



Viaduc de Martigues : Réparation dalle orthotrope et retour d'expérience

M. ZENOU

M. POLIDORO

Cerema/DTerMed



- **1. Présentation de l'ouvrage**
- **2. L'expérimentation**
- **3. Les travaux de réparation**
 - Contrôles documentaires
 - Traitement des fissures
 - Obturations des percements
 - Nouvelles fissures
- **4. Conclusion et retour d'expérience**

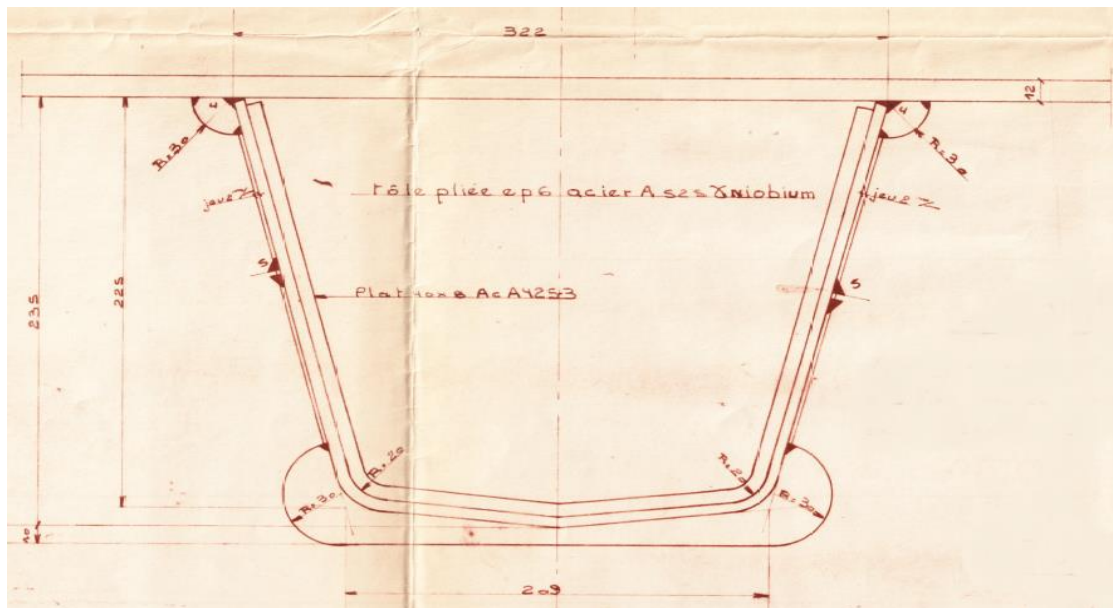
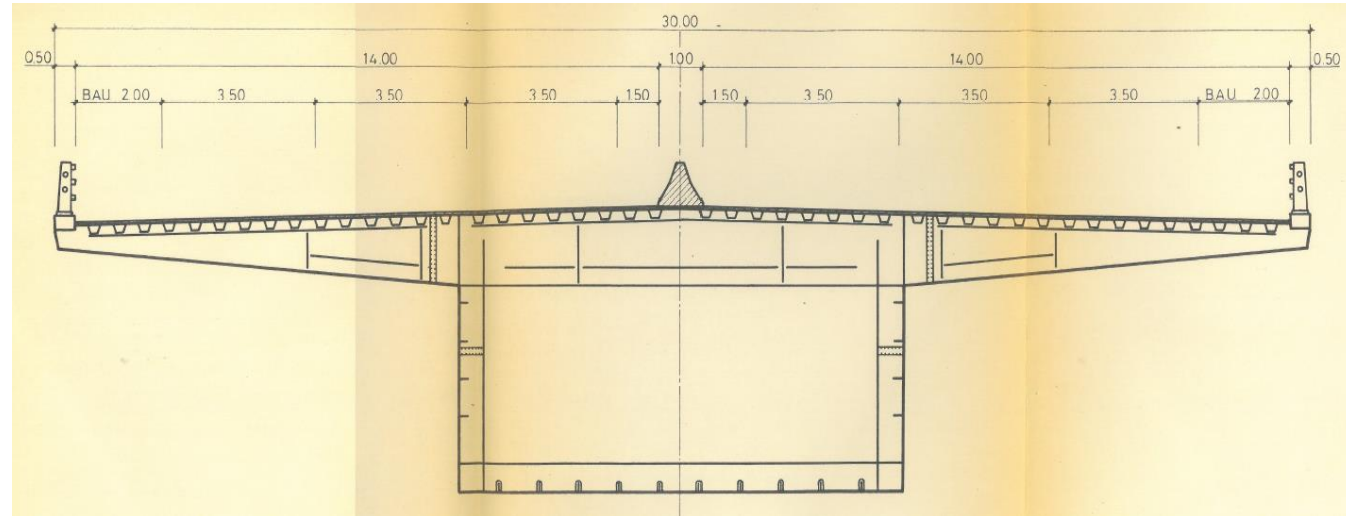
1. Présentation de l'ouvrage

- viaducs d'accès en béton précontraint,
- Viaduc principal : pont caisson métallique à béquilles



- 1. Présentation de l'ouvrage

- Dalle
orthotrope



- **1. Présentation de l'ouvrage**
- **La pathologie**
 - Fissuration des soudures auget/platelage
 - localisées au niveau des encorbellements
 - essentiellement en rive Est (1^{er} auget)
 - liée à la fatigue



- **2. L'expérimentation**
- **La réparation**

- Objectif : *Réparer les fissures en introduisant un minimum de contrainte résiduelle dans le platelage*
 - 1/ Sélection de différentes techniques de soudage en collaboration avec l'Institut de Soudure
 - 2/ Expérimentation des différentes techniques sur un ouvrage test instrumenté.



- 2. L'expérimentation

Ouvrage test : Pont du CNPS présentant des caractéristiques géométriques et mécaniques proches de celles du viaduc de Martigues.



• 2. L'expérimentation

Descriptif de modes opératoires de soudage :

	Type de soudage	Parachèvement	Zone de test
DMOS n°1	<u>Multipasse</u> en électrode enrobée (111)	<u>sans</u>	Zone 1 (PCR1)
DMOS n°1bis	<u>Multipasse</u> en électrode enrobée (111)	Martelage HFMI	Zone 2 (PCR2)
DMOS n°2	1 ^{ère} passe TIG + remplissage électrode enrobée (111)	Martelage HFMI	Zone 3 (PCR3)
DMOS n°3	<u>Multipasse</u> en TIG	<u>sans</u>	Zone 4 (PCR4)
DMOS n°3bis	Obturation des percements au TIG	/	Zone 4 (PCR4)



+ test rebouchage percement
par boulon RIVKLE / Bolhof

Simulation de fissure +
percement sur ouvrage test



- 2. L'expérimentation
- Les procédés de soudage

Procédé 111 : électrode enrobée



Procédé 141 : TIG



- 2. L'expérimentation
- L'instrumentation

Mesure des déformations (contraintes de retrait) et de la température



- **2. L'expérimentation**
- **Les résultats et facteurs influents**

Le procédé:

- peu d'influence du procédé sur la contrainte résiduelle de retrait de soudage car l'apport de chaleur par passe est comparable.
- choix du procédé par rapport à la qualité des soudures (TIG plutôt que 111)

La préparation du joint :

- La préparation du joint, en particulier le jeu et dans une moindre mesure l'angle de chanfrein, a une importance forte car elle conditionne le nombre de passes et donc l'apport de chaleur.
- nécessité de bien définir la préparation du joint pour limiter le nombre de passes

Le martelage HFMI :

- Introduction d'un effort de compression (env. 20 MPa) favorable en fibre inférieure du platelage,
- Amélioration de la géométrie de pied de cordon
- utilisation du martelage HFMI

- **2. L'expérimentation**
- **Les préconisations**

Préparation des joints :

- Jeu maximal de 3 mm
 - élimination de la surépaisseur du cordon d'angle existant,
 - réalisation d'une entaille au droit de la fissure (meuleuse avec disque de 2,5 mm d'ép. maxi),
- chanfrein en V d'un angle total maxi de 50°
 - réalisation du chanfrein (meule droite avec fraise conique)
 - la conservation d'une partie de l'ancienne soudure est acceptable

Méthodologie de soudure :

- passe de pénétration en TIG (meilleure géométrie du cordon),
- passes de remplissage/ finition en 111 (meilleur remplissage),
- Obturation des percements par soudage (TIG),
- Martelage HFMI en pied de cordon des passes de finition.

Rencontres Ouvrages d'Art

6 juin 2024



Certificat de qualification de soudeur

2 Désignation: **EN ISO 9606-1 141/111 P BW FM1 S/B s6.0(2.0/4.0) PC ss nb**

3

4 Référence DMOS: **141+111 BW PC** Référence du dossier: **73085053**

5 No. de document, (si approprié):

6 Nom et prénom du soudeur: **BIRY, Romain**

7 Identification: **160636200912**

8 Méthode d'identification: **carte d'identité**

9 Date et lieu de naissance: **07/07/1995 à SAINT-PRIEST**

10 Employeur: **STIP 38**

11 Code/norme d'essai: **EN ISO 9606-1:2017**
 Commentaires: **rot. du tube D >= 75 mm pour les PA, PC**

Essai suppl. sur soudure d'angle: **oui**

12 Connaissances professionnelles: **non vérifiées** Repère **141+BW PC**

	Assemblage de qualification		Domaine de validité	
	141	111	141, 142, 143, 145	111
14 Procédé(s) de soudage:	P	P	P, T	
15 Tôle ou tube:	BW	BW	BW, FW	
16 Type de soudure:	1.1			
17 Groupe(s) de matériaux:	FM1	FM1	FM1, FM2	
18 Groupe(s) de matériaux d'apport:	S	B	S, M; nm	A, RA, RB, RC, RR, R, B
18 Matériau d'apport (désignation):				
19 Gaz de protection:	EN ISO 14175 - 11		Gaz de protection semblable	
20 Auxiliaires / Flux:				
21 Type de courant et polarité:	=	=+		
21 Épaisseur de matériau (mm):	6,00	6,00		
21 Épaisseur déposée (mm):	2,00	4,00	141: 2,00 - 4,00	141/111: 3,00 - 12,00 111: 3,00 - 6,00
22 Diamètre extérieur du tube (mm):	---	---	---	≥ 500,00
23 Position de soudage:	PC	PC	PA, PC, FW: PB	
24 Détails concernant le soudage:	ss nb	ss mb	ss nb, ss mb, bs, ss gb, ss fb	ss mb, bs

25 L'information additionnelle : est disponible sur la feuille jointe et/ou la DMOS

Type de contrôle	acceptées
26 Contrôle visuel	X
30 Essai de pliage	X

Organisme d'examen: **TÜV RHEINLAND France**

Repère(s): **01 220 TR France/S-23 621**

Inspecteur: **Sebastien Pugeaut**

Date / lieu: **LYON, 17/04/2023**

Signature / Estampille: 

37 *) Apposer la feuille séparée s'il y a lieu.

Date de soudage: **07/04/2023**

Validité de la qualification **06/04/2025**

38 Prolongation de la qualification par l'examineur ou l'organisme d'examen pour les 2 années suivantes (voir 9.3b)

Confirmation de la validité par employeur/coordonateur en soudage tous les 6 mois suivants (voir 9.2)

Date	Signature	Fonction ou titre

Date	Signature	Fonction ou titre

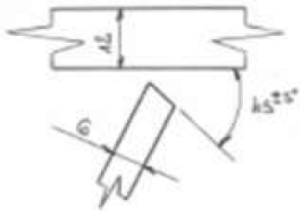
Date de norm: **EN ISO 9606-1:2017**

réalisé avec EuroWeld Version 5.56.01



Rencontres Ouvrages d'Art

6 juin 2024

QUALIFICATION SOUDEUR QS : voir liste de soudeur Welder Performance Qualification WPQ N°:			Réf. DMOS / WPS MAVMI41-111_2		
QUALIFICATION QMO AP : 01 220 FR/V-22-1043/01 Qualification PQR N° :			Affaire / Job Viaduc Martignes		
SCHEMA DE PREPARATION / Joint design			DISPOSITION DES PASSES / Welding sequences		
1	Tôle	Ep. 12			
2	Tôle	Ep. 6			
Chanfrein	/				
Jeu : 3mm		Talon : 2 mm	Angle : /		Apothème : /
MATERIAUX DE BASE / Base material : Groupe 1			ASSEMBLAGE / Joint : Angle (FW)		
SPECIFICATION MATIERE / Material specification : /			SUPPORT / Backing : /		
PREPARATION DES BORDS / Edge preparation : Meulage, fraisage			GOUGEAGE / Gouging : /		
FINITION SOUDURE / Welding finish : Meulage (si cordon excessivement convexe)					
ZONE / Area					
N° DES PASSES / Pass number		1		2	
POSITION DE SOUDAGE / Welding position		PD		PD	
PROCEDE DE SOUDAGE / Welding process		141		111	
METHODE EXEC. (M.A.PM.TM) / Method		M		M	
METAL D'APPORT / Filler metal					
DESIGNATION COMMERCIALE / Trade mark.		Böhler EMK 6		Böhler EV50	
DESIGNATION NORMALISEE / Standard designation		W 42 S 3Si		E 42 S B 42 H5	
DIAMETRE / Diameter (mm)		2		2.5	
PROTECTION GAZEUSE / Shielding gas					
ENDROIT / Face	Débit / Flow rate (l.min ⁻¹) ± 10%	12		/	
	DESIGNATION NORMALISEE / Standard designation	I1 (100% Ar)		/	
ENVERS / Root	Débit / Flow rate (l.min ⁻¹) ± 10%	/		/	
	DESIGNATION NORMALISEE / Standard designation	/		/	
PARAMETRES / Parameter					
ELECTRODE TUNGSTENE / Tungsten electrode (mm)		Ø2		/	
POLARITE / Polarity		(-)		(+) (+)	
TYPE DE COURANT / Current (≈, =, P)		=		=	
HAUTEUR D'ARC / Arc length (mm)		/		/	
INTENSITE (I) / Amperage (A) ± 20%		122		81	
TENSION (U) / Voltage (V) ± 20%		14		22	
VITESSE D'AVANCE / Travel speed (mm/s)		0.66		1.8	
MODE DE TRANSFERT / Transfert mode (D, G, S)		/		/	
VITESSE DE DEVIDAGE / Wire speed (m/min)		/		/	
ENERGIE DE SOUDAGE / Welding energy (kJ/mm)		1.16		0.59	
MATERIEL DE SOUDAGE / Welding equipment		/		/	
T° DE PRECHAUFFAGE / Preheating		/		T° POSTCHAUFFAGE / Postheating	
T° ENTRE PASSES / Interpass temperature		/		TTH / PWHT oui - non PTH N°	



3. Travaux de réparation

DMOS / QMOS

QMOS réalisée spécialement pour couvrir les DMOS expérimentaux du CCTP (cheminement inverse de des pratiques habituelles) QMOS

Rencontres Ouvrages d'Art


6 juin 2024

TÜV Rheinland Industrie Service GmbH
 Am Grauen Stein, D-51105 Köln

Organisme de certification en technologie du Soudage
 Certification body for welding technology

CERTIFICAT – CERTIFICATE

QUALIFICATION DE MODE OPERATOIRE DE SOUDAGE (QMOS)
 WELDING PROCEDURE QUALIFICATION RECORD FORM (WPQR)

Mode Opérateur de Soudage / Welding Procedure Qualification		
Certificat -Nr. / Certificate No.: 01 220 FR/V-23-5131 01		
Fabricant / Manufacturer:	MNG Group 302 Rue des Blaches ZA La Buisserie F-38530 LA BUISSIÈRE	DMOS du fabricant / Manufacturers Welding Procedure: 141+111 BW PF BR
		Probe-Nr. / Specimen No: BR BW 10 P2
SPECIFICATIONS / SPECIFICATIONS:		NF EN ISO 15614-1 : 2017 + A1:2019
Date de soudage / Date of welding: 21/04/2023	Niveau / Level: 2	
PIECE D'ESSAI / TEST PIECE:		
Forme du produit / Product form:	Tôle	Domaine de validité :
Diamètre extérieur/ Outside pipe diameter (D) [mm]:	NA	§8.3.3
Epaisseur du métal de base / Parent material thickness (t) [mm]:	10	3 à 20
Type de soudure, type de joint / Weld Type, Joint Type:	BW	
Gorge (a); couches (sl), (ml) / Throat thickness (a); Layers (sl),(ml)	N/A	
Procédé de soudage / Welding Process (ISO 4063):	141 (Manuel)	111 (Manuel)
Epaisseur de métal déposé / Deposited weld metal thickness (s) [mm]:	2	8
Métal de base / Parent material:	S355J2 / EN 10025-2	
Sous-groupe du métal de base / Parent material sub-group (ISO/TR 15608):	1.2	
Désignation normalisée métal d'apport / Filler material designation:	W 42 5 3 Si1	E 42 5 B 42 H5
Désignation commerciale métal d'apport / Filler material brand:	BOHLER EMK 6	BOEHLER FOX EV 50
Dimensions métal d'apport / Filler material size:	2	2,5 & 3,2
Désignations des gaz de protection, flux / Designation of shielding gas, flux:	I1 – ISO 14175	/
Désignation gaz de protection envers / Designation of backing gas:	/	
Type de Matériel de soudage (générateur) / Type of Welding source:	141 : ESAB ET 300 iP 111 : BOHLER URANOS 2700 MTE	
Type de courant et polarité / Type of welding current and polarity:	= / -	= / +
Mode de transfert / Transfer mode:	N/A	
Apport de chaleur / Heat input (min-max.) [kJ/mm]:	1,55	0,79 – 1,92
Position de soudage / Welding position (ISO 6947):	PF	
Température de préchauffage / Preheat temperature (T) [°C]:	/	
Température entre-passées / Interpass temperature (T) [°C]:	170	
Post-chauffage / Soaking:	/	
Traitement thermique après soudage / Post weld heat treatment:	Non	
DOMAINE DE VALIDITE / RANGE OF APPROVAL: Selon §8 / According Chapter 8		
RESULTAT / RESULT: Nous confirmons que les relevés repris dans ce rapport sont corrects et que les éprouvettes ont été préparées, soudées, testées de façon satisfaisante conformément aux spécifications indiquées ci-dessus We confirm that the statements in this record are correct and that the test pieces were prepared, welded, tested and have fulfilled the requirements in accordance with the specifications indicated above.		
REMARQUES / REMARKS:		
Lieu: Limonest	Date: 31.05.2023	TÜV Rheinland Industrie Service GmbH
Location:	Date:	Organisme de certification en technologie du Soudage Certification body for welding technology
Annexes: 1. Détail du coupon soudé / Report of Weld Test	 Sébastien PUGEAUT, Inspecteur	
Attachments: 2. Rapports de tests / Test Report		

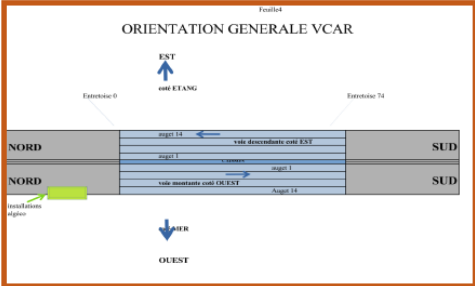
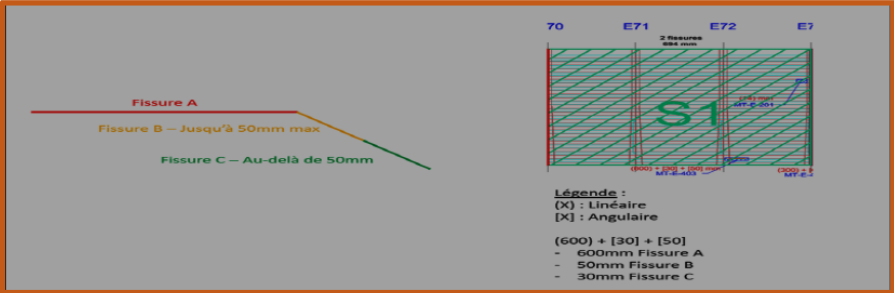
Rencontres Ouwrages d'Art

6 juin 2024



Réparation Fissures
Fiche Suivi Contrôle Interne

Date Réalisation	
------------------	--



REFERENCES & LOCALISATION FISSURE	Désignation Fissures	Troncon - Côté		Entre entretoises		Numéro Auget (en partant du centre vers ext.)	
		Fissure A Long (mm)		Fissure B Long (mm)		Fissure C Long (mm)	

PHASAGE DE LA REPARATION	Préparation Intervention	Marquage Fissures Intrados (PZO)		Décapage Fissures Intrados (PZO)		Réparage Fissures Extrados (MNG)		Emprise Dégagée (PZO)	
		Echafaudage Conforme (PZO)		Eclairage Accès Zone et Tablier conforme (PZO)		Ventilation Conforme (MNG)		Energies Chantier (Eau, Air, Elec) (MNG)	
	Désignation Intervenants	Auto-Contrôle (Soudeur 141-TIG)		Contrôle Interne (MNG)				MOE (DirMed)	
		Auto-Contrôle (soudeur) (111-Arc)		Contrôle Externe (CND)				Contrôle Exterieur (Cerema)	
	Préparation Soudure	Délimitation soudure (CND-MT)		Pérage Extrémité Fissures (MNG)		Mise en place dispositif Refroidissement		Implantation Pérage si présence Eau (MOE)	
		Meulage /Chafreins		Ressuage Chanfreins (CND-PT)		Dégourdissage (si T°<5°C) ou humidité		Pointage soudure (si Lg >300mm)	
	Soudage 1ère Passe TIG-141	Metal Apport (Böhler EML 5 - Diam. 2,4mm)		Référence Metal Apport Conditionnement)		Intensité (85,6-128,4 A)		Tension (8-12 V)	
		CND Visuel (VT) - 100%		CND Ressuage (PT) - 100%				Refroidissement T° en °C (< 60°C)	
	Soudage 2ème Passe ARC-111	Metal Apport (ESAB OK 48.00 - Diam. 3,2 mm ou 2,5 mm)		Référence Metal Apport Conditionnement)		Intensité (85,6-128,4 A)		Tension (8-12 V)	
		Meulage surépaisseur Cordon		CND Visuel (VT) - 100%		CND Ressuage (PT) - 100%		Refroidissement T° en °C (< 60°C)	
	Soudage 3ème Passe ARC-111	Metal Apport (ESAB OK 48.00 - Diam. 3,2 mm ou 2,5 mm)		Référence Metal Apport Conditionnement)		Intensité (85,6-128,4 A)		Tension (8-12 V)	
		Meulage surépaisseur Cordon		CND Visuel (VT) - 100%		CND Ressuage (PT) - 100%		Refroidissement T° en °C (< 60°C)	
	Réparation Soudure	Metal Apport (ESAB OK 48.00 - Diam. 3,2 mm)		Référence Metal Apport Conditionnement)		Intensité (85,6-128,4 A)		Tension (8-12 V)	
		Meulage surépaisseur Cordon		CND Visuel (VT) - 100%		CND Ressuage (PT) - 100%		Refroidissement T° en °C (< 60°C)	
	Martelage	Nom Opérateur		Date Réalisation				Réalisé à 100%	



- **3. Travaux de réparation**
- **3.1. Contrôle documentaire**

Fiche de traitement des fissure

- Désignation fissure : emplacement, longueur...
- Préparation : marquage, décapage, échafaudage, éclairage
- Préparation soudure : délimitation par CND, perçage extrémité, chanfrein, meulage chanfrein, ressuage chanfrein
- 1^{ère} passe TIG : métal d'apport, CND visuel, CND ressuage
- Vérification T° refroidissement
- Vérification respect paramètres de soudage : tension, intensité
- 2^{ème} passe 111 : métal d'apport, meulage surépaisseur, ctrl visuel
- 3^{ème} passe 111 : métal d'apport, meulage surépaisseur, CND MT
- Martelage HFMI : opérateur, date
- Désignation de chaque intervenant et contrôleur pour chaque étape

Plusieurs révisions nécessaires avant d'obtenir une fiche exhaustive

- **3. Travaux de réparation**
- **3.2. Traitement des fissures**
 - Travaux de nuit pour limiter les charges, le trafic, les déformations, les vibrations, ne pas emprisonner de contrainte...
 - Intervention après décapage complet
 - CND MT délimitation fissures
 - Percement en extrémité



- **3. Travaux de réparation**
- **3.2. Traitement des fissures**
 - Préparation des chanfreins : trop grands trop ouverts, matériel pas adapté au début.
 - Changement du matériel : chanfreins adéquats (3mm)
 - CND Ressuage



- **3. Travaux de réparation**
- **3.2 Traitement des Fissures**
 - Préchauffage au chalumeau
 - Première passe au TIG (procédé 141) – $\varnothing 2.4\text{mm}$,
 - Contrôle visuel et magnétoscopie à 100%
 - Deuxième passe à l'électrode enrobée (procédé 111) $\varnothing 3.2\text{mm}$ ou $\varnothing 2.5\text{mm}$,
 - Troisième passe à l'électrode enrobée (procédé 111) $\varnothing 3.2\text{mm}$,
 - Meulage de la surépaisseur de cordon,
 - CND par magnétoscopie,



- **3. Travaux de réparation**
- **3.2 Traitement des Fissures**
 - Martelage HFMI sur passe de finition



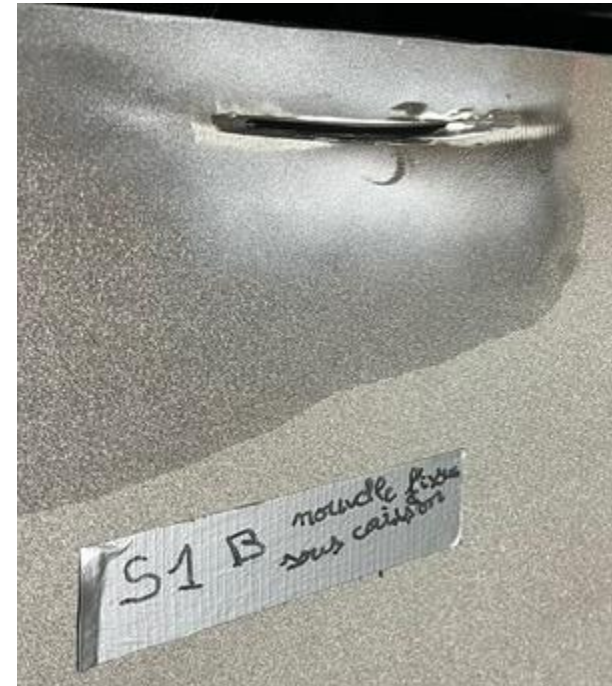
- **3. Travaux de réparation**
- **3.3 Refroidissement de la chaussée**
 - Pour protéger l'étanchéité
 - Géo textile + Compresseur eau 3000L
 - Thermomètre laser
 - $T^{\circ} < 60^{\circ}\text{C}$



- **3. Travaux de réparation**
- **3.4 Obturation des percements**
 - Soudage d'une pastille métallique en lieu et place des percements (percements réalisés il y a plusieurs années pour arrêter la propagation de fissures)



- **3. Travaux de réparation**
- **3.5 Nouvelles fissures**
 - Lors du décapage : détection de nouvelles fissures non inscrites dans l'inspection du pont
 - Initiative de les réparer avec le même procédé que les réparations prévues.



• 4. Conclusion et retour d'expérience

Pour respecter le cahier des charges et faire des réparations de qualité et pérennes, nécessité de mettre en œuvre les moyens humains et matériel adéquats :

- Côté entreprise : qualification de soudage, qualification de soudeur, formation au martelage HFMI, moyens matériel adaptés à la réalisation de chanfrein de petite dimension, qualification COFREND des contrôleurs,
- Côté contrôle extérieur : réactivité, disponibilité, adaptabilité, expertise, qualification COFREND, matériel de contrôle de soudage et matériel de CND
- Côté maîtrise d'œuvre : bonne coordination entre les différents acteurs (peinture, soudure, contrôle...)

Merci de votre attention



Pour en savoir
plus...

Michaël ZENOU :

michael.zenou@cerema.fr

07 61 26 74 20

Mathieu POLIDORO

mathieu.polidoro@cerema.fr

07 62 55 56 12

