

UN PONT EXTRADOSSÉ EN BÉTON PRÉCONTRAIT : LE PONT DE KEONG AN (CORÉE)

AN EXTRADOSED PRESTRESSED CONCRETE BRIDGE: KEONG AN BRIDGE (KOREA)

Serge MONTENS, Mohammed AKRAA
Systra

1. INTRODUCTION

En 2001, SYSTRA a collaboré avec l'entreprise Hyundai (HDEC) et le bureau d'étude Dong Il Engineering pour la réponse à un appel d'offres conception-construction pour l'autoroute Songnam-Janghowon en Corée. Le pont principal sur cette autoroute est le pont de Keong An.

Ce pont comporte un ouvrage principal qui traverse la rivière Keong An, et des viaducs d'accès de part et d'autre. Le pont doit supporter deux chaussées à trois voies. Il a été décidé de conférer à ce pont une architecture particulièrement soignée, car c'est un grand ouvrage, situé au pied d'une colline et traversant une rivière importante. La traversée de la rivière devait être mise en valeur par une structure spéciale.

2. ETUDE DE CONCEPT

L'étude de concept a été réalisée par SYSTRA et l'architecte français B+M Architecture. Au stade du concept, différentes variantes ont été proposées.

1. INTRODUCTION

In 2001, SYSTRA worked with Hyundai Engineering & Construction Co. (HDEC) and Dong-Il Engineering company, in order to answer a turnkey design and construction competition for the Songnam-Janghowon highway project in Korea. The main bridge on this highway is the Keong An bridge.

This bridge includes a central main bridge which crosses the Keong An river, and approach viaducts on both sides. The bridge has to support two carriageways with three lanes. It has been chosen to give a special aesthetic appearance to this bridge, because it was a long bridge, situated at the foot of a high hill, and it crosses a main river. So, the crossing of the river should be emphasized by a special structure.

2. CONCEPTUAL DESIGN

The conceptual design was performed by SYSTRA and the French architect B+M Architecture. At the conceptual design stage, various options were proposed.

De façon à permettre aux usagers de l'autoroute de voir les spécificités de ce pont, il était nécessaire de concevoir une structure qui soit vue par les automobilistes.

Les structures qui répondent au problème sont les ponts haubanés, les ponts extradossés, et les ponts en arc avec arc supérieur. Un pont haubané aurait été trop agressif dans ce paysage. Nous avons donc proposé un pont en arc et un pont extradossé.

Pour des raisons économiques, il était intéressant d'utiliser le même type de tablier tout le long du pont. Sur le plan architectural, il était aussi intéressant d'avoir le même type de tablier sur la totalité du pont, d'une culée à l'autre, et plus précisément d'avoir la même épaisseur et la même forme extérieure de tablier.

Pont en arc

Un arc central, d'environ 180 m de portée, supporte un tablier en caisson mixte acier-béton.

Des deux côtés de l'arc, deux béquilles équilibrent une partie de la poussée de l'arc, en créant un effort normal de traction dans le tablier.

In order to allow the users of the highway to see the specificity of this bridge, it was necessary to provide a structure that could be seen by the users when they cross the bridge. Such structures are cable-stayed structures, extradosed cables structures, and arches with arch above deck level. Cable-stayed bridges could appear too aggressive in this site, so we proposed here an arch bridge and an extradosed bridge.

For economical reason, it was interesting to use the same type of deck throughout the length of the bridge. On the architectural point of view, it was also interesting to have the same type of deck on the whole bridge, from one abutment to the other, and specially to have the same deck thickness and deck external shape.

Arch bridge

A central arch bridge, spanning about 180 m, supports a composite box-girder.

On both sides of the arch, two inclined legs balance a part of the arch horizontal thrust, creating tension axial force in the deck.

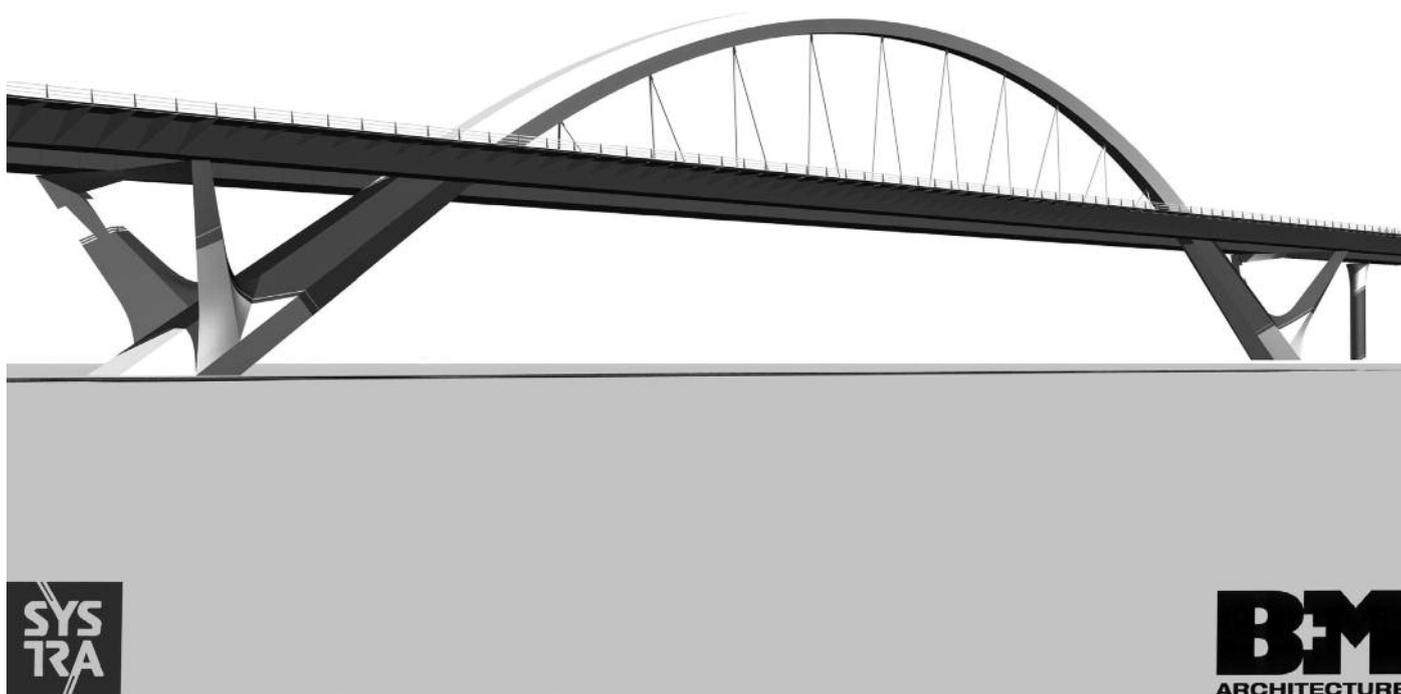


Fig. 1. Concept de pont en arc / Arch bridge concept

Pont extradossé

Le pont extradossé à trois travées (70-130-70 m) comporte un tablier en caisson en béton précontraint de 30 m de largeur. Un plan central de haubanage a été choisi pour des raisons esthétiques.

Les piles situées sous les pylônes comportent trois fûts. Un fût central est sous le pylône. Deux fûts latéraux inclinés supportent les côtés du tablier large. Ils sont reliés en tête par une traverse précontrainte.

Extradosed bridge

An extradosed bridge with three spans (70 – 130 – 70 m) has a prestressed concrete box-girder, 30 m wide. A central plane was chosen for the extradosed cables and the pylons, for aesthetic reasons.

The piers located at the pylons include three shafts. One central shaft is located below the pylon. Two inclined lateral shafts support the sides of the wide deck. There are linked by a top prestressed transverse beam.

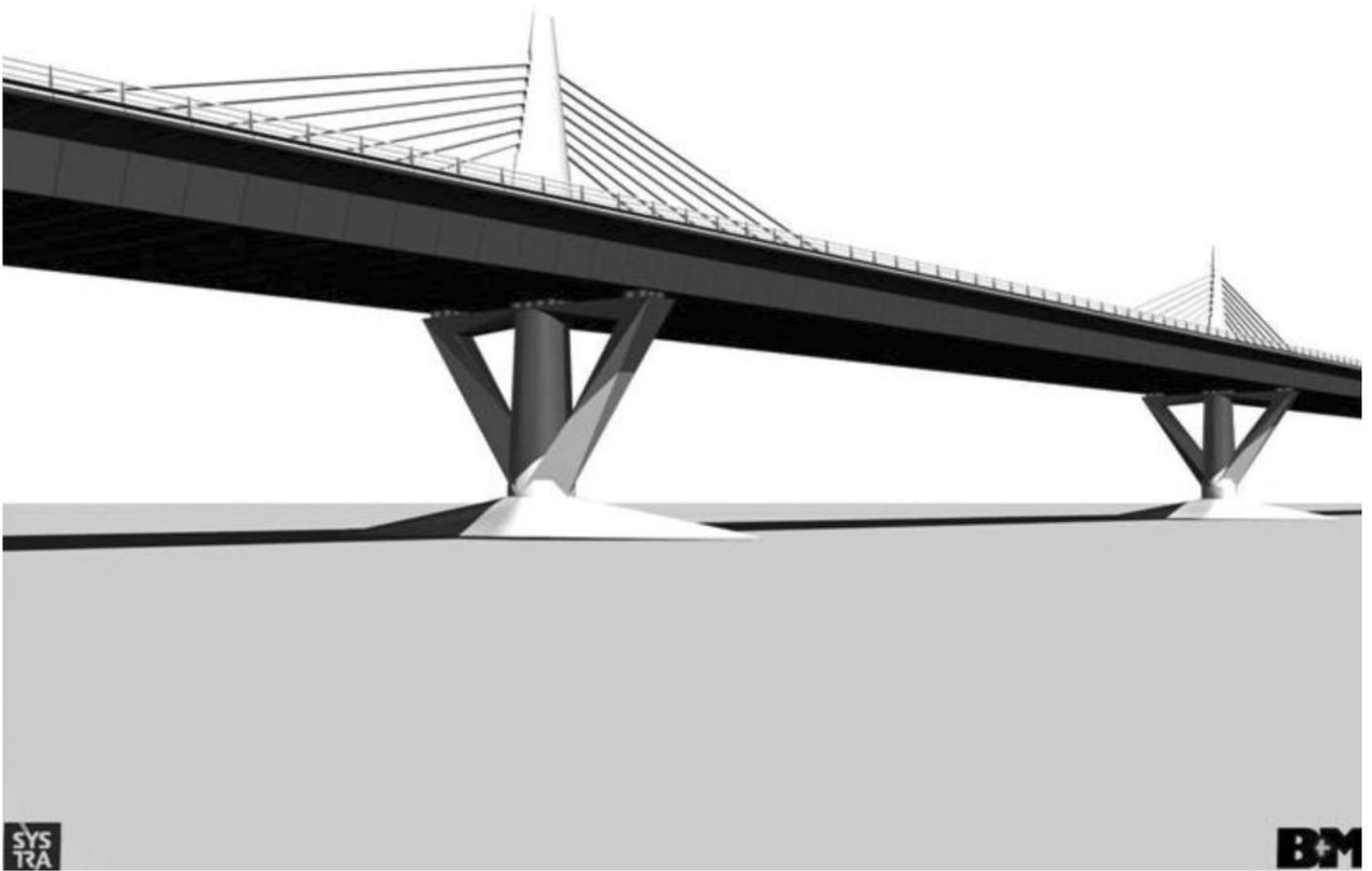


Fig. 2. Concept de pont extradossé / Extradosed bridge concept

Plusieurs variantes ont été étudiées pour le tablier : un caisson à cinq âmes, ou un caisson avec seulement deux âmes et des bracons intérieurs et extérieurs. Finalement l'entreprise a préféré un caisson à cinq âmes.

Several alternatives were designed for the deck. It could be a box-girder with five webs, or with only two webs with internal and external struts. Finally, the contractor chose the box-girder with five webs.



Fig. 3. Concept de pont extradossé dans le paysage / Extradosed bridge concept in landscape

Ce concept extradossé a été choisi par l'entreprise pour le concours conception-construction.

This extradosed bridge concept was chosen by the contractor for the design and build competition.

3. ÉTUDE DÉTAILLÉE

3. DETAILED DESIGN

Généralités

General

Le concept de pont extradossé a été imaginé par J. Mathivat en France, et a été développé d'abord en Europe et au Japon.

Extradosed cables bridge concept has been imagined by J. Mathivat in France, and has then been developed, first in Europe and in Japan.

Les avantages des ponts extradossés comparés aux ponts classiques construits par encorbellement sont les suivants :

- Les ponts extradossés permettent un tablier plus fin que les tabliers classiques, à portée égale. C’est un avantage car les charges du vent sur le tablier seront plus faibles, donc les efforts du vent dans le tablier, les piles et les fondations seront plus faibles. C’est aussi un avantage sur le plan architectural car l’impact du tablier dans le paysage sera réduit.
- Les tabliers extradossés nécessitent moins de béton, car la majorité du moment fléchissant sur pile est équilibrée par les câbles extradossés, qui ont un bras de levier beaucoup plus grand que les câbles de précontrainte dans un pont en encorbellement classique, ce qui permet de réduire beaucoup la compression dans le hourdis inférieur.

Les avantages des ponts extradossés comparés aux ponts haubanés sont les suivants.

- Les ponts extradossés nécessitent des pylônes beaucoup moins hauts que les ponts haubanés. Donc les pylônes sont plus faciles à construire. C’est également un avantage architectural dans ce site car les pylônes s’inscriront plus facilement dans le paysage que de hauts pylônes.
- Les câbles extradossés sont beaucoup plus courts que des haubans, donc ils créent moins d’effort de vent dans la structure, et ils sont moins susceptibles de vibrer sous l’action du vent ou des charges d’exploitation. Ils ont moins sensibles à la fatigue que les haubans dans les ponts haubanés, et nécessitent moins de maintenance.

The advantages of extradosed bridges compared to classical cantilever bridges are:

- *Extradosed bridges need a thinner deck than classical bridges for a given span. This is an advantage because the wind loads will be lower, so the wind forces in the deck, the piers and the foundations, will be lower. This is also an advantage on the architectural point of view because the impact of the thin deck in the landscape will be lighter.*
- *Extradosed bridges need less concrete in the deck, because most of the bending moment at the piers is balanced by the extradosed cables, which have a much higher level of arm than prestressing cables in a classical cantilever bridge, so that the compression force in the deck bottom slab is much lower.*

The advantages of extradosed bridges compared to cable-stayed bridges are:

- *Extradosed bridges need much lower pylons than cable-stayed bridges. So the pylons will be easier to build. This is also an architectural advantage in this site since the low pylons will blend more easily in the landscape than high pylons.*
- *Extradosed cables are much shorter than stay cables, so they induce less wind forces in the structure, and they are less susceptible to vibrations under wind or live loads. Extradosed cables are less sensitive to fatigue than stay cables in cable-stayed bridges, and require less maintenance.*

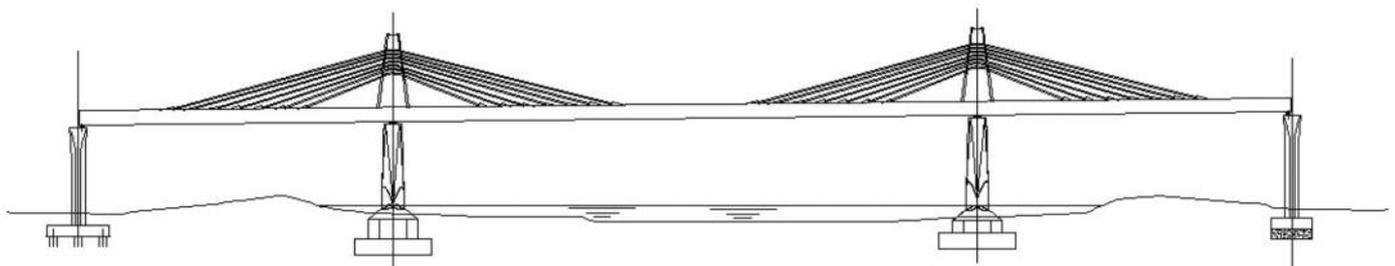


Fig. 4. Élévation / Elevation

Tablier

Chaque tablier des viaducs d’accès est un caisson en béton précontraint. Dans le pont principal, les deux tabliers sont rassemblés en un tablier unique en caisson à cinq âmes. Il y a des joints de dilatation entre le pont principal et les viaducs d’accès. Le pont principal est composé d’une travée centrale de 130 m et deux travées latérales de 70 m. Le pont est rectiligne en plan et possède une pente longitudinale de 1,06 %. Le tablier est un caisson trapézoïdal en béton précontraint. Son épaisseur est de 3m au droit des axes longitudinaux des caissons des viaducs d’accès, et 3,128 m dans l’axe principal du tablier. Des âmes extérieures inclinées sont meilleures pour des raisons architecturales, et aussi pour diminuer les charges de vent sur le tablier.

Deck

Each deck of the approach viaducts is a prestressed concrete box-girder. In the main bridge, the two decks are assembled together into a single box-girder with five webs. There are expansion joints between the main bridge and approach viaducts. The main bridge is composed of a 130 m central span and two 70 m side spans. The bridge has a straight alignment and a 1.06 % slope.

The deck is composed of a prestressed concrete trapezoidal box-girder. Its depth is 3 m at the location of the longitudinal axis of the single box approach viaducts, and 3.128 m at main deck axis. Inclined external webs are better for architectural reason, and also in order to decrease the wind loads on the deck.

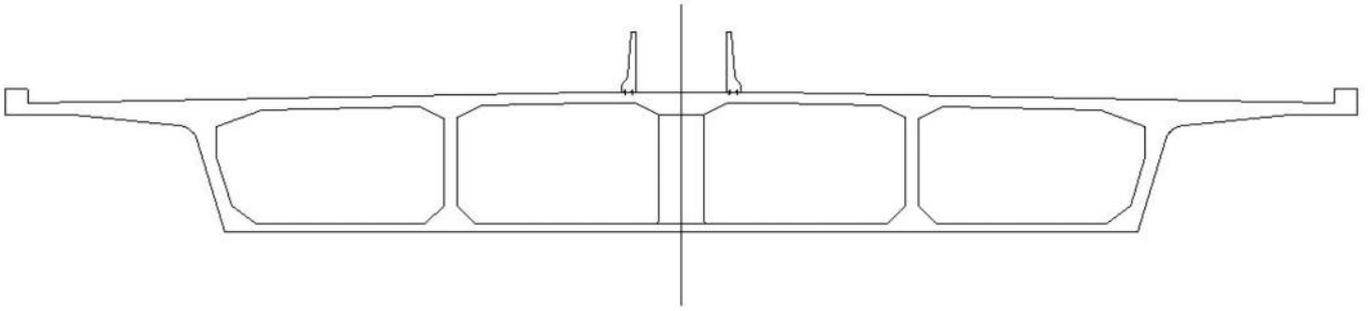


Fig. 5. Coupe transversale du tablier / Deck cross section

Du fait de la travée modérée (130 m), il n'est pas nécessaire de donner une épaisseur variable au tablier. Le tablier est ainsi plus facile à construire. Une augmentation d'épaisseur du tablier au droit des piles n'aurait pas tellement d'avantage car la majorité (87 %) du moment négatif sur pile est équilibré par les câbles extradossés, et seulement 13 % est équilibré par les câbles de précontrainte.

La pente transversale du tablier est de 2%. La largeur des viaducs d'accès est de 14 m. Sur le pont principal le tablier a une largeur de 30 m, incluant une bande centrale de 2 m. Une suspension centrale a été choisie car elle donne au pont une meilleure apparence qu'une suspension latérale. Les voussoirs ont une longueur de 2,50 m, qui s'accorde à l'espacement de 5 m des ancrages des câbles extradossés. Le hourdis supérieur a une épaisseur de 250 mm minimum. Les âmes ont une épaisseur de 300 mm, sauf pour l'âme centrale dont l'épaisseur est variable de 200 mm à 1 m. Le hourdis inférieur a une épaisseur de 180 mm, sauf près des piles principales où il a une épaisseur de 250 mm. Il n'y a pas de risque de voilement car le rapport maximum largeur/épaisseur vaut 26, ce qui n'est pas une valeur élevée. Des diaphragmes sont placés au droit des ancrages des câbles extradossés dans le tablier. Ils ont 300 mm d'épaisseur. Des diaphragmes de 2 m d'épaisseur sont placés sur piles.

Le tablier est précontraint longitudinalement par :

- des câbles de fléau intérieurs placés dans le hourdis supérieur (12T15),
- des câbles éclisses intérieurs placés dans le hourdis inférieur dans la travée centrale (12T15),
- des câbles de continuité extérieurs dans la travée centrale (19T15), qui sont ancrés près des bossages d'ancrage des câbles extradossés.

Les câbles de précontrainte extérieure sont déviés par des diaphragmes.

Due to the moderate span (130 m), it is not necessary to have variable depth for the deck. The deck is then easier to build. An increased deck depth on main piers would not have any significant advantage since most (87 %) of the negative bending moment at these piers is equilibrated by extradosed cables, and only 13 % is equilibrated by pre-stressing tendons.

The transverse slope of the roadway is 2 %. The width of the approach decks is 14 m. In the main bridge, the deck width is 30 m, including a 2 m median strip.

A central suspension by extradosed cables has been chosen because it gives a better appearance to the bridge than lateral suspension. The segments have a length of 2.50 m, which matches with the extradosed cables anchorages 5 m spacing.

The top slab has a 250 mm minimum thickness. The webs are 300 mm thick, except the central web, whose thickness is variable from 200 mm to 1 m. The bottom slab is 180 mm thick, except near the main piers where it is 250 mm thick. There is no risk of plate buckling because the maximum ratio width/thickness is 26, which is not a high value.

Diaphragms are provided at the location of extradosed cables anchorages in the deck. They are 300 mm thick. Diaphragms 2 m thick are provided on piers.

The deck is longitudinally prestressed by:

- cantilever internal tendons placed in the top slab (12T15),
- continuity internal tendons placed in the bottom slab in the central span (12T15),
- continuity external tendons placed in the main span (19T15), which are anchored next to the extradosed cables concrete anchorage blocks.

External prestressing cables are deviated by diaphragms.

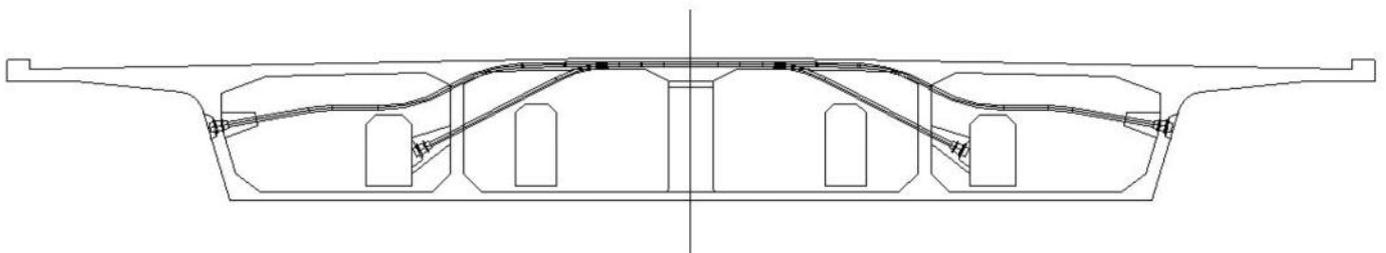


Fig. 6. Diaphragme précontraint / Diaphragm prestressing

Le hourdis supérieur est précontraint transversalement par des câbles 4T15 (3 câbles par voussoir). Les diaphragmes typiques sont précontraints par 2 câbles 12T15. Les diaphragmes sur les piles principales sont précontraints par 4 câbles 19T15.

Câbles extradossés

Il y a sept câbles extradossés de part et d'autre des pylônes, espacés de 5 m au niveau du tablier, en configuration de semi-éventail, déviés sur les pylônes par des selles. Ce schéma a été optimisé. La configuration en semi-éventail est plus efficace que la configuration en harpe car les câbles équilibrent une composante verticale plus importante.

Des selles ont été utilisées à la place de doubles ancrages dans les pylônes, car c'est plus économique, et cela permet de réaliser des pylônes plus minces. Il n'y a pas de problème de fatigue du fait des variations de contrainte modérées sous charges d'exploitation.

Chaque câble extradossé comporte 91 torons T15 de 140 mm². Les selles sont composées de tubes métalliques intérieurs injectés et de tubes métalliques extérieurs encastés dans le béton, de façon à permettre le remplacement des câbles.

Les câbles extradossés sont composés de torons parallèles galvanisés gainés individuellement dans une gaine de PEHD remplie de cire. L'ensemble des torons individuellement protégés est placé dans une gaine en PEHD non injectée. Les gaines en PEHD individuelles sont retirées dans les selles, pour une meilleure adhérence des torons avec l'injection au ciment ou à l'époxy.

Les câbles extradossés sont réglables (leur tension peut être modifiée durant la vie de la structure) et remplaçables. Les forces non équilibrées de part et d'autre du pylône sont transmises au pylône par l'intermédiaire d'anneaux en acier soudés aux tubes métalliques intérieurs.

Un emplacement suffisant prévu devant les ancrages des câbles extradossés permet leur mise en tension à l'aide d'un vérin. Les câbles extradossés ont été tendus en deux phases. Du fait de la longueur modérée des câbles, il n'est pas prévu d'amortisseur, mais il restera possible d'en mettre à l'extrémité inférieure.

Il est possible de supporter des charges d'exploitation réduites durant le remplacement d'un câble extradossé.

Piles et pylônes

Les piles principales sont constituées par un fût central cylindrique de 5 m de diamètre à la base, deux fûts latéraux inclinés transversalement, et une traverse supérieure. La traverse supérieure est précontrainte par 8 câbles 19T15.

Les fondations des piles principales sont orientées dans la direction de la rivière pour des raisons hydrauliques et esthétiques.

Les fondations des piles P14, P15 et P16 sont des semelles. La pile P13 est fondée sur des pieux de 1,5 m de diamètre (6 par semelle).

Le tablier est supporté sur les piles principales et les piles de transition par des appareils d'appui en élastomère à noyau de plomb. Ces appareils d'appui allongent les

The top slab is transversely prestressed by 4T15 tendons (3 tendons every segment). The typical diaphragms are prestressed with 2 x 12T15 tendons. The diaphragms on main piers are prestressed with 4 tendons 19T15.

Extradosed cables

There are seven extradosed cables on both sides of the pylon, spaced 5 m at deck level in a semi-fan configuration, and deviated in the pylons through steel saddles. Their layout has been optimized. Semi-fan configuration is more efficient than harp configuration, because cables can then balance a higher vertical load.

Saddles have been used instead of double anchorages in the pylons, because it is more economical, and it allows designing a more slender pylon. No fatigue problem is anticipated due to the moderate stress variation under live loads.

Each extradosed cable has 91 T15 strands (140 mm²each). The saddles are made of a grouted internal steel pipe and an external steel pipe embedded in the concrete, so that the extradosed cables can be replaced.

Extradosed cables are made of parallel galvanized strands individually sheathed with HDPE sheath with wax. The bundle of individually protected strands is encased in an ungrouted HDPE pipe. Individual HDPE sheaths are removed within the saddles, for better bonding of the strand with cement or epoxy grout.

The extradosed cables are adjustable (their tension can be adjusted during service life) and replaceable. Unbalanced extradosed cables forces on both sides of the pylon are transmitted to the pylon through steel rings welded to the internal steel pipes.

Sufficient place is provided in front of the extradosed cables anchorages in the deck in order to place jacks. The extradosed cables have been tensioned in two phases.

Due to the moderate length of the cables no damping device is anticipated, but it will always be possible to place some dampers at the bottom end of the cables.

Reduced live load can be maintained on the bridge during replacement of an extradosed cable.

Piers and pylons

Main piers are made of a central circular shaft, 5 m diameter at the base, and transverse inclined shafts and a pier cap. The pier cap is prestressed with 8 x 19T15 tendons.

Main pier foundations are orientated in the river stream direction for hydraulic and esthetic reasons.

Foundations of main piers P14, P15 and pier P16 are footings. Pier P13 is founded on 1.5 m diameter piles (six per footing).

The deck is supported on main piers and lateral piers through lead-rubber bearings. These bearings lengthen the vibration periods of the bridge, and have a high damping ratio, in order to reduce seismic loads, both longitudinally and transversely.

périodes de vibration du pont, et ont aussi un grand coefficient d'amortissement, de façon à réduire les charges sismiques, à la fois longitudinalement et transversalement.

Du fait de la hauteur modérée des piles, il n'était pas possible de fixer le tablier aux deux piles, parce que les forces dues aux variations linéaires du tablier (température, retrait, fluage) auraient été trop grandes.

Il n'était pas intéressant de fixer le tablier sur une pile et de le laisser glisser sur l'autre, car les efforts sismiques longitudinaux auraient été repris entièrement par une pile, ce qui aurait exigé son renforcement, ainsi que pour sa fondation.

Les pylônes ont 16,25 m de hauteur. Ils ont une section elliptique variable. Ils ont 2 m de largeur au niveau du tablier, et s'affinent à 0,55 m au sommet.

Les formes des piles des viaducs d'accès sont utilisées aussi pour les piles de transition entre le pont principal et les viaducs d'accès.

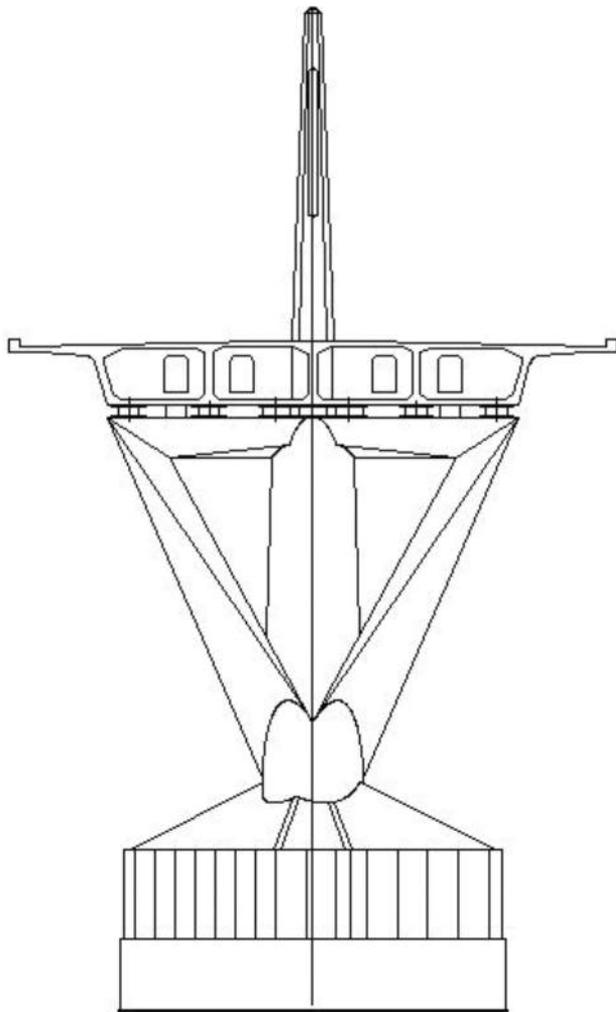


Fig 7: Pylône et pile / Pylon and pier

Construction

Les principales phases de construction sont:

- construction des fondations et des piles,
- construction des travées latérales sur échafaudages, y compris le premier voussoir de la travée centrale et les pylônes,

Due to the moderate height of the piers, it was not possible to fix the deck to the piers, because the forces induced by deck linear variations (temperature, prestressing, creep, shrinkage) would have been too high.

It was not interesting to use fixed pot bearings on one pier and sliding pot bearings on the other pier, because longitudinal seismic loads would have been taken entirely by one pier, which would have required strengthening this pier and its foundation.

Pylons are 16.25 m high. They have a variable elliptical section. They are 2 m wide at the deck level, and taper to 0.55 m at the top.

Approach viaducts pier shapes are used also for the transition piers between approach viaducts and main bridge.

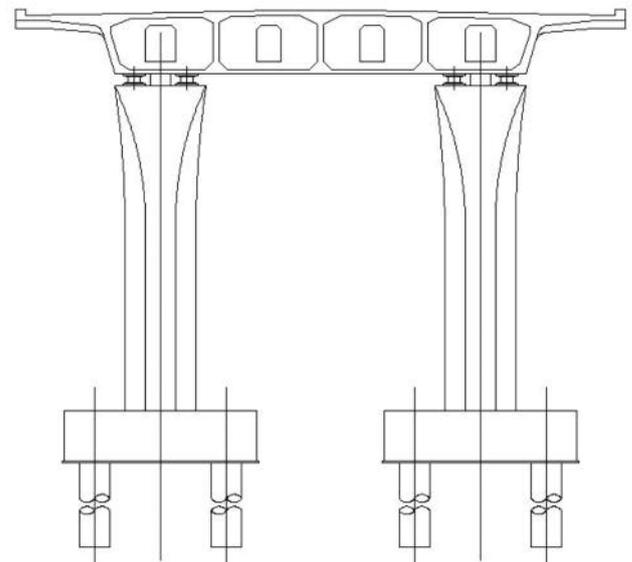


Fig 8: Pile de transition / Transition pier

Construction

Main construction phases are:

- *building foundations and piers,*
- *building side spans on full scaffoldings, including first segment of main span, and pylons,*

- construction de la travée centrale par encorbellement avec un équipage mobile, avec la précontrainte de fléau et les câbles extradossés,
- mise en tension des câbles de continuité dans les travées latérales et la travée centrale,
- mise en place des superstructures,
- démontage des échafaudages des travées latérales,
- mise en tension finale des câbles extradossés

- *building main span by cantilever with travelling formwork, with cantilever prestressing and extradosed cables,*
- *tensioning continuity prestressing in the main span and the side spans,*
- *placing superimposed dead loads,*
- *removing scaffoldings in side spans,*
- *final tensioning of extradosed cables.*

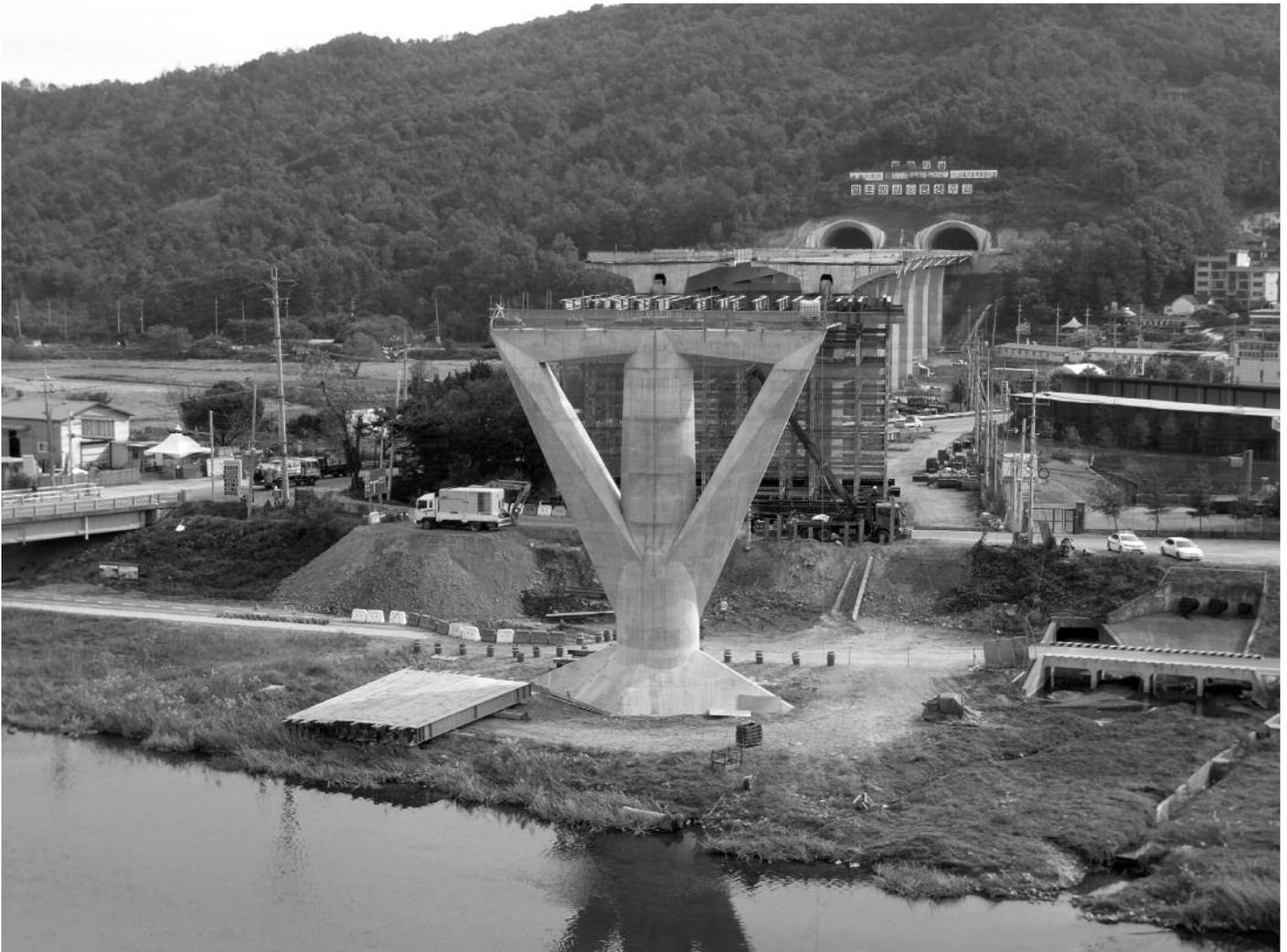


Fig. 9. Construction de la pile / Pier construction



Pier 10: Construction par encorbellement / Cantilever construction

SYSTRA a aussi étudié la construction de la travée centrale sur échafaudages. Le schéma de précontrainte a été adapté en conséquence. La quantité de précontrainte totale a ainsi été réduite de 23 %. Mais finalement le tablier a été construit par encorbellement.

La construction du pont s'est terminée en 2013.

SYSTRA studied also the construction of the main span on scaffolding. The prestressing scheme was adapted accordingly. The total longitudinal prestressing quantity was then reduced by 23 %. But finally, the deck was built by cantilever.

The bridge construction was finished in 2013.



Fig 11: Pont terminé - vue générale / Finished bridge - general view



Fig 12: Pont terminé - vue sur le tablier / Finished bridge - view on the deck