

Brücken

Ponts

Bridges



Le Pont de la Poya

The Poya bridge

Bernard Houriet, Pierre Gorgé, Sylvain Plumey, Aldo Bisetti, Jean-François Gnaegi

Introduction

Pièce maîtresse du Projet Poya qui vise à relier les quartiers du Schönberg et du Palatinat afin de désengorger le centre-ville de Fribourg, le pont de la Poya franchit la vallée de la Sarine, au-dessus de la STEP, à une hauteur d'environ 70 m. Au Nord, l'ouvrage pénètre dans un versant boisé et escarpé, jusqu'au tunnel de Palatinat. Au Sud, l'ouvrage s'incurve et s'élargit pour rejoindre le carrefour Schönberg.

La conception de l'ouvrage et son analyse structurale constituent le premier défi technique majeur du projet. Sa réalisation dans un versant de stabilité précaire côté Palatinat et le recours à des méthodes de construction novatrices constituent le deuxième enjeu principal du projet.

La portée centrale de 196 m constitue le nouveau record de portée en Suisse.

Historique

Le groupement d'ingénieurs GIPP a remporté le concours de projet du Pont de la Poya, organisé par la Ville de Fribourg, en 1989, il y a plus de 24 ans. Un premier projet d'ouvrage est déposé en 1991 sur le tracé du concours de projet. Un deuxième projet d'ouvrage est éla-

Introduction

The centre-piece of the Poya project, which connects the suburbs of Schönberg and Palatinat in order to ease traffic congestion in the centre of the town of Fribourg, is the Poya bridge crossing the Sarine valley above the wastewater treatment plant at a height of about 70 m. To the north the structure penetrates into a side of the valley that is wooded and steep up to the Palatinat tunnel. To the south the structure curves and widens to connect with the Schönberg junction.

The design of the structure and its structural analysis form the first major challenge of the project. To achieve this in the case of a hillside with precarious stability on the Palatinat side and the recourse to innovative methods of construction is the second major challenge of the project.

The central span of 196 m is a new record for a span in Switzerland.

History

In 1989, the GIPP joint venture of engineers won the competition for the Poya bridge project organised by the town of Fribourg, more than 24 years ago. An initial design for the structure was submitted in 1991 as the competi-

boré en 2008 sur un tracé sensiblement modifié, sous la direction du Service des ponts et chaussées du canton de Fribourg.

Les travaux ont débuté en automne 2009; l'achèvement du gros-œuvre a été réalisé en automne 2013.

Géologie

Le toit de la molasse saine, essentiellement gréseuse et de bonne capacité portante, affleure sous l'ensemble de l'ouvrage, à une profondeur comprise entre 0 et 16 m. Côté Palatinat, la molasse saine est recouverte d'alluvions interglaciaires et de moraine ainsi que d'éboulis de pente et de molasse altérée. Des alluvions interglaciaires, fluvioglaciaires et glacioclastiques ainsi que des éboulis de pente et de la molasse altérée sont présents côté Schönberg. Le fond de la vallée est recouvert par des alluvions de la Sarine et des remblais. Les couches superficielles des versants inclinés présentent une stabilité précaire, aussi bien côté Palatinat que côté Schönberg.

Conception générale de l'ouvrage

D'une longueur totale de 851,6 m, l'ouvrage avec tablier en structure

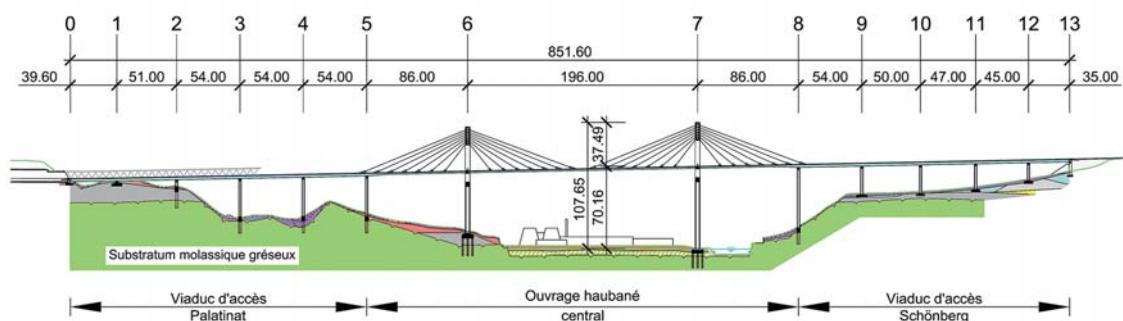


Fig. 1

Coupe longitudinale de l'ouvrage et profil géologique.
Longitudinal section of the structure and geological profile.

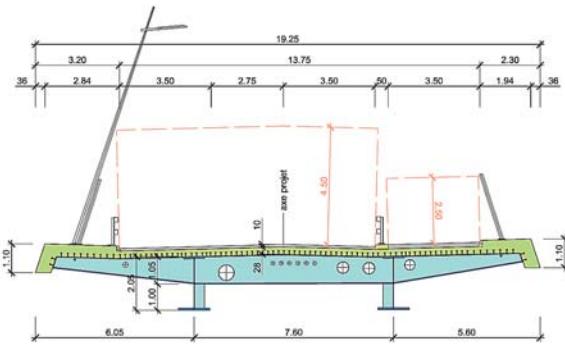


Fig. 2
Tablier, section transversale des viaducs d'accès.
Bridge floor, transverse section of the access viaducts.

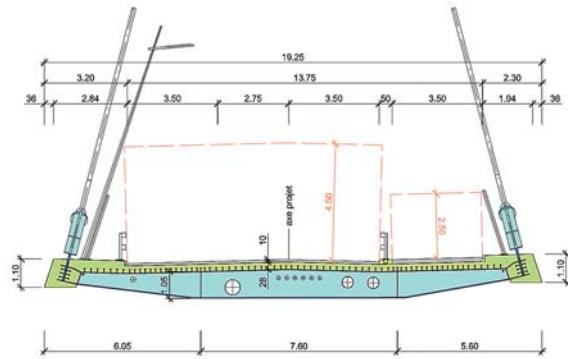


Fig. 3
Tablier, section transversale de la zone haubanée.
Bridge floor, transverse section of the cable-stayed zone.

tion for the project. A second design for the structure was prepared in 2008 as the project progressed in a way that was significantly modified under the direction of the Highways and Bridges Department of Canton Fribourg. Work started in the autumn of 2009, and this large project was completed in 2013.

Geology

The upper part of the sound molasse, essentially sandstone with a good load-carrying capacity, rises almost to ground level under the whole structure, at a depth of between 0 and 16 m. On the Palatinat side the sound molasse is covered with interglacial alluvial deposits as well as some boulder scree and some altered molasse. Interglacial alluvial, fluvioglacial and glaciolacustrine deposits as well as some boulder scree and some weathered molasse are present on the Schönberg side. The bottom of the valley is covered by alluvial deposits from the Sarine river with some outcropping rocks. The surface layers of the inclined sides have a precarious stability, both on the Palatinat side and on the Schönberg side.

General design of the structure

With a total length of 851.6 m the civil engineering structure with a bridge deck made of a mixed steel-concrete design includes the following three distinct parts (Fig.1):

mixte acier-béton comprend les trois parties distinctes suivantes (Fig. 1):

- Le viaduc d'accès Palatinat de 252,6 m de longueur, essentiellement réalisé par lancement préalable de l'ossature métallique.
- Le viaduc d'accès Schönberg de 231 m de longueur, réalisé par pose conventionnelle de l'ossature métallique.
- L'ouvrage haubané central de 368 m de longueur, muni d'une suspension latérale en semi-harpe, réalisé par encorbellement haubané.

Tablier

L'ensemble du tablier est conçu en ossature mixte acier-béton avec des entretoises métalliques de forme trapézoïdale de 1,05 m de hauteur maximale, espacées de 6,0 m. Deux poutres maîtresses composées soudées à âme pleine de 2,05 m de hauteur sont adoptées dans les viaducs d'accès (Fig. 2). La hauteur des deux poutres maîtresses est réduite linéairement de 2,05 m à 1,05 m au droit des piles 5 et 8 adjacentes à la zone haubanée. Deux poutres latérales composées soudées à âme pleine inclinée complètent l'ossature métallique en grille de poutre dans la zone haubanée (Fig. 3).

Système statique

Le système statique de l'ouvrage est flottant sur 851,6 m de longueur en phase d'exploitation. Le

- The 252.6 m long Palatinat access viaduct was basically constructed by previously launching the steel framework.
- The 231 m long Schönberg access viaduct was basically constructed by conventional use of falsework.
- The 368 m long central cable-stayed structure of the semi-harp type, also providing lateral bracing.

Bridge deck

The bridge deck was designed as a composite steel-concrete unit with steel crossbrackets of trapezoidal shape 1.05 m maximum height, spaced at 6.0 m. Two main girders welded with a plain web 2.05 m high were used in the access viaducts (Fig. 2). The height of the two main girders is reduced linearly from 2.05 m to 1.05 m from piers 5 and 8 adjacent to the cable-stayed zone. Two lateral girders welded with an inclined web complete the steel deck grillage in the cable-stayed zone (Fig.3).

Structural system

The structural system is a floating system over a length of 851.6 m in the operational phase. The bridge floor is provisionally supported at the two abutments in the longitudinal direction during the erection phases. Pylons 6 and 7 are connected monolithically to the bridge deck and ensure the longitudinal stability of the structure when it is in use. The flexible piers

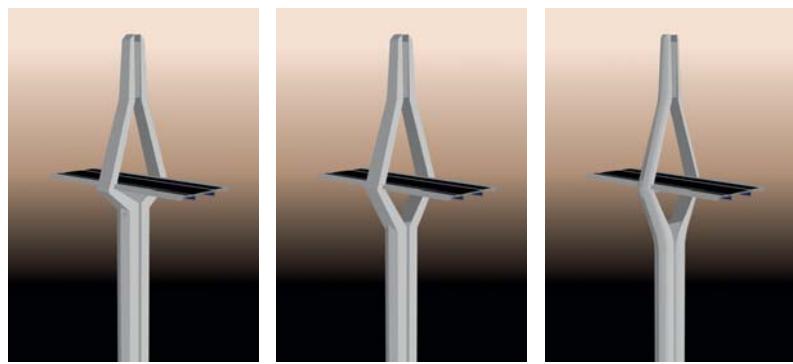


Fig. 4
Mâts, étude de variantes.
Pylons, study of the variants.

tablier est bloqué provisoirement aux deux culées dans le sens longitudinal pendant les phases de montage. Les mâts 6 et 7 sont liés monolithiquement au tablier et assurent la stabilité longitudinale de l'ouvrage en phase d'exploita-

3, 4, 5 and 8 are connected longitudinally to the bridge deck; all the piers are connected transversely to the bridge floor by one of the two bearings. Two pot bearings free to move in all directions and one bearing for longitudinal

tion. Les piles souples 3, 4, 5 et 8 sont connectées longitudinalement au tablier; toutes les piles sont liées transversalement au tablier par l'un des deux appuis. Deux appuis pots mobiles en tous sens et un appui de guidage lon-

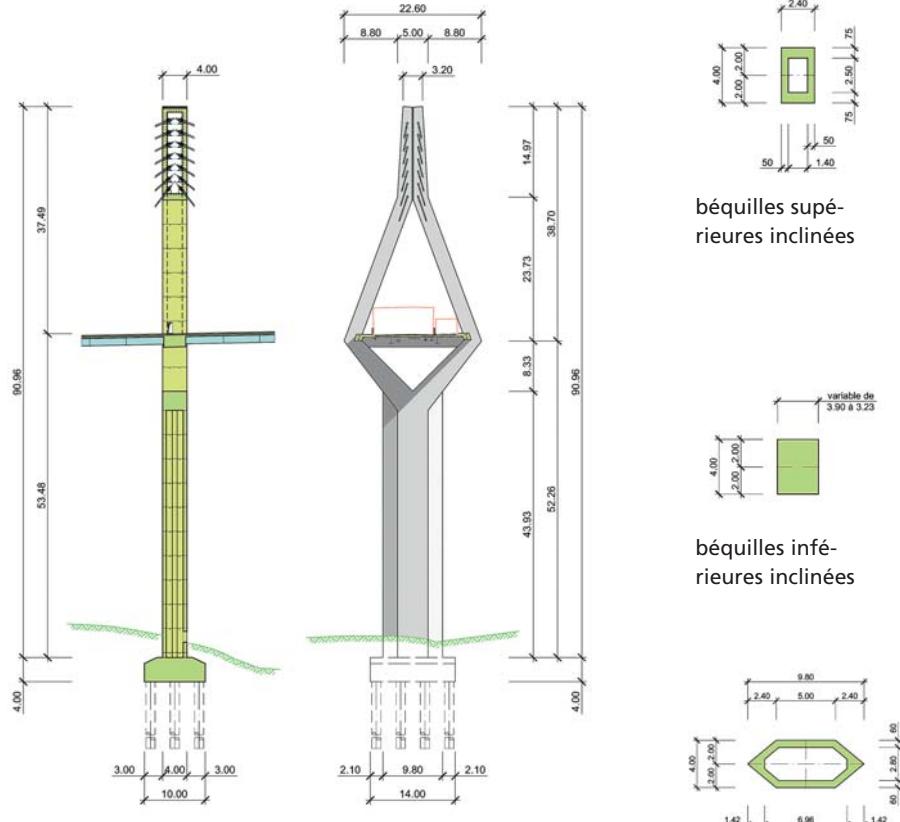


Fig. 5
Mât 6, coupe longitudinale, élévation et sections transversales.
Pylon 6, longitudinal section, elevations and transverse sections.

guiding are provided at abutments 0 and 13.

Bracing

The bracing (cable-stays) of each cantilever beam section consists of two lateral planes in semi-harps of 2 x 7 cables (bracing in umbrella). The 7 cables are made up of 2 x 31, 3 x 37, and 2 x 55 strands of 150 mm² of nominal section provided with an individual triple protection against corrosion:

- The strands are formed of 7 galvanised wires.
- The strands are fitted with an individual protective sheath made of high density polyethylene.
- The wires are protected by wax inside the individual sheath.

The strands are installed individually and tension is applied using the so-called "isotension procedure", which enables a uniform tension to be obtained in all the strands of the same cable. This design drastically reduces the lifting requirement necessary and simplifies both the fitting of the cables and their possible replacement in the maintenance schedule of the structure.

The fixed anchoring of the cables is situated at the level of the bridge floor. The mobile anchorage and the tensioning are achieved in the pylons, inside the steel framework accessible from the bridge deck.

Foundations

Piers 2 to 5 and 8 are founded in the sound molasse by means of 2 shafts with a full section of 2.4 m nominal diameter. Piers 6 and 7 are also founded in the sound

molasse with the aid of 12 driven steel tube piles of 1.5 m nominal diameter. Piers 1 and 9 to 12 as well as the abutments are founded on unconsolidated ground on foundation slabs.

Haubanage

Le haubanage de chaque fléau est constitué de deux nappes latérales en semi-harpes de 2 x 7 haubans (haubanage en parapluie). Les 7 haubans sont constitués de 2 x 31, 3 x 37 et 2 x 55 torons de 150 mm² de section nominale pourvus d'une triple protection individuelle contre la corrosion:

- Les torons sont constitués de 7 fils galvanisés.
- Les torons sont munis d'une gaine de protection individuelle en polyéthylène à haute densité.
- Les fils sont protégés par une cire à l'intérieur de la gaine individuelle.

Les torons sont mis en place individuellement et mis en tension selon le procédé d'isotension qui permet d'obtenir une tension uniforme dans tous les torons d'un même hauban. Ce concept réduit drastiquement les moyens de levage nécessaires et simplifie aussi bien le montage des haubans que leur remplacement éventuel, dans le cadre du plan d'entretien de l'ouvrage.

L'ancre fixe des haubans est située au niveau du tablier. L'ancre mobile et la mise en tension sont réalisées dans les mâts, à l'intérieur d'une ossature métallique accessible depuis le tablier.

Fondations

Les piles 2 à 5 et 8 sont fondées dans la molasse saine au moyen de 2 puits de section pleine de 2,4 m de diamètre nominal. Les mâts 6 et 7 sont également fondés dans la molasse saine à l'aide

molasse with the aid of 12 driven steel tube piles of 1.5 m nominal diameter. Piers 1 and 9 to 12 as well as the abutments are founded on unconsolidated ground on foundation slabs.

Pylons

The structural and architectural design of the pylons was the subject of a detailed analysis, supported by numerous variants (Fig. 4). The idea of the bridge deck passing through a pylon with a diamond (lozenge) shape, which was the symbol of the solution registered during the competition for the project in 1989, was retained with the following adaptations:

- The shapes have been improved and simplified by the removal of the majority of the grooves initially planned.
- The use of an enlarged vertical shaft of hexagonal shape enabled the transition and the cohesion between the vertical shaft of great height and the upper lozenge to be improved (Fig. 5).

Models for calculation and structural analysis

The overall structural analysis in the assembly and operational phases has been done with the aid of a computational model with 3D frame members (Fig. 6). The structural behaviour of the bridge deck, the steel construction and the anchorages was assessed using global and local shell models (Fig. 7 and 8). The structural design of the pylons is dictated by the loading in the operational phase. Some stabilisation measures are required in the erection phase to resist the loading during erection due to the wind and to the asymmetric concreting of the running surface (Figs. 9 and 10).

Owner State of Fribourg, Bridges and Highways Department
Agents Project: GIPP by GVH Tramelan SA DLT: MPP by GVH Tramelan SA
Contractors Implenia Constructions SA, Grisoni-Zaugg SA, Routes Modernes SA
Sub-contractors ZM SA (steel construction), Freyssinet SA (cables and prestressing), Mageba SA (bearings and expansion joints)

Maître d'ouvrage Etat de Fribourg, Service des ponts et chaussées
Mandataires Projet: GIPP par GVH Tramelan SA DLT: MPP par GVH Tramelan SA
Entreprises Implenia Constructions SA, Grisoni-Zaugg SA, Routes Modernes SA
Sous-traitants ZM SA (construction métallique), Freyssinet SA (haubans et précontrainte), Mageba SA (appuis et joints de chaussée)

Erection procedure, progress of the work

Excavations and foundations

The important excavation on the Palatinat side as well as the excavations of piers 2 to 5 and 8 was carried out in the sloping ground with precarious stability by means of walls anchored and pinned.

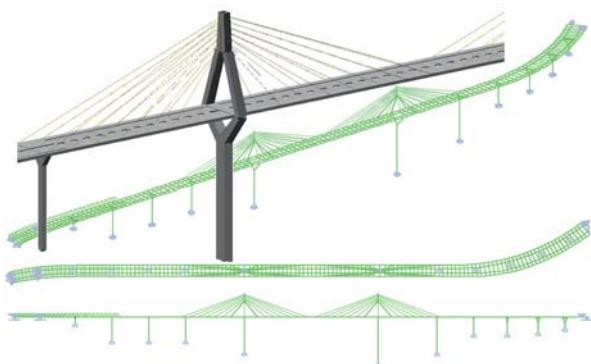


Fig. 6
Modèle de calcul barres 3D (logiciel Statik5).
Model of 3D calculation with frame members (Statik5 software).

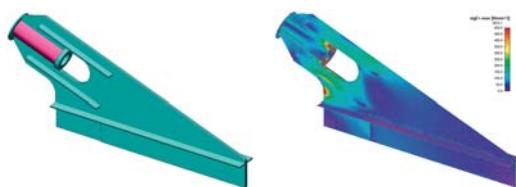


Fig. 7
Haubans, ancrages fixes, analyse des contraintes.
Cables, fixed anchorages, analysis of the stresses.

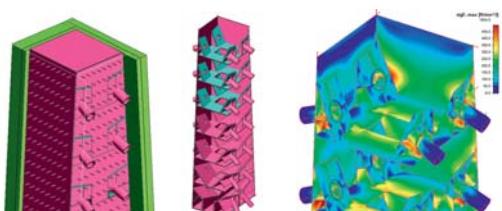


Fig. 8
Haubans, ancrages mobiles, analyse des contraintes.
Cables, mobile anchorages, analysis of the stresses.

de 12 pieux forés tubés de 1,5 m de diamètre nominal. Les piles 1 et 9 à 12 ainsi que les culées sont fondées en terrain meuble sur semelles superficielles.

Mâts

La conception structurale et architecturale des mâts a fait l'objet d'une analyse détaillée, étayée par de nombreuses variantes (Fig. 4). Le concept de franchissement du tablier au travers d'un mât en forme de losange, qui constituait le symbole de la solution déposée lors du concours de projet de 1989, a été conservé avec les adaptations suivantes:

- Les formes ont été épurées et simplifiées par la suppression

The excavation of pylon 6 was also done with the help of a pinned wall; an enclosure of watertight sheet piles was required for the excavation of pylon 7 situated on the bank of the Sarine.

Piers and pylons

The vertical shaft of hollow hexagonal section of the piers and pylons was executed by means of climbing formwork with steps of between 3.3 and 4.2 m. The head of the piers of triangular shape and the upper part of the pylons of diamond shape necessitated some special shoring and stabilisation measures (Fig. 11).

The vertical reinforcement of the piers and the pylons was basically

de la plupart des rainures initialement prévues.

- Le recours à un fût vertical élargi de forme hexagonale a permis d'améliorer la transition et la cohérence entre le fût vertical de grande hauteur et le losange supérieur (Fig. 5).

Modèles de calcul et analyse structurale

L'analyse structurale globale en phases de montage et d'exploitation a été menée à l'aide d'un modèle barres 3D (Fig. 6). Le comportement structural du tablier, de l'ossature métallique et des ancrages a été évalué au moyen de modèles coques globaux et locaux (Fig. 7 et 8).

La conception structurale des mâts est dictée par les sollicitations en phase d'exploitation. Des mesures de stabilisation sont requises en phase de montage pour couvrir les sollicitations au montage dues au vent et au bétonnage asymétrique de la dalle de roulement (Fig. 9 et 10).

Procédé de montage, déroulement des travaux

Fouilles et fondations

L'importante fouille Palatinat ainsi que les fouilles des piles 2 à 5 et 8 ont été réalisées dans des versants de stabilité précaire au moyen de parois ancrées et clouées.

La fouille du mât 6 a également été réalisée à l'aide d'une paroi clouée; une enceinte de palplanches étanche a été requise pour la fouille du mât 7 situé sur la berge de la Sarine.

Piles et mâts

Le fût vertical de section hexagonale creuse des piles et des mâts a été réalisé aux moyen de coffrages grimpants avec des étapes comprises entre 3,3 et 4,2 m. La tête des piles de forme triangulaire et la partie supérieure des mâts en forme de losange ont nécessité des mesures d'étayage et de stabilisation particulières (Fig. 11).

L'armature verticale des piles et des mâts a été essentiellement conçue à l'aide de cages préfabriquées munies d'étriers fermés. L'entretoise des mâts est pourvue



Fig. 9

Stabilisation verticale provisoire du fléau 6.

Provisional vertical stabilisation of beam 6.

designed with the help of prefabricated cages fitted with closed stirrups. The crosspiece of the pylons is provided with a light parabolic prestress exerted by 16 cables of 19, T15 strands.

Access viaduct

The launching of the rectangular steel framework on the Palatinat side was carried out without provisional bracing of the slender piers 3 to 5, by means of a nose end fitted with a lifting device to rest on the piers (Fig. 12).

d'une précontrainte légèrement parabolique constituée de 16 câbles de 19 torons T15.

Viaduc d'accès

Le lancement de la zone rectiligne de l'ossature métallique côté Palatinat a été réalisé sans haubanage provisoire des piles élancées 3 à 5, au moyen d'un avant-bec muni d'un dispositif de relevage pour accoster les piles (Fig. 12). Côté Schönberg, l'ossature métallique a été posée à l'aide de grues mobiles et d'appuis provisoires

On the Schönberg side, the false-work was placed with the help of mobile cranes and provisional bearings fixed at the top of the piers.

The concreting of the running surface was carried out in steps of 12 m in a single phase on the Palatinat side and in two phases on the Schönberg side.

Cable-stayed zone

The assembly of a step 12 m long of the braced corbel was broken down into the following phases:



Fig. 10

Stabilisation diagonale provisoire du fléau 7.

Provisional diagonal stabilisation of beam 7.



Fig. 11
Montage des mâts 6 et 7.
Assembly of pylons 6 and 7.



Fig. 12
Ossature métallique Palatinat mise en œuvre par lancement.
Palatinat side: steel framework for the balanced cantilever method.

fixés en tête des piles. Le bétonnage de la dalle de roulement a été réalisé par étapes de 12 m en une seule phase côté Palatinat et en deux phases côté Schönberg.

Zone haubanée

Le montage d'une étape type de 12 m de longueur de l'encorbellement haubané a été dissocié selon les phases suivantes:

- Pose asymétrique (par rapport au mât) d'une étape d'ossature métallique.
- Montage et première mise en tension asymétriques des 4 haubans.
- Bétonnage asymétrique de la dalle de roulement.
- Eventuellement deuxième mise en tension des haubans.
- Déplacement des outils (plate-forme de travail et poutre de lancement de l'ossature métallique).

L'évolution prévisionnelle des flèches a été comparée à l'évolution effective au terme de chaque phase; des mesures correctives ont été prises si les écarts étaient significatifs. Le montage des deux fléaux était dicté par le souci de suivre au mieux la nivelle théorique finale de l'ouvrage avec la structure du tablier. Après la pose du revêtement, une flèche d'environ -30 cm a été obtenue en travée principale.

Une troisième mise en tension des haubans a permis ensuite d'imposer une contreflèche finale d'environ +20 cm lors du réglage final.

- Placed asymmetrically (with respect to the pylon) of a concreting step with the aid of travelling formwork.
- Fitting and first application in asymmetric tension of the 4 cables.
- Asymmetric concreting of the running surface.
- Possible second application of tension in the cables.
- Transfer of the equipment (working platform and launch beam of the steel framework).

The predicted change in the flexural deflection was compared to the effective long-term change in each phase; some corrective measures were taken if the deviations were significant. The casting of the two beams was dictated by the problem of monitoring at least the final theoretical level of the structure with the bridge deck. After placing the road surface, a deflection of about 30 cm was obtained in the main span. A third placing with the cables in tension then imposed a final camber of about +20 cm during the final levelling.

Coût de l'ouvrage

Le coût final de l'ouvrage, sans la fouille Palatinat et la couverture antibruit Palatinat, atteint les valeurs suivantes:

- coût total (HT): 55,4 mio. CHF
- aire du tablier: 16 940 m²
- coût spécifique moyen (HT): 3270 CHF/m².

Auteurs/Authors

Bernard Houriet
Dr ès sc. techn., ing. civil dipl. EPFZ SIA

Pierre Gorgé
ing. civil dipl. EPFZ SIA

Sylvain Plumey
Dr ès sc. techn., ing. civil dipl. EPFL SIA

Aldo Bisetti
ing. civil dipl. EPFZ SIA

Jean-François Gnaegi
ing. civil dipl. EPFZ SIA

GVH Tramelan SA
CH-2720 Tramelan
tramelan@gvh.ch

Cost of the structure

The final cost of the structure, without the Palatinat excavation and noise protection, reached the following values:

- Total cost (excluding tax): 55.4 million Swiss francs
- Bridge floor area: 16,940 m²
- Mean specific cost (excluding tax): 3,270 Swiss francs/m².

Ersatz Steinbachviadukt – neue Brücke über den Sihlsee

Replacement of Steinbach Viaduct – new bridge over the Sihlsee Reservoir

Walter Kaufmann

Einleitung

Der bestehende im Zuge der Anlage des Stautees 1935/36 erstellte Steinbachviadukt entspricht den heutigen Anforderungen nicht mehr und verursacht einen hohen Unterhaltsaufwand. Um eine optimale Lösung für den in technischer und gestalterischer Hinsicht anspruchsvollen Ersatzneubau zu finden, wurde 2006/07 ein zweistufiger Projektwettbewerb durchgeführt, aus dem das in diesem Beitrag beschriebene Projekt ALBA als Siegerprojekt hervorging.

Situation

Der neue Steinbachviadukt überquert den Sihlsee unmittelbar oberwasserseitig des bestehenden Viadukts. Der insgesamt 13,00 m breite Überbau verläuft bei hohem Seespiegel nur wenig über dem Wasser. Die Fahrbahn ist im Aufriss leicht überhöht, mit einem Freibord – bei Normalkote des Sees – von ca. 2,70 m an den Brückenenden und ca. 4,40 m in Seemitte. Die nutzbare Brückendurchfahrt von 11,60 m ist mit einer Leitschanke in eine Verkehrs-

Introduction

The existing Steinbach Viaduct, built at the time of the Sihlsee reservoir construction, is no longer adequate to cope with today's requirements and involves high maintenance costs. In order to find the best possible solution for the technically and aesthetically challenging task of replacing the bridge, a two-stage design competition took place in 2006/07. The project ALBA was the winning design. The project details are presented here.

Situation

The new Steinbach Viaduct crosses the Sihlsee reservoir immediately upstream of the existing viaduct. The superstructure, with an overall width of 13.00 m, is only just above above the waterline at high reservoir levels. The deck is slightly curved in elevation, with vertical clearances – at normal water level – of about 2.70 m at the abutments and 4.40 m in the middle of the lake. The net deck width of 11.60 m is split up by means of a crash barrier into two traffic lanes with an integrated

flächen (2 Fahrstreifen, 1 Radstreifen) und einen abgetrennten Rad-/Gehweg aufgeteilt.

Die weithin sichtbare Querung des Sees in geringer Höhe und die Lage im Naherholungsgebiet stellen hohe Ansprüche an das Erscheinungsbild. Die neue Brücke soll schlicht sein und sich harmonisch in die prägnante Landschaft einfügen.

Der Baugrund ist schlecht tragfähig und sehr weich, mit setzungsempfindlichen Seeablagerungen bis in über 100 m Tiefe. Zudem treten weiträumige Konsolidationssetzungen infolge des nahen Schuttkegels des Steinbachs auf. Dem Fundationskonzept kommt daher eine entscheidende Rolle zu. Grundsätzlich ist eine möglichst leichte Brücke anzustreben, ohne jedoch die Robustheit und Dauerhaftigkeit des Bauwerks zu beeinträchtigen.

Um den Betrieb des Kraftwerks nicht einzuschränken, darf die Brücke den Pegelstand des Sees nicht beeinflussen und muss mit saisonalen Wasserspiegelschwankungen bis zu 8 m erstellt werden. Zudem sind temporäre Schüttun-



Fig. 1
Übersichtsfoto im Winter 2013.
Overview in the winter of 2013.



Fig. 2

Modellfoto des Wettbewerbsprojekts bei tiefem Seespiegel.
Model photo of competition project at low water level.

bike lane and a dedicated lane for pedestrians and bicycles. The largely visible crossing over the lake with little vertical clearance, and its location in a recreational area pose high demands on the appearance of the new viaduct. The new bridge should be unpretentious and fit harmoniously into the dominant surrounding landscape.

The subsoil, with soft lacustrine sediments up to 100 m in depth, has a very low load bearing capacity and is sensitive to settlements. Furthermore, extensive consolidation settlements caused by the alluvial deposits of the Steinbach creek are observed in the surrounding areas. Hence, the choice of the foundation system is essential. The bridge should be as light as possible, but without affecting its robustness and durability.

In order to avoid restrictions to the operation of the hydropower station, the bridge must be built without influencing the level of the reservoir, which exhibits seasonal water level fluctuations of up to 8 m. In addition, temporary dams in the lake are inadmissible due to the need to protect the environment and nature. Furthermore, it has to be taken into account that during the winter the lake may be frozen for several months, and only a very limited amount of work can be carried out from the existing viaduct.

Conceptual Design Structural System

The new Steinbach Viaduct is a multi-span continuous prestressed

gen im Seebereich aus Gründen des Natur- und Umweltschutzes unzulässig. Weiter ist zu beachten, dass der See je nach Verlauf des Winters während mehrerer Monate gefroren ist und Arbeiten ab dem parallel verlaufenden, bestehenden Viadukt nur in sehr begrenztem Umfang möglich sind.

Tragwerkskonzept

Gesamtsystem

Der neue Steinbachviadukt wurde als mehrfeldrige Spannbetonbrücke mit einem konstanten, leichten offenen Querschnitt konzipiert. Ihre Gesamtlänge beträgt 441,0 m, mit Spannweiten von 21,0 + 14 · 28,5 + 21,0 m. Überbau, Pfeiler und Widerlager werden in bewehrtem Beton ausgeführt. Die Fundation erfolgt mit schwimmenden Pfählen in den Seeablagerungen.

Dank der verhältnismässig geringen Regelspannweite kann der Überbau mit einem untenliegenden Vorschubgerüst ohne Zwischenstützungen erstellt werden. Zudem ist damit ein schlanker Überbau möglich, womit die Brücke auch bei vollem See als schlichtes, elegantes Band über dem Wasser zur Geltung kommt. Um eine hohe Dauerhaftigkeit mit minimalem Unterhaltsaufwand sicherzustellen, werden sämtliche Pfeiler monolithisch mit dem Überbau verbunden. Lediglich bei den Widerlagern wird der Überbau in Längsrichtung verschieblich gelagert. Die Brücke ist somit schwimmend gelagert, was tiefe Eigenfrequenzen nach sich zieht und sich günstig auf die

Project data

Owner

Canton Schwyz, Civil Engineering Office, Etzelwerk AG (SBB)

Design and Construction Supervision
dsp Ingenieure & Planer AG, Greifensee (lead management); F. Preisig AG, Zurich; Spataro Petoud Partner SA, Bellinzona; Fellmann Geotechnik, Lucerne; Feddersen & Klostermann, Zurich

Contractors

Implenia Bau, Zurich; KIBAG, Zurich; F.lli Somaini, Grono; Muttoni, Faido

Technical Data

Construction period: 2011–2014
Construction costs: approx. CHF 28 million

Bridge length: 441.0 m (excluding abutments)

Bridge width: 13.0 m

Girder depth: 1.50 m

Height above lake bottom: max. ca. 14 m

Quantities

Concrete	approx. 4000 m ³
Formwork	approx. 11 200 m ²
Reinforcement	approx. 760 t
Post-tensioning strands	approx. 30 t
Excavation	approx. 4400 m ³
Dams / landfill	approx. 20 000 m ³
Sheet piles	approx. 7000 m ²
Pile foundation	approx. 9 km piles Ø 45 cm

concrete bridge with a constant, lightweight open cross-section. The total length of the bridge is 441.0 m, with spans of 21.0 + 14 · 28.5 + 21.0 m. The bridge deck, the piers and the abutments are made of reinforced concrete. The foundation consists of friction piles acting as a floating pile foundation system in the lacustrine sediments.

The relatively short normal span facilitates the construction of the superstructure by using a launching-girder running underneath the deck, without intermediate supports. Furthermore, it enables a very slender superstructure, to give the impression of an unpretentious, elegant strip over the water even at high water levels. In order to achieve high durability and minimum maintenance, all piers are monolithically connected to the bridge deck. At the abutments, the superstructure rests on longitudinally movable bearings. Hence, the bearing system is floating, resulting in low natural frequencies with correspondingly reduced earthquake

Projektdaten	
Bauherr	Tiefbauamt Kanton Schwyz, Etzelwerk AG (SBB)
Projekt und Bauleitung	dsp Ingenieure & Planer AG, Greifensee (Federführung); F. Preisig AG, Zürich; Spataro Petoud Partner SA, Bellinzona; Fellmann Geotechnik, Luzern; Feddersen & Klostermann, Zürich
Bauausführung	Implenia Bau, Zürich; KIBAG, Zürich; F.Lli Somaini, Grono; Muttoni, Faido
Technische Daten	
Bauzeit:	2011–2014
Baukosten:	ca. CHF 28 Mio.
Brücklänge:	441,0 m (exkl. Widerlager)
Brückenbreite:	13,0 m
Trägerhöhe:	1,50 m
Höhe über Seegrund:	max. ca. 14 m
Hauptmassen	
Beton	ca. 4000 m ³
Schalung	ca. 11200 m ²
Bewehrungsstahl	ca. 760 t
Vorspannkabel	ca. 30 t
Aushub	ca. 4400 m ³
Dämme/ Aufschüttungen	ca. 20 000 m ³
Spundwände	ca. 7000 m ²
Pfahlfundation	ca. 9 km Pfähle Ø 45 cm

Erdbebenbeanspruchung auswirkt. Horizontalkräfte werden durch den Brückenüberbau auf alle Pfeiler verteilt und von diesen gemeinsam aufgenommen. Aufgrund der monolithischen Verbindung mit dem Überbau müssen die kurzen Pfeiler in Widerlagernähe grosse Kopfverschiebungen aufnehmen. Daher werden die Pfeiler und die Foundation horizontal gezielt nachgiebig ausgebildet. Um den Einfluss des in dieser Hinsicht günstigen, weichen Baugrunds abzuschätzen, erfolgten die Berechnungen mit oberen und unteren Werten der Baugrundsteifigkeit [1].

Überbau

Der Überbau besteht aus einem leichten, zweistegigen Plattenbalkenquerschnitt mit einer Konstruktionshöhe von 1,50 m und beidseitigen Kragplatten von je 2,80 m. Seine Form wurde in Anlehnung an die statischen Erfordernisse entwickelt und hinsichtlich Bauablauf und Gestaltung optimiert.

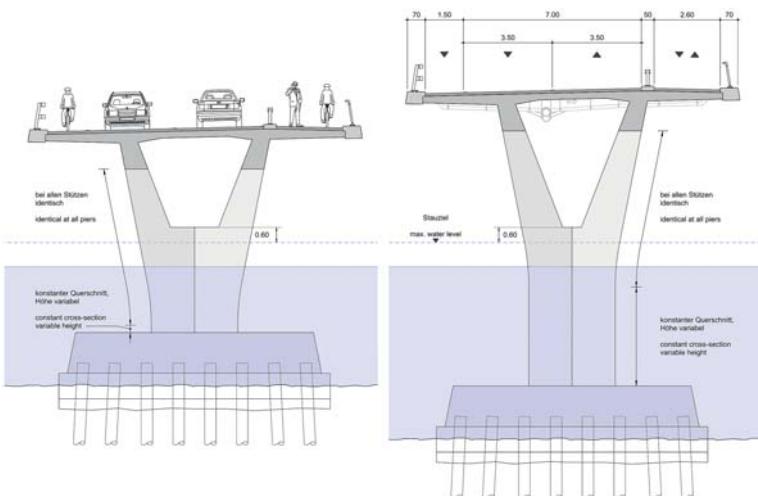


Fig. 3

Querschnitt und Pfeilergeometrie (niedrigster und höchster Pfeiler).
Cross-section and pier geometry (lowest and highest pier).

actions. Horizontal loads are distributed by the horizontally stiff bridge deck and jointly resisted by all piers.

Due to their monolithic connection to the bridge deck, the short piers near the abutments must withstand large imposed displacements at their top ends. Hence, the piers and the foundation are designed to be horizontally flexible. In order to estimate the influence of the soft subsoil, which is favourable in this respect, calculations were carried out using both upper and lower bound values of the soil stiffness [1].

Superstructure

The superstructure consists of a lightweight twin-webbed T-beam cross-section with a depth of 1.50 m and 2.80 m long cantilevers on each side. Its shape was developed from the static requirements and optimised with regard to aesthetic considerations and the erection procedure.

The cross-section is constant over the entire bridge length, without diaphragms or transverse frames, in order to facilitate an optimal use of the launching-girder. Similar to the bridges of the Saas bypass [2], the webs are slightly inclined to the inside while widening towards their bottom ends, which guarantees the width required for the compression zone in the regions of hogging moments.

Der Querschnitt ist durchgehend konstant, ohne Querträger oder Rippen, um einen optimalen Einsatz des Vorschubgerüsts zu gewährleisten. Die Stege sind – ähnlich wie bei den Brücken der Umfahrung Saas [2] – leicht nach innen geneigt und weiten sich gegen unten auf, sodass genügend Breite für die Druckzone im Bereich negativer Momente zur Verfügung steht.

Während die Pfahlfundation selbst nur sehr kleine Setzungen erfährt, sind aufgrund der weiträumigen Konsolidation Setzungsdifferenzen zwischen benachbarten Pfeilern von ca. 2 cm zu erwarten. Aufgrund der bestehenden Unsicherheiten wird die Vorspannung so ausgelegt, dass eine volle Vorspannung unter ständigen Lasten auch für Setzungsdifferenzen bis zu ± 5 cm gewährleistet ist. Dafür sind zwei Kabel pro Steg, mit 12 Litzen Ø 0,6" ($P_0 = 2340$ kN) resp. 15 Litzen Ø 0,6" ($P_0 = 2930$ kN), erforderlich.

Pfeiler

Die Höhe der Pfeiler über dem Seegrund variiert zwischen ca. 8 und 12 m und ihr Erscheinungsbild verändert sich je nach Wasserstand stark. Die Proportionen müssen jedoch bei hohem und tiefem Pegel stimmen.

Die variable Höhe der im Grundriss leicht rhombischen Pfeiler

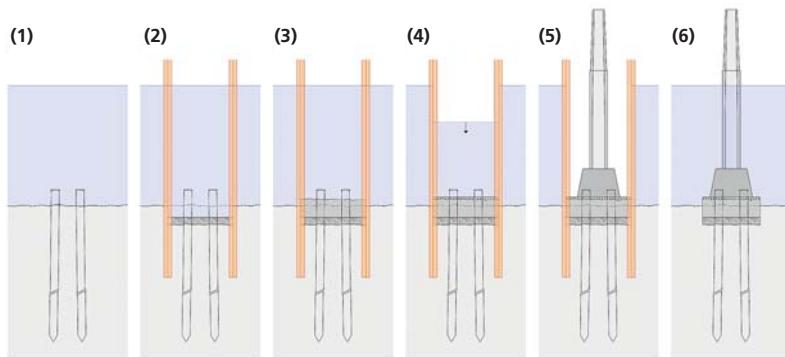


Fig. 4

Bauvorgang Unterbau im Längsschnitt.
Construction sequence of foundations and piers.



Fig. 5

Blick in einen Spundwandkasten mit Pfahlköpfen beim Auspumpen.
View inside a sheet pile caisson with pile heads.

While the pile foundation itself is undergoing very small settlements, relative vertical displace-

wird durch die unterschiedliche Länge des untersten Teils – mit konstantem Querschnitt – aufgenommen. Im oberen Bereich weisen alle Pfeiler eine identische äußere Geometrie auf, sodass die gleiche Schalung verwendet werden konnte. Um einen Bezug der Pfeiler zum Seespiegel zu gewährleisten, liegt die Horizontalverbindung, bei der sich die Pfeilerarme vereinen, bei allen Pfeilern auf derselben Kote. Dazu wurde eine in der Höhe variable Abschalung auf der Innenseite der Pfeilerschalung eingesetzt.

Widerlager

Die Widerlager werden so ausgebildet, dass sie immer über der Wasserlinie liegen. Sie gewährleisten damit die ökologische Vernetzung oberhalb des Wasserspiegels auch bei hohem Pegelstand.

ments of about 2 cm must be expected between adjacent piers due to the extensive consolidation settlements. Taking into account the existing uncertainties, the post-tensioning is designed to avoid tensile stresses under permanent loads including differential settlements of up to ± 5 cm. This requires 2 tendons per web, with 12 strands $\varnothing 0.6"$ ($P_0 = 2340$ kN) and 15 strands $\varnothing 0.6"$ ($P_0 = 2930$ kN).

Piers

The height of the piers above the lake bottom varies between 8 and 12 m, and their appearance changes greatly with the water level. Their proportions must, however, be appropriate with full as well as empty reservoir levels. A varying height of the piers, which are slightly rhombic in plan, is adopted by a variable length of their lower part with constant cross-section. In the uppermost part, the external geometry of all piers is identical, enabling the use of the same formwork. In order to ensure a reference of the piers to the water level, the horizontal connection joining the pier arms is located at the same elevation on each pier. This was achieved using a variable horizontal stop-end shuttering on the inside of the pier formwork.

Abutments

The abutments are designed to always remain above the water



Fig. 6

Baustelle mit Arbeiten am Unterbau und am ersten Teil des Überbaus, Sommer 2012.
Construction site with work on foundations, piers and first half of superstructure, summer 2012.

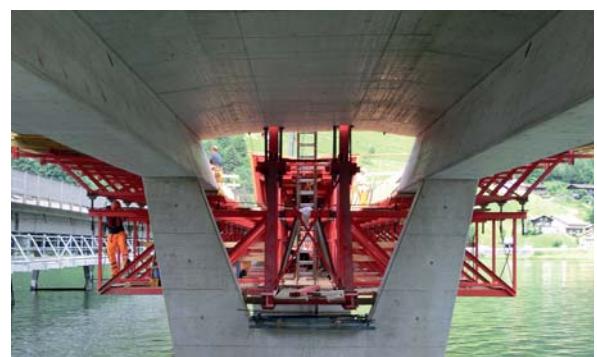


Fig. 7

Vorschubgerüst nach dem Verschub, Montage der Kragarmschalung.
Launching-girder after launching, installation of cantilever formwork.

Aufgrund der Bewegungslänge kommen bei beiden Widerlagern mehrzellige Lamellenfugen als Fahrbahnübergänge zum Einsatz. Diese sind über einen Unterhaltsraum zugänglich. In beiden Widerlagern ist zudem ein Absetzbecken der Brückenentwässerung integriert.

Fundation

Pfeiler und Widerlager sind mit bis zu 36 m langen, gerammten Schleuderbeton-Hohlpfählen Ø 45 cm fundiert. Der rechnerische Pfahlwiderstand beträgt bei dieser Länge 900 kN (Bemessungswert). Die 16 Pfähle jedes Pfeilers sind mit einem massiven Bankett verbunden, das die Lastverteilung gewährleistet und nur wenig in den Untergrund eingebunden ist, um den Eingriff in den Seegrund zu minimieren. Bei tiefem Pegelstand sind die Bankette sichtbar und übernehmen die Rolle von Pfeilersockeln.

Die Festlegung der definitiven Pfahlängen erfolgte aufgrund von statischen Pfahlvorversuchen, in deren Rahmen an zwei Standorten insgesamt sechs Pfähle mit unterschiedlichen Längen mit maximal 1700 kN pro Pfahl belastet wurden.

Vorlandbereiche

Auf der Seite Steinbach wird die Landzunge gegenüber der bestehenden Situation aus geologischen und gestalterischen Gründen um rund 18 m verkürzt. Da-

line. Hence, they facilitate the ecological connectivity above the water level even when the reservoir is full.

Modular expansion joints are required due to the large expansion/contraction movements. The abutments allow easy access for the inspection of expansion joints and bearings via a maintenance chamber. Furthermore, a sedimentation tank, which is part of the bridge drainage system, is integrated in each of the abutments.

Foundations

The foundations of the piers and the abutments consist of prefabricated spun concrete piles Ø 45 cm with lengths up to 36 m. The nominal pile capacity for this length is 900 kN (design value). The 16 piles of each pier are connected by a massive pile cap, which ensures the load transfer and is only slightly embedded in the ground in order to minimise the impact on the lake bottom. At low water levels, therefore, the pile caps are visible and assume the role of pier bases.

The required pile lengths were determined based on the results of in-situ static load tests, where, at two different locations, a total of six piles of various lengths were tested to a maximum load of 1700 kN per pile.

Approach Dams

On the Steinbach side, the dam is shortened by about 18 m compar-

gegen wurde auf der Seite Ruestel die Landzunge ungefähr gleich lang belassen, um einen optimalen Schutz des Amphibienschlags nationaler Bedeutung zu gewährleisten.

Bauausführung

Unterbau

Der Unterbau wird vollständig ab dem See mithilfe von Pontons erstellt, siehe Fig. 4. Zuerst werden die Pfähle in jeweils drei Elementen angeliefert, kraftschlüssig verschweisst und mit einem 9-t-Rammbär bis zum Erreichen der aufgrund der Pfahlversuche festgelegten Rammhitze gerammt (1). Anschliessend wird ein Spundwandkasten einvibrirt (2). Darauf folgen der Aushub unter Wasser, das Einbringen einer Sauberkeitsschicht und das Betonieren der Unterwassersohle in selbstverdichtendem Stahlfaserbeton (3). Nach dem Erhärten der Unterwasserbetonsohle wird der Spundwandkasten gelenzt (4), wobei die Pfähle als Auftriebssicherung dienen. Nun können das Pfahlbankett und die Stütze im Trockenen ausgeführt werden (5). Zum Abschluss wird der Spundwandkasten geflutet und die Spundwände werden gezogen (6).

Die Verschublager für das Lehrgerüst werden auf einen provisorischen Sockel zwischen den Pfeilerarmen montiert, der die unterschiedliche Höhe zwischen den bei allen Pfeilern auf gleicher



Fig. 8
Betonieren des Überbaus, Feld 1.
Concreting of the deck, span 1.



Fig. 9
Baustelle mit Arbeiten am Überbau Teil 2, Winter 2013.
Construction site with work on second half of superstructure, winter 2013.



Fig. 10

Untersicht bei hohem Seespiegel.

View of the underside at high water level.

ed to the existing situation for geological and aesthetic reasons. On the Ruestel side, however, the existing promontory is almost unchanged, ensuring optimal protection of the amphibian breeding area, which is of national importance.

Construction

Foundations and Piers

The foundations and the piers are built entirely using pontoons, see Fig. 4. First, the piles are delivered in three elements, connected by welding and driven using a 9 t pile hammer until the predefined penetration rate based on the load tests is achieved (1). Subsequently, a sheet-pile caisson is installed using a vibratory driver (2) followed by the underwater excavation, the installation of a gravel layer and the pouring of the underwater concrete base using steel fibre reinforced, self-compacting concrete (3). Once the underwater concrete has set, the sheet-pile caisson is pumped out (4), taking advantage of the piles in order to ensure safety against uplift. Now, the pile cap and the pier can be constructed in dry conditions (5). Finally, the sheet-pile caisson is flooded and the sheet-piles are removed (6). The sliding bearings of the launching-girder are positioned on a provisional pedestal between the pier arms, which compensates the

Kote liegenden Horizontalverbindung der Pfeilerarme und dem in Aufriss überhöhten Überbau ausgleicht.

Überbau

Die Erstellung des Überbaus erfolgt in einem Dreiwochentakt feldweise mit einem leichten, freitragenden Vorschubgerüst. Dieses besteht aus einem zentralisch angeordneten Fachwerkträger, der mit den inneren Schallementen verschoben wird. Die Kragarmschalungen müssen dagegen für den Verschub jeweils demontiert werden.

Dabei werden, jeweils ausgehend von den Widerlagern, in zwei Bausaisons sieben resp. acht Felder betoniert. In der Winterpause dazwischen wird das Lehrgerüst von der Seemitte zum zweiten Widerlager umgestellt. Vor dem Fugenschluss in Seemitte werden die beiden Brückenhälften bei Bedarf auseinandergepresst werden, um die Schwind- und Kriechverkürzungen des Überbaus teilweise zu kompensieren.

differences in height between the horizontal connection of the pier arms, located at the same elevation on all piers, and the vertically curved superstructure.

Superstructure

Construction of the superstructure is being carried out in a 3-week cycle using a lightweight launching-girder without intermediate supports. The latter consists of a central lattice girder that is launched together with the inside part of the formwork. However, the cantilever formwork has to be detached for launching.

Starting from the abutments, in two subsequent construction seasons seven and eight spans, respectively, are built. During the winter break in between, the launching-girder is moved from the middle of the lake to the second abutment. Before pouring the closure span in the middle of the lake, the two half-bridges are pressed apart in order to partly compensate the creep and shrinkage deformations of the deck.

Literatur/References

- [1] W. Kaufmann; Integrale Brücken – Sachstandsbericht, Forschungsbericht Nr. 629, Bundesamt für Strassen, 2008, 69 pp.
- [2] H. Figi et al.; Umfahrung Saas – Hexentobel- und Marchtobelbrücke, Betonbau in der Schweiz, 2006, pp. 92–97.

Autor/Author

Walter Kaufmann
Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH
dsp Ingenieure & Planer AG
CH-8606 Greifensee
kaufmann@dsp.ch

Neubau Versamertobelbrücke

New Versam Gorge Bridge

Beat Meier, Oliver Müller



Fig. 1

Neue Versamertobelbrücke mit bogenförmiger Stahlfachwerkbrücke (Jahr 1897) im Hintergrund.
New Versam Gorge bridge with arched, steel-truss bridge (built 1897) in the background.

Einleitung

Die bestehende Versamertobelbrücke – eine bogenförmige Stahlfachwerkbrücke aus dem Jahr 1897 – genügte den Anforderungen an die heutige Nutzung nicht mehr. Es wurde jedoch entschieden, die bestehende Brücke als einen der wenigen Zeugen der Brückenbaukunst dieser Konstruktionsart zu erhalten und für den Langsamverkehr weiterhin zu nutzen. Eine zusätzliche Brücke sollte in einem respektvollen Abstand von ca. 40 m erstellt werden.

Wesentliche Randbedingungen

Der Ausgestaltung der neuen Versamertobelbrücke kam aufgrund der dramatischen Landschaft, aber auch im Zusammenhang mit der bereits bestehenden Brücke eine grosse Bedeutung zu. Aufgrund der Nähe zur Rheinschlucht

Introduction

The existing Versam Gorge Bridge – an arched, steel-truss bridge built in 1897 – no longer meets today's traffic requirements. As one of the few remaining examples of this bridge type, the structure should be left intact. Therefore, it was decided that the existing bridge would be used for pedestrians and cyclists and an additional bridge would be built a distance of 40 metres away not to impair the appearance of the old bridge.

Important boundary conditions

The design of the new Versam Gorge Bridge was of great importance due to the dramatic landscape and the existing bridge that would remain. Due to its close proximity to the Rhine Gorge, which is in the federal inventory

– einem inventarisierten Objekt von nationaler Bedeutung – wurde das generelle Brückenkonzept in Absprache mit den Natur- und Heimatschutzkommissionen festgelegt.

Die Konstruktion sollte generell nach den Regeln des modernen Brückenbaus konzipiert werden und damit eine hohe Dauerhaftigkeit gewährleisten. In der bewaldeten und damit schattigen, feuchten Umgebung war tendenziell eine kompakte, integrale Betonkonstruktion ohne mechanische Bauteile (zumindest ohne Fahrbahnübergänge) anzustreben.

Das unwegsame, steile Gelände forderte eine saubere Beurteilung der Bauausführung. Der Erstellung der neuen Brücke wurde deshalb eine zentrale Bedeutung zugemessen. Die Wirtschaftlichkeit hing in grossem Masse von

of national importance, the bridge design was established in agreement with the Swiss nature conservation and heritage agencies. The construction should generally follow the rules of modern bridge design and therefore guarantee a high durability. In the forested and thus shady, moist environment, a compact, integral concrete construction without mechanical components (at least without expansion joints) was desirable. The rough terrain with steep valley slopes demanded a clear assessment of the construction process. It was therefore given special consideration in the design phase. The cost-effectiveness greatly depended on a reasonable and efficient construction process. For this reason, the questions of installation (space, cranes, approaches, use of the existing bridge during the construction phase) as well as falsework options were already very important during the design phase. In the project perimeter, the Bündner schist forms the bedrock surface. This is partly visible along the edges of the Versam Gorge. The Bündner schist is covered by debris from the Flims rock slide,



Fig. 2

Untersicht der Brücke mit Übergang vom offenen Plattenbalken zu Hohlkasten.

View from below the bridge with transition of T-beam section to box girder.

einem sinnvollen und effizienten Bauvorgang ab. Daher waren die Fragen der Installation (Platzverhältnisse, Hebezeuge, Zufahrten, Einbezug der bestehenden Brücke) sowie der Konzeption der Gerüstung bereits in der Entwurfsphase entscheidend.

Im Bearbeitungsperimeter bildet Bündnerschiefer den Festgesteinuntergrund. Dieser ist entlang der Flanken des Versamertobels aufgeschlossen. Der Bündnerschiefer wird von umgelagerter Bergsturzmasse des Flimser Bergsturzes, moräneartigen Schottern und Hangschutt überlagert. Die teilweise grosse Mächtigkeit der Überschüttungen führt dazu, dass selbst Abstützungen im (oberen) Flankenbereich nicht zwingend im Fels fundiert werden können.

morainic gravel and scree material. The in certain areas considerable thickness of the cover means that even supports in the (upper) area of the slopes cannot necessarily be founded on the bedrock.

Concept and Design

The design presents a large, generous and forceful looking structure that is suited to the existing slender, almost transparent bridge. The cross-sections of the superstructure and the piers are variable and have the greatest dimensions in the transition zone between the superstructure and the substructure (corresponding to the forces). In this part a box girder is used for the superstructure. The type of section within the span is a T-beam. To visually merge the cross-section of the T-beam with that of the box girder and the piers, the web width of the T-beam section is continued over the entire structure in the shape of a rib (Fig. 2).

The pier shape tapering towards the bottom producing a compact pier base was chosen to fit in with the topographic conditions (with the dip of the slope strongly skewed to the bridge axis) as well as due to geotechnical considerations. The relatively good rock quality (Bonaduz side) allows a concentrated load application.

Projektdaten/Project data

Bauherr/Owner

Tiefbauamt Graubünden, Abteilung Kunstbauten

Canton Grisons, Civil Engineering Office, Structures Department

Projekt und technische Bauleitung/ Design and technical supervision

dsp Ingenieure & Planer AG,
Greifensee

Örtliche Bauleitung/Site supervision

Chitvanni + Wille GmbH, Chur

Ausführung/Contractors

Arge Erni AG, Flims (Federführung),

Prader AG, Chur

Technische Daten

Bauzeit: 2011–2012

Baukosten: ca. CHF 4,5 Mio.

Total length: 112,30 m

Brückennebreite: 8,80 m

Spannweiten: 30,2 m, 47,6 m, 34,5 m

Kämpferspannweite: 80 m

Maximale Höhe über Grund: 70 m

Technical Data

Construction period: 2011–2012

Cost: approx. CHF 4.5 million

Total length: 112.30 m

Deck width: 8.80 m

Span lengths: 30.2 m, 47.6 m, 34.5 m

Distance between pier foundations: 80 m

Maximum height above ground: 70 m

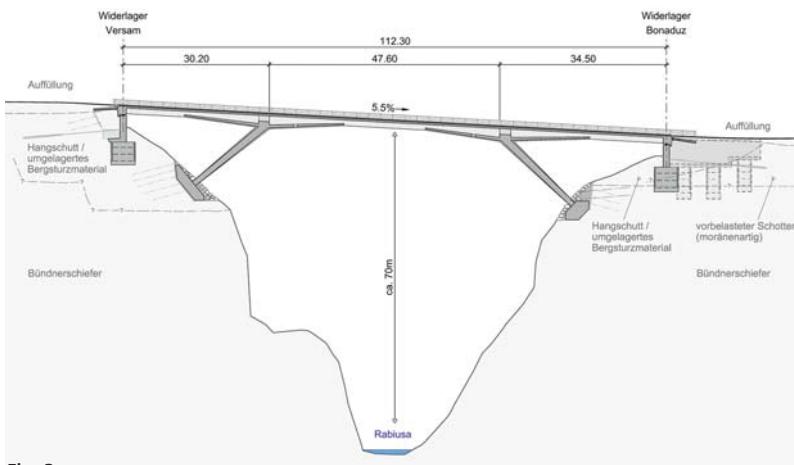


Fig. 3
Längsschnitt.
Longitudinal section.

offenen Plattenbalken. Um den Feldquerschnitt des Plattenbalkens optisch mit dem Querschnitt des Hohlkastens und des Stiels zu verbinden, ist die Stegbreite des Plattenbalkenquerschnitts über die gesamte Konstruktion in Form einer Rippe weitergezogen (Fig. 2).

Die Formgebung mit dem sich nach unten verjüngenden Stiel und damit mit einem kompakten Stielfuss bietet sich auch aufgrund der topografischen Verhältnisse (Falllinie des Geländes in stark schiefem Winkel zur Brückenlängsrichtung) sowie aufgrund geotechnischer Überlegungen an. Die relativ gute Felsqualität (Seite Bonaduz) erlaubt einen konzentrierten Lasteintrag. Dies wiederum lässt in diesem

This also has the advantage of a relatively small excavation in the very steep valley slopes. The detailed dimensions (specifically the design of the piers) were carefully checked using working models. This resulted in a statically balanced, logical structure with a convincing dynamic form.

The total length of the bridge is 112.30 m, with spans of 30.20 m, 47.60 m, and 34.50 m (Fig. 3). The maximum girder depth over the piers is 3.00 m, while the minimum girder depth is 1.50 m (Fig. 4). The piers have lengths, from ground level, of about 18 m. The cross-sections of the piers vary between $h \times b = 1.10 \dots 2.10 \text{ m} \times 1.90 \dots 3.20 \text{ m}$.

The two piers are founded on shallow pad foundations right

extrem steilen Gelände eine eher kleine Baugrube zu.

Die Detailabmessungen (insbesondere die Strukturierung der Stiele) wurden mit Arbeitsmodellen sorgfältig überprüft. Es resultiert ein statisch ausgewogenes und selbstverständliches Bauwerk mit einer überzeugenden Formgebung.

Die Gesamtlänge der Brücke beträgt 112,30 m, mit Feldlängen von 30,20 m, 47,60 m und 34,50 m (Fig. 3). Die maximale Trägerhöhe über den Stielen beträgt 3,00 m, die minimale Trägerhöhe im Feld 1,50 m (Fig. 4). Die Stiele weisen Längen ab Geländeoberkante von rund 18 m auf. Ihre Querschnitte variieren zwischen $h \times b = 1,10 \dots 2,10 \text{ m} \times 1,90 \dots 3,20 \text{ m}$. Die beiden Kämpfer sind unmittelbar oberhalb der steilen Flanken des Versamertobels flach fundiert. Auf der Seite Bonaduz liegt die Fundation im kompakten Fels, auf der Seite Versam im Bergsturzmaterial. Entsprechend sind die Fundamentabmessungen auf dieser Seite deutlich grösser. Die Widerlager und die anschliessende Flügelmauer wurden mit Schächten im umgelagerten Bergsturzmaterial bzw. im Hangschutt fundiert.

Tragwerkskonzept

Die Sprengwerkbrücke wirkt als verschieblicher Rahmen, der durch die Schieflagestellung der Stiele in Längsrichtung eine hohe Steifigkeit aufweist.

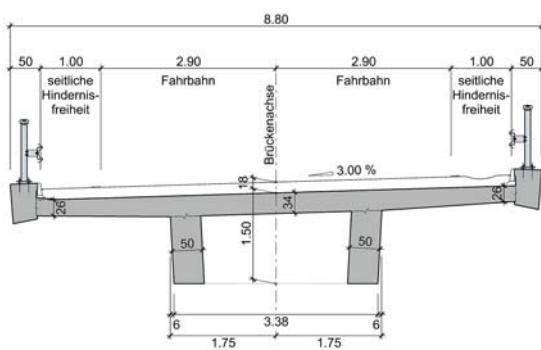
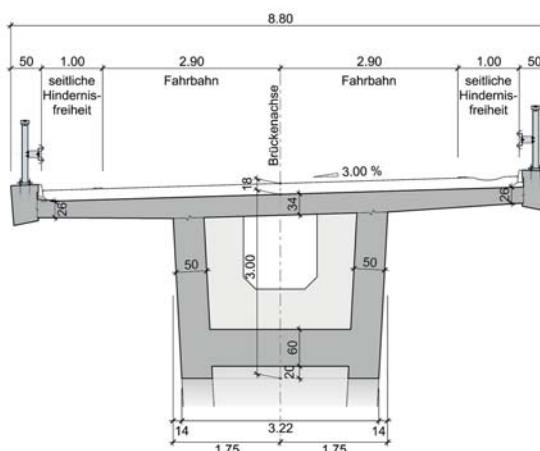


Fig. 4
Brückenquerschnitt im Feld und über Stiel.
Bridge cross section in mid span and over a pier.



above the steep sides of the Versam Gorge. On the Bonaduz side, the foundation lies in compact rock and on the Versam side in rock slide material. As a result the foundation dimensions are significantly larger on this side. The abutment and the adjacent wing wall were founded with the aid of shafts in the rock slide material or the scree material.

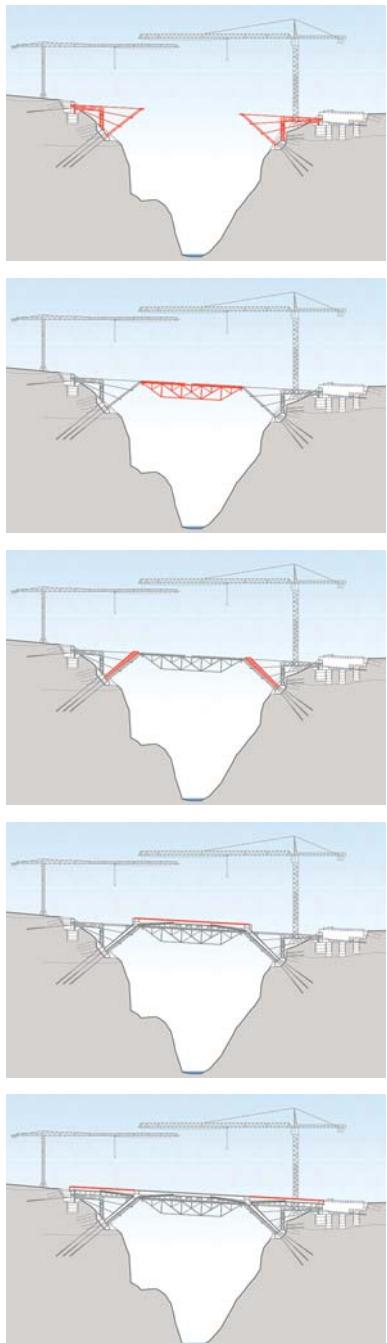


Fig. 5
Bauablauf.
Construction process.

Bei den Widerlagern wird die Brücke in Längsrichtung verschieblich ausgebildet. In Querrichtung wird sie von einseitig geführten Topflagern gehalten. Bei den vorhandenen Bewegungslängen kann auf die Ausbildung eines Fahrbahnübergangs und damit auf ein begehbares Widerlager verzichtet werden. Kleinere Belagsrisse werden mit diesem semi-integralen System akzeptiert. In Querrichtung werden die Horizontallasten primär über die Fahrbahnplatte zu den Widerlagern geleitet. Torsion aufgrund einseitiger Lastanordnung bzw. aufgrund Windbeanspruchungen kann zu einem substantiellen Anteil über den Hebelarm zwischen Stielfuß und Widerlager aufgenommen werden. Die Vorspannung ist so konzipiert, dass unter ständigen Lasten keine Zugspannungen auftreten. Die Bruchsicherheit ist damit in allen Querschnitten mit einer vernünftigen schlaffen Bewehrung erfüllt. Pro Steg werden maximal zwei, im Mittelfeld wird aufgrund der systembedingten hohen Normalkraft nur ein Kabel benötigt. Generell werden Kabel der Einheit 22 Litzen Ø 0,6" ($P_0 = 4297 \text{ kN}$) verwendet. Einzig das Randfeldkabel Seite Bonaduz besteht aus 31 Litzen Ø 0,6" ($P_0 = 6054 \text{ kN}$). Diese eher grossen Einheiten erlauben eine entsprechend geringe Anzahl Kabel. Damit können pro Steg alle Kabel in einer vertikalen Ebene geführt werden, was das Betonieren vereinfacht.

Bauausführung

Die Bauausführung ist im Wesentlichen geprägt von den schwierigen topografischen Verhältnissen und der beschränkten Zugänglichkeit. Große Lehrgerüstträger konnten nur in Einzelementen angeliefert werden, was die Optionen stark einschränkte. In einem ersten Arbeitsschritt wurden sämtliche Erd- und Ankerarbeiten ausgeführt. Bei den Widerlagern waren Rückhalteanker für die auskragenden Lehrgerüstelemente notwendig. Zusätzlich mussten bei beiden Kämpferfundamenten zur temporären Auf-

Structural Concept

The struttied frame bridge acts as a movable framework whereby the inclination of the piers provides a high stiffness in longitudinal direction.

At the abutments, the bridge rests on pot bearings that can move freely in the longitudinal direction and are fixed transversely. With the given length of movement, expansion joints and an accessible abutment room are not needed. Small cracks in the pavement will be accepted with this semi-integral system.

The transverse loads will be directed primarily through the deck to the abutments. Torsion due to eccentric live loads and wind will be resisted to a large extent through the lever arm between pier base and abutment.

The post-tensioning system is designed so that no tensile stresses will occur under dead loads. The ultimate resistance is therefore achieved with a reasonable amount of mild steel reinforcement. A maximum of two cables are required per web but in the main span only one cable is required due to the high normal force in the struttied system. Generally, cables with 22 strands Ø 0,6" ($P_0 = 4,297 \text{ kN}$) were used. Only the cable in the side span Bonaduz consists of 31 strands Ø 0,6" ($P_0 = 6,054 \text{ kN}$). These rather large units permit a relatively low number of cables. Therefore, all the cables in each web can be arranged above each other, which is an advantage when pouring concrete.

Execution

The construction process is mainly influenced by the difficult topographical situation and the limited accessibility. Large falsework girders could only be delivered in individual pieces, which reduced the number of possible systems. First, all the earth and anchor work was carried out. At the abutments, tie-back anchors were necessary for the cantilevering falsework elements. Additional rock anchors were needed for the pier foundations to temporarily



Fig. 6
Lehrgerüst mit 6 m hohem Fachwerk-Einhängeträger.
Falsework with 6 m deep truss girder.
(© P. Vonow)



Fig. 7
Lehrgerüststiele mit Zugstangen zurückgebunden.
Falsework with tie-back rods.

nahme der Windlasten quer zur Brücke weitere Felsanker gesetzt werden. Beim Kämpfer Versam dienten diese Anker auch einer Vorverformung des Fundaments. Während des Spannvorgangs konnten im Sinne eines Grossversuchs die Bemessungsannahmen überprüft werden.

Die Rückverankerungen bei den Widerlagern waren primär für die Aufrichtung des Lehrgerüsts und die Rückbindung während des Betonierens der Stiele erforderlich. Danach wurde das Lehrgerüst mit Längsträgern (Druckriegel) zu einem Rahmensystem geschlossen.

Es musste systembedingt darauf geachtet werden, dass das Betonieren des Überbaus möglichst symmetrisch erfolgte. Nach dem Betonieren des Mittelfelds wurden zuerst von den Randfeldern her beide Troge und anschließend die Fahrbahnplatten betoniert (Fig. 5).

Die Hauptarbeiten erfolgten während der Bausaison 2011. Nach den Fertigstellungsarbeiten (Konsolkopf, Abdichtung, Belag, Straßenanpassungen etc.) im Frühjahr 2012 konnte das neue Bauwerk im Juli 2012 dem Verkehr übergeben werden.

withstand transverse wind loads. At the pier foundation on the Versam side these anchors were also used to preconsolidate the ground. As in a large-scale test, the settlements during anchor stressing were measured and verified with the design assumptions. The anchors at the abutments were primarily required as tie-backs for the erection of the falsework and while the piers were concreted. Afterwards, the falsework system was closed with longitudinal beams in the main span (compression members) forming a frame system.

As the superstructure was concreted, careful attention had to be paid to ensure that it was done as symmetrically as possible. After pouring the main span, the lower half of the cross-section in both side spans were poured and subsequently the deck sections were poured (Fig. 5).

The main work was performed during the construction season of 2011. After the final construction work (parapet edge beam, sealing membrane, pavement, road adjustments, etc.) in spring 2012, the new structure was opened to traffic in July 2012.

Autoren/Authors

Beat Meier
dipl. Bauing. ETH
meier@dspch

Oliver Müller
dipl. Bauing. ETH, PE
mueller@dsp.ch

dsp Ingenieure & Planer AG
CH-8606 Greifensee

Viaduc sur l'A9

Viaduct on the A9

Philippe Menétrey, Claude Broquet, Stefan Nydegger

Introduction

Le viaduc sur l'A9 est situé sur la commune de Rennaz dans une zone dense en voies de communication. C'est un ouvrage majeur de la nouvelle route principale H144 puisqu'il en est un des points de connexion. Il franchit l'autoroute A9, la route cantonale RC 780 et plusieurs chemins agricoles.

Le projet proposé a une longueur de 351,60 m et possède onze travées dont la portée est de 33 m en général, augmentée à 34,80 m pour franchir l'autoroute et de 26,40 m dans les travées de rive comme illustré sur la vue en plan à la Figure 1.

Conception

La géométrie de l'ouvrage est conditionnée par les exigences de gabarits de l'autoroute A9 et de

Introduction

The viaduct over the A9 motorway is situated near the village of Rennaz in a dense zone of traffic routes. It is a major civil engineering structure on the new highway H144 as this is one of the main junctions. It crosses the A9 motorway, the district road RC 780 and several agricultural roads.

The proposed design has a length of 351.60 m and consists of eleven bays for which, in general, the span is 33 m but increases to 34.80 m to cross the motorway and 26.40 m in the side spans as illustrated on the plan view in Figure 1.

Design

The geometry of the structure is determined by the requirements of the height over the A9 motorway and the district road RC 780 as shown in Figure 2. During the

la route cantonale RC 780 comme présenté à la Figure 2. Durant le concours un concept de base a été établi et il peut être résumé comme suit :

- Une méthode de construction sans pile même provisoire sur la berme centrale de l'autoroute afin de limiter les risques d'accidents et les fermetures de trafic.
- Un viaduc situé dans une zone dense en voies de communication conçu comme un élément unitaire qui développe avec calme et simplicité sa courbure.
- Un pont flottant malgré ses 351,60 m de longueur avec une liaison rigide du tablier sur les piles afin de supprimer les appuis sur les piles permettant d'une part de les affiner et d'autre part de disposer les appuis qu'aux culées où ils sont

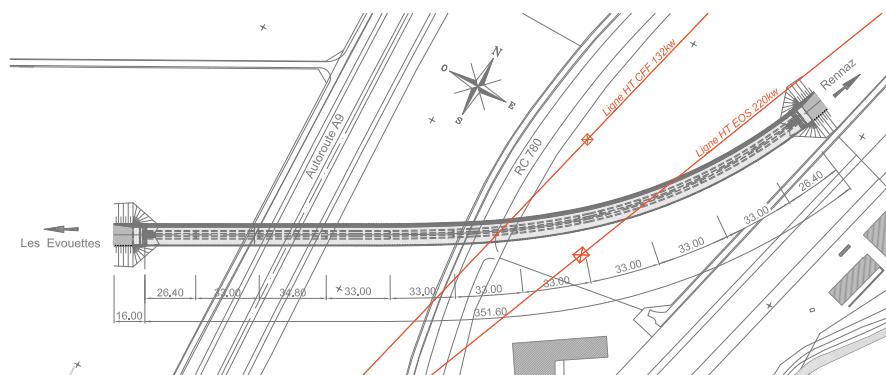


Fig. 1
Situation du viaduc.
Situation of the viaduct.

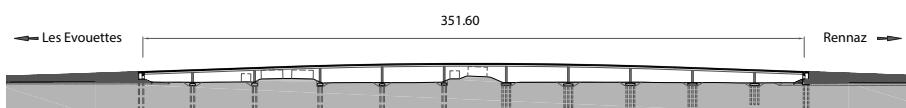


Fig. 2
Coupe longitudinale.
Longitudinal section.

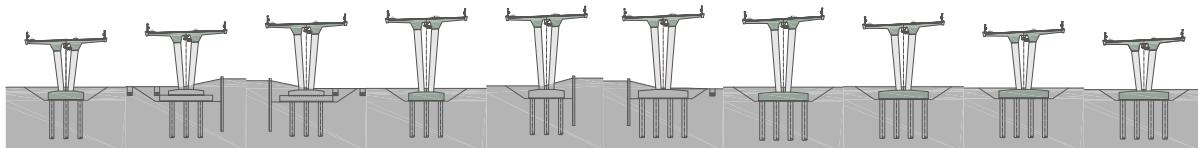


Fig. 3

Coupe transversale des piles.
Transverse section through the piers.

competition a basic conceptional design was prepared that can be summarised as follows:

- A method of construction without supports, not even temporary piers, in the central reservation of the motorway in order to limit the risks of accidents and closures to traffic.
- A viaduct situated in a dense zone of traffic routes designed as a smooth curved unit.
- A floating bridge in spite of it being 351.60 m long with a rigid connection of the bridge deck over the piers in order to do away with supports on the piers enabling firstly to slim them down and secondly to arrange the supports at the abutments, where they are easily accessible for maintenance purposes.

Once this design was agreed upon it dictated the choices, the particularities and the innovations made. The section of the bridge floor is constant through-

facilement accessibles pour les opérations d'entretien.

Une fois ce concept établi, il a dicté les choix, les particularités et les innovations faites.

La section du tablier est constante sur toute la longueur de l'ouvrage améliorant son unité.

Le tablier en béton précontraint est composé d'une dalle de roulement raidie par deux nervures longitudinales qui reposent chacune sur les bras des piles en V. Les deux nervures disposées dans la partie centrale du tablier sont précontraintes longitudinalement. La dalle de roulement est précontrainte transversalement.

Avec une topographie très plate, le viaduc est souvent perçu de manière rapprochée. Afin d'obtenir une image allégée, les éléments techniques (gaines techniques et le collecteur des eaux) sont dissimulés entre les nervures. Les conduites d'évacuation des avaloirs sont bétonnées dans l'épaisseur du tablier.

out the length of the structure improving its unity.

The bridge floor made of pre-stressed concrete comprises a running surface stiffened by two longitudinal ribs, each resting on the arms of the piers in a V shape. The two ribs arranged in the central part of the bridge floor are pre-stressed longitudinally. The running surface is pre-stressed transversally.

With a very smooth topography, the viaduct looks often like being moved closer. In order to obtain a lighter appearance, the technical elements (technical ducts and the water collector) are concealed between the ribs. The drainage pipes of the gullies are embedded in the bridge floor.

The elegance of the structure is also due to the slenderness of its piers. Each of the two arms of piers is inclined to support one of the ribs of the bridge floor. The inclination of the piers is variable as shown in Figure 3.

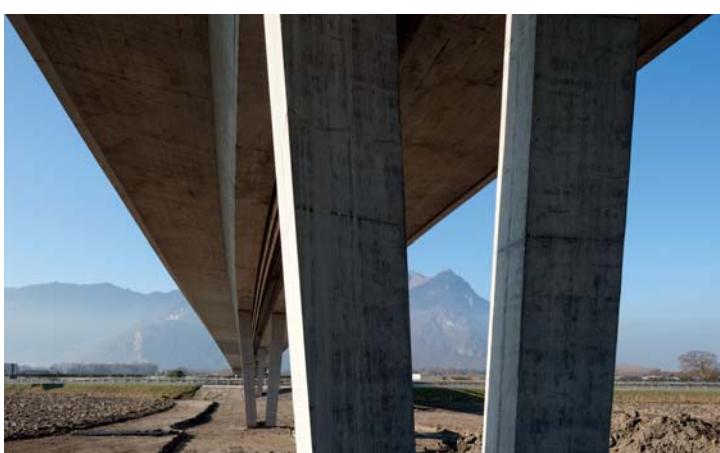


Fig. 4

Vue de la pile et de l'intrados du tablier.
View of the pier and the soffit of the bridge floor.
(© Yves André)

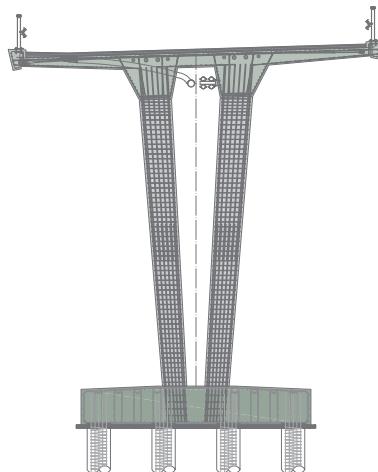


Fig. 5

Coupe transversale du tablier sur appui avec armature et précontrainte.
Transverse section of the bridge deck over the pier with reinforcement and pre-stressing.



Fig. 6
Vue de la culée.
View of the abutment.
(© Yves André)

L'élégance de l'ouvrage est également due à la finesse de ses piles. Chacune des deux branches des piles est inclinée pour supporter une des nervures du tablier. L'inclinaison des piles est variable comme représentée à la Figure 3. La section des branches a une forme de trapèze dont la hauteur s'élargit de la base au sommet des piles. La section trapézoïdale des piles leur offre une apparence dynamique par différentiation des surfaces exposées à la lumière. La section transversale finale intégrant le tablier, la pile et les fondations est présentée à la Figure 5. L'armature et les câbles de pré-contrainte sont également visi-

The cross section of the arms has a trapezoidal shape, the height of which increases from the base to the summit of the piers. The trapezoidal section of the piers gives them a dynamic appearance due to the difference of the surfaces exposed to the light.
The final transverse section including the bridge floor, the pier and the foundations is shown in Figure 5. The reinforcement and the pre-stress cables are also visible illustrating the perfect harmonisation of the different structural elements.

The abutments as the connecting elements play a decisive role in the integration of the structure

bles illustrant la parfaite imbrication des divers éléments structurels.

Les culées en tant qu'élément de liaison sont déterminantes pour l'intégration de l'ouvrage dans le site. Elles sont donc intégrées partiellement dans les remblais qui prolongent le viaduc. Les murs d'aile sont inclinés comme les piles avec un fruit négatif pour s'aligner avec les faces extérieures des bordures du tablier. L'unité du viaduc est ainsi renforcée comme visible sur la Figure 6.

La superstructure du viaduc est réalisée en béton C35/45 alors que l'infrastructure est exécutée avec un béton C30/37. Des ciments

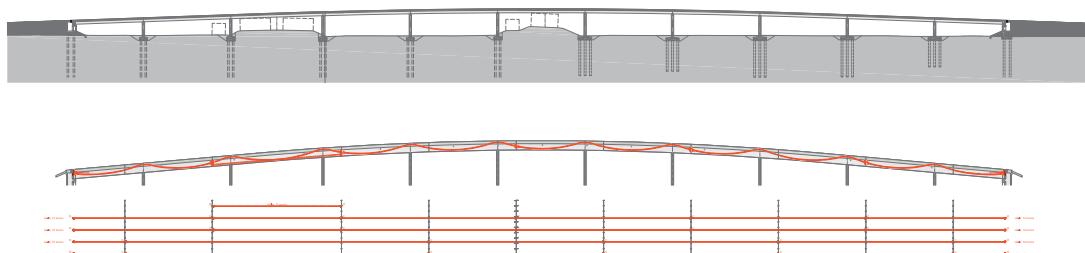


Fig. 7
Schéma de précontrainte.
Pre-stressing diagram.

Intervenants	Participants
Maitre d'ouvrage	Owner
Service des routes du canton de Vaud	Road Department of the Canton of Vaud
Ingénieurs civils	Civil engineers
INGPHI SA, ingénieurs en ouvrages d'art	INGPHI SA, ingénieurs en ouvrages d'art
Géotechniciens	Geotechnical engineers
De Cérenville géotechnique SA	De Cérenville géotechnique SA
Architectes	Architects
Brauen + Wälchli B+W architecture sàrl	Brauen + Wälchli B+W architecture sàrl
Entreprise de construction	Contractor
Marti Construction SA	Marti Construction SA
Cintres	Falsework
Coray Construction SA	Coray Construction SA
Précontrainte, appuis et joints de dilatation	Pre-stressing, bearings and expansion joints
Freyssinet SA	Freyssinet SA
Le viaduc en chiffres	
Béton armé	2800 m ³
Acier d'armature	580 to
Précontrainte	5300 m
Etanchéité	3800 m ²
The viaduc in figures	
Reinforced concrete	2800 m ³
Reinforcing steel	580 to
Pre-tensioning	5300 m
Seal	3800 m ²

into its surroundings. They are, therefore, partially integrated in the embankments, which prolong the viaduct. The wing walls are inclined like the piers with a negative taper to align them with the external faces of the edges of the bridge floor. The unity of the viaduct is thus reinforced as can be seen in Figure 6.

The superstructure of the viaduct is made of C35/45 concrete while the infrastructure is made of C30/37 concrete. Composite cements have been chosen to reduce the risks of alkali reaction to the concrete bearing in mind the reactive potential of the aggregates.

Pre-stressing

The bridge floor is longitudinally pre-stressed in order to reach a degree of compensation for deformations of $b = 0.85$ in each of the spans. The longitudinal pre-stressing is made up of 4 cables of 13 strands and 4 cables of 19 strands made of Y1860S-15.7 steel. For the joints of the different steps of concreting, the longitudinal cables are coupled so that 50% of the cables are connected with the couplers in the same section. The span above the

composés ont été choisis afin de réduire les risques d'alkali-réaction du béton compte tenu du potentiel réactif des granulats.

Précontrainte

Le tablier est précontraint longitudinalement afin d'atteindre un degré de compensation des déformations de $b = 0,85$ dans chacune des travées. La précontrainte longitudinale est composée de 4 câbles de 13 torons et 4 câbles de 19 torons en acier Y1860S-15.7. Aux joints des différentes étapes de bétonnage, les câbles longitudinaux sont couplés de telle sorte que 50% des câbles sont liés avec des coupleurs dans la même section. La travée au-dessus de l'autoroute A9 est construite au préalable; elle est renforcée avec 2 câbles de 12 torons rectilignes comme illustré sur la Figure 7. La précontrainte transversale est composée de câbles de 3 torons en acier Y1860S-15.7 espacés de 1,2 m dans une gaine plate. L'ancre mobile et l'ancre fixe sont disposés alternativement d'un côté et de l'autre du tablier. Les câbles longitudinaux sont isolés électriquement selon la catégorie C et les câbles transversaux selon la catégorie B.

A9 motorway was constructed first; it is reinforced with 2 cables of 12 rectilinear strands as illustrated in Figure 7.

The transverse pre-stressing is provided by cables made up of 3 strands of Y1860S-15.7 steel cables spaced 1.2 m apart in a flat duct. The mobile anchorage and the fixed anchorage are arranged alternatively from the sides of the bridge floor.

The longitudinal cables are insulated electrically according to category C and the transverse cables according to category B.

Construction

The construction of the viaduct started with the pre-loading of the embankments behind the two abutments. As one of the embankments was situated close to a railway line, some in-situ measures and some numerical simulations were carried out and are described in [1].

The piles of the foundations work mainly in friction. The connection of the bridge floor to the piers without support device increases the possibility of compensating for any settlement. The behaviour of the piers was determined by a destructive static test on a pier



Fig. 8
Vue aérienne du viaduc en construction.
Aerial view of the viaduct during construction.
(© SR)



Fig. 9
Cintre disposé au-dessus du tablier pour le franchissement de l'A9.
Overhead spanning falsework for the crossing of the A9.

Construction

La construction du viaduc a débuté par la réalisation des remblais de préchargement derrière les deux culées. Comme un des remblais se situe à proximité d'une ligne de chemin de fer, des mesures in-situ et des simulations numériques ont été effectués et elles sont décrites dans [1].

Les pieux des fondations travaillent principalement en frottement. La liaison du tablier sur les piles sans appareil d'appui enlève la possibilité de compenser d'éventuels tassements. Le comportement des pieux a été cerné par un essai statique destructif d'un pieu et par des simulations numériques décrites dans [2]. Les pieux sont exécutés pour moitié des fondations avec la technique des pieux à refoulement et pour la seconde moitié en raison des contraintes de gabarit (au-dessous des lignes à haute tension) avec la technique des pieux forés tubés.

La construction du tablier est réalisée à l'aide de cintres disposés par travée et appuyés sur les fondations définitives des piles afin de réduire les risques de tassement lors du bétonnage. Une fois la travée bétonnée et mise en précontrainte, le cintre est déplacé dans la travée suivante. Une vue aérienne de la construction est présentée à la Figure 8.

Le franchissement de l'A9 a été réalisé avec un cintre disposé au-dessus du tablier [3]. La mise en

and by the numerical simulations described in [2]. The piles were installed for half of the foundations with the technique of drilled piles and for the second half, because of the constraints of space (below the high voltage lines), as driven tube piles.

The construction of the bridge floor was carried out with the help of a stationary falsework arranged span by span and supported on definitive pile foundations to reduce the risks of settlement during the concreting. Once the span was concreted and prestressed, the falsework was moved to the next span. An aerial view of the construction is shown in Figure 8.

The crossing of the A9 involved an overhead spanning falsework above the bridge floor [3]. The erection of the girder and the formwork was executed during two nights and in this time the traffic on the motorway was diverted. The formwork resting on the decking which separates the site from the road traffic is thus suspended from the falsework. Some block-outs in the deck of the bridge floor were necessary to guarantee the passage of the shoring towers of the falsework and the suspension posts of the decking. The operation of crossing the A9 is described in [4] and illustrated in Figure 9.

The viaduct on the A9 forms a smooth curve in the countryside

place du cintre et du platelage a eu lieu durant deux nuits pendant lesquelles le trafic sur l'autoroute a été dévié. Le coffrage posé sur le platelage qui sépare le chantier du trafic routier est ainsi suspendu au cintre. Des réservations dans la dalle du tablier ont été nécessaires pour garantir le passage des tours d'étayage du cintre et des suspentes du platelage. L'opération de franchissement de l'A9 est détaillée dans [4] et illustré à la Figure 9.

Le viaduc sur l'A9 développe sa courbure avec calme et unité dans le paysage de la plaine du Rhône comme illustré à la Figure 10.

Conclusion

La conception d'un ouvrage d'art tel que le viaduc sur l'A9 nécessite l'établissement d'un concept. Celui-ci a été établi dans le cadre du concours et il a ensuite été suivi pour toute la phase de réalisation en servant de ligne directrice.

Références/References

- [1] S. Commend, R. Obrzud, F. Geiser et Ph. Menétrey; Modélisation de sol à l'état de service, Tracés, 19, 2012.
- [2] Ph. Menétrey et S. Commend; Simulation numérique de l'essai de pieux du viaduc sur l'A9 à Rennaz, Publication de la Géotechnique Suisse, 166, 2013.
- [3] Ph. Menétrey, C. Broquet et C. Bertan; La Transchablaisienne franchit l'autoroute A9, Tracés, 22, 2010
- [4] Ph. Menétrey, C. Broquet et U. Brauen; Viaduc sur l'A9, Tracés, 19, 2012.



Fig. 10
Vue d'ensemble.
General view.
(© Yves André)

of the Rhone plain as shown in Figure 10

Conclusion

The design of a civil engineering structure such as the viaduct over the A9 needs a conceptional design phase. This was established during the competition and it was then followed throughout the construction phase.

One of the major concepts put forward for this viaduct was to create a smooth structure with a smooth curvature. This dictated the following choices, particularities and innovations:

- A floating bridge in spite of its length.
 - Span over the motorway concreted first, requiring an adaptation of the system of pre-stressing.
 - Overhead spanning falsework placed above the bridge floor used to cross the span over the motorway.
 - Piers in V shape connected to the bridge floor with a variable inclination according to their heights and a transverse trapezoidal section to sharpen the perception and make it more dynamic.
 - Inclination of the piers reflected in the wing walls of the abutment and in the borders of the bridge.
 - Concentration of all the ducts between the two ribs.
- Un des concepts majeur établi pour ce viaduc a été de créer un ouvrage unitaire qui développe avec calme et simplicité sa courbure. Il a dicté les choix, les particularités et les innovations suivants :
- Pont flottant malgré sa longueur.
 - Travée sur l'autoroute bétonnée en premier nécessitant une adaptation du schéma de pré-contrainte.
 - Cintre disposé au-dessus du tablier utilisé pour franchir la travée sur l'autoroute.
 - Piles en V liées au tablier avec une inclinaison variable selon leurs hauteurs et une section transversale trapézoïdale pour en affiner et dynamiser la perception.
 - Inclinaison des piles reprise dans les murs de culées et dans les bordures du pont.
 - Intégration de toutes les conduites entre les deux nervures.

Auteurs/Authors

Philippe Menétrey
Dr ès techn. ing. dipl. EPFL
phm@ingphi.ch

Claude Broquet
Dr ès techn. ing. dipl. EPFL
claude.broquet@ingphi.ch

Stefan Nydegger
Ing. civil HES
ns@ingphi.ch

INGPHI SA
Ingénieurs en ouvrages d'art
CH-1003 Lausanne

Viaduc sur le Rhône

Viaduct over the Rhone

Ramon Pinol, Philippe Meier, Ana-Inès Pepermans

Introduction

Issu d'un concours international à deux degrés, impliquant ingénieurs civils et architectes, cet ouvrage d'art routier affiche une ambition plastique et artistique, par une mise en forme novatrice qui s'inspire du diagramme des moments, combiné avec une audacieuse mise en couleur de la matière laissée brute. Cette conception incluant le tablier, les piles et les culées, permet d'inscrire un geste de type Landart dans un paysage iconique de la région du Chablais. L'ouvrage est pensé pour accrocher la lumière de manière particulière et permettre un dialogue entre le pont et le site.

Une réalisation transfrontalière et transdisciplinaire

Ce projet fait partie de la nouvelle route cantonale H144 qui relie l'autoroute suisse A9 à la riviera française. Le pont de 450 m

Introduction

After a two stage international competition involving civil engineers and architects, this road structure that has a flowing and artistic appearance was chosen. It has an innovative shape, which draws its inspiration from the bending moment curves combined with an audacious colouring of the material that is left in a rough state. This design, which includes the roadway, the piers and the abutments, is a fitting tribute to the Landart artistic culture in an iconic part of the countryside of the Chablais region. The structure is thought to capture the light in a special way and so the bridge fits nicely into the site.

A cross-border and interdisciplinary achievement

This project forms part of the new regional road H144 that connects the Swiss A9 motorway to the

de long traverse le Rhône à un endroit où le fleuve marque la frontière entre deux cantons suisses (Vaud et Valais). Son franchissement vise à unifier progressivement des contraintes hétérogènes que sont le passage sur les champs, la forêt, le canal Stockalper, le train et le fleuve lui-même (Fig. 1). L'unité de la forme permet d'enjamber les irrégularités de la terre et d'interagir dans ce lieu de manière raisonnée par une augmentation progressive de la portée, basée sur le principe mathématique des courbes harmoniques. Les 74 m nécessaires au franchissement du Rhône sont ainsi intégrés dans cette logique, où la portée maximale se fond naturellement dans l'unité de l'ouvrage d'art sans effort visuel particulier. Sa hauteur varie de 4 à 10 m au-dessus du terrain naturel sur un tracé rectiligne (Fig. 2). La plasticité du tablier se base sur une réflexion alliant la courbe des moments à la forme: des facettes à chanfrein s'adaptent aux portées changeantes. L'ouvrage est conçu comme une coque qui exprime les efforts en accrochant la lumière de manière particulière (Fig. 3). La matérialité, en lien



Fig. 1

Vue vers l'arc lémanique, début du chantier, 2010.
View towards Lake Leman at the start of the project, 2010.
(© Yves André)

Maître d'ouvrage

Etat du Valais, Etat de Vaud représentés par le Service des Routes du Canton de Vaud

Ingénieur civil

Conus & Bignens SA

Architectes

meier + associés architectes sa

Géotechnicien

Amsler & Bombeli SA,
De Cérenville géotechnique SA

Entreprises

Consortium Frutiger SA,
Walo Bertschinger SA,
Prader Losinger, Atra SA

Dates du projet

Concours à deux degrés: 2005–2006
Projet: 2007–2008
Réalisation: 2009–2012

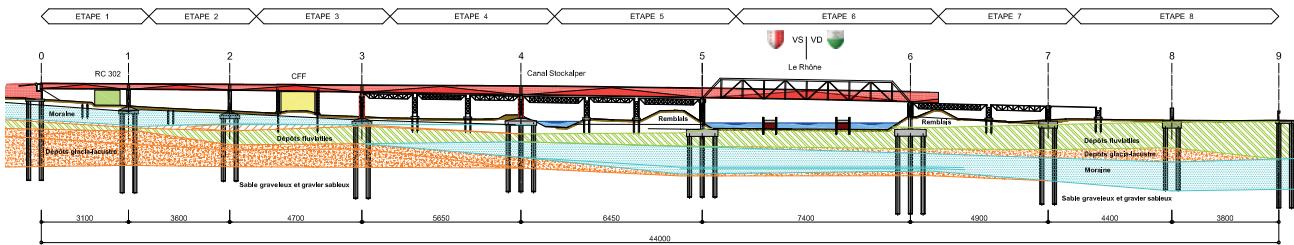


Fig. 2

Coupe longitudinale.
Longitudinal section.

French Riviera. The bridge is 450 m long and crosses the Rhône at a place where the river marks the frontier between two Swiss cantons (Vaud and Valais). Its crossing aims to progressively unify the heterogeneous constraints as it passes through the fields, the forest, over the Stockalper canal, the railway and the river itself (Fig. 1). The unity of its shape enables it to span these terrain changes and to interact appropriately through a progressive increase of the span, based on the mathematic principle of harmonic curves. Thus the 74 m necessary to cross the Rhône are included in this logic, where the longest span blends naturally with the unity of the structure without particular visual effort. Its height varies from 4 to 10 m above the natural ground surface in a straight line trace (Fig. 2).

The sweep of the carriageway is based on an idea that relates the curve of the bending moments to the shape: some facets of chamfer

étroit à sa morphologie, a été conçue comme un dialogue entre le pont et le site. Les piles porteuses adoptent un principe similaire avec un dessin en V dont la forme est répétitive et progressive. Leur implantation répond essentiellement à la position des obstacles à franchir, et de ce fait délimitent neuf travées irrégulières dont la portée varie entre 31 m et 74 m au-dessus du fleuve. Le pont comporte deux joints de dilatation: un à chaque culée.

Une réalisation de haute technologie

Fondations et pieux

Géologiquement le viaduc se situe dans la vallée du Rhône, dont le sol se caractérise principa-

fit the changing spans. The structure is designed as a shell that expresses the forces by catching the light in a particular manner (Fig. 3). The structure, regarding its shape, has been designed as a dialogue between the bridge and the site.

The load-carrying piers adopt a similar principle with a V design, the shape of which is repetitive and progressive. Their location is basically decided by the position of the obstacles to be crossed, and because of this it divides the plain into nine irregular sections, the spans of which vary between 31 m and 74 m over the river.

The bridge has two expansion joints: one at each abutment.



Fig. 3

Tablier, âmes et piles de l'ouvrage.
Bridge floor, webs and piers of the structure.
(© Yves André)

Owner

State of Valais, State of Vaud represented by the Road Department of Canton Vaud

Civil Engineer

Conus & Bignens SA

Architects

meier + associés architectes sa

Geotechnical engineers

Amsler & Bombeli SA,
De Cérenville géotechnique SA

Contractors

Consortium Frutiger SA,
Walo Bertschinger SA,
Prader Losinger, Atra SA

Dates of the project

Two stage competition: 2005–2006
Project: 2007–2008
Work carried out: 2009–2012



Fig. 4
Terrassement dans enceinte de palplanches pour fondations près des digues du Rhône.
Excavations carried out with the help of sheet piles near the dams of the Rhône.



Fig. 5
Echafaudage, coffrage et armature d'une double pile.
Scaffolding, formwork and reinforcement of a double pier.

lement par la présence de dépôts fluvio-glaciaires et d'alluvions perméables. Les terrains hétérogènes présentent des propriétés géomécaniques souvent médiocres. D'un point de vue hydrologique, la nappe peut atteindre la surface du sol en de nombreux endroits lors des périodes de hautes eaux. Pour minimiser les tassements différentiels probables, il a été décidé de fonder l'ensemble de l'ouvrage sur des fondations profondes, pour garantir un comportement optimal de l'ouvrage.

Les fondations sont constituées de grandes semelles qui reposent sur des pieux, dont le nombre varie de six à neuf et espacés d'au minimum trois diamètres afin d'éviter l'effet de groupe. Certaines semelles se situant bien au-dessous de celui de l'eau (Rhône ou nappe), elles ont été construites à l'intérieur de grandes enceintes de fouille réalisées à l'aide de palplanches (Fig. 4).

Les pieux forés de 1,5 m de diamètre, et dont la longueur varie de 22 à 33 m selon les sollicitations, ont été fichés dans les dépôts fluvio-glaciaires. Dosés avec une

A high technology project Foundations and piles

Geologically the viaduct is located in the Rhône valley, the ground of which mainly consists of glacial-fluvial deposits and permeable alluvia. The heterogeneous terrain has geotechnical properties that are often of poor quality. From a hydrological point of view, the water level can reach the surface of the ground in numerous places during periods of high water. To minimise the probable differential settlements, it was decided to base the whole of the structure on deep foundations, to guarantee optimum behaviour of the structure.

The foundations consist of large blocks that rest on piles, the number of which varies from six to nine, which are spaced at a minimum of three diameters in order to avoid the group effect. Certain blocks are situated well below the level of the water (Rhône or water table), they have been constructed inside large caissons that surround the excavations executed with the help of sheet piles (Fig. 4).

teneur en ciment minimale de 375 kg/m³, ils sont armés sur toute leur hauteur. Tous les pieux ont été systématiquement soumis à des contrôles d'intégrité et de capacité portante, ainsi qu'à des contrôles de verticalité (inclinomètre). Leur réalisation a nécessité la venue sur place d'engins de forage exceptionnels.

Piles

De section trapézoïdale, les double-piles en V sont articulées à leur sommet, alors qu'elles sont encastrées dans l'importante semelle de fondation à leur base. Elles sont équipées d'appuis glissants guidés dans le sens longitudinal, sauf celles des trois axes centraux dont les appuis sont conçus pour reprendre aussi des efforts longitudinaux, en particulier ceux dus aux séismes. Le dessin particulier des piles, dont la forme varie avec la hauteur, s'est traduit par la mise en place d'un coffrage spécifique pour chacune d'entre elles (Fig. 5). La recette du béton des piles comprend 300 kg/m³ de ciment auxquels ont été ajoutés 100 kg/m³ de cendres

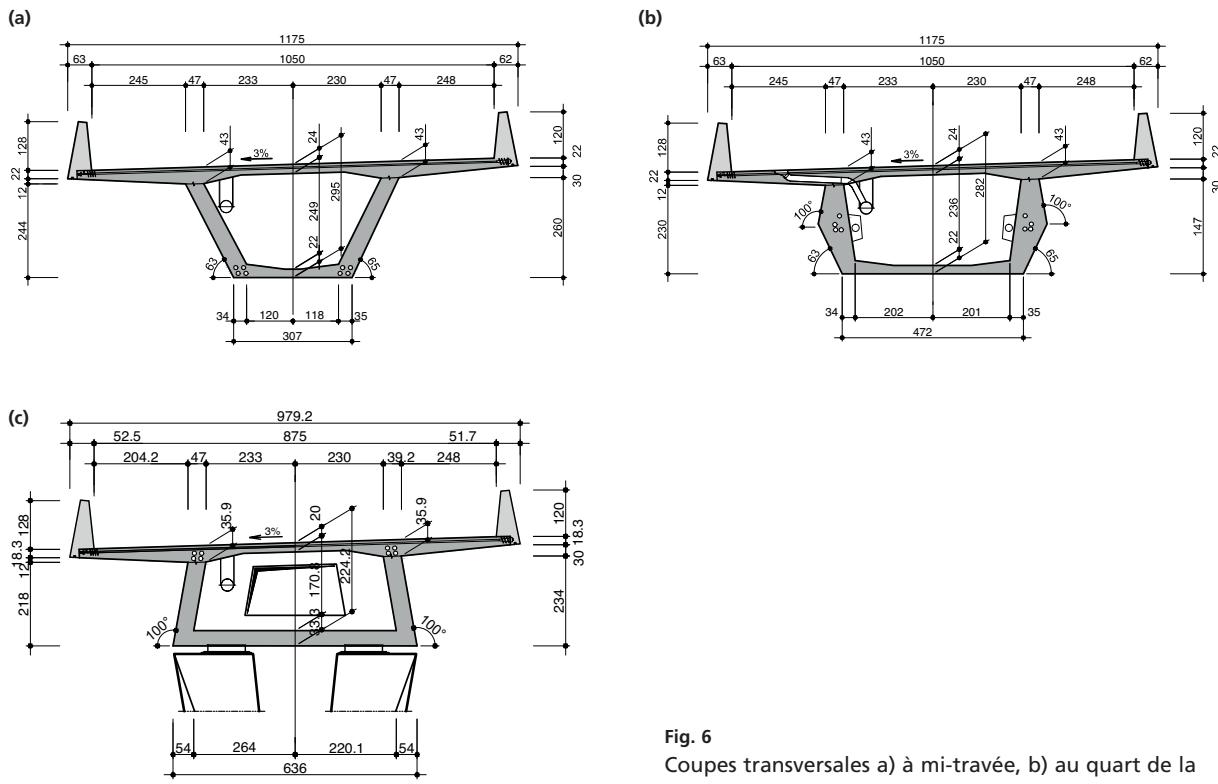


Fig. 6

Coupes transversales a) à mi-travée, b) au quart de la travée et c) sur appui.

The different cross sections at a) mid-span, at b) a quarter of the span and at c) the bearing.

The piles used have a diameter of 1.5 m, and a length, which varies between 22 and 33 m according to the loading, and have been driven into the glacio-fluvial deposits. Used with a minimum percentage of cement of 375 kg/m³, they are reinforced throughout their height. All the piles have been systematically subjected to integrity and load-carrying capacity checks, as well as to verticality checks (inclinometer). Their construction required the use of exceptionally large piling machinery.

Piers

The piers are of trapezoidal section, while the double piers of V shape are joined at the top, and they are set into the big foundation block in their base. They are fitted with sliding guided bearings in the longitudinal direction, except those of the three central axes, the bearings of which are designed to take the longitudinal forces, in particular those due to earthquakes. The special design of the piers, the shape of which varies with the height, resulted in

volantes. Le béton contient en outre 15 kg/m³ de pigment noir. A noter encore que l'importance des efforts sismiques a nécessité l'utilisation d'acières spéciaux.

Caisson, tablier et parapets

Selon les travées, la hauteur du caisson varie de 2,2 à 3,75 m. En plan, sa dalle inférieure dessine un trapèze sur une demi-travée, dessin qui s'inverse sur la deuxième demi-travée. La largeur extérieure de cette dalle varie de 6,7 m sur appui pour se réduire à 2,3 m à l'endroit le plus étroit. Transversalement, son épaisseur qui est en général de 22 cm, s'épaissit à 35 cm à proximité des âmes. Contraintes par le dessin en double losange de la dalle inférieure de suivre un tracé rentrant à partir des piles, les âmes sont marquées par une arête qui relie le pied du caisson (au droit des appuis) au-dessous de la dalle de roulement (au milieu des travées). Cette arête, dont l'angle a été maintenu constant, se répète sur toute la longueur du pont.

Au droit de chaque pile se situe une entretoise bétonnée en même

the installation of a special framework for each of them (Fig. 5). The concrete mix design for the piles contains 300 kg/m³ of cement to which is added 100 kg/m³ of fly ash. In addition, the concrete contains 15 kg/m³ of black pigment. It should also be noted that the magnitude of the seismic forces required the use of special steels.

Box girder, bridge floor and parapets

Depending on the spans, the height of the box girder varies from 2.2 to 3.75 m. In plan view its lower floor level forms a trapeze on a semi-span, a design that is reversed on the second half span. The external width of this slab varies from 6.7 m on a support down to 2.3 m at the narrowest place. Transversely, its thickness, which in general is 22 cm, increases to 35 cm close to the webs. Constrained by the design in a double diamond shape of the lower slab to follow a line re-entering from the piers, the webs are marked by a ridge which links the foot of the box girder (at the

temps que les âmes. Sa partie inférieure fonctionne comme un tirant qui relie les deux branches des piles et participe à leur stabilité. Fermant le caisson, la dalle de roulement présente quant à elle une largeur constante de 10,5 m. Son épaisseur varie transversalement de 24 cm au centre ainsi qu'aux extrémités des porte-à-faux pour s'épaissir à 43 cm à l'approche des âmes. Afin de leur donner une forme qui se marie avec l'esthétique générale du pont, les parapets fixés aux extrémités de la dalle de roulement ont une forme en pyramide. Exécutés avec un béton résistant au gel et au sel, leur hauteur est de 1,1 m, ils ont été réalisés avec deux chariots se déplaçant sur des rails. Les étapes d'une longueur de 12 m ont été bétonnées dans un ordre établi de façon à limiter la fissuration (Fig. 6).

Précontrainte

Longitudinalement les câbles de précontrainte suivent un tracé parabolique. Ils sont constitués de torons de 0,6" dont le nombre

bearings) under the roadway slab (in the middle of the spans). This ridge, the angle of which was kept constant, runs throughout the length of the bridge.

On the top of each pier there is a cross bar concreted at the same time as the webs. Its lower part functions as a tie-rod that connects the two branches of the piers and helps to stabilise them. Closing the box girder, the carriageway deck has a constant width of 10.5 m. Its thickness varies transversely from 24 cm in the centre, as well as to the ends of the cantilever, to thicken to 43 cm at the approach to the webs. In order to give them a shape that fits well with the general aesthetics of the bridge, the parapets fixed to the ends of the carriageway deck have the shape of a pyramid. Made of a concrete resistant to frost and to salt, their height is 1.1 m, and they have been made with two wagons running on rails. The steps of length of 12 m have been concreted in a sequence that limits cracking (Fig. 6).

varie de 12 à 22 unités selon les portées. Leur mise en tension a été effectuée environ toutes les trois travées, grâce à des bossages situés à l'intérieur du caisson. Une précontrainte transversale a aussi été utilisée pour reprendre les efforts des porte-à-faux de la dalle de roulement sous forme des gaines plates espacées tous les 80 cm et contenant chacune 4 torons de 0,6".

Bétonnage

L'exécution du tablier s'est faite sur cintres, nécessitant de procéder à un étayage de l'ouvrage sur toute sa longueur. Des poutres métalliques d'une trentaine de mètres de longueur ont été posées sur des tours-étais, reposant sur des pieux bois d'un diamètre de 30 cm battus à une profondeur d'environ 10 à 13 m via une semelle. Satisfaisant aux préoccupations écologiques du Maître de l'Ouvrage l'ensemble des pieux se dégradera naturellement.

Les étapes ont été placées de façon à éviter que les arrêts de

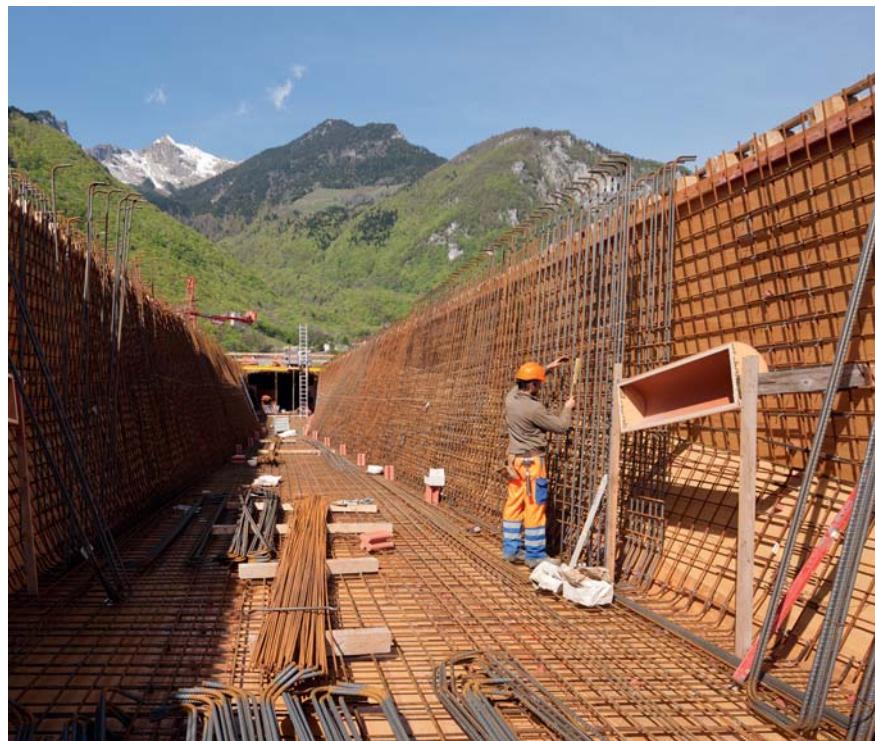


Fig. 7

Ferraillage des âmes.

Assembling the reinforcement of the webs.

(© Yves André)



Fig. 8

L'ouvrage achevé dans la plaine du Rhône, 2013.
The completed structure in the plain of the Rhone valley, 2013.
(© Yves André)

Auteurs/Authors

Ramon Pinol
ing. civil HES SIA
Conus & Bignens SA
CH-1005 Lausanne
r.pinol@conus-bignens.ch

Philippe Meier
arch. dipl. EPFL FAS SIA
philippe.meier@maa.ch
meier + associés architectes
CH-1201 Genève

Ana-Inès Pepermans
arch. dipl. UCL SWB
ai.pepermans@maa.ch
meier + associés architectes
CH-1201 Genève

Prestressing (post-tensioning)
Longitudinally the post-tensioning cables follow a parabolic curve. They are formed of strands of 0.6" the number of which varies from 12 to 22 units depending on the spans. They have been tensioned about every three spans, thanks to brackets situated inside the box girder. A transverse pre-stress has also been used to withstand the forces of the cantilever of the roadway deck under the form of plate coatings spaced every 80 cm, each containing 4 strands of 0.6".

Concreting
The manufacture of the bridge floor was done on falsework, which required a shoring up of the structure over its entire length. Some steel girders, which have a length of some thirty metres, were laid on the supporting towers, resting on wooden piles with a diameter of 30 cm driven to a depth of about 10 to 13 cm using a block. All these piles will

bétonnage se situent dans les zones de sollicitations maximum. Avec une moyenne de quatre semaines, chaque étape du caisson a été bétonnée en deux phases: la dalle inférieure avec les âmes, puis la dalle de roulement. Les panneaux de coffrage ont été disposés de façon à ce que leur dessin suive des lignes parallèles à l'arête oblique qui relie le point bas situé à l'axe des piles au point haut situé au milieu des travées. La construction de la travée au-dessus du Rhône a été rendue possible par la pose d'un cintre métallique de 70 m s'appuyant, lors de son montage, sur deux batardeaux construits dans le lit du fleuve. Un système de vérins faisait office d'appui et permettait de suivre les déformations verticales pendant le bétonnage et d'effectuer les corrections nécessaires. Le béton teinté utilisé pour le caisson et le tablier comprend 300 kg/m³ de ciment, 100 kg/m³ de cendres volantes et 12 kg/m³ de pigment rouge.

degrade naturally, which will satisfy the ecological demands of the contracting authority.

The steps have been arranged in such a way as to avoid the interruptions in concreting occurring in the zones of maximum stress. With an average of four weeks, each step of the box girder was concreted in two phases: the lower deck with the webs, then the rolling deck. The formwork panels have been fitted so that their design follows the parallel lines to the oblique edge that connects the low point situated on the axis of the piers to the high point situated in the middle of the spans.

The construction of the span over the Rhone was made possible by placing of a steel falsework 70 m long, which rested during its assembly on two cofferdams built on the river bed. A system of jacks acted as a means of support and permitted the vertical deformations to be followed during the concreting and the necessary corrections to be made. The coloured concrete used for the box girder and the bridge floor was made up of 300 kg/m³ of cement, 100 kg/m³ of fly ash and 12 kg/m³ of red pigment.