

CONSTRUCTION D'UN PASSAGE SUPERIEUR SUR L'AUTOROUTE A51, EN CAISSON PRECONTRAINT REALISE EN BETON FIBRE ULTRA PERFORMANT (BFUP)

CONSTRUCTION OF AN OVERPASS ON THE A51 MOTORWAY, MADE OF A PRESTRESSED BOX BEAM BUILT WITH ULTRA HIGH PERFORMANCE FIBRE REINFORCED CONCRETE (UHPFRC)

Jacques Resplendino , Sébastien Bouteille - CETE Rhône-Alpes

Olivier Delauzun, Emmanuel Maleco, Céline Dumont - Campenon Bernard Régions

Pierre Cantrelle, Gérard Chanliaud, Christian Clergue, Yann Lingard - Vicat

Alain Capra, Lionel Linger - Vinci Construction Grands Projets

Jacques Martin - Scetauroute / Groupe EGIS - **Marc Guilloud** - AREA



Fig 1 - Vue générale de l'ouvrage / General view of the structure

1. INTRODUCTION

L'ouvrage, objet du présent article, est le passage supérieur n° 34 dit 'Cr de la Chabotte' du projet autoroutier A51, Section Coynelle/Col du Fau. Il est réalisé en BCV®, le BFUP développé par le cimentier Vicat et le groupe Vinci. Il a été construit en 2005 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 maître d'œuvre et qui assure l'assistance au maître d'ouvrage pour cet ouvrage.

L'ensemble du projet et de l'exécution fait l'objet d'un contrôle externe par le CETE de Lyon.

1. INTRODUCTION

This article is about the n°34 overpass on the A51 motorway, in the Coynelle/Col du Fau section, called "Cr de la Chabotte". It is built in BCV®, the Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC) developed by the cement factory Vicat, and the Vinci group. It was built in 2005 by Campenon Bernard Regions (Vinci group) for AREA society, the owner, with the assistance in works contracts by Scetauroute company.

The checking of final design and the supervision of the execution is made by CETE de Lyon.

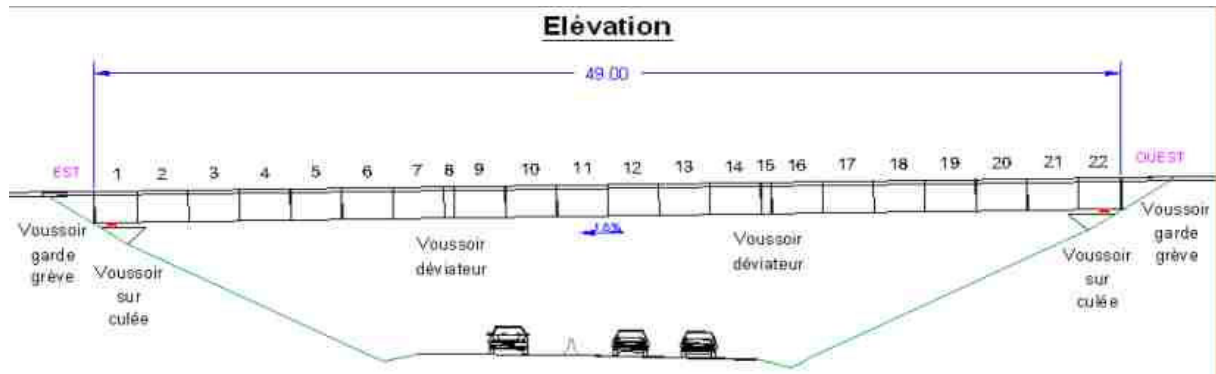


Fig 3 - Coupe longitudinale de l'ouvrage / Longitudinal cross-section of the bridge

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, il est prévu de ne mettre en œuvre ni étanchéité ni couche de roulement 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.

Les garde-grèves sont des faux voussoirs prolongeant 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.

3. CARACTÉRISTIQUES DU BCV®

3.1. Caractéristiques générales du BCV®

Les BFUP sont caractérisés par une résistance à la compression comprise entre 150 et 250 MPa. Le Béton Composite Vicat (BCV®), résultant d'une collaboration entre le Groupe Vicat, VINCI Construction Grands Projets et Campenon Bernard Régions, offre une résistance caractéristique à 28 jours comprise entre 130 et 150 MPa.

Les principaux intérêts de ces bétons sont une grande ductilité et une résistance en traction directe de l'ordre de 12 MPa obtenue grâce à un taux élevé de fibres métalliques très résistantes.

Ces fibres, différentes de celles d'un béton fibré traditionnel (Fig 4), peuvent permettre de se passer d'armatures passives étant donné qu'elles reprennent des contraintes de traction après fissuration de la matrice cimentaire. Elles peuvent être complétées par des fibres polymères (pour l'obtention d'autres propriétés).

The structure is bordered by two lines of GSS81 curbs, completed by wood screens which secure the visual protection necessary for cattle and riders who take the country lane.

Using BCV® durability remarkable performances, and the fact that the match cast pasted joints are in high compression, there is neither watertight layer nor carriageway on the structure, which is a première for a road bridge in France.

The upper surface of the slab is made using a special formwork surface which gives high rugosity for vehicle adhesion.

The abutment retaining walls are made with false segments which occur the same geometry of the deck until the slope. Abutment elements can be stripped for an eventually futur intervention on prestressing. A hole allows to access to the box beam to inspect prestressing.

3. BCV® CHARACTERISTICS

3.1. BCV® general characteristics

UHPFRC refers to material with a compressive strength between 150 and 250 MPa. Béton Composite Vicat (BCV®) which results from a collaboration between Vicat group, VINCI Construction Grands Projets and Campenon Bernard Region, has a 28 days characteristic compressive strength between 130 MPa to 150 MPa.

Most interests of these concrete are an important ductility and a tensile strength about 12 MPa, due to an important content of very high resistant steel fibres.

These fibres which are different from fibres used for traditional steel reinforced concrete (fig 4) allow to avoid any traditional reinforcement, because of their post cracking tensile strength. Polymer fibres can be added to them when other properties are expected.

La formule de BCV® utilisée pour le PS34 comporte un taux de fibres d'environ 2 % en volume, constitué de deux tailles de fibres différentes : 2/3 de fibres de 20 mm de longueur, 1/3 de fibres de 12 mm de longueur. Aucune fibre polymère n'a été mise en œuvre.

The BCV formula used for PS34 has a 2% in volume fibre content made of two sizes of fibre : 2/3 of 20mm length fibres, 1/3 of 12 mm length fibres. No polymer fibre has been used.



Fig 4 : Vue générale sac de fibres / General view of a fibre bag

Les BFUP offrent des performances au jeune âge élevées, de très bonnes caractéristiques physiques, et une excellente durabilité, possible grâce à la grande compacité de la matrice cimentaire (rapport E/C très faible). Pour le BCV®, on peut noter :

- résistance aux chocs - indice CNR - de 75 cm³,
- une grande tenue à l'écaillage et au gel air/dégel eau ou gel eau/dégel eau,
- une faible perméabilité au gaz (inférieure à 10^{-19} m²),
- une diffusion des ions chlorures faible ($3,5 \cdot 10^{-14}$ m²/s).

Cette durabilité est très intéressante en milieu agressif.

Le choix a été fait de ne mettre en œuvre aucun traitement thermique pour le BCV®. Un traitement thermique permet notamment d'accélérer la maturation du béton et de concentrer le fluage et le retrait essentiellement pendant la phase de traitement thermique.

3.2 Résistance en traction du BCV®

Différents essais sont proposés par les recommandations AFGC/SETRA pour caractériser la résistance en traction des BFUP. En effet, les caractéristiques de ces matériaux dépendent de l'orientation des fibres donc du type de structure et de la mise en œuvre : les fibres tendent à s'orienter dans le sens de l'écoulement ou à être parallèles à la paroi au niveau des bords. On distingue les éléments minces et les éléments épais en fonction de leur portée, du rapport entre leur épaisseur et la longueur des fibres.

UHPFRC offer very high early age performances, very good physical characteristics, and an excellent durability, due to the high compacity of the cement matrix (very low W/C ration). For BCV®, one can note :

- *impact strength (CNR factor equal to 75 cm³),*
- *very good resistance to freeze scaling, air freeze / water thaw or water freeze / water thaw,*
- *very low gaz permeability (less than 10^{-19} m²),*
- *low chloride ion diffusion factor ($3,5 \cdot 10^{-14}$ m²/s).*

This durability is very interesting in aggressive environment.

The choice has been made not to achieve a heat treatment for BCV®. Heat treatments accelerate the concrete maturation and concentrate most shrinkage and creep effects during heat treatment.

3.2. Tensile strength of the BCV®

Different tests are proposed by the AFGC/SETRA recommendations for UHPFRC tensile strength characterisation. In fact, characteristics of these material depend on fibres orientation, and so they depend on the type of structure and the placement process : fibres tend to be oriented in the direction of flow and are naturally aligned parallel to the formwork when they are close to it. One considers thin elements or thick elements depending on the ratio of the element thickness and the fibres length.

Les essais s'effectuent sur éprouvettes dont la taille dépend de la longueur des fibres. On peut mesurer la résistance en traction (F_{tj}) de la matrice par un essai en traction directe ou par un essai en traction par flexion (4 points). Ces deux essais se font sur barreau non entaillé. Pour éléments épais, la mesure de la résistance en traction après fissuration, se fait par un essai de flexion 3 points sur un barreau entaillé.

Ces essais permettent d'obtenir les lois de comportement en traction $\sigma - w$ après l'utilisation de la méthode inverse.

Pour le BCV®, dans le cas du PS34 qui ne comporte pas d'éléments minces, la caractérisation du matériau a été réalisée au moyen de :

- trois éprouvettes cylindriques Ø11x22 pour la résistance en compression,
- six éprouvettes 10x10x40 pour essais de traction par flexion 4 points sur éprouvettes non entaillées pour la résistance de la matrice cimentaire F_{tj} ,
- six éprouvettes 10x10x40 pour essais de traction par flexion 3 points sur éprouvettes entaillées pour la résistance post fissuration.

Les principaux résultats obtenus montrent que le BCV® a une résistance caractéristique en traction directe de l'ordre de 8 MPa pour la résistance de la matrice cimentaire F_{tj} , et 8 MPa pour la résistance post fissuration (8 MPa correspondant à la résistance en traction pour une ouverture des fissures de l'ordre de 0,3 mm).

Ces valeurs sont corrigées pour prendre en compte les effets de dispersion liés à la mise en œuvre du béton. Les recommandations AFGC– SETRA définissent pour cela le coefficient K, déterminé par épreuves de convenance. K est le rapport des résultats de traction obtenus à partir de prélèvements issus d'un élément témoin de grandeur réelle, sur les valeurs de traction obtenues avec les éprouvettes de laboratoire.

3.3 Mise en œuvre du BCV®

Le prémix, livré en big-bags, est mélangé à l'eau, aux fibres et aux adjuvants dans un malaxeur classique de centrale à béton ou de préfabrication en adaptant la charge à la puissance de l'appareil. La capacité de malaxage est améliorée par l'utilisation d'un malaxeur possédant un train-valseur (Fig. 5).

Un contrôle qualité rigoureux, avec des essais plus nombreux que pour un béton traditionnel, est réalisé sur chaque voussoir préfabriqué. Des essais sur BCV® frais servent à contrôler la température à l'intérieur et en surface du béton frais, le pourcentage d'air occlus (inférieur à 5%), la densité (inférieure à 2500 kg/m³). Un test d'étalement est effectué (690 à 750 mm au cône DIN sans chocs, Fig. 6).

Tests are made on specimen which size depends on the fibres length. Cement matrix tensile strength (F_{tj}) can be determined with a direct tensile test or a third- point flexural test. Both of these two tests are made on un-notched specimens. For thick slabs, the determination of the post cracking tensile strength is done through a centre-point flexural test on notched prisms.

These tests allow to obtain stress-crack width ($\sigma-w$) tensile behaviour law, using the back analysis method.

For BCV® in case of PS34 which has not any thin slab, material characterisation has been made with :

- three cylindric specimens Ø11x22 for compressive strength,
- six 10x10x40 specimens for third-point flexural test on un-notched prism for cement matrix tensile strength,
- six 10x10x40 specimens for centre-point flexural test on notched prism for post cracking tensile strength.

ain results show that BCV® has a characteristic direct tensile strength of about 8 MPa for the cement matrix strength F_{tj} , and 8 MPa for the post cracking strength (8 MPa correspond to the characteristic tensile strength for a crack width of about 0,3mm).

These values are corrected to take into account dispersion effects due to the placement method. For these effects, AFGC-SETRA recommendations consider K coefficient, determined by suitability tests. K is the ratio between tensile strength obtained on specimens taken from actual structural element and tensile strength values obtained with laboratory specimen.

3.3. BCV® placement method

Premix, delivered in big bags, is mixed with water, fibres and admixtures in the classical mixer of a mixing plant or precast factory while adapting head to the machine power. Mixing capacity is improved by using waltzer-train mixer (fig 5).

A scrupulous quality control, with more numerous tests than for a traditional concrete, is realized on each precast element. Tests on fresh BCV® are used to control the temperature within and at the surface of the concrete, entrapped air percentage (less than 5%), density (less than 2500 kg/m³). A flow test is done (between 690 to 750 mm with DIN cone without shocks, Fig 6). A follow-up by thermal metering method allows to determine the end of the BCV® sleeping period and the right time for stripping of forms.

Un suivi maturométrique, permet de déterminer la fin de la période dormante du BCV® et donc d'estimer en temps réel le début du desserrage. Des essais sur BCV® durci sont également réalisés pour contrôler la résistance en compression et en traction (voir paragraphe 3.2 précédent), mesurer le module d'élasticité (44GPa) et le retrait.



Fig. 6 : Test d'étalement (sans chocs)
Flow test (without shocks)

4. ÉTUDES D'EXCUTION DE L'OUVRAGE

Le dimensionnement du tablier, réalisé par la Direction Ingénierie et Moyens Techniques de Vinci Construction Grands Projets, est conforme aux Recommandations de l'AFGC [2]. Il intègre les justifications suivantes :

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

Le dimensionnement dans le cadre des études d'exécution est réalisé par le bureau d'étude COGECI (Lyon). L'ouvrage a fait l'objet d'une modélisation spatiale complète 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 sur culée.

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} catégorie.

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 Etats 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.

Tests on setted BCV® are also realized to control compressive and tensile strength (see 3.2 preceding paragraph, measure elastic modulus (44GPa) and shrinkage.



Fig. 5 : Romagnieu precast factory mixer
Malaxeur du site de préfabrication de Romagnieu

4. FINAL DESIGN OF THE BRIDGE

Deck design, designed by the Engineering and Technical Department of VINCI Construction Grands Projets, is conformed to AFGC recommendations. The design includes :

- *longitudinal bending design,*
- *shear force verifications,*
- *security barrier anchorage,*
- *local justifications (deviator, abutment segment).*

Final design was achieved by the design office COGECI. The structure was completely modelised with finit element software Effel. A local model was realized with finit element software Hercule to design abutment segment.

The structure admits a single traffic lane, 3 meters wide. It has been designed with normal road loads of a third class road bridge.

Towards behaviour in longitudinal bending, structure is designed in complete compression, to avoid any decompression at serviceability limit state, according to the presence of match-cast pasted joint. The average permanent compression is about 25 MPa, maximal compression while tensioning reaches 55 MPa. Minimal compression in the upper slab is greater than 10 MPa.

At the Ultimate limit state, the structure has a very small decompression so that shear capacity is always insured by the compressive residual section.

A l'Etat 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 convenue.

Les épreuves de convenue 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 sur culées présentaient de fortes concentrations de contraintes de traction (liées à l'introduction de la précontrainte) sur un modèle éléments finis alors qu'un calcul manuel 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 suivis et de contrôles très poussées.

Dans le souci de mettre au point une méthode plus systématique et reproductible, l'entreprise a souhaité pour les voussoirs courants, injecter le béton en un point donné (milieu du hourdis supérieur), en testant diverses méthodes d'injection (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 intermédiaire).

Au niveau 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.

Towards transverse bending forces due to the 30 tons regular axles, and the 10 tons wheel, produce tensile stresses which are caught again only by the tensile strength capacity of the UHPFRC.

During the design process, it is necessary to choose a value of K coefficient above, because at the beginning no actual current size segment exists. AFGC recommendations give an idea of approximated values designers can take considering results obtained on Bourg-Lès-Valence bridges. From the first value of this coefficient, depends the first design of the structure which can allow to make a representative model in order to realize suitability tests.

Suitability tests made afterwards valid the placement methods, and confirm that actual tensile strength values are greater than values required by initial design.

Abutment segments presented important tensile stress concentration (due to prestressing concentrated loads) obtained on a finite element model, whereas manual design did not give any additional reinforcement. These segments also present important thermic gradients during concrete setting. One should have made a testing element to valid one of the two models, but one preferred to add specific reinforcement to catch again forces given by the finite element model, supposing a reduced value for BCV® tensile strength.

One must think over the placement method. The traditional method consists in placing concrete with a moving pipe in order to avoid any UHPFRC flow, and provide isotropic fibre orientation. The disadvantage of this method is to be dependent on the operator and requires important control proceedings.

In order to develop a more systematic and reproductive method for courant segments, the company wanted to introduce concrete in a single point (in the middle of the upper slab), testing several methods to inject concrete (with a pump, with a pipe,...)

These methods present the disadvantage to orient fibres according to the flow, and to provoke a front of the flux at the opposite of the injection point (middle of the lower slab).

At the level of the flux front, several methods to mix flux have been tested but not detained, because of insufficient results and difficulties to operate, in favour of a resumption reinforcement.

5. 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 oeuvre 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'essais ont été réalisés (Fig 7).

5. SUITABILITY TESTS EXECUTION

For suitability tests, the company engaged an important testing program to valid several formulations, to valid several formwork surface for the different concrete surfaces, to examine concrete placement methods (with a moving or fixed pipe, with a pomp), in order to determine the fibre orientation coefficient K.

Several pannels and mini testing segments have been built while waiting for the final formwork building (Fig 7).



Fig. 7 : Panneaux et mini voussoir d'essais / Panels and mini testing segment

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 (Fig. 8). 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.

The concrete surfaces of PS 34 segments are innovative because of their texture. Wood imitation has been chosen for the external surface of the webs and the lower slab, and a granular aspect for the upper slab which directly serves as carriageway without any watertightness, or other asphalt layer (Fig 8). Polypropylen formwork surfaces are coated with wax to allow easy striking. UHPFRC occur very remarkable surfaces if the formwork has no default. Otherwise, the least imperfection of the formwork surface appears on the concrete surface, UHPFRC reproducing exactly the smallest details.



Fig. 8 : Matrice bois et matrice rugueuse d'extrados / Wood and upper slab granular formwork surface

Deux voussoirs d'essai de grandeur réelle ont ensuite été confectionnés pour valider la valeur du coefficient K à prise en compte dans les calculs (Fig 9).

Two testing segments with actual size have been built later to validate the K coefficient value taken into account for the design. (Fig 9).

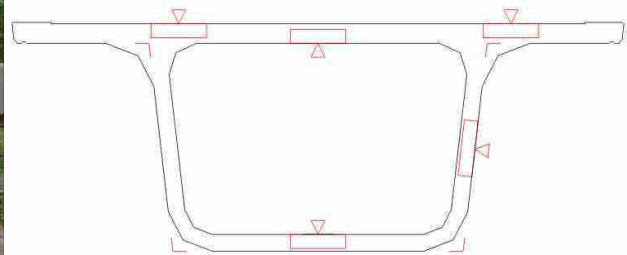


Fig. 9 : Voussoir d'essais en vraie grandeur / Actual size testing segment

6. FABRICATION DE L'OUVRAGE

6.1. Préfabrication des voussoirs

Les 22 voussoirs, parmi lesquels deux voussoirs déviateurs, deux voussoirs sur culées et deux voussoirs garde-grève 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 (fig 10).

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.

6. STRUCTURE MANUFACTURE

6.1 Segment precasting

The 22 segments, among which two deviator segments, two segments on abutments and two false segments used as abutment wall are built in Romagnieu (Isère), in the Campenon Bernard company precasting factory, which is equipped with a powerful mixing plant especially adapted for UHPFRC.

Each segment is vertically manufactured above the adjacent segment (Fig 10).

Manufacture begins by the segment at the middle of the structure which allows to progress towards the extremities with two distinct casting areas.

All the surfaces are formworked. A special system with jacks and bracons has been conceived to allow an easy striking of the central formwork.

Le rythme moyen est de 48 heures pour réaliser un voussoir. Même si le coulage est très rapide (40 minutes), la période latente du BCV® 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.

The average cadence is 48 hours for one segment. Even if the concrete placement is quite rapid (40 minutes), BCV® dormant period cannot allow a faster rhythm, as much as one has to prepare following formwork with joints for the match-cast segment.



Fig 10 : Fabrication des voussoirs / Segment manufacture

6.2. Mise en œuvre sur le site

Après l'étape de la préfabrication, les voussoirs sont transportés sur le site sur une plateforme 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 (Fig 11).

6.2. Erection on site

After the precasting stage, the segments are transported on site, onto an assembling platform prepared along the motorway platform. They are pasted and joined together by a temporary prestressing. When all the segments are gathered together, final prestressing (six 19T15S cables) is implemented and causes the deck unsticking from its assembling area (Fig 11).

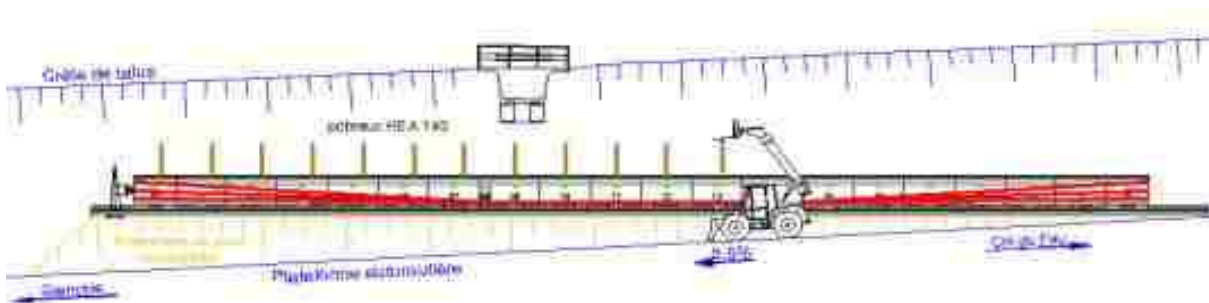


Fig. 11 : Mise en œuvre de la précontrainte extérieure / External prestressing implementing

L'ouvrage est ensuite mis en place à la grue directement sur ces 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 (Fig 12).

Les seules opérations restant alors sont, le calage supérieur des appareils d'appuis par injection, la pose des voussoirs garde-grève, 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.

Afterwards the deck is placed with a crane directly on its final bearings. This system avoids using props and working in high location, but it is only possible because the structure is light enough (195 tons).

The crane raising has been realized in december, 15th (Fig 12).

At that time, the remaining operations are neoprene bearing wedging by injection at their upper surface, abutment wall segment erection, carriageway joint realization, and achievement of the equipment erection whose postpart has been placed directly before the crane raising.



Fig. 12 : Mise en place à la grue / Crane raising

7. CONCLUSION - INTÉRÊT DE LA SOLUTION EN BFUP

Par rapport à un passage supérieur classique, la solution en BCV® procure un gain important sur les quantités de matériaux (80 m3 de BCV® au lieu de 200 m3 de béton C35/45). Cette solution permet de supprimer les deux piles intermédiaires qui posaient un réel problème esthétique compte tenu de la brèche.

La réalisation de l'ouvrage est par ailleurs sécurisée avec la suppression de tous les étalements et les problèmes classiques de sécurisation au montage/démontage.

Au niveau économique, cette solution devient intéressante si on amortit les outils coffrants de la préfabrication sur deux ou trois ouvrages du même type, ce qui permet par ailleurs de baisser le coût du matériau employé dans une logique de production industrielle.

Les derniers intérêts sont bien sûr le délai d'exécution qui est réduit de plus d'un mois par rapport à une solution classique, et la durabilité de l'ouvrage qui est largement accrue grâce aux performances du matériau BFUP.

7. CONCLUSION – INTERESTS IN UHPFRC SOLUTION

Compared to a classical overpass, the BCV® solution provides an important profit on material quantities (80 m3 of BCV® instead of 200 m3 of C35/45 concrete). This solution allows to avoid intermediate piers which cause a real esthetic problem considering the breach geometry.

The structure realization also offers more security by the removal of pops and all the classical security problems during assembling and striking.

As for the economical approach, this solution is interesting if the formwork equipment price is written off with two or three identical structures, which can allow to lower the price of the material when employed in a logic of industrialized output.

The last interests are of course the execution delay which is reduced more than one month comparing to an ordinary solution, and the durability of the structure which highly increases due to the material performances of UHPFRC.