

Journées techniques Ouvrages d'Art 2012

Sourdun

Mercredi 9 et Jeudi 10 mai

Désagrégation des bétons de plusieurs ouvrages de l'autoroute A4: diagnostic et travaux

Y. Jeanjean, S. Masoni - SANEF
S. Lavaud, L. Divet - IFSTTAR
9 mai 2012



IFSTTAR

CONSTATS

2009 : Très forte activité calcite à travers les dalles des PRAD



PRESENTATION

- Problématique :

- Ouvrages de type PRAD (Poutres Précontraintes à fil adhérent), avec encastrement par une entretoise unique sur appuis, construits en 1973 (d'origine: étanchéité: 1 cm, enrobé à froid: 4 à 12 cm, enduit bi-couche).
- Forte activité calcite et accroissement des désordres en 2009, d'où prises de décisions urgentes :
 - Prélèvements par carottages des bétons de dalles et entretoises en Novembre 2009 _ résultats critiques imposant limitation trafic fin 2009
 - Campagne de Diagnostic complémentaire en Février 2010
 - Présentation rapport Mars 2010 _ décision de démolition reconstruction
 - Recalcul ouvrages / justification structure en phase démolition

Prélèvements béton par carottage

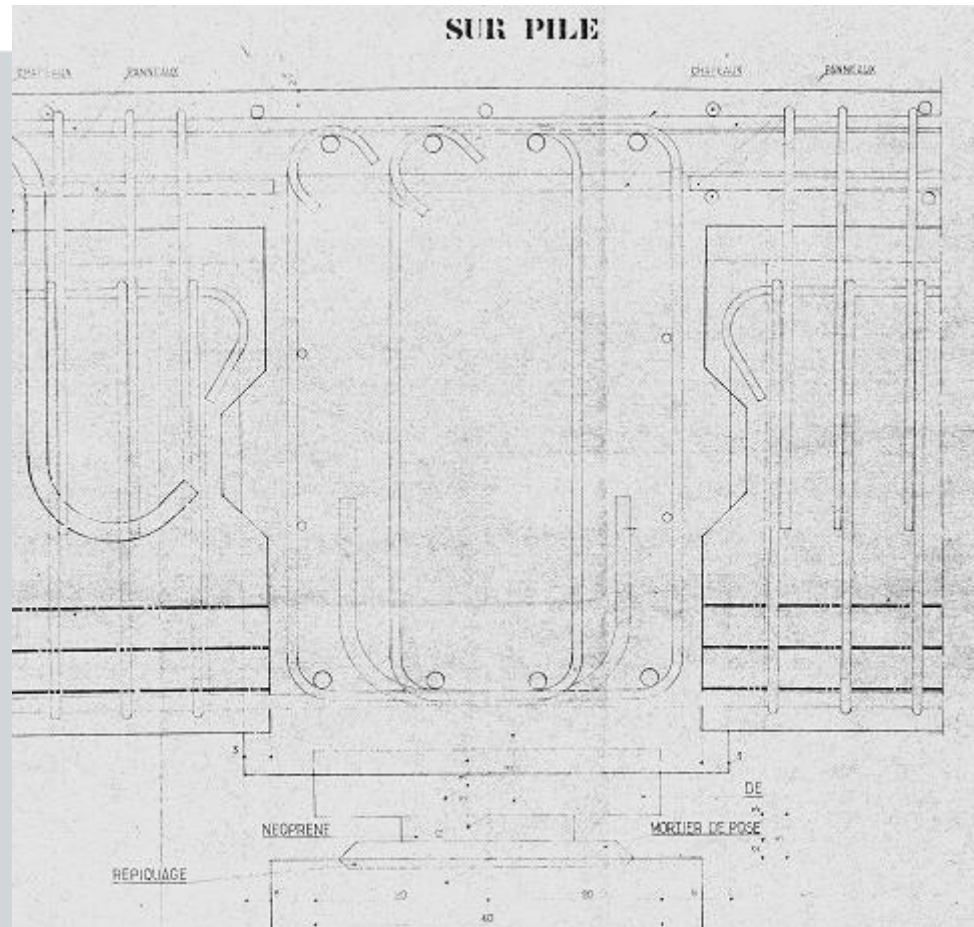


Carottage sur l'entretoise TPC – Pile P3



Carottage hourdis en rive de dalle entre C1 et P2

Détail Entretoise sur Pile



Mesures immédiates prises : interdiction de circulation des PL sur les PS et mise en place de dispositif provisoire pour pallier le risque potentiel de rupture de la liaison poutres/entretoise sur pile .



Caractéristiques du béton:

Pour les 5 ouvrages expertisés (hourdis et entretoises):

- Ciment utilisé: **ciment Portland composé: CEMII/A-M (S-V)**
 - laitiers (10 à 20%)
 - cendres volantes
 - dosage moyen en ciment : 380 kg/m³
- Matériaux granulaires: 72% du béton
 - dosage moyen : 1600 kg/m³
 - majoritairement calcaires (51 à 66%)
 - silicatés (10 à 20%)
- Porosité: 13 à 20% ➔ durabilité moyenne à très faible* vis-à-vis de la pénétration de l'eau et du transfert d'éléments agressifs dans la structure

*cf. classes de durabilité selon le document de l'AFGC « Conception des bétons pour une durée de vie donnée des ouvrages »



Caractéristiques du béton:

Dosage des alcalins dans le béton:

Ouvrages (h: hourdis e:entretoise)	PS64.8		PS83.8		PS85.3		PS96.4		PI100
	h	e	h	e	h	e	h	e	
Na ₂ O _{éq.} kg/m ^{3**}	3,7	3,7	4,0	5,0	4,5	3,4	1,7	2,3	2,9

- Recommandations pour la prévention des désordres dus à l'alcali-réaction:
Na₂O_{éq.} Moy. = 3 kg/m³ (max. admissible: 3,3 kg/m³)

- PS96.4 et PI100: lessivage possible des alcalins par infiltration d'eau

Profil de concentration en chlorures:

Ouvrages	PS96.4 (hourdis)				PI100 sens Paris/Province				PI100 sens Province/Paris		
Couche	3/6	4/6	5/6	6/6	2-3 cm	5-6 cm	11 cm	14 cm	2-3 cm	6-7 cm	>9 cm
% Cl ⁻ /ciment	0,2	0,1	0,2	0,1	1,4	0,7	0,1	0,1	0,7	1,0	0,6

- Seuil de concentration admis en ions chlorures libres: 0,4 % par rapport à la masse de ciment

- PI100:
 - apport probable des chlorures par les sels de déverglaçage
 - carottage en BAU (écoulement des sels fondus, concentration sur bas-côtés)
 - reflète le défaut d'étanchéité



Etat du béton lors du prélèvement

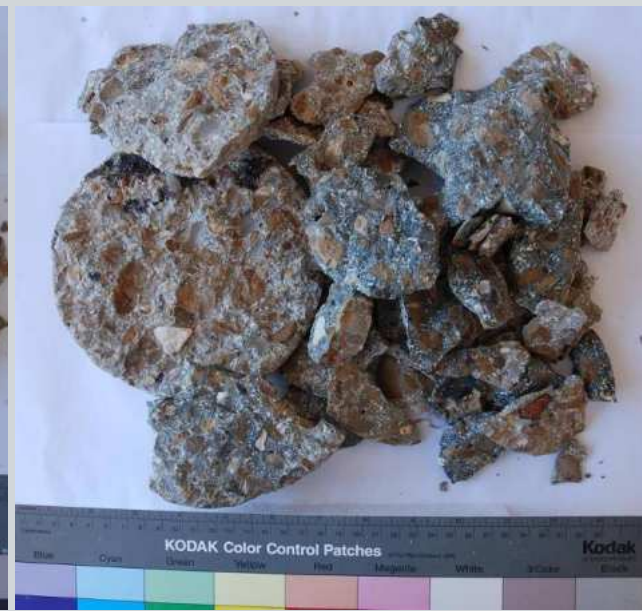
Carottage difficile...



PS96.4

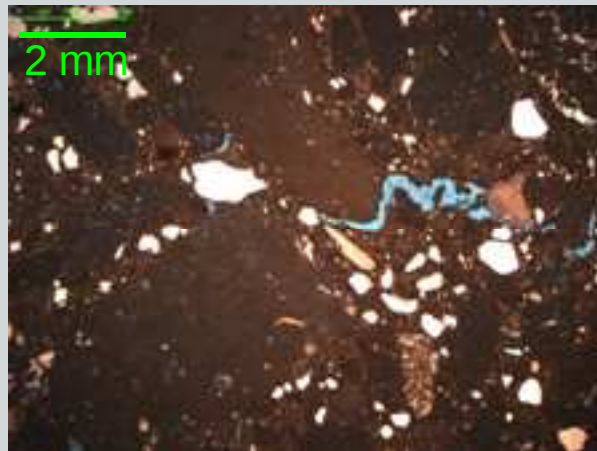


PI100 Province/Paris

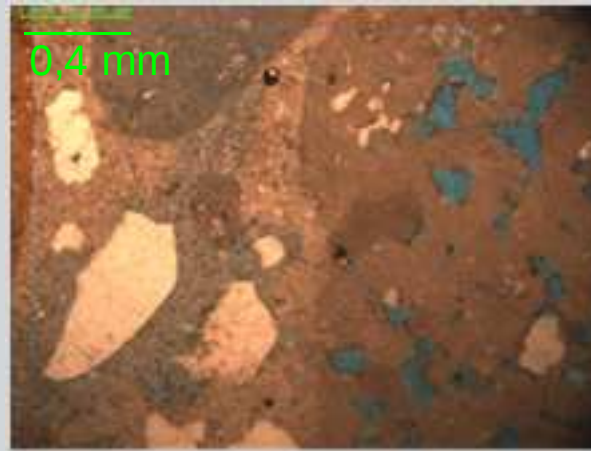


PI100 Paris/Province

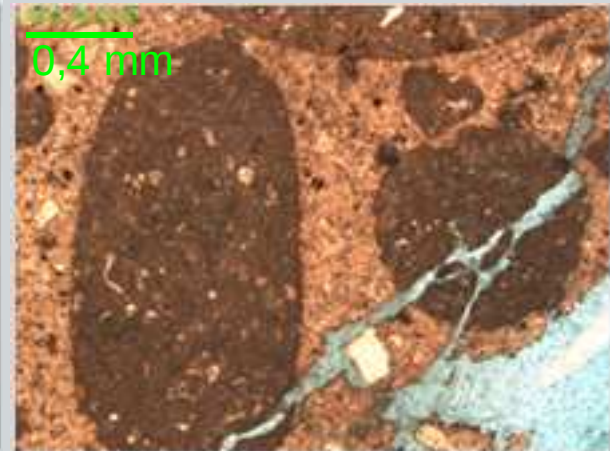
Analyse pétrographique



x10



X50



X50

- remplissage de pores et fissures par le colorant bleu
- fissures d'une dizaine de μm traversant le grain calcaire
- grains fins de calcaire arrondis (probablement d'origine alluvionnaire)
- grains fins de silex arrondis et grains de quartz anguleux (concassage)
- forte porosité des granulats calcaires et de la matrice cimentaire

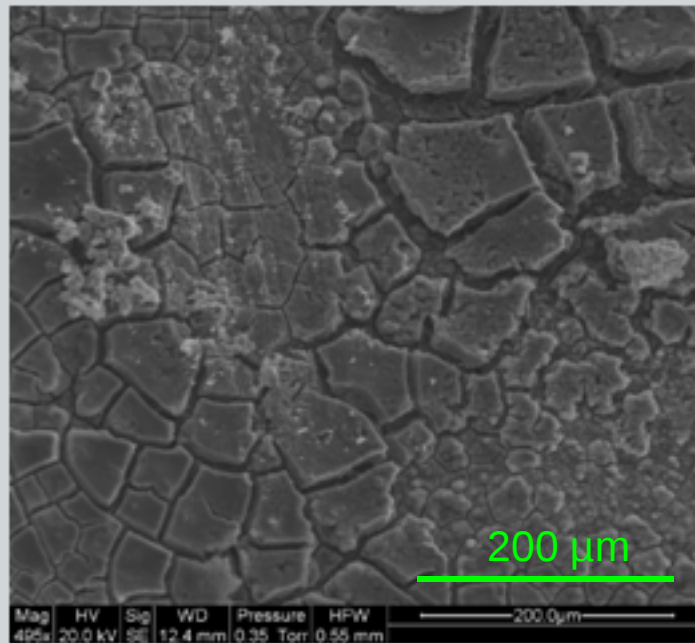
- présence de silex en faible quantité
- teneur élevée en alcalins



**risque de développement d'une
réaction alcali-silice, mais
vraisemblablement modérée**

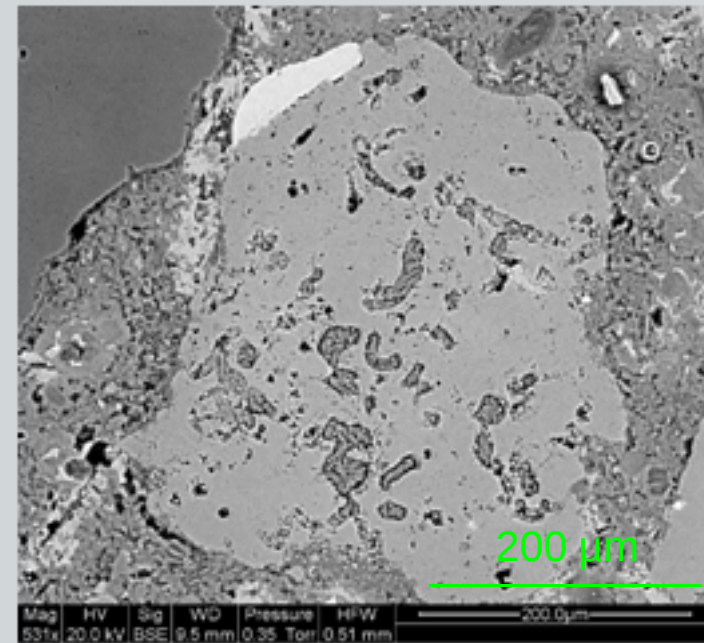


Examens au Microscope Electronique à balayage



Gel d'alcali-réaction
craquelé localisé

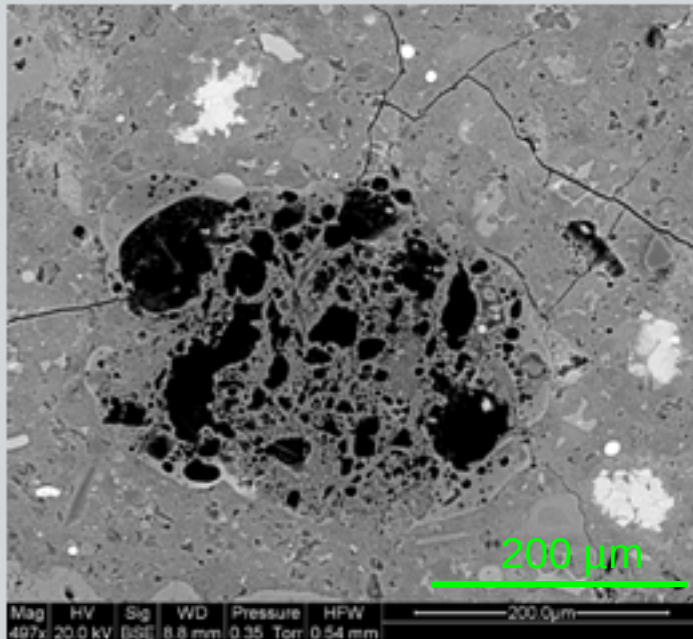
→ Faible développement
de la réaction alcali-silice



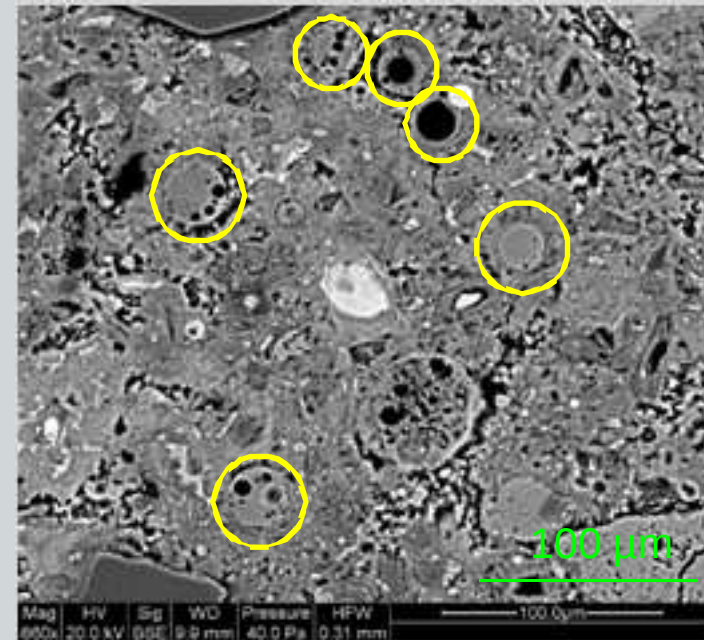
Ettringite massive dans la porosité du
granulat et n'ayant pas généré de fissures

→ Formation d'ettringite due au
phénomène de dissolution/précipitation
(défaut d'étanchéité)

Examens au Microscope Electronique à balayage



Granulat calcaire fortement poreux

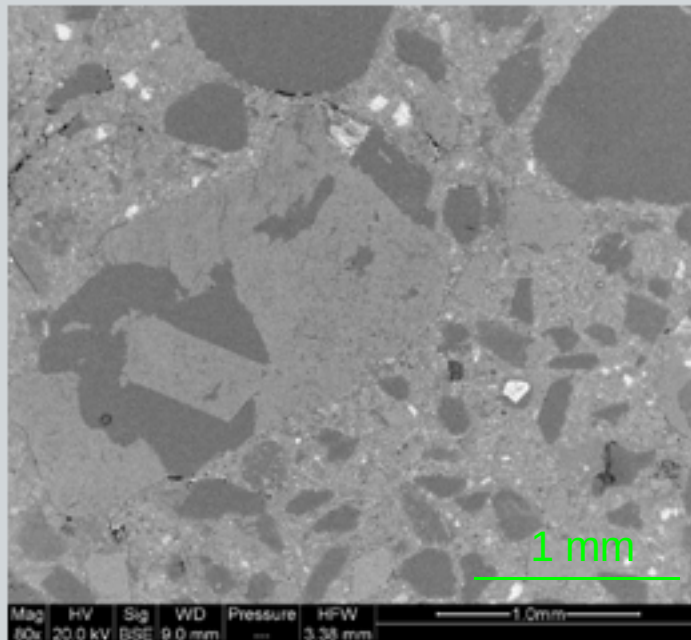


Matrice cimentaire plutôt microporeuse

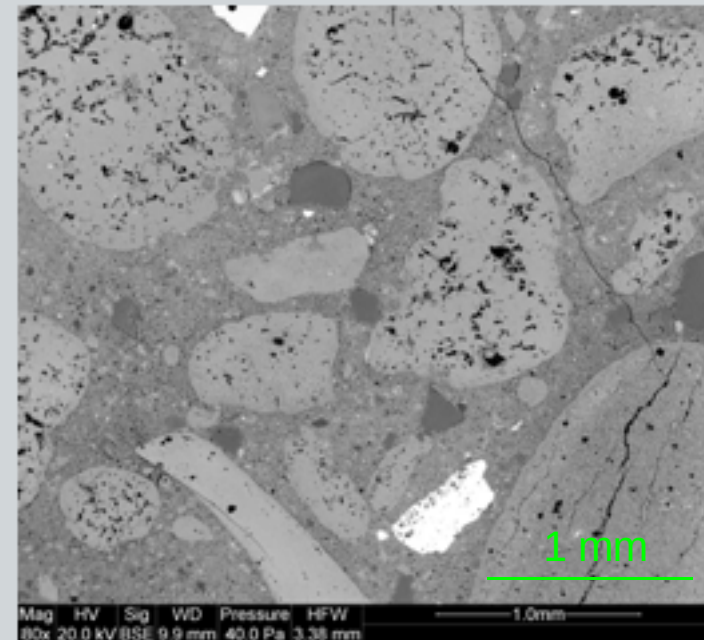
○ Cendres volantes



Examens au Microscope Electronique à balayage



Béton contenant des
granulats courants

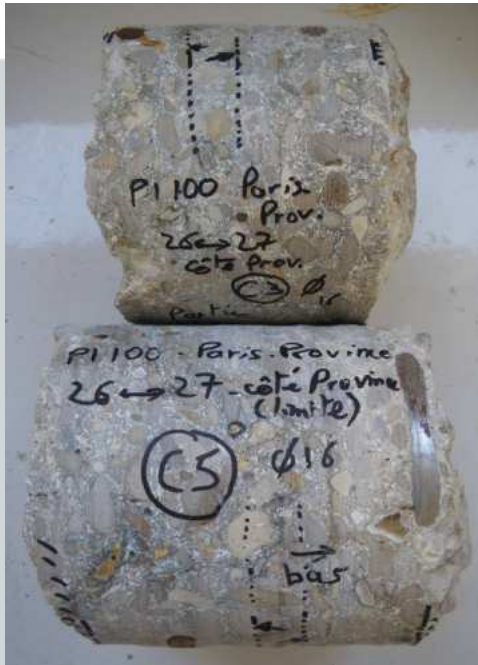


Béton contenant des
granulats poreux



Essais d'écaillage

(adaptation de la norme XP P 18-420)



ouvrage: PI100

- Valeur seuil de la masse de particules écaillées en fin d'essai: 750 g/m^2
- Masse obtenue pour ces éprouvettes : **$3\,200 \text{ g/m}^2$**

- Béton non résistant à l'écaillage
- Granulats gélifs en présence de sel



Essais de gel modéré

(adaptation de la norme NF P 18 425)



ouvrage: PS85.3

- désagrégation partielle des éprouvettes d'où arrêt des essais avant la fin des 300 cycles
- nombreux granulats éclatés sous l'effet du gel
- fissuration de la pâte et déchaussement des granulats en fin d'essai

- béton non résistant au gel modéré
- granulats gélifs



Conclusion

Pourrissement du béton (dégradation des dalles de tabliers de pont en Belgique – BLPC n°232)

- symptômes visuels: - délamination du béton
- présence de stalactites en intrados (arrivées d'eau)
- cause: gel/dégel associé à la présence de chlorures
- origine: déficience de l'étanchéité associée à l'utilisation de granulats gélifs
- effets secondaires: - localement: alcali-réaction (silex + alcalins)
- ettringite due au phénomène de dissolution/précipitation

■➡ **Nécessité :** - d'une intervention sur les ouvrages atteints
- d'une surveillance des ouvrages de conception identique



Démolition - Reconstruction

Etat du béton de dalle



Démolition - Reconstruction



Démolition - Reconstruction



Ouvrage après reconstruction



Merci pour votre attention

Remerciements:

- **Département MAT - IFSTTAR:** C. Castella, B. Duchesne-Jacqueminet, F. Ladouceur, A. Plantet, G. Platret, B. Zitoun
- **Département GER - IFSTTAR:** S. Guedon, F. Martineau
- **DLL – CETE Lyon:** S. Boulanger, M. Dierkens

