

Journées Techniques Ouvrages d'Art 2015



Incendie sur un
ouvrage
précontraint : le
Viaduc JJ. Rousseau
à Boulogne-sur-Mer

DELAHAYE Eric

Expertise réalisée en collaboration avec :

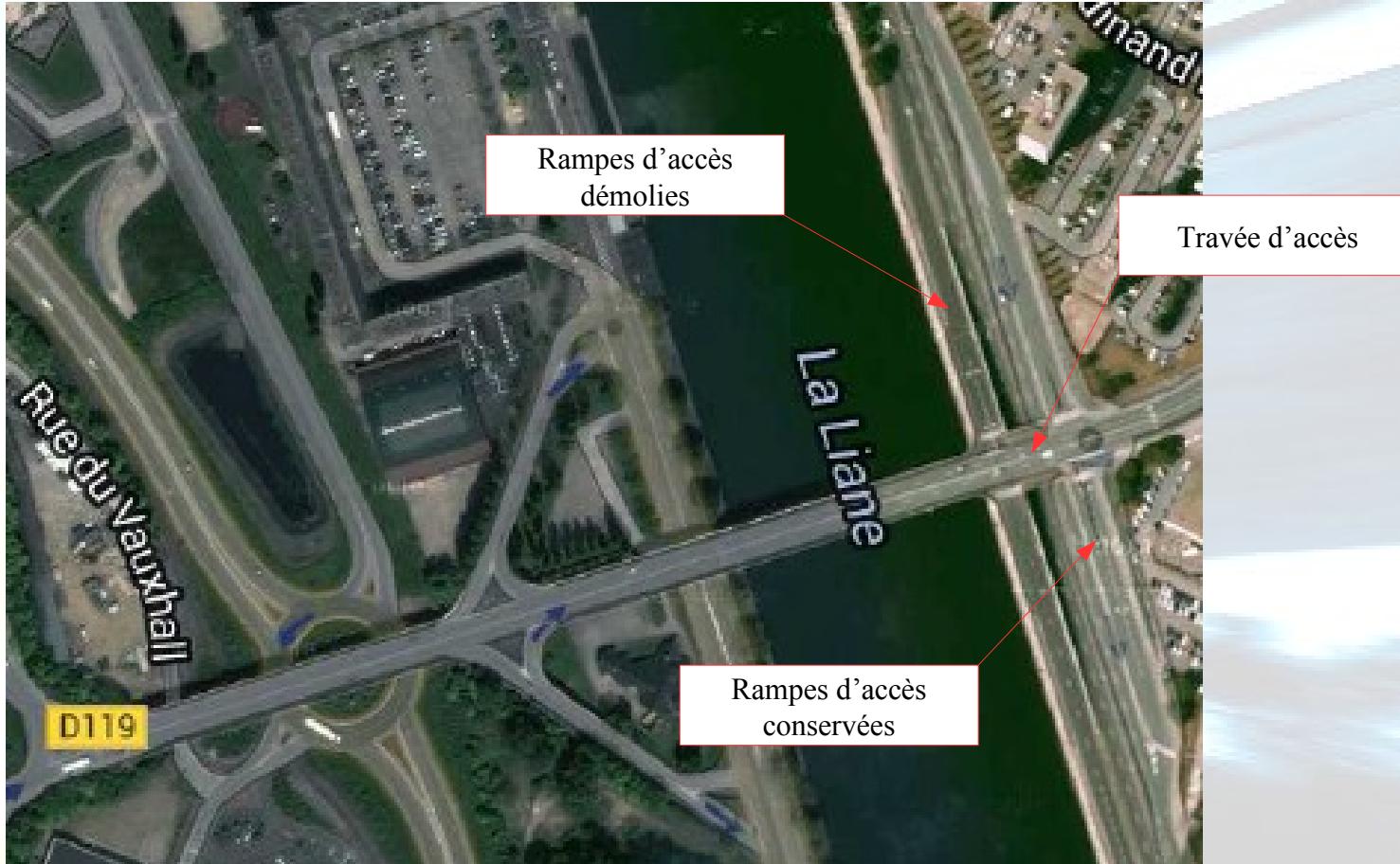
- GINGER CEBTP Béthune : M. Alain LORIOL
- IFSTTAR/MAST Nantes : MM. Michel GRASSET et Laurent GAILLET
- DTer Nord-Picardie : MM. Renaud LEGLISE et Eric JEANNEAU (UEM), FX. TIRY, Timothée SPRIET et Bernard PEREK (USM)

Pour le Conseil Général du Pas-de-Calais
(M. Olivier LANOIX)

Sommaire

- Présentation de l'ouvrage
- Incendie
- Premières constatations
- Premières réflexions et propositions
- Recalculs
- Travaux préparatoires
- Investigations
- Conclusions

Présentation de l'ouvrage



Incendie sur un ouvrage précontraint - Viaduc JJ. Rousseau

Vue de l'ouvrage



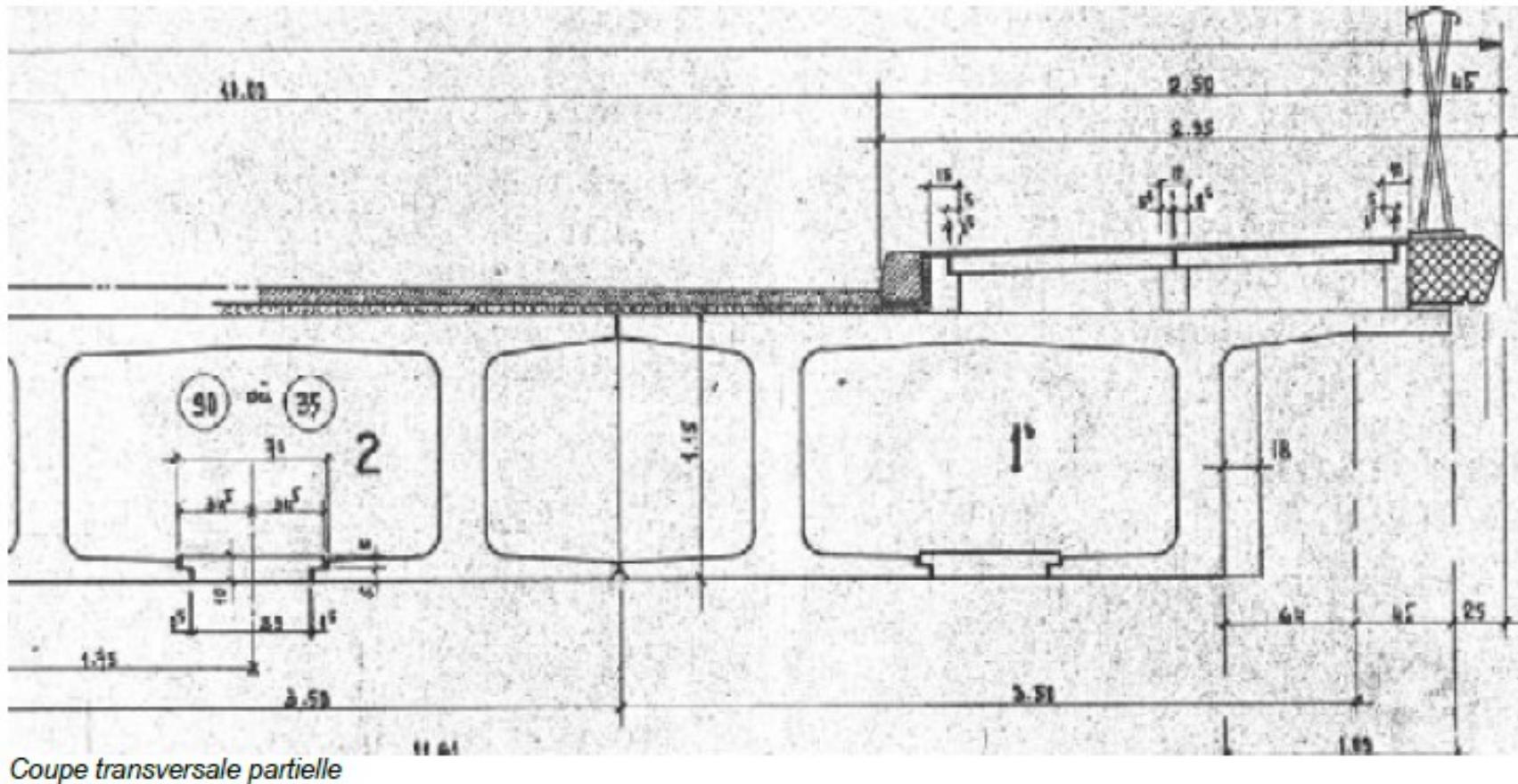
Incendie sur un ouvrage précontraint - Viaduc JJ. Rousseau

Présentation de l'ouvrage

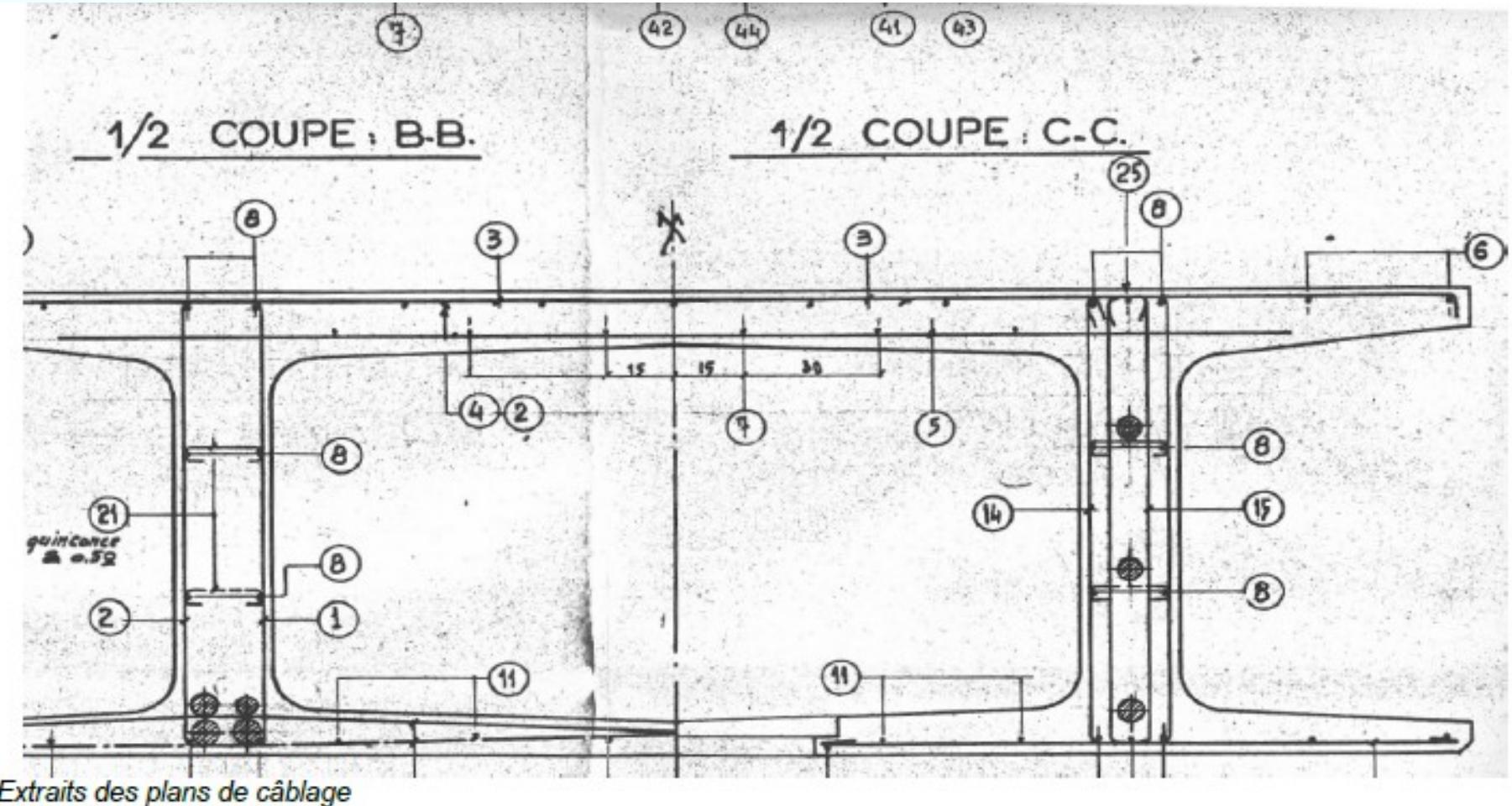
Travée d'accès indépendante

- Pont du Conseil Général du Pas-de-Calais
- Longueur de 23,50m
- Constituée de 6 poutres-caissons (largeur 3,50m, hauteur 1,15m)
- Précontrainte dans chaque âme des poutres-caissons (câbles 27Φ7 et 31Φ7)
- Une entretoise à mi-portée

Présentation de l'ouvrage



Incendie sur un ouvrage précontraint - Viaduc JJ. Rousseau



Incendie sur un ouvrage précontraint - Viaduc JJ. Rousseau

Incendie

- Sous la travée d'accès du viaduc
- Nuit du 8 au 9 septembre 2013
- Acte de vandalisme suite à stockage sous l'ouvrage de fûts de résine par l'entreprise chargée des travaux d'aménagement des berges de la Liane
- Peu d'informations sur l'incendie : grande intensité (explosion), environ 1 heure
- Prise de mesures d'urgence par le CG62 : fermeture de l'ouvrage aux PL

Premières constatations

Intervention du Cerema le 10/09/2013

- Caisson 2 principalement affecté, et caissons adjacents dans une moindre mesure
- Écaillage et éclatement du béton en intrados
- Disparition de béton et mise à nu d'armatures localement
- Fissures longitudinales médianes

Premières constatations



Intrados de la zone incendiée

Incendie sur un ouvrage précontraint - Viaduc JJ. Rousseau



Premières constatations

Visite de l'intérieur du caisson 2

- Fissuration longitudinale du hourdis inférieur (médiane et traversante)
- D'autres fissures longitudinales à proximité des âmes cheminant vers la partie centrale du hourdis
- Fracturation et feuillettage du béton, présence de vides

Premières constatations

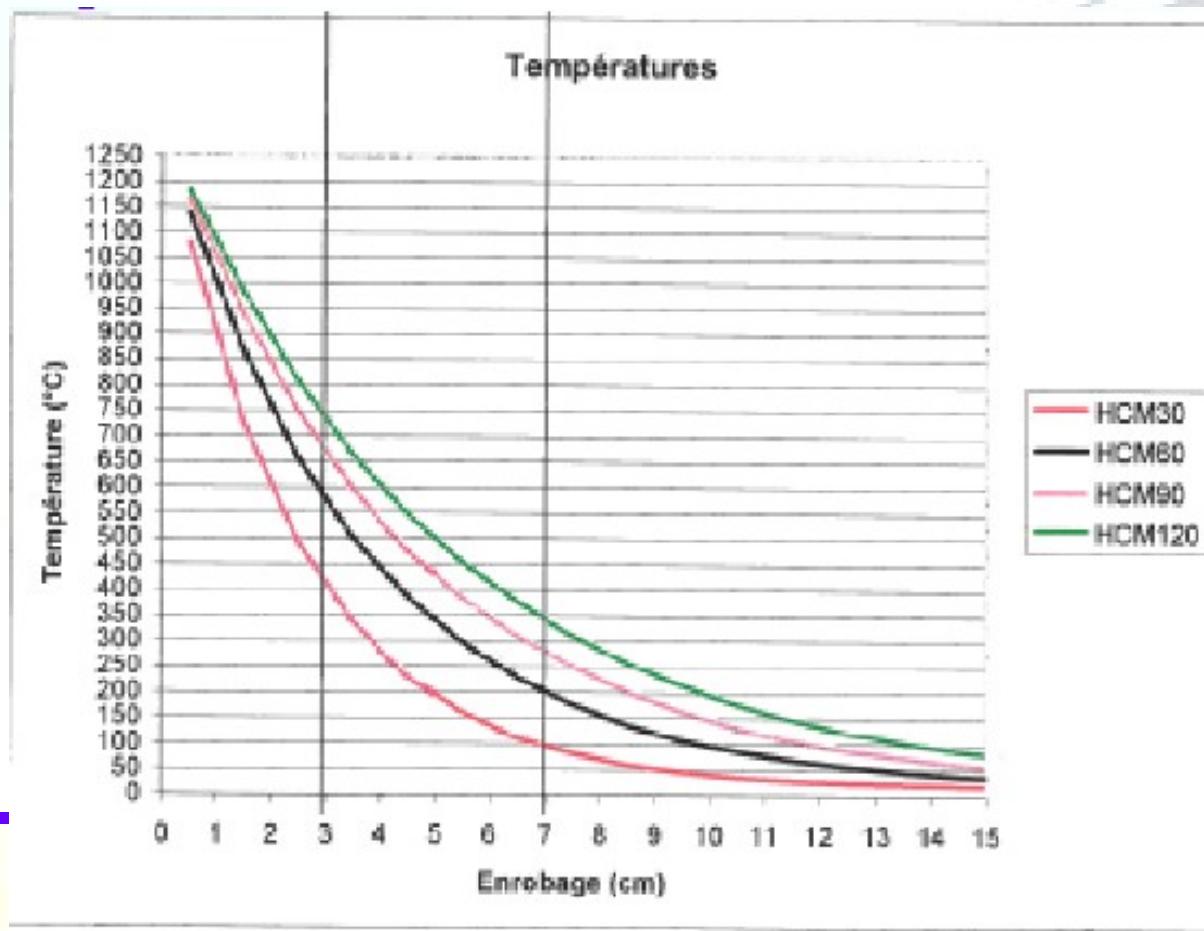


Intérieur du
caisson incendié

Incendie sur un ouvrage précontraint - Viaduc JJ. Rousseau

Premières réflexions

Quelle température atteinte au niveau des câbles de précontrainte (enrobage de l'ordre de 3 à 4 cm) ?



Température pouvant atteindre 550°C au niveau du 1^{er} lit de câbles !

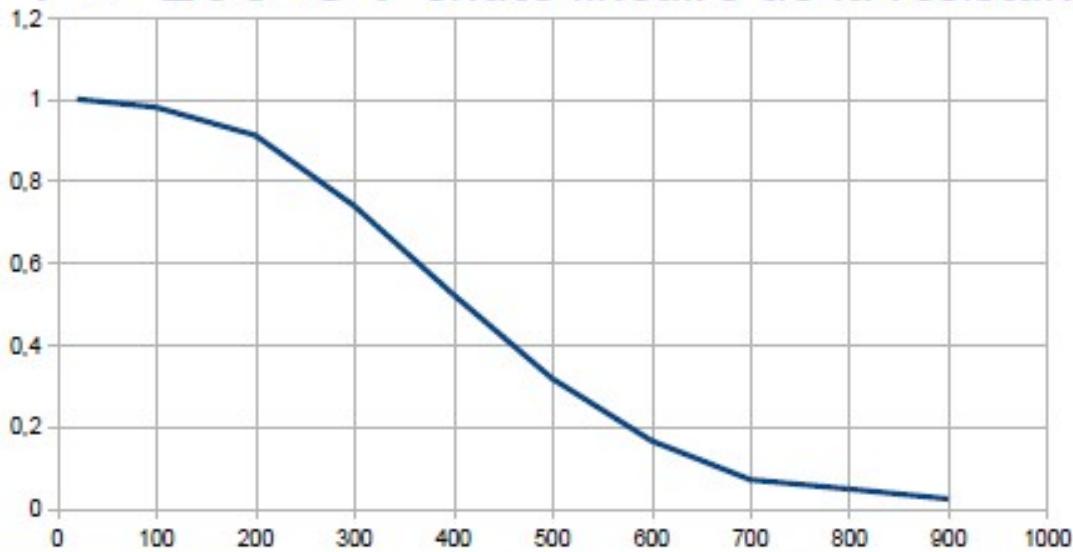
Premières réflexions

Précontrainte

Pour $T < 100$ à 150°C :

- Caractéristiques peu modifiées
- Pertes de tension limitées

Pour $T > 200^\circ\text{C}$: Chute linéaire de la résistance ultime ($\sim 50\%$ à 600°C)



Perte théorique de résistance de l'ordre de 80% à une température de 550°C pour des fils de précontrainte

Premières propositions

Suite à intervention (10/09/2013)

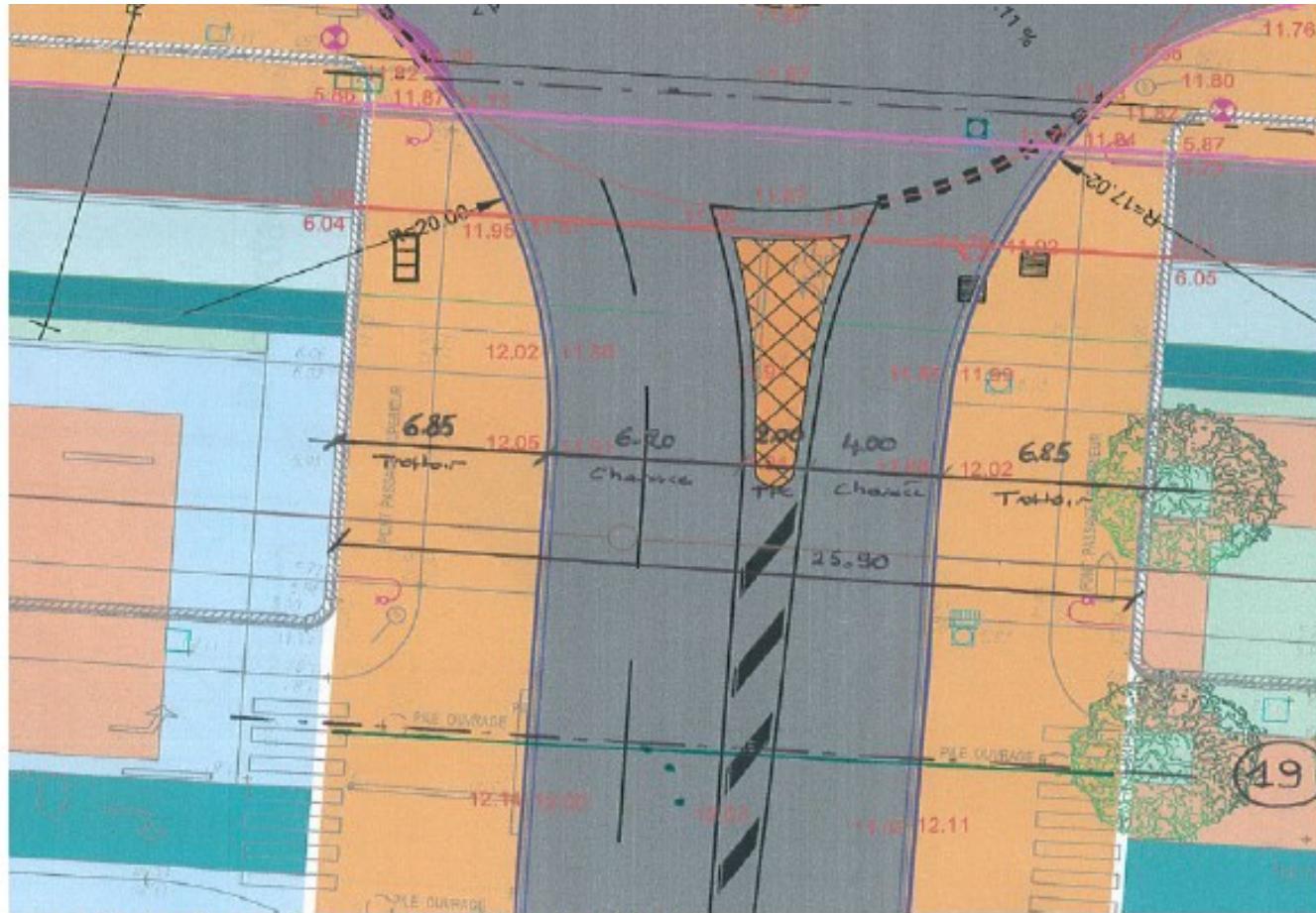
- Délimiter une zone de sécurité sous l'ouvrage (risque d'effondrement du hourdis)
- Réaliser une surveillance renforcée de l'ouvrage
- Maintenir la neutralisation de voies
- S'assurer par le calcul de la résistance du tablier sans son hourdis inférieur
- Envisager la démolition des hourdis inférieurs pour procéder aux investigations sur le béton et la précontrainte

Recalculs

Hypothèses

- Perte totale d'efficacité des 4 câbles inférieurs ($30\Phi 7$) du caisson n°2 et de 2 des 4 câbles inférieurs des caissons adjacents
- Prise en compte du profil en travers de l'ouvrage après réaménagement
- Prise en compte des charges civiles du fascicule 61 titre II

Recalcult



Profil en travers actuel après aménagement, fourni par le CG62

Incendie sur un ouvrage précontraint - Viaduc JJ. Rousseau

Recalculs

Conclusions

- Dimensionnement d'origine en précontrainte totale (peu d'acières passifs)
- Possibilité de démolir le hourdis inférieur sans fragiliser l'ouvrage
- Contraintes de traction à l'ELS fréquent légèrement supérieures à f_{tj} dans le caisson n°2
- Vérification du caisson n°2 à l'ELU quasi-permanent
- Non vérification du caisson n°2 à l'ELU sous charges de trafic, même réduites de moitié

Recalculs

Propositions

- Maintien de la restriction de circulation sur la voie proche du caisson n°2
- Réalisation d'investigations sur le béton et les câbles de précontrainte
- Mise en œuvre de mesures de mise en sécurité de l'ouvrage lors des travaux de démolition du hourdis inférieur et des investigations
- Poursuite de la surveillance renforcée de l'ouvrage

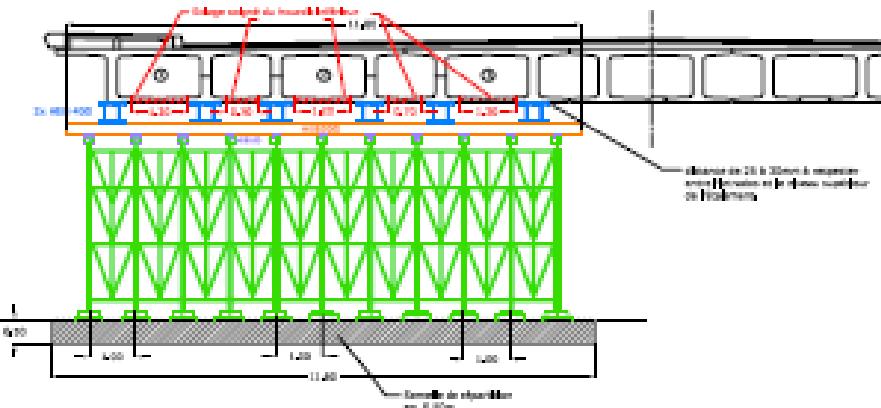
Travaux préparatoires

Marché de travaux

- Mise en œuvre d'un étaiement de sécurité (sans contact) sous les caissons n°1, 2 et 3
- Sciage et la dépose du hourdis inférieur entre les poutres des caissons n°1, 2 et 3
- Réalisation et le rebouchage de fenêtres d'investigations de la précontrainte :
 - 2 petites fenêtres 20x20 pour prélèvements et examens métallographiques
 - 1 grande fenêtre 100x30 pour prélèvement et essai de traction
 - 4 fenêtres moyennes (70x30) pour mesures à l'arbalète

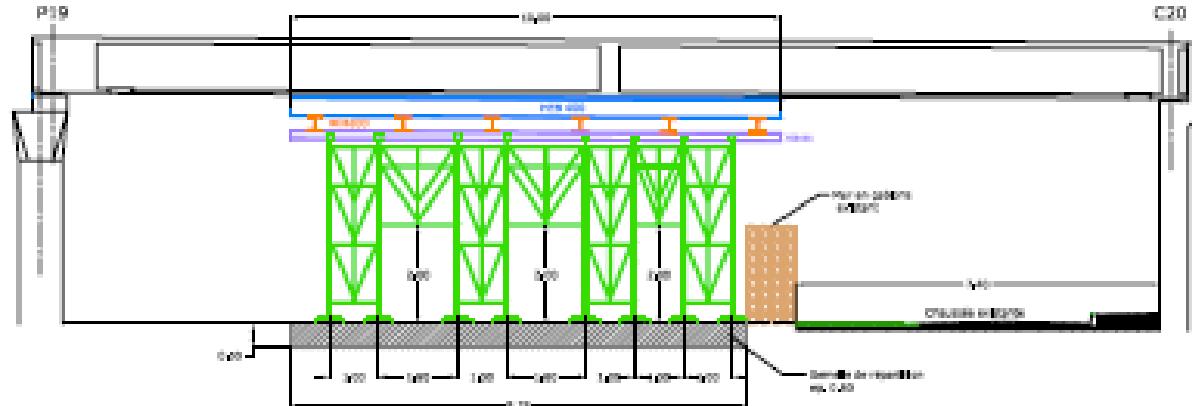
Travaux préparatoires

Coupe transversale



Principe de l'étalement

Coupe longitudinale



Incendie sur un ouvrage précontraint - Viaduc JJ. Rousseau

Investigations

Organisation

- Ginger CEBTP pour les investigations « bétons »
- Cerema et IFSTTAR pour les investigations « précontrainte »

mais... décalage des investigations

- Nouveau sinistre intervenu en novembre 2013 : effondrement d'un plot de mur de la rampe d'accès au viaduc
- Lancement de 2 appels d'offres par le CG62 pour marchés de travaux :
 - Réparation des murs des rampes d'accès au viaduc
 - Étaiement, démolition du hourdis inférieur, réalisation des fenêtres

Incendie sur un ouvrage précontraint - Viaduc JJ. Rousseau

Désordres sur murs



Effondrement d'un plot
Confortement provisoire



Incendie sur un ouvrage précontraint - Viaduc JJ. Rousseau

Réparation des murs



Clouage avec voile en béton armé

(fin des travaux : décembre 2014)



Incendie sur un ouvrage précontraint - Viaduc JJ. Rousseau

Travaux préparatoires (janvier 2015)



Sciage du hourdis inférieur

Incendie sur un ouvrage précontraint - Viaduc JJ. Rousseau

Travaux préparatoires (janvier 2015)



Mise en œuvre
de l'étalement

Investigations « bétons »

Principales conclusions

- Auscultations soniques : dégradations superficielles du béton (10 à 30mm)
- Analyses au MEB : température estimée supérieure à 570°C (fracture de grains de sable) de 20 à 45mm
- Câbles de précontrainte supposés impactés par l'incendie (température, enrobage)
- Investigations sur précontrainte indispensables

Investigations « précontrainte »

Réalisation de mesures à l'arbalète



Incendie sur un ouvrage précontraint - Viaduc JJ. Rousseau

Investigations « précontrainte »

Aspect visuel

- Bon état de conservation des fils
- Coulis compact, adhérent et homogène dans la zone saine
- Coulis très friable dans la zone incendiée



pusseau

Investigations « précontrainte »

Pertes mesurées

- Pertes totales comprise entre 28% et 34%
- Pertes légèrement supérieures dans la zone incendiée (environ 6%) :

Zones	Tmoy (kN)	Fenêtres	Tmoy (kN)	Gaines	Tmoy (kN)
Zone saine	33,7	F1	33,9	G1	30,5
				G2	37,3
	31,6	F2	33,5	G1	32,7
				G2	34,3
Zone incendiée	31,6	F3	32,2	G1	31,2
				G2	33,2
		F4	31,0	G1	29,9
				G2	32,0

Investigations « précontrainte »

Prélèvements de fils et analyses en laboratoire



Incendie sur un ouvrage précontraint - Viaduc JJ. Rousseau

Investigations « précontrainte »

Analyses et essais (IFSTTAR)

- Examens métallographiques
- Essai de traction (contrainte de rupture, limite élastique, allongement à la rupture)
- Composition chimique
- Duretés

Investigations « précontrainte »

Conclusions des analyses et essais

- État de corrosion peu développé
- Composition chimique normale pour un acier des années 60
- Pas de modification microstructurale (microstructure homogène issue d'une trempe bainitique lié au processus de fabrication)
- Bonnes caractéristiques mécaniques résiduelles (contrainte de rupture de 1495 MPa)
- Homogénéité des valeurs de dureté, cohérentes avec l'essai de traction
- Rupture ductile satisfaisante

Conclusions

Bon état des armatures de précontrainte après incendie

- Les fils n'ont pas atteint la température environnante du béton (conductivité élevée et longueur importante)
- Pertes limitées par relaxation

Pas de renforcement structurel à prévoir

- Retrait de l'étalement
- Travaux de reconstitution de la protection des câbles (enrobage)

Merci de votre participation



DELAHAYE Eric
CEREMA
DTer Nord-Picardie