



1- Le confinement de la rive amont du tablier.

1- Confinement of the upstream edge of the deck.

© SETEC TPI

LE PONT JEANNE-D'ARC À ROUEN RENFORCE SON TABLIER ET SE REFAIT UNE BEAUTÉ

AUTEURS : ÉTIENNE DÉPALLE & MARIE-ALEX CÉLANIE, SETEC TPI, MAÎTRISE D'ŒUVRE - DAMIEN COUSIN, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS-FRANCE/ VSL FRANCE, CHEF DE GROUPE TRAVAUX, RESPONSABLE DU CHANTIER - ROMAIN CARREAU, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS RÉGIONS-FRANCE/ VSL FRANCE, ADJOINT AU RESPONSABLE DU CHANTIER - NICOLAS GRAPIN, MAËS, RESPONSABLE DE L'AGENCE DE NOGENT-SUR-OISE (60), RESPONSABLE DU CHANTIER

RÉALISÉ À ROUEN (76) APRÈS LA SECONDE GUERRE MONDIALE, LE PONT JEANNE-D'ARC RELIE LES DEUX RIVES DE LA SEINE. L'ÉDIFICE FAIT L'OBJET D'UNE RÉFECTION COMPLÈTE. COMMENCÉE EN FÉVRIER 2011, ELLE VISE À RENFORCER LE TABLIER DE L'OUVRAGE QUI MONTRE DES SIGNES DE FATIGUE ET À AUGMENTER LA CAPACITÉ DE LA LIGNE DE TRAMWAY QU'IL SUPPORTE. L'ACHÈVEMENT DES TRAVAUX EST PRÉVU POUR CET ÉTÉ.

HISTOIRE ET DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Le pont Jeanne-d'Arc permet le franchissement de la Seine au centre de Rouen (76). Il a été réalisé entre 1953 et 1956 dans le cadre de la reconstruction du port de Rouen, après la Seconde Guerre mondiale qui avait vu la destruction des ponts.

L'édifice est un ouvrage remarquable constitué d'un tablier mixte à 3 travées (100 mètres pour la travée centrale et

48 mètres pour les travées de rive). Son tablier comporte un hourdis en béton armé d'une épaisseur de 15 centimètres et de 7 poutres métalliques de hauteur variant entre 5,30 mètres sur piles et 1,25 mètre en travée centrale et au droit des culées.

À son origine, il supportait une route à deux fois deux voies et ce, jusqu'en 1994, date à laquelle il a été adapté pour la mise en service d'une ligne de tramway. La largeur importante de

son tablier (20 mètres) a permis de conserver en outre 3 voies routières. La fréquentation de la ligne de tramway s'élève jusqu'à 60 000 voyageurs par jour, ce qui a conduit la Communauté de l'agglomération Rouen-Elbeuf-Austreberthe (Crea) à décider d'augmenter la capacité de cette ligne de façon conséquente.

La mission de maîtrise d'œuvre, confiée à Setec TPI en 2008, a consisté à la fois à identifier les travaux nécessaires

à l'entretien courant et spécialisé de l'ouvrage, mais aussi à vérifier la capacité de l'ouvrage à supporter les futures rames de tramway d'une longueur de 45 mètres, et de 55 mètres à plus long terme.

La complexité du tablier a nécessité l'établissement d'un modèle exhaustif avec le logiciel *Pythagore*® développé par Setec TPI. Ce modèle a permis un recalcul complet du tablier, validé par comparaison à une épreuve d'ouvrage

faite en 1994. On a par ailleurs procédé à une vérification au voilement des sections élancées des poutres métalliques ainsi qu'à une étude fine à la fatigue. En plus de la vérification structurelle du tablier, une étude a été réalisée conjointement avec les exploitants des voies franchies et supportées, à savoir : Voies navigables de France, RFF (Réseau ferré de France), la SNCF, le conseil général de la Seine-Maritime et la Ville de Rouen). L'objectif étant de mettre au point les méthodes de réalisation des travaux. La solution d'une plate-forme suspendue au tablier a été retenue,

2- Vue d'ensemble depuis la rive droite de la Seine.

3- La plate-forme suspendue sous le tablier.

2- General view from the right bank of the Seine.

3- The platform suspended under the deck.

ainsi qu'un phasage réduisant autant que possible les impacts sur les voies routières des quais bas en rive droite et sur le tablier (photo 3).

LE RENFORCEMENT DU TABLIER

Sur la base des études menées par Setec TPI et suite aux résultats de l'état des lieux réalisé par VSL France (Bouygues Travaux Publics Régions-France) dans le cadre de son marché de travaux, le bureau d'études de l'entreprise AC4S a effectué l'ensemble des études d'exécution. Ces dernières ont permis de confirmer que le tablier

souffrait principalement du phénomène de fatigue de l'acier de la charpente, plutôt que d'un manque de capacité portante. En effet, la finesse du tablier en travée centrale et les nombreux passages du tramway - 220 rames par jour et par sens de circulation -, ont rendu cet ouvrage très sensible au phénomène de fatigue. La durée de vie du renforcement à réaliser a été fixée à 30 ans par la Crea.

Afin d'obtenir des résultats précis, l'historique complet de la circulation routière et de celle du tramway a été pris en compte. L'endommagement de la structure a pu être estimé jusqu'en 2042 par l'application de la méthode de la goutte d'eau, implémentée dans un module du logiciel *Pythagore*[®]. Cette méthode consiste à comptabiliser le nombre de cycles de charge subi par un assemblage pendant sa durée de vie de calcul, et de le comparer au nombre de cycles conduisant à la ruine pour le détail concerné.

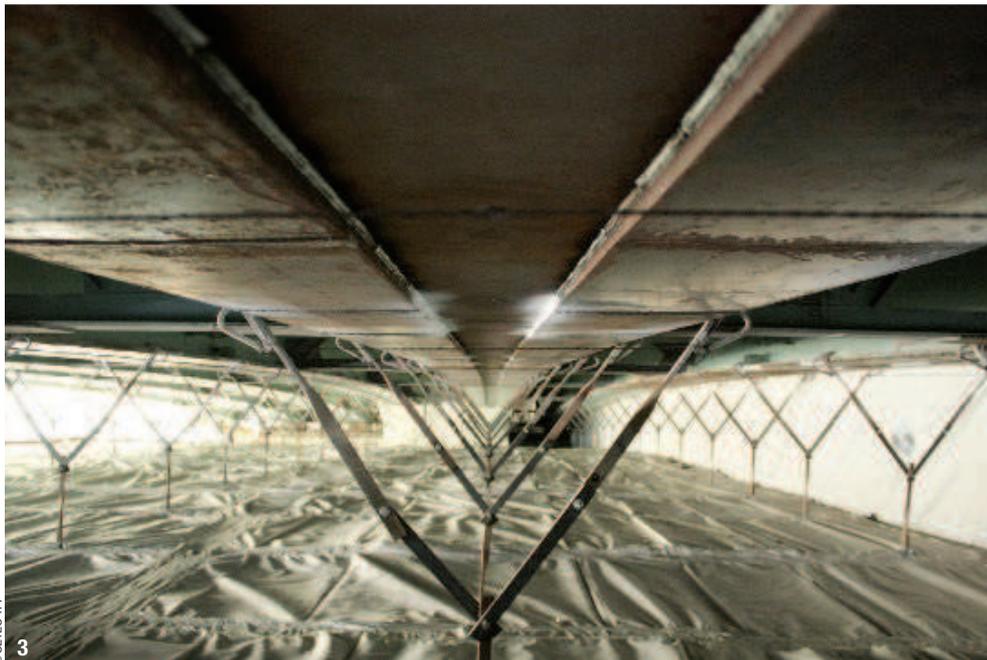
Le renforcement a concerné principalement les 5 files d'entretoises centrales et les 4 poutres situées sous la plate-forme du tramway. Pour ce qui est des poutres, le renforcement a consisté à souder des tôles de 15 à 25 millimètres d'épaisseur sous les semelles inférieures de ces dernières.

Concernant les entretoises, le renforcement retenu a été particulièrement astucieux, puisqu'en plus de réduire les efforts dans les diagonales et les membrures existantes, il permet également d'améliorer le fonctionnement du tablier en flexion transversale en le rigidifiant de façon importante.

L'astuce réside dans la conception même des renforts, constitués de diagonales qui viennent s'ajouter à celles existantes, plutôt que de souder des éléments sur celles-là. Cette solution permet également de venir souder les renforts dans des zones robustes, et non pas sur les diagonales existantes, très fines (photo 4).

La mise en place de ces renforts a été effectuée de manière innovante par VSL France, et contrôlée par l'équipe de Setec TPI présente sur le chantier. Un outil spécifique a été conçu par la direction technique de VSL France pour plaquer les renforts sous les semelles des poutres au-dessus des voies dans les zones difficilement accessibles.

Cette méthodologie permettait de libérer les voies de circulation de la SNCF dans un délai court (cinq minutes) et d'améliorer l'ergonomie du poste de travail tout en assurant la sécurité du personnel.



La technique de soudage qui a été utilisée est le procédé n° 114, dit *Innershield*.

Ce procédé a été accepté sans hésitation par l'équipe de Setec TPI, car il est le mieux adapté aux soudures réalisées sur chantier, puisqu'il est le moins sensible au vent en raison de l'absence d'apport de gaz de protection. Ce chantier est une complète réussite pour VSL France qui a mis en place les deux tiers du renforcement en part propre, le dernier tiers étant réalisé par le sous-traitant ADS.

Les conditions de mise en œuvre de ces renforts ont été particulièrement délicates pour l'ensemble des compagnons, qui ont dû faire face en rive gauche et en travée centrale à un gabarit réduit à 1,5 mètre entre la sous-face du tablier et la surface de la plate-forme suspendue.

Cette contrainte a été fixée conjointement avec Voies navigables de France afin d'assurer un gabarit fluvial minimal sous la plate-forme suspendue.

Par ailleurs, en rive droite, la présence de deux voies routières très fréquentées (2 000 véhicules par heure de pointe), et le passage d'une voie ferroviaire de fret, ont rendu les opérations de soudage complexes dans leur mise en œuvre. Pour remédier à ces contraintes, un phasage adapté a été défini pour les voies routières, et une étroite collaboration avec la SNCF a permis de libérer des créneaux de travail suffisants pour permettre des cadences de soudage raisonnables.

En outre, une réparation complexe a également été réalisée par VSL France sur cet ouvrage. Il s'agit du remplacement des bielles d'appui du tablier au niveau des culées. Ces bielles très fortement corrodées ne remplissaient plus leur fonction par rapport à la dilatation du tablier, car la corrosion les avait littéralement encastrées sur leur socle. Chaque poutre du tablier a dû être vérinée une à une pour permettre la réfection des socles et de leurs ancrages dans les culées, et pour remplacer l'ensemble des bielles et de leurs axes. Ces opérations délicates ont eu lieu de nuit pour les 4 poutres situées sous le tramway, et de jour pour les autres (photo 5).

UN DÉCAPAGE SOUS HAUTE PROTECTION

Le décapage de la protection anticorrosion d'un ouvrage d'art existant est toujours une opération délicate, mais quand l'ouvrage en question franchit un fleuve névralgique comme la Seine,



4



5

des voies routières, une voie ferroviaire et des parkings publics très fréquentés, l'opération est encore plus complexe. La protection est donc au centre des préoccupations de l'entreprise Maès en charge du décapage et de l'application de la nouvelle protection anticorrosion. Cette protection concerne l'environnement avec la Seine et ses berges, mais aussi les usagers présents sur et sous l'ouvrage, et enfin l'ensemble des compagnons travaillant sur le chantier. Cette protection a été accrue dès lors que fut avérée la présence de traces de plomb dans la peinture existante. La méthodologie à employer a été mise

4- L'entretoise est renforcée avant la mise en peinture.

5- Le dispositif de vérinage du tablier sur les culées.

**4- The cross tie is strengthened before painting.
5- The deck jacking system on the abutments.**

au point en collaboration avec le coordonnateur de sécurité et de protection de la santé (Apave), l'Inspection du travail et la Caisse d'assurance-retraite et de la santé au travail (Carsat). La protection principale a consisté à envelopper le tablier d'une double épaisseur de bâche thermo-rétractable afin de créer un confinement étanche (photo 1).

Ce confinement principal a été subdivisé en confinements secondaires afin de limiter la co-activité entre les différentes équipes présentes sur le chantier. Les compagnons affectés aux tâches de décapage accèdent aux confinements secondaires par l'intermédiaire d'un sas d'entrée/sortie dans lequel se trouvent un vestiaire « sale », un local de douches et un vestiaire « propre ». L'eau des douches est récupérée pour être traitée par une société spécialisée.

L'ensemble des confinements secondaires ainsi que les sas d'entrée/sortie sont reliés à des groupes déprimogènes de débit 5 000 m³/heure, qui permettent de purifier l'air vicié et de réinjecter de l'air propre. Enfin les compagnons sont munis d'appareils respiratoires isolants qui leur garantissent un apport d'air sain en permanence.

L'autre aspect important de la protection de l'environnement est l'évacuation et le traitement des déchets engendrés par ce décapage. En effet, 600 000 kilos d'abrasifs sont actuellement estimés nécessaires pour venir à bout des 27 000 mètres carrés de peinture existante. Pour ce faire, un sas d'évacuation des déchets a été créé sur chaque rive de l'ouvrage, afin de permettre la mise en sacs étanches des abrasifs souillés. Les sacs sont ensuite transportés dans un centre de traitement agréé qui prend en charge ces déchets classés comme étant des DIS (déchets industriels spéciaux).

ENTRE INSERTION URBAINE ET RESPECT DE L'EXISTANT

Du point de vue architectural, les travaux les plus conséquents ont concerné le remplacement de l'ensemble des corniches et du garde-corps de l'ouvrage. Celui d'origine souffrait de corrosion, quant aux corniches également fortement corrodées, elles avaient toutes été déposées depuis quelques années en raison du risque de chute sur les péniches et les barges qui empruntent la Seine.

Le cabinet Stoa Architecture a souhaité conserver la forme du garde-corps d'origine tout en lui donnant une touche de modernité. Ce principe a été

validé par l'architecte des Bâtiments de France en charge du dossier. L'identité du garde-corps initial s'affirmait par son galbe au niveau des montants et du remplissage, ainsi que par sa main courante très imposante et rassurante pour les piétons. Ces deux points ont donc servi de base pour la conception du nouveau garde-corps (photo 6). Les montants oxydés qui ont été retenus rappellent le galbe d'origine.

6- Le prototype du nouveau garde-corps et de la corniche.

6- The prototype of the new guard rail and parapet.

Les touches de modernité sont insufflées dans un premier temps, avec le choix d'un remplissage réalisé par une maille constituée de fils en acier inoxydable tressés entre eux comme un cordage.

La surface ouverte de cette maille de 65 % permet de garantir la même transparence que le garde-corps d'origine tout en assurant la sécurité des usagers. Dans un second temps, un système de sécurité antivol a été mis en place pour que les éléments du nouveau garde-corps ne soient pas démontables facilement.

La corniche retenue possède la même forme que celle d'origine, mais elle a été conçue pour limiter la formation de condensation à l'intérieur de celle-ci, en permettant une ventilation naturelle grâce à des espaces vides entre ses fixations.

Enfin, le choix de la couleur de l'ouvrage a été simplifié par l'existence d'une charte établie par la Ville de Rouen qui est le gestionnaire du pont Jeanne-d'Arc. Cette charte définit que l'ensemble des ponts métalliques pré-

sents en centre-ville doit être peint en vert pâle (Nuancier-Ral 6021). Les usagers pourront découvrir cette nouvelle couleur au printemps, date à laquelle les travaux de réfection et de renforcement seront terminés. □



© SETEC TPI

INTERVENANTS DU PROJET

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Communauté de l'agglomération Rouen-Elbeuf-Austreberthe (Crea)

MAÎTRE D'ŒUVRE : Setec TPI/ Stoa Architecture

ENTREPRISES : Groupement Bouygues TP Régions-France - VSL France/ Maës

CONTRÔLEUR TECHNIQUE ET CSPS [Coordination de sécurité et de protection de la santé, NDLR] : Apave

SOUS-TRAITANTS :

- AC4S : études d'exécution
- Socotec : contrôle externe des études d'exécution
- ADS : mise en place des renforts métalliques des poutres
- DR Équipement : garde-corps et corniche
- SAIT : échafaudages suspendus
- Aximum : signalisation provisoire

LE CHANTIER EN QUELQUES CHIFFRES

COÛT DES TRAVAUX : 6,2 millions d'euros TTC

DURÉE DES TRAVAUX : De février 2011 à fin juin 2012

PRINCIPALES QUANTITÉS MISES EN ŒUVRE :

- 20 000 kg de renforts métalliques soudés
- 27 000 m² de protection anticorrosion
- 14 appareils d'appui métalliques remplacés
- 400 ml de garde-corps et corniches remplacés
- 1 000 m² d'étanchéité refaite
- 4 000 m² de plate-forme suspendue provisoire
- Mise en sécurité des accès aux piles

ABSTRACT

DECK STRENGTHENING AND RENOVATION OF JEANNE-D'ARC BRIDGE IN ROUEN

ÉTIENNE DÉPALLE, SETEC TPI - DAMIEN COUSIN, BOUYGUES - ROMAIN CARREAU, BOUYGUES - NICOLAS GRAPIN, MAËS

The Jeanne-d'Arc bridge, built in Rouen after the Second World War, links the two banks of the Seine River. The structure is undergoing complete renovation. The work, begun in February 2011, is designed to strengthen the structure's deck, which is showing signs of fatigue, and increase the capacity of the tramway line running over it. Work completion is scheduled for this summer. □

RED ESCOTA: ADAPTACIÓN DE LOS TÚNELES DE LA AUTOPISTA A8 SEGÚN LAS NUEVAS NORMAS DE SEGURIDAD

ÉTIENNE DÉPALLE, SETEC TPI - DAMIEN COUSIN, BOUYGUES - ROMAIN CARREAU, BOUYGUES - NICOLAS GRAPIN, MAËS

Construido en Rouen (76) después de la Segunda Guerra Mundial, el puente Jeanne-d'Arc comunica las dos orillas del Sena. La construcción se ha sometido a una reforma completa que comenzó en febrero de 2011 y tiene por objeto reforzar el tablero de la estructura, que muestra signos de fatiga, y aumentar la capacidad de la línea de tranvía que sostiene. El final de las obras está previsto para este verano. □