

# LA CONSTRUCTION DU PONT DE PUGET-THÉNIERS

## THE CONSTRUCTION OF THE PUGET-THÉNIERS BRIDGE

Denis DAVI et Philippe VION

SETRA

### 1. LE CONTEXTE GÉNÉRAL ET LES PRINCIPALES CONTRAINTES DU SITE

La construction du nouveau pont sur le Var à Puget-Théniers s'est achevée en mai 2005 après 20 mois de travaux. Cet ouvrage remplacera bientôt le vieux pont du Brouchier qui constituait jusqu'à présent le seul point de franchissement du Var au niveau de la ville de Puget-Théniers, à quelques 60 kilomètres au nord-ouest de Nice. Mis en service en 1888 et comportant une voie unique de circulation limitée à 3,5 tonnes et un trottoir en porte-à-faux, le pont du Brouchier, de part sa vétusté et son étroitesse, n'était depuis longtemps plus adapté au trafic. En 1999, le Conseil Général des Alpes-Maritimes a donc décidé de réaliser un nouvel ouvrage de franchissement du Var à deux voies de circulation et deux larges trottoirs sur la commune de Puget-Théniers, permettant plus largement de relier la vallée de la Tinée à celle de l'Estéron. Le souhait du Maître d'Ouvrage était de construire une structure esthétique qui s'intègre bien dans le site et qui constitue un ouvrage marquant à l'entrée du département, tout en privilégiant la simplicité des formes et un coût raisonnable.

Outre ces contraintes esthétique et économique, les concepteurs devaient prendre en considération deux contraintes naturelles fortes : d'une part, comme en témoignent les dégâts importants occasionnés lors de la crue de 1994 (photo 1), le Var est un fleuve torrentiel qui se caractérise par des débordements violents en période de crues.

### 1. THE GENERAL CONTEXT AND THE MAIN CONSTRAINTS OF THE SITE

*The construction of the new bridge over the Var river at Puget-Théniers was completed in May 2005 after 20 months of work. This new structure will soon replace the old Brouchier bridge, which up to now, has been the only crossing point of the Var at Puget-Théniers, some 60 kilometers north-west from Nice. Inaugurated in 1888 and having a single traffic lane restricted to 3.5 tons and a cantilevered sidewalk, the Brouchier bridge was not suitable for modern traffic anymore, because of its state of corrosion and its narrowness. In 1999, the county of Alpes-Maritimes political authorities therefore decided to construct a new crossing of the Var with two traffic lanes and two wide sidewalks in the city of Puget-Théniers, thus providing a far better connection between the Tinée valley and the Estéron valley. The Owner's desire was to create an aesthetic structure, well integrated into its site, forming an imposing construction at the entry to the county, while giving special care to simplicity of shape and reasonable cost.*

*Apart from these aesthetic and financial constraints, the designers had to face two highly-restrictive natural constraints: on the one hand, as can be seen from the serious damage caused by the floods of 1994 (photograph 1), the Var is a torrential river that overflows violently at times. As a result, the specification stated that the future bridge should have no support in the river and that its deck should be as thin as possible so as to leave sufficient space for a one-hundred-year return period flood.*

Par conséquent, le cahier des charges stipulait que le futur pont ne devrait posséder aucun appui en rivière et que son tablier serait aussi mince que possible afin de pouvoir dégager un gabarit suffisant vis-à-vis des crues centennales.



Photo 1 : Dégâts occasionnés lors de la crue de 1994 / Damage caused by the 1994 floods

D'autre part, la commune de Puget-Théniers se situant en zone de moyenne sismicité, l'ouvrage devait être dimensionné pour résister à un tremblement de terre correspondant à une accélération nominale de  $3 \text{ m/s}^2$ , soit environ un tiers de la force de pesanteur prise en horizontal.

## 2. LES CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DE L'OUVRAGE

L'étude préliminaire et le dossier de POA réalisés par le Sétra, en collaboration avec l'architecte Laurent Barbier, ont conduit à retenir pour la conception de l'ouvrage, un pont à haubans dissymétriques, à tablier en béton précontraint avec deux mâts de pylône verticaux.

D'un poids total d'environ 4300 tonnes, le nouveau pont sur le Var de Puget-Théniers présente une longueur totale de 93,85 m répartie en une travée principale de 65,85 m franchissant le Var et une travée arrière de 16 m prolongée par un massif contre-poids de 12 m scellé dans le rocher (fig.1). Deux nappes de 7 haubans disposés en semi-éventail supportent la travée principale et s'ancrent dans les deux mâts du pylône de 25,50 m de hauteur. Les efforts sont transmis à la culée contre-poids via 2 nappes de 4 haubans de retenue parallèles.

Le tablier, constitué d'une dalle de 22 cm d'épaisseur supportée par deux nervures longitudinales (dans lesquelles viennent s'ancrent les haubans) et par des entretoises espacées de 3,60 m, porte un profil en travers comprenant deux voies de circulation de 3,50 m et deux larges trottoirs de 3,80 m (fig. 2). Le béton utilisé pour le tablier et les pylônes est un béton à hautes performances (B60) tandis que celui des appuis a des caractéristiques plus classiques (B35 pour la pile et les culées, B30 pour les pieux).

On the other hand, as the commune of Puget-Théniers is located in a zone of medium seismicity, the structure had to be designed to withstand an earthquake with a nominal acceleration of  $3 \text{ m/sec}^2$ , i.e. approximately one-third of its weight applied horizontally.

## 2. THE MAIN CHARACTERISTICS OF THE BRIDGE

The preliminary design made by Sétra, in association with the architect Laurent Barbier, led to an asymmetrical cable-stayed bridge, with a prestressed concrete deck and two vertical pylon masts.

Weighing approximately 4300 tons, the new Puget-Théniers bridge has an overall length of 93.85 m, divided between a main span of 65.85 m crossing the river and a rear span of 16 m extended by a solid 12 m counter-weight cast into the rock (fig.1). Two layers of 7 cable stays, set out in a half-fan shape, support the main span and are anchored into the two 25.50 m high pylon masts. Forces are transferred to the counter-weight abutments via 2 layers of 4 parallel restraining stays.

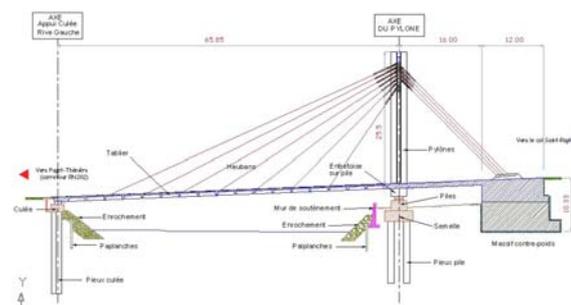


Figure 1 : Coupe longitudinale / Longitudinal section

The deck, consisting of a 22 cm thick slab supported by two longitudinal ribs (into which the cable stays are anchored), with 3.60 m spaced crossbeams, has a cross-section carrying two traffic lanes, each 3.50 m wide, and two 3.80 m wide footpaths (fig. 2). The concrete used for the deck and for the pylons is a high-performance (B60) mix, while the one used for the supports is a more traditional mix (B35 for the pier and the abutments, B30 for the piles).

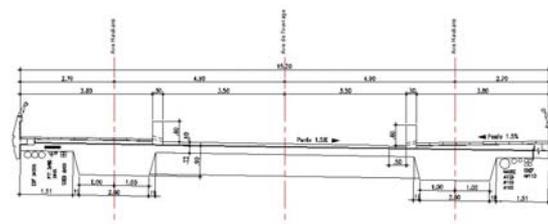


Figure 2 : Coupe transversale / Cross section

### 3. LES ÉTAPES DE LA CONSTRUCTION

### 3. THE STAGES OF CONSTRUCTION

#### 3.1. Principe général

#### 3.1. General principle

Afin de s'affranchir des risques liés aux crues du Var en phase de construction et de ses incidences sur le planning de l'opération, le groupement Razel/Cari, lauréat de l'appel d'offre, a proposé de construire l'ouvrage sur cintre parallèlement au fleuve, puis de l'amener, quasi-achevé, dans sa position définitive par rotation (fig. 3).

In order to overcome the risk of the Var flooding during the construction phase and its effect on the programming of the work, the chosen contractor, Razel/Cari, suggested to build the bridge on falsework, parallel to the river, and then, when almost complete, moving it to its final position by rotation (fig. 3).

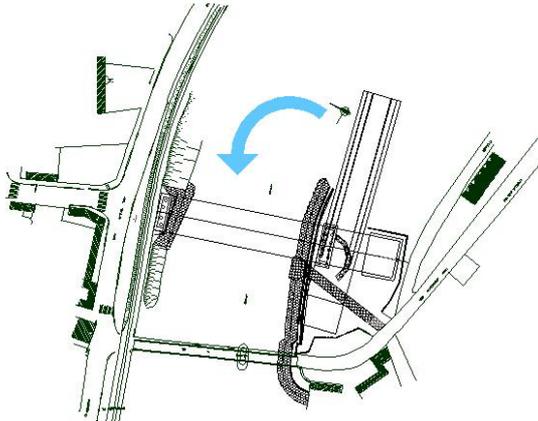
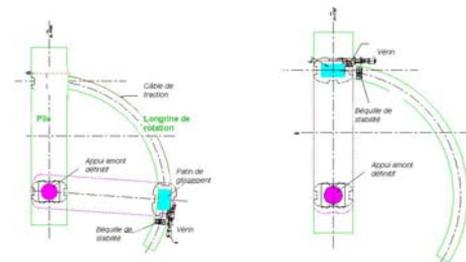


Figure 3 : Principe de mise en place par rotation de l'ouvrage (vue de dessus) / Principle of positioning the bridge by rotation (view from above)

This method of construction needed a few adaptations to Sétra's initial proposals: on the one hand, a temporary reinforced concrete rotation beam was built in order to allow the downstream bearing to be slid from its initial position to its final position onto its pier (figs. 4 and 5).

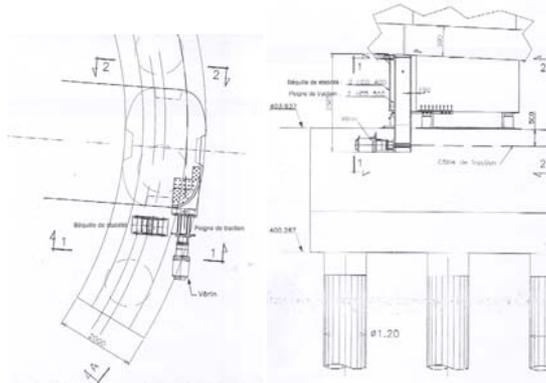


a) avant rotation / before rotation  
b) après rotation / after rotation

Figure 4 : Rotation de l'ouvrage par glissement de l'appui aval sur la longrine provisoire (vue de dessus) / Rotation of the structure by sliding the downstream bearing along the temporary beam (view from above)

Cette méthode de construction a nécessité quelques adaptations par rapport au projet initial du Sétra : d'une part, une longrine de rotation provisoire en béton armé a été réalisée pour permettre le glissement de l'appui aval depuis sa position initiale jusqu'à sa position finale sur pile (fig. 4 et 5).

On the other hand, the counter-weight was divided into two sections: one moving section, pivoting with the rest of the bridge and acting to counter-balance its self-weight during the rotation phase, and one fixed section, constructed in its permanent location, acting to counter-balance the live loads and to anchor the construction properly into the rock for earthquake-resistance.



a) vue en plan / plan view  
b) vue de profil / side view

Figure 5 : Détail du dispositif de rotation / Detail of the rotation device

Once the rotation completed, these two sections were connected together using 14 vertical truncated-cone reinforced concrete cores and a reinforced concrete ring beam (fig. 6). The section of the truncated-cone cores varies between 0.65 m x 0.65 m at the level of the joint, to 0.80 m x 0.80 m at the ends. These cores have passive steel reinforcement to undertake the vertical tensile forces generated by service and seismic loads. The transfer of forces to the rest of the structure (abutment counter-weight) is ensured by the truncated-cone shape and by perimeter concrete/concrete friction along the Nerlat® expanded metal formwork.

D'autre part, le massif contre-poids a été scindé en deux parties : une partie mobile pivotant avec l'ouvrage et servant à contrebalancer son poids propre pendant la phase de rotation, et une partie fixe construite à son emplacement définitif, servant à équilibrer les surcharges d'exploitation et à ancrer correctement l'ouvrage dans le substratum rocheux en cas de séisme.

La solidarisation des deux parties du massif, une fois la rotation effectuée, est réalisée par l'intermédiaire de 14 cheminées tronconiques verticales et d'une ceinture périphérique en béton armé (fig. 6). La section des cheminées tronconiques varie de 0,65 m x 0,65 m au niveau de la jonction, à 0,80 m x 0,80 m aux extrémités. Ces cheminées sont ferrillées, au moyen d'armatures passives en attente, de façon à reprendre les efforts de traction verticaux qui s'y développent en service et sous séisme. Le transfert d'efforts au reste de la structure (massif de culée contrepoids) est assuré par la forme tronconique et par frottement périphérique béton/béton le long du coffrage en lattis métallique de type nerlat®. La ceinture périphérique présente quant à elle une section carrée constante de 1,00 m de côté. Sa connexion au massif est réalisée au moyen d'armatures passives en attente.

### 3.2. La réalisation des appuis

La construction de l'ouvrage a débuté en septembre 2002 par les travaux de terrassement généraux (photo 2), la mise en place des palplanches de protection des berges du Var au niveau de l'implantation du futur pont et la réalisation des pieux de la pile, de la longrine de rotation et de la culée rive gauche.

Ces pieux, d'un diamètre de 1,2 m et d'une longueur de 12 à 16 m, sont au nombre de 12 pour la pile, 4 pour la culée rive gauche et 6 sous la longrine de rotation. Les pieux de la pile et de la culée comportent une gaine métallique définitive et présentent une densité de ferrailage importante atteignant jusqu'à 150 kg/m<sup>3</sup> en vue de leur conférer un bon comportement sous séisme (photo 3).



a)

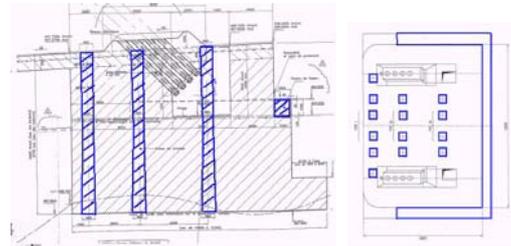
b)

Photo 3 : Réalisation des pieux de la culée rive gauche / Construction of the piles for the left bank abutment

a) cages d'armatures / reinforcing cages

b) gaine métallique et bétonnage / steel tube and concrete pouring

The ring beam itself has a constant square section of 1.00 m x 1.00 m. It is connected to the counter-weight using passive reinforcement.



a)

b)

Figure 6 : Solidarisation du massif contre-poids par cheminées tronconiques verticales et ceinture périphérique / Connecting the two parts of the counter-weight using vertical truncated-cone cores and a ring beam

a) coupe longitudinale / longitudinal section

b) vue de dessus / view from above

### 3.2. The construction of the supports

The construction of the bridge started in September 2002 with the bulk excavation work (photograph 2), the installation of protective sheet piling along the banks of the Var river at the location of the future bridge, and the piles pouring for the pier, the rotation beam and the left bank abutment.



Photo 2 : Travaux de terrassement généraux / Bulk excavation work (Sept. 2003)

There are 12 of these piles, 1.2 m diameter and 12 to 16 m long, for the pier, 4 for the left bank abutment and 6 under the rotation beam. The piles for the pier and the abutment have permanent steel tubing and a high density of steel reinforcement of up to 150 kg/m<sup>3</sup> in order to provide good earthquake-resistance (photograph 3).

At the pier, one side of the crossbeam under the pylon bears on a permanent pot bearing device, equipped with a metal guiding crown for the rotation phase, and the other side bears on the rotation beam by means of stainless steel slip plates (photograph 4).

Au niveau de la pile, l'entretoise sous pylône repose d'un côté sur son appareil d'appui glissant définitif équipé d'une couronne de guidage métallique pour la phase de rotation et de l'autre sur la longrine de rotation par l'intermédiaire de patins de glissement en acier inox (photo 4). La longrine, qui sera démolie une fois la rotation effectuée, est encastrée dans la pile.



**Photo 4 : Positionnement de l'entretoise sous pylône avant rotation et détail de la couronne de guidage / Positioning of the crossbeam under the pylon before rotation and detail of the guide crown**

La construction de la partie inférieure fixe de la culée contre-poids en rive droite a nécessité d'important travaux de fouille et de terrassement pour atteindre le niveau du rocher. La stabilisation des parois latérales et arrière de la fouille a été réalisée au moyen d'une paroi berlinoise clouée (photo 5a). Le bétonnage a été effectué en trois passes successives en prenant soin de garder des réservations pour les cheminées verticales tronconiques de solidarisation avec la partie supérieure (photo 5b).

La partie supérieure mobile de la culée rive droite a été construite sur cintre et sur lit de sable afin de faciliter sa mise en mouvement lors de la phase de rotation. L'alignement des tubes de réservation pour l'ancrage des haubans de retenue et le positionnement des réservations des parties supérieures des cheminées tronconiques de solidarisation, qui devront se superposer parfaitement avec celles de la partie inférieure, ont nécessité une attention toute particulière (photo 6).



a)

b)

**Photo 6 : Culée rive droite – partie supérieure mobile / Right bank abutment – moving upper section**

a) coffrage et ferrailage / Formwork and reinforcement (May 2004)

b) décoffrage / formwork removal (Sept. 2004)

*The beam, which will be removed once rotation is completed, is fully connected to the pier.*

*The construction of the fixed lower part of the counter-weight abutment on the right bank required major excavation works to reach the level of the rock. The stabilisation of the sides and the back of the excavation was provided using anchored concrete revetment type shoring (photograph 5a). Concrete pouring was carried out in three successive passes, taking care to leave openings for the vertical truncated-cone cores connecting it to the upper section (photograph 5b).*



a)



b)

**Photo 5 : Culée rive droite – partie inférieure fixe / Right bank abutment – fixed lower section**  
a) fouille et terrassement / excavation (March 2004)

b) ferrailage et réservations pour les cheminées de solidarisation / reinforcement and openings for the connecting cores (May 2004)

*The upper moving section of the right bank abutment was constructed on falsework and a bed of sand in order to make it easier to start it moving at the rotation phase. The alignment of the tubes to take the cable stay anchors and the positioning of the holes for the upper sections of the truncated-cone joining cores, which had to be perfectly positioned over those in the lower section, required very particular attention (photograph 6).*

### **3.3 The construction of the deck on falsework parallel to the Var river**

*The deck was constructed on falsework on the right bank of the Var river. The falsework acted as formwork for the rear span and for the pre-stressed longitudinal ribs of the main span. The reinforced concrete crossbeams were prefabricated on site, as was the permanent concrete formwork to the upper part of the central section of the deck (photograph 7).*

### 3.3. La construction du tablier sur cintre parallèlement au Var

Le tablier a été réalisé sur cintre sur la rive droite du Var. Le cintre a servi au coffrage de la travée arrière et des deux nervures longitudinales précontraintes de la travée principale. Les entretoises en béton armé ont été préfabriquées sur site, de même que les prédalles coffrantes qui ont servi au coffrage de la partie supérieure du hourdis central (photo 7). Le bétonnage du tablier a été réalisé en 4 phases longitudinales, la première phase correspondant à la travée arrière et les trois suivantes au découpage par plots de la travée principale. La précontrainte longitudinale du tablier, constituée au total de 7 paires de câbles 19T15S, a été mise en œuvre en deux phases : 3 paires de câbles ont été mises en tension avant la rotation de l'ouvrage (à  $f_{cj} \geq 46$  MPa) et 4 paires après rotation (à  $f_{cj} \geq 55$  MPa). Les trois paires de câbles filants sur toute la longueur du pont ont été tendues depuis leurs deux extrémités (culées de rives gauche et droite), tandis que les quatre paires s'arrêtant en travée principale ont été mises en tension depuis la culée de rive gauche uniquement. La dissymétrie longitudinale introduite dans la géométrie du câblage de précontrainte est destinée à équilibrer le surplus de compression apporté par les haubans dans le tablier à proximité du pylône et dans la travée arrière, afin d'obtenir une contrainte d'effort normal uniforme dans l'ensemble du tablier.

### 3.4. La réalisation du pylône et des boîtes d'ancrage

Les deux mâts du pylône ont été réalisés à l'aide de coffrages grimpants par levées successives de 4 m, alternativement sur un mât puis l'autre (photo 8). Les régions situées en partie basse des mâts ainsi que les zones nodales de connexion avec l'entretoise sous pylône sont des zones de concentration très importante d'efforts sous sollicitations sismiques. En conséquence, ces zones ont fait l'objet d'un ferrailage particulièrement contraignant (photo 9), conformément aux dispositions constructives prescrites par les règlements parasismiques en vigueur [2].



a)



b)

Photo 8 : Construction des mâts du pylône / Construction of the pylon masts

a) échafaudage général / general scaffolding  
b) coffrage grimpant des levées de 4 m / sliding formwork in 4 m lifts

The concreting of the deck was carried out in 4 longitudinal phases, the first phase being the rear span and the three following phases for sections of the main span. The longitudinal prestressing of the deck, comprising 7 pairs of 19T15S cables, was carried out in two phases: 3 pairs of cables were tensioned before the rotation (to  $f_{ck} \geq 46$  MPa) and 4 pairs after rotation (to  $f_{ck} \geq 55$  MPa). The three pairs of cables running through the full length of the bridge were tensioned from both ends (left bank and right bank abutments), whereas the four pairs limited to the main span were tensioned from the left bank abutment only.

The longitudinal dissymmetry created in the geometry of the prestressing was designed to balance the excess compression applied by the cable stays to the deck close to the pylon and in the rear span, in order to give a uniform normal stress within the whole deck.



a)



b)

Photo 7 : Construction du tablier sur cintre / Construction of the deck on falsework  
a) vue générale du cintre et plaques d'ancrage de la précontrainte / general view of the falsework and prestressing anchor plates  
b) entretoises et prédalles préfabriquées en sous-face du tablier / prefabricated crossbeams and permanent formwork of the lower part of the deck

### 3.4. The construction of the pylon and the anchor boxes

The two pylon masts were constructed using sliding formwork in successive lifts of 4 m, alternately on one mast and the other (photograph 8). The bottom sections of the masts and also the nodal connection zones with the crossbeam under the pylon are zones of very high concentration of stresses under seismic loads. As a result, the reinforcement of these zones was designed particularly carefully (photograph 9) to comply with the construction requirements specified in the relevant earthquake-protection regulations [2].



Photo 9 : Cage d'armature d'une levée de pylône (ratio d'acier :  $137 \text{ kg/m}^3$ ) / Reinforcement cage for one lift of the pylon (steel content :  $137 \text{ kg/m}^3$ )

Les boîtes d'ancrage métalliques pré-assemblées en usine, de 6 m par 3,60 m, sont encastrées dans le béton en tête de mâts au moyen de goujons (photo 10). Toutes les faces, à l'exception de celles en contact direct avec le béton, ont fait l'objet d'un traitement anti-corrosion par peinture époxy.

The 6 m by 3.60 m factory-preassembled metal anchor boxes were recessed into the concrete at the tops of the masts using studs (photograph 10). All surfaces, except those in direct contact with the concrete, were given epoxy paint corrosion protection.

### 3.5. La mise en tension des haubans

Les haubans sont constitués de câbles à torons multi-couches (TMC) réalisés par l'entreprise sous-traitante Baudin-Chateauneuf. Ces câbles sont constitués de fils élémentaires galvanisés  $\phi 5.3$  enroulés en hélice autour de trois fils d'âme  $\phi 3.25$ , selon plusieurs couches successives alternativement dans un sens puis dans l'autre (photo 11). La protection contre la corrosion est assurée d'une part par un remplissage à la cire pétrolière des interstices entre les câbles, et d'autre part par une gaine périphérique en polyéthylène haute densité de 6 mm d'épaisseur nominale extrudée autour du câble.

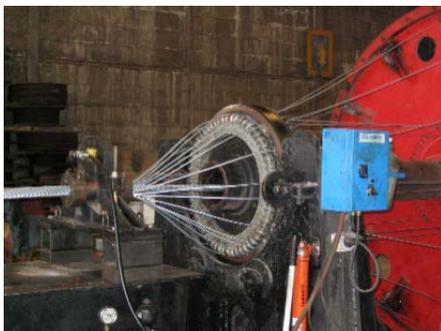


Photo 10 : Boîtes d'ancrage métalliques des haubans / Cable stay anchor metal boxes

Les haubans de la travée principale, constitués de 168 fils périphériques enroulés sur 7 couches, présentent un diamètre de 93 mm pour une charge de rupture de 619 tonnes. Les haubans de retenue se composent quant à eux de 270 fils périphériques enroulés sur 9 couches et constituent par conséquent des unités légèrement plus grosses (diamètre de 114 mm et charge de rupture de 992 tonnes). Notons enfin que les haubans sont équipés de divers dispositifs spécifiques : tubes anti-vandalisme en partie inférieure et dispositifs absorbeurs de vibrations en élastomère au niveau des ancrages contre les effets du vent et des séismes.

### 3.5. Tensioning the stays

The stays were made from multi-layer strand cables manufactured by the sub-contractor Baudin-Chateauneuf. These cables were made from 5.3 mm diameter galvanised elementary wires round in a spiral around three 3.25 mm core wires, in several successive layers, alternately in one direction and the other (photograph 11). Corrosion-protection is provided partly by filling the interstices between the cables with petroleum wax and partly by a high-density polyethylene enclosing sheath of 6 mm nominal thickness, extruded around the cable.



The stays for the main span, formed from 168 peripheral wires wound in 7 layers, have a diameter of 93 mm and a breaking strain of 619 tons. The rear stays consist of 270 peripheral wires wound in 9 layers, which, as a result, makes them slightly larger (diameter of 114 mm and breaking strain of 992 tons). It should be noted that the stays are provided with various specific devices: vandal-protection tubes at the bottom and elastomer vibration-absorption devices on the anchors, for protection against the effects of wind and earthquakes.



Photo 11 : Fabrication des haubans TMC / Multi-layer strand cables manufacturing

The stays were tensioned initially before rotation, from the underside of the longitudinal beams of the deck, using jacks (photograph 12). Tension was applied alternately to the stays of the main span and the back stays in order to reduce bending forces in the pylon masts as much as possible, until the deck had been lifted slightly from its falsework. A pair of temporary stays was also tensioned between the tops of the masts and the end of the deck so as to simulate the support reaction of the left bank abutment during the rotation phase.

Une première mise en tension des haubans s'est

effectuée avant rotation depuis la sous-face des poutres longitudinales du tablier au moyen de vérins (photo 12). La mise en tension s'est effectuée de façon alternée entre les haubans de la travée principale et les haubans de retenue afin de réduire au maximum les efforts de flexion dans les mâts du pylône et jusqu'à obtenir un léger décollement entre le tablier et les cintres. Une paire de haubans provisoires a par ailleurs été tendue entre la tête de mâts et l'extrémité du tablier afin de suppléer la réaction d'appui de la culée rive gauche durant la phase de rotation.



Photo 12 : Mise en tension des haubans avant rotation depuis la sous-face du tablier / *Tensioning of the stays before rotation from the underside of the deck*

### 3.6. La rotation du pont

Le 13 novembre 2004 au matin s'est effectuée la rotation de l'ouvrage, en présence des principaux élus locaux et devant près de trois milles habitants des deux rives venus assister à la phase sans doute la plus spectaculaire de la construction du nouveau pont de Puget-Théniers (photo 13).

### 3.6. The rotation of the bridge

On the morning of 13th November 2004, the bridge was rotated in the presence of local political authorities and almost three thousand inhabitants of both banks of the river, who had come to witness what was, without doubt, the most spectacular phase of the construction of the new Puget-Théniers bridge (photograph 13).

Toute la rotation a été réalisée sous couverture météo afin de s'assurer que la vitesse du vent ne dépassait pas 50 km/h durant cette phase particulièrement sensible du chantier.

A close watch was kept on the weather forecast throughout the rotation in order to ensure that the wind speed would not exceed 50 kph during this particularly sensitive phase of the works.

Avant rotation, l'ouvrage a été préalablement lesté par des contrepoids en béton jusqu'à obtenir une réaction d'appui de 220 tonnes sur la béquille arrière de stabilisation (photo 14b) correspondant à un moment de déséquilibre arrière de 440 t.m. Des pesées d'une grande précision ont alors été réalisées afin de s'assurer que les descentes de charges étaient bien réparties sur les trois appuis : l'appui amont servant de pivot, l'appui aval équipé de patins néoprène/téflon glissant sur la longrine de rotation, et la béquille arrière de stabilisation excentrée de deux mètres par rapport à l'axe des appuis principaux.

Before rotation, the structure was first ballasted with concrete weights so as to get a bearing reaction of 220 tons on the rear stabilisation leg (photograph 14b), corresponding to a rear stabilising moment of 440 t.m. The weights were measured with great accuracy so as to ensure that the transferred loads were properly divided between the three supports: the upstream pot bearing acting as the pivot, the downstream bearing fitted with neoprene/Teflon pads sliding on the rotation beam, and the rear stabilisation leg, offset by two meters from the centre line of the main supports.

La rotation a été réalisée au moyen d'un câble de traction filant le long de la longrine circulaire et d'un vérin d'une force de 120 tonnes (photo 14c). Le vérin ayant une course de 25 cm en continu, il a fallu faire 60 courses de vérins pour procéder à sa rotation complète. Quatre heures ont au total été nécessaires à cette mise en place. Au cours de la rotation, les descentes de charges maximales prévues en pied de pylône étaient de 2228 tonnes au niveau de l'appui à pot servant de pivot et de 2237 tonnes sur la selle de glissement.

Rotation was carried out using a traction cable running along the circular rotation beam and a jack with a force of 120 tons (photograph 14c). As the jack could only travel 25 cm at a time, 60 operations of the jack were necessary to make the full rotation. It took a total of four hours to complete this work. During the rotation, the maximum anticipated loads on the bottom of the pylon were 2228 tons on the bearing used as a pivot and 2237 tons on the friction plate.

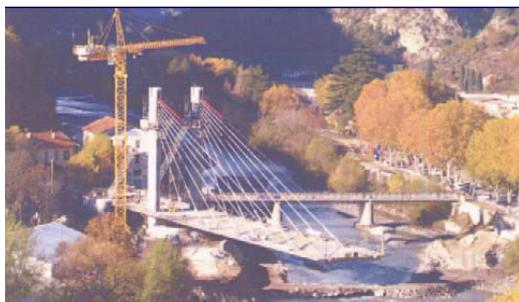


Photo 13 : La rotation de l'ouvrage / *The rotation of the bridge*



a)

b)

Photo 14 : Dispositif de rotation / *Rotation devices*

a) vue générale / *general view*  
b) pesée de la réaction d'appui sous la béquille arrière de stabilisation / *measuring the bearing reaction under the rear stabilisation leg*

### 3.7. L'achèvement de l'ouvrage

Une fois l'ouvrage dans sa position finale, il restait à terminer la structure et à réaliser les superstructures. Les colonnes et la ceinture de solidarisation du massif contreponds de la culée rive droite ont été ferrillées et bétonnées. En rive gauche, une butée parasismique en béton armé de dimensions en plan 1,75 m par 1,20 m et de 70 cm de hauteur a été ajoutée pour bloquer le débattement latéral du tablier sous séisme. Un grillage anti-intrusion a par ailleurs été disposé afin d'interdire l'accès à la chambre de tirage de la précontrainte tout en permettant un éclairage naturel suffisant (photo 15). Au niveau de la pile, la béquille arrière a été démontée, la longrine de rotation démolie et l'appui aval sous pylône a été placé sur son appareil d'appui à pot glissant définitif.

Enfin, la paire de haubans provisoires a été détendue et on a procédé au réglage définitif des haubans. Ce réglage définitif a été réalisé depuis la boîte d'ancrage métallique en tête de mâts (photo 16), à l'exception de la première paire en travée accessible depuis la rive à proximité de la pile et des haubans de retenue tendus depuis le bas.



Photo 15 : Butée parasismique de blocage latéral en culée rive gauche et grillage anti-intrusion / Seismic stopper against lateral movement on the left bank abutment and intruder-resistant barrier

En ce qui concerne les superstructures et les équipements, on a procédé à la pose des garde-corps (photo 17a), à la réalisation de la chape d'étanchéité et des enrobés (photo 17b), et au dallage des trottoirs (photo 17c). Les pylônes ont par ailleurs été équipés de paratonnerres (photo 17d) et des spots d'éclairage des haubans ont été installés en tête de mâts et au niveau des plots d'ancrage dans le tablier afin de souligner la silhouette de l'ouvrage en perception nocturne (photos 17d, 17e et 17f).

## 4. CONCLUSION

Le chantier du nouveau pont sur le Var à Puget-Théniers, en plus d'être localisé sur un site particulièrement exposé (franchissement d'un fleuve à régime torrentiel, zone de moyenne sismicité), s'est caractérisé par la mise en œuvre d'un certain nombre de méthodes de construction innovantes ou peu classiques : choix de béton hautes performances, utilisation de haubans de type TMC, mise en place de l'ouvrage par rotation...



c)

Photo 14 : Dispositif de rotation / Rotation devices  
c) vérin et câble de traction / jack and traction cable

### 3.7. The completion of the bridge

Once the bridge was in its final position, there only remained to complete the structure and carry out the superstructure work. The reinforcement for the truncated-cone cores and the counter-weight ring beam on the right bank was placed and the concrete poured. On the left bank, a reinforced concrete seismic stopper, 1.75 m by 1.20 m on plan and 70 cm high, was added to prevent the deck from moving sideways in case of an earthquake. An intruder-resistant barrier was also erected to prevent access to the prestressing draw-pit, while still allowing sufficient natural light (photograph 15). On the pier, the rear support leg was removed, the rotation beam was broken out and the downstream pot bearing under the pylon was positioned onto its permanent location.



Photo 16 : Réglage définitif des haubans depuis les têtes de mâts / Final adjustment of the stays from the tops of the masts

Finally, the pair of temporary stays was detensioned and a final adjustment was made to the remaining stays. This final adjustment was made from the metal anchor box at the top of the masts (photograph 16), with the exception of the first pair on the span accessible from the bank close to the pier and the rear stays tensioned from the bottom.

As a part of the superstructure and equipment works, the balustrades were fixed (photograph 17a), the damp-proofing layers and carriageway surfaces were laid (photograph 17b), and the paving of the sidewalk laid (photograph 17c). The pylons were also fitted with lightning conductors (photograph 17d) and lighting of the stays was installed at the tops of the masts and at the anchor points into the deck, in order to stress the silhouette of the bridge at night (photographs 17d, 17e and 17f).

La maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre ont été assurées par le Conseil Général des Alpes Maritimes. Pour le contrôle technique des études d'exécution (vérification des notes de calcul, des plans d'exécution et des documents méthodes), la direction des Infrastructures Routières du Conseil Général a été assistée par le Sétra, qui avait déjà réalisé les études de conception.

Le contrôle d'exécution sur le chantier a été effectué en partenariat avec le Laboratoire Régional de Nice (CETE Méditerranée), notamment pour le contrôle de la qualité des bétons, pour le contrôle de la fabrication, des procédures d'essai et de la mise en œuvre des haubans, ainsi que pour celui de la réalisation et de la protection anti-corrosion des boîtes d'ancrage métalliques. Au final, le montant total de l'opération s'élève à un peu plus de 6 millions d'euros auxquels viennent s'ajouter 3 millions d'euros pour les aménagements paysagers connexes (aménagement du carrefour, rétablissement du passage à niveau du chemin de fer de Provence, création d'un espace de promenade sous le pont et aménagement de la rive droite du Var).

Les visions lointaines ou à proximité directe de l'ouvrage, de même que son appropriation immédiate par la population semblent correspondre parfaitement aux objectifs initiaux fixés par la maîtrise d'ouvrage et témoignent d'un partenariat de maîtrise d'œuvre réussi entre le Conseil Général des Alpes-Maritimes et les services de l'Etat (Sétra et LRPC de Nice).



a)

b)



c)

d)



e)

f)

Photo 17 : Pose des superstructures et équipements / *Superstructure and equipment works*

- a) garde-corps / *balustrades*
- b) chape d'étanchéité / *damp-proofing*
- c) dallage des trottoirs / *paving of sidewalks*
- d) paratonnerre et éclairage en tête de mâts / *lightning conductor and lighting at tops of masts*
- e) réservation pour spot d'éclairage dans les plots d'ancrage des haubans / *hole for light in the stay anchor points*
- f) spots d'éclairage des haubans de retenue / *lighting of the rear stays*

#### 4. CONCLUSION

*The construction of the new bridge over the Var river at Puget-Théniers, in addition to its location in a particular exposed site (crossing of a river with extreme differences in flow, zone of medium seismicity), is particularly notable for its use of a certain number of innovative or non-traditional construction methods: choice of high-performance concrete, use of multi-layer strand cable stays, final positioning of the bridge by rotation, etc.*



Photo 18 : Quelques vues de l'ouvrage terminé / a few views of the completed structure ...

Project management and the technical supervision of the works were both carried out by the Conseil Général of Alpes Maritimes. For the technical checking of the working design (checking of calculations, working drawings and method statements), the Conseil Général's road infrastructure department was assisted by Séttra, who had already made the initial design.

The supervision of work on site was carried out in partnership with the Regional Laboratory of Nice (CETE Méditerranée), particularly the supervision of the quality of the concrete mixes, of the manufacture, testing and erection procedures for the stays, and of the installation and the corrosion protection of the metal anchor boxes. In the end, the total cost of the operation amounted to slightly more than 6 million euros, to which should be added 3 million euros for associated landscaping works (modifications of the road junction, reconstructing the railway level crossing, creation of a public access area under the bridge and modifications to the right bank of the Var).

The distant or close views of the bridge, and also its immediate approval by the local population, would seem to match perfectly the initial objectives set by the Conseil Général of Alpes Maritimes and are evidence of a successful design partnership between the Owner, the architect and the State technical services (Séttra and LRPC of Nice).



## Références / References

- [1] Le projet du nouveau pont sur le Var à Puget-Théniers – P. Vion – Bulletin "Ouvrages d'art" n°48, avril 2005 – Sétra/CTOA
- [2] Ponts courants en zone sismique – Guide de conception Sétra – SNCF

## Crédit photos / Sources

Albert Laurens (DDE 06 Subdivision de Puget-Théniers : photo 1 – Philippe Julien (Sétra) : figures 1, 2 et 4 – Razel/Cari : figures 3, 5 et 6, photo 13 – Denis Davi (Sétra) et Philippe Vion (Sétra) : photos 2 à 18.