



LES RENCONTRES
DE LA PEINTURE
ANTICORROSION

PERFORMANCE COMPARÉE DE PRIMAIRES RICHES EN ZINC SELON DIFFÉRENTES PRÉPARATIONS DE SURFACE

Christian FAVENNEC
NAVAL GROUP

NAVAL
GROUP

TECHNIQUES,
ÉCONOMIE & ENVIRONNEMENT
PERSPECTIVES 2023

A
FILIERE PEINTURE
ANTICORROSION



SOMMAIRE

- Contexte et objectif de l'étude
- Présentation de l'étude
- Essais spécifiques sur des éprouvettes contaminées aux chlorures
- Essais de corrosion accélérée sur les autres éprouvettes
- Conclusions



CONTEXTE DE L'ÉTUDE

- **Les systèmes de peinture avec primaires riches en zinc permettent d'atteindre de la haute durabilité en environnement C5 et CX**
 - Avec obligatoirement une préparation de surface Sa 2 ½ ou Sa 3 associée à une rugosité moyen (G)
- **En construction navale et particulièrement en maintenance, la préparation de surface par projection d'abrasif n'est pas toujours possible : matériels présents sensibles aux poussière, accessibilité**
 - D'autres préparations de surface sont mises en œuvre : eau UHP, brosses, disques abrasifs.
- **Malgré ces préparations de surface sans abrasif, un primaire au zinc améliore-t-il la protection par rapport à un primaire époxy classique ?**
 - Une étude précédente avait été réalisée en 2016 et avait montré des résultats prometteurs dans ce sens avec une préparation à l'eau UHP (publiée dans le JPCL n° 34-3 Mars 2017)



OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

- **Quid des performance de tels systèmes sur des préparations de surfaces alternatives et selon la nature du primaire**
 - Décapage à l'abrasif avec différentes rugosités
 - Eau UHP avec différents degrés de flash rust (oxydation flash)
 - St3

- **Quelle est l'influence :**
 - De la nature du primaire : époxy sans zinc, époxys avec zinc, zinc silicate
 - De ces différentes préparation de surface
 - De la rugosité
 - Du flash rust après décapage à l'eau UHP
 - Des chlorures en cas de contamination
 - De la présence d'un cordon de soudure

The background of the slide is a black and white photograph of a large conference hall. In the foreground, the backs of several audience members are visible as they sit in rows of chairs. At the front of the room, a speaker stands at a podium, and a large projection screen displays a presentation. Overlaid on the right side of the image is a large, stylized gear graphic composed of several interlocking segments in yellow, red, and dark blue. The gear has a white circular center.

PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

CHOIX DES SYSTÈMES DE PEINTURE

4 PRIMAIRES TESTÉS

- Essais de 4 types de primaires, émanant de deux fabricants (F1 et F2 dans le tableau)

Nom du système	Type de primaire	Descriptif du zinc contenu dans le primaire	Épaisseur du film sec (µm)	Nature du primaire	Fournisseur
REF	Époxy mastic	Pas de primaire zinc	100	Époxy polyamine bicomposant	F1
ZA	Époxy zinc	Z inc a ctivé en poudre	60	Époxy bicomposant riche en zinc	F2
ZP	Époxy riche en zinc	Z inc en p oudre	60	Époxy polyamide bicomposant riche en zinc	F1
ZS	Z inc s ilicate riche en zinc	Poussière de zinc	60	Silicate de zinc solvanté bicomposant	F2

- Pour tester seulement l'impact du primaire, les autres couches des systèmes sont identiques pour les systèmes testés, issues du fabricant F2
 - Intermédiaire : 150 µm d'époxy polyamine universel bicomposant
 - Finition : 60 µm de polyuréthane (acrylique uréthane)

8 DIFFÉRENTS TYPES DE PRÉPARATION ET D'ÉTATS DE SURFACE TESTÉS

Code	Préparation et état de surface testés
MG	Décapage par projection d'abrasif sur état A, degré de soin Sa 2½, rugosité Moyen Grit
FS	Décapage par projection d'abrasif sur état A, degré de soin Sa 2½, rugosité Fin Shot
O1	Traitement MG, puis enrouillement à l'état C, décapage UHP au grade DHP4 – OF1
O2	Traitement MG, puis enrouillement à l'état C, décapage UHP au grade DHP4 – OF2
St3	Primaire d'atelier, enrouillement à l'état C, puis décapage au degré de soin St3
C1	Traitement MG, puis contamination aux chlorures au taux de 5 µg/cm ²
C2	Traitement MG, puis contamination aux chlorures au taux de 10 µg/cm ²
S	Plaques avec primaire d'atelier assemblées par soudure, enrouillement état C, UHP DHP4-OF1

AU TOTAL 32 ÉPROUVETTES TESTÉES

Primaire	MG	FS	O1	O2	St3	C1	C2	S
REF	MG - REF	FS - REF	O1 - REF	O2 - REF	St3 - REF	C1 - REF	C2 - REF	S - REF
ZA	MG - ZA	FS - ZA	O1 - ZA	O2 - ZA	St3 - ZA	C1 - ZA	C2 - ZA	S - ZA
ZP	MG - ZP	FS - ZP	O1 - ZP	O2 - ZP	St3 - ZP	C1 - ZP	C2 - ZP	S - ZP
ZS	MG - ZS	FS - ZS	O1 - ZS	O2 - ZS	St3 - ZS	C1 - ZS	C2 - ZS	S - ZS



DÉFINITION DES ÉPROUVETTES ET DES ÉTATS DE SURFACE

Teneur en fer soluble pour l'oxydation flash :
1,1 g/m² pour l'état OF1,
3 g/m² pour l'état OF2
mesurée par une méthode de solubilisation des oxydes de fer et de dosage

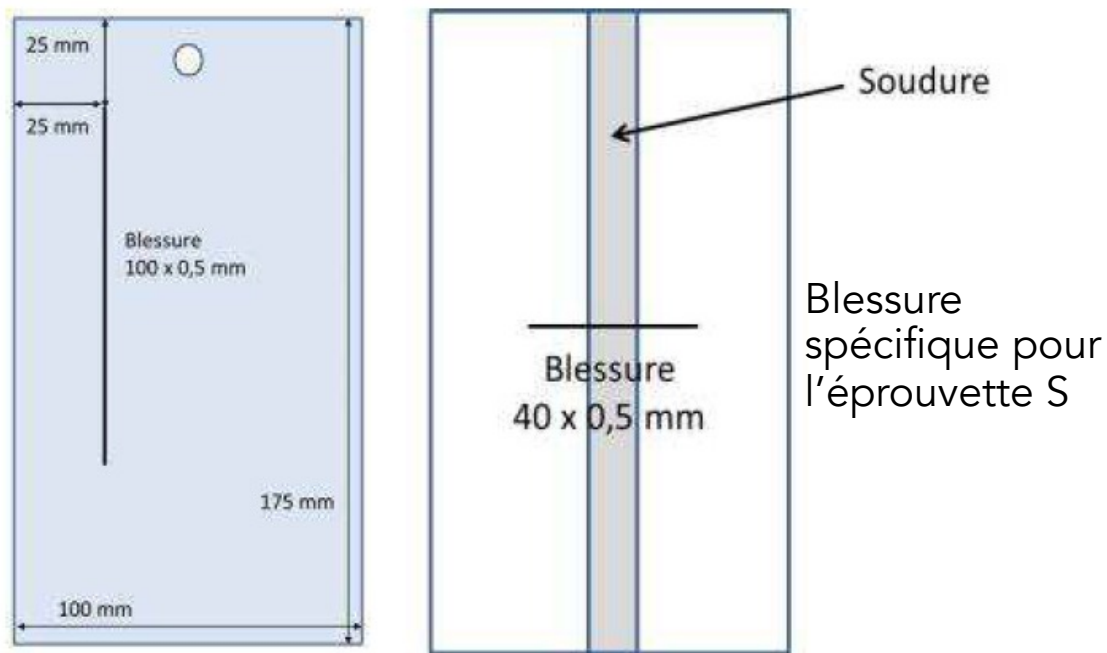


Figure 12: Représentation schématique de la blessure sur les éprouvettes



**ESSAIS
SPÉCIFIQUES
SUR ÉPROUVETTES
CONTAMINÉES AUX
CHLORURES**



ESSAI SPÉCIFIQUE AUX ÉPROUVETTES C1 ET C2 (SENSIBILITÉ AUX CHLORURES)

Essai de type Bac Ford sur les éprouvettes contaminées aux chlorures

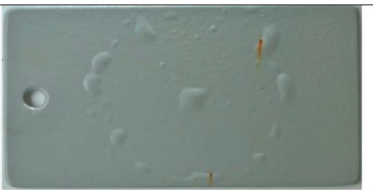
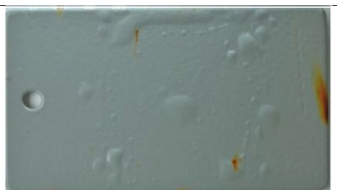
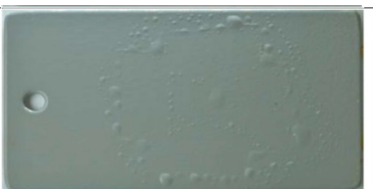



- ▶ Test de sensibilité au cloquage osmotique
- ▶ Unique test pour ces éprouvettes, pas de test de corrosion accélérée

Protocole : immersion dans l'eau déminéralisée à 60°C pendant 28 jours

- ▶ Réalisé selon la norme NF EN ISO 2812-2
- ▶ Permet l'évaluation de la fragilité à l'interface support/revêtement et la susceptibilité aux pollutions
- ▶ Intérêt de cet essai : simple, rapide et très sévère

RÉSULTATS DE SENSIBILITÉ AUX CHLORURES PAR TEST DE BAC FORD

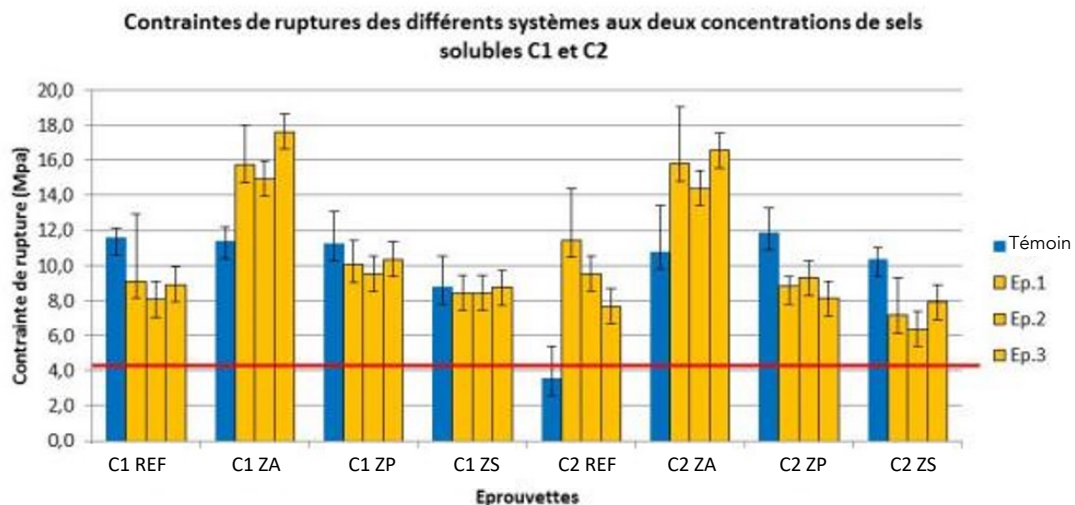
- Méthode de contamination : application d'un patch de test de Bresle puis évaporation
- Problème de la méthode : pas d'homogénéité sur l'éprouvette, forte concentration saline en périphérie du patch
- Résultat constaté : cloquage général sur la zone contaminée similaire à la référence, moindre pour les éprouvettes ZS (silicate de zinc)

C1 REF	3(S5)	Des cloques de tailles conséquentes, et localisées sur les zones les plus concentrées en sel sont observées.		C2 REF	2(S5)	Des cloques de tailles conséquentes, et localisées sur les zones les plus concentrées en sel sont observées. Peu différent de la concentration C1.	
C1 ZA	2(S4)	De petites cloques sont visibles sur les zones les plus concentrées en sel.		C2 ZA	2(S5)	En plus des petites cloques observées pour la concentration C1, de plus grosses cloques sont observées.	
C1 ZS	1(S1)	Très peu de cloquage est observé.		C2 ZS	2(S2)	De petites cloques sont observées sur les zones concentrées en sel.	

RÉSULTATS DE SENSIBILITÉ AUX CHLORURES PAR ESSAI D'ADHÉRENCE

- Adhérence par traction sur les zones non cloquées (NF EN ISO 4624)
- Tests sur 3 éprouvettes de chaque type (Ep 1 , 2 et Ep3 en jaune)

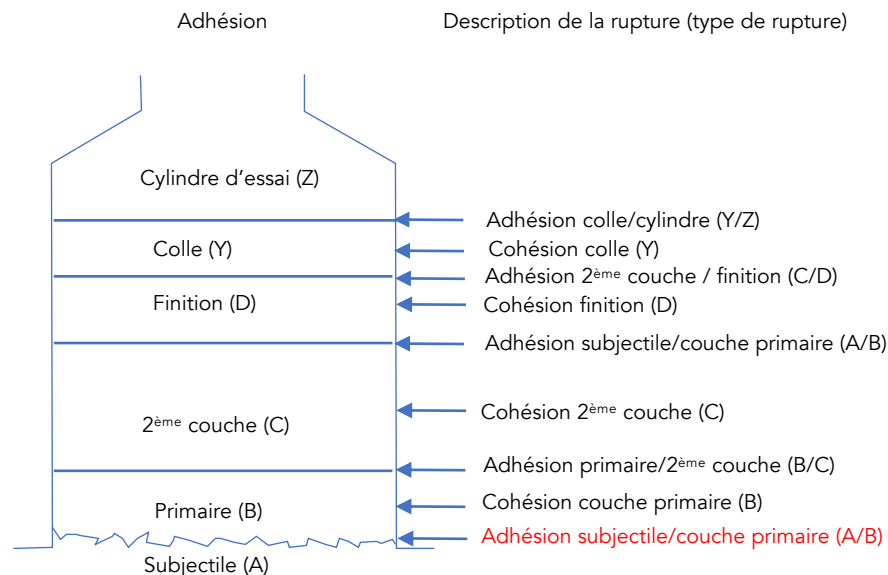
- Comparaison à une éprouvette témoin non soumise au « Bac Ford » (Ref, bleu)



- Pas de fragilité aux interfaces, pas de réduction significative de l'adhérence du primaire sur subjectile (rupture au-delà de 4 MPa)

PERTINENCE DU TYPE DE RUPTURE CONSTATÉ

Adhérence par traction NF EN ISO 4624 et NF EN ISO 16276-1



Type **A/B** : rupture **adhésive au subjectile**
= type **pertinent** pour l'étude

RÉSULTATS PAR TYPE DE RUPTURE

Seul cas de rupture adhésive au subjectile : avec le primaire de référence sans zinc

- Ruptures par type

		Contrainte de rupture (MPa)	Facès de rupture Moyen		
C1 REF	Ep Ref	11,6			100% Rupture cohésive I
	Ep vieilles (Moy)	8,7			20% Rupture A/B 55% Rupture cohésive B 5% Rupture adhésive C/D 10% Rupture cohésive D 10% Rupture adhésive D/X
C1 ZA	Ep Ref	11,4			30% Rupture cohésive B 70% Rupture cohésive D
	Ep vieilles (Moy)	16,1			5% Rupture cohésive B 20% Rupture cohésive C 10% Rupture adhésive C/D 30% Rupture cohésive D 35% Rupture adhésive D/X
C1 ZP	Ep Ref	11,3			35% Rupture cohésive B 5 % Rupture cohésive C 60% Rupture cohésive D
	Ep vieilles (Moy)	10,0			Majorité Rupture cohésive B
C1 ZS	Ep Ref	8,8			15% Rupture cohésive B 5% Rupture adhésive C/D 75% Rupture cohésive D 5% Rupture adhésive D/C
	Ep vieilles (Moy)	8,5			35% Rupture cohésive B 10% Rupture cohésive C 40 % Rupture cohésive D 15% Rupture adhésive D/X

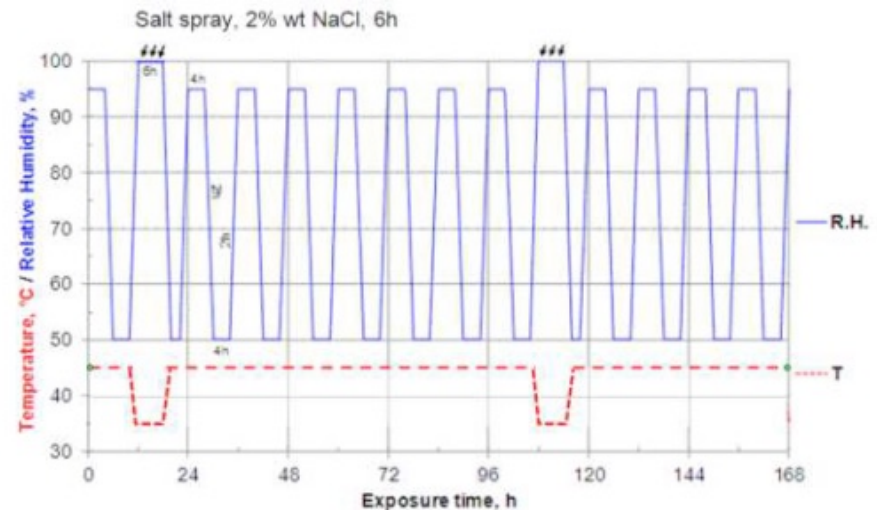
C2 REF	Ep Ref	3,6			45% Rupture adhésive C/D 65% Rupture cohésive D
	Ep vieilles (Moy)	9,5			5% A/B 75% Rupture cohésive B 5% Rupture adhésive C/D 10% Rupture cohésive D 5% Rupture adhésive D/X
C2 ZA	Ep Ref	10,8			15% Rupture cohésive B 75% Rupture cohésive D 5% Rupture adhésive D/X
	Ep vieilles (Moy)	15,6			15% Rupture cohésive C 10% Rupture adhésive C/D 35% Rupture cohésive D 40% Rupture adhésive D/X
C2 ZP	Ep Ref	11,9			5% Rupture cohésive B 95% Rupture cohésive D
	Ep vieilles (Moy)	8,7			100% Rupture cohésive B
C2 ZS	Ep Ref	10,4			10% Rupture cohésive B 10% Rupture adhésive C/D 80% Rupture cohésive D
	Ep vieilles (Moy)	7,1			45% Rupture cohésive B 15% Rupture cohésive C 10% Rupture cohésive D 30% Rupture adhésive D/X



**ESSAIS DE
CORROSION
ACCÉLÉRÉE
SUR LES AUTRES
ÉPROUVETTES**

PROTOCOLE D'ESSAI DE CORROSION ACCÉLÉRÉE

- Essai C5m développé par l'Agence Européenne de Défense, spécifique à la navale (CCNS, Corrosion Control for Navy Ships)
- Essai repris par NACE (NACE SP21417-2019)
- Alternance à 45 °C de phases d'humidité et de séchage, intégration de 2 phases à 35 °C avec pulvérisations de solution saline
- Durée de 13 semaines (2 184 heures)



Cycle hebdomadaire répété 13 fois

CRITÈRES D'ÉVALUATION DES CORROSIONS ACCÉLÉRÉES

Critères comparatifs par rapport au primaire conventionnel de maintenance de référence

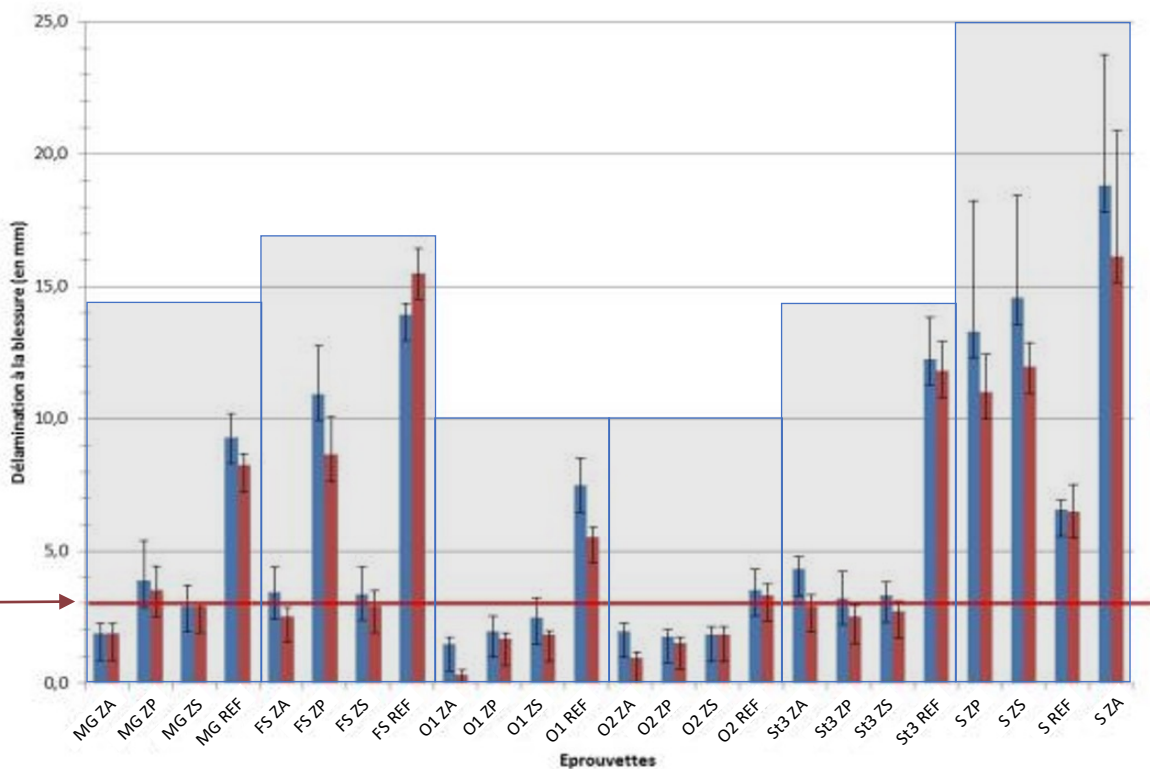
- Examen **visuel** pour les défauts courants : cloquage, enrouillement, délamination
- Test d'adhérence par traction selon NF EN ISO 4624 avec un **seuil à 4MPa**
- Evaluation de la corrosion / délamination à partir de la blessure, au-delà d'un **seuil de 3 mm** depuis la blessure
 - **M1** correspond à la corrosion / délamination maximale à la blessure **avant** décollement du revêtement.
 - **M3** correspond à la corrosion / délamination à la blessure **après** décollement du revêtement pour voir la propagation de la corrosion sous le revêtement

RÉSULTATS DE L'ESSAI DE CORROSION ACCÉLÉRÉE (DÉLAMINATION À LA BLESSURE)

■ M1 : avant décollement du revêtement

■ M3 : après décollement du revêtement

Référence :
seuil maximal de 3 mm depuis la blessure

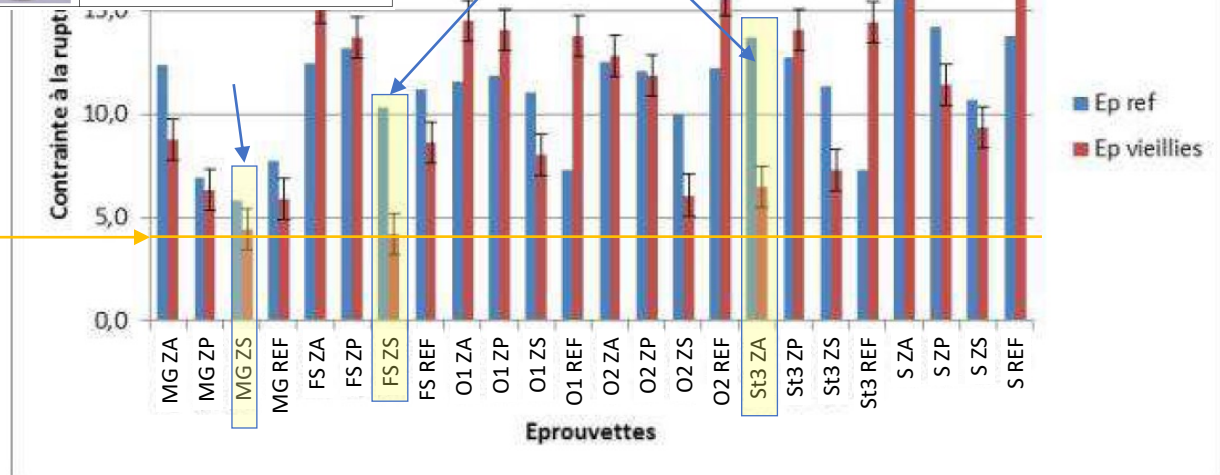


- Dans tous les cas, les **primaires au zinc** (ZA, ZP et ZS) présentent une **délamination inférieure** à celle du primaire de référence REF sans zinc
 - Pour ces systèmes au zinc, la délamination est **inférieure au maximum requis**, pour toutes les préparations de surface
 - > sauf plaques soudées (pas de préparation du cordon)
 - > sauf Zinc Poudre en Fin Shot (problème de mouillage car très riche en Zinc)
 - Pas d'avantage significatif de OF1 sur OF2
- Performance comparée de primaires riches en zinc selon différentes préparations de surface - © RPA 2023

RÉSULTATS DE L'ESSAI DE CORROSION ACCÉLÉRÉE

S1	St3 Ref	13,7		Majorité Rupture cohésive D	ZS	FS Ref	10,3		25% Rupture adhésive B/C 75% Rupture cohésive D
	St3 vieilles	6,5		Majorité Rupture adhésive A/B		FS vieilles	4,2		Majorité Rupture cohésive B
S3	MG Ref	5,8		Majorité Rupture adhésive A/B					
	MG vieilles	4,4		100% Rupture adhésive A/B					

Seuil d'acceptation : traction minimale de 4 Mpa, niveau atteint dans tous les cas

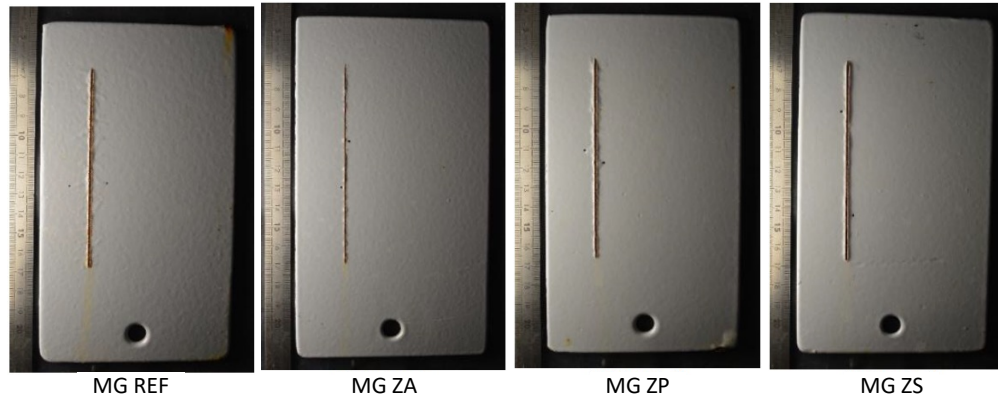


- Baisse de performance du Zinc Silicate en Fin Shot, la rupture n'est pas adhésive mais cohésive (se retrouve pour les autres ZS)
- Rupture adhésive au support du Zinc Activé en St3, à un niveau supérieur au seuil minimal
- Rupture adhésive au support du Zinc Silicate en Moyen G liée à la nature du primaire (reste de zinc en fond de rugosité)

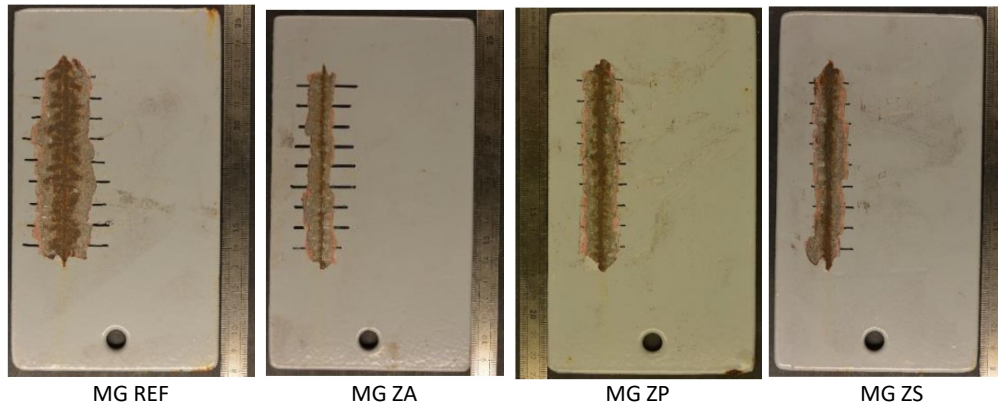
Performance comparée de primaires riches en zinc selon différentes préparations de surface - © RPA 2023

RÉSULTATS DE L'ESSAI DE CORROSION ACCELÉRÉE DÉCAPAGE ABRASIF Sa 2 1/2 MOYEN GRIT

M1 : avant
décollement
du revêtement



M3 : après
décollement
du revêtement

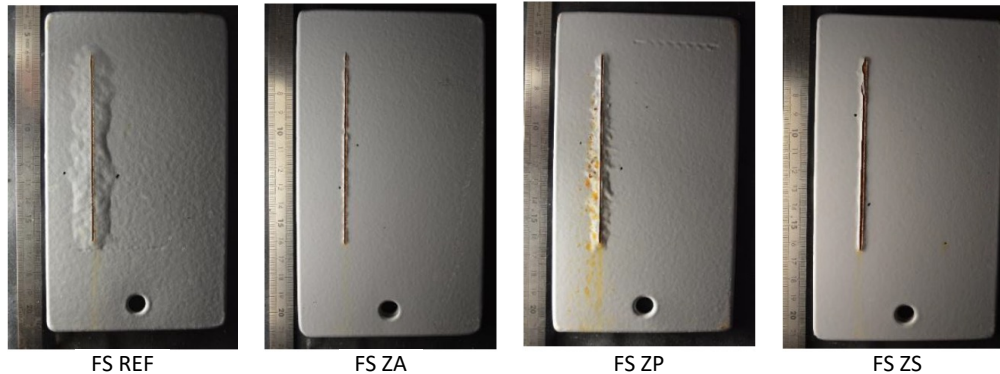


Observations

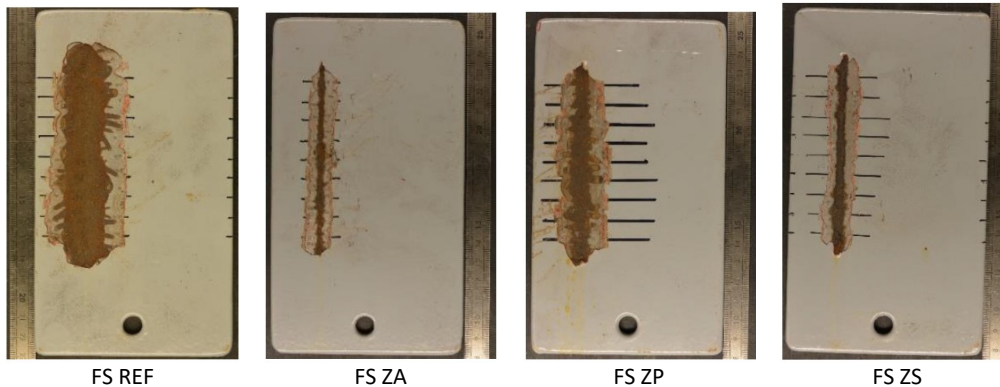
- Corrosion amoindrie avec les primaires au zinc
- Le primaire au zinc activé paraît un peu meilleur que les autres au zinc

RÉSULTATS DE L'ESSAI DE CORROSION ACCELERÉE DÉCAPAGE ABRASIF Sa 2 1/2 FINE SHOT

M1 : avant
décollement
du revêtement



M3 : après
décollement
du revêtement

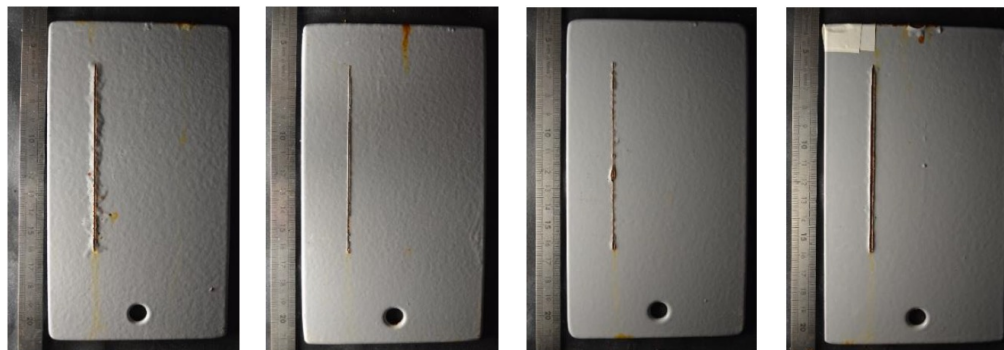


Observations

- Corrosion amoindrie avec les primaires au zinc, plus prononcée qu'en Moyen Grit
- Le primaire au zinc activé paraît un peu meilleur que les autres au zinc

RÉSULTATS DE L'ESSAI DE CORROSION ACCELERÉE DÉCAPAGE UHP AU GRADE DHP4 – OF1

M1 : avant
décollement
du revêtement



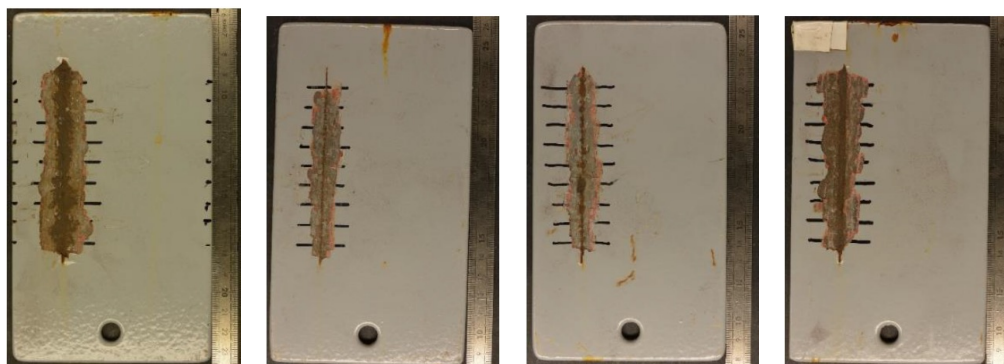
O1 REF

O1 ZA

O1 ZP

O1 ZS

M3 : après
décollement
du revêtement



O1 REF

O1 ZA

O1 ZP

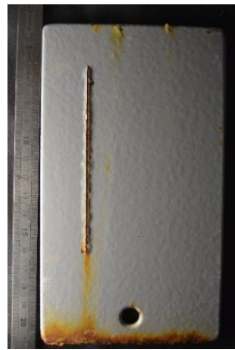
O1 ZS

Observations

- Pas de cloquage apparent en dehors de la blessure
- Corrosion amoindrie et faible avec les primaires au zinc
- Propagation moindre qu'en Sa 2 ½ Fine Shot

RÉSULTATS DE L'ESSAI DE CORROSION ACCELERÉE DÉCAPAGE UHP AU GRADE DHP4 – OF2

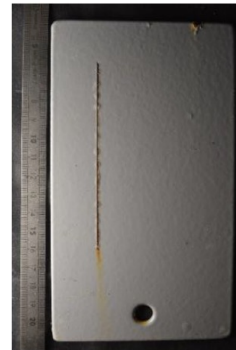
M1 : avant
décollement
du revêtement



O2 REF



O2 ZA

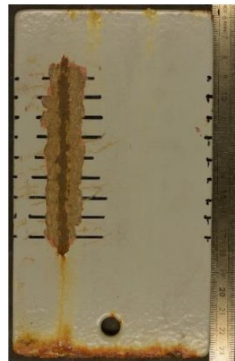


O2 ZP

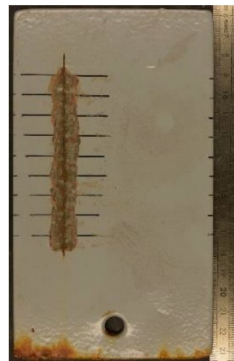


O2 ZS

M3 : après
décollement
du revêtement



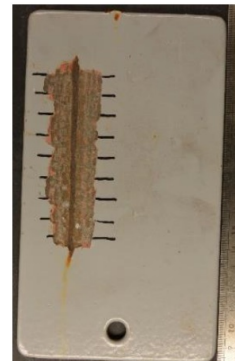
O2 REF



O2 ZA



O2 ZP



O2 ZS

Observations

❏ Pas de cloquage
apparent en
dehors de la
blessure

❏ Comparable à
OF1 : corrosion
amoindrie et
faible avec les
primaires au zinc

RÉSULTATS DE L'ESSAI DE CORROSION ACCELERÉE DÉCAPAGE UHP AU DEGRÉ DE SOIN St3

M1 : avant
décollement
du revêtement



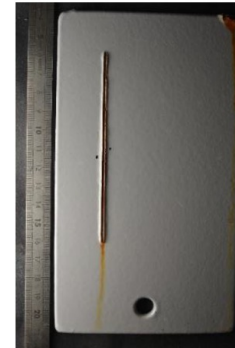
St3 REF



St3 ZA



St3 ZP



St3 ZS

Observations

Corrosion amoindrie et faible avec les primaires au zinc

M3 : après
décollement
du revêtement



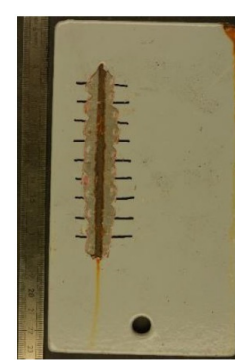
St3 REF



St3 ZA



St3 ZP



St3 ZS

RÉSULTATS DE L'ESSAI DE CORROSION ACCELERÉE SOUDURE ET UHP GRADE DHP4 – OF1

M1 : avant
décollement
du revêtement



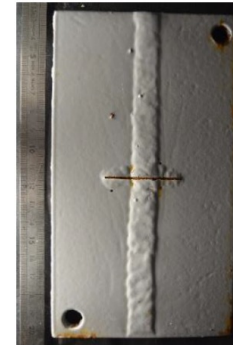
S REF



S ZA



S ZP



S ZS

M3 : après
décollement
du revêtement



S REF



S ZA



S ZP



S ZS

Observations

▶ Cloquage important en périphérie de la soudure sur l'éprouvette de référence, cloquage moindre sur les autres éprouvettes

▶ Corrosion amoindrie avec les primaires au zinc

CONCLUSION



CONCLUSIONS SUR L'INFLUENCE DES CHLORURES

Dans le cas des surfaces contaminées aux chlorures, résultat à considérer avec réserve en raison de la difficulté de maîtrise des contaminations homogènes par NaCl

- Ni plus ni moins de sensibilité aux chlorures des primaires au zinc par rapport à un époxy de maintenance
- Les éthyl-silicates de zinc semblent un peu moins sensibles aux contaminations par les chlorures
- Pas lieu de réduire le niveau maximal de contamination en chlorure pour les technologies au zinc par rapport aux époxy de maintenance

CONCLUSIONS GÉNÉRALES SUR L'APPORT DU ZINC

Dans tous les cas de figure :

- Les primaires au zinc apportent une amélioration significative de la performance de corrosion à la blessure dans des conditions C5
- Les systèmes époxy zinc apparaissent plus « tolérants » aux écarts de préparation de surface qu'un époxy mastic, réputé tolérant à ces écarts
- Pas d'impact significatif du niveau d'oxydation flash sur la chute de performance de l'essai de corrosion accéléré
- Le système à base de zinc activé est le système qui apparait le plus homogène en résultats sur l'ensemble des types de préparations de surface et de subjectile.

PERSPECTIVES

- Il apparaît intéressant d'utiliser des systèmes avec primaire au zinc dans des conditions de préparation de surface de maintenance (eau UHP, St3) pour améliorer la performance des systèmes de peinture en environnement C5
- Cela nécessite cependant des vérifications en conditions réelles d'exposition



LES RENCONTRES
DE LA PEINTURE
ANTICORROSION

Christian FAVENNEC
NAVAL GROUP

TECHNIQUES,
ÉCONOMIE & ENVIRONNEMENT
PERSPECTIVES 2023

NAVAL
GROUP

