

Journée technique Auscultation et diagnostic des Ouvrages d'Art



Pont de Cheviré – Présentation du diagnostic



***Clément COULAIS – Cerema Ouest –
DLAn - GOA***

Rennes – 12 septembre 2019

SOMMAIRE

- Rappel sur les réactions de gonflement interne
- Mode opératoire du diagnostic d'une RGI
- Exemple du pont de Cheviré



Réactions de gonflement interne (1/3)

- Pathologies du béton pouvant conduire à la fissuration et à la dégradation de ses performances mécaniques
- Pathologies se développant en présence d'eau ou de forte humidité

Socle – Pile N5 – face Ouest



Réactions de gonflement interne (2/3)

- 2 types de réaction de gonflement interne (RGI) :
 - Alkali-réaction ou réaction alcali-granulat (RAG) : réaction entre les granulats présents dans le béton et les composants du béton (la silice le plus souvent)
 - Identifiée en 1940 en Californie
 - Fin des années 1970 en France sur quelques barrages
 - Phénomène identifié en 1986 sur certains ponts
 - 1^{ère} recommandations provisoires publiées en 1991, remplacées par recommandations de 1994, puis remplacées par FD P 18-464 : Béton – Dispositions pour prévenir les phénomènes d'alcali-réaction – 9 avril 2014

Réactions de gonflement interne (3/3)

- 2 types de réaction de gonflement interne (RGI) :
 - Alkali-réaction ou réaction alcali-granulat (RAG)
 - Réaction sulfatique interne (RSI) : réaction provoquée par un échauffement du béton lors de sa mise en place (au-delà de 65°C)
 - 1987 : 1^{er} cas apparus en préfabrication (traverses de chemin de fer)
 - 1996 : 1^{er} cas dans les bétons coulés en place aux États-unis (pylônes de lignes électriques)
 - 1997 : 1^{er} cas en France (pièces massives en milieu humide : chevêtre des piles, culées...)
 - 1998-1999 : Recherches sur une activité sulfatique d'origine endogène dans le béton
 - Mai 2000 : 1^{ère} publication revue SETRA - Ouvrages d'Art n°34. Une nouvelle réaction de gonflement interne des bétons : la réaction sulfatique
 - Août 2007 : Guide technique. Recommandations pour la prévention des désordres dus à la réaction sulfatique interne. LCPC. Révisé en 2017



Mode opératoire du diagnostic d'une Réaction de Gonflement Interne

Mode opératoire du diagnostic RGI

- Présence d'une RGI suspectée :
 - Référence au diagnostic de l'état des matériaux :
 - Béton (Série D1)
 - [Fiche D1-3 – Diagnostic d'une réaction de gonflement interne du béton - lien](#)

Mode opératoire du diagnostic RGI

— Décomposition de la fiche :

– Contexte

- Description et mécanisme des réactions
- Influence des caractéristiques du béton
- Influence des paramètres extérieurs
- Modélisation du comportement du matériau

– Méthodologie du diagnostic

- Étape 1 : Analyse du dossier de l'ouvrage
- Étape 2 : Inspection détaillée de l'ouvrage (pré-diagnostic)
- Étape 3 : Auscultation

– Référentiel

– Logigramme

Mode opératoire du diagnostic RGI

— Étape 3 : Auscultation

– Méthode d'auscultation :

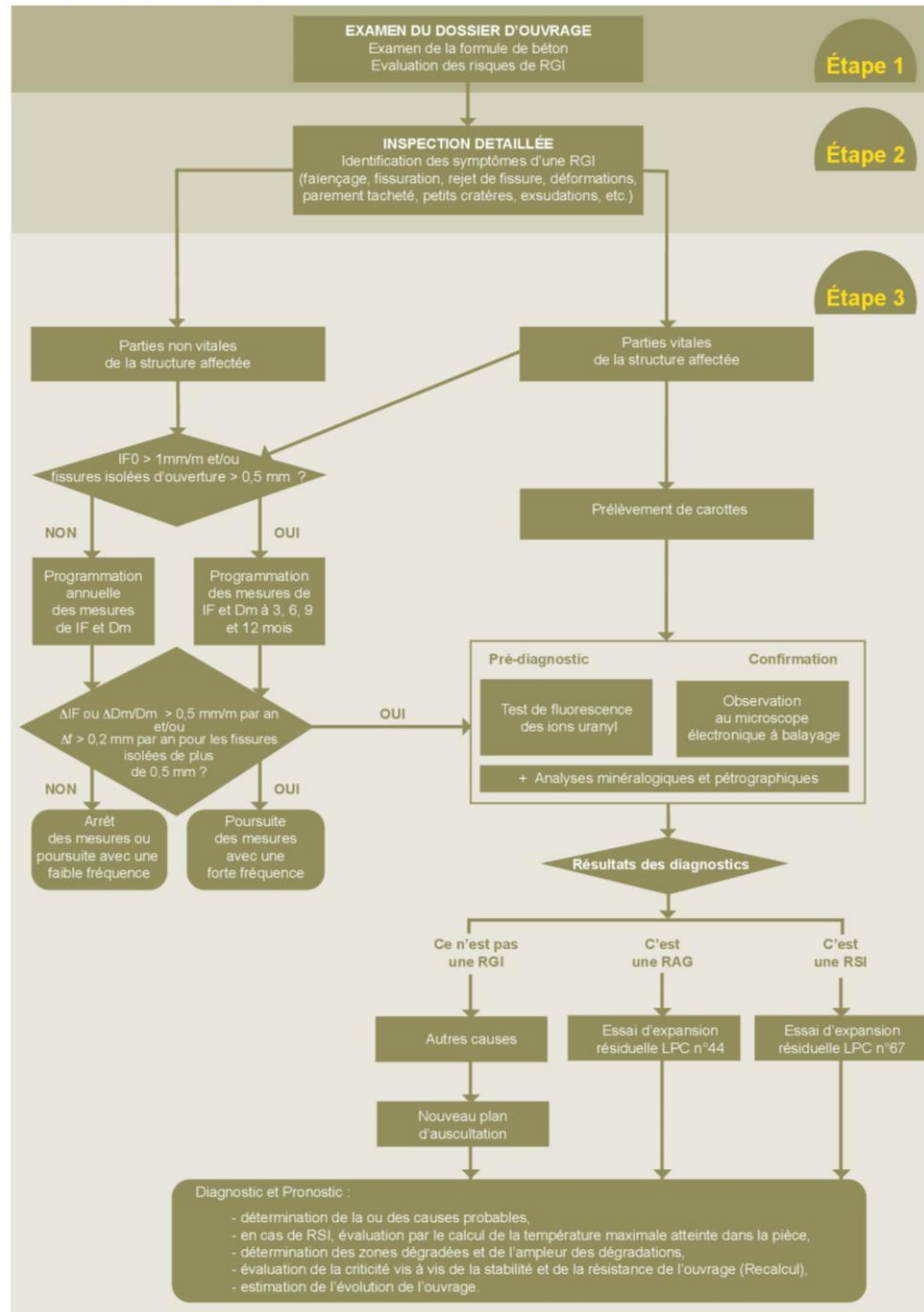
- Fiche A1-1 : Carottage de béton

– 3 types d'analyses :

- Fiche A1-2 : Analyse minéralogique du béton (formulation du béton)
- Fiche A1-3 : Analyse pétrographique (Analyse au microscope)
- Fiche A1-4 : Détection des gels d'alcali-réaction par Fluorescence des ions uranyl

Mode opératoire

— Logigramme :



Pont de Cheviré

- **Chronologie des auscultations**
- **Bilan des auscultations**
- **Suites et perspectives**



Source Géoportail



Source Google Maps

Chronologie des auscultations (1/10)

- Travaux de construction entre 1988 et 1991 (mise en service le 2 mai 1991)
- 1994 : 1^{ère} IDI partielle
 - Détection de fissures (raidisseurs, entretoises sur piles, culées), pas de maillage détecté

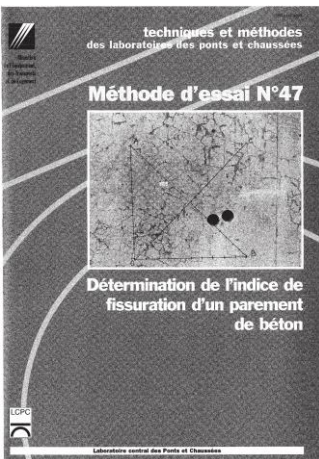
Chronologie des auscultations (2/10)

- 1998 inspections des piles : détection de fissures importantes ($> 0,3$ mm) sur certaines piles (socles et chevêtres)
 - Suspicion d'une réaction alcali-granulat (RAG)
 - Diagnostic de la pathologie (RAG) par carottage des socles et observation au Microscope Électronique à Balayage (MEB) en 1999
- Conclusion : pas de RAG, mais observation d'ettringite en forte abondance
- [Fiche D1-3 – Diag d'une RGI – lien](#)
- [Fiche A1-1 – Carottage de béton – lien](#)
- [Fiche A1-4 – Détection RAG – lien](#)

Chronologie des auscultations (3/10)

— 2003 à 2006 : suivi de fissuration Méthode d'essai LCPC n°47 > Indice de Fissuration :

- Fissuration qualifiée de faible à modérée
- Fissuration des socles : dynamique de l'ordre de 0,1 mm/m/an, soit 1,1 mm/m entre 1989 (construction) et 2006



- Pas de fiche mais méthode préconisée par la fiche D1-3, diagnostic d'une RGI, pour un suivi fiable et reproductible dans le temps

Chronologie des auscultations (4/10)

- 2004 : analyse au MEB et essai d'expansion résiduelle vis-à-vis de la RSI au cœur des socles de 3 piles (N7, S7 et S12)
 - Potentiel d'expansion résiduelle lié à la RSI pourrait atteindre 0,15 % (réaction qualifiée de modérée par rapport à un maximal de 0,35%)
 - Même la pile S7 réputée saine est atteinte de RSI
- [Fiche A1-3 – Analyse pétrographique du béton – lien](#)

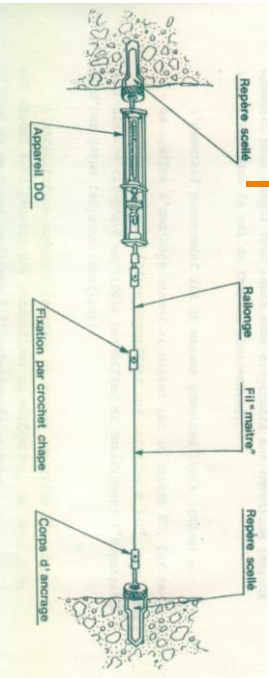
Chronologie des auscultations (5/10)

- 2004 à 2006 : recherche dans le dossier d'ouvrage

Socles	Dates de coulages
S5 à S12	Été 1988 (juillet/août)
S2 à S4	Automne 1988
S1	Hiver 1988
N2 à N9	Printemps 1989 (Fin mars à juillet)
N1	Hiver 1989

Chronologie des auscultations (6/10)

- A partir de 2014 : reprise des mesures d'IF (bi-annuel) sur l'ensemble des socles piles
 - Constat d'une fissuration faible à modérée au Nord et de modérée à forte au Sud (ME47)
- A partir de 2016 : mise en place de campagnes bi-annuelles de mesures par distancemétrie à fil invar sur les socles des piles
 - [Fiche C2-3 – Auscultation, Mesure de distance à fil d'invar – lien](#)



Chronologie des auscultations (7/10)

- A partir de 2018 : mise en place de campagnes bi-annuelles de mesures à l'aide d'un Scan 3D pour quantifier la déformation (de type bombement) des socles des piles



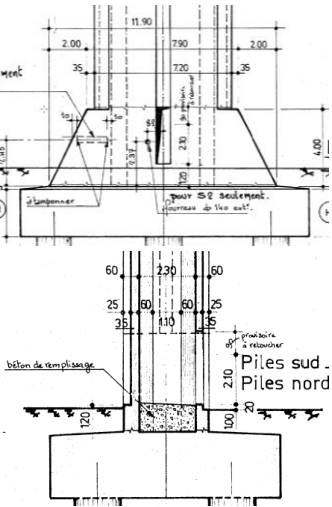
Chronologie des auscultations (8/10)

— 2018 : fouille pour observer la semelle de la pile S3

– Relevé de fissures ($\omega_{\max} = 4,5 \text{ mm}$)

– 2 IF perdus (2,6 et 3,2 mm/m)

- Fissuration forte

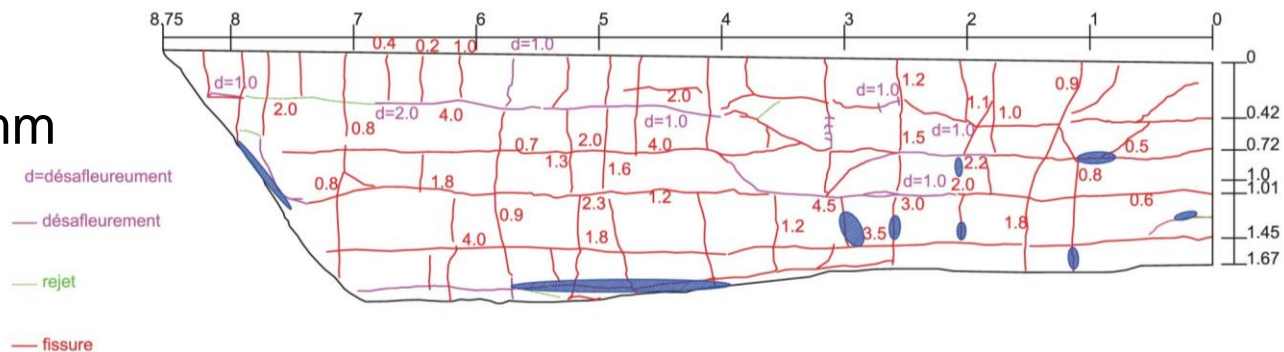


— [Fiche C6-1 – Ouverture de fouilles](#) – [lien](#)

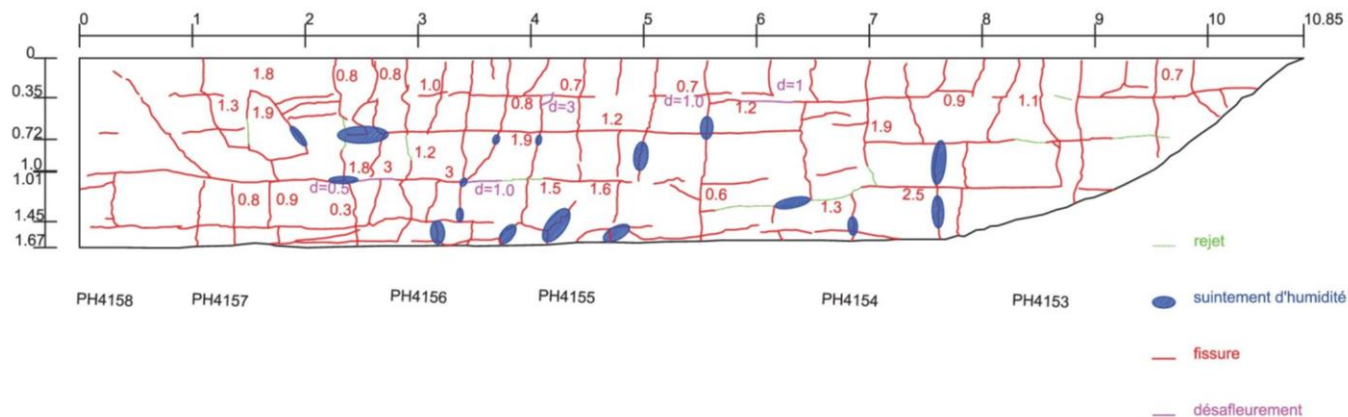
Chronologie des auscultations (9/10)

- 2018 : Fouille
- Relevé de désordre
- $\omega_{\max} = 4,5 \text{ mm}$
- suintements

face ouest



face sud



Chronologie des auscultations (10/10)

- 2018 : prélèvement de carottes au cœur du béton pour essai d'expansion résiduel à l'aide de la méthode d'essai des lpc n°67
 - Socles piles S2, S3, S6, S7, S8, S11, N5 et N6
 - Semelle de la pile S3

— [Fiche A1-1 – Carottage de béton](#) – [lien](#)



techniques et méthodes

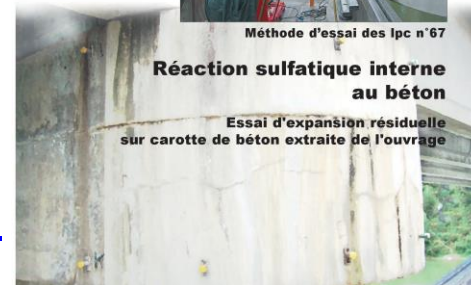
des laboratoires des ponts et chaussées

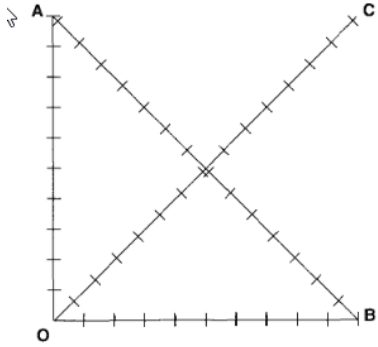


Méthode d'essai des lpc n°67

Réaction sulfatique interne au béton

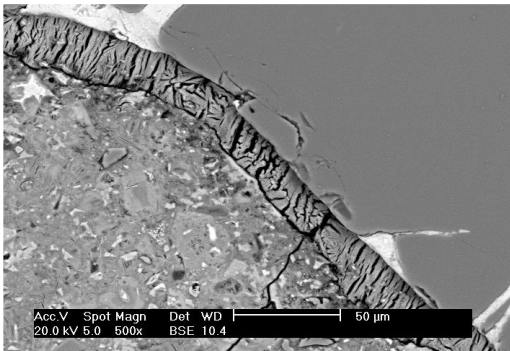
Essai d'expansion résiduelle sur carotte de béton extraite de l'ouvrage





Pont de Cheviré

Bilan des auscultations



Source Guide RSI 2017 - IFSTTAR





1^{er} Bilan de 2006

- Présence de RSI avérée
- Les principales pièces massives ont été coulées en été > développement RSI favorisée
- Fissuration des socles de 0,4 à 1,7 mm/m (moyenne à 1,1 mm/m)
- Capacité d'expansion résiduelle liée à la RSI de l'ordre de 0,15 %



Bilan en 2019

- Fissuration des socles de 0,2 à 3,3 mm/m (moyenne à 1,4 mm/m)
 - difficile de statuer sur la dynamique de la réaction (par exemple, à l'Ouest, certains IF ont doublé depuis 2003, alors que d'autres ont légèrement augmenté)
 - IF les plus importants sont sur les faces Ouest des socles, spécialement au Sud
- Bombement des socles
- Capacité d'expansion résiduelle liée à la RSI vis-à-vis des prélèvements 2018 semble limitée (dans l'attente du rapport final)

Suites et perspectives



Suites à donner

— 2014 : lettre de mission



- Réactivation du comité d'experts pour le suivi du pont de Cheviré
- Poursuite des missions de surveillance renforcée existantes et activation de nouvelles actions

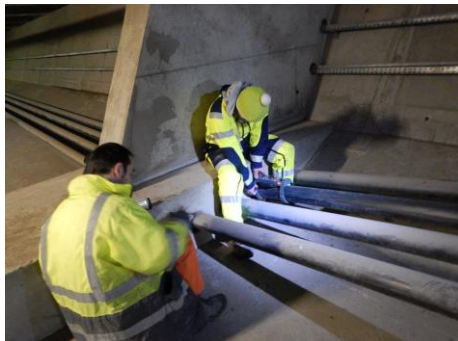
Missions de surveillance et de suivi

- Suivi de la RSI par IF, distancemétrie et Scan 3D
- Suivi du fluage du béton par instrumentation du Fléau Sud
- Suivi du comportement général de l'ouvrage :
 - Relevés des joints de chaussée
 - Relevés des appareils d'appui



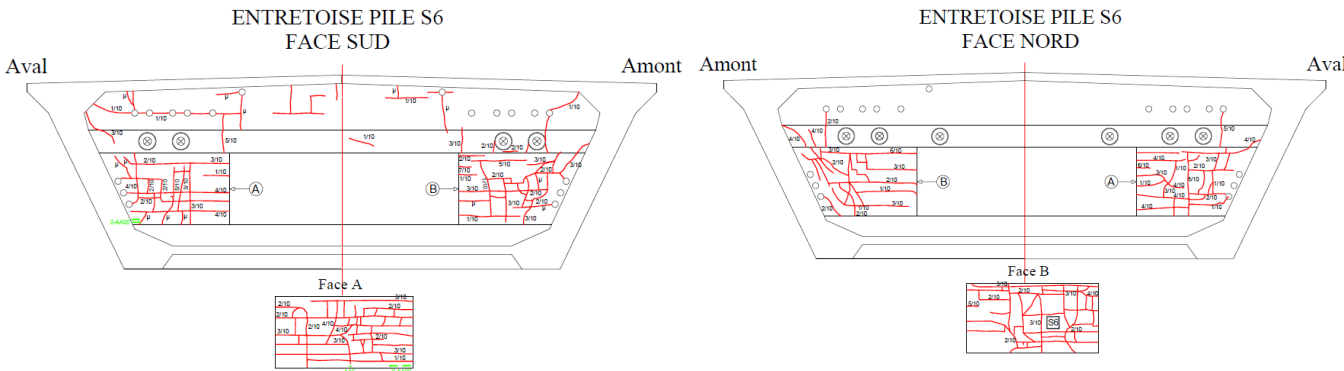
Missions de surveillance et de suivi

- État de la précontrainte (investigations 2018) :
 - Investigations non destructives par sonde capacitive (laboratoire d'Autun), qui confirment les zones mal injectées déjà repérées au marteau
 - Investigations destructives sur une zone par endoscopie qui ne mettent pas en évidence de corrosion (à poursuivre)



Missions de surveillance et de suivi

- Re-lancement de campagnes topométriques
- Lancement d'une IDP complète de l'ouvrage :
 - Mise en évidence d'une fissuration importante des entretoises sur pile



Des interrogations en suspens

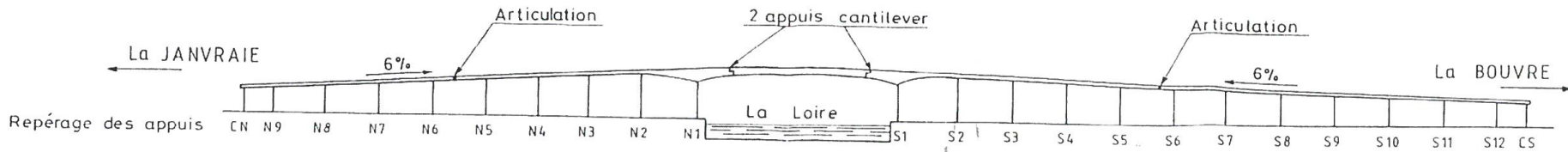
— Déformation au niveau des articulations béton/béton

15.91.44.06

Représentation de l'ouvrage

3

— Selon COUPE LONGITUDINALE



Cassure dans le profil

Perspectives

- Inspection des voussoirs à hauteur variable avec des moyens d'accès sur-mesure
- Application d'un revêtement de protection généralisée du béton au moins sur les socles des piles (à confirmer dans l'attente des résultats sur les essais d'expansion résiduelle et par le comité technique)

Merci de votre attention

Pour en savoir plus

Clément COULAIS

clement.coulais@cerema.fr

02 41 79 13 60

06 63 33 61 83
