, le principe de l'application ainsi que les problèmes rencontrés avec certains revêtements



Figure 1 : L'application du revêtement n°5 est délicate mais excellente adhérence



Figure 2 : L'application du revêtement n°7 est impossible



Figure 3 : L'application du revêtement n°8 est impossible

Propriétés anticorrosion

Caractérisation des propriétés barrières

Essai au Brouillard salin (BS) : comportement «pleine tôle»

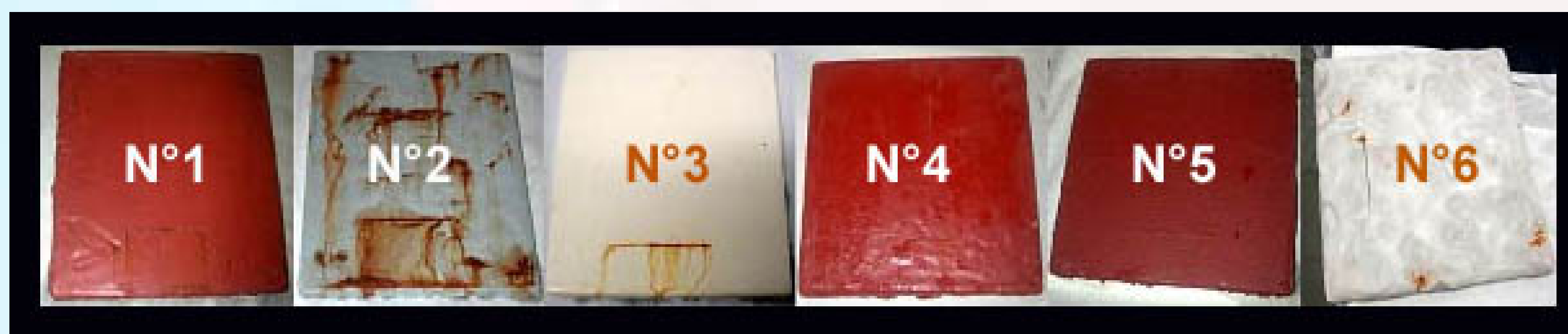


Figure 4 : Epreuves après 168 heures de BS

Classement : 5>4>3>1>2 le n°6 (mortier de résine) n'est pas classé.

Spectroscopie d'Impédance Electrochimique (SIE)

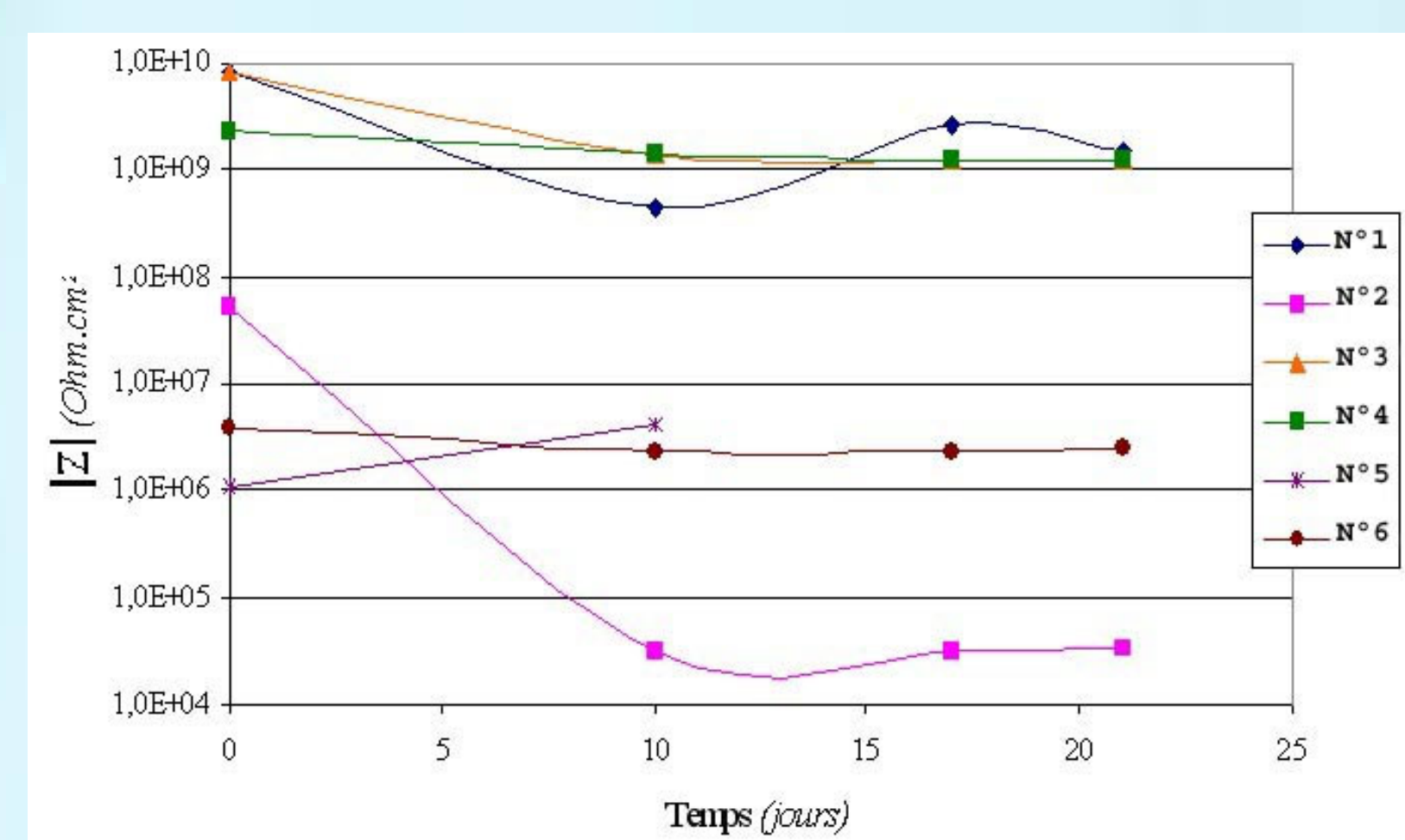


Figure 5 : Evolution du module de l'impédance à 10 mHz au cours du temps

Classement en terme de résistance à la corrosion : 1, 3, 4>5, 6>2

Caractérisation des propriétés d'adhérence

Essai d'arrachement

Classement	Revêtements	Résistance à la rupture (ΔPa)	Ecart type	Type de rupture
1	n°4	12,8	2,4	100% B/Y Adhésive Peinture/Colle
2	n°2	8,4	2,9	100% A/B Adhésive Substrat/Peinture
2	n°1	6,9	1,4	100% A/B Adhésive Substrat/Peinture
2	n°5	5,6	1,8	100% A/B Adhésive Substrat/Peinture
2	n°3	4,5	0,5	100% A/B Adhésive Substrat/Peinture
6	n°6	4,3	2,4	100% B Cohésive dans la peinture

Tableau 3 : Résultats obtenus au cours de l'essai d'arrachement

Résistance au décollement cathodique



Figure 6 : Exemple de revêtement après essai de décollement cathodique

Les éprouvettes testées montrent une excellente résistance au décollement cathodique.

Propriétés d'aspect

Mesure de brillance après vieillissement UV

Revêtements	Références non vieilles		168 h d'UVA		407 h d'UVA	
	Brillance	Ecart type	Brillance	Ecart type	Brillance	Ecart type
n°1	9	3,4	1	0,2	1	0,4
n°2	9	3,4	2	0,2	2	1,2
n°3	42	7,2	3	0,4	3	0,6
n°4	50	8,6	2	0,4	2	0,6
n°5	2	0,6	1	0,1	1	0,2
n°6	1	0,2	1	0,2	1	0,2

Tableau 5 : Mesures de brillance

Conclusion : Les évolutions de brillance sont marquées et le sont d'autant plus que la brillance initiale est forte. Sur cette base, on pourrait être tenté de privilégier des brillances initiales faibles.

Résistance au cloquage osmotique

Conclusion : Bonne résistance des revêtements testés au cloquage osmotique. Le revêtement n°2 confirme sa mauvaise fermeture déjà révélée par l'essai au BS «pleine tôle».

Conclusion et perspectives

Deux types de conclusions à l'issue de cette étude : l'une concerne la méthode de qualification de ce type spécifique de revêtement ; l'autre concerne les performances de ces revêtements.

EVALUATION DES PROPRIÉTÉS ANTICORROSION		
Propriétés barrières	BS «pleine tôle»	Essai sélectif et reproductible.
Adhérence	SIE	Essai adapté mais à prolonger au-delà de 21 jours pour améliorer sa sélectivité.
	Arrachement	Sélectif et rapide.
	BS sur scarification	Sélectif et rapide.
Cloquage osmotique	Long et peu sélectif. Information redondante avec l'essai BS «pleine tôle» pour le seul revêtement dégradé.	
Décollement Cathodique	RAS. A compléter éventuellement par un essai de DC en température pour les applications correspondantes.	
EVALUATION DES PROPRIÉTÉS D'ASPECT		
Brillance	Après UVA	Evolution fonction de la brillance initiale.
Colorimétrie	Après UVA	Sélectif et rapide.
	Après DC	Sélectif et rapide.

Tableau 8 : Bilan des essais - intérêts et limites

APPLICABILITE						
EVALUATION DES PROPRIÉTÉS ANTICORROSION						
Propriétés barrières	BS «pleine tôle»	1	6	1	1	1
	SIE	1	6	1	1	4
Adhérence	Arrachement	2	2	1	2	6
	BS sur scarification	3	4	7	2	1
Cloquage osmotique		1	6	1	1	1
Décollement Cathodique		1	7	1	1	7
EVALUATION DES PROPRIÉTÉS D'ASPECT						
Evolution de la brillance		3	3	5	5	1
Colorimétrie	Après UVA	2	4	5	3	1
	Après DC	2	7	1	3	7

Tableau 9 : Classement des revêtements en terme de performance

Mesure de spectrocolorimétrie

Mesures de spectrocolorimétrie après vieillissement UVA

Revêtements	168 h d'UVA			407 h d'UVA				
	Δa*	Δb*	ΔE	Δa*	Δb*	ΔE		
n°1	0,97	4,11	0,32	4,24	-1,17	-0,23	1,04	1,58
n°2	2,99	11,8	-7,17	14,13	2,38	9,32	-4,63	10,68
n°3	6,93	11,59	18,97	23,32	6,31	4,06	-13,59	15,52
n°4	1,34	2,75	-4,82	5,71	-0,29	0,45	-4,99	5,02
n°5	0,78	1,85	-1,62	2,58	-0,04	0,03	1,27	1,27
n°6	-0,44	0,49	8,21	8,24	-0,29	1,1	17,4	17,44

Tableau 6 : Mesures après exposition aux UVA

Classement après 168 h d'UV 5<1<4<2<3<6 sauf pour le revêtement n°6.
Et après 407 h d'UV 5<1<4<2<3<6 sauf pour le revêtement n°6.

Mesures de spectrocolorimétrie après essai de décollement cathodique

Revêtements	Δa*	Δb*	ΔL*	ΔE
n°1	0,41	2,16	12,79	12,97
n°3	-2,80	-8,36	2,12	9,06
n°4	-6,30	-7,21	16,9	19,40

Tableau 7 : Mesures de spectrocolorimétrie après essai de décollement cathodique

Conclusion : éclaircissement des revêtements rouges et plutôt sombres initialement (n°1 et n°4) et un jaunissement du revêtement n°3.

La méthode permet de sélectionner les revêtements en faisant la moyenne des notes associés à chaque paramètres. Les revêtements n°1, n°3 et n°4 présentent la meilleure applicabilité associée aux meilleures performances. Ces résultats devront être complétés et comparés avec des résultats en vieillissement naturel. Ils permettraient de vérifier le niveau de corrélation des essais de vieillissement artificiel avec le vieillissement en service et ainsi de valider la représentativité et donc la fiabilité des résultats obtenus.

Remerciements
Merci à M. Jean Alain GOENVECH Chargé de Mission au Bureau des P&B de la Direction Générale de la Mer et des Transports à Paris, à M. Marc VALICELLE à toute l'équipe des peintres ainsi qu'à l'équipe de l'atelier de la Subdivision des P&B de Marseille pour leurs conseils techniques, pour le matériel mis à notre disposition et surtout pour leur accueil chaleureux.
Merci également à M. André BOUTIN, ingénieur mathématicien, chercheur à l'Ecole Polytechnique à Paris pour la relecture de l'étude.