



1

© PHOTOTHÈQUE SETEC DIADES

# UNE RÉHABILITATION EN PROFONDEUR DE 2 PS SUR L'AUTOROUTE A6

AUTEURS : RENAUD LECONTE, DIRECTEUR TECHNIQUE, SETEC DIADES - JEAN-PHILIPPE MARION, RESPONSABLE OUVRAGES D'ART, DIPP APRR

RÉHABILITER EN PROFONDEUR DEUX PS AUTOROUTIERS EN MINIMISANT LES CONTRAINTES D'EXPLOITATION POUR LES VOIES FRANCHIES, TELLE ÉTAIT LA FINALITÉ DE CE PROJET CONÇU PAR SETEC DIADES POUR LE COMPTE D'APRR ET RÉALISÉ PAR EIFFAGE. DEUX OPÉRATIONS COUP DE POING ONT ÉTÉ NÉCESSAIRES POUR DÉGAGER LES OUVRAGES DE L'AUTOROUTE A6 ET LES REPOSITIONNER SUR LEURS APPUIS INITIAUX APRÈS 3 MOIS DE TRAVAUX SUR UNE AIRE AMÉNAGÉE À PROXIMITÉ DE L'A6.

## CONTEXTE DE L'OPÉRATION

Dans le cadre de la maintenance des ouvrages d'art de son réseau d'autoroutes, Aprr est confronté à des pathologies toutes particulières sur béton affectant quelques passages supérieurs en structure mixte acier-béton franchissant l'autoroute A6 dans la région d'Avallon, France.

En effet, les hourdis en béton de ces ouvrages présentent des dégradations internes de type fissuration à

cœur, voire délamination par endroit, nécessitant des travaux de démolition/reconstruction de ces parties malades visant à redonner aux structures la pérennité nécessaire à leur exploitation en sécurité, que ce soit pour les usagers de la voie portée autant que pour ceux de la voie franchie.

Le présent article traite des 2 PS208+133 et 208+582 portant respectivement la RD457 et le CR3 bis sur

## 1- Vue générale du PS208+133.

### 1- General view of overpass 208+133.

la commune de Savigny-les-Bois dans le département de l'Yonne et dont les travaux, réalisés par Eiffage, se sont achevés fin 2016.

## PRÉSENTATION DES OUVRAGES

Le PS208+133 est un ouvrage de type pont mixte à 3 travées de 13,70 m - 30,74 m - 12,50 m de longueurs respectives et présentant un biais de 94 grades. Réalisé en 1967, il est constitué de 4 poutres métalliques à âme pleine de hauteur constante égale à 1,00 m, espacées de 2,70 m et liaisonnées par des entretoises triangulées Warren (figure 1). Les poutres sont constituées de semelles supérieures en acier

2- Vue générale du PS 208+582.

3- Démolition des superstructures et d'environ 7 m de hourdis au niveau des abouts.

4- Charpente du PS 208+582 dans sa configuration d'origine sur l'aire de chantier. Présence des renforts au droit des points de portage (montants et entretoise).

2- General view of overpass 208+582.

3- Demolition of superstructures and about 7 metres of top slab at the end plate level.

4- Structure of overpass 208+582 in its original configuration on the worksite area. Presence of reinforcements at bearing points (uprights and cross ties).



© PHOTO THÉRIQUE SIETEC DIAJÉS

A42 S3, tandis que les âmes et les semelles inférieures sont en A52 S. Les entretoises sur piles et culées sont à âme pleine et sont enrobées de béton au niveau des culées faisant ainsi office de contrepoids.

La longueur des travées présente en effet un balancement défavorable avoisinant 0,40, les travées de rive étant très courtes par rapport à la travée centrale, induisant ainsi des risques de soulèvement du tablier au niveau des culées.

Pour pallier ce risque, des appareils d'appui en néoprène frettés, équipés de dispositifs anti-soulèvement, ont été mis en œuvre sur culées, le dispositif permettant néanmoins d'autoriser les déplacements horizontaux.

Cette charpente supporte une dalle en béton de 17 cm d'épaisseur pour une largeur totale de 10,00 m portant une chaussée de 7,00 m et de deux trottoirs de 1,50 m.

Le PS 208+582 est également un ouvrage de type pont mixte présen-

tant les mêmes travures mais avec un biais de 100 grades. Il est constitué de 3 poutres métalliques à âmes pleines de hauteur constante égale à 1,036 m, espacées de 2,50 m et liaisonnées par des entretoises triangulées Warren (figure 2).

La constitution des poutres, entretoises courantes et d'appuis est la même que pour le PS 208+133.

Cette charpente supporte une dalle en béton de 16,5 cm d'épaisseur pour une largeur totale de 7,00 m portant

une chaussée de 5,00 m et de deux trottoirs de 1,00 m.

Les changements de section des poutres sont réalisés par des semelles additionnelles soudées à l'extérieur des poutres.

Ces ouvrages reposent sur des culées en tête de colonnes sur semelles superficielles et des piles trapézoïdales fondées superficiellement.

Lors de la construction de cette portion de l'autoroute A6, ces ouvrages ont été construits selon un phasage particulier. ▷



© PHOTO THÉRIQUE APPERT - DISI



En effet, ils ont été construits dans un schéma de fonctionnement isostatique avant d'être rendu hyperstatique lors de la réalisation de dénivellations d'appui conséquentes.

Le phasage détaillé de la construction, commun aux deux ouvrages, a été le suivant :

- Réalisation de la charpente en usine et mise en œuvre sur les seules piles définitives, la structure étant isostatique et les travées de rive étant en console ;
- Réalisation du hourdis en béton dans cette configuration initiale (mise en œuvre d'un coffrage, bétonnage du hourdis et décoffrage de l'ensemble) ;
- Dévérinage au niveau des piles jusqu'au contact au niveau des culées ;
- Dénivellation d'appuis sur piles d'environ 19 cm pour précontraindre la dalle en béton ;
- Réalisation des superstructures et finition de l'ouvrage.

La structure a été dimensionnée suivant la réglementation française de l'époque de construction des ouvrages. Bien que les contraintes dans la charpente et le béton aient été étudiées séparément, la mixité, rendue effective par le biais de connecteurs en arceaux sur les semelles supérieures afin d'empêcher le glissement béton/métal, a été prise en compte dans les calculs d'exécution.



© PHOTO THÉQUE APRR - DISI

### PRINCIPE DE RÉPARATION

L'objectif des travaux à engager sur ces 2 ouvrages était la réparation de leur hourdis en béton qui présentait un état pathologique avancé. En effet, le diagnostic engagé sur ces ouvrages avait mis en évidence un feuilletage horizontal du béton certainement dû au gel interne du béton.

L'état pathologique des bétons ne permettant pas de les réparer, des travaux lourds de démolition puis de remplacement ont été jugés nécessaires.

Les principales contraintes de cette opération étaient la gestion des contraintes d'exploitation des voies franchies (en minimisant les neutrali-

sations de voies), le calendrier général de l'opération qui devait tenir compte d'une dépose et repose sous une seule coupure commune aux 2 tabliers, des délais de coupure de l'A6 entre Avallon et Auxerre Sud limités de 22h à 6h y compris les temps nécessaires au balisage/débalisage et encore l'optimisation des délais liés à la coupure des voies portées que sont la RD 457 et le CR3 bis,

Par ailleurs, la volonté du MOA était que la géométrie, les caractéristiques et le comportement des poutres métalliques soient conservés lors de la démolition et la reconstruction des hourdis en béton. La mission confiée à Setec Diadès était la maîtrise d'œuvre études de conception, suivi du VISA des études d'exécution relatifs aux 2 ouvrages, la maîtrise d'œuvre travaux étant quant à elle assurée par les services d'Apr. Durant les travaux, une assistance technique a toutefois été apportée au MOEt par Setec Diadès.

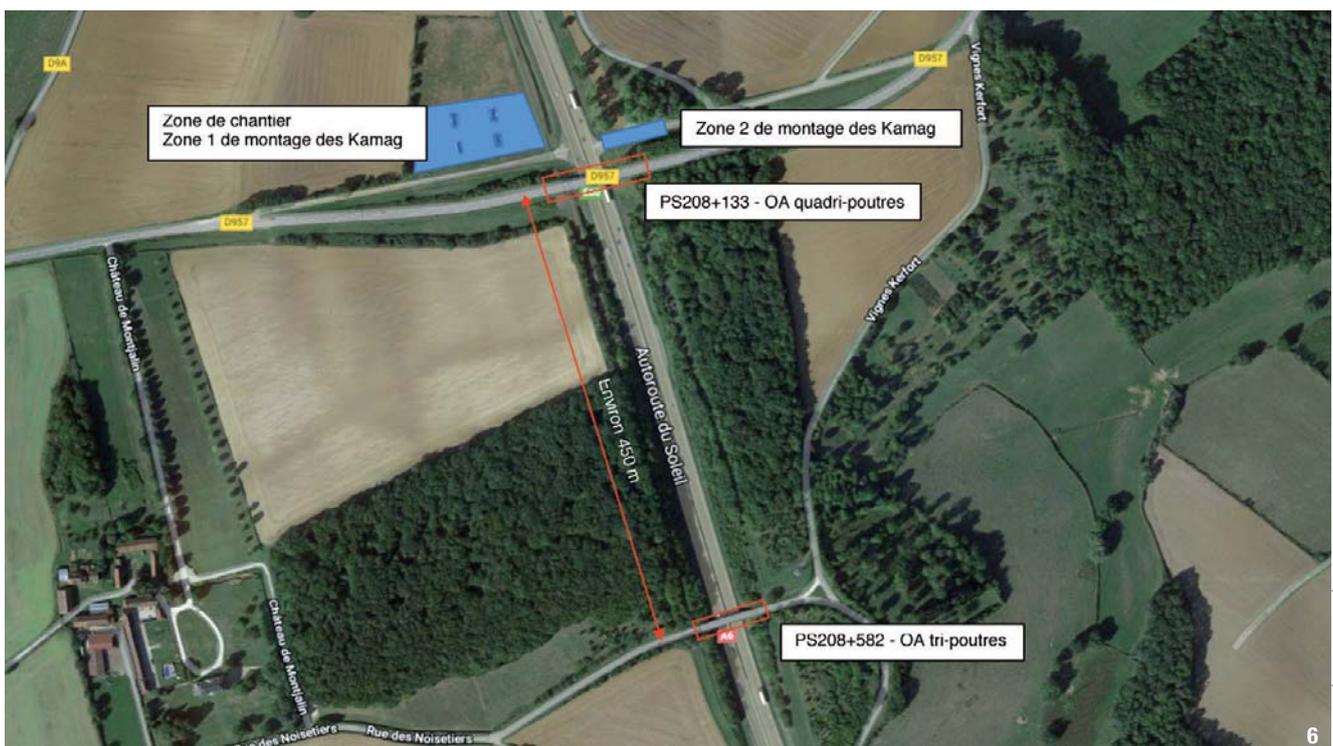
Au démarrage de l'étude, deux solutions techniques ont été analysées dont le délançage du tablier du PS208+582. Cette solution a été abandonnée en phase PRO par le MOA compte-tenu notamment de la nécessité de positionner le tablier sur 80 cm environ de calage provisoire au-dessus de l'autoroute en circulation.

Afin de répondre aux multiples contraintes du projet et de réaliser des

**5- Travaux préparatoires d'écrêtage des terrains avoisnants.**

**6- Vue générale de la zone de travaux.**

**5- Preparatory clipping work on the neighbouring land.**  
**6- General view of the work area.**



© PHOTO THÉQUE SETEC DIADÈS

travaux de qualité en toute sécurité, la solution proposée et validée a été le déplacement des 2 tabliers sur une aire de stockage à proximité immédiate du site où les ouvrages seraient partiellement démolis puis reconstruits avant repose à leurs emplacements d'origine.

**7- Schémas de déplacement des 2 tabliers.**

**7- Diagrams of movement of the 2 decks.**

La démarche adoptée a donc été la suivante :

- Préparer les accès travaux, zones de franchissement du TPC et de travaux de réparation des tabliers, préparer les ouvrages à leurs déplacements ;

- Déplacer les ouvrages durant une 1<sup>re</sup> nuit de coupure et les poser sur des appuis provisoires en bordure de l'autoroute ;
- Démolir puis reconstruire les hourdis en béton, hors gêne à la circulation de la voie franchie, tout en conservant les charpentes métalliques ;
- Reposer les ouvrages durant une 2<sup>de</sup> nuit de coupure sur leurs appuis d'origine.

Le premier point a consisté à s'assurer de la capacité portante des charpentes métalliques à supporter l'ensemble des phases travaux à réaliser en tenant compte du changement de fonctionnement statique des ouvrages, d'une part, et du déplacement des points d'appui nécessaires au portage des structures, d'autre part.

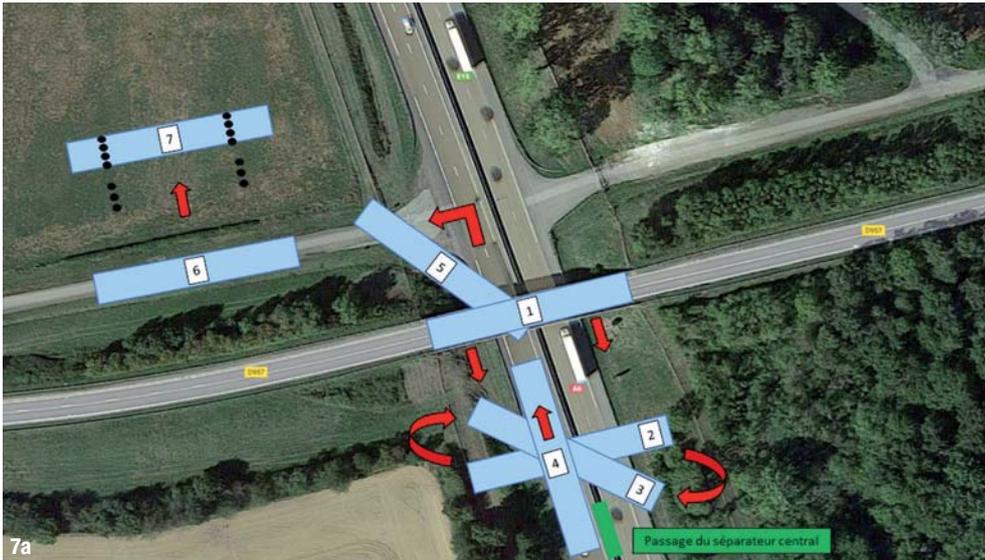
La technique retenue a été l'utilisation de 2 plateformes automotrices hydrostatiques par ouvrage, placées en Bande d'Arrêt d'Urgence au plus près des piles existantes et permettant de soulever les ouvrages et les dégager de leurs appuis existants. Le déplacement des points d'appuis de quelques mètres et l'augmentation des parties en console conduisaient alors à une augmentation significative des contraintes dans les charpentes.

Un des points cruciaux consistait donc à définir précisément les méthodes de déplacement des ouvrages et l'ensemble des phasages associés, et notamment à vérifier que les charpentes étaient aptes à supporter l'ensemble des charges engendrées par les travaux de portage.

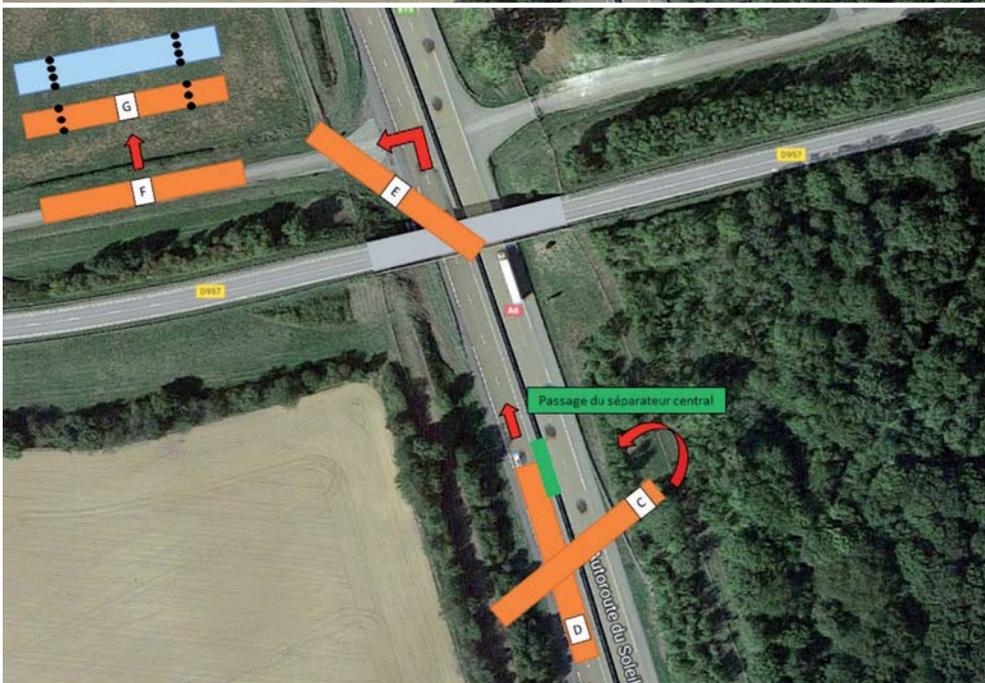
En effet, l'augmentation de la longueur des porte-à-faux liée au décalage des points de portage par rapport à la situation d'origine, passant de 13,54 m à un peu plus de 18,5 m, conduisait au doublement des moments sollicitants dans les charpentes.

**RÉALISATION DES TRAVAUX PRÉPARATOIRES**

La première phase des travaux, réalisée sans grosse restriction de circulation de l'autoroute A6, a donc consisté à démolir l'ensemble des superstructures sur les ouvrages ainsi que les hourdis sur les travées de rive sur 7 m environ afin de réduire sensiblement les sollicitations dans les charpentes et de minimiser d'environ 40 % le poids total des ouvrages avant leur dépose (349 t au lieu de 590 t pour le PS208+133 et 250 t au lieu de 429 t pour le PS208+582) et donc le dimensionnement des plateformes automotrices nécessaires au portage.



© PHOTO THÉQUE SETEC DIADES



© PHOTO THÉQUE SETEC DIADES



8



9

© PHOTOTHÈQUE APPR - DIPP

Par ailleurs, compte-tenu des dénivellements d'appui réalisées à l'origine, le vérinage des tabliers, nécessaire pour libérer les appuis et absorber les flèches de porte-à-faux complémentaires, aurait été trop important sans une diminution conséquente des charges en porte-à-faux.

La démolition d'une partie des travées de rive (figure 3) permettait alors, compte-tenu du balancement défavorable des travées, de soulager le tablier au niveau des culées, nécessitant toutefois de libérer préalablement les appuis anti-soulèvement. Cette démolition partielle des hourdis n'entraînait que très peu de perte de rigidité et d'affaiblissement de la section résistante des tabliers puisque les efforts étaient principalement concentrés sur les appuis et en travée centrale lors de

ces phases isostatiques de déplacement des ouvrages.

Le déplacement des points d'appuis intermédiaires conduisant à l'introduction d'efforts concentrés dans des sections non raidies des poutres, des raidisseurs verticaux d'âme ont été soudés sous les points d'appui provisoires. En parallèle, des contreventements transversaux provisoires en structure treillis ont été réalisés afin de raidir la charpente dans ces zones de portage (figure 4).

Le soulèvement, le portage puis la dépose des ouvrages ont été assurés par l'entreprise Sarens à l'aide de 2x2 plateformes automotrices Kamag disposées à proximité immédiate des piles. Afin de faciliter les phases de déplacement, des travaux préparatoires complémentaires ont été réalisés. Il a été

**8- Déplacement en cours du PS 208+582.**

**9- Arrivée du PS 208+582 sur l'aire de chantier.**

**8- Movement of overpass 208+582 in progress.**

**9- Arrival of overpass 208+582 on the worksite area.**

en effet nécessaire de renforcer les zones d'accotement à proximité immédiate des ouvrages pour permettre le dégagement des tabliers, de démolir un tronçon de GBA permettant ainsi de créer une zone de franchissement du

TPC, de démolir les garde-grève des 2 ouvrages pour faciliter le dégagement des tabliers, diminuer les hauteurs de vérinage des ouvrages et éviter les risques de contact entre charpente et garde-grève, et enfin d'écarter une partie des talus pouvant gêner le déplacement des ouvrages (figure 5).

Une aire de chantier a été aménagée à proximité de l'ouvrage quadripoutre pour accueillir les deux tabliers en fin de dépose, les aires de montage des Kamag étant également disposées dans cette zone. Le choix d'amener les 2 ouvrages sur une même aire de travail a conduit à un ordonnancement spécifique des travaux (figure 6). En effet, l'acheminement des Kamag pour le tripoutre situé à près de 450 m de l'aire de travail nécessitait un montage partiel des Kamag leur

permettant de passer sous le quadri-poutre et une finalisation du montage au droit de l'ouvrage. Par ailleurs, le processus de cheminement du PS208+582 devait intégrer le franchissement des appuis du premier ouvrage.

### DÉPLACEMENT DES TABLIERS

De manière à compenser les effets du profil en long des ouvrages et la nécessité de conserver l'horizontalité des structures de manutention, des réglages par cales biaises entre les plateaux et la charpente ont été nécessaires. Ils ont été complétés par la mise en œuvre de taquets de maintien tant dans le sens transversal que longitudinal, permettant de sécuriser toutes les phases de déplacement et d'éviter tout risque d'échappement d'appuis.

Compte-tenu de la configuration du site, le portage a dû être phasé avec la création notamment d'une aire de franchissement du TPC commune aux 2 ouvrages. Le déplacement des tabliers s'est donc déroulé selon la chronologie suivante :

- Dégagement des tabliers de leurs appuis.
- Démarrage du transfert avec le tablier quadri-poutre par une translation d'environ 20 m vers le tri-poutres pour le dégager de ses appuis puis réalisation d'une rotation à 90 degrés permettant de franchir le TPC. L'acheminement pouvant alors se faire sur le sens 2 de l'autoroute avec une nouvelle



10 © PHOTOTHÈQUE APRR - DISI

#### 10- Grignotage des encorbellements.

#### 11- Hydrodémolition de la dalle entre poutres pour la dépose du hourdis.

#### 10- Overhang nibbling.

#### 11- Hydrodemolition of the slab between beams for removal of the top slab.

rotation permettant de rentrer sur l'aire de travail et positionner le 1<sup>er</sup> tablier sur ses appuis provisoires (figure 7a - phases 1 à 7).

- Après avoir écrêté le remblai au droit des culées du tripoutre, translation de 20 m environ vers le quadri-poutre pour le dégager de ses appuis et rotation partielle du tablier pour le positionner en crabe par rapport à l'autoroute (figure 8).
- L'ouvrage est alors translaté sur 400 m environ jusqu'à la zone de dépose partielle du TPC, permettant ainsi de finaliser la rotation, franchir le TPC et positionner le tablier parallèle à l'autoroute sur le sens 2 de

circulation. Une dernière translation est effectuée pour franchir les piles du quadri-poutre avant de faire une ultime rotation et rentrer sur l'aire de chantier. Le second tablier peut alors être déposé sur ses appuis provisoires (figure 7b - phases A à G et figure 9).

Cette technique de dépose a permis de minimiser la gêne du client puisque l'amenée des plateformes automotrices a pu être opérée sous de simples neutralisations de voie, et la nuit de travaux du 4 au 5 juin 2016 a été nécessaire pour la dépose des 2 ouvrages sous coupure totale de l'autoroute A6.

Des appuis provisoires avaient été construits préalablement sur l'aire de chantier, prêts à recevoir les 2 tabliers, perpendiculairement à l'autoroute.

### LES TRAVAUX DE RÉPARATION

Une fois sur l'aire de chantier, les travaux pouvaient être effectués sans difficultés particulières et en toute sécurité pour les compagnons.

La démolition des hourdis a été faite par grignotage à la pince pour les encorbellements et par hydrodémolition du béton au droit des semelles supérieures et entretoises pour la dépose des zones entre-poutres (figures 10 et 11).

Les éléments de dalle, préalablement sécurisés, ont ensuite été déposés et envoyés en centre de traitement.

Les entretoises métalliques noyées dans les poutres béton d'about ont été déposées dès la phase d'allègement du tablier du fait des déformations qu'elles avaient subies lors de la démolition partielle des hourdis, et reconstituées une fois sur la zone de chantier.

Une fois les charpentes « mises à nue », une remise en peinture a été réalisée après un lavage total, des retouches ponctuelles et la réalisation d'une couche de finition pour le PS208+133 et après un décapage complet de l'ancien complexe anticorrosion pour le PS208+582 dont la présence de plomb dans le primaire de la peinture a nécessité la mise en œuvre d'un échafaudage général, portant un confinement étanche et un sas de décontamination à 3 comportements conformément à la législation, afin de réaliser ces travaux en toute sécurité (figure 12).

Les charpentes métalliques des tabliers ayant été dimensionnées avec d'anciens règlements de calcul, il n'était pas envisageable de vouloir les mettre en conformité avec le nouveau corpus réglementaire que constituent les Euro-codes.



11 © PHOTOTHÈQUE APRR - DISI



Les études de conception et d'exécution ont donc été conduites avec les derniers règlements français en vigueur. Malgré la construction d'un hourdis neuf, les épaisseurs d'origine ont été retenues en dérogeant aux épaisseurs d'enrobage Eurocodes, en les fixant arbitrairement à 3 cm.

La conservation de la géométrie des dalles permettait également, en respectant au maximum la conception d'origine, de sécuriser le respect du profil en long des tabliers en fin de travaux. Toutefois il a été constaté, lors des contrôles géométriques des charpentes sur l'aire de travail, que les contreflèches des poutres n'avaient pas retrouvé leurs valeurs d'origine reportées sur les plans BPE des montages à blanc de 1967.

Les nouveaux hourdis ont été réalisés par éléments préfabriqués de 2 m de longueur et mis en œuvre sur les charpentes en pianotant pour limiter la fissuration dans les dalles (hormis sur les zones d'about qui ont été réalisées après la repose des tabliers) et limiter les défauts de profils en long. Le clavage entre dalles a été exécuté de manière traditionnelle à l'aide de coffrages en bois réalisés sur mesure (figure 13).

Enfin, l'autoroute A6 a été coupée une seconde nuit entre le 1 et le 2 octobre 2016 pour la repose des 2 tabliers sur leurs appuis d'origine et les bouts de dalle ont pu être finalisés à l'aide d'éléments préfabriqués et une dernière portion coulée en place à l'aplomb des culées.

Un premier vérinage a été effectué pour poser les charpentes sur leurs 4 lignes d'appuis, suivi par une phase de dénivellations d'appui dont la valeur définitive a été définie au fur et à mesure des travaux par les profils géométriques des

**12- Vue générale de l'échafaudage et des sas de décontamination.**

**13- Mise en œuvre des dalles préfabriquées et clavage.**

**12- General view of the scaffolding and decontamination chambers.**

**13- Placing prefabricated slabs and keying.**

ouvrages suivis en temps réel afin d'éviter de créer un effet de creux en milieu de travée centrale du fait des différences de contreflèche constatées par rapport à la géométrie d'origine. La légère diminution des hauteurs de dénivellation a nécessité, dans un second temps, de prévoir ponctuellement un renfort des semelles inférieures du PS208+133. Les ultimes travaux ont ensuite consisté à finaliser les superstructures, reconstruire les garde-grève et murs en retour et, bien entendu, remettre en état l'ensemble des zones provisoires de chantier.

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** Aprr - Direction Infrastructure Péage Patrimoine

**MAÎTRE D'ŒUVRE :**

- **Maîtrise d'œuvre études + VISA :** Setec Diadès
- **Maîtrise d'œuvre travaux :** Direction de l'Ingénierie et des Systèmes d'Information d'Aprr Disi

**ENTREPRISE :** Eiffage - Agence Est

**PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS :**

- **Réalisation des dalles préfabriquées :** Matière
- **Dépose et repose des tabliers :** Sarens
- **Terrassements :** Berger
- **Bureaux d'études Génie Civil :** BE Arlaud
- **Bureau d'études métal :** Mio

## CONCLUSIONS

Ce projet de réparation d'ouvrages a regroupé des problématiques techniques et des problématiques structurales. Le mode de dépose et repose par plateformes automotrices et le mode de reconstruction des tabliers béton mixant plusieurs schémas statiques de fonctionnement et des inconnues sur l'histoire de l'ouvrage, ont nécessité une réflexion et une ingénierie complète pour assurer la bonne conception des ouvrages, la faisabilité de ces opérations coups de poing, tout en garantissant une bonne gestion des contraintes fortes d'exploitation autoroutières. □

## ABSTRACT

### THOROUGH RENOVATION OF 2 OVERPASSES ON THE A6 MOTORWAY

RENAUD LECONTE, SETEC DIADES - JEAN-PHILIPPE MARION, DIPP APRR

As part of the monitoring of its road structures, APRR (Autoroutes Paris Rhin Rhône) undertook a thorough renovation of two composite steel-concrete bridges on the A6 motorway whose damaged top slabs had to be demolished and rebuilt. In order to limit operating constraints during the works, the solution designed by Setec Diadès and implemented by the contractor Eiffage consisted of reducing the weight of the decks insofar as possible by demolishing the superstructures and 7 metres of top slab at the ends of the end spans. These two decks were then carried on hydrostatic self-propelled platforms onto a work area arranged near the motorway. Once the renovation works had been performed, the decks were able to be placed back on their original supports. □

### REHABILITACIÓN EN PROFUNDIDAD DE 2 PUENTES SOBRE LA AUTOPISTA A6

RENAUD LECONTE, SETEC DIADES - JEAN-PHILIPPE MARION, DIPP APRR

En el marco del seguimiento de sus obras, APRR (Autoroutes Paris Rhin Rhône) ha iniciado la rehabilitación en profundidad de dos puentes de estructura mixta acero-hormigón sobre la A6, cuyos forjados presentan patologías que exigen su demolición y reconstrucción. Para limitar las interrupciones del tráfico durante las obras, la solución proyectada por Setec Diadès e implementada por la empresa Eiffage ha consistido en aligerar al máximo los tableros por demolición de las superestructuras y 7 m de forjados en los extremos de los vanos de orilla, y seguidamente en transportar los dos tableros mediante plataformas automotoras hidrostáticas hasta una zona de trabajo habilitada cerca de la autopista. Una vez concluidos los trabajos de rehabilitación, los tableros se han vuelto a colocar sobre sus apoyos originales. □