



DIAGNOSTIC ET CONTRÔLE DES TRAVAUX DE REPARATION DES VIPP

Marc BROUXEL et Christopher OSTROWSKI



sixense

MEASURED DECISIONS
FOR BUILT ENVIRONMENT

SOMMAIRE

Techniques d'évaluation des VIPP

- Outil décisionnel
- Investigations

Contrôle des travaux de réparation des VIPP

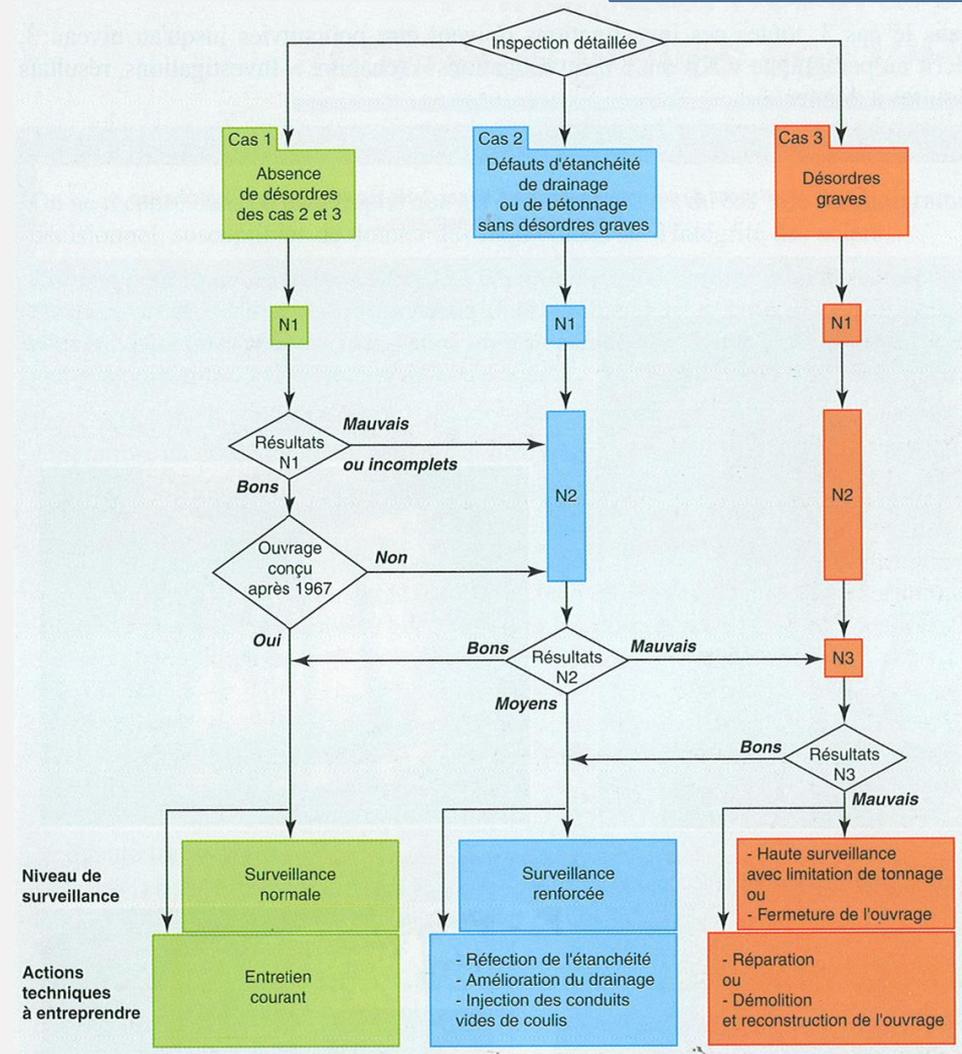
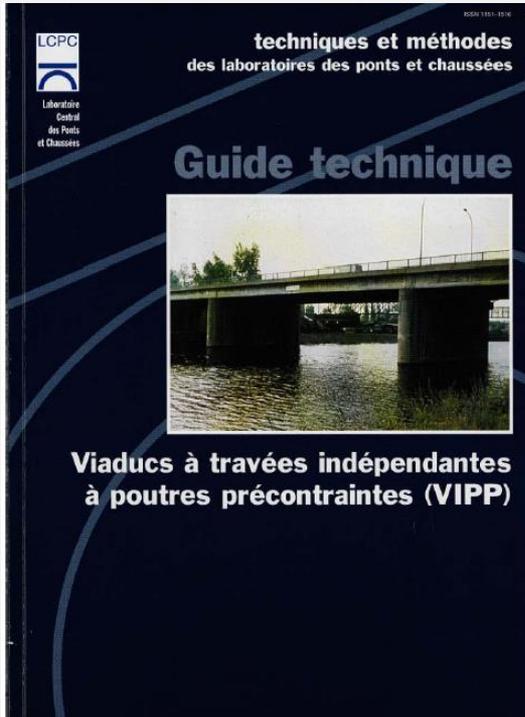
- Traitement des câbles de précontrainte
- Renforcement par collage de tissus de fibres de carbone



Techniques d'évaluation des VIPP



- Document de référence :
 - Guide technique du LCPC (2001)
- Organigramme décisionnel d'aide au diagnostic



- 3 niveaux d'investigations (N1, N2, N3) :

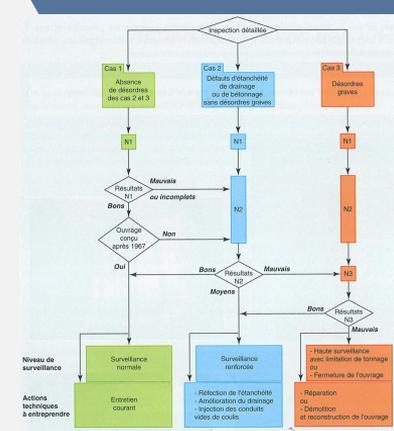
Niveau **N1**, applicable à tous les VIPP :

- ✓ analyse approfondie du dossier d'ouvrage
- ✓ évaluation de l'état d'injection des gaines de précontrainte par gammagraphie

Niveau **N2** : évaluation qualitative de la précontrainte par ouverture de fenêtres de reconnaissance

Niveau **N3** : évaluation de la capacité portante de l'ouvrage

- ✓ mesures de la tension des armatures de précontrainte
- ✓ recalcul en bureau d'études



- Comment positionner les zones d'investigations pour établir un diagnostic fiable ?

avec un impératif : **optimiser** les mesures

- réalisation d'essais destructifs → éviter de fragiliser la structure
- intervention sur des ouvrages en service → limiter le temps passé et l'impact sur l'exploitation
- intervention nécessitant des moyens d'investigations importants → limiter le coût de l'opération

- Contenu des investigations au programme

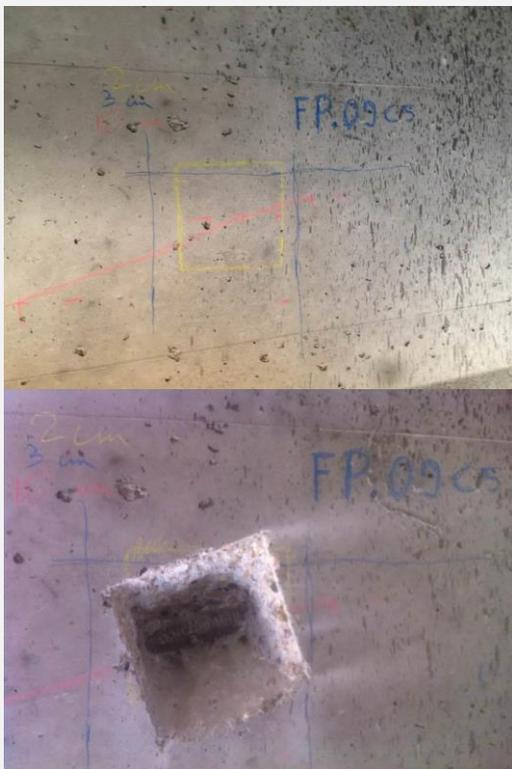
Conservation des matériaux	Capacité portante du pont
Examen des cachetages de la précontrainte	Lever topographique et géométrique
Contrôle de l'étanchéité	Auscultation radar de la chaussée
Ouverture de fenêtres de reconnaissance	Essais à l'arbalète
Mesure des épaisseurs d'enrobage des aciers	Ferraillage passif (position, nombre, diamètres)
Mesure des potentiels et vitesses de corrosion	Câblage (tracé, type de câble)
Analyses de laboratoire sur les bétons (chimie)	Analyses de laboratoire sur les bétons (Rm)

Conservation des matériaux

Ouverture de fenêtres de reconnaissance

Capacité portante du pont

Essais à l'arbalète



■ Diagnostic et préconisation

- Comment réparer et protéger (béton, ferrailage, câbles, etc.)
- Comment renforcer la structure (matériaux composites, précontrainte extérieure, re-ancrage, etc.)

■ Conception

- Choix des systèmes de réparation et de protection (quantité - exigences)
- Choix et pré-dimensionnement de renforcement (quantité - exigences)

■ Réalisation (contrôle des travaux)

- Réparation et système de protection (*Câbles*)
- Renforcements (*Matériaux composites*)

- Contrôler les réparations et les systèmes de protection :
 - ✓ Injection d'inhibiteur dans les gaines
 - ✓ Ré-injection de coulis
- Contrôler les renforcements :
 - ✓ Matériaux composites en carbone

INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAINTÉ

- Contrôler l'injection d'inhibiteur dans les gaines :
 - Localiser les zones polluées - Seuil :
 - ✓ Teneur en liant hydraulique du coulis : GrandDubé 2007
 - ✓ Masse volumique apparente: AFPC -AFREM
 - ✓ Teneur en chlorures : GrandDubé 2007
 - Vérifier l'efficacité de l'injection :
 - ✓ Présence de nitrite : Procédure entreprise

- Contrôler l'injection de coulis dans les gaines :
 - Localiser les zones de vide :
 - ✓ Essai à l'air comprimé : procédure entreprise
 - Vérifier l'efficacité de l'injection :
 - ✓ Présence de coulis : Procédure entreprise

INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAINTÉ

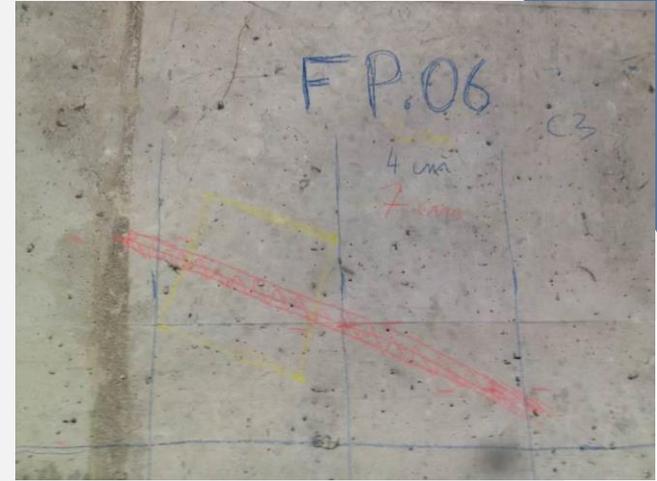
Contrôle de l'état initial du coulis

- Comparaison de la teneur en chlorures par rapport au poids de ciment (norme EN-206 : $< 0,1 \%$ ou $0,2 \%$ en poids de ciment)
- La procédure se base sur un seuil sécuritaire de $0,1 \%$ de chlorures totaux en poids de ciment
- Le dosage se fait en poids d'échantillon. Le résultat peut donc être faussé en cas de présence de sable dans le coulis

INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAİNTE

Ouverture des fenêtres de contrôle

Repérage des câbles
au géo-radar



Ouverture d'une fenêtre
jusqu'à la gaine

INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAÎNTE

Ouverture des fenêtres de contrôle

Découpe du
feuillard



Prélèvement de coulis et
observation de l'état du câble

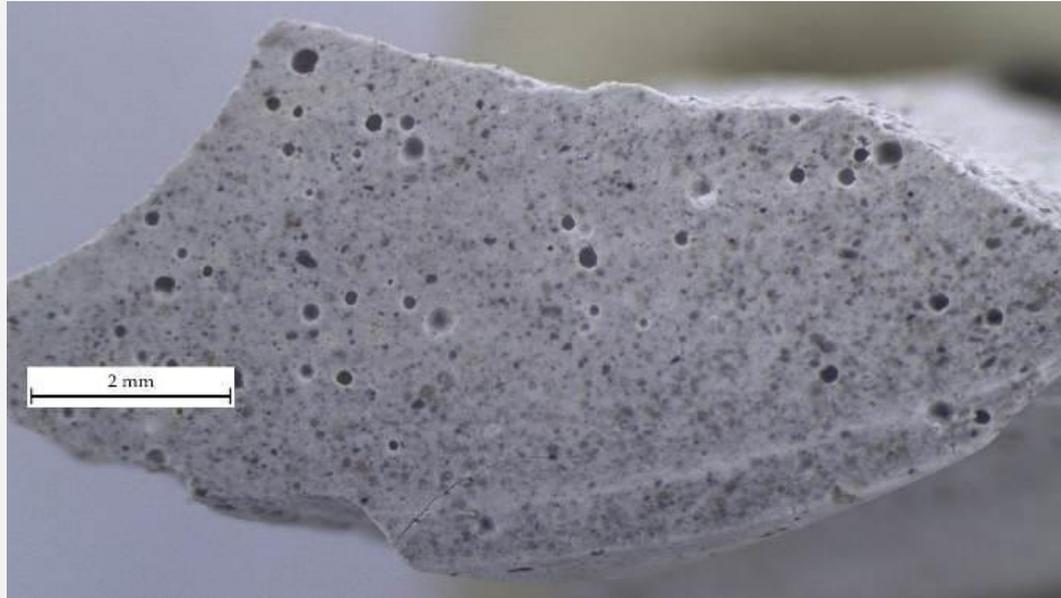
INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAINTÉ

Contrôle de la nature du coulis

Recherche de la présence d'une charge minérale

Observations macroscopiques et analyses physico-chimiques

Il est parfois difficile d'obtenir un échantillon de taille suffisante pour mesurer sa densité



INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAINTÉ

Contrôle de la teneur en chlorures par forage

- Effectuer un forage de 32 mm de diamètre jusqu'au feuillard
- Dégager et percer soigneusement le feuillard
- Prélever un échantillon de coulis en prenant bien soin de ne pas le polluer avec le béton de l'ouvrage (il faut prélever si possible au moins 1 g de coulis)
- Réalisation d'une analyse de la teneurs en chlorures totaux (GranDuBé)

Représentativité?

INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAÎNTE

Validation de la teneur en chlorures et présence d'inhibiteur
Réalisation de forage et de fenêtre



INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAÎNTE

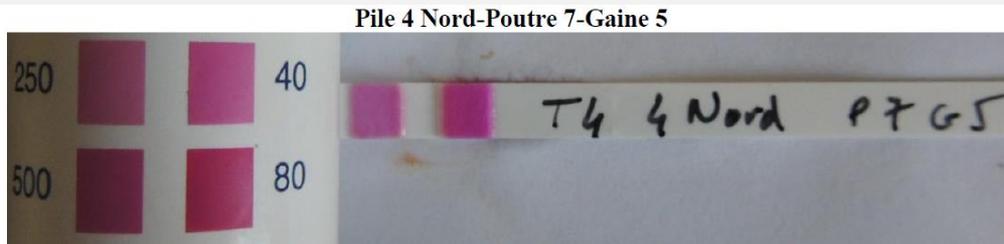
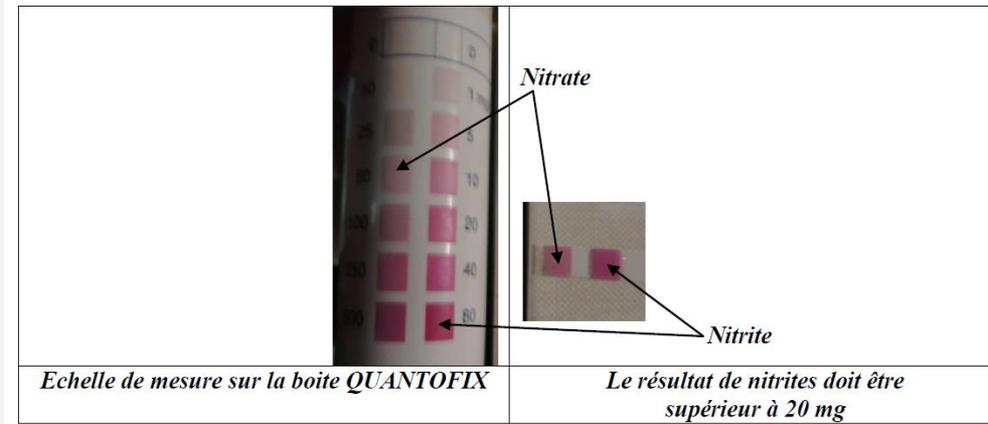
Contrôle de la présence de chlorures dans le coulis

Ref. CONCRETE	Poids d'échantillon analysé (g)	Teneur en ions chlorures libres (% poids béton)	Poids d'échantillon analysé (g)	Teneur en ions chlorures totaux (% poids béton)
FP 02	0,8481	< 0,005	0,7976	< 0,005
FP 02 BIS	0,8555	< 0,005	0,7963	< 0,005
FP 03	0,1501	< 0,005	0,1727	0,030
FP 03 BIS	0,1553	< 0,005	0,1695	0,028
FP 04	0,3777	< 0,005	0,4043	< 0,005
FP 04 BIS	0,3775	< 0,005	0,4082	< 0,005

Echantillon	Poids prise d'essai (g)	CONCRETE	ENTREPRISE
		Teneur en ions chlorures totaux (% poids coulis)	Teneur en ions chlorures totaux (% poids coulis)
P7 NORD - 1 - 4 - 1	0,5301	0,062	0,061
P7 NORD - 5 - 1 - 1	0,8998	0,045	0,033
P8 NORD - 4 - 1 - 1	0,6788	0,054	0,049
P8 NORD - 5 - 1 - 1	0,5444	0,048	0,044
C9 NORD - 8 - 5 - 1	0,4094	0,041	0,043
P3 SUD - 8 - 3 - 1	0,4212	0,053	0,045

INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAINTÉ

Contrôle de la présence de nitrite dans le coulis vs essai à blanc



INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAÎNTE

Contrôle des traitements

- Si la teneur est supérieure au seuil, la zone est considérée comme polluée par les chlorures et un autre prélèvement doit être réalisé à 1 m du prélèvement précédent. Cette procédure est réalisée jusqu'à trouver un coulis exempt de chlorures (teneur inférieure au seuil).

PRELEVEMENT						ESSAI					
Nom de l'échantillon					Date du prélèvement	Observations	Date de l'essai	Teneur en chlorure (%)	Poids de l'échantillon (g)	Injection inhibiteur (Teneur > à 0,053 %)	Observations
Appui concerné	Direction (Nord / Sud)	Poutre prélevée	Numéro de câble	Numéro du prélèvement							
P8	Nord	1	2	1	04/08/2015		02/08/2015	0,152	0,45	OUI	
P8	Nord	1	2	2	28/09/2015		16/11/2015	<0,005	1,14	NON	
P8	Nord	1	2	3	28/09/2015		16/11/2015	<0,005	1,33	NON	
P8	Nord	1	2	4	28/09/2015		16/11/2015	0,013	1,27	NON	

INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAINTE

Essai de convenance pour l'injection de l'inhibiteur



INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAÎTE

Essai de convenance pour l'injection de l'inhibiteur

Contrôle des fuites



Contrôle de l'efficacité



INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAÎNTE

Essai de convenance pour l'injection de coulis - 1



INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAİNTE

Essai de convenance pour l'injection de coulis - 2



INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAİNTE

Contrôle de l'injection de coulis



RENFORCEMENT PAR COLLAGE DE TISSUS DE FIBRES DE CARBONE

- Contrôle des produits : type, lot de fabrication, date, stockage etc.
- Contrôle de la préparation du support :
 - ✓ Mesurage de l'adhérence par traction directe - Dynamomètre 8 kN - NF EN 1542
- Contrôle de mise en œuvre du renforcement par matériaux composites
 - ✓ Détection de défauts par caméra thermique - Flir Ti 400 - (AFGC - 2011)
 - ✓ Mesurage de l'adhérence par traction directe - Dynamomètre 8 kN - NF EN 1542
 - ✓ Essais de dureté shore D : Duromètre - ISO 7619 D - NF EN 1504-10
 - ✓ Détermination de la température de transition vitreuse (T_g) : Calorimétrie différentielle (DSC) - NF EN 12 614 - NF EN 1504-10

RENFORCEMENT PAR COLLAGE DE TISSUS DE FIBRES DE CARBONE

Contrôle des produits



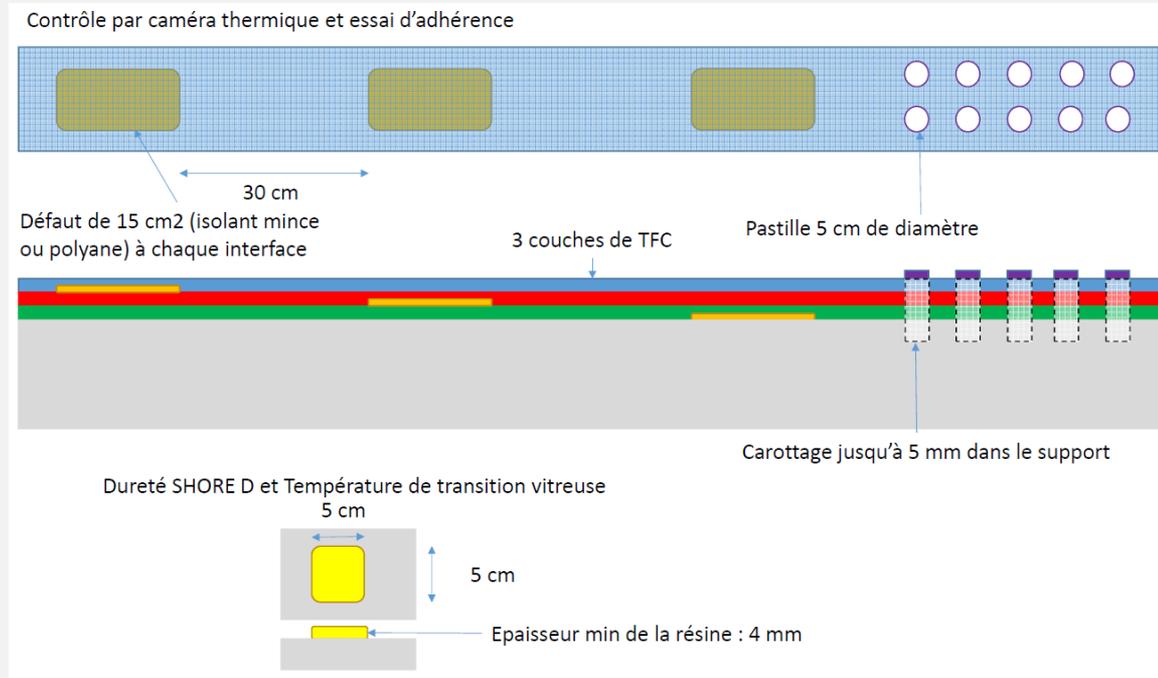
RENFORCEMENT PAR COLLAGE DE TISSUS DE FIBRES DE CARBONE

Préparation du support



RENFORCEMENT PAR COLLAGE DE TISSUS DE FIBRES DE CARBONE

Epreuve de convenance



Superposition des tissus
Taille critique des défauts

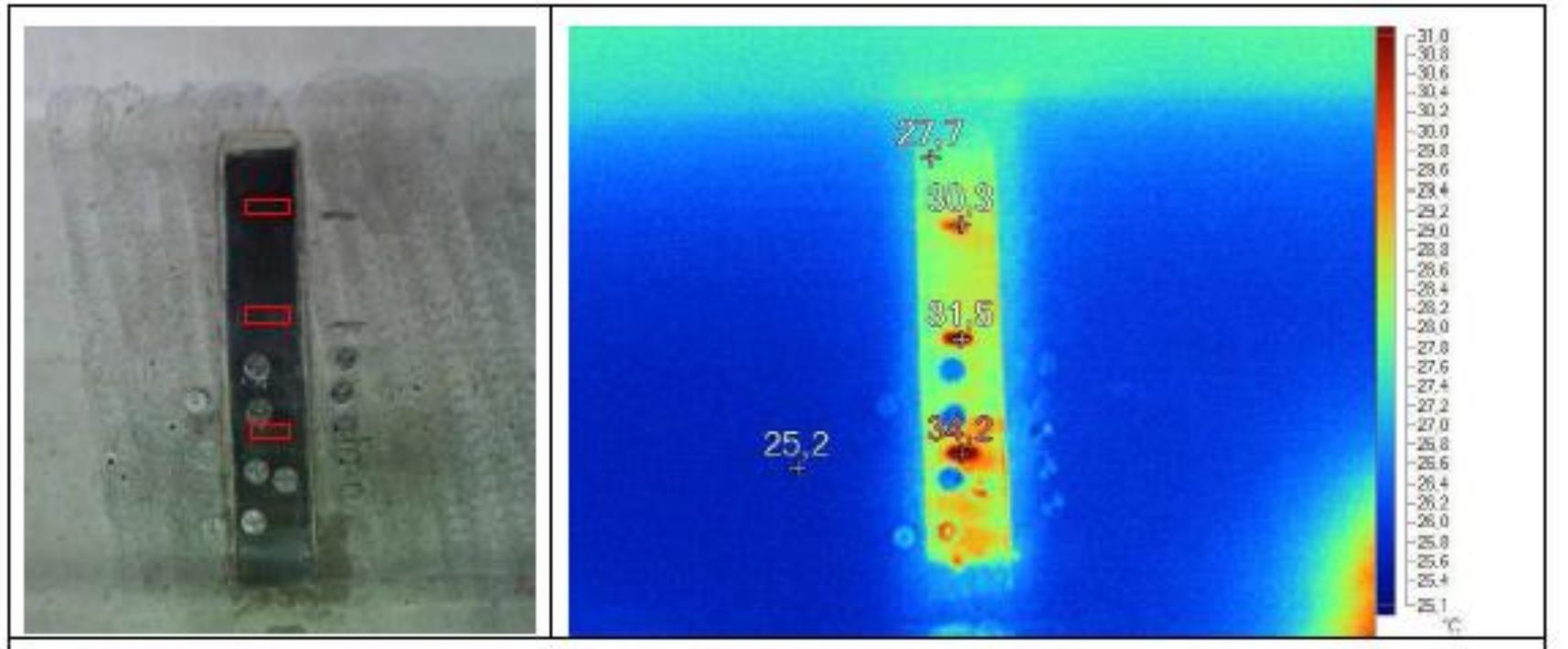
RENFORCEMENT PAR COLLAGE DE TISSUS DE FIBRES DE CARBONE

Epreuve de convenance - collage des tissus avec défauts



RENFORCEMENT PAR COLLAGE DE TISSUS DE FIBRES DE CARBONE

Thermographie infrarouge



RENFORCEMENT PAR COLLAGE DE TISSUS DE FIBRES DE CARBONE

Dureté
Shore D

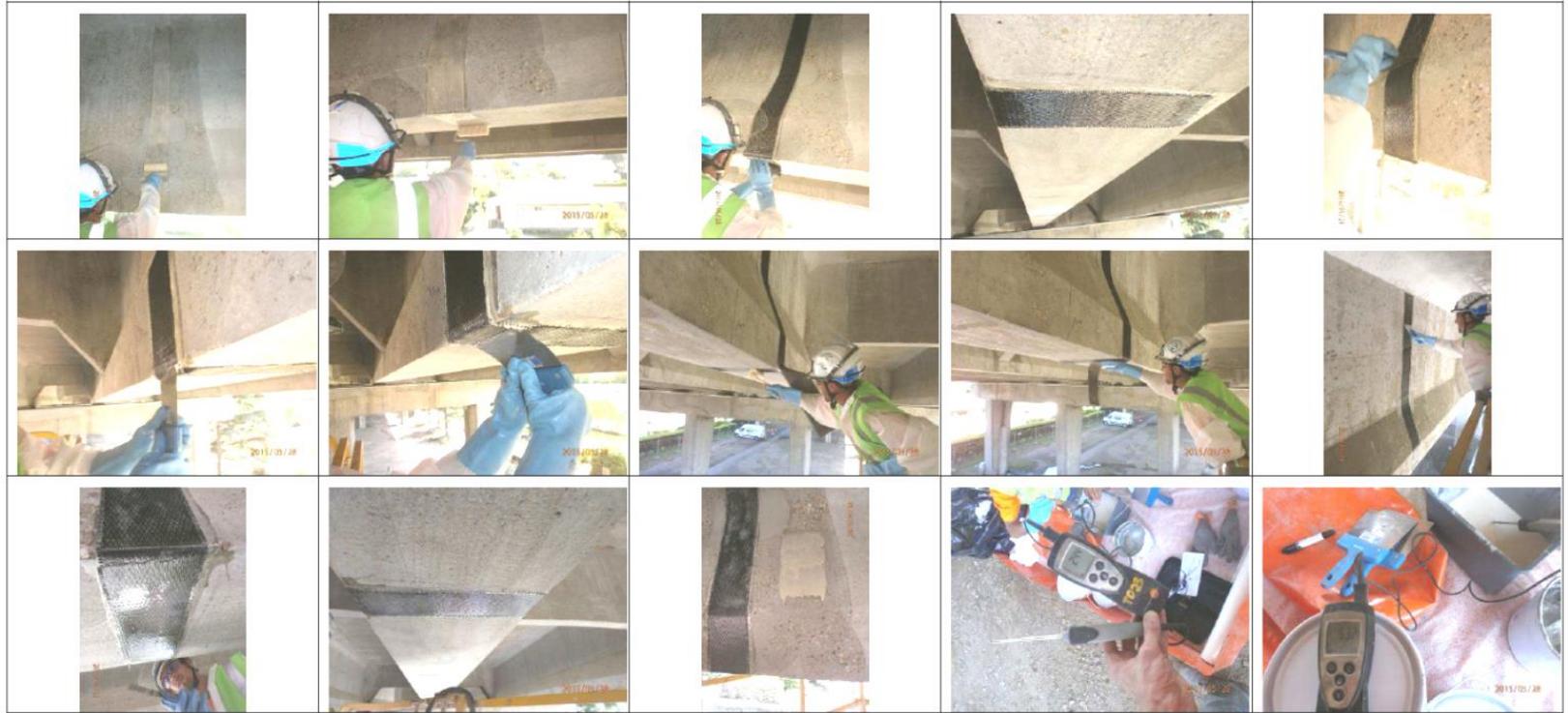


Adhérence
Support/matériaux composites



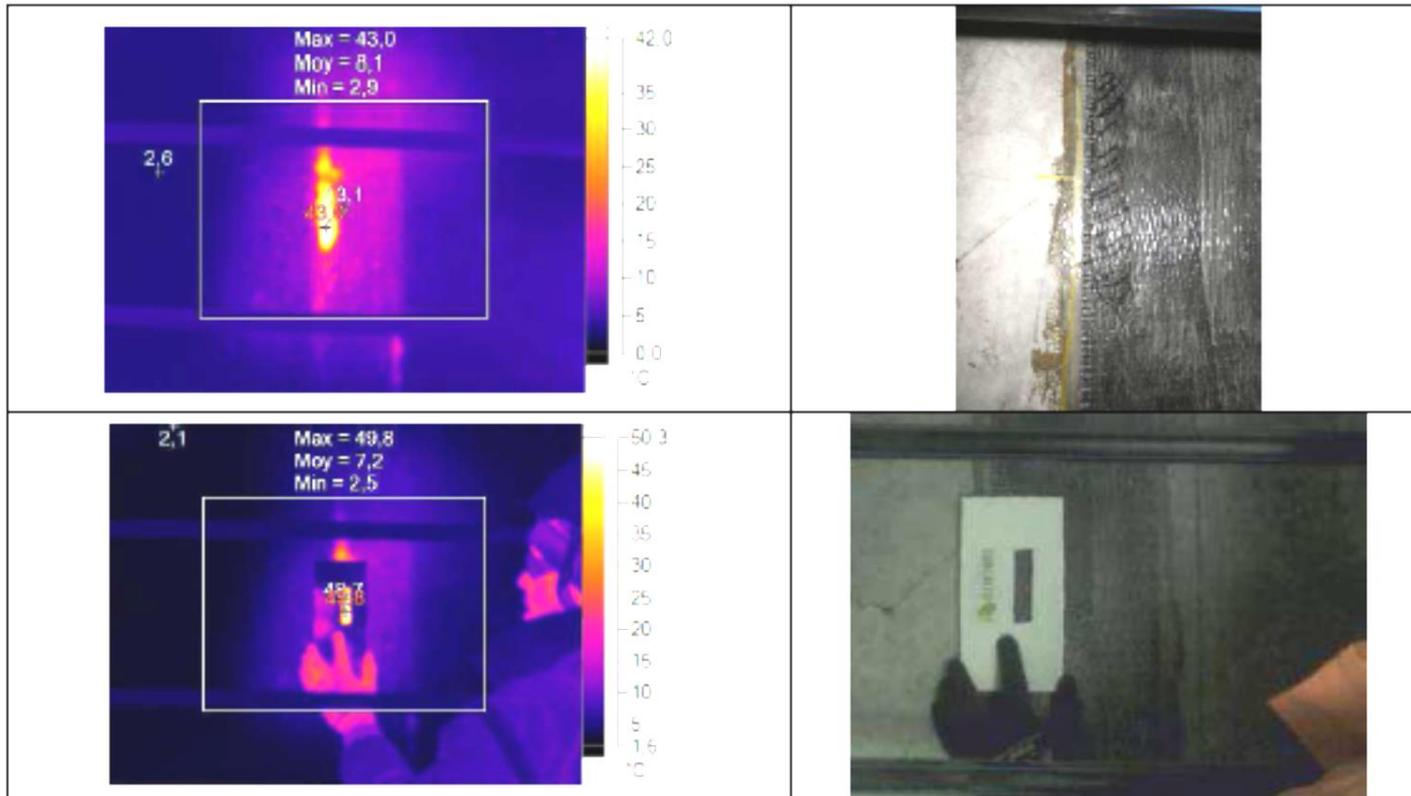
RENFORCEMENT PAR COLLAGE DE TISSUS DE FIBRES DE CARBONE

Collage des tissus sur géométrie complexe



RENFORCEMENT PAR COLLAGE DE TISSUS DE FIBRES DE CARBONE

Détection des défauts inférieurs à 15 cm²
En phase travaux



RENFORCEMENT PAR COLLAGE DE TISSUS DE FIBRES DE CARBONE

Détection des défauts inférieurs à 15 cm²
Après réparation des défauts



Merci pour votre attention

- **Positionnement des fenêtres, critères :**
 - Famille 1 : singularité détectée dans l'analyse du dossier d'ouvrage
 - ✓ Problèmes rencontrés à l'injection
 - ✓ Écart significatif sur les valeurs de coefficients de transmission
 - Famille 2 : désordres relevés visuellement lors des actions de surveillance
 - ✓ Fissuration caractéristique du béton
 - ✓ Présence d'un cachetage défectueux
 - Famille 3 : défauts constatés à l'issue de la gammagraphie
 - ✓ Détection de fil rompu ou détendu
 - ✓ Manque de coulis d'injection
 - Famille 4 : répartition des essais à l'arbalète

INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAÎTE

- ✓ Avis sur procédure, fiches produits,
- ✓ Participation aux essais de convenance :
 - Inhibiteur de corrosion et injection
 - Présence lors de la réalisation de l'inhibiteur de corrosion de la zone d'essai de convenance,
 - Evaluation des moyens de l'entreprise et du déroulement de la tâche,
 - Contrôle ponctuel des essais de laboratoire réalisés in situ par l'entreprise,
 - Rédaction d'un compte rendu d'intervention dans les 48h.
 - Teneur en chlorures
 - Prélèvement et analyse de chlorure en parallèle de ceux de l'entreprise et analyse des chlorures libres et totaux,
 - Etude comparative des méthodes de mesure de chlorures,
 - Rapport des essais et de l'étude comparative.
- ✓ Trois (3) audits ponctuels de contrôle du produit final (inhibiteur et injection) comprenant les prestations suivantes pour chaque intervention :
 - Evaluation des moyens de l'entreprise et du déroulement de la tâche,
 - Evaluation du respect de la procédure et analyse des écarts constatés,
- ✓ Rapport final en fin de chantier reprenant l'intégralité des audits.

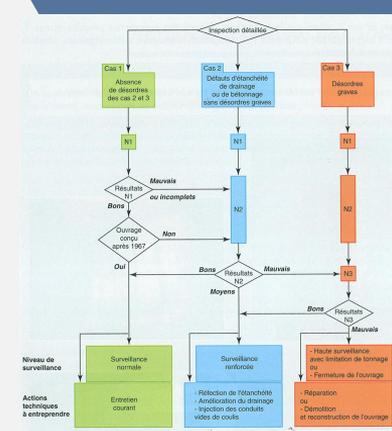
INJECTION D'INHIBITEUR DE CORROSION ET RÉ-INJECTION PARTIELLE DES GAINES DE PRÉCONTRAÎTE

- Vérification de la présence d'une charge minérale et du dosage en ciment pour ajuster le seuil critique en chlorures par rapport au poids de coulis
- Pour déterminer la présence de sable : observation macroscopique,
Nécessité de prélever un échantillon de coulis de taille centimétrique
- Pour déterminer le dosage en ciment : dosage de la teneur en silice soluble, mesure de la densité du coulis
Nécessité de prélever un échantillon de coulis de taille centimétrique
- Dosage des chlorures totaux en laboratoire conformément aux procédures fixées par GranDuBé (Grandeurs associées à la durabilité des bétons, 2007)

RENFORCEMENT PAR COLLAGE DE TISSUS DE FIBRES DE CARBONE

- ✓ Avis sur procédure, fiches produits.
- ✓ Participation aux essais de convenance :
 - ☐ Mise en œuvre :
 - ✓ Evaluation des moyens de l'entreprise
 - ✓ Déroulement de la tâche
 - ☐ Contrôle des matériaux
 - ✓ Essai d'arrachement
 - ✓ Dureté shore
 - ✓ Détermination de la température de transition vitreuse
- ✓ Audit ponctuel de contrôle de produit final TFC
- ✓ Audit ponctuel de la mise en œuvre du TFC
- ✓ Audit des moyens de l'entreprise et du déroulement de la tâche
- ✓ Audit des procédures et analyse des écarts constatés

- Objectifs de l'opération :
 - ✓ Évaluer le niveau de conservation des matériaux (béton, aciers passifs, armatures de précontrainte)
 - ✓ Évaluer la capacité portante de chaque pont



→ **N2** et **N3** sont menés sur la base d'un dossier d'ouvrage comportant :

- dossier d'exécution (ndc, plans coffrage, câblage, ferrailage)
- rapports de surveillance périodique (IDP, IQOA)
- rapport de gammagraphie récent (**N1** réalisé)