

# LE PONT DU CORGO AU PORTUGAL

## CORGO RIVER BRIDGE, PORTUGAL

**Daniel MARY**

NORINTER

**Michel GUERINET**

EIFFAGE Construction

**Claude SERVANT**

EIFFAGE TP

### 1. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Le Pont sur le Rio CORGO est situé au Portugal à 80 km à l'Est de PORTO sur le tracé du Scut Interior Norte (IP3), projet de plus de 150 km d'autoroute, reliant les villes de VISEU au sud et de CHAVES au nord.

L'ouvrage, d'une longueur sur l'axe de 625 m, est composé de 5 travées découpées selon une trame moyenne de 95 m + 3 x 145 m + 95 m (figure 1). Les caractéristiques de chaque tablier sont les suivantes :

- Tablier intérieur : 614,159 m

$$93,195 + 2 \times 142,245 + 142,253 + 94,221$$

- Tablier extérieur : 635,846 m

$$96,805 + 2 \times 147,755 + 147,752 + 95,779$$

### 1. THE BRIDGE

The Corgo River bridge is in Portugal, 80 km east of Porto, and is on the Scut Interior Norte motorway (IP3), a stretch of more than 150 km linking the towns of Viseu in the south and Chaves in the north.

The curved 5-span bridge is 625 m long along its centreline. Figure 1 depicts the average spans (95 m, 3x145 m, 95 m). The length of each deck is as follows:

- Inner deck (on inside of curvature): 614.159 m

$$93.195 + 2 \times 142.245 + 142.253 + 94.221$$

- Outer deck (on outside of curvature): 635.846 m

$$96.805 + 2 \times 147.755 + 147.752 + 95.779$$

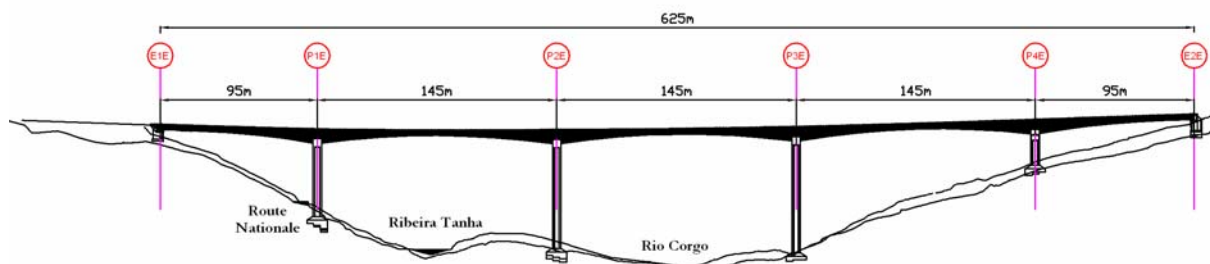


Fig. 1 Vue en élévation du tablier intérieur / Elevation of inner deck

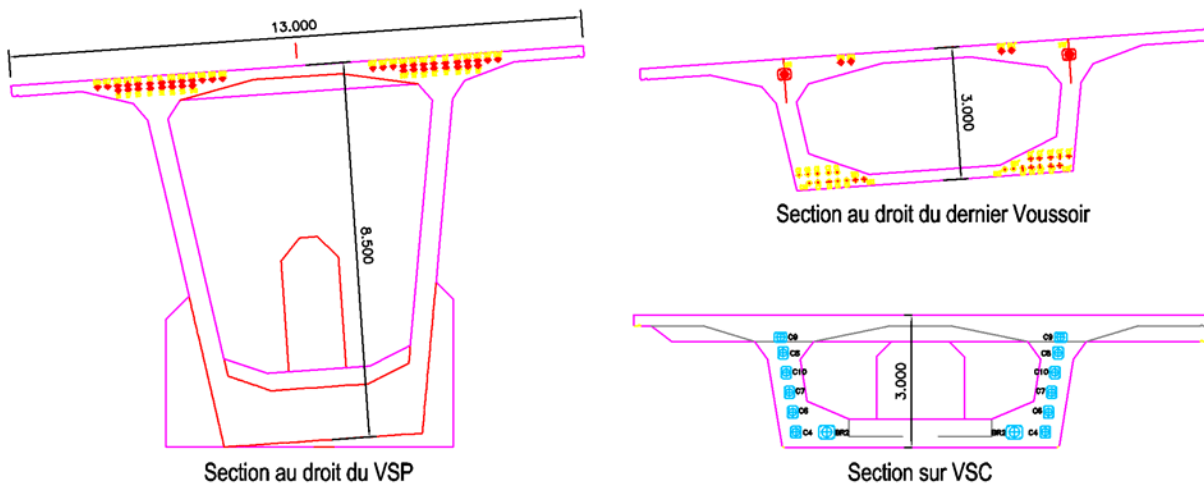


Fig. 2 Coupes transversales du tablier précisant la position des câbles de précontrainte  
Deck cross-sections showing position of prestressing tendons

Le tablier, d'épaisseur variable, entre 3 m et 8,50 m est particulièrement élancé de l'ordre de 1/49<sup>ème</sup> à la clé et 1/17<sup>ème</sup> sur appuis (figure 2). Sa construction a été réalisée par encorbellements successifs de voussoirs coulés en place. L'ouvrage suit en plan une courbure constante sur 525 m, avec un rayon intérieur particulièrement faible de 500 m. Il se raccorde, à l'une des extrémités, par un tracé en clothoïde sur un alignement droit dans les 100 derniers mètres. En conséquence le tablier passe d'un dévers transversal de 7% sur la quasi-totalité de son tracé à un dévers de 0% au voisinage de l'une de ses culées. En élévation le tracé suit une parabole avec un point bas au milieu de l'ouvrage et des pentes longitudinales sur les culées de l'ordre de 3%. Les piles (à l'exclusion de la pile P4 qui n'est haute que de 25 mètres) sont de grande hauteur puisque la hauteur des fûts varie entre 42 et 68 mètres. Les culées, dont la hauteur totale est variable entre 3 et 8 mètres, sont posées sur des voiles béton qui permettent d'atteindre le rocher sain.

Compte tenu de la longueur totale du tablier (625m) et de la forte amplitude des variations thermiques dans la région, le tablier est encastré sur trois appuis dont les deux appuis centraux (leur grand élanement leur assurant une bonne flexibilité) situés à proximité du point fixe de l'ouvrage (moins de 75 m). Sur la pile de rive la plus courte, le tablier repose sur des appareils d'appuis à pot (deux appuis multidirectionnels de 6.000 tonnes par pile).

The variable-depth deck (3 m to 8.50 m) is particularly slender, with ratios of around 1:49 mid-span and 1:17 on substructure units (figure 2). It was built with the sequential cantilever method, segments being cast in situ. For the most part, it follows a constant radius of curvature, with a particularly small inner radius of 500 m. At one end it follows a clothoid alignment and straightens for the last 100 metres. Consequently the deck changes from a 7% superelevation over most of its length to practically 0% near one abutment. In elevation, the deck is parabolic, with a low point at the centre and gradients to the abutments of about 3%. With the exception of pier P4 which stands only 25 m high, the piers are very tall (between 42 and 68 metres). The bank seats, whose total heights vary from 3 to 8 metres, are built on concrete walls excavated down to sound bedrock.

Because of the total length of the deck (625 m) and the very high temperature variations in the region, the decks are socketed to three of the substructure units, including the two central ones close to the thermal fixed point (less than 75 m away). The piers are sufficiently flexible because of their extreme slenderness. At the shortest pier, close to the one of the abutments, each deck is free to move on pot bearings (two multidirectional 6,000 tonne bearings per pier).



Photo 1 : Vue générale de l'ouvrage / Corgo River Bridge

## 2. LE PROJET D'EXECUTION

Compte tenu des règlements en vigueur au Portugal (qui recoupent dans ce domaine les Eurocodes), la précontrainte extérieure prévue à l'origine et de peu d'utilité pour les vérifications aux états limites ultimes a été abandonnée au profit d'une précontrainte totalement intérieure (figure 2) plus en accord avec les habitudes portugaises.

Du fait de la courbure importante de l'ouvrage, l'excentricité du tablier, par rapport aux piles, génère des moments fléchissants transversaux en tête de pile qui se traduisent par une tendance au basculement.

Quatre câbles de précontrainte verticale constitués de torons gainés graissés ont été nécessaires afin d'assurer la stabilité transversale de l'ouvrage pendant sa construction. De plus, pour les fûts les plus hauts des piles, la courbure du tablier entraîne un fléchissement général latéral des fûts de pile qui était repris, au fur et à mesure de la construction, par un dispositif de haubanage placé entre le tablier et les semelles. Les piles, dont le dessin découle de l'analyse faite au « Projecto de Base », ont du être renforcées par 8 câbles de précontrainte de 15T15 placés aux angles des fûts. Ces câbles de précontrainte sont ancrés dans les semelles et dans les entretoises des voussours sur piles (figure 3).

## 2. CONSTRUCTION DESIGN

*In light of Portuguese regulations (which in this field match the Eurocodes), the external prestress of the initial design—which ultimate limit state verifications proved to be of little use—was dropped in favour of wholly internal prestress (figure 2) which is more in keeping with Portuguese practice.*

*Because of the high curvature of the bridge, the eccentricity of the deck relative to the piers generates transverse bending moments at the tops of the piers which result in a tendency to overturn.*

*Four vertical prestressing tendons made up of greased sheathed strands were required to ensure the transverse stability of the bridge during construction. In addition, the curvature of the deck causes general lateral deflection of the tallest piers; this force was counteracted and adjusted during construction by a system of cable stays between the deck and the pier footings. The piers, the design of which is derived from the 'Projecto de Base', had to be strengthened by eight 15T15 tendons at their corners. These tendons are anchored in the pier footings and in the diaphragms of the segments-on-pier (SOP) (figure 3).*

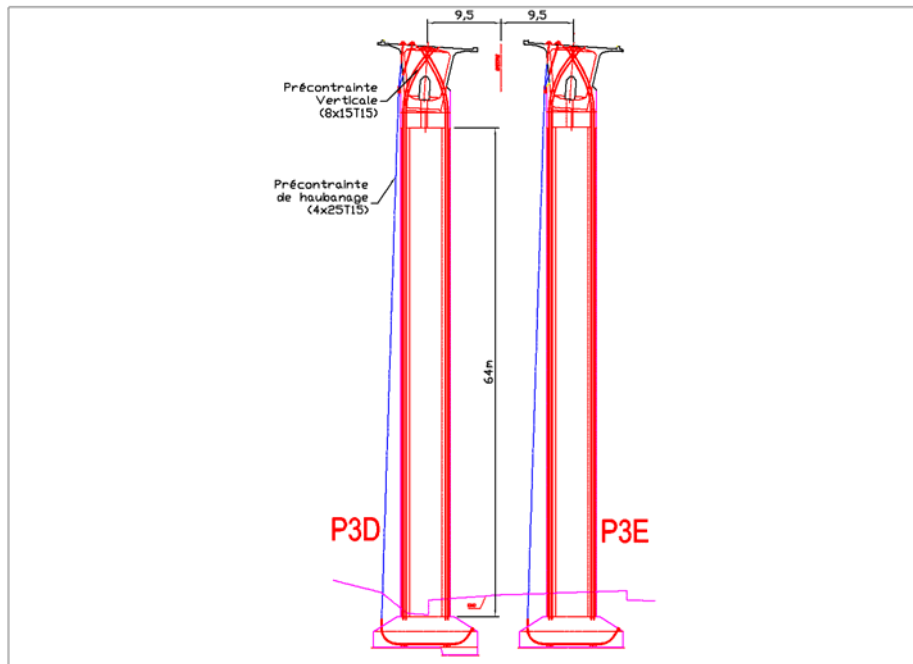


Fig. 3 Précontrainte des piles de grande hauteur / Prestress of tall piers

Compte tenu de la flexibilité des piles, la pile P1, initialement prévue sur appuis à pots, a été encastree au prix d'un léger renforcement de ses aciers passifs.

Le très fort élancement de la structure se traduit par des ratios d'armatures actives et passives assez élevés :

- Piles :

150 kg/m<sup>3</sup> d'armatures passives,

15 kg/m<sup>3</sup> d'aciers de précontrainte

- Tablier

170 kg/m<sup>3</sup> d'armatures passives,

56 kg/m<sup>3</sup> d'aciers de précontrainte

En outre, le recours à une précontrainte totalement intérieure au béton majore les effets de la précontrainte en phase de construction, ce qui a un impact très positif sur la maîtrise des déformations différées dues à la flexion en phase provisoire de construction.

### 3. QUELQUES POINTS PARTICULIERS DE LA CONCEPTION

#### 3.1. Béton

Pour chaque paire d'équipages mobiles, les cycles étaient calés suivant un rythme de bétonnage de un voussoir tous les trois jours. Pour pouvoir suivre cet objectif, une étude détaillée du béton de tablier a été réalisée. La formule étudiée utilisait du béton à base de ciments SECIL fournis par le sous-traitant UNIBETAO et dosés à 450 Kg/m<sup>3</sup>.

*Because of the flexibility of the piers, pier P1, which was initially designed to carry pot bearings, was socketed into the deck, requiring a slight increase in its passive reinforcement.*

*The extreme slenderness of the structure results in quite high reinforcement and prestressing ratios:*

- Piers

*passive reinforcement: 150 kg/m<sup>3</sup>  
prestressing steel: 15 kg/m<sup>3</sup>*

- Deck

*passive reinforcement: 170 kg/m<sup>3</sup>,  
prestressing steel: 56 kg/m<sup>3</sup>*

*In addition, switching to wholly internal prestress increased the effects of prestress during construction, which has a very positive effect on control of time-dependent deformation due to bending during the construction phase.*

### 3. SPECIFIC DESIGN FEATURES

#### 3.1 Concrete

*The construction programme for each pair of travelling forms was based on a three-day segment-casting cycle. To meet this objective, a detailed study of the deck concrete was carried out. The design mix studied used concrete based on SECIL cements supplied by subcontractor Unibetao. A cement content of 450 kg/m<sup>3</sup> was used.*



Ce fort dosage en ciment, nécessaire à l'obtention de la résistance recherchée avec le type de ciment utilisé, entraîne des élévations de températures importantes pour le béton. En particulier dans les voussoirs sur Piles (VSP) dont la partie la plus massive atteint plus de 1,20 m d'épaisseur, il a été mesuré des élévations de température du béton lors de la prise de l'ordre de 50°C. Avec des températures extérieures qui dépassent couramment les 35°C en été, il pourrait se former de l'ettringite différée. En conséquence, la formule du béton de tablier a été légèrement modifiée pour le coulage des voussoirs sur pile (dosage à 420 kg/m<sup>3</sup> afin de gagner 3°C sur la montée en température). Pour ces voussoirs, le coulage a été réalisé la nuit, au cours de l'été, de manière à profiter au mieux des températures nocturnes réduites.

Contrairement aux usages au Portugal, une étanchéité générale a été mise en oeuvre sur le tablier afin d'assurer une protection contre le risque d'infiltration d'eau et assurer ainsi une protection efficace du béton et des nombreux câbles disposés sur appuis en partie supérieure.

Lors de l'étude du béton, il a été constaté que les modules d'élasticité des bétons ne correspondaient absolument pas avec les valeurs calculées à l'aide de différents règlements à partir de la résistance caractéristique à 28 jours. Par exemple pour un B45, l'application du BPEL français conduit à un module d'élasticité de 39 GPa (le REBAP portugais donnant une valeur de 36 GPa) alors que le module mesuré expérimentalement (et de manière contradictoire) s'élève à peine à 29 GPa, soit une différence de près de 30%. Un tel résultat est apparu, a posteriori, classique dans la région puisque les bétons du pont de REGUA (qui jouxte le chantier du CORGO) affichaient les mêmes résultats. Ces valeurs peuvent s'expliquer par le caractère des agrégats granitiques de la région.

Cette caractéristique particulière du béton accentuait notablement la flexibilité déjà importante de l'ouvrage et compliquait la maîtrise des déformations différées en cas de sollicitations de flexion importantes en cours de construction. Il est à noter que le principe d'une précontrainte totalement intérieure au béton apporte, dans le cas du pont du Corgo, un réel avantage.

### 3.2. Contrôle de la géométrie

Le module d'élasticité du béton, de valeur ainsi sensiblement plus faible dans les faits que les règlements ne permettaient de l'évaluer, a influé au début de la construction de l'ouvrage sur l'estimation des déformées dues aux phases de bétonnages successives. Le bon réglage initial du tablier a donc été particulièrement compliqué.

*This high cement content was necessary to obtain the required concrete strength from the type of cement used. It resulted in high temperature rises in the concrete. In particular, in the SOPs, the largest part of which is more than 1.20 m thick, temperature rises of around 50°C were recorded in the concrete as it set. With external temperatures commonly in excess of 35°C in summer, Delayed Ettringite Formation could occur. Consequently the concrete mix design was modified slightly for the SOPs (cement content reduced to 420 kg/m<sup>3</sup>) in order to reduce the temperature rise by 3°C. Segments on piers were cast at night during the summer in order to take advantage of lower night-time temperatures.*

*Contrary to customary practice in Portugal, a general waterproofing compound was applied to the deck to prevent water infiltration and thus effectively protect the concrete and its many tendons near the deck surface at substructure units.*

*During the concrete study it was observed that the moduli of elasticity of the concretes did not match the values calculated with different regulations, on the basis of the characteristic 28-day strengths. For example, for a C45 mix, application of the French BPEL design code gave a modulus of elasticity of 39 GPa and the Portuguese REBAP code gave 36 GPa whereas the modulus measured in different trials barely attained 29 GPa, representing a difference of close to 30%. It subsequently became clear that this is not uncommon in the region since the concrete used for the nearby Regua Bridge produced the same results. These values can be explained by the composition of the granitic aggregate in the area. This special feature of the concrete considerably increased the already high flexibility of the structure and complicated control of time-dependent deformation in the event of high bending action effects during construction.*

*It is important to note that the principle of wholly internal prestress was a very real advantage for the Corgo Bridge.*

### 3.2 Geometrical control

*The modulus of elasticity of the concrete, which was in reality appreciably lower than could have been predicted using the design codes, affected early estimates of deformation due to successive concreting phases. It was therefore particularly complicated to achieve proper initial adjustment of the deck.*



Photo 2 : Construction des tabliers au cœur des Vignobles de Porto  
Construction of decks amidst Porto wine vineyards

Le site du Corgo, berceau des vins de Porto, est bien ensoleillé et présente des températures dans une journée estivale qui vont de 15°C le matin à plus de 35°C dans l'après-midi et encore plus en période de canicule. En conséquence, la différence entre la température du hourdis supérieur et celle du hourdis inférieur évolue chaque jour dans la plage de  $-4^{\circ}\text{C}$  à  $+4^{\circ}\text{C}$ . Du fait de faible hauteur du caisson, on a pu calculer (et vérifier) que pour un fléau présentant un porte à faux de 75 m, les déplacements journaliers de l'extrémité du porte à faux dus à ces différences de températures était de 5 mm/°C en différentiel thermique entre les hourdis haut et bas. Cela conduit, par une journée ensoleillée, à un déplacement total de 40 mm au total en bout de fléau. En cours de construction et dans des cas particuliers (par exemple lorsque les fléaux sont clavés et que les déformations peuvent se cumuler) on a pu relever sur le chantier jusqu'à 70 mm d'amplitude verticale. Dans le même ordre d'idées, le tablier est globalement orienté Est-Ouest, les fûts de piles, rectangulaires, sont exposées au soleil successivement sur leur face Est puis Sud puis Ouest. Le phénomène décrit pour le tablier s'applique également ici pour les fûts de pile qui ont tendance à se « vriller » au cours de la journée.

*Set amidst vineyards producing Port wine, the Corgo site is sunny, with summer temperatures varying in the course of the day from 15°C in the morning to more than 35°C in the afternoon, and even more in a heat wave. Consequently the temperature difference between the top and bottom slabs varied by  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ . It was calculated and subsequently verified that, because of the shallow depth of the concrete box girder, for a cantilever with 75 m overhang, the difference in daily displacements at the end of the half-span cantilever due to temperature differences was 5 mm per degree Centigrade of differential between the top and bottom slabs. On a sunny day, this resulted in total vertical displacement of 40 mm at the end of the cantilever. During construction, and in particular cases (when cantilevers have been stitched together and deformations can cumulate), vertical amplitudes of up to 70 mm were recorded on site. Along similar lines, since the deck is basically on an east-west alignment, the piers, which are rectangular in section, are exposed to sun shining on their eastern, then southern, then western faces. The phenomenon described for the deck also occurred for the piers which tended to 'twist' in the course of the day.*

Pour limiter l'influence de ces phénomènes, les levés topographiques qui servent à régler les équipages mobiles ont été réalisés le matin à la première heure, dans des conditions sensiblement équivalentes d'un jour sur l'autre et avant utilisation des grues qui perturbent les mesures du fait de leur liaison sur les fûts.

### 3.3. Clavages des fléaux

Pour limiter les efforts induits par de tels déplacements dans le coffrage, un système de bridage lourd constitué de profilés (HEB300) a dû être installé sur les hourdis inférieur et supérieur. Ce dispositif est classique au Portugal pour ce type de construction.

Il est réalisé d'abord par un bridage des deux extrémités des fléaux en utilisant les profilés de l'équipage mobile placés sur le hourdis supérieur afin de bloquer les déplacements longitudinaux et verticaux qui peuvent avoir lieu du fait des écarts de températures explicités ci-dessus. Puis ce système est ensuite complété à l'aide de profilés placés au niveau du hourdis inférieur (utilisation en buton/tirant) qui assurent la continuité entre les deux fléaux et provisoirement l'encastrement des deux côtés du clavage.

## 4. QUELQUES POINTS PARTICULIERS DE LA CONSTRUCTION

### 4.1 Semelles de fondation

Les fondations s'appuient superficiellement sur des schistes bleus situés à environ 6 m sous le niveau du terrain naturel. Le terrain en place présente fréquemment des pentes de 45° qui rendent difficile l'établissement de pistes d'accès et l'ouverture de fouilles de grandes dimensions. La précontrainte verticale mise en oeuvre dans les fûts de piles est ancrée dans les semelles : les ancrages de précontrainte sont placés sur les faces extérieures des semelles et sont raccordés à des tubes métalliques cintrés qui débouchent verticalement dans les fûts de piles.

Par ailleurs, les semelles des piles doivent tenir compte de l'interface avec la fondation des grues : la hauteur de mât des grues utilisées (jusqu'à 110 m) et leurs caractéristiques (Liebherr 420EC-H20) nécessitant des fondations conséquentes, le chantier a pu éviter d'augmenter les terrassements dans les zones difficiles en ancrant les grues dans des poutres elles-mêmes fixées entre les semelles des piles. L'ouvrage étant formé de deux tabliers parallèles écartés de 19 m à l'axe, tous les appuis sont donc dédoublés et il existe en conséquence un vide entre les deux semelles d'appuis jumeaux.

*To limit the effects of these phenomena, topographical surveys used to adjust travelling-form positions were carried out first thing in the morning, when temperature conditions were roughly the same from one day to the next, and before the cranes started working since, being attached to the piers, their use affected readings.*

### 3.3 Mid-span closure

*it the forces such displacements would induce in the stitching formwork, a heavy clamping system made up of steel sections (HEB300) was installed on the top and bottom slabs. This is a conventional system for this kind of construction in Portugal. It involves first using the beams of the travelling formwork on the top slab to clamp the two half-span cantilevers together and prevent any longitudinal and vertical movement that might be engendered by the temperature differences explained above.*

*This system is then complemented with steel sections placed on the bottom slab (used to exert compressive and tensile forces) which provide continuity between the two cantilever sections and temporarily fix the two sides of the joint together.*

## 4. SPECIFIC CONSTRUCTION FEATURES

### 4.1 Foundation footings

*The foundations are built on blue schist lying close to the surface, about 6 m below the natural ground line. The terrain often slopes at 45°, making it difficult to build access roads and dig large excavations. The vertical prestress in the piers is anchored in the footings: the anchorages are located on the four outer faces of the footings and are connected to curved steel tubes leading into the vertical ducts of the piers.*

*The pier foundations also had to take account of the interface with the crane foundations: the type of crane (Liebherr 420EC-H20) and the height of the towers (110 m) called for substantial foundations, but additional earthworks in difficult areas were avoided by anchoring the cranes to beams fixed between the pier footings. Since the bridge consists of two parallel decks whose centrelines are 19 m apart, the substructure units are in sets of two with a gap between the footings of the twin piers. The foundations of a twin pier unit consist of two 520 m<sup>3</sup> footings (4.00 m high) connected by a system of beams that supported the tower crane.*



L'ensemble de ces deux fondations jumelles est constitué de deux semelles de 520 m<sup>3</sup> chacune (et mesurant 4.00m de haut) reliées entre-elles par une poutraison destinée à supporter la grue à tour.

On notera aussi que deux des quatre piles sont situées sur les rives du Rio Corgo et de son affluent la rivière Tanha. Les crues fréquentes et importantes de ces rivières (élévation du niveau moyen de 6 m en période de crue décennale) rendent la zone des appuis inondable. Le terrain autour des semelles a donc été aménagé et drainé en conséquence.

## 4.2. Piles

Les piles sont creuses de section globalement rectangulaire avec des dimensions de 5,00 m dans le sens longitudinal par 6,50 m dans le sens transversal. Les parties centrales des faces extérieures présentent un décaissé de 15 cm qui permet à la pile de mieux accrocher la lumière. La hauteur des fûts varie entre 15 m et 66 m auxquels il faut ajouter un chevêtre de 2,00 à 3,00 m de hauteur.

Les fûts de piles ont été réalisés par levées de 4,00 m à l'aide de quatre coffrages grimpants DOKA, une talonnette de 15 cm étant bétonnée en même temps que les semelles pour permettre le réglage initial du coffrage. Au total près de 100 levées ont été ainsi réalisées.

Afin d'optimiser le cycle correspondant pour un ensemble de deux piles jumelles au bétonnage des deux fûts tous les trois jours, les aciers étaient préfabriqués sur des plateformes situées au pied des piles.

Pour préserver les caractéristiques des grues lorsque celles-ci devaient être télescopées, les fûts des grues hautes étaient braconnés sur les piles, et dans un souci de facilité les ascenseurs (Intervert) étaient amarrés sur les grues.

## 4.3 Tabliers

### Voussoirs Sur Piles (VSP)

Chaque voussoir sur pile, d'une longueur de 9 m et dont le volume total de béton est de 242 m<sup>3</sup>, a été bétonné en deux phases : hourdis inférieur, âmes et entretoises puis hourdis supérieur. C'est au total 6 semaines qui sont nécessaires pour réaliser un VSP dans sa totalité. Le coffrage, fabriqué en usine au Portugal, était métallique et de conception ERSEM.

Les opérations de montage / démontage des coffrages de VSP justifiaient les 14 tonnes de capacité de charge des grues du chantier.

*Two of the four pairs of piers are on the banks of the Corgo River and its tributary the Tanha. Frequent high floods (the water level rises 6 m for the 10-year flood) mean the foundation area can be submerged. The ground around the pier footings was therefore reprofiled and drained.*

## 4.2 Piers

*The piers are hollow and largely rectangular in section, measuring 5.00 m in the longitudinal direction and 6.50 m transversally. The central part of the outer faces has a 15-cm-deep 'dummy joint' to catch the light and give relief. The pier stems are between 15 and 66 m high and have a 2.00 to 3.00 m deep pier cap at the top.*

*The pier stems were built in 4.00 m lifts using four Doka climbing forms. When the footings were cast a 15 cm high pier kicker was created for the formwork to be fixed to. The project required a total of close to 100 lifts.*

*To optimize the construction cycle for a pair of piers, i.e. one lift in each pier every three days, steel fixing was carried out on platforms at the foot of the piers.*

*To maintain the capacities of the cranes when they were heightened, their tall towers were clamped to the piers, and to facilitate operations the elevators (Intervert) were attached to the crane towers.*

## 4.3 Decks

### Segments-On-Pier (SOP)



**Photo 3: Segment on pier formwork under erection**  
Coffrage d'un voussoir sur pile en cours de montage

*The segments at the tops of piers are 9 m long and have a total concrete volume of 242 m<sup>3</sup>. They were concreted in two phases: bottom slab, webs, and diaphragms first, followed by the top slab. It took a total of six weeks to build an entire SOP. The steel formwork was made in a Portuguese plant to an ERSEM design.*

*Assembly and disassembly of the SOP forms required site cranes with 14-tonne capacity.*



En ce qui concerne les aciers passifs, la densité de ferrailage est importante ( $215 \text{ kg/m}^3$ ), les renforts dans la zone d'ancrage des câbles de précontrainte verticale obligeant même à adapter le coffrage. En conséquence, le tracé des armatures était étudié pour en faciliter la préfabrication au pied des piles ce qui permettait de masquer une partie du temps passé pour la mise en place du ferrailage dans cette partie d'ouvrage située sur le chemin critique.

Au niveau des méthodes et en ce qui concerne les VSP de la pile 4 positionnés sur appuis à pots, une baignoire de 1,00 m de profondeur coiffe le chevêtre. Le coffrage de la sous-face de VSP était réalisé provisoirement à l'aide d'une boîte à sable générale située juste au-dessus du chevêtre. En phase intermédiaire le tablier était positionné sur des appuis provisoires en béton fretté placés sur des boîtes à sable. Ces appuis provisoires étaient retirés au moment des derniers clavages, en fonction des phases prévues à l'étude.

Il y a lieu de noter aussi l'impact de la clothoïde sur la réalisation de cet ouvrage. Pour les voussoirs sur piles concernés, le coffrage qui est plan doit dessiner une surface réglée, soit un écart entre théorique et réel de l'ordre de  $\pm 3 \text{ cm}$  qui a dû être compensé en jouant sur les épaisseurs.

### Travées courantes

La construction des deux tabliers parallèles a été réalisée par encorbellements successifs de voussoirs coulés en place. Chaque demi fléau est découpé en 19 voussoirs courants de géométrie variable : leur sous-face décrit une parabole. D'une largeur de 13 m et d'une longueur de 3,60 m ou 3,45 m selon le tablier réalisé (extérieur ou intérieur), ces voussoirs représentent un volume de béton compris entre  $32 \text{ m}^3$  et  $58 \text{ m}^3$ , suivant leur position le long du fléau.



Photo 4 : Construction des fléaux en encorbellement au-dessus du Rio Corgo  
Construction of cantilevers above Rio Corgo

Pour respecter le planning des travaux (dans lequel un couple d'équipages réalise deux demi fléaux en 3 mois, montage et transfert non compris), le chantier a utilisé 3 paires d'équipages mobiles, chacun d'eux pesant 71 tonnes. Le tracé en plan de l'ouvrage (courbe de rayon 500 m et clothoïde) a rendu complexe l'étude des coffrages.

*The passive reinforcement is dense ( $215 \text{ kg/m}^3$ ), and the extra reinforcement in the area of anchorages for the vertical prestressing tendons required adaptation of the forms. Consequently the reinforcement layout was studied closely in order to facilitate prefabrication at the foot of the piers, enabling part of the reinforcement placement in this part of the structure, which is on the critical path, to be carried out as a background task.*

*In terms of construction method, the tops of the pier caps beneath the No. 4 pier SOPs on pot bearings have a 1-m-deep void allowing access to the bearings. The soffits of the SOPs were formed on a sand box over the entire top surface of the pier caps. In the intermediate phase, the deck was placed on temporary steel-confined concrete bearings on top of sand boxes. The temporary bearings were removed at the time of final cantilever stitching, in accordance with the designed phasing.*

*The clothoid section had a significant effect on construction. For the segments-on-pile concerned, the formwork, which is plane, had to form a twisted surface, with a difference between real and theoretical dimensions of about  $\pm 3 \text{ cm}$ . This was compensated by adjusting thicknesses.*

### Standard spans

*The two parallel decks were built by sequential cantilevering and in situ casting of segments. Each half-span consists of 19 standard variable-depth segments whose soffits are parabolic. The segments are 13 m wide and 3.60 m or 3.45 m long, depending on the deck concerned (inner or outer). Their concrete volume is between  $32 \text{ m}^3$  and  $58 \text{ m}^3$ , depending on their position in the span.*

*To meet the construction schedule (which called for a pair of travelling forms to build two half-span cantilevers in 3 months, including erection and transfer), the project used three travelling forms. Each weighed 71 tonnes. The curved horizontal alignment of the bridge (500 m radius curvature and clothoid section) made the formwork complex. To comply with the required pace of construction (one complete concreting operation every three days in standard sections), reinforcement was prefabricated on bending jigs at the foot of the piles, in two phases: the first for the bottom slab and webs, the second for the top slab.*

*The travelling form was suspended by Macalloy bars whose passive deformation under load can attain 10 mm. The bars were prestressed, resulting in an upward force on the top-slab soffit of close to 70 tonnes, i.e. roughly the same as the load on the top-slab cantilever at the end of concreting. Studies of the travelling-form load path through the concrete box girder showed that substantial passive reinforcement was necessary.*

Pour suivre le rythme (un bétonnage tous les 3 jours en section courante) les aciers étaient préfabriqués sur des gabarits aux pieds des piles en deux phases : la première pour le hourdis inférieur et les âmes, la seconde pour le hourdis supérieur.

L'équipage mobile était suspendu par des tiges Macalloy dont la déformation passive sous charge peut atteindre 10 mm. Ces tiges étaient précontraintes ce qui conduisait à des efforts de soulèvement sous l'encorbellement du hourdis supérieur de près de 70 tonnes, soit à peu près la charge qui s'applique sur le dessus de l'encorbellement à la fin du bétonnage. L'étude de la descente de charge de l'équipage mobile sur le caisson béton a donc nécessité la mise en place de renforts d'armatures passives importants.

### Travées de rive

Dans les travées de rives, les 25 derniers mètres qui assurent la jonction entre la culée et la partie de tablier construite en encorbellement étaient réalisés à l'aide d'un coffrage de type « pont mixte » installé sur de gros profilés posés sur une palée anglaise (tours en profilés HEB300 contreventés en éléments de hauteur 2,00 m). Cet étalement s'appuyait sur les schistes sains par l'intermédiaire de massifs en béton armé. Cette partie de tablier coulé sur cintre était découpée en 5 plots de 3.90 m complété par un clavage avec la partie construite en encorbellements. Le raccord avec la culée est réalisé avec un voussoir sur culée (VSC) de 2,00 m de long qui a été réalisé sur une prédalle, incluant les inserts pour les appuis à pots, et posée sur des boîtes à sable.

### Précontrainte

Un des points remarquables concerne le projet de précontrainte des fléaux : 15 câbles 25C15 et 4 câbles 19C15 ont été disposés au niveau du tablier extérieur contre 10 câbles 19C15 et 9 câbles 25C15 pour le tablier intérieur. Dès que sont installées les cages d'armatures préfabriquées à proximité du chantier, il est procédé à la mise en place de gaines de précontrainte et à l'enfilage des torons. La mise en tension s'effectue entre 6 et 12 heures après le bétonnage du tablier. La précontrainte de continuité se compose de 2 câbles longitudinaux. Dans les travées de rive, ce sont deux séries de 10 câbles de 19T15 et 2 câbles de 25T15 qui viennent s'ancrer au niveau de la culée. La solution retenue consiste à ancrer 7 câbles dans chaque âme en les relevant à l'intérieur des âmes pour les positionner verticalement en ligne à l'extrémité du VSC. Les règles qui s'appliquent aux tracés des câbles de précontrainte obligent alors à épaissir les âmes : de 0,45 m en section courante elles passent à 0,73 m sur culée. Les 5 câbles qui ne peuvent trouver leur place au niveau de la culée ont été disposés dans des bossages au rythme de un bossage par plot sur cintre.



Photo 5: Travelling form  
Equipage mobile de bétonnage

### Landward spans

*For the landward spans, the last 25 metres between the abutment and the cantilevered part of the deck were built with 'composite bridge' formwork resting on large steel beams supported by cribs (towers made from HEB300 steel H-sections braced as 2-m-high units). These props were founded on reinforced-concrete foundation blocks cast on sound schist. This part of the deck cast on falsework was divided into five 3.90-m-long sections and was stitched to the cantilevered part. It was connected to the bank seat by a 2-m-long 'segment-on-abutment' (SOA) built on permanent precast concrete formwork ('planks') which integrated inserts for pot bearings and was placed on sand boxes.*

### Prestress

*One of the outstanding features of the project was the cantilever prestressing system: fifteen 25C15 and four 19C15 tendons were placed in the outer deck, and ten 19C15 and nine 25C15 tendons in the inner deck. As soon as the reinforcement cages fabricated near the workplace were in place, the prestressing tendon ducts were placed and the strands threaded in.*

*The tendons were tensioned between 6 and 12 hours after concreting of the deck. Continuity prestress is provided by two longitudinal tendons. In the landward spans there are two sets of ten 19T15 tendons and two 25T15 tendons which are anchored in the abutment. The prestressing option adopted consists in anchoring seven of these tendons in each web and taking them up inside the webs to form a vertical line at the end of the SOA.*

## 5. CONCLUSION

La construction du pont du Corgo confirme le risque associé à l'idée d'exporter directement des techniques bien maîtrisées en France mais difficilement compatibles avec certains contextes étrangers. La technique portugaise s'est avérée ici mieux adaptée à la maîtrise des déformations différées de cet ouvrage. Elle a progressivement pris le pas sur la conception française d'origine, qui ignorait complètement le contexte particulier des caractéristiques des bétons régionaux, à l'exception des équipages à poutres en sous face et bridés par précontrainte mieux adaptés ici que les classiques équipages suspendus utilisés habituellement au Portugal.

Malgré les difficultés rencontrées, les équipes de travaux ont réussi à construire l'ouvrage avec des cadences d'avancement remarquables au rythme d'un voussoir construit tous les trois jours par équipage mobile.

*Regulations governing tendon alignments call for the webs to be thickened as a result: from 0.45 m in the standard section, web thickness increases to 0.73 m at the abutment. The five tendons that could not be anchored at the abutment are anchored in special blocks (one block per section cast on falsework).*

## 5. CONCLUSION

*Construction of the Corgo River bridge confirmed the difficulties of exporting techniques commonly used in France that, without adaptation, may be inconsistent with certain contexts in other countries. In this case, the Portuguese technique proved to be better for controlling time-dependent deformation. It gradually took over from the initial French design which took no account of the particular characteristics of the regional concretes used. However, French travelling forms with beams prestressed to the underside of the structure proved to be more effective here than the conventional hanging forms customarily used in Portugal.*

*Despite the difficulties encountered, the construction teams succeeded in building the bridge remarkably quickly using travelling forms, at a rate of one complete segment every three days.*



Photo 6 : La lumière du soleil le matin permet d'apprécier la finesse de l'ouvrage  
The morning sun highlights the slenderness of the bridge

## 6. LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

- Concédant

Etat portugais représenté par IEP (Instituto das Estradas de Portugal)

- Concessionnaire

Norscut (50% Eiffage Construction – 25% Contacto – 15% CDC-IXIS – 10% Egis).

- Constructeur

Norinter (69% Eiffage Construction – 31% SEOP filiale portugaise d'Eiffage Construction).

## 6. MAIN PARTIES INVOLVED

- Concession authority

Portuguese Government, represented by IEP (Instituto das Estradas de Portugal)

- Concessionaire

Norscut (50% Eiffage Construction – 25% Contacto – 15% CDC-IXIS – 10% Egis).

- Construction contractor

Norinter (69% Eiffage Construction – 31% SEOP (Portuguese subsidiary of Eiffage Construction)).



## 7. LES PRINCIPALES QUANTITÉS DU PROJET

- Béton : 29.000 m<sup>3</sup> (dont 16.000 m<sup>3</sup> pour le tablier et 13.000 m<sup>3</sup> pour les appuis et fondations)
- Aciers passifs : 4.000 T (dont 2.700 T pour le tablier et 1.300 T pour les appuis et fondations)
- Précontrainte : 970 T (dont 900 T pour le tablier et 70 T pour les piles)
- Surface totale pour les deux tabliers : 16.300 m<sup>2</sup>

## 7. MAIN QUANTITIES

- *Concrete: 29,000 m<sup>3</sup> (16,000 m<sup>3</sup> for the deck and 13,000 m<sup>3</sup> for substructure units and foundations)*
- *Passive reinforcement: 4,000 tonnes (2,700 T for the deck and 1,300 T for substructure units and foundations)*
- *Prestressing steel: 970 tonnes (900 T for the deck, 70 T for the piers)*
- *Total surface area of both decks: 16,300 m<sup>2</sup>*