

RÉPARATION DU PONT D'ISSY

REHABILITATION OF ISSY BRIDGE

Farid SAÏFI

EGIS JMI

Le pont d'ISSY construit au début des années 1970 par l'entreprise DODIN (mis en service en 1974) présentait un déficit de précontrainte longitudinale en raison de la non prise en compte des phénomènes de fluage et de gradient thermique comme la plupart des ponts en béton précontraint de sa génération.

Les désordres constatés lors du suivi de l'ouvrage, les investigations et les études de diagnostic ont conduit le Maître d'Ouvrage, le Conseil Général des Hauts de Seine, à lancer les travaux de réparation de l'ouvrage et la réfection des superstructures.

1. PRÉSENTATION

1.1. Situation

Le Pont d'Issy situé dans un tissu urbain très dense permet à la RD 50 de franchir la Seine et de relier les villes de Boulogne et Issy-les-Moulineaux. Il offre également un accès piétonnier au parc de l'Île Saint Germain, séparée par deux bras de la Seine, dénommés le "Grand bras" en rive droite côté Boulogne, et le "Petit bras" en rive gauche côté Issy. (Photo 1)

Deux ouvrages d'accès situés à l'arrière des culées côté Boulogne et côté Issy assurent la transition avec la dalle supérieure des passages inférieurs et les échanges avec les voies situées sur les quais de la Seine.

A proximité, en rive gauche, est située la station Issy-Val de Seine, nœud de transport à la jonction du terminus du tramway T2 circulant jusqu'à la Défense, et du RER C desservant le sud-ouest parisien.

Like most of the prestressed concrete bridges of its generation, the Issy Bridge over the Seine River, built at the beginning of the nineteen-seventies by DODIN (inaugurated in 1974), had insufficient longitudinal prestressing, due to the fact that creep and thermal gradient had not been included in the design calculations.

The deterioration observed during regular monitoring of the bridge, confirmed by the investigations and diagnostic studies, prompted the bridge owner, Hauts de Seine Regional Authority, to carry out repairs and rehabilitate the superstructure.

1. PRESENTATION

1.1. Location

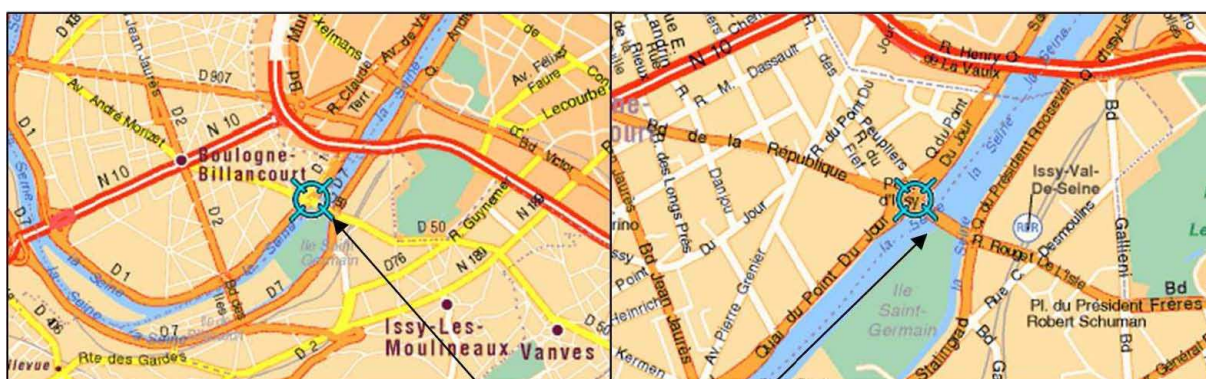
The Issy Bridge, located in a very dense urban fabric in Greater Paris, carries road RD 50 across the Seine, linking the towns of Boulogne on the west and Issy-les-Moulineaux on the east. It also offers pedestrian access to the park on Saint Germain Island, which separates the Seine into a major branch called "Grand bras" (GB) on the Boulogne side and a minor branch called "Petit bras" (PB) on the Issy side (Photo 1).

Two approach structures located behind each of the abutments connect the bridge to the top slab of the lower underpasses and the interchanges with the Seine embankment roads.

The Issy-Val de Seine mass transit station on the east bank stands at the junction of the terminus of tram line T2 to La Défense and the RER C rapid-transit train line to the south-western suburbs of Paris.



Photo 1 : Vue générale élévation amont de l'ouvrage / Overall view in elevation upstream of bridge



Pont d'Issy

Plan de situation / Site plan

1.2. Travure de l'ouvrage

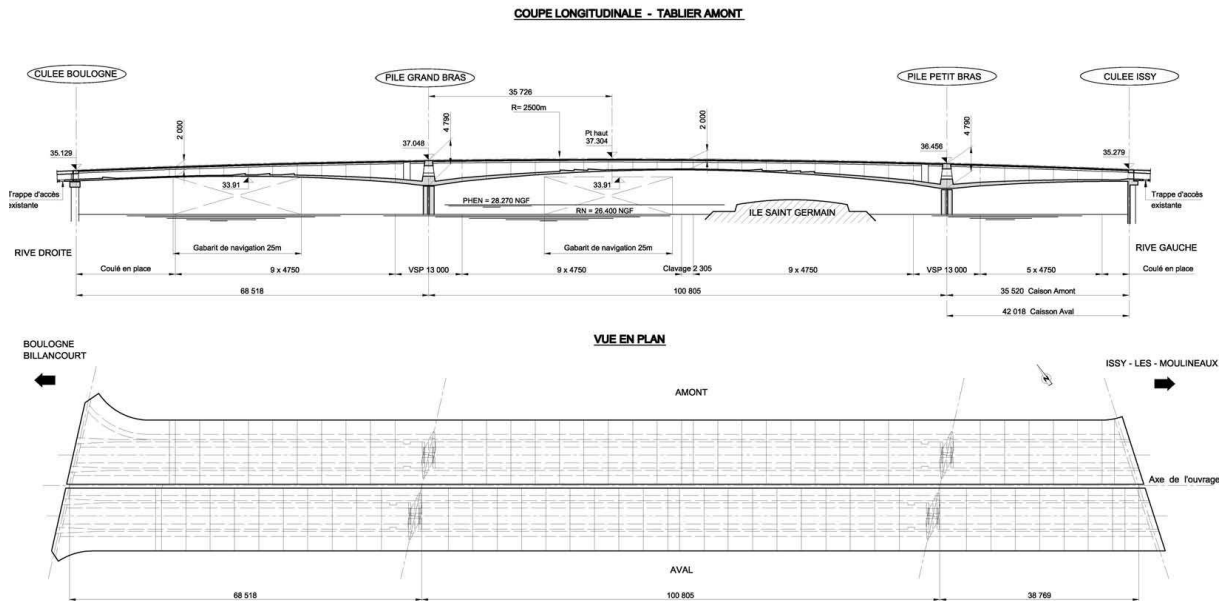
L'ouvrage se compose de trois travées continues : travée de rive côté Boulogne de 68,52 m de portée, travée centrale de 100,80 m et travée de rive côté Issy-les-Moulineaux de 35,52 m pour le tablier amont, et 42,02 m pour le tablier aval.

Compte-tenu de la faible longueur de la travée de rive côté Issy par rapport à la travée centrale, l'appui sur la culée rive gauche est muni d'un dispositif anti-soulèvement.

1.2. Spans

The bridge consists of three continuous spans: an end span of 68.52 m on the Boulogne side, a 100.80 middle span and, on the Issy side, an end span of 35.52 for the upstream deck and 42.02 for the downstream deck.

Because the span on the Issy side is much shorter than the middle span, the east abutment bearing has an uplift restraint device.



Coupe longitudinale et vue en plan / Longitudinal section and plan view

1.3. Géométrie

Le profil en long du tablier présente un rayon saillant de 2500 m.

Le profil en travers de l'ouvrage offrait avant travaux deux chaussées de 9,00 m de largeur comportant chacune 3 voies de circulation dans chaque sens, séparées par un îlot central de 1,00 m et bordées d'un trottoir de 2,30 m de chaque côté, placé derrière une bordure Autonor. La largeur hors-tout du tablier est de 25,40 m en section courante.

Lors des travaux la coupe transversale fonctionnelle a été modifiée au profit des liaisons douces. Une piste cyclable de largeur 1.95 m a été rajoutée de chaque côté moyennant la suppression d'une voie de circulation.

1.4. Appuis

Les appuis sont fondés dans la craie (taux de travail de 3 à 4 bars) sur des semelles superficielles construites à l'abri de batardeaux. (Photo 2).

Les culées du pont sont en fait des piles-culées. Côté rive gauche, le voile de la culée est précontraint verticalement afin d'éviter le soulèvement sur appui, tout en autorisant les déplacements longitudinaux et les rotations.

1.3. Geometry

The lengthwise profile of the deck has a projecting radius of 2500 m.

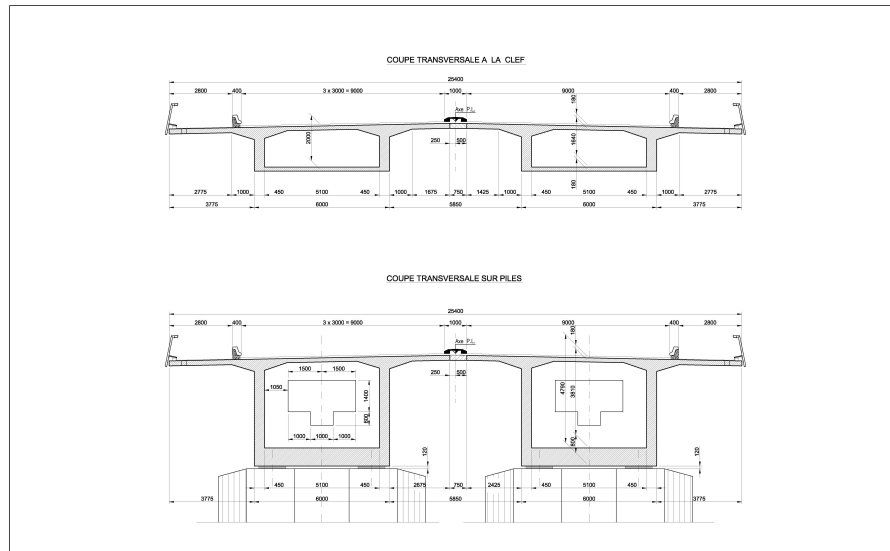
The cross-sectional profile of the bridge before rehabilitation comprised two 9.00 m carriageways each consisting of 3 lanes of traffic moving in opposite directions separated by a 1.00 m wide central reservation. The 2.30 m sidewalks on each side were protected from traffic by raised curbs. The overall width of the deck is 25.50 m in the typical section.

During rehabilitation, the functional cross-section was modified to accommodate green traffic: a 1.95 m wide bike lane was added on each side, replacing one of the traffic lanes.

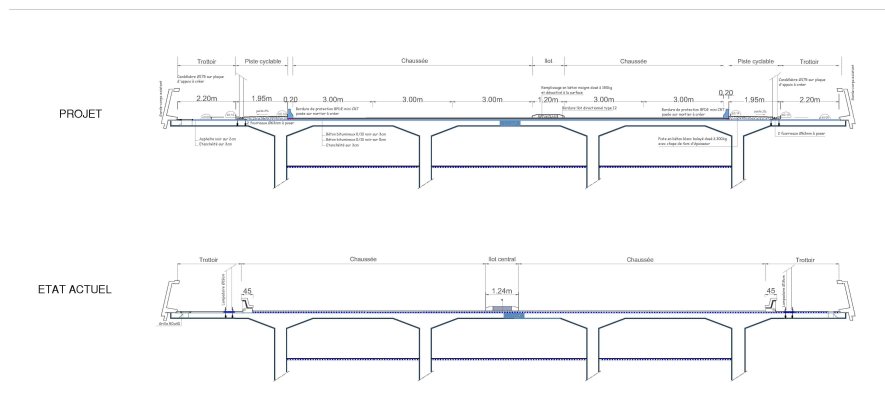
1.4. Substructure

The piles are founded in chalk (working stress of 0.3 to 0.4 MPa) on surface footings built inside cofferdams. (Photo 2)

The abutments are actually abutment piers. On the east bank, the abutment wall is prestressed vertically to prevent uplift on the pier, while allowing longitudinal displacement and rotation.



Coupe transversale (hors réseaux) avant travaux / Cross-section (excluding utilities) before rehabilitation



Coupe transversale fonctionnelle avant travaux et après travaux
Functional cross-section before and after rehabilitation



Photo 2 : Piles Petit Bras (photo prise depuis RG aval) / Petit Bras piers (photo taken upstream from east bank)

Les piles et la culée côté Boulogne sont équipées d'appui en caoutchouc fretté dont les caractéristiques sont récapitulées dans le tableau ci-après :

The piers and abutment on the Boulogne side are equipped with steel-reinforced elastomeric bearings whose properties are summed up in the following table:

Partie d'ouvrage <i>Part of structure</i>	Type <i>Type</i>	Nombre <i>Number</i>	Caractéristiques <i>Properties</i>
Culée côté rive gauche : <i>East abutment :</i>	Encastrement et anti-soulèvement <i>End restraint and uplift restraint</i>	2	Voile en BP 4 x 12T13 par ½ pont + lest <i>PC wall</i> 4 x 12T13 par ½ bridge + ballast
Culée côté rive droite : <i>West abutment :</i>	Caoutchouc fretté <i>Reinforced elastomer</i>	7	Muni d'une plaque de glissement et de dispositif anti-cheminement <i>Equipped with sliding plate and displacement restraint</i>
TABLIER AVAL / DOWNSTREAM DECK:			
Extérieur en rive aval / <i>External on downstream bank</i>		1	400 x 500 x 5 x (12 + 3)
Sous l'âme aval / <i>Under downstream web</i>		1	400 x 500 x 5 x (12 + 3)
Sous l'âme amont / <i>Under upstream web</i>		1	400 x 450 x 5 x (12 + 3)
TABLIER AMONT / UPSTREAM DECK:			
Sous l'âme aval / <i>Under downstream web</i>		1	400 x 450 x 5 x (12 + 3)
Sous l'âme amont / <i>Under upstream web</i>		1	400 x 500 x 5 x (12 + 3)
Extérieur en rive amont / <i>External on upstream bank</i>		1	400 x 500 x 5 x (12 + 3)
Nouvel appareil sous l'encorbellement amont <i>New bearing pad under upstream cantilever</i>		1	250 x 250 x 4 x (10 + 3)
Piles Grand Bras <i>Grand Bras piers</i>	Caoutchouc fretté <i>Reinforced elastomer</i>	8	blocs 600 x 1000 x 5 (20 + 4) accolés 2 à 2 600 x 1000 x 5 (20 + 4) blocks bracketed 2 x 2
Piles Petit Bras <i>Petit Bras piers</i>	Caoutchouc fretté <i>Reinforced elastomer</i>	8	blocs 600 x 1000 x 2 (20 + 4) accolés 2 à 2 600 x 1000 x 2 (20 + 4) blocks bracketed 2 x 2

1.5. Tablier

Il s'agit d'un tablier en béton précontraint, construit par encorbellements successifs à l'aide de voussoirs coulés en place. Le tablier est constitué de deux poutres caissons à âmes verticales. Le demi-pont amont a été mis en service en février 1973 ; une précontrainte transversale de solidarisation des deux demi-ponts a été mise en œuvre en fin de construction (août 1974).

La précontrainte longitudinale est constituée de trois séries de câbles :

- câbles de fléau 12T15,
- câbles de continuité 12T15 remontant dans les âmes jusqu'au hourdis supérieur,
- câbles de continuité 12Ø8 placés dans le hourdis inférieur et sur toute sa largeur.

1.6. Superstructures et équipements

En sus des équipements habituels, le tablier est équipé de candélabres de type « Venise » avec un mât de 11 m et crosse arrière à 4,50 m de hauteur.

1.5. Deck

The deck is made of prestressed concrete and was built by cast-in-place segmental balanced cantilever construction. It consists of twin box girders with vertical webs. The upstream half-bridge began operating in February 1973. Transverse prestressing to unite the two half-bridges was carried out at the end of construction in August 1974.

The longitudinal prestressing consists of three sets of cables:

- 12T15 cantilever cables,
- 12T15 continuity cables passing through the webs up to the top slab.
- 12 dia 8 continuity cables along the entire width of the bottom slab.

1.6. Deck equipment

In addition to the usual equipment, the deck has "Venitian" type lamp posts with 11-m posts and a rear bracket arm 4.50 m above the ground.

1.7. Réseaux concessionnaires

Compte-tenu de la situation urbaine du pont d'Issy, un grand nombre de réseaux concessionnaires emprunte cet ouvrage. (Photos 3 à 5)



Photo 3 : Réseaux concessionnaires dans le caisson amont avant travaux (à gauche ligne HT 63 kV, à droite batterie de fourreaux FT)

Utilities in upstream girder before rehabilitation (on left, 63 kV HV line, on right, France telecom ducts)



Photo 4 : Réseaux concessionnaires entre les 2 caissons avant les travaux (on aperçoit notamment 2 tuyaux Ø800 CGE et une conduite de gaz à droite)

Utilities in both girders before rehabilitation (including 2 dia 800 mm water pipes and gas pipe on the right).

On peut mentionner les réseaux suivants :

- RTE ligne HT de 63 à 225 kV
- RATP ligne HT de 15 kV
- EDF ligne HT de 20 kV
- VEOLIA EAU (Ø 700 mm)
- GDF (Ø 200 mm)
- Fourreaux France Telecom placés dans 2 Ø 300 mm
- Fibres optiques LEVEL 3, COLT et SITER (batterie de fourreaux Ø 32mm)
- CPCU - chauffage urbain (Ø600 et Ø400 mm) etc.

A l'origine les réseaux étaient logés dans le caisson amont, le caisson aval, ainsi que dans l'espace central situé entre les deux caissons.

1.7. Utilities

Because of the urban location of the Issy Bridge, it carries a large number of utilities (photos 3 and 5).



Photo 3b : Réseaux concessionnaires dans le caisson aval avant travaux (à gauche CPCU, à droite RTE, ligne HT 225kV)

Utilities in downstream girder before rehabilitation (on left, district heating, on right RTE 225 kV HV line)



Photo 5 : The area between the girders before the utilities were moved / L'espace entre caissons après travaux de déplacement des réseaux

The following utilities are to be found on the bridge:

- RTE 63 to 225 kV HV power line
- 15 kV HV train line
- EDF 20 kV HV power line
- VEOLIA water pipe (dia 700 mm)
- Gas pipe (dia 200 mm)
- France Telecom conduits inside two dia 300 mm ducts
- Level3, Colt and Siter optical fibers (set of dia 32 mm ducts)
- CPCU district heating (dia 600 and dia 400 mm), etc.

Originally, the utilities were housed in the twin box girders and in the central area between the two.

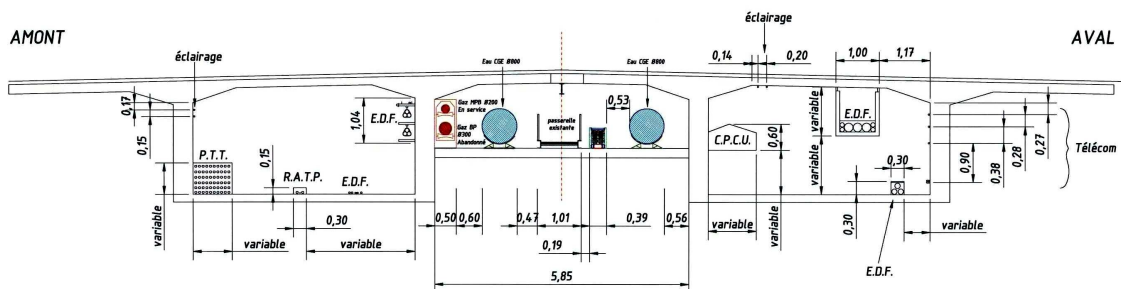
Suite à l'EPROA réalisé par JMI, il a été décidé de déplacer tous les réseaux en dehors des caissons pour faire place aux travaux de renforcement du pont.

Finalement, à l'exception d'une ligne HT de 63 kV restée dans le caisson amont, une ligne HT de 225 kV restée dans le caisson aval, l'ensemble des autres réseaux ont été déplacés entre les 2 caissons par les concessionnaires concernés, sous coordination de l'UGTEV du Conseil Général et avec l'appui technique d'ECERP/JMI, avant le démarrage des travaux de renforcement structurel.

After the preliminary rehabilitation studies carried out by JMI, it was decided to take all the utilities out of the box girders to facilitate the remedial work.

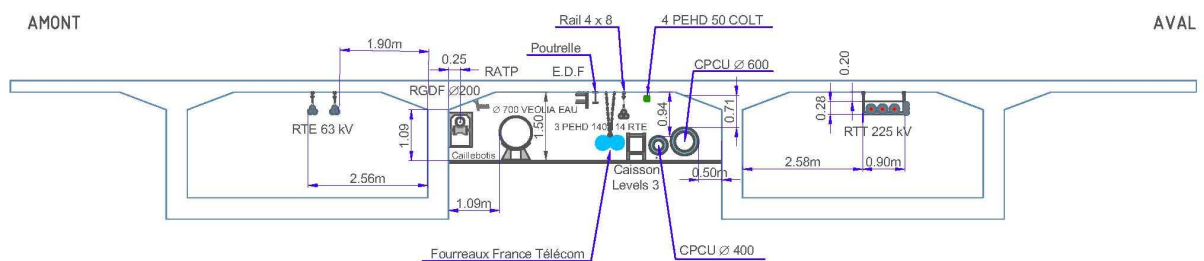
Finally, with the exception of a 63 kV HV line in the upstream box and a 225 kV HV line in the downstream box, all the utilities were transferred to the area between the two girders by the utility companies concerned, under the coordination of the regional authority's main roads department and the technical support of ECERP/HMI before the structural reinforcement work began.

COUPE TYPE



Coupe type des concessionnaires avant travaux / Typical cross-section of utilities before rehabilitation

Coupe Type Concessionnaires Après Travaux



Coupe type des concessionnaires après travaux / Typical cross-section of utilities after rehabilitation

2. SUIVI DE L'OUVRAGE

2.1. Les inspections périodiques

Cinq inspections détaillées ont été réalisées depuis la mise en service de l'ouvrage :

- 1986 : Laboratoire Régional de l'Est Parisien – L.R.E.P.
- 1991 : société Assistance Ouvrages d'Art – A.O.A.
- 1996 : société A.O.A.
- 2000 : société A.O.A.
- 2005 : société ECERP

2. BRIDGE MONITORING

2.1. Periodical inspections

Five detailed inspections have been carried out since the bridge was commissioned:

- 1986 : Laboratoire Régional de l'Est Parisien – L.R.E.P.
- 1991 : Assistance Ouvrages d'Art – A.O.A.
- 1996 : A.O.A.
- 2000 : A.O.A.
- 2005: ECERP

Lors de l'inspection détaillée réalisée en 1991 (et confirmée par les inspections suivantes), des désordres structuraux ont été constatés sur ouvrage.

Les principales conclusions de ces inspections sont :

- Fissuration anormale à l'intérieur des caissons à la jonction hourdis inférieur / âme à mi-portée de la travée centrale. Cette fissuration est plus marquée dans le caisson amont où l'ouverture de la fissure atteint 1,0 à 1,5 mm, contre 0,3 mm pour le caisson aval. La zone d'apparition de ces fissures est également moins étendue sur le caisson aval : 1 voussoir de part et d'autre du clavage contre 3 voussoirs de part et d'autre du voussoir de clavage, soit environ 30 m.
- Cette fissuration s'accompagne de fissures longitudinales de 0,1 à 0,3 mm en intrados des caissons, dans les mêmes zones et avec la même dissymétrie entre caissons amont et aval. Dans le caisson amont, quelques aciers sont apparents et une ségrégation du béton à la base de l'âme était constatée.
- Une fissuration horizontale en partie supérieure du voile anti-soulèvement côté Issy.
- Une distorsion importante et une corrosion avancée des parties métalliques des appuis glissants se trouvant sur la culée côté Boulogne (ces appareils ont été changés en 1998 puis 2006 par VSL).

Les inspections périodiques ont aussi mis à jour le mauvais état des superstructures et de certains équipements assurant la pérennité de l'ouvrage :

- Les appareils sur piles
- Les joints de chaussée
- L'étanchéité et le revêtement du trottoir

2.2. Recalculs du tablier

Les constats faits au cours de l'inspection détaillée de 1991 ont amené le Conseil Général 92 à mandater la D.R.E.I.F. pour un recalcul de l'ouvrage vis-à-vis de la réglementation en vigueur ; ce recalcul, réalisé avec le programme ST1 du SETRA et en tenant compte du phasage de construction de l'ouvrage a été achevé en février 1998. Il permettait d'appréhender les causes des désordres et d'envisager les actions à entreprendre par la suite. Ses principales conclusions peuvent être formulées ainsi :

- Vis à vis de la flexion longitudinale, l'ouvrage était sous-dimensionné à la fois en section de béton (l'élancement au 1/50ème à la clé est très tiré) et en force de précontrainte. Pour un ouvrage datant des années 1970, ceci est caractéristique de l'absence de prise en compte du gradient thermique et de la redistribution par fluage qui n'était pas d'usage au moment de sa conception. L'ouvrage ne présentait toutefois pas de pathologie symptomatique de cette insuffisance, les charges d'exploitation réellement appliquées restant probablement bien inférieures aux charges de calcul.

During the detailed inspection conducted in 1991 (and confirmed by subsequent inspections), structural problems were observed on the bridge.

The main conclusions were as follows:

- *Abnormal cracking inside the box girders at the junction between the bottom slab and the web in the middle of the main span. The cracking was more apparent in the upstream girder where the crack opening was 1.0 to 1.5 mm, against 0.3 mm in the downstream girder. The crack initiation zone is less extensive on the downstream girder: 1 segment on either side of the closure segment against 3 segments on either side of the closure segment for the upstream girder, i.e. about 30 m.*
- *The above cracking was accompanied by longitudinal cracks of 0.1 to 0.3 mm on the soffit of the box girders, in the same areas and with the same dissymmetry for both the upstream and downstream girders. Several reinforcements were visible in the upstream girder, and segregation of the concrete at the base of the web was observed.*
- *A horizontal crack on the upper part of the uplift restraint wall on the Issy side.*
- *There was also important distortion and advanced corrosion of the metal parts of the sliding bearings on the Boulogne abutment (the bearings were changed by VSL in 1998 and 2006).*

The periodical inspections also showed the poor state of repair of the deck equipment; some of these equipment parts are essential to the durability of the bridge:

- *The bearings on the piers*
- *The road joints*
- *Waterproofing and deck wearing surface of the sidewalk.*

2.2. Recalculation of deck

The observations made during the 1991 detailed inspection prompted the Regional Authority to ask the regional transport department to recalculate the bridge according to the current regulations. The new calculations, carried out using SETRA's ST1 software and taking the bridge construction sequencing into account, was completed in February 1998. They explained why the damage had occurred and what remedial action could be envisaged. The main conclusions can be summed up as follows:

- *In terms of longitudinal deflection, the bridge was under-dimensioned both with respect to the cross-section of the concrete (a slenderness ratio of 1/50 at closure is very tight) and the prestress. This is characteristic of a bridge built in the seventies when it was not usual practice to take the thermal gradient and creep redistribution into account. The bridge, however, did not show any of the usual symptoms of this type of insufficiency, probably because the actual operating loads remained well below the design loads.*

- Vis-à-vis de la flexion transversale, il existait un défaut de conception de coffrage (absence de gousset) et de ferrailage à la jonction hourdis/âme, qui expliquait les fissures constatées à cet endroit et la fissuration longitudinale en intrados des caissons. Le phénomène était nettement accentué sur le caisson amont par rapport au caisson aval, probablement du fait de la mise en service anticipée du caisson amont.
- L'interaction entre flexion longitudinale et flexion transversale dans la zone endommagée : "la mise en traction du hourdis inférieur courbe engendre une poussée au vide pouvant contribuer à une mise en flexion excessive du hourdis dans cette zone et faire apparaître de ce fait une fissuration préjudiciable pour la pérennité de l'ouvrage".
- In terms of transverse deflection, there was a flaw in the design of the formwork (no fillet) and the reinforcements at the slab/web junction which explains the presence of cracking in that area and longitudinal cracking on the soffit of the box girders. The problem was more apparent on the upstream girder than on the downstream girder, probably due to the fact that the upstream girder was brought into use earlier.
- In terms of the interaction between the longitudinal deflection and the transverse deflection in the damaged area, "the tensile stress exerted on the curved bottom slab produces an outward thrust that may contribute to excessive deflection of the slab in this zone and thus result in cracking that could affect the durability of the bridge".

Le recalcul concluait que les désordres constatés n'étaient pas de nature à mettre en cause la sécurité des usagers à court terme, à condition de renforcer la surveillance de l'ouvrage. A plus long terme, le DREIF recommandait d'engager une Etude Préliminaire de Renforcement d'Ouvrage d'Art pour palier les problèmes rencontrés.

2.3. Solution de renforcement proposée

A l'issu de l'EPROA et des études de projet réalisées par Egis JMI, les dispositions suivantes ont été retenues dans le dossier d'appel d'offre :

Vis-à-vis de la flexion transversale,

Réparation de la fissuration à la jonction hourdis / âme par ajout d'un gousset en béton armé de section rectangulaire, connecté par un ferrailage passif à l'âme et au hourdis inférieur existant, d'une longueur de 25 m environ à mi-travée centrale. (Photos 6 et 7)



Photo 6 : Forage du caisson en vue du scellement des armatures HA du gousset central à créer
Drilling of box girder in order to grout the HB reinforcements in the future central fillet.



Photo 7: Grouting of reinforced concrete fillet reinforcements at mid-span
Scellement des armatures du gousset en béton armé à mi-travée centrale

Vis-à-vis de la flexion longitudinale

Renforcement par câbles additionnels de précontrainte extérieure au béton (et intérieurs aux caissons) de type 19T15S :

- 2 câbles longs de 175 m situés contre l'âme et régnant sur la travée de rive côté Boulogne et la travée centrale,
- 2 câbles de 110 m sur la travée centrale.

Ces câbles sont ancrés à leurs extrémités dans les massifs en béton armé plaqué contre l'âme existante par des barres courtes de haute limite d'élasticité (16 à 18 unités de diamètre 50 mm par massif).

Les massifs d'ancrage de câbles de renfort de la travée centrale sont coulés directement contre les entretoises sur pile. Cependant, ces entretoises n'ont pas été prises en compte dans le calcul de stabilité des massifs.

La conception du tracé des câbles a intégré l'efficacité mécanique, la simplicité d'exécution et la limitation des efforts parasites :

- En plan, câbles rectilignes sans aucune déviation, placés au plus près des âmes du caisson,
- En élévation, déviations sur piles et dans 3 déviateurs intermédiaires, dont 2 en travée centrale, situés aux extrémités du nouveau gousset. (photo 8)

Le tracé du câblage présente la particularité de passer à l'intérieur du nouveau gousset sur une longueur de 25 m. Ceci s'explique par la géométrie de l'ouvrage et la faible possibilité de déviation des câbles pour bénéficier d'un effet de « soulagement » du tablier.

With respect to the longitudinal deflection

Reinforcement by additional 19T15S prestressing tendons outside the concrete (and inside the box girders):

- 2 x 175 m tendons along the web and running the length of the Boulogne span and the middle span,
- 2 x 100 m tendons on the middle span.

The ends of the tendons are anchored in reinforced concrete anchor blocks attached to the existing web by short bars with a high elastic limit (16 to 18 bars with a diameter of 50 mm per block).

The anchor blocks for the reinforcement tendons on the middle span are cast directly at the diaphragms over the piers. The diaphragms, however, were not taken into account when calculating the stability of the anchor blocks.

The design of the tendon layout achieved mechanical efficiency, construction simplicity and limitation of parasitic stresses:

- In plan, rectilinear tendons without deviations, located as close to the girder webs as possible,
- In elevation, deviations on piers and in 3 intermediate deviators, including 2 in the middle span, at the ends of the new fillet. (Photo 8)

The tendon layout has the distinctive feature of passing inside the new fillet over a length of 25 m. This is due to the geometry of the bridge and the fact that there is little possibility of deviating the tendons in order to "relieve" the deck.

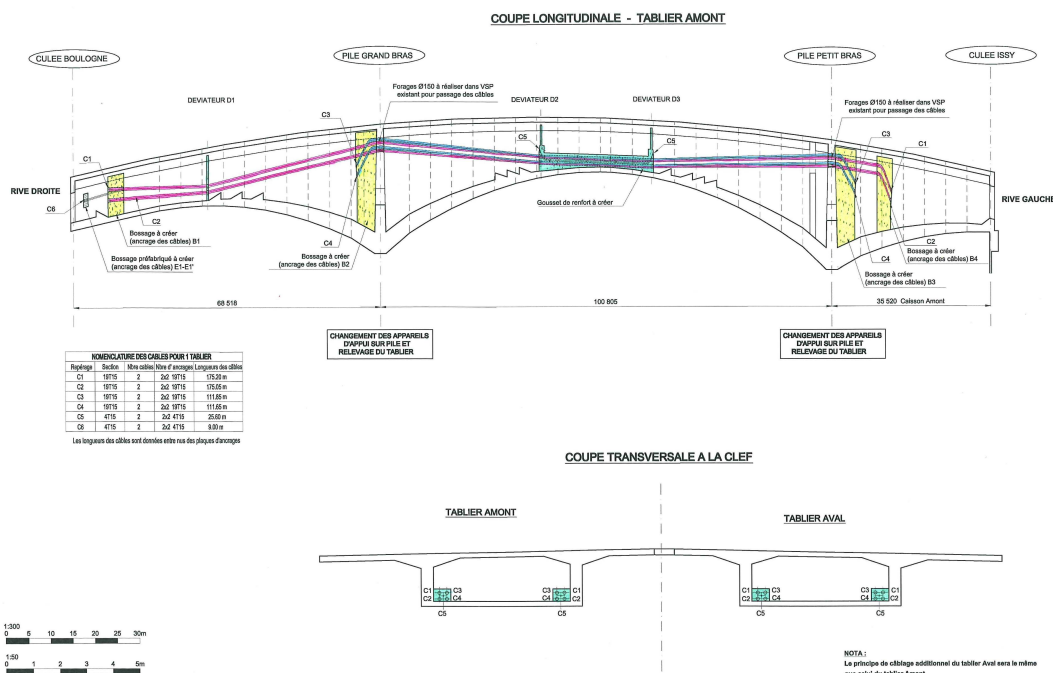
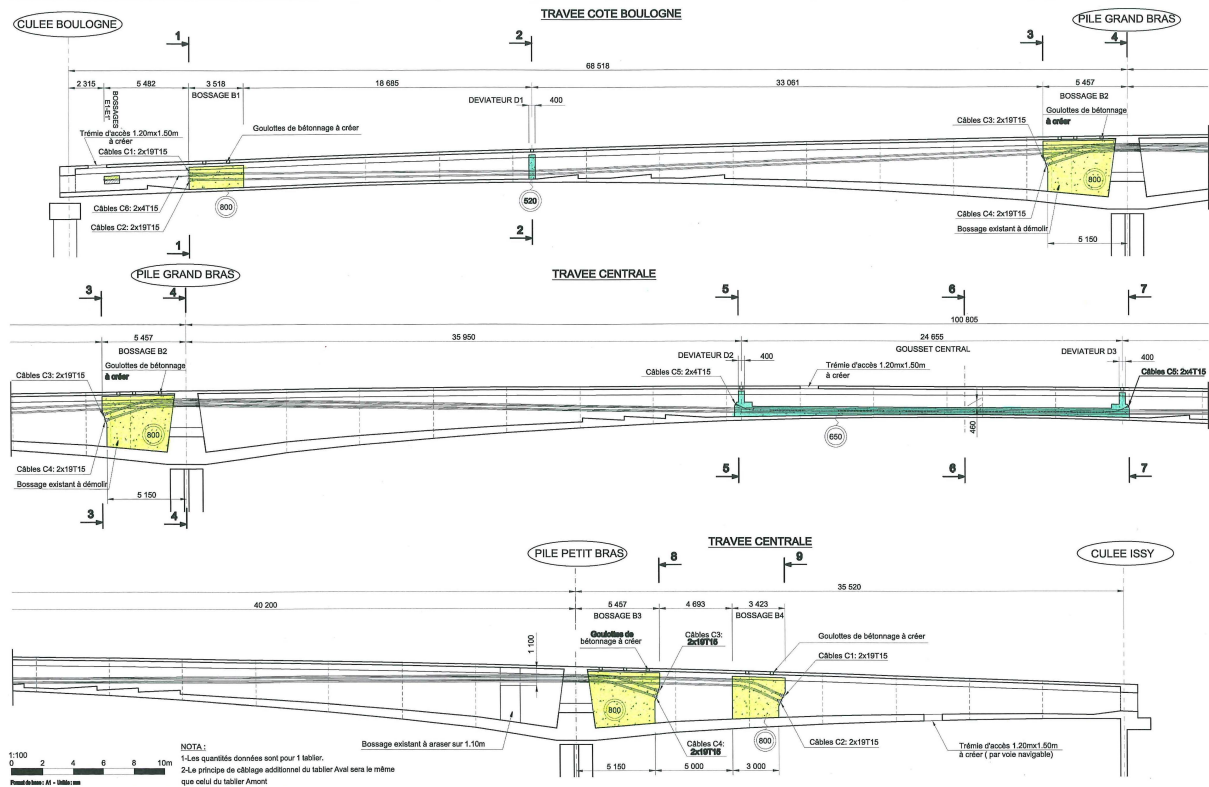


Schéma de câblage additionnel, plan d'ensemble des travaux
Additional tendon diagram, overall view of rehabilitation work



Cablage additionnel – Coupe longitudinale – Tablier amont
Additional tendons – longitudinal section – upstream deck



Photo 8 : Vue générale caisson aval après travaux,
en arrière plan on aperçoit le gousset central et les déviateurs à ses extrémités
Overall view of downstream girder after rehabilitation,
showing central fillet in background and deviators at both ends

2.4. Relevage et changement des appuis sur piles

Compte tenu de l'état des appuis en élastomère existants sur piles et de l'opportunité de travaux importants sur l'ouvrage, le projet comprend le changement des appareils d'appui sur piles.

Les nouveaux appareils d'appui ont les mêmes dimensions en plan 1200 x 1000 mm et une épaisseur de caoutchouc proche des appareils d'origine (105 mm contre 100 mm sur pile GB et 60 mm contre 40 mm sur pile PB) afin de ne pas modifier la rigidité relative des appuis pouvant entraîner une modification du « point fixe » et par suite du schéma statique de l'ouvrage.

2.4. Raising and changing of pier bearings

Given the state of repair of the elastomeric bearings on the piers and the opportunity offered by rehabilitation of the bridge, the project included changing the pier bearings.

The new bearings have the same dimensions in plan – 1,200 x 1,000 mm – and a similar elastomer thickness to the original bearings (105 mm against 100 mm on the GB pier and 60 mm against 40 mm on the PB pier) so as not to modify the relative stiffness of the bearings, which could change the “fixed point” and, as a result, the static diagram of the bridge.

Partie d'ouvrage <i>Part of structure</i>	Type <i>Type</i>	Nombre <i>Number</i>	Caractéristiques <i>Properties</i>
Piles Grand Bras <i>Grand Bras piers</i>	Caoutchouc fretté <i>Reinforced elastomer</i>	4	1200 x 1000 x 7 (15 + 4)
Piles Petit Bras <i>Petit Bars piers</i>	Caoutchouc fretté <i>Reinforced elastomer</i>	4	1200 x 1000 x 4 (15 + 4)

Par ailleurs, compte-tenu du faible espace disponible entre tête de pile Grand Bras et intrados du tablier (120 mm pour 105 mm, l'épaisseur de l'appareil d'appui) ; il était nécessaire de procéder à un relevage du tablier de 50 mm sur pile Grand Bras (de 20 mm sur pile Petit Bras) pour l'exécution d'un bossage inférieur de 1300 x 1100 d'épaisseur 27 mm et l'ajout d'une plaque d'acier inox de 1250 x 1050 x 5 en intrados du tablier.

Because of the small amount of space available between the Grand Bras pier and the deck soffit (120 mm for a bearing thickness of 105 mm), the deck had to be raised by 50 mm on the Grand Bras pier (and 20 mm on the Petit Bras pier) to accommodate the 27 mm thick 1,300 x 1,100 mm anchor blisters and the addition of a 1,250 x 1,050 x 5 mm stainless steel plate underneath the deck.

3. RÉALISATION DES TRAVAUX

3.1. Le groupement d'entreprises

A la suite d'un appel d'offres ouvert, le groupement d'entreprises Freyssinet France (mandataire) / Urbaine de travaux / POA a été retenu ; Freyssinet réalisant les travaux de précontrainte, de vérinage et changement des appareils d'appuis, de renforcement par fibre de carbone, et le remplacement des joints de chaussée, Urbaine de travaux et POA se chargeant de la réalisation des massifs d'ancrage et des travaux de réfection des superstructures de l'ouvrage, et des estacades.

3.2. Phasage et délai de réalisation

La durée contractuelle des travaux était d'environ 13 mois, ce qui s'est avérée extrêmement tendue compte-tenu du phasage des travaux, de l'enchaînement des tâches pour chaque phase et de l'ensemble des contraintes.

Le phasage général du chantier est intimement lié à la principale contrainte d'exécution à savoir le maintien de la circulation automobile sur 2x2 voies pendant toute la durée des travaux : (photo 9)

3. REHABILITATION

3.1. Consortium

A consortium consisting of Freyssinet France (representative), Urbaine de Travaux and POA was awarded the contract after an open tender, with Freyssinet looking after prestressing, jacking, changing of bearings, carbon-fibre reinforcement and replacement of road joints, and Urbaine de Travaux and POA taking charge of the anchor blocks, rehabilitation of the deck equipment, and the approach structures.

3.2. Construction sequencing and timing

The contractual construction time was about 13 months, which proved very tight due to the special phasing requirements, the task sequencing for each phase and the various constraints involved.

The overall sequencing of the rehabilitation work was intimately linked to the main performance constraint, that of maintaining traffic in both lanes and in both directions throughout the works: (Photo 9)



Photo 9 : Réfection de l'étanchéité en partie centrale ;
la circulation automobile est maintenue sur 2 x 2 voies de part et d'autre de la zone travaux
*Rehabilitation of the waterproofing in middle section,
with traffic maintained in 2 x 2 lanes on either side of works area*

- Réfection des superstructures sur la partie centrale du tablier (2 voies neutralisées) + poursuite des investigations complémentaires sur les câbles existants en temps masqué,
- Neutralisation de 2 voies de circulation et trottoir amont pour les travaux de structure dans le caisson amont + réfection des superstructures,
- Neutralisation de 2 voies de circulation et trottoir aval, pour les travaux de structure dans le caisson aval + réfection des superstructures,

Certaines phases particulières de travaux comme le vérinage ou l'épreuve de chargement, ont été effectuées de nuit sous coupure totale de la circulation.

4. PRÉSENTATION ET DÉROULEMENT DES TRAVAUX

4.1. Généralités

Le projet d'exécution amenait quelques adaptations et modifications de détails sur les points suivants :

- La position des trappes d'accès au caisson amont depuis l'extrados du tablier. Pour le tablier aval l'entreprise a renoncé à l'ouverture de nouvelles trappes en extrados se contentant des accès existants, en intrados aux deux extrémités de l'ouvrage.
- Le positionnement et le nombre de barres courtes de clouage des massifs.
- La suppression d'un câble éclisse longitudinal de 4T15S dans le gousset rapporté en travée centrale.

- *Rehabilitation of the deck equipment in the middle section of the deck (closing of two lanes) + continuation of additional investigations on existing cables at the same time,*
- *Closing of the two traffic lanes and sidewalk on the upstream side for the structural work in the upstream box girder + rehabilitation of deck equipment.*
- *Closing of the two traffic lanes and sidewalk on the downstream side for the structural work in the downstream box girder + rehabilitation of deck equipment.*

Some of the more difficult phases such as jacking and load testing were carried out at night with traffic completely closed off.

4. PRESENTATION AND PROGRESSION OF WORKS

4.1. General

During the actual works, several adaptations and modifications of details proved necessary:

- *Position of the manholes in the upstream box girder on top of the deck: the contractor decided not to add any new manholes on top of the upstream deck, but to make do with the existing manholes in the soffit at each end of the bridge;*
- *Position and number of short prestressing bars required to fix the blocks;*
- *Elimination of a 4T15S longitudinal midspan cable in the fillet added to the middle span.*

4.2. Investigations pour le repérage des aciers passifs et actifs

4.2.1. Besoins

Des investigations permettant de préciser la position des câbles existants de précontrainte dans l'ouvrage étaient nécessaires, dans la mesure où les travaux de renforcement prévoyaient de nombreux forages et ouvertures dans l'ouvrage existant :

- création de trappes d'accès dans les hourdis supérieurs, d'où nécessité de repérage des câbles de précontrainte transversale situés dans le hourdis supérieur (épaisseur 18 cm),
- forages dans les âmes des caissons pour permettre la réalisation du clouage des massifs d'ancrage, d'où nécessité de repérer les câbles de précontrainte et les aciers passifs dans les âmes des caissons (épaisseur courante 45 cm),
- forages dans le hourdis supérieur pour le bétonnage des massifs d'ancrage,
- forages de longueur de 1,70 m dans les entretoises sur piles pour permettre le passage des câbles de précontrainte additionnelle.

Le manque de document de récolement sur le tablier aval de l'ouvrage rajoutait aux incertitudes habituellement rencontrées quant aux aléas de positionnement réel des armatures passives et actives. Il n'était pas envisageable d'endommager un câble de précontrainte existant ; et, dans la mesure du possible, il fallait éviter de couper les aciers passifs existants.

4.2.2. Contraintes spécifiques liées à l'ouvrage

La situation de l'ouvrage au milieu d'immeubles de bureaux, de commerces et d'habitations, le franchissement de la Seine constituaient autant de restrictions à l'usage d'une source radioactive de gammagraphie reconnue comme étant la solution la plus fiable de repérage des câbles. De plus, les investigations ne pouvaient se réaliser que dans un délai limité pour s'intégrer dans le planning phasé évoqué ci-dessus et en tenant compte de la disponibilité du matériel de gammagraphie.

4.2.3. Méthodologie retenue

Le marché prévoyait l'emploi combiné des techniques de gammagraphie, de radar et de la reconnaissance par forage, la démarche poursuivie a été la suivante :

- Réalisation des plans d'exécution des massifs d'ancrage donnant une 1^{ère} implantation des barres courtes, compte tenu du tracé supposé des câbles existants selon les documents de récolement de l'ouvrage, du tracé des câbles additionnels projetés et d'une répartition des barres donnant un diagramme de pression, aussi uniforme que possible, à l'interface âme/bossage (le tracé des câbles a été reporté sur le parement des âmes par des croix jaunes),

4.2. Investigations to identify reinforcement and tendons

4.2.1. Requirements

Investigations designed to locate the exact position of the existing prestressing tendons in the bridge were necessary because the remedial strengthening works included numerous drillings and openings in the existing bridge:

- *creation of manholes in the top slabs, requiring identification of the transverse prestressing tendons located in the top slab (18 cm thick) ;*
- *drillings in the box girder webs to hold the anchor blocks in place, which required identifying the exact location of the prestressing tendons and reinforcements in the webs (typical thickness of 45 cm);*
- *drillings in the top slab to pour the concrete for the anchor blocks;*
- *1.70 m long drillings in the diaphragms on the piers to take the additional prestressing tendons.*

The fact that there were no as-built drawings for the downstream deck added to the uncertainty that already existed concerning the exact location of the reinforcements. It was essential not to damage any existing prestressing tendons and it was important to avoid cutting through existing reinforcements insofar as possible.

4.2.2. Specific constraints relating to bridge

The location of the bridge, surrounded by office, commercial and residential buildings, and the fact that it crosses the Seine River, restricted the use of radioactive gamma rays which are known to be the most reliable way of identifying the layout of tendons. Furthermore, the investigations had to be carried out within a limited period of time in order to respect the sequencing indicated above and the limited availability of the gamma ray equipment.

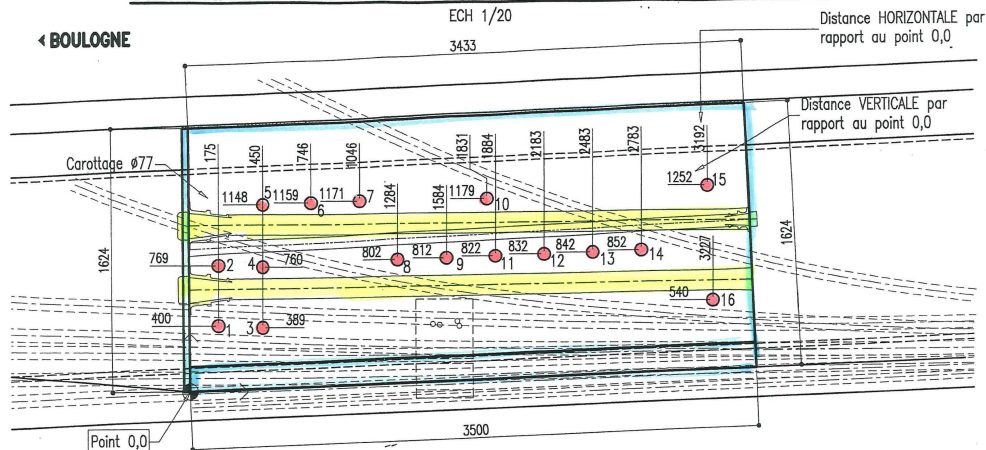
4.2.3. Methodology chosen

The contract included the combined use of gamma ray, radar and test boring techniques. The following approach was adopted:

- *Production of working drawings of the anchor blocks showing the supposed layout of the short bars, based on the layout of the existing tendons indicated in the as-built drawings of the bridge, the layout of the additional tendons and the distribution of the bars including a pressure diagram (as uniform as possible) of the web/blister interface (yellow crosses were used to indicate the tendon layout on the web facing).*
- *Radar was then used to carry out a systematic survey of the reinforcements concerned by the future drillings (orange marks).*

REPERAGE DES CAROTTAGES BOSSAGE B1 AMONT

ISSY



Bossage B1 tablier amont – implantation des forages / Anchor blister B1 upstream deck – layout of drillings

- Puis le radar a été utilisé pour une reconnaissance systématique des aciers actifs et passifs des zones concernées par les futurs forages (repères orange),
- Les clichés gammagraphiques ont été utilisés de façon ponctuelle (repérés par des croix noires) dans les zones les plus sensibles en vue d'affiner la reconnaissance par radar (la gammagraphie servait également à repérer l'éventuel problème de défaut de coulis ou d'autres défauts des câbles de précontraintes),
- Enfin, des pré-forages à la mèche fine étaient réalisés pour s'assurer physiquement de l'absence de câble au droit du futur forage. (photos 10, 11 et 12).
- Gamma ray photographs were used occasionally (black crosses) in the most sensitive areas to give greater precision to the radar survey (the gamma rays were also used to pinpoint any grouting defects or other defects concerning the prestressing tendons).
- And finally, preliminary drillings with a fine bit were carried out to physically check there were no tendons in the area in which drilling was to take place (photos 10, 11 et 12).

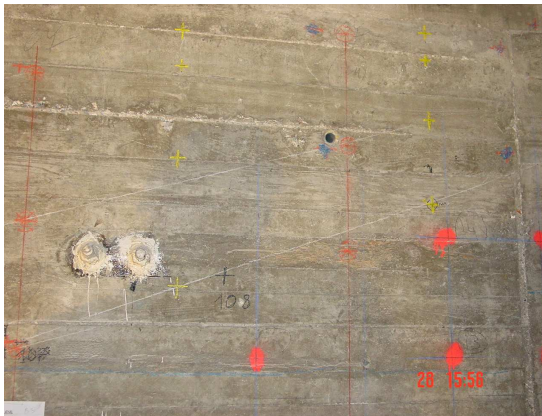


Photo 10 : Repérage des câbles existants de précontrainte dans les âmes des caissons (croix jaunes : tracé supposé selon plans de récolement ; croix oranges : résultat de repérage par la méthode radar ; croix noire : repère du centre du cliché de gammagraphie)

Marking of existing prestressing cables in girder webs (yellow crosses: supposed layout according to as-built drawings; orange crosses: according to results of radar survey; black cross: indicates middle of gamma ray photograph).



Photo 11 : Caisson amont : forage de l'âme par carottier de diamètre 72 mm en cours d'exécution
Upstream girder: drilling of web with 72 mm diameter corer during works

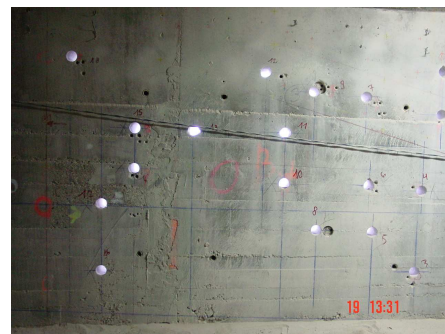


Photo 12 : bossage B4, tablier amont, âme amont en fin de travaux de forage / Anchor blister B4, upstream deck, upstream web at end of drilling

Les reconnaissances par gammagraphie ont été réalisées à l'aide d'un appareil type GR 50 utilisant une source « légère » de cobalt 60 (photo 13).

L'avantage majeur de l'utilisation de cet appareil est sa taille réduite qui a permis de le déployer à l'intérieur des caissons depuis les trappes d'accès en intrados de 1,00 m x 1,30 m côté Issy-les-Moulineaux. Les clichés ont pu être réalisés avec des mesures de radioprotection du public relativement légères qui consistaient en la neutralisation du trafic sur la voie adjacente au trottoir et la déviation des piétons sur le trottoir opposé ; un avis d'alerte avait été envoyé à la batellerie.

4.2.4 Résultat

Le résultat de l'ensemble des investigations réalisées et des précautions prises a été probant : Aucun câble de précontrainte n'a été endommagé par les différents forages. Dans quelques rares cas la gaine métallique a été touchée.

4.3. Réalisation des bossages

La première opération après la réalisation des forages est la préparation de surface par décapage afin de donner à l'interface une rugosité suffisante. Cette opération a été réalisée par hydrodécapage qui permet de traiter rapidement des surfaces importantes mais qui demande une grande rigueur d'utilisation en raison de sa puissance pouvant facilement dénuder les aciers passifs ; ce qui serait préjudiciable. (photos 14 et 15)



Photo 14 : Hydrodécapage des surfaces béton réalisé à 2000 bars de pression et commandé à distance. La démontrabilité de l'outil a permis de l'introduire dans les caissons par un trou d'homme de 1.20m x 0.80 m.

Une autre difficulté de la réalisation des massifs résulte d'un ferrailage très dense (dépassant les 200 kg/m³), avec des aciers de gros diamètres jusqu'à 32 mm nécessitant un façonnage en atelier et sans possibilité d'adaptation sur site, d'où la nécessité de disposer d'un relevé géométrique très précis. (photo 16)

Compte-tenu de la densité de ferrailage et de la difficulté de vibration du béton, l'emploi d'un béton auto-plaçant a été retenu pour la réalisation des bossages. Les opérations de bétonnage ont été effectuées sans incident majeur et la résistance caractéristique requise de 40 MPa a souvent été obtenue à 7 jours.

The gamma ray surveys were carried out using a GR50 with a "light" cobalt 60 source (photo 13).

The main advantage of this type of apparatus is its compact size which meant it could be used inside the girders via the 1,0 x 1,3 m manholes through the soffit of the box girder on the Issy side. The photographs were taken with relatively low gamma ray protection measures for the public which consisted in closing traffic on the adjoining lane and having pedestrians use the opposite sidewalk. The inland water transport authority was alerted.



Photo 13 : Appareil de type GR50 utilisant une source légère de cobalt 60 pour les clichés de gammagraphie
GR50 apparatus with light cobalt 60 source for gamma ray photographs

4.2.4. Results

The outcome of all the investigations carried out and the precautions taken was convincing: no prestressing tendons were damaged by any of the drillings. In a few rare cases, the metal sleeve was grazed.

4.3. Anchor blisters

The first operation after drilling was to prepare the surface by stripping in order to give the required degree of roughness to the interface. The operation was carried out using high pressure water spraying which cleans large surfaces very rapidly but requires careful use as it can easily lay bare the reinforcement bars which would be detrimental (photos 14 and 15).



Photo 15: Remote controlled high pressure water spraying of concrete surfaces at 200 MPa.
Demountability of the tool enabled it to pass through a 1.20 m x 0.80 m manhole in the girders.



Photo 16 : Caisson aval, bossage B3 amont, densité de ferrailage 220 kg/m³

Downstream box girder, upstream blister B3, density of reinforcement grid 220 kg/m³

Le système de précontrainte Freyssibar a été utilisé pour le clouage des bossages. Il repose sur l'emploi de barres de précontrainte laminées à chaud à partir d'acier allié à haute résistance puis écrouies par laminage à froid. Ces barres disposent d'un filetage avec un pas fin. Le pont d'Issy est la première utilisation d'ampleur de Freyssibar en France. En pratique, 288 barres de diamètre 50 mm et 16 barres de diamètre 36 mm ont été utilisées. (photos 17 et 18)



Photo 18 : Caisson amont, vue d'ensemble bossages B3 et B4 : les sur-longueurs des barres et des câbles protégés à la cire pétrolière permettent leur remise en tension ou leur démontage éventuel si nécessaire.
Upstream box girder, overall view of blisters B3 and B4: the extra length of the reinforcements and protection of the cables with petroleum wax are designed for re-tensioning and dismantling if necessary.

Another difficulty when making the anchor blocks was the very dense reinforcement grid (over 200 kg/m³) comprising large diameter reinforcements of 32 mm which had to be formed in the workshop and could not be adjusted on the site, whence the need for a very precise geometrical survey (Photo 16).

Given the density of the reinforcement grid and the difficulty of vibrating concrete, self-placing concrete was used to make the blisters. The concreting operations were carried out without any major incidents and the characteristic resistance of 40 MPa specified was often obtained after 7 days.



Photo 17: The presence of utilities placed considerable restrictions on where the reinforcements could be placed. During drilling, the gas pipe was protected with plywood.

La présence de réseaux constituait une forte contrainte à la mise en place des barres. Pendant le forage le tuyau de gaz a été protégé par une plaque de contre-plaqué.

The Freyssibar prestressing system, based on the use of hot rolled prestressed fine threaded bars made of strong alloy steel hardened with cold rolling, was used to fix the anchor blisters. Rehabilitation of the Issy Bridge was the first time that the Freyssibar system had been used in France in a large scale operation. In the current case, 288 dia 50 mm bars and 16 dia 36 mm bars were used (photos 17 and 18).

In addition to 3 successive tensioning operations, the contract included retensioning after 7 days and equipping of about 10% of the bars with load cells so that the residual stress in the bars can be read directly (Photo 19)

Stress monitoring shows that the residual stress after instantaneous loss is generally greater than the calculated values (5% on average), which means that the instantaneous loss due to anchorage pull in is slightly overestimated.

4.4. Prestressing

In accordance with the specifications, external prestressing tendons were used which could be re-weighed, adjusted and replaced without damaging the duct. The tendons consist of T15S strands with a nominal diameter of 15.7 mm and a tensile strength of 1860 MPa as per standard EN10138-3.

En plus des 3 mises en tensions successives, le marché stipulait une reprise de la tension à 7 jours et l'équipement d'environ 10 % des barres à l'aide de pesons permettant une lecture directe de la tension résiduelle dans les barres. (Photo 19)

Le suivi de la tension montre que la tension résiduelle après pertes instantanées est en général (en moyenne 5%) supérieure aux valeurs calculées, ce qui signifie que les pertes instantanées dues au « recul d'ancrage » sont légèrement surestimées.

4.4. Précontrainte

Conformément au cahier de charges, le système utilisé est une précontrainte extérieure repesable, ajustable et remplaçable sans dommage pour le conduit. Les câbles sont constitués de torons T15S de diamètre nominal 15,7mm et classe résistance 1860 MPa conformes à la norme prEN10138-3. Il s'agit de torons clairs placés dans des gaines PEHD injectées à la cire pétrolière après mise en tension. La précontrainte mise en œuvre est le système C de Freyssinet bénéficiant de l'Agrément technique Européen.

Les ancrages employés sont de type A'D, démontables. Des sur-longueurs allant jusqu'à deux mètres ont été laissées sur les câbles afin de permettre une intervention ultérieure éventuelle sur leur tension. Le passage sur piles des câbles a été réalisé grâce aux forages de diamètre 162 mm et de longueur 1,70 m à travers les entretoises existantes. (Photo 20).



Photo 20 : Forages de diamètre 162mm, de longueur 1.60m dans les entretoises sur piles en vue du passage des 4 câbles 19T15S à ancrer dans un massif B3 situé derrière l'entretoise..
1.60 m long, 162 mm diameter holes drilled in the pier diaphragms to take four 19T15S cables to be anchored in block B3 behind the diaphragm.

En raison du phasage général du chantier lié aux contraintes d'exploitation, la précontrainte additionnelle a été réalisée en deux phases :

- Tablier amont, mise en place des câbles et mise en tension à 10 % de la tension finale,
- Tablier aval, mise en place des câbles,
- Mise en tension simultanée des câbles des deux caissons jusqu'à la valeur finale :
- Câbles longs tendus à 0,60 Frg,



Photo 19: 3 or 4 short bars on each blister are equipped with load cells so the residual tension can be read directly in kN.

3 à 4 barres courtes de chaque bossage sont équipées d'un peson permettant une lecture directe de la tension résiduelle en kN.

The plain steel strands are placed in HDPE sheathes grouted with petroleum wax after tensioning. The Freyssinet C-system, which has a European Technical Approval, was used.

The anchors are of the A'D type and demountable. Until 2,0 m extralength was been left at the end of the tendons so that the tension can be adjusted subsequently if needed. The tendons were taken over the piers via 1.70 m long 162 mm diameter drillings through the existing diaphragms (Photo 20).

Because of the overall sequencing of the rehabilitation work due to the operating constraints, the additional prestressing was carried out in two phases:

- Upstream deck, laying of tendons and tensioning to 10% of the final tension,
- Downstream deck, laying of tendons,
- Simultaneous tensioning of tendons in both box girders to the final tension:
- Tensioning of long tendons to 0.60 GUTS,
- Middle span tendons, to 0.75 GUTS,
- Grouting of all tendons with petroleum wax: since the upstream deck was no longer accessible from the top of the deck, the grouting pipes were taken from the downstream deck to the upstream deck through dia 122 mm holes drilled in the box webs.

4.5. Reinforcement with TFC®

Reinforcement with FOREVA TFC® carbon-fibre bonded composite, consisting of 300 mm wide, 0.48 mm thick strips (transferring a tensile stress of 45 kN at SLS), was used in various places:

- at the anchor blisters, both underneath and on top of the deck, to transfer the distribution stresses,
- at the deviators, to transfer the additional tensile stress in the top slab (photos 21 and 22),

- Câbles de travée centrale, tendus à 0,75 Frq,
- Injection à la cire pétrolière de l'ensemble des câbles. Le tablier amont n'étant plus accessible à partir de l'extrados, les tuyaux d'injection ont été passés du tablier aval au tablier amont par des forages Ø122 mm dans les âmes des caissons.

4.5. Renforcement par TFC®

Le renforcement par tissu en fibre de carbone type FOREVA TFC, constitué de bandes de 300mm de largeur et 0,48mm d'épaisseur (reprenant un effort de traction de 45 kN à l'ELS), a été utilisé à différents endroits :

- au droit des bossages, en intrados ou extrados, pour reprendre les efforts de diffusion,
- au droit des déviateurs, pour reprendre les efforts complémentaires de traction dans le hourdis supérieur, (photos 21 et 22)
- au droit des ouvertures provisoires dans le hourdis supérieur du tablier. Après fermeture des trémies, l'utilisation du TFC en guise de renforcement définitif du hourdis a été acceptée par le Maître d'œuvre moyennant les précautions particulières suivantes :
- protection des TFC, de la chaleur, par la mise en œuvre d'une couche de mortier hydraulique d'épaisseur 20 mm (épaisseur justifiée par un calcul) ;
- mise en place de sondes de température pour suivre la température à l'interface TFC / béton pendant la réalisation de l'étanchéité afin de vérifier qu'elle reste à 60°C. (La température maximale atteinte a été de 57°C).



Photo 22: L'implantation des bandes de TFC a été adaptée sur site en fonction des contraintes dues aux supports de ligne HT
Laying of TFC® strips had to be adapted to the presence of HV line supports.

4.6. Vérinage, relevage et remplacement des appareils d'appui sur piles

Le vérinage sur piles était sans conteste la partie la plus délicate de l'opération. La difficulté de cette opération provenait de la conjonction des facteurs suivants :

- at the temporary openings in the top slab of the deck. After closing the openings, the use of TFC to permanently reinforce the slab was accepted by the Client provided the following special precautions were taken:
- protection of TFCs from heat by means of a 20 mm coat of hydraulic mortar (thickness determined by calculation);
- installation of temperature probes to monitor the TFC/concrete interface during waterproofing in order to check that it remained below 60°C (the maximum temperature reached was 57°C).



Photo 21 : Reinforcement of top slab with TFC® carbon-fibre bonded composite to transfer distribution stresses from additional cables.

Fibre tufts embedded in the concrete (not visible) transfer the outward thrust at the corners
Renforcement par tissu en fibre de carbone de type TFC du hourdis supérieur vis-à-vis des efforts de diffusion des câbles additionnels. Des mèches scellées dans le béton (non visibles) permettent de reprendre la poussée au vide dans les angles.

4.6. Jacking, raising and replacing of bridge bearings on piers

The pier jacking operation was undoubtedly the trickiest part of the rehabilitation work, due to a combination of the following factors:

- very high schedule of loads, about 5,000 tonnes per bearing line,
- available height limited to 120 mm, which meant using special purpose flat jacks with unusual dimensions (810 x 890 mm) (photo 23),
- lack of room at the pier head to place the temporary shims, which meant that the deck raising pads had to be placed on the existing elastomeric bearings (photo 24),
- need to continually ensure the longitudinal and transverse stability of the deck, requiring the use of temporary sliding bearings on only one of the four piers at a time, with the deck remaining on elastomeric bearings on the other 3 piers (photos 25 and 26),
- need to restrict deck traffic during the temporary bearing operations (due to the diaphragm resistance), which required coordination of the bearing changing operations with the overall sequencing of the rehabilitation work.

- descente de charge très importante, environ 5000 tonnes par ligne d'appui,
- hauteur disponible limitée à 120 mm, d'où la nécessité d'utiliser des vérins plats de dimensions inhabituelles de 810 x 890 mm qui ont fait l'objet d'une fabrication spéciale, (photo 23)
- manque de place en tête de pile pour positionner le calage provisoire, d'où la nécessité de placer les cales de relevage du tablier sur les appuis en élastomère existants, (photo 24),
- nécessité d'assurer en permanence la stabilité longitudinale et transversale du tablier, d'où la mise en position de calage provisoire muni de plaque de glissement du tablier sur 1 seule des 4 piles à la fois (sur les 3 autres le tablier restant sur appuis d'élastomère), (photos 25 et 26)
- nécessité de restriction de la circulation sur le tablier placé en position calage (en raison de la résistance de l'entretoise sur piles), d'où nécessité de coordonner les opérations de changements d'appui avec le phasage global du chantier.



Photo 25 : Après dégagement de l'ancien appareil d'appui, en fonction de la qualité de surface de l'intrados, on juge l'opportunité de la mise en place d'une plaque d'acier scellée à la résine ; ici la plaque d'acier sera mise en place.
After removing the old bearing, the state of repair of the soffit surface was examined to determine whether or not the resin-grouted steel plate used here, for example, was necessary.

A ces difficultés inhérentes au projet se sont rajoutées certaines autres difficultés dues aux aléas de chantier :

- Fuite d'huile de certains vérins plats pendant les opérations de relevage,
- Irrégularité de surface de l'intrados. Ceci a été corrigé par l'interposition de coussins spéciaux afin de mieux répartir la réaction d'appui sur la surface des vérins plats.
- Décompression des appuis en élastomère obtenue seulement après 7mm de levage au lieu des 2mm prévus par les calculs.

A noter également que les opérations de mise sur appuis définitifs ont été réalisées à l'aide de boîtes à sable disposées sous les vérins plats.



Photo 23 : Flat jacks with unusual dimensions: 810 mm x 890 mm (maximum pressure of 15 MPa)
 Vérins plats de dimensions inhabituelles de 810 mm x 890 mm (pression maximum 150 bars).



Photo 24: Insertion of metal shims in order to raise the deck
 Interposition de cales métalliques en vue d'assurer le levage du tablier



Photo 26: A sand box, flat jacks, distribution pads and sliding plate can be seen in view of jacking and unjacking of the deck.

on note l'empilement de boîte à sable, vérins plats, coussins de répartition et plaque de glissement en vue d'assurer les opérations de vérinage et dévérinage du tablier en vue d'assurer le levage du tablier

Other unexpected difficulties arose that were added to the problems inherent to the project:

- oil leak on some of the flat jacks during the jacking operations,
- irregularity of the soffit surface which was corrected by inserting special pads so that the support reaction would be distributed over the entire surface of the flat jacks,

En fin de chantier une pesée finale et une relaxation des nouveaux appareils d'appui ont été réalisées sans difficulté particulière.

5. CONCLUSIONS

Malgré un ensemble de contraintes et de difficultés tenant à la situation et aux fonctionnalités urbaines de l'ouvrage, les travaux se sont déroulés de manière maîtrisée sans aucun incident majeur. Ce résultat a été obtenu grâce à la mobilisation de compétences et de moyens matériels conséquents pendant toutes les phases de travaux.

6. MONTANT DES TRAVAUX ET PRINCIPALES QUANTITÉS

Le montant des travaux hors taxes est d'environ 3.5 millions d'euros et celui de l'opération de 4 millions d'euros.

Les principales quantités mises en œuvre sont :

- Béton (auto-plaçant) C 40/50 : 180 m³
- Armatures HA (passives) : 30000 kg
- Armatures de précontrainte additionnelle : 50000 kg
- Barres courtes de précontrainte type Freyssibar (Ø50 et Ø32) : 7800 kg
- Tissu en fibre de carbone type TFC (épaisseur 0,48 mm) : 1000 m²
- Appareils d'appui en caoutchouc fretté : 1000 dm³
- Dépose et pose de bordure haute chasse roue : 850 m
- Dépose et pose d'étanchéité : 7000 m²
- Dépose et pose de joint de chaussée et de trottoir : 200 m
- Mise en œuvre d'enrobés : 1500 t
- Asphalte sur trottoirs : 1800 m²

7. LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

- Maître d'Ouvrage : Conseil Général des Hauts-de-Seine – Direction Voirie
- Maître d'œuvre : Conseil Général des Hauts-de-Seine – Unité Grand Travaux Equipement de la Voirie
- Assistance Maîtrise d'œuvre : ECERP / Egis JMI (ECERP pour la réfection des superstructures / Egis JMI pour le renforcement structurel de l'ouvrage)
- Groupement d'Entreprises : Freyssinet (mandataire) / Urbaine de Travaux – POA
- Bureau d'études d'entreprise : SECOA
- Campagne de gammagraphie : CETE de Lyon (pour le compte du Groupement)
- Contrôle extérieur des bétons et mise en œuvre des TFC : LREP
- Instrumentation et suivi de l'ouvrage pendant les travaux : CETE de l'Est - LRPC de Nancy (pour le compte du Maître d'Ouvrage)

- decompression of elastomeric bearings obtained only after 7 mm of jacking instead of the 2 mm resulting from the calculations.

It should also be noted that the final bearing installation operations were carried out with sand boxes under the flat jacks.

At the end of the works, the final weighing and stress relaxation of the new bearings were carried out without any particular problems.

5. CONCLUSIONS

Despite a series of constraints and difficulties resulting from the location and urban functionality of the bridge, rehabilitation took place without any major incidents, mainly due to the deployment of substantial human and material resources throughout refurbishment.

6. COST OF WORKS AND MAIN QUANTITIES

The rehabilitation work cost 3.5 million euros before VAT and the entire operation cost 4 million euros before VAT.

The main quantities used were as followed:

- C 40/50 (self-placing) concrete: 180 cu.m.
- High bond reinforcements : 30000 kg
- Additional prestressing reinforcement : 50000 kg
- Freyssibar short prestressing bars (dia 50 and dia 32) 7800 kg
- TFC 0.48 mm thick carbon-fibre bonded composite 1000 m²
- Reinforced elastomeric bearings: 1000 dm³
- Remove and laying of high curbing : 850 m
- Remove and laying of waterproofing : 7000 m²
- Remove and laying of road and sidewalk joint: 200 m
- Surfacing on road and sidewalk: 1500 t
- Asphalt on sidewalk: 1 800 m²

7. MAIN PARTNERS

- Client: Hauts-de-Seine 92 Regional Authority – Main Roads Department
- Project Manager: Hauts-de-Seine 92 Regional Authority – Major Roadworks Unit
- Assistant Project Manager: ECERP / Egis JMI (ECERP for rehabilitation of deck equipment / Egis JMI for structural reinforcement of bridge)
- Consortium: Freyssinet (representative) / Urbaine de Travaux & POA
- Consortium Design office : SECOA
- Gamma ray survey: CETE de Lyon (for the consortium)
- Outside inspection of concrete and implementation of TFC: LREP
- Instrumentation and monitoring of bridge during works: CETE de l'Est - LRPC de Nancy (for the Client).