

Pont du Tiguellet

The Tiguellet bridge

Samuel Hörmann, Martin Bimschas, Balz Amrein, Walter Kaufmann, Beat Meier, Raoul Spataro

Introduction

Dans le cadre des aménagements de la gare de Givisiez dans le canton de Fribourg, le passage à niveau CFF de la route de Belfaux situé peu avant la gare devait être supprimé en réalisant un évitement routier dans la zone industrielle en développement. Le tracé de cette nouvelle route nécessitait d'un nouveau pont qui enjambe les deux voies des lignes Fribourg–Payerne et Fribourg–Morat, les quatre voies de rangement menant au futur dépôt des Transports publics Fribourgeois (tpf), ainsi qu'une dépression caractérisée par une zone marécageuse. Le Service des ponts et chaussées du canton de Fribourg lança en 2014 un concours de projet pour la construction du Pont du Tiguellet qui a été remporté par le projet LOTUS.

Contraintes principales

Le pont accueille deux voies de circulations, deux bandes cyclables et un trottoir, ce qui a pour résultat une section standard d'une largeur totale de 11,80 m, bordures incluses. Au nord, le raccordement à la route cantonale existante nécessite un élargissement important en

Introduction

As part of the modifications to be carried out at the Givisiez railway station in the Canton of Fribourg, the adjacent railway crossing on the cantonal road was to be removed and replaced with a bridge approx. 600 m further away. This modified route required a new section of road that would pass over the two existing tracks on the railway line from Fribourg to Payerne and Fribourg to Morat, over four new planned tracks for the future depot at the Fribourg transport company TPF and over wetland. This provided the basic brief for the project competition launched in 2014 by the Civil Engineering Department of the Canton Fribourg. The winning project was the LOTUS project described below.

Key parameters

In addition to the two traffic lanes, each with a cycle path on the side, the bridge also includes a pedestrian walkway on one side of the deck resulting in a standard cross-section with a total width of 11.80 m, including the edge beams. The T-junction connection between the bridge and the existing cantonal road direct-

forme de trompette. D'autre part, une hauteur de construction maximale de seulement 1,50 m est disponible pour le franchissement des voies en raison du gabarit des CFF compte tenu du raccordement à la route existante et des rayons d'arrondissement verticaux du profil longitudinal.

Le franchissement fortement oblique des lignes des chemins de fer est déterminant pour le choix de la disposition des piles. Le sol de fondation est constitué par du rocher molassique présent relativement près de la surface dans la zone nord, mais par contre recouvert plus au sud de formations fluvio-glacières d'une épaisseur jusqu'à 20 m avec présence de matériaux compressibles (dépôts palustres et lacustres).

Conception générale de l'ouvrage

La combinaison entre les contraintes principales des voies ferrées et la situation topographique caractérisée par une grande dépression ont été à la base du projet lauréat, à savoir un pont en béton précontraint de neuf travées, long d'environ 290 m avec des portées de 24,80 m à 34,90 m. La superstructure est constituée d'un tablier à section en T avec des porte-à-faux de la dalle de roulement relativement importants de sorte que les points d'appui sont toujours à l'ombre du tablier et que le pont apparaisse élancé malgré sa largeur et la faible hauteur par rapport au terrain.

Au nord, une transition douce entre le pont et le talus a été atteinte grâce à une culée basse disposée parallèlement au talus. En raison de l'orientation particulièrement oblique du talus par rapport à l'axe du pont et de l'élargissement nécessaire dans la zone de l'extrémité nord, il résulte

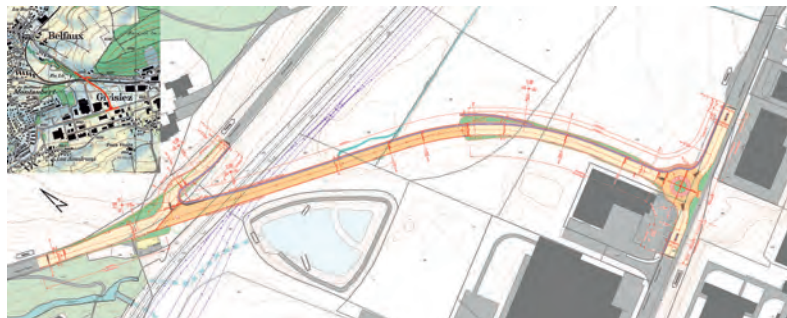


Fig. 1

Tracé aménagé de la route cantonale Belfaux–Givisiez. Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (JA110138).
Adjusted alignment cantonal road Belfaux to Givisiez. Reproduced by permission of swisstopo (JA110138).

ly behind the north abutment requires, on the one hand, a trumpet-like widening of the end of the bridge. On the other hand, this restricts the maximum static depth over the tracks to 1.50 m due to the requirements of the vertical radii of transition curves in the road alignment.

The tracks to be crossed cut through the axis of the new bridge at a skew and were the governing parameter when arranging the substructure elements. The foundation soil on the project site consists of stable molasse rock lying relatively close to the surface in the northern part of the site. Further south the molasse rock is covered with up to 20 m of loose rock including lake sediment with poor bearing capacity and susceptible to settlement.

Concept and design

Based on this combination of constraints with regard to the tracks and the extensive topographical depression, the competition team conceived a 9-span girder bridge with a prestressed concrete superstructure. The total length of the bridge is about 290 m, featuring span widths between 24.80 m and 34.90 m. The superstructure is designed as a T-beam cross-section with relatively large cantilevers such that the supports are always in the shadow of the girders and the bridge has a slender appearance despite its width and general low height over ground.

At the northern end, a gentle transition is achieved from the bridge to the natural embankment by means of the low abutment aligned with the embankment. The very oblique course of the embankment, compared with the bridge axis, and the necessary widening of the northern end of the bridge for the road junction, have produced an abutment over 30 m in width that nonetheless is clean and simple due to its integral design as a concrete wall monolithically connected to the superstructure. Further to the south, the bridge sits on eight elliptical piers with gradually



Fig. 2
Vue de la culée nord vers le sud.
View from the north abutment towards the south.



Fig. 3
Visualisation, vue en direction de la culée nord.
Visualisation, view towards the northern abutment.

te une culée de plus de 30 m de large, cependant avec un aspect simple par sa construction intégrale comme paroi en béton reliée monolithiquement à la superstructure. Par la suite, en direction sud, le pont s'appuie sur huit piles elliptiques dont les premières reprennent l'orientation oblique de la culée. Ainsi, en même temps, une disposition optimale des piles entre les voies et à côté des voies obliques est possible. Par ailleurs, dans cette zone la largeur des piles est variable dans la direction transversale du pont, en accord avec l'élargissement du tablier. Grâce à la forme elliptique, les piles confèrent une unité à l'ensemble de

varying alignment in the ground plan, thus accommodating the skew of the abutment and the direction of the tracks. At the same time, this allows for the optimum layout of the piers between and adjacent to the tracks crossing below the bridge. Furthermore, these piers are characterised by varying dimensions in the transverse direction of the bridge, which match the widening of the superstructure. Despite their varying skew and widths, the elliptical shape of the piers creates an impression of unity along the entire length of the structure.

Given the considerable length of the bridge, the southern abut-

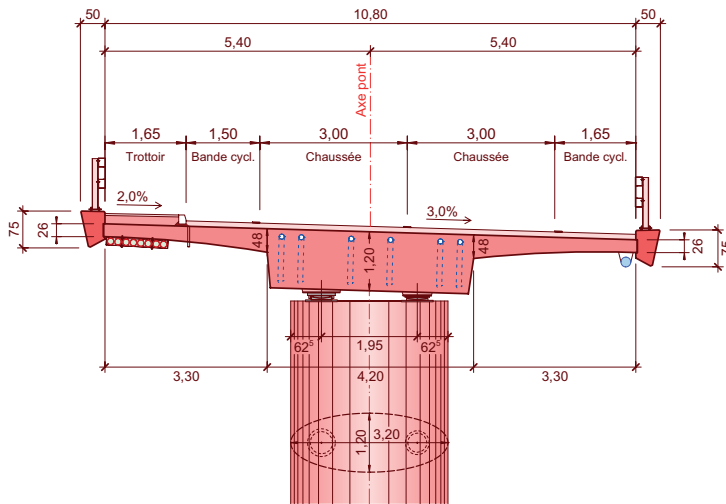


Fig. 4
Section standard sur le pilier avec appuis sphériques.
Standard cross-section over support with spherical bearings.

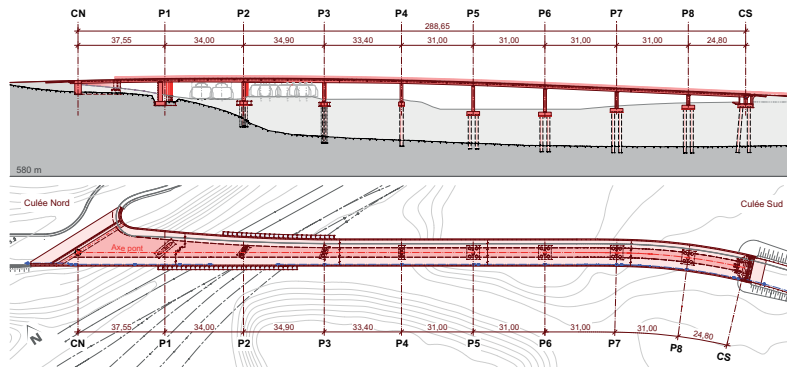


Fig. 5
Coupe longitudinale et plan.
Longitudinal section and ground plan.

l'ouvrage malgré la variation de l'orientation et de la largeur. La culée sud, où en raison de la longueur du pont des appareils d'appui mobiles et un joint de chaussée à quatre ouvertures s'avèrent nécessaires, s'intègre avec harmonie dans le remblayage servant de prolongation du pont grâce au choix d'un plan trapézoïdal de sa chambre de visite.

Concept de la structure Superstructure

Le tablier, conçu en poutre en T, présente une largeur totale sans bordures de 10,80 m dans la section standard. Il se compose d'une âme large 4,20 m, d'une hauteur de 1,20 m et de deux porte-à-faux de 3,30 m chacun en forme de

ment is equipped with bearings that facilitate longitudinal movement as well as a 4-cell modular expansion joint. The abutment blends harmoniously into the embankment, which appears as an extension of the bridge thanks to the use of a trapezoidal ground plan of the abutment, incorporating the maintenance chamber providing access to the expansion joint and the bearings.

Structural concept Superstructure

The T-beam bridge girder has a 10.80 m wide standard cross-section, excluding the parapets. The deck consists of a 4.20 m wide, 1.20 m deep web and two tapered cantilevers of 3.30 m, each

voite, avec une épaisseur de 0,48 m dans la connexion à l'âme. Dans les plus grandes portées au-dessus des voies ferrées, la hauteur du tablier augmente continuellement de 1,20 m à 1,50 m au maximum, il en résulte donc des élancements entre $\frac{1}{24}$ et $\frac{1}{26}$. Dans la zone de l'extrémité nord, la poutre du pont s'élargit de manière continue vers la culée Belfaux, en fonction de la géométrie de la route, alors que les porte-à-faux de la dalle de roulement restent constants.

Le tablier est précontraint dans la section standard au moyen de quatre câbles de 27 torons $\varnothing 0,6''$ ($P_0 = 5273$ kN) et de deux câbles de 22 torons $\varnothing 0,6''$ ($P_0 = 4297$ kN). Dans la zone des sections plus hautes et plus larges, cette précontrainte est complétée par jusqu'à six unités complémentaires de 22 torons $\varnothing 0,6''$ ($P_0 = 4297$ kN). Pour des raisons de durabilité et de résistance à la fatigue, les câbles ne sont pas tous couplés dans le même arrêt de bétonnage, au moins deux câbles passent à travers et sont ancrés dans l'étape suivante. Aucun recouvrement des unités de précontrainte a été prévu au-dessus des piles ce qui permet de limiter la hauteur de la zone comprimée à l'état-limite ultime à une valeur garantissant un comportement ductile de la section. Une précontrainte totale

Maître d'ouvrage/Owner
Service des ponts et chaussées de l'État de Fribourg
Projet et direction technique des travaux/Project and technical site management
dsp Ingenieure + Planer AG, Greifensee/Uster
Spataro Petoud Partner SA, Bellinzona
Architecte/Architect
Balz Amrein/Architektur/Brückenbau, Zurich
Direction locale des travaux/Local site management
IUB Engineering SA, Givisiez
Exécution des travaux/Contractors
Routes Modernes SA, Fribourg (à partir de 2018: Antiglio SA, Fribourg)

Coûts (uniquement le pont)/Construction costs (bridge only)
env. CHF 11,4 millions/
approx. CHF 11.4 million

with a depth of 0.48 m where the cantilevers connect to the web.

For the largest spans over the railway tracks, the girder depth increases continuously from 1.20 m to a maximum of 1.50 m. With the exception of the southern end span, this produces slenderness ratios between $\frac{1}{24}$ and $\frac{1}{26}$ for the bridge girder. For the widening of the superstructure at the northern end of the bridge, the total width and web width increase by the same dimension, while the lengths of the cantilevers remain constant.

Post-tensioning of the standard cross-section is achieved with four 27-strand tendons $\varnothing 0.6''$ ($P_0 = 5273$ kN) and two 22-strand tendons $\varnothing 0.6''$ ($P_0 = 4297$ kN). In the area of the deeper and wider cross-sections, the post-tensioning is supplemented by up to six additional 22-strand tendons $\varnothing 0.6''$ ($P_0 = 4297$ kN). In order to avoid potential weak points with regard to durability and fatigue, not all tendons are coupled in the same construction joint, that is, at least two tendons are continued and either anchored or coupled at the next concreting stage. Overlapping of the post-tensioning tendons over the piers is avoided in order to limit the concrete compression zone depth in the ultimate limit state to a degree that ensures ductile load-bearing behaviour. Given that the selected cross-section and the tendon profiles result in relatively large positive secondary moments, full prestressing is nonetheless ensured for permanent loads.

Substructure

With the aim of creating a structure that requires as little maintenance as possible, as is the case with the north abutment, the northernmost four piers were also connected monolithically to the superstructure, which also has a favourable effect on the transfer of loads resulting from train impact. In addition, the well-known constructive problems that arise from the use of bearings and expansion joints for skewed bridge ends could be avoided,

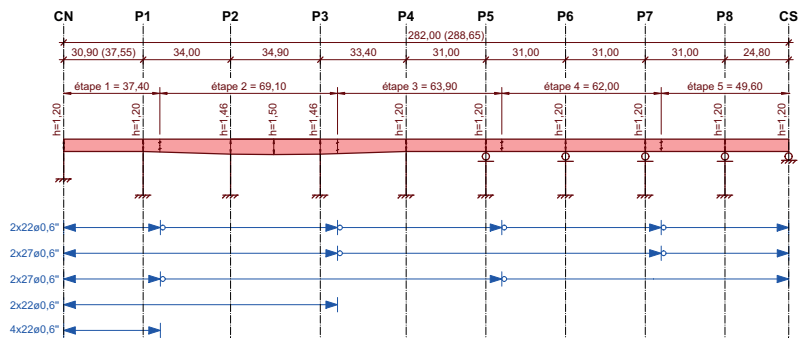


Fig. 6
Concept de précontrainte.
Post-tensioning concept.



Fig. 7
Franchissement des voies et culée intégrale nord.
Track crossing as well as integral northern abutment.

pour les charges permanentes est cependant assurée grâce aux moments secondaires positifs considérables qui se produisent en raison de la section et du tracé de la précontrainte.

Infrastructure

Dans l'objectif d'une construction minimisant les besoins d'entretien, la culée nord et ses quatre piles voisines ont été reliées de manière monolithique à la superstructure, ce qui en même temps a un effet favorable sur la transmission des forces dues aux chocs de train. En plus, cette solution a permis d'éviter les problèmes constructifs connus des appareils d'appui et des joints de chaussée dans les ponts sur appuis biais, comme par exemple les forces de soulèvement dans les angles aigus des plaques ou les joints de dilatation obliques par rapport à l'axe du pont, dont la durabilité aurait en outre été affectée négativement

such as, for example, uplifting reaction forces in the acute corners of the slabs, and expansion joints aligned obliquely to the bridge axis. The durability of the latter would have also been impacted here by its location in the intersection area (significant horizontal loads due to turning trucks).

Longitudinal expansion of the bridge is possible at the southern piers and the southern abutment. In each case, two spherical bearings are used, one of which is designed for longitudinal movement and the other for movement in all directions. The use of the two bearings allows for the transfer of torsional actions from the superstructure, as a result of eccentric loads, at each pier. The dimensions of the standard elliptical piers were determined based on the minimum space required between the support points to avoid uplifting forces and the

tivement dans le cas présent par sa position dans la zone du carrefour (forte sollicitation due au trafic lourd bifurquant).

L'appui du pont sur les piles sud et la culée sud est mobile dans le sens longitudinal avec chaque fois deux appareils d'appui sphériques, dont l'un permet les mouvements dans le sens longitudinal du pont et l'autre est mobile dans toutes les directions. La disposition de deux appareils d'appui permet la transmission des moments de torsion du tablier, dus à des charges excentriques, à chaque pile. L'écart minimum entre les appuis, nécessaire pour éviter des réactions d'appui négatives, ainsi que l'encombrement des appareils d'appuis ont été déterminants pour les dimensions des piles elliptiques.

La stabilité latérale de l'ensemble du pont est garantie par la culée intégrale et les piliers reliés de manière monolithique à la superstructure dans la zone de l'extrémité nord du pont. À cet effet, le niveau de la roche près de la sur-

face dans cette zone a permis des fondations très performantes.

dimensions of the spherical bearings. The integral abutment and the northern piers connected monolithically with the superstructure ensure the horizontal bracing for the entire structure. The bedrock located close to the surface allowed for very efficient foundations in this area.

Fondations

The concrete wall of the integral abutment on the north end as well as the northernmost pier are founded using spread footings on the molasse rock. Each of the remaining piers that are monolithically connected to the superstructure is set on three bored piles $\varnothing = 1.50$ m which are positioned in a single row transverse to the bridge axis in order to minimise restraints arising from the longitudinal movements of the superstructure.

For the southern piers and abutment, pile footings with four large bored piles $\varnothing = 1.30$ m were used due to the movable supports

Fondations

La paroi en béton de la culée intégrale au nord et la pile la plus au nord sont fondées sur semelles superficielles dans la molasse. Les autres piles, reliées de manière monolithique à la superstructure, sont fondées dans la molasse à l'aide de trois pieux forés de diamètre 1,50 m ancrés dans la roche, disposés en une ligne dans la direction transversale des piles pour minimiser les sollicitations dues aux déformations imposées par les déplacements longitudinaux de la superstructure.

Pour les piles sud ainsi que pour la culée sud par contre, les fondations ont été prévues avec quatre pieux de diamètre 1,30 m disposés en rectangle, afin d'en assurer la stabilité, en présence d'appuis mobiles.

Exécution des travaux

Les deux piles proches des voies ainsi que leurs fondations ont été



Fig. 8
Vue de l'intrados du pont et des piliers.
View of superstructure and piers from below.



Fig. 9
Bétonnage de la semelle sur pieux du pilier 3.
Concreting of pile cap of pier 3.



Fig. 10
 Vue aérienne en état de construction.
 Aerial view during construction.

of the superstructure, and in order to ensure the stability of the substructure elements.

Construction

Before erecting the protective tunnel for the works over the existing tracks, the two piers and associated foundations adjacent to the tracks were constructed during night work. The bridge superstructure was constructed in five stages starting from the monolithic abutment in the north, so that temporary stabilising measures could be avoided. A concreting stage consisted of two spans, with the exception of the northern end span in the area of the widening of the superstructure, which required its own casting stage due to the large volume of concrete.

Due to the given geology, the falsework of each span was supported on either one or two temporary piers on pile foundations. For this purpose, wooden piles were used, which enabled an economical and swift construction. Preparation works for the construction of the bridge began in the autumn of 2016. All foundations and piers, the two abutments and all five superstructure stages were concreted in 2017. The finishing works with the edge

entièrement réalisées en travail de nuit avant la construction du tunnel de protection nécessaire pour la réalisation du pont sur les voies existantes en service. La construction de la superstructure du pont s'est effectuée en cinq étapes à partir de la culée monolithique au nord afin de pouvoir renoncer à des mesures temporaires de stabilisation. Une étape de bétonnage comprenait à chaque fois deux portées, à l'exception de la travée de rive nord dans la zone d'élargissement qui a exigé une propre étape en raison de la cubature importante.

En raison de la géologie, le cintre a été prévu avec un ou deux appuis intermédiaires avec fondation profonde par travée. Le choix de pieux battus en bois a à cet effet permis un déroulement des travaux économique et en même temps rapide.

Les travaux préparatoires à la construction du pont ont commencé en automne 2016. Toutes les fondations et les piles, les deux culées ainsi que les cinq étapes de la superstructure ont été bétonnés en 2017. Les travaux de finition avec les bordures, la réalisation de l'étanchéité et du revêtement ainsi que les constructions routières et les travaux d'aménagement ont suivi en 2018.

beams, surfacing and the application of waterproofing, as well as adjustments to the road and landscaping followed in 2018.

Auteurs/Authors

Samuel Hörmann
 MSc ETH Bau-Ing.
 dsp Ingenieure + Planer AG
 CH-8610 Uster
 samuel.hoermann@dsp.ch

Martin Bimschas
 Dr. sc. ETH, ing. civil dipl.
 dsp Ingenieure + Planer AG
 CH-8610 Uster
 martin.bimschas@dsp.ch

Balz Amrein
 Architecte dipl. ETH/SIA
 Ing. en électricité dipl. ETH/SIA
 Balz Amrein/Architektur/Brückenbau
 CH-8005 Zurich
 mail@balzamrein.ch

Walter Kaufmann
 Prof. Dr. sc. techn., ing. civil dipl. ETH
 ETH Zurich
 CH-8093 Zurich
 kaufmann@ibk.baug.ethz.ch

Beat Meier
 Ing. civil dipl. ETH
 dsp Ingenieure + Planer AG
 CH-8610 Uster
 beat.meier@dsp.ch

Raoul Spataro
 Ing. civil dipl. ETH
 Spataro Petoud Partner SA
 CH-6500 Bellinzona
 spataro@ingegnerisp.ch