

Ouvrages d'art



Construction de deux ponts routiers en béton fibré ultra performant (BFUP)

Jacques Resplendino, Sébastien Bouteille

Introduction

Les ouvrages objets du présent article sont le franchissement d'un embranchement ferroviaire par le contournement de Saint-Pierre la Cour en Mayenne et le passage supérieur n° 34 du projet autoroutier A51, Section Coynelle/Col du Fau.

Il s'agit de deux ponts routiers construits en France en 2005, et réalisés en Béton Fibré Ultra Performant (BFUP).

Les BFUP sont des matériaux à matrice cimentaire, de résistance caractéristique à la compression supérieure à 150 MPa, et pouvant aller jusqu'à 250 MPa. Ces matériaux sont additionnés de fibres métalliques, en vue d'obtenir un comportement ductile en traction.

Les BFUP se distinguent des bétons à hautes et très hautes performances :

- par la non-fragilité du matériau qui peut permettre de s'affranchir au recours classique aux armatures actives et passives,
- par leur composition et leur fort dosage en liant qui conduit à l'absence de toute porosité capillaire,
- par leur résistance en traction de la matrice systématiquement supérieure à 7 MPa.

Après une rapide description de ces ouvrages, l'article présente les essais effectués dans le cadre des épreuves d'études et de convenance du béton fibré ultra performant (BFUP). Il aborde ensuite les calculs de conception de ces structures sachant que l'ensemble des hypothèses sur les matériaux et le dimensionnement de ces ouvrages est conforme aux règles françaises en vigueur et respectent les recommandations provisoires AFGC-Sétra sur les Bétons Ultra Performants.

Pour chaque ouvrage, l'article présente ensuite les principales opérations de fabrication et de mise en œuvre des éléments de structure en BFUP.

Le Pont de Saint-Pierre la Cour

Présentation générale de l'opération

Le pont de Saint-Pierre la Cour (photo 1) a été construit par le groupement d'entreprises Quille (groupe Bouygues Tr) pour le compte de Lafarge Ciment et du Conseil Général de la Mayenne [8], [9].

L'ensemble des éléments préfabriqués en BFUP a été réalisé par l'entreprise CPC (COMPOSANTS PRE-CONSTRAINTS) dans son usine de Brive.



Photo 1 : vue générale du Pont de Saint-Pierre La Cour

Source : CETE de Lyon

La conception a été réalisée par l'entreprise VSL, et le bureau d'étude de Bouygues TP. Le CETE de Lyon a effectué le contrôle extérieur de la conception et de la réalisation des parties d'ouvrage en BFUP.

Caractéristiques générales de l'ouvrage

L'ouvrage est un pont à poutres en i préfabriquées, précontraintes par prétension en Ductal®, connectées à une dalle en béton armé ordinaire, coulée sur des prédalles en Ductal®, de 25 mm d'épaisseur (figure 1).

Il s'agit d'un pont routier isostatique de 19 m de portée, de 12,60 m de largeur, présentant un biais de 60 grades. L'ouvrage supporte une chaussée de 7,60 m, un trottoir de 1,25 m et une piste cyclable de 2,50 m.

La chaussée d'épaisseur très importante est constituée d'une couche de GB3 d'épaisseur minimale 9 cm supportant une couche de 15 cm de Béton Auto Compacté et un revêtement BBTM de 2,5 cm.

Le revêtement anormalement épais sur l'ouvrage est lié au fait que la chaussée hors ouvrage en Béton Auto Compacté a été poursuivie au droit de la structure. Cette conception satisfaisante pour la chaussée est par contre très pénalisante pour la structure car elle augmente de façon très sensible le poids des charges permanentes.

En dehors de ce problème de superstructure, l'intérêt de la conception est d'une part de permettre un allègement de la structure en augmentant les élancements des poutres par rapport à une solution traditionnelle, d'autre part d'utiliser pleinement le BFUP pour ses performances en terme de durabilité. En effet, toutes les surfaces du tablier en contact avec l'air ambiant sont soit réalisées en BFUP (poutres et intrados de la dalle), soit protégées par l'étanchéité (extrados de la dalle).

Épreuves préalables à l'exécution : caractérisation du matériau

Les hypothèses concernant le matériau Ductal® ont été validées par les essais de convenances présentés ci-après, réalisés conformément aux dispositions des recommandations AFGC-Sétra sur les BFUP [1], [2].

Outre les éprouvettes de caractérisation pour les éléments de poutres et les éléments de dalle mince les corps d'épreuves suivants ont été réalisés :

- un élément de poutre de 3 m de long pour la détermination du coefficient K,
- un élément de prédalle de dimension réelle de 25 mm d'épaisseur,
- un élément de prédalle de dimension réelle de 30 mm d'épaisseur.

L'ensemble corps d'épreuve a été confectionné dans les conditions d'exécution de l'ouvrage chez le préfabricant CPC à savoir :

- coulage dans l'usine de préfabrication,
- cure de la poutre dans le coffrage à 40°C pendant 18 heures,
- traitement thermique par étuvage à une température entre 80° et 90°C et HR > 90 % durant 48 heures. Ce traitement intervient après la fin de prise, de manière à éviter tout risque de formation d'ettringite différée (DEF). Sa mise en œuvre nécessite ainsi une bonne connaissance et un dispositif de contrôle du temps de prise. Le principal intérêt de ce traitement est une diminution importante des effets différés de retrait et de fluage une fois le traitement thermique terminé.

Les différents essais ont été réalisés par le Laboratoire Central de Recherche de Lafarge de Saint-Quentin Fallavier (38).

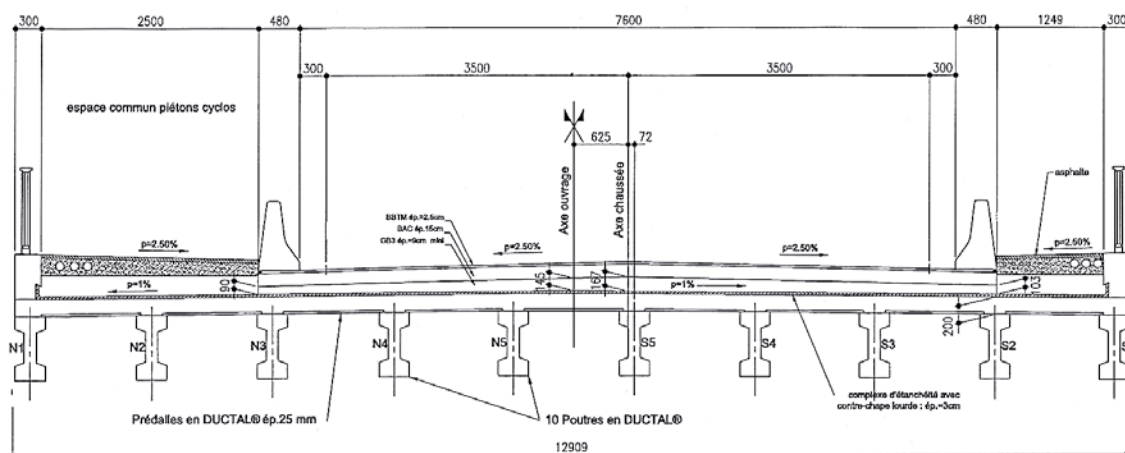


Figure 1 : coupe transversale de l'ouvrage

Essais de convenance sur l'élément de poutre de 3 m (calcul du coefficient K)

L'élément témoin de poutre a été fabriqué par CPC courant novembre 2004. Par défaut de disponibilité du banc de précontrainte, cet élément témoin n'a pas été précontraint, mais on a disposé des barres d'acier d'un diamètre identique aux torons prévus.

Cet essai n'a ainsi pas permis d'apprécier les phénomènes de diffusion de précontrainte, mais a été représentatif en ce qui concerne la caractérisation du BFUP et la détermination du facteur K d'orientation des fibres déterminé conformément aux recommandations sur les BFUP [2], et aux dispositions retenues lors des ouvrages de Bourg Lès Valence ([4], [5], [6]). Ce coefficient a été calculé à partir des résultats d'essais obtenus sur les prélèvements représentés figure 2.

L'essai a par ailleurs permis d'affiner les dispositions prévues pour la mise en œuvre du béton.

Les essais sur prélèvements de l'élément témoin ont conduit aux résultats suivants :

- $K=1,34$ pour le cisaillement et les efforts généraux,
- $K=1,81$ pour les justifications locales de diffusion de précontrainte.

L'essai a par ailleurs permis d'affiner les dispositions prévues pour la mise en œuvre du béton.

Essais sur dalles minces

Des essais de flexion 4 points ont été réalisés sur deux épaisseurs de plaque (25 et 30 mm) en prélevant des éprouvettes dans les corps d'épreuves conformément aux dispositions des recommandations AFGC-Sétra concernant les éléments minces. Ces essais ont permis de confirmer que l'épaisseur de 25 mm était admissible avec une contrainte caractéristique de traction équivalente à la rupture de 15,5 MPa.

Des essais laboratoire sur un béton d'étude ont également été réalisés. Les contraintes homogénéisées obtenues sont sensiblement supérieures aux résultats des essais de convenance.

Pour des épaisseurs de plaques de 25, 30, 35 mm les contraintes caractéristiques sont respectivement : 23,7, 26,6 et 16,2 MPa. Cette différence s'explique vraisemblablement par la méthode de coulage réalisée à partir d'un côté sur plan incliné pour les éprouvettes de laboratoire, ce qui favorise l'orientation des fibres.

Outre les essais de caractérisation sur les prélèvements, les prédalles de 25 mm d'épaisseur ont subi une épreuve de chargement réelle à l'usine de préfabrication CPC.

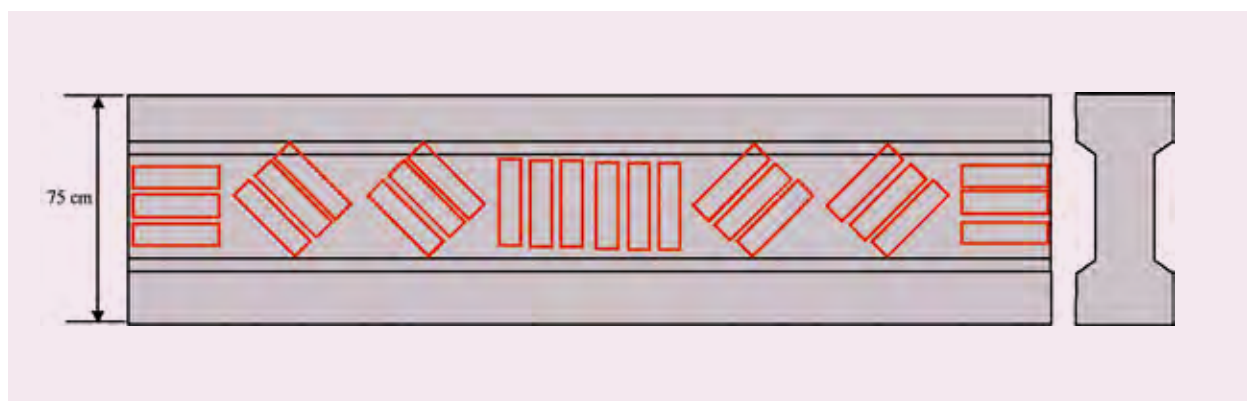


Figure 2 : prélèvements sur l'élément témoin réalisés par sciage

Dimensionnement du tablier de l'ouvrage

La flexion générale de l'ouvrage a été étudiée à l'aide d'un modèle grille de poutre 3D complété par l'utilisation d'un logiciel prenant en compte la loi de comportement non linéaire du Ductal® établie suite aux essais de convenance.

Chaque poutre comporte 14 torons T15S dans le talon et 4 torons en partie haute de la poutre (figure 3).

L'étude de la diffusion locale de précontrainte aux abouts a permis de définir trois sections successives d'ancrage des torons avec des longueurs de gainage de un ou deux mètres suivant les torons, ainsi qu'une résistance minimale à la compression de 80 MPa pour la mise en précontrainte de la poutre.

Les aciers de connexion poutre dalle en béton traditionnel sont réalisés à l'aide de cages d'armatures pré-assemblées sur une longueur d'environ 2,00 m (figure 4). Cette longueur correspondait aux espacements entre les dispositifs supérieurs de maintien des joues des coffrages.

Lors du dimensionnement de l'ouvrage une attention particulière sur la torsion induite dans les poutres du fait du biais prononcé du tablier, et de l'absence d'entretoise sur culées. Le dispositif de stabilisation provisoire des poutres en phase de bétonnage a fait l'objet d'une conception spécifique visant à limiter toute torsion dans les poutres sous le poids du béton frais.

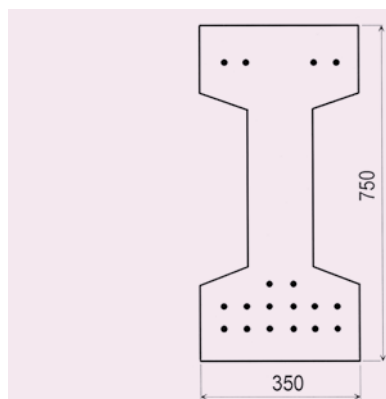


Figure 3 : coupe transversale d'une poutre - câblage

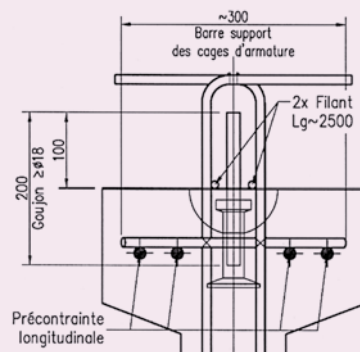


Figure 4 : conception des connecteurs



Photos n°2 : manutention des prédalles – Source : CETE de Lyon

Préfabrication des poutres et des prédalles

La préfabrication des prédalles est intervenue en mars 2005.

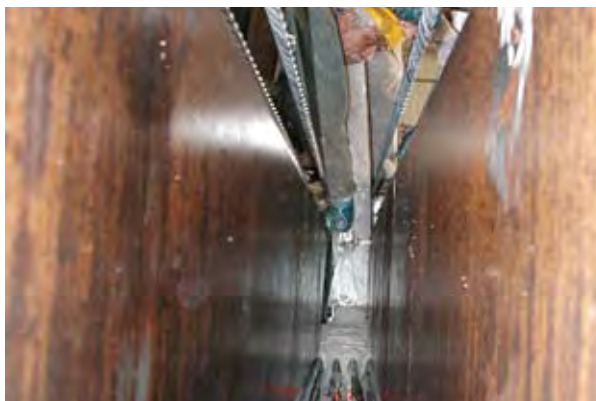
Des inserts permettent le transport et le stockage des éléments (photos 2).

Le coulage des poutres s'est effectué à la goulotte par passes horizontales successives afin de limiter les écoulements (photos 3).

Les coffrages sont calorifugés afin de garantir une température d'environ 40°C jusqu'à la prise du béton.

Une fois le décoffrage des poutres réalisé, et les câbles relâchés, le traitement thermique est réalisé par bâchage des poutres sous une atmosphère saturée en humidité et une température comprise entre 80 et 90°C pendant au moins 48 heures.

Sur site, les poutres sont mises en œuvre de façon traditionnelle à la grue (photos 4). La conception



Photos n°3 : coulage des poutres – Source : CETE de Lyon



Photos n°4 : mise en place des poutres à la grue – Source : CETE de Lyon



de l'ouvrage permet une réalisation du tablier dans des délais réduits, et limite la gêne au trafic sous l'ouvrage : pose des poutres, des prédalles coffrantes, mise en œuvre du ferrailage et bétonnage.

Le PS34 sur l'autoroute A51

Présentation générale de l'opération

L'ouvrage a été construit en 2005 (photo 5) par l'entreprise Campenon Bernard Régions (groupe Vinci) pour le compte de la société AREA maître d'ouvrage, assistée par le bureau d'ingénierie Scetauroute [8], [10].

Il est réalisé en BCV®, le BFUP développé par le cimentier Vicat et le groupe Vinci.

La conception du tablier a été réalisé par la Direction





Photo 5 : vue générale du PS34 sur l'autoroute A51 – Source : CETE de Lyon

Ingénierie et Moyens Techniques de Vinci Construction Grands Projets. Les études d'exécution ont été réalisées par le bureau d'étude COGECI.

L'ensemble de la conception et de l'exécution a fait l'objet d'un contrôle extérieur par le CETE de Lyon.

Description générale de l'ouvrage

Le PS34 est un pont routier isostatique de 47,40 m de portée, de type caisson en béton précontraint. Il supporte une chaussée de troisième classe de 3,00 m de largeur utile.

Le caisson a une hauteur constante égale à 1,60 m. Le hourdis supérieur a une largeur totale de 4,40 m et une épaisseur constante de 14 cm. Les âmes et le hourdis inférieur ont une épaisseur constante de 12 cm (figure 5).

Aucun ferrailage passif général n'est mis en œuvre dans les voussoirs courants en BFUP qui sont précontraints longitudinalement par une précontrainte extérieure filante réalisée au moyen de 6 câbles de type 19 T15S.

Le tablier est réalisé au moyen de 22 voussoirs préfabriqués réalisés à joints conjugués collés (figure 6) :

- 18 voussoirs courants ont une longueur de 2,44 m,
- les déviateurs de la précontrainte extérieure sont réalisés au moyen de deux voussoirs spéciaux de 0,50 m de longueur,
- les voussoirs d'about sur culée de 2,04 m de longueur ont une géométrie spécifique permettant d'assurer l'ancrage des câbles de précontrainte extérieure.

L'ouvrage est bordé par deux séries de bordures GSS81 complétées par des écrans en bois assurant la protection visuelle nécessaire au passage des cavaliers et du bétail qui empruntent le chemin rural.

Profitant des performances remarquables du BCV® en terme de durabilité, et du fait que les joints conjugués collés entre les éléments sont fortement comprimés, aucune étanchéité ni couche de roulement n'a été mise en œuvre sur l'ouvrage, ce qui est une première pour un pont routier en France.

L'extrados de l'ouvrage est, pour cela, coffré avec une matrice spéciale procurant une grande rugosité nécessaire pour assurer l'adhérence des véhicules.

De faux voussoirs prolongent la forme du caisson jusqu'à rencontrer le talus. Ceux-ci restent démontables pour permettre une intervention ultérieure sur la précontrainte. Un regard permet l'accès à l'intérieur du caisson et l'inspection de la précontrainte.

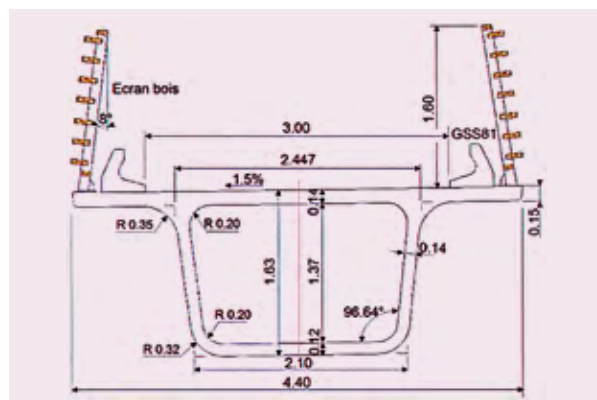


Figure 5 : section transversale de l'ouvrage

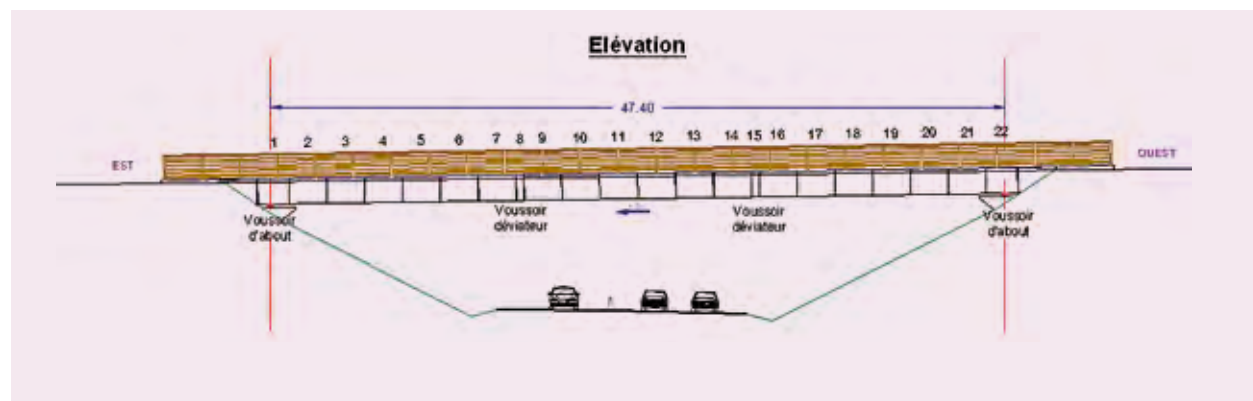


Figure 6 : coupe longitudinale de l'ouvrage

Études d'exécution de l'ouvrage

L'ouvrage comporte une seule voie de 3 mètres de large. Il a été dimensionné avec des charges routières normales d'un ouvrage de 3^{ème} classe.

Le dimensionnement du tablier a été réalisé conformément aux Recommandations de l'AFGC Sétra [2]. Il intègre les justifications suivantes :

- calcul en flexion longitudinale,
- effort tranchant,
- ancrage de la barrière,
- justifications locales (déviateur, voussoirs sur culée).

Dans le cadre des études d'exécution, l'ouvrage a fait l'objet d'une modélisation spatiale aux éléments finis à l'aide du logiciel Effel. Un modèle local aux éléments finis avec le logiciel Hercule a permis de calculer les voussoirs d'about.

Vis-à-vis du comportement en flexion longitudinale, la présence de joints conjugués collés oblige à dimensionner l'ouvrage en compression totale, de façon à éviter toute décompression aux états limites de service. La compression moyenne à vide est de l'ordre de 25 MPa, la compression maximale à la mise en tension atteint 55 MPa. La compression minimale au droit du hourdis supérieur est supérieure à 10 MPa.

À l'état limite ultime, l'ouvrage est très légèrement décomprimé de telle sorte que la capacité en cisaillement sous la section comprimée résiduelle reste suffisante.

En flexion transversale, les efforts engendrés par les essieux des convois réglementaires de 30 tonnes, et la roue de 10 tonnes provoquent des tractions qui ne sont reprises que par la capacité de résistance en traction du BFUP.

Lors de la conception, il est ainsi nécessaire de choisir une valeur du coefficient K en amont puisque, à ce stade, aucun élément de taille réelle n'existe. Les recommandations AFGC donnent une idée des valeurs qu'il est possible d'adopter en première hypothèse compte tenu des résultats obtenus notamment sur les ouvrages de Bourg-Lès-Valence. De ce coefficient dépend le prédimensionnement de la structure à partir duquel il est possible de fabriquer un élément témoin pour réaliser les épreuves de convenance.

Les épreuves de convenance réalisées a posteriori permettent alors de valider les méthodes de mise en œuvre, et de confirmer que les valeurs des résistances réellement obtenues sont bien supérieures aux valeurs requises dans les calculs initiaux.

Les voussoirs d'about présentaient des contraintes de traction élevées (liées à l'introduction de la

précontrainte) sur un modèle éléments finis alors qu'un calcul classique ne nécessitait pas de ferrailage supplémentaire. Ces voussoirs sont, par ailleurs, l'objet de gradients thermiques élevés en cours de prise. Il aurait fallu réaliser un élément test pour valider un des deux modèles mais il a été choisi de mettre directement en place un ferrailage passif spécifique pour reprendre les efforts donnés par le modèle éléments finis, en supposant par sécurité une résistance en traction très réduite du BCV®.

La méthode de coulage nécessite également réflexion. Une méthode traditionnelle aurait consisté à mettre en œuvre le béton à la goulotte en déplaçant la goulotte pour éviter tout écoulement du BFUP, et favoriser une orientation anisotrope des fibres. Cette méthode présente l'inconvénient d'être très liée à l'opérateur et nécessite des procédures de suivi et de contrôle très poussées.

Dans le souci de mettre au point une méthode plus systématique et reproductible, l'entreprise a souhaité pour les voussoirs courants, introduire le béton en un point donné (milieu du hourdis supérieur), en testant diverses méthodes (à la pompe, à la goulotte,...). Ces méthodes présentent l'inconvénient d'orienter les fibres suivant les écoulements et de provoquer un front de flux à l'opposé du point d'injection (milieu du hourdis inférieur).

Au niveau de la rencontre du front de flux, des techniques de mélange en place ont été essayées mais écartées, ne donnant pas des résultats positifs et étant difficiles à mettre en œuvre, au profit d'un ferrailage de couture.



Photos 6 : panneaux et mini voussoir d'essai – Source : CETE de Lyon

Réalisation des épreuves de convenance

Au niveau des épreuves de convenance, l'entreprise a engagé une campagne importante pour valider les diverses formulations possibles, valider les matrices de coffrage envisageables pour les divers parements, examiner les méthodes de mise en œuvre du béton (à la goulotte fixe ou mobile, à la pompe), et ainsi pouvoir déterminer le coefficient d'orientation K des fibres.

Dans l'attente de la confection des coffrages définitifs, plusieurs panneaux et mini voussoirs d'essai ont été réalisés (photos 6).

Les parements des voussoirs du PS34 sont innovants en texture. Une matrice imitation bois a été choisie pour les faces extérieures des âmes et du hourdis inférieur et un aspect granuleux pour le hourdis supérieur qui fait directement office de chaussée sans étanchéité ni revêtement supplémentaire. La matrice polypropylène est recouverte de cire pour permettre un décoffrage aisé. Les BFUP donnent des états de surface remarquables si le coffrage est sans défaut. Par contre, la moindre imperfection au niveau de la matrice se retrouve sur le parement du béton, les BFUP reproduisant fidèlement les plus petits détails.

Deux voussoirs d'essai de grandeur réelle ont ensuite été confectionnés pour valider la valeur du coefficient K à prendre en compte dans les calculs (photo 7).



Photo 7 : voussoir d'essai en vraie grandeur – Source : CETE de Lyon

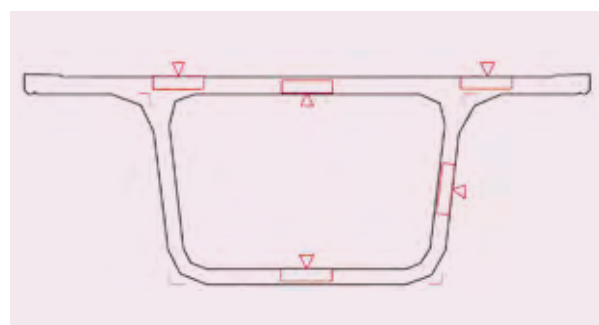


Figure 7 : position des prélèvements dans le voussoir d'essai. Les flèches indiquent les faces testées lors de l'essai de flexion

Fabrication de l'ouvrage

Préfabrication des voussoirs

Les 22 voussoirs, parmi lesquels deux voussoirs déviateurs, deux voussoirs d'abouts et deux voussoirs d'extrémité (faux voussoirs) sont réalisés dans l'usine de préfabrication de l'entreprise Campenon Bernard Régions à Romagnieu (Isère) qui est équipée d'une unité de malaxage de grande puissance spécialement adaptée aux BFUP.

Chaque voussoir est coulé verticalement sur le voussoir adjacent (photos 8).

La fabrication commence par le voussoir situé au centre de l'ouvrage, ce qui permet de progresser vers les voussoirs d'extrémité avec deux postes de bétonnage distincts.

Toutes les faces sont coffrées. Un système spécial de vérins et de bielles a été conçu pour permettre un décoffrage aisé du coffrage central.

Le rythme moyen est de 48 heures pour réaliser un voussoir. Même si le coulage est très rapide (40 minutes), la période de latence du BCPV® ne permet pas un rythme beaucoup plus élevé, d'autant plus qu'il faut préparer les coffrages suivants avec les joints pour le voussoir conjugué.



Photos 8 : fabrication des voussoirs – Source : CETE de Lyon

Mise en œuvre sur le site

Après l'étape de la préfabrication, les voussoirs sont transportés sur le site sur une aire d'assemblage préparée le long de la plateforme autoroutière. Ils sont collés et assemblés entre eux, par une précontrainte provisoire. Une fois l'ensemble des voussoirs assemblé, la précontrainte définitive (six câbles 19T15) est mise en œuvre et permet le décollage du tablier de son banc d'assemblage (figure 8).

L'ouvrage est ensuite mis en place à la grue directement sur ses appuis définitifs. Ce système évite l'utilisation d'étais et le travail en hauteur mais n'est envisageable que parce que l'ouvrage est suffisamment léger (195 tonnes).

La mise en place à la grue a été réalisée le 15 décembre 2005 (photos 9).

Les seules opérations restantes alors sont, le calage supérieur des appareils d'appuis par injection, la pose des voussoirs d'extrémité, la réalisation des joints de chaussée et l'achèvement de la pose des équipements dont la majeure partie a été mise directement avant le levage à la grue.

Conclusion - intérêt des solutions en BFUP

Par rapport à un passage supérieur classique, les solutions en BFUP procurent un gain important sur les quantités de matériaux (division par 2 à 3 des quantités de béton du tablier). Ces solutions peuvent permettre de supprimer certains appuis intermédiaires ce qui peut présenter un intérêt sur l'aspect esthétique (cas du PS34) et supprimer les risques de chocs de véhicule sur pile. De même l'allègement du tablier peut être intéressant en cas de conditions géotechniques difficiles, ou dans des zones de forte sismicité.

Le recours à la préfabrication permet de limiter l'utilisation des étalements ce qui diminue les problèmes classiques de sécurisation au montage, démontage.

Au niveau économique, ces solutions deviennent intéressantes si on amortit les outils et processus de préfabrication sur deux ou trois ouvrages du même type, ce qui permet de baisser le coût du matériau employé dans une logique de production industrielle.

Le dernier intérêt et pas un des moindres est bien sûr la durabilité de l'ouvrage qui est largement accrue grâce aux performances du matériau BFUP, sous réserve bien sûr d'apporter tout le soin nécessaire à la conception et à la réalisation des zones de clavage entre les éléments préfabriqués ■

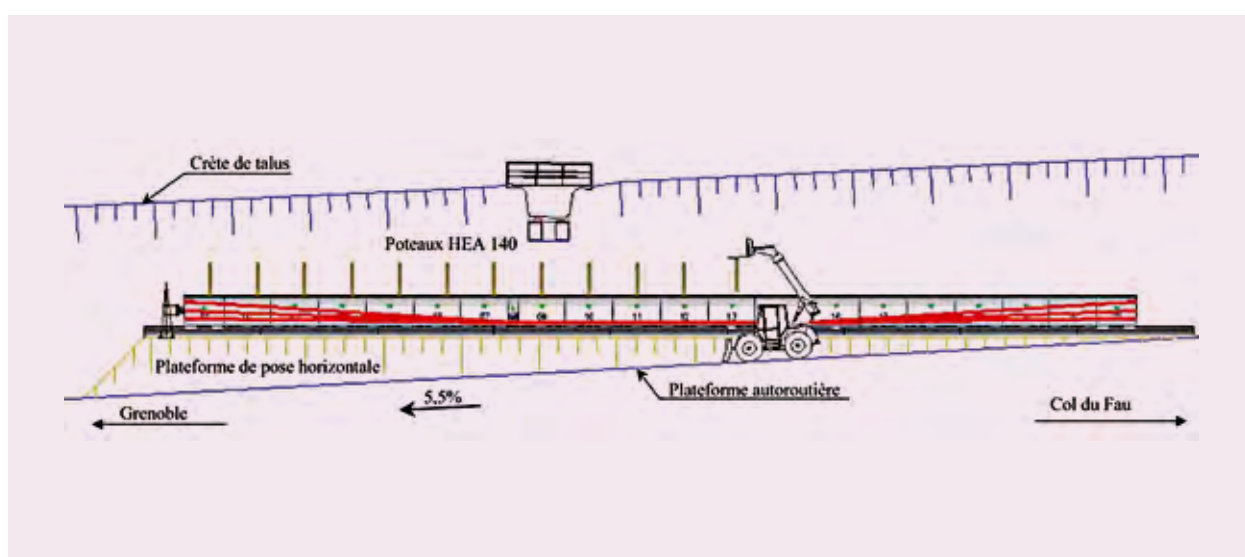


Figure 8 : mise en œuvre de la précontrainte extérieure

Références bibliographiques

[1] AFREM - BFM (1995) Recommandations sur les méthodes de dimensionnement, les essais de caractérisation, de convenance et de contrôle. Eléments de structures fonctionnant comme des poutres, décembre 1995.

[2] « Bétons Fibrés à Ultra-Hautes Performances », Recommandations provisoires, Association Française de Génie Civil, service d'Études techniques des routes et autoroutes, Janvier, 2002.

[3] Chanvillard G., Characterisation of fibre reinforced concrete mechanical properties: a review, conférence plénière, Fifth International Rilem Symposium on Fibre Reinforced Concretes, BEFIB'2000, Ed. P. Rossi and G. Chanvillard, Lyon, pp. 29-50.

[4] Resplendino J., Roy J.M., Petitjean J., Blondeau P., Hajar Z., Simon A., Thibaux T., « Ouvrages innovants de Bourg-lès-Valence », Revue Travaux, No.783, pp. 42-47.

[5] Thibaux T., Tanner J.A., « Construction des premiers ponts français en béton fibré à ultra hautes performances/construction of the first french road bridges in ultra high performance concrete », in La technique française du Béton, AFGC, The first fib congress 2002, Osaka 2002.

[6] Hajar Z., Simon A., Lecointre D., Petitjean J., "Construction of the first road bridges made of UHPC", 3rd International Symposium on HPC, Orlando 2003.

[7] Toutlemonde F., Resplendino J., Sorelli L., Bouteille S., Brisard S, (2005) "Innovative design of Ultra-high Performance Fiber-reinforced concrete ribbed slab : experimental validation and preliminary detailed analyses", communication acceptée au 7th International Symposium on Utilization of High Strength / High Performance Concrete, Washington D.C. (USA), june 20-22, 2005, SP 228-76 pages 1187 à 1206.

[8] J.Resplendino, S. Bouteille « Les derniers développements dans l'utilisation des Bétons Fibrés Ultra Performants en France », congrès AFGC GC2005, Paris (2005).

[9] J. Hanoteau, M. Behloul, O. Bayard, J. Resplendino, S. Bouteille, L. Boutonnet, S. Vildaer, B. Radiguet, S. Bernhard, N. Padovan "Ductal: a new material, the bridge of St Pierre La Cour", in the French technologie of concrete, AFGC, The second fib congress, Naples (2006).

[10] Jacques Resplendino, Sébastien Bouteille, Olivier Delauzun, Emmanuel Maleco, Céline Dumont, Pierre Cantrelle, Gérard Chanliaud, Christian Clergue, Yann Lingard, Alain Capra, Lionel Linger, Jacques Martin, Marc Guilloud "Construction of an overpass on the A51 Motorway, made of a prestressed box beam built with UHPFRC", in the French technologie of concrete, AFGC, The second fib congress, Naples (2006).



Photos 9 : mise en place à la grue – Source : CETE de Lyon