

NICE – RN 202 BIS - PONT SUR LE VAR MISE EN PLACE PAR ROTATION

VAR RIVER BRIDGE, NICE, FRANCE BRIDGE SWINGING OPERATION

Thierry THIBAUX, Jacques SEGUIN, Daniel GILLY
EIFFAGE TP



1. PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

Le Pont sur le Var à Saint Isidore (Nice-France) est le premier ouvrage d'art de la nouvelle Route Nationale qui, en 2007, doublera entre Saint Isidore et Carros, l'actuelle Route Nationale 202 pour, d'une part, la délester du trafic de transit en direction de la Zone Industrielle de Carros et de Digne et, d'autre part, transformer sur la même section l'ancienne Route Nationale en boulevard urbain.

1. THE PROJECT

The bridge over the Var River in Saint Isidore, near Nice, on the French Riviera, is the first bridge on the new national highway coming into service in 2007 which will duplicate the existing RN202 highway between Saint Isidore and Carros, to the north. The new road will take through traffic heading for the industrial estates of Carros and Dignes, enabling the old section of national highway to be converted into an urban boulevard.

Ce pont, d'une largeur de 14 mètres, franchit successivement d'Est en Ouest, l'autoroute A8 et le fleuve le Var. Il est constitué de 6 travées de respectivement 2 x 75 m et 4 x 72 m de portée dans le sens Est-Ouest.

Le tablier est un caisson en béton précontraint de 14 mètres de largeur et de hauteur constante de 3,65 m, sauf pour le fléau P1 pour lequel la hauteur sur la pile P1 est de 4,65 m. La précontrainte de construction est intérieure et extérieure au béton pour le fléau P1 et intérieure au béton pour les autres fléaux. La précontrainte de continuité est extérieure au béton à l'intérieur du caisson.

Ce tablier prévu en phase provisoire pour une circulation à deux fois une voie avec bande d'arrêt d'urgence s'appuie sur 5 piles et 2 culées fondées sur pieux.

Chaque pile est constituée d'un fût cylindrique de 3 m de diamètre surmonté d'un cône de même largeur. Le fût est encastré sur une semelle octogonale (piles P1 à P4) ou rectangulaire (P5) s'appuyant sur un ensemble de pieux forés à la base ou dans un tube selon les natures de terrain rencontrées (piles P1 à P4 – 9 pieux de diamètre 1400 mm/Piles P5 – 6 pieux de diamètre 1400 mm).

Chaque culée est constituée d'un sommier reposant sur 8 pieux de diamètre 1400 mm.

L'ouvrage a fait l'objet d'une étude parasismique très poussée qui a conduit à une disposition particulière d'appuis et d'amortisseurs. Dans le sens longitudinal un point fixe sur la pile centrale (pile P3) et des appuis glissants sur les autres piles et sur les culées avec un plus deux amortisseurs sur les piles P2 et P4 de part et d'autre du point fixe (effort maximal horizontal = 1750 tonnes sur point fixe).

2. MÉTHODES DE CONSTRUCTION DU TABLIER

L'ouvrage traverse le lit du Var et a pour particularité de franchir l'autoroute A8 sur sa dernière travée avec un biais important.

L'ouvrage a été réalisé avec trois méthodes différentes en fonction des contraintes du site.

Pour la partie qui enjambe l'autoroute A8 la sécurité vis-à-vis du trafic très intense a imposé de construire le fléau de la pile P1 parallèlement à l'autoroute avec ses profils définitifs puis de le mettre en position définitive par rotation. Le biais important a, par ailleurs, nécessité de donner à ce fléau une longueur « anormale » de 117 m. Ce fléau a été réalisé par encorbellements successifs coulés en place au moyen d'équipages mobiles (18 voussoirs de 3 m de longueur). Du fait de la grande longueur de ce fléau par rapport aux longueurs des travées adjacentes (75 m), la précontrainte de construction traditionnelle intérieure au béton (câbles 19 T 15) s'arrête au 11^{ème} voussoir (72 m de fléau).

The bridge crosses the A8 motorway and the Var River from east to west with six spans (2 x 75 m and 4 x 72 m).

The deck is a 14-metre-wide prestressed-concrete box girder with a constant depth of 3.65 m, except for the Pier-1 cantilever (P1) which is 4.65 m deep at the top of the pier. Both internal and external cantilever prestress is used for cantilever P1, whereas internal prestress alone is used for the others. Continuity prestress is external, inside the box girder.

The deck is designed for an initial phase with two-way traffic in single lanes. There is one emergency hard shoulder. Its 5 piers and 2 abutments are all founded on piles.

Each pier is a 3-m-diameter cylindrical shaft with a pier cap of the same width. Piers P1 to P4 are socketed into octagonal footings and Pier P5 into a rectangular footing. All footings are founded on a series of bored piles, some of which are cased where ground conditions require (piers P1 to P4: nine 1400-mm-diameter piles; pier P5: six 1400-mm-diameter piles).

Each abutment consists of a bank seat founded on eight 1400-mm-diameter piles.

Very thorough seismic studies of the bridge were carried out, resulting in special provisions for bearings and dampers. There is a fixed bearing on the central pier (P3) and sliding bearings on the others and on the abutments, plus two dampers on piers P2 and P4 (on each side of the fixed bearing where the maximum horizontal thrust of 1750 tonnes is exerted).

2. DECK CONSTRUCTION METHODS

The bridge crosses the bed of the Var River and its last span crosses the A8 motorway with substantial skew.

Three different construction methods were used, depending on the constraints of the site.

For the part crossing the A8 motorway, safety requirements with respect to very dense traffic required that the pier P1 cantilever be built to its final shape parallel to the motorway and pivoted into its final resting place. It was an 'abnormal' length of 117 metres because of the skew, and was built sequentially, segments being cast in place on travelling forms (eighteen 3-m-long segments). Because the cantilever extends 21 m beyond the mid-span points (adjacent spans are only 75 m), the traditional internal cantilever prestress (19T15 tendons) stops at the 11th segment (after 72 metres). Beyond this point (from the 12th to the 18th segment) the segments were stabilized during the construction phase by temporary cable stays (7T15 cables) anchored to a temporary pylon on top of pier P1.

Au-delà, du 12^{ème} au 18^{ème}, la stabilité des voussoirs en phase de construction est assurée par des haubans provisoires (câbles 7 T 15) ancrés sur un mât provisoire situé dans l'axe de la pile P1.

Pour la partie qui surplombe le lit du fleuve, les fléaux des piles P3 à P5 ont été construits par encorbellements successifs de voussoirs coulés en place au moyen d'équipages mobiles (10 voussoirs de 3 ml). Compte tenu de son raccordement avec le fléau haubané, celui de la pile P2 a fait l'objet d'une procédure particulière, avec d'abord la réalisation d'un fléau de 3 voussoirs, le clavage avec le fléau P1 et la construction seule de l'encorbellement Ouest du 4^{ème} au 10^{ème} voussoirs tout en assurant la détension des haubans de façon concomitante à la précontrainte intérieure au béton au fur et à mesure de l'avancement de l'encorbellement Ouest.

Quant aux autres parties (voussoirs sur piles et voussoirs de culée), elles ont été coulées sur palées s'appuyant sur les semelles des piles pour les voussoirs sur piles, sur semelle pour le voussoir de culée Est et sur pieux en tubes vibrofoncés pour le voussoir de culée Ouest.

Les clavages ont été réalisés à l'aide des équipages mobiles au fur et à mesure de l'avancement de la construction du pont dans le sens Est-Ouest sauf le clavage du voussoir de culée Est avec le fléau P1 qui a été construit sur cintre pour empêcher le basculement du fléau P1 lors du coulage du voussoir de clavage.

3. DESCRIPTION DU DISPOSITIF DE ROTATION

Le projet architectural de Charles Lavigne prévoyait un chevêtre de très petite dimension ne permettant pas l'installation du dispositif complet de rotation sur celui-ci. Il a donc fallu s'adapter aux géométries imposées par cette conception architecturale.

La solution retenue a consisté à prévoir un pivot de rotation sur la pile P1 (élément indispensable) et pour assurer la stabilité avec sécurité une béquille de stabilité avec deux appuis de glissement sur un chemin circulaire de rotation réalisable au niveau de la semelle de la pile P1. Il restait à définir le mode de traction de la rotation qui pouvait être effectué de deux manières différentes, soit par un vérin monotoron avec un toron de précontrainte T15 ancré en extrémité de fléau, soit par un vérin de poussage au niveau des pieds de la béquille de rotation. C'est le planning qui nous a conduit à choisir le vérin de poussage par manque de point d'accrochage à la même altitude au jour de la rotation, le voussoir sur la pile P2 n'étant pas terminé à cette date. Un système de poussage par vérin a donc été mis au point avec le chemin circulaire de rotation. De plus, pour avoir, à priori, une maîtrise complète du contrôle de la rotation, il fallait équiper les deux pieds de la béquille de rotation d'un système de pesage permettant de mesurer précisément les réactions d'appuis dans les pieds de la béquille pendant la rotation.

For the part crossing the river bed, the cantilevers of piers P3 to P5 were, likewise, built sequentially, with segments cast in place on travelling deck forms (ten 3-m-long segments). Due to its connection with the temporarily cable-stayed cantilever, cantilever P2 was built in a special sequence, with, first, the construction of a short 3-segment half-cantilever to achieve closure with cantilever P1, followed by construction of the entire western half-cantilever (segments 4 to 10). As construction of the western cantilever progressed, the stays supporting the ends of cantilever P1 were gradually detensioned, in accordance with tensioning of the internal prestress in the deck.

The pierhead and abutment units were cast on falsework founded on the pier footings and, in the case of the eastern abutment, on the abutment footing. For the western abutment they were founded on vibrated tubular steel piles.

Travelling forms were used to close the spans, working from east to west as bridge construction progressed, except for the closure between the eastern abutment cantilever and the pier P1 cantilever for which the closure section was built on falsework to prevent cantilever P1 overbalancing when the closure segment was cast.

3. ROTATION SYSTEM

The architect, Charles Lavigne, designed the bridge with very small pile caps. They were not large enough for installation of a full rotation system confined to the pierhead alone, so another system had to be found.

The solution adopted involved installing a pivot on pier P1 (indispensable element) and, to ensure a good margin of safety for stability, providing a 'crutch' resting on two skids and a circular skid beam on the footing of pier P1. There were two options for rotating the cantilever: either with a monostrand jack on a T15 prestressing strand anchored at the end of the cantilever, or with a thrust jack at the feet of the skid crutch. For scheduling reasons it was decided to use the thrust jack, since at the time of rotation there was no sufficiently high anchoring point for the other end of the cable, the P2 pierhead segment not having been built. A thrust jacking system was therefore set up on the circular skid beam. In addition, to fully control the rotation operation, both feet of the crutch had to be equipped with a weighing system capable of precisely measuring support reactions during the manoeuvre.



Le dispositif de rotation comprend donc :

- l'appui tournant posé sur le chevêtre de la pile,
- la béquille de rotation équipée de vérin de pesage sur chacun de ses pieds,
- le vérin de poussage au niveau des pieds de la béquille de rotation,
- le chemin de rotation
- la palée de stabilité
- le système de brêlage du tablier

3.1 L'appui tournant

Il constitue l'axe de rotation. C'est un appui tournant et glissant téflon sur acier inox poli pouvant supporter un effort vertical de 4000 tonnes et un effort horizontal de 400 tonnes. La pose de cet appui tournant a été réalisée avec une précision d'horizontalité de plus ou moins 0,5 millimètres afin de se retrouver en position géométrique quasiment conforme en fin de rotation.

3.2 La béquille de rotation

Elle a été conçue pour permettre la rotation du fléau en toute sécurité. Dans ce but, les appuis de glissement de chaque pied de la béquille de rotation ont été installés sous des vérins de pesage équipés de manomètres donnant à tout moment la pression dans les vérins et donc les efforts dans les pieds de la béquille.

3.3 Le vérin de poussage

Il a été dimensionné pour permettre le poussage de la béquille de rotation. Sa capacité maximale de poussée est de 100 Tonnes. Il était fixé d'une part sur le chemin de rotation par le biais d'une pièce d'ancrage boulonnée sur des goujons filetés scellés dans le chemin de rotation et d'autre part sur le pied « Est » de la béquille de rotation par des chapes et axes adaptés.

3.4 Le chemin de rotation

Il est ancré sur la semelle de la pile P1. C'est une poutre en béton armé équipée d'une plaque de glissement constituée d'une feuille en acier inox poli, finition miroir, collée sur une tôle en acier. Les goujons de fixation de la plaque de glissement servent en même temps d'ancrages de la chape de fixation du vérin de poussage de la béquille de rotation.

3.5 La palée de stabilité

Le respect des règles de construction des fléaux a nécessité pour la pile P1 la mise en place d'une palée de stabilité devant supporter 1000 Tonnes par poteau. Cette palée de stabilité fixée par boulonnage à l'intrados du tablier a été conservée pour la rotation, après son décintrement, afin d'avoir une sécurité supplémentaire au basculement pendant la rotation.

The rotation system therefore consisted of:

- *a pivot on top of the pier cap,*
- *a skid crutch with a flatjack at each foot,*
- *a thrust jack at the feet of the skid crutch,*
- *a skid beam,*
- *stabilizing props,*
- *a temporary deck stitching system.*

3.1 Pivot

The pivot is the axis of rotation. It consists of a rotating PTFE bearing sliding on polished stainless steel that can support a vertical force of 4000 tonnes and a horizontal force of 400 tonnes. It was levelled to within 0.5 mm accuracy to ensure that the cantilever would be correctly positioned at the end of its rotation.

3.2 Skid crutch

The crutch was designed to enable the cantilever to be rotated safely. Consequently the skids at each of its feet were installed beneath flatjacks fitted with pressure gauges giving the pressure in the jacks, and therefore the forces at the feet of the crutch, at all times.

3.3 Thrust jack

The thrust jack was dimensioned to push the skid crutch. Its maximum thrusting capacity was 100 tonnes. It was attached to the skid beam by means of an anchoring piece bolted to threaded studs embedded in the beam concrete, and to the eastern foot of the crutch by a shackle and pin system.

3.4 Skid beam

The skid beam was anchored to the footing of pier P1. It was a reinforced-concrete beam with a skid plate of mirror-finish polished stainless-steel sheet bonded to steel plate. The studs fixing the skid plate also served as anchors for the anchoring piece of the thrust jack pushing against the skid crutch.

3.5 Stabilizing props

To comply with construction regulations, the pier P1 cantilever required a temporary stabilizing structure capable of supporting 1000 tonnes on each of its four legs. The props were bolted to the underside of the deck, and were kept in place for the rotation operation, although no longer touching the ground, in order to provide an additional measure of safety in respect of overturning during the manoeuvre.

3.6 Le système de brêlage du tablier après rotation

Il est constitué par deux doubles profilés (HEB 600) et 4 barres Macalloy de diamètre 32 par doubles profilés.

4. LA ROTATION DU FLÉAU HAUBANÉ

La date et l'heure de cette opération a été programmée six mois à l'avance pour tenir compte d'un trafic minimum de l'Autoroute A8 (liaison essentielle avec l'Italie).

Avant la rotation du fléau de la pile P1, nous avons dû procéder à la mise en équilibre parfaite du fléau. Pour ce faire, nous avons démonté les équipages mobiles (celui de l'Est aurait engagé le gabarit de l'autoroute), débarrassé le tablier de tous matériaux et matériels ayant servi à la construction du tablier, mis en place les contrepoids de 90 tonnes sur le demi fléau Ouest du côté Sud pour tenir compte du rayon de courbure du fléau et de son dévers.

Par ailleurs, la procédure de rotation prévoit un contact permanent dans les 12 heures précédant la rotation avec l'Ingénieur Météo France de l'aéroport de Nice pour être informé toutes les heures de la vitesse du vent qui ne doit pas dépasser 72 km/h au calcul et qui a été retenue à 50 km/h par sécurité.

La décision de tourner le fléau P1 doit être prise à 17 heures, en fonction des prévisions Météo pour une rotation prévue avec coupure de l'Autoroute A8 de 22 heures à 6 heures du matin dans la nuit d'un samedi à un dimanche, quand le trafic est au plus bas entre l'Italie et la France.

La rotation du fléau P1 à l'aide du vérin de poussage doit être réalisée en quatorze fois, compte tenu de la course du vérin (environ 35 cm) pour assurer une rotation de 52 degrés.

Le suivi technique de la rotation a consisté à mesurer d'une part la pression du vérin de poussage et d'autre part les efforts dans les deux pieds de la béquille de rotation.

L'opération de rotation s'est déroulée sur deux jours, les 17 et 18 octobre 2003. Le 17 octobre nous avons procédé au transfert de charges entre le système de stabilisation du fléau P1 et son dispositif de rotation. Nous avons également réalisé la première rotation sans engager le gabarit routier de l'autoroute A8. Le lendemain 18 octobre à 17 heures, la décision est prise de tourner le fléau, le vent ayant une vitesse d'environ 20 km/h.

Le transfert de charges entre le système de stabilisation du fléau P1 et son dispositif de rotation s'est déroulé en 1 h 30 mn par enlèvement du sable des boîtes à sable placées sous les poteaux de stabilité de manière à faire passer les efforts dans l'appui tournant et la béquille de rotation.

3.6 Deck stitching after rotation

Two double H-beams (HEB 600) and four 32-mm-diameter Macalloy bars per double H-beam were used to temporarily stitch cantilevers P1 and C0 together.

4. ROTATION OF CABLE-STAYED CANTILEVER

The exact date and time of the bridge swinging operation was scheduled six months ahead of time, arranged to coincide with a period of minimum traffic on the A8 motorway (essential link with Italy).

Before cantilever P1 was rotated, it had to be perfectly balanced. The travelling deck forms were removed (additionally, the one at the eastern end would have conflicted with the motorway traffic envelope), the deck was cleared of all construction equipment and materials, and a 90-tonne counterweight was placed on the southern side of what would be the western half-cantilever to compensate the curvature and superelevation of the deck.

Hourly contact had to be maintained with the weather-office meteorologist at Nice Airport during the 12 hours preceding the swing to keep informed, of wind speeds; the calculated maximum allowable wind speed was 72 km/h, reduced to 50 km/h for an additional safety margin.

The decision to rotate the cantilever had to be made by 5 pm, in accordance with the weather forecast, for rotation during a motorway night closure between 10 pm on a Saturday and 6 am on Sunday, when traffic between Italy and France is lowest.

Given the stroke of the thrust jack (about 35 cm), the operation had to be carried out in 14 stages to achieve the 52° swing.

Technical monitoring of the manoeuvre consisted in measuring the pressure of the thrust jack and the forces at the two feet of the skid crutch.

The bridge swinging operation took place over two days, on October 17th and 18th, 2003. On Friday October 17th, loading was transferred from the pier P1 cantilever stabilizing props to the skid system. The start of the swing was also initiated, without encroaching upon the A8 motorway traffic envelope.

Transferring the load path from the props to the skid system took 90 minutes. This involved removing the sand from sand boxes beneath the legs of the stabilizing props to lower the cantilever weight onto the pivot and the skid crutch.

L'essai de rotation a pu se dérouler normalement avec un vent de 20 km/h. Il a duré 2 minutes et a permis de constater l'effort nécessaire pour vaincre les frottements et l'effort réel de glissement (50 T pour décoller et 36 T. pour glisser au lieu des 38 T. calculées).

Quant à l'opération de rotation du lendemain, elle s'est déroulée à partir de 22 h 15. Cela a nécessité 13 opérations de poussage et une opération de fin réglage, ainsi que la mise en place du système de brélage du demi fléau Est avec la travée de la culée CO coulée sur cintre. La fin de la rotation a eu lieu à 1h 26 du matin, soit une durée totale de la rotation de 3 h 11 mn.

Les efforts constatés pour pousser sont restés identiques aux efforts relevés lors de l'essai de la veille. Les efforts enregistrés dans les pieds de béquille de rotation sont restés inférieurs aux efforts calculés.

5. CONCLUSION

Dans tous les cas où le poussage des ponts pose des problèmes techniques ou topographiques, la technique de rotation peut s'avérer une très bonne solution de remplacement, principalement quand les problèmes de sécurité lors de la construction sont primordiaux.

The swing test took place satisfactorily in a 20 km/h wind. It lasted 2 minutes and demonstrated the force required to overcome static friction and remain above the kinetic friction (50 tonnes to overcome the inertia of the cantilever at rest, and 36 tonnes to keep it moving, instead of the 38 tonnes calculated).

The final decision to swing the cantilever was taken at 5 pm the following day (Saturday), when the wind speed was about 20 km/h. The main phase of rotation started at 10.15 pm on the Saturday night and required 13 thrusting operations, very fine adjustment, and installation of temporary mid-span stitching between the eastern half-cantilever and the abutment cantilever, C0, cast on falsework. The manoeuvre ended at 1.26 am, having lasted a total of 3 hours 11 minutes.

The forces recorded for pivoting the cantilever into position were the same as those recorded during the test the day before. The forces recorded at the feet of the skid crutch were lower than those calculated.

5. CONCLUSION

In all cases where a given bridge launching method faces technical or topographical difficulties, the bridge swinging technique can be a very effective alternative solution, chiefly when safety issues during construction are vital.

