

# Travaux

n° 814

• Un pont levant pour le sixième franchissement de la Seine à Rouen

• RN 104 - La Francilienne. Elargissement à 2 x 3 voies entre A6 et A5 et construction d'un nouvel ouvrage de franchissement sur la Seine

• Roissy : le dernier maillon des viaducs de franchissement des aéroports 2

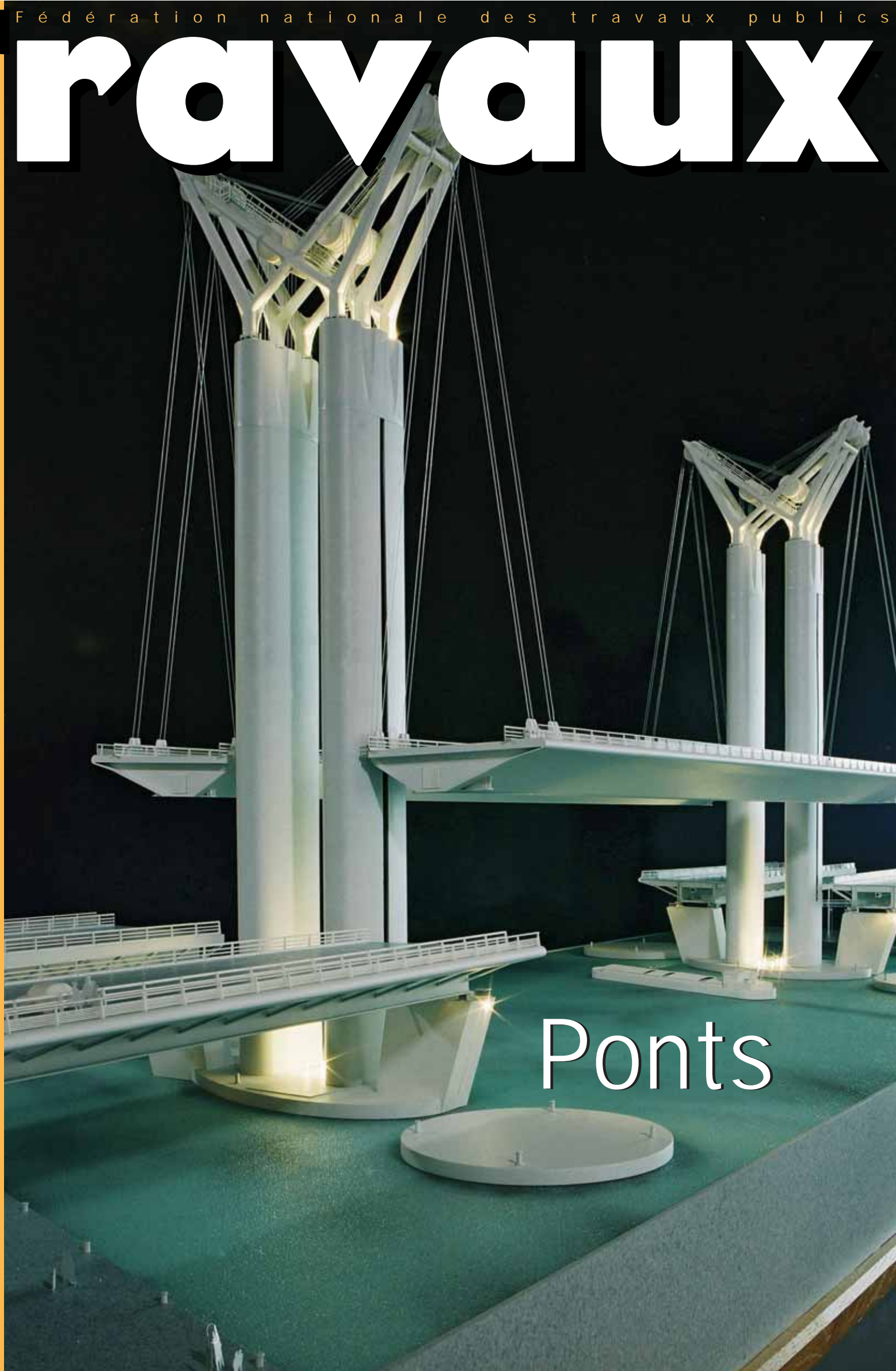
• Bordeaux : le pont de Pierre se protège

• Déviation nord-est de Clisson. Le viaduc sur la Moine

• Le tablier du viaduc de la Sèvre Nantaise à Clisson

• Les ouvrages brevetés Matière type Unibridge

• Chine : ponts anciens en pierre. Région Shaoxing, province Zhejiang



## Ponts

# sommaire

**Travaux**  
numéro 814

décembre 2004

Ponts



Notre couverture

**Le futur pont levant sur la Seine à Rouen**

© E. Bienvenu - Maquette : B.E.M. (Rouen)

## DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Roland Girardot

## RÉDACTION

Roland Girardot et André Colson  
3, rue de Berri - 75008 Paris  
Tél. : (33) 01 44 13 31 83  
colsona@fnfp.fr

## SECRÉTAIRE DE RÉDACTION

Françoise Godart  
Tél. : (33) 02 41 18 11 41  
Fax : (33) 02 41 18 11 51  
francoise.godart@wanadoo.fr

## VENTES ET ABONNEMENTS

Agnès Petolon  
10, rue Clément Marot - 75008 Paris  
Tél. : (33) 01 40 73 80 05  
revuetravaux@wanadoo.fr

France (11 numéros) : 180 € TTC  
Etranger (11 numéros) : 225 €  
Etudiants (11 numéros) : 75 €  
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)

## MAQUETTE

T2B & H  
8/10, rue Saint-Bernard - 75011 Paris  
Tél. : (33) 01 44 64 84 20

## PUBLICITÉ

Régie Publicité Industrielle  
Martin Fabre  
61, bd de Picpus - 75012 Paris  
Tél. : (33) 01 44 74 86 36

Imprimerie Chirat  
Saint-Just la Pendue (Loire)

*La revue Travaux s'attache, pour l'information de ses lecteurs, à permettre l'expression de toutes les opinions scientifiques et techniques. Mais les articles sont publiés sous la responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se réserve le droit de refuser toute insertion, jugée contraire aux intérêts de la publication.*

*Tous droits de reproduction, adaptation, totale ou partielle, France et étranger, sous quelque forme que ce soit, sont expressément réservés (copyright by Travaux). Ouvrage protégé : photocopie interdite, même partielle (loi du 11 mars 1957), qui constituerait contrefaçon (Code pénal, article 425).*

**Editions Science et Industrie S.A.**  
3, rue de Berri - 75008 Paris  
Commission paritaire n° 0106 T 80259

éditorial

Daniel Tardy

1

actualités

10

techniques  
et matériaux

19

matériels

20

## PRÉFACE

Jean-Paul Teyssandier

21



◆ Un pont levant pour le sixième franchissement de la Seine à Rouen  
- *A lift bridge for the sixth crossing over the Seine in Rouen*

*Divers auteurs*

22



◆ RN 104 - La Francilienne. Elargissement à 2 x 3 voies entre A6 et A5 et construction d'un nouvel ouvrage de franchissement sur la Seine  
- *National highway 104 - "La Francilienne". Enlargement to a three-lane dual-carriageway road between the A6 and A5 and construction of a new bridge over the Seine*  
*Ph. Renier, N. Barasz*

38



◆ À Roissy, le dernier maillon des viaducs de franchissement des aéroports 2. Sous le chantier, la vie continue...  
- *In Roissy, the last link on the viaducts passing through the No. 2 air terminals. Under the construction site, life goes on...*

*R. Vandernotte, J.-Ch. Dupoux, P. Bandera, D. Nortier*

45



◆ Le pont de Pierre se protège. Protection des piles du pont de Pierre à Bordeaux pour le passage des éléments de l'Airbus A380  
- *The Stone Bridge is protected. Protecting the piers of the stone bridge in Bordeaux for crossing by Airbus A380 components*

*J. Garrissou, M. Morvan, E. Naudé*

50

# Sommaire

décembre 2004

Ponts

Dans les prochains numéros

Environnement

Viaduc de Millau

International

Travaux  
souterrains

Routes

Sols  
et fondations

Terrassements

Recherche  
et innovation



◆ Déviation nord-est de Clisson. Le viaduc sur la Moine  
- *Diversion northeast of Clisson. The viaduct over the Moine*

J.-Cl. Bouley

56



◆ Le tablier du viaduc de la Sèvre Nantaise à Clisson  
- *The deck of the Sèvre Nantaise viaduct at Clisson*

R. Dubois, F. Belblidia, N. Moronval

64

◆ Un concept de ponts métalliques industriels, modulables et évolutifs. Les ouvrages brevetés Matière type Unibridge

- *A variable-configuration, modular, industrial steel bridge concept. Unibridge type Matière patented structures*

Ph. Matière

71



◆ Ponts anciens en pierre de la région Shaoxing de la province de Zhejiang en Chine

- *Existing antique stone bridges in Shaoxing Region, Zhejiang Province, China*

L. Guangzhou, T. Jianghong, D. Dajun

76



répertoire  
des fournisseurs

87

## ABONNEMENT TRAVAUX

Encart après p. 48

### INDEX DES ANNONCEURS

ARCADIS .....	4È DE COUVERTURE	JMB MÉTHODES .....	DE 6 À 9
ARCELOR PROFIL .....	4	LEDUC .....	44
BALINEAU .....	55	RICHARD DUCROS .....	13
CNETP .....	37	SATECO .....	17
CTS .....	11	SCETAURROUTE .....	2È DE COUVERTURE
ENERPAC .....	2	SEVA FIBRAFLEX / SAINT-GOBAIN .....	18
HUNNEBECK FRANCE .....	4	SPIE BATIGNOLLES .....	2
IHC .....	37		

Quelques mois après l'inauguration du pont de Rion-Antirion et au moment où le viaduc de Millau s'achève, l'actualité nous amène tout naturellement à parler des très grands ouvrages.

Au sein de la population des ponts, constituée dans son immense majorité de spécimens plus modestes, les très grands ouvrages occupent une place à part : ils servent à la fois de laboratoire et de vitrine.

De laboratoire car, de par leur enjeu technique et financier, ils explorent souvent des voies nouvelles, faisant du même coup progresser la technique pour l'ensemble du domaine. Ils constituent par ailleurs le seul secteur de la construction qui fasse encore rêver. Leur notoriété franchit les frontières, avec des retombées positives, y compris pour le recrutement de nos jeunes ingénieurs.

Pour en revenir aux deux ouvrages déjà cités, je dirai qu'ils représentent deux tendances différentes :

- le pont de Rion s'inscrit dans la lignée des "défis techniques". Depuis le début des années 90, de très grands ouvrages ont été entrepris, essentiellement pour franchir de vastes bras de mer : Storebelt, Oresund, Honshu-Shikoku, Confederation, Tage, Severn...

Cette population continuera à s'agrandir et, de ce point de vue, Rion constitue un pas important par son recours massif aux techniques de l'offshore ;

- le viaduc de Millau, lui, s'inscrit dans la lignée des "gestes architecturaux" : sa conception n'est pas rigoureusement dictée par les difficultés du site – bien d'autres solutions étaient possibles – mais par la volonté de marquer le paysage d'une empreinte particulière. C'est une démarche qui se retrouve également dans d'autres projets, tels Stonecutters ou East Bay.



■ JEAN-PAUL  
TEYSSANDIER

Président  
de Gefyra SA

Pour finir, quelle place occupe la France dans le domaine de très grands ponts ? De premier plan, pensent beaucoup... en France. De l'étranger la perception est quelque peu différente... Dans l'hexagone deux ouvrages retiennent l'attention : Normandie et Millau, et encore n'oublions pas que la travée centrale du premier n'est même pas française... A l'international, seule une entreprise française est présente sur ce créneau – avec un palmarès certes honorable.

Mais l'ingénierie française y est hélas à peu près totalement absente. Et l'avenir de très grands ponts ne se joue pas au sein de

l'hexagone, mais en Extrême-Orient, en Amérique, Nord et Sud, et plus près de nous en Italie... Y serons-nous présents ?

Une fois les lampions de la fête éteints, nous devrions nous rendre à l'évidence : dans ce domaine comme dans d'autres, la France n'est qu'une puissance moyenne. Et encore, cette place ne lui est-elle pas acquise de droit.

Le sixième pont sur la Seine à Rouen, situé en aval des cinq ponts existants, est la pièce maîtresse d'une nouvelle liaison directe entre l'autoroute A13 au sud et l'autoroute A150 au nord. Pour permettre au trafic maritime, paquebots de croisière et grands voiliers de l'Armada (grande manifestation rassemblant de nombreux voiliers), de remonter jusqu'au pont Guillaume le Conquérant à proximité du centre-ville, ce sera un pont levant, de 120 m de portée et de 55 m de tirant d'air. Le tablier est constitué de deux poutres-caissons entièrement métalliques, indépendantes, de 1 300 t chacune. Les tours de levage, placées entre les travées, reçoivent l'ensemble des mécanismes de levage, qui par soucis de simplicité, de robustesse et d'efficacité, sont à câbles et contrepoids. Elles sont constituées de deux fûts oblongs en béton, couronnés par une charpente métallique en "papillon" qui permet, par un judicieux croisement des systèmes de levage, une parfaite adéquation de la structure avec l'épure des forces. L'ensemble viendra s'inscrire harmonieusement à l'interface entre le centre historique de Rouen dominé par sa cathédrale et les bâtiments et équipements portuaires, créant ainsi un lien symbolique entre le passé et le futur de la ville.

# Un pont levant pour franchissement de

## Le contexte général du projet

### *La problématique*

Le projet, intitulé liaison Sud III-A150, est le dernier maillon de voie rapide à réaliser entre l'autoroute A13 et l'autoroute A150 à l'ouest de l'agglomération. Il permettra :

- ◆ de détourner le trafic nord-sud du centre-ville de Rouen ;
- ◆ de faciliter la desserte de l'ensemble des activités économiques et portuaires de l'ouest de Rouen ;
- ◆ d'améliorer l'environnement et de favoriser le développement urbain des quartiers ouest de l'agglomération en déchargeant les voies urbaines existantes d'une part importante de leur trafic actuel.

### *Bref historique du projet*

Imaginé dans le milieu des années 60, il apparaît pour la première fois au Schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme (SDAU) de février 1972. Reste qu'une très longue maturation a été nécessaire pour parvenir à arrêter un tracé définitif. Deux problématiques étaient sous-jacentes : la première, liée à l'évolution des points de vue sur l'aménagement urbain depuis les années 70, notamment concernant la place de l'automobile dans la ville, a entraîné le décalage du projet, initialement prévu en centre ville, vers la limite des zones urbaines. La deuxième, liée à l'évolution de l'activité portuaire se déplaçant également vers l'aval, a repoussé la frontière entre la ville et le port, entraînant d'autant plus le déplacement du projet vers l'ouest.

### *Choix du pont levant*

L'ensemble des solutions possibles pour le franchissement de la Seine a été envisagé.

Le tunnel, séduisant de prime abord, était la solution de loin la plus coûteuse, aussi bien en investissement qu'en fonctionnement. Cette solution posait également des problèmes de raccordement à la voirie existante étant donné l'éloignement des entrées du tunnel par rapport à la Seine du fait de la profondeur nécessaire.

Le pont fixe à gabarit fluvial, solution la moins coûteuse, supprimait toute possibilité d'accueil des navires de haute mer en amont du pont, et empêchait donc l'organisation des grands rassemblements de voiliers comme l'Armada et l'accostage des navires de croisière près du centre-ville.

Le pont fixe à gabarit maritime, nécessitant des rampes d'accès très importantes, posait des difficultés d'intégration harmonieuse au milieu urbain environnant.

Le pont mobile a donc été la solution de compromis qui permettait, pour un coût nettement inférieur à celui d'un tunnel, de laisser passer des navires à grand gabarit.

Etant donné les contraintes de portée (120 m), d'écoulement de la Seine (qui interdisait les constructions trop volumineuses en Seine), d'aménagement des quais en espaces de loisir, la solution "pont levant" (déplacement à la verticale du tablier), est apparue comme la plus adaptée par rapport à d'autres solutions de ponts mobiles (basculant ou tournant).

### *Choix de la procédure de concours de maîtrise d'œuvre*

Les pylônes du pont levant ayant un fort impact sur le paysage rouennais, le maître d'ouvrage a souhaité favoriser la créativité technique et architecturale en retenant la procédure de concours de maîtrise d'œuvre. Des quatre propositions présentées, le jury a retenu le 23 décembre 1999 le projet du groupement de concepteurs EEG Simecsol (devenu Arcadis) - Michel Virlogeux - Aymeric Zublena - Eurodim - SERF (figure 1).

### *Organisation en phase étude et la mission confiée au lauréat*

La DDE de Seine-Maritime est maître d'ouvrage et maître d'œuvre général de l'opération comprenant le pont levant, les viaducs d'accès et les raccordements routiers de ces ouvrages à la voie rapide Sud III et à l'autoroute A150. La mission confiée au lauréat du concours est une maîtrise d'œuvre particulière d'études pour le pont levant et les viaducs d'accès. Elle comprend les éléments avant-projet, projet, assistances pour la passation des contrats de travaux et visa des plans d'exécution, ainsi qu'une mission de suivi de chantier pour la partie mécanismes.



**Alain De Meyère**

**DIRECTEUR ADJOINT**

Direction départementale de l'Équipement de Seine-Maritime

# le sixième la Seine à Rouen

## La conception de l'ouvrage



Figure 1  
Vue d'ensemble  
General view

Michel Virlogeux  
Consultant



Aymeric Zublena  
Architecte DPLG



Bernard Gausset  
Arcadis



Michel Moussard  
Arcadis



Jean-Pierre Ghilardi  
Eurodim



Rémy Desbats  
Serf



### LE SITE DU FRANCHISSEMENT ET SES CONTRAINTES

#### La logique du projet

Les ponts existants permettent la circulation fluviale mais le pont Guillaume le Conquérant marque la limite de la navigation maritime.

La construction d'un nouvel ouvrage ne doit pas réduire la zone portuaire, notamment pour les navires de croisière qui doivent pouvoir accoster au plus près du centre-ville. En outre, la ville accueille tous les quatre ou cinq ans les plus grands voiliers du monde lors de l'Armada.

Cet événement majeur attire une foule considérable (plusieurs millions de visiteurs) et contribue au rayonnement de la ville et de la région, et indirectement à son économie. L'ouvrage à construire doit donc permettre le maintien de l'activité portuaire et le passage des grands voiliers, avec un gabarit de 55 m au-dessus des plus hautes eaux navigables.

#### Les contraintes

Le règlement du concours fixait les contraintes principales :

- ◆ le gabarit de navigation doit avoir une largeur droite de 86 m ;
- ◆ en position basse le pont doit permettre la circulation fluviale et dégager un gabarit de 7 m au-dessus des plus hautes eaux navigables ;
- ◆ en position complètement ouverte, le pont doit dégager un gabarit de 55 m en hauteur pour livrer passage aux navires de croisière, à ceux de la Marine Nationale et aux plus grands voiliers ;
- ◆ les piles en rivière doivent pouvoir résister à un choc de 4000 t exercé à 7 m au-dessus de l'eau ;
- ◆ chaque tablier doit pouvoir être levé séparément ;
- ◆ chaque tablier doit porter une chaussée routière comprenant de droite à gauche une BAU de 2,50 m, trois voies de 3,50 m et une bande dérasée de 50 cm, complétée pour le franchissement de la Seine par un trottoir de 2,50 m pour la circulation des piétons de quai à quai.

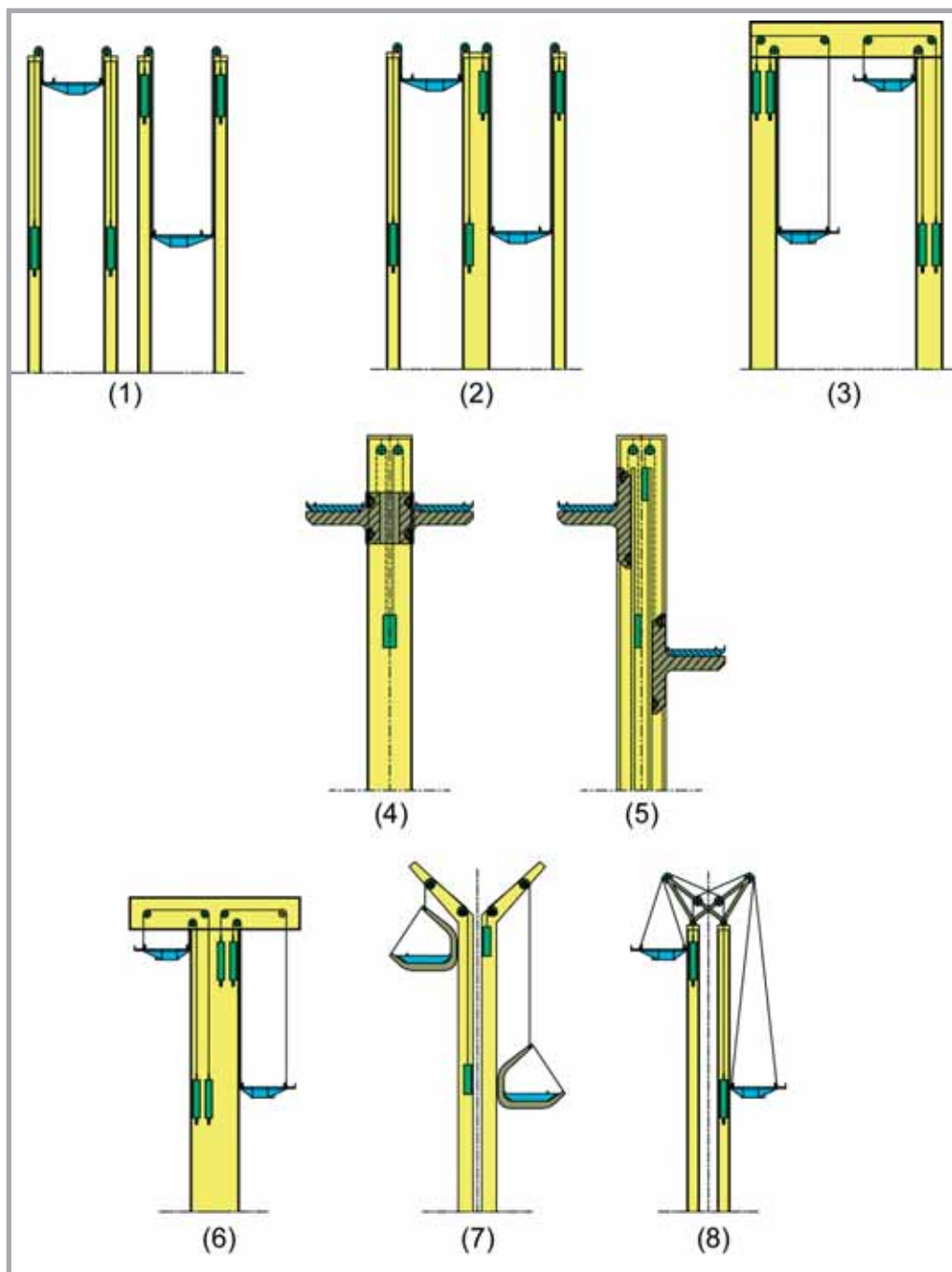


Figure 2  
Conception des tours  
Design of the towers



Mais ce n'est pas tout. L'ouvrage ne doit pas constituer un obstacle à l'écoulement des eaux, en particulier en période de crue, ce qui impose de limiter l'emprise des piles en rivière. C'est d'autant plus difficile que le franchissement est biais, à 78 degrés. L'encombrement du lit par les piles doit être jugé parallèlement à l'écoulement, et il apparaît nécessaire pour cela de disposer les piles en biais, avec un alignement dans le sens du courant de la Seine, et une forme allongée dans le sens de la rivière.

La largeur de l'ouvrage est déterminée par le profil en travers des voies portées. Les trottoirs s'arrêtent sur chaque rive au niveau de la première pile à terre, avec des escaliers pour permettre de passer du quai au tablier; bien entendu, il faut prévoir un accès pour les personnes à mobilité réduite. Au-dessus de la Seine, la largeur totale de chaque tablier est ainsi de 17 m.

### Les solutions techniques envisageables - Réflexions du concepteur lors du concours

Plusieurs types de ponts mobiles auraient permis de répondre à ces contraintes.

Une première solution aurait consisté à construire un pont à haubans tournant autour d'une pile en rive gauche, constitué de deux fléaux symétriques de 175 m de portée chacun. Il aurait eu un mât en V renversé et il aurait tourné sur une couronne de 22 à 25 m de diamètre avec des dispositions tout à fait classiques malgré le poids. Pour assurer la stabilité de l'ouvrage, des vérins seraient gonflés sur chacune des deux culées après remise en place du tablier, de façon à créer une réaction d'appui convenable. Il s'agit d'une structure simple et rustique malgré des portées de 175 m et un poids élevé; une structure bien adaptée, avec son mât et ses haubans, à un paysage portuaire. Par contre il aurait fallu condamner le quai en rive gauche sur les 200 m à l'aval du pont pour permettre les manœuvres. Le principal avantage – outre la limitation des ouvrages en superstructure – aurait été la réduction du nombre des piles en rivière, une seule pile mince vers la rive droite.

Une autre solution aurait été un pont busqué. Elle consiste à rabattre deux fléaux basculants qui, fermés, vont constituer un arc; l'arc fermé suspend un tablier, ou plutôt deux demi-tabliers. Cette solution – à la différence de la précédente – permet de diviser l'ouvrage en deux structures parallèles, portant chacune une chaussée. Mais un tel ouvrage présente quelques inconvénients: comme il ne peut pas être basculé à 90 degrés, ne serait-ce que pour des raisons de géométrie, la portée doit être nettement supérieure à 100 m. En outre, il faut construire des piles très larges pour accueillir les contrepoids lors de l'ouverture, piles qui constituent des obstacles majeurs à l'écoulement des crues.

On peut aussi évoquer – ne serait-ce que pour des raisons historiques – l'idée d'un arc franchissant la Seine et suspendant un tablier dont la partie centrale pourrait être levée par des câbles à partir de l'arc. Mais cette solution cumule les inconvénients: une portée de plus de 200 m, des fondations délicates et coûteuses du fait de l'importance de la poussée, l'emprise au sol des naissances de l'arc, la mauvaise protection contre les chocs de bateaux des éléments latéraux du tablier qui restent en place et surtout la complexité du système de manœuvre des câbles qui jouent en même temps le rôle de suspentes et celui de câbles de levage.

La dernière solution est évidemment celle d'un pont levant. C'est celle qui a été choisie par le maître d'ouvrage, en particulier parce qu'elle permet de donner à la travée mobile une portée relativement modeste, comprise entre 110 et 120 m. Le concours

a donc été limité de façon très explicite aux ponts levants, en exigeant en outre – pour des raisons de sécurité, et surtout pour conserver une chaussée en service pendant les manœuvres d'essai et de maintenance – que l'ouvrage soit divisé en deux tabliers manœuvrables indépendamment l'un de l'autre.

## ■ LA DÉMARCHE GÉNÉRALE DE CONCEPTION

### L'impact dans le site - La conception des tours

Le problème majeur est celui de l'impact des tours de levage dans le site de Rouen. Avec une tour – ou plus exactement un système de tours – de chaque côté des travées à lever, d'environ 80 m de hauteur, l'ouvrage va fortement marquer le paysage. Notre démarche a donc eu comme premier objectif de réduire autant que possible le volume des tours. La solution la plus classique consiste à lever chaque tablier par une paire de tours à chaque extrémité (figure 2, schéma 1), ou plutôt ici au moyen de trois tours, la tour centrale servant au levage des deux tabliers (figure 2, schéma 2). Mais l'impact de huit, ou même seulement ici de six tours dans la zone portuaire nous a semblé interdire cette famille de solutions.

Une autre option consiste à créer un portique – presque à l'échelle de l'Arche de la Défense – permettant de lever les tabliers depuis la traverse supérieure (figure 2, schéma 3). Là encore, la structure a paru très lourde, et nous avons écarté cette idée. Il faut ajouter que le biais du franchissement est un sérieux handicap pour toutes ces solutions : pour limiter l'obstacle que constituera l'ouvrage à l'écoulement des crues, il faudrait aligner les tours parallèlement au courant et donc concevoir un ouvrage biais, avec toutes les difficultés techniques et architecturales que cela implique.

Nous avons donc recherché une solution avec une tour unique, placée entre les deux tabliers. Une telle solution limite l'encombrement des tours dans le site et facilite la conception d'un ouvrage droit – mécaniquement et architecturalement préférable – qui ne constitue pas un obstacle hydraulique majeur malgré le biais.

L'idéal aurait été de lever les deux tabliers en même temps, placés sur un chevêtre commun hissé à partir de la tour centrale ; mais l'exigence d'indépendance des opérations de levage des deux tabliers l'interdisait (figure 2, schéma 4). Il ne nous a pas paru opportun de reprendre ce principe pour lever chaque tablier séparément, porté par un chevêtre indépendant, car l'équilibrage du poids en porte-à-faux aurait généré des efforts considérables sur les galets de guidage, sources d'une usure rapide (figure 2, schéma 5).

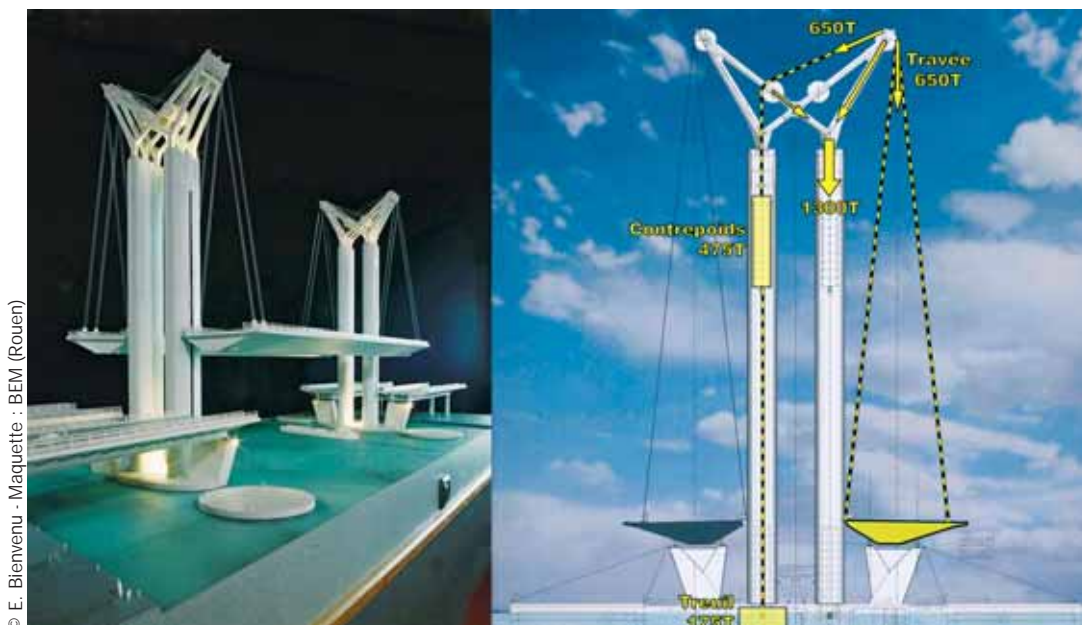


Figure 3  
Les tours  
The towers

Nous avons donc retenu le principe de levage direct des tabliers par des câbles. L'idée la plus simple consiste à suspendre les deux tabliers à une poutre supérieure portée par la tour centrale, avec des câbles de levage verticaux qui les encadrent (figure 2, schéma 6). Mais nous avons préféré rechercher une solution qui permette de réduire la longueur des bras en n'ayant qu'un seul point de levage par tablier, à la verticale de son centre de gravité. Une première possibilité consistait à accrocher le tablier à une série de câbles verticaux, au droit de son centre de gravité, par une poutre en C qui dégage le passage des véhicules (figure 2, schéma 7). Pour éviter d'introduire une nouvelle pièce dans la structure et en simplifier les lignes, nous avons finalement retenu l'idée de Jean-Pierre Ghilardi de suspendre le tablier par deux séries de câbles inclinés, ancrés de part et d'autre de la chaussée routière et levés depuis un point unique, à la verticale du centre de gravité (figure 2, schéma 8).

Nous avons enfin décidé de dédoubler cette tour centrale en deux fûts pour en alléger l'aspect.

La tour (figure 3) doit en effet jouer plusieurs rôles :  
◆ elle doit être capable de reprendre la charge verticale que représente le poids du tablier en cours de manœuvre et celui des contrepoids. Mais c'est relativement facile compte tenu de la légèreté relative de la travée levante ;

◆ elle doit surtout laisser le passage aux contrepoids qui montent et descendent à l'intérieur, ainsi qu'à toute la câblerie ;

◆ elle doit ménager les accès nécessaires à la visite, à l'entretien et à la maintenance de l'ouvrage, avec un escalier et un monte-charge ;

◆ dans sa partie inférieure, enfin, elle doit loger les treuils qui servent à monter et descendre les deux tabliers de la travée mobile, avec leurs moteurs et tous leurs équipements.

Les dimensions des deux fûts qui constituent chaque tour sont déterminées par la taille des blocs poulies sur lesquels passent les câbles de levage et



► les paliers qui les portent, mais aussi par la taille des contrepoids qui y sont logés et la nécessité d'assurer des accès pour la visite et l'entretien. Chaque tour a ainsi été constituée de deux fûts de 4,35 m de largeur et de 9,5 m de longueur, de forme pseudo-elliptique pour favoriser la transparence.

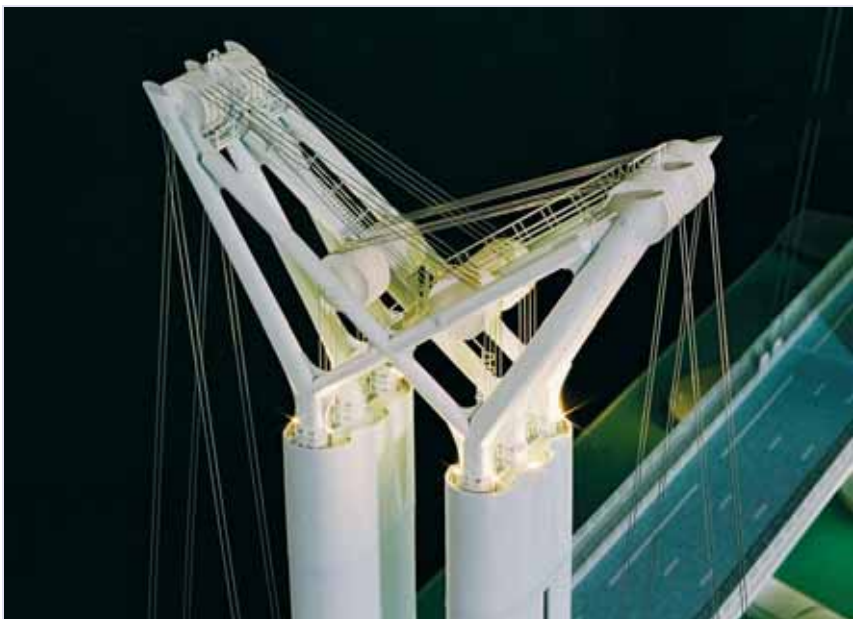


Figure 4  
"Papillons"  
"Butterflies"

#### La conception des têtes (figure 4)

Nous avons jugé que la conception de la partie supérieure des tours aurait un impact majeur sur l'architecture d'ensemble. Nous voulions à la fois réduire le volume des structures portant les poulies de levage des travées, et donner à l'ouvrage une image liée aux activités portuaires et maritimes. L'idée s'est rapidement imposée d'une transition entre des tours en béton et une structure en treillis métallique par-dessus, pour porter toute la câblerie et les systèmes de poulies. Nous avons décidé de placer l'ensemble des éléments de levage à l'extérieur pour alléger la structure, en la réduisant à l'essentiel, et pour rendre parfaitement lisible pour le profane le fonctionnement de la machinerie de levage. Ce n'est pas une contrainte très forte pour la durabilité des pièces et des câbles car on sait aujourd'hui les protéger contre la corrosion ; de nombreuses structures portuaires – ne serait-ce que les grues – sont là pour en témoigner. Nous avons ensuite cherché à organiser la structure en tête des tours de telle façon qu'elles ne subissent que des charges verticales. Après de nombreuses recherches, et en développant une idée de Michel Moussard, nous avons pu y parvenir en faisant passer dans la tour aval les contrepoids qui équilibrent le tablier amont, et réciproquement ; grâce à un choix judicieux de l'écartement entre les deux tours et de la position des poulies, le bras portant les poulies de levage se

trouve sur la bissectrice de l'angle formé par le câble, portant le tablier d'un côté et attachant le contrepoids de l'autre ; les câbles suspendant les contrepoids sont à nouveau déviés par des poulies de renvoi, et le bras portant les poulies de renvoi se trouve sur la bissectrice de l'angle formé par le câble ; et pour terminer, grâce à la géométrie choisie, les efforts de compression provenant des deux bras arrivant en tête d'un fût se composent pour produire une charge verticale (figure 2).

Trois fermes "en papillon" portent ainsi l'ensemble de la câblerie en tête de chaque paire de tours, ce qui limite les efforts de compression dans les différents éléments aux environs de 600 t. Il a donc été possible de les constituer de tubes en acier de 1,00 m de diamètre, avec des pièces mécano-soudées aux intersections et pour porter les poulies. Pour une plus grande élégance de ces pièces, Aymeric Zublena a donné une forme pseudo-conique aux tubes principaux en introduisant entre deux demi-tubes deux plaques triangulaires, une de chaque côté. Les nœuds de liaison sont raidis par des plaques d'enfourchement qui assurent le transfert de la plus grande partie des efforts.

#### La structure du tablier

L'objectif essentiel, dans le cas d'un pont mobile, est la légèreté. Le poids du tablier a en effet un coût direct, mais il détermine surtout le prix des câbles et des mécanismes de levage.

C'est la raison pour laquelle la plupart des ponts levants ou basculants de grande portée ont un tablier à poutres latérales en treillis. Nous avons cependant écarté cette solution, d'abord parce qu'elle est généralement d'une esthétique discutée, mais aussi parce que nous souhaitons assurer l'unité de l'ensemble de l'ouvrage, travées d'accès et travées mobiles.

Nous avons préféré un tablier en caisson orthotrope. Formellement plusieurs solutions étaient envisageables :

- ◆ un caisson de pleine largeur, de forme trapézoïdale ;
  - ◆ un caisson à pièces de pont ;
  - ◆ un caisson étroit à pièces de pont dont les grands encorbellements latéraux sont soutenus par des bracons ;
  - ◆ ou un tablier de type bipoutre à pièces de pont.
- Lors du concours nous avons choisi un caisson étroit, avec des bracons pour porter les hourdis latéraux, car c'est une structure à la fois légère et élégante. Dans le dessin le plus simple, le caisson est centré sous les trois voies routières, avec le trottoir en encorbellement vers l'extérieur (figure 5, schéma 1). Bien entendu, les câbles de levage encadrent la chaussée routière pour que les pièces qui les attachent se trouvent dans le prolongement des bracons, n'apparaissant que comme des bracons particuliers, plus puissants que les autres.

Mais le point de levage ne se trouve pas ainsi au-dessus du centre de gravité du tablier. Pour recentrer les charges sous le point de levage, il faut décaler assez nettement le caisson vers l'intérieur, côté tour. Cela conduit logiquement à un profil nettement dissymétrique (figure 5, schéma 2) ; logiquement parce que le trottoir à l'extérieur est léger et ne porte que des charges modestes, et surtout parce que le levage se fait de l'intérieur, à partir des tours situées entre les deux tabliers. C'est à l'échelle de l'ensemble de l'ouvrage, avec ses deux tabliers et ses tours, qu'il faut rechercher une symétrie. Nous avons même accentué la dissymétrie des caissons en éliminant les bracons intérieurs et en inclinant l'âme intérieure pour supprimer presque complètement l'encorbellement intérieur (figure 5, schéma 3).

Nous avons donné au caisson une hauteur de 3,50 m, à l'échelle de la portée de la travée mobile qui est de 120 m (1/34,29). Il aurait évidemment été possible de diminuer un peu cette hauteur, mais nous ne l'avons pas souhaité pour réduire les risques de vibrations : la travée mobile est en effet isostatique, et donc particulièrement sensible à l'effet dynamique des charges, qu'elles soient produites par le trafic automobile ou l'action du vent. A titre de référence, la travée "suspendue" du pont de Chevire a une hauteur de 5,20 m dans l'axe pour une portée de 162 m (1/31,15). Comme nous le verrons, nous avons ensuite été amenés à modifier cette section transversale au cours des études de projet.

### Les piles principales

Toute la difficulté consiste à dessiner des appuis orientés selon les écoulements de la Seine qui puissent porter un ouvrage mécaniquement droit. Nous avons dessiné un large socle – capable par ses dimensions de résister aux chocs de bateaux – de forme elliptique et dirigé selon le courant. Il porte les deux fûts de la tour, qui sont alignés perpendiculairement à l'axe longitudinal de l'ouvrage et donc en biais par rapport au socle.

Pour ne pas élargir le socle – et donc pour ne pas obstruer le lit de la Seine – le tablier d'accès et la travée levante ne s'y appuient pas directement, mais sur des fûts inclinés transversalement, dont la partie extérieure sort de l'emprise de la pile. Ce système réduit sensiblement l'influence de l'ouvrage sur les écoulements et donc sur le niveau des crues. La dissymétrie du tablier, qui reporte le caisson vers l'intérieur, est un élément particulièrement favorable dans la mesure où elle a permis de ramener les fûts au plus près des socles. Les piles sont arasées un mètre au-dessus du niveau des quais et dépassent de quelques décimètres le niveau des plus hautes eaux connues, et donc a fortiori des plus hautes eaux navigables, si bien que ce sont elles qui subiraient les chocs

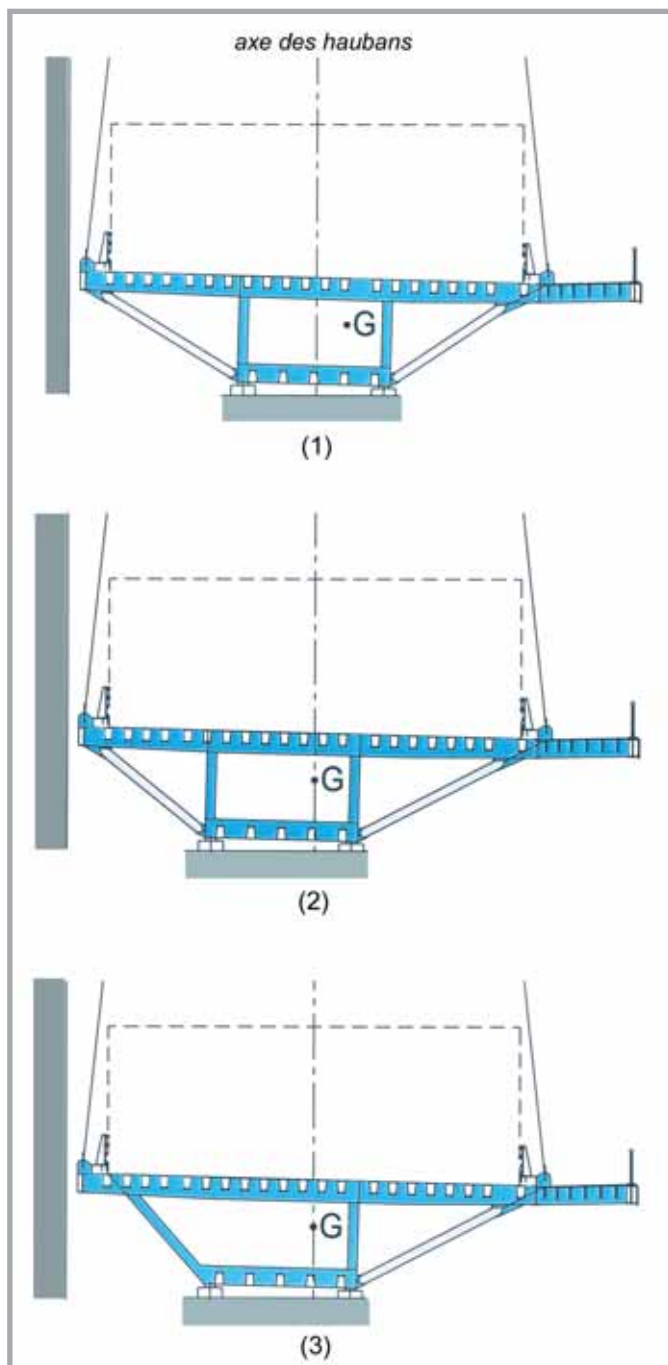


Figure 5  
Section transversale  
(concours)

*Cross section  
(design competition)*

éventuels de bateaux. Les fûts et les tabliers ne pourraient recevoir des chocs que des parties en superstructure des bateaux, d'intensité nettement plus faible, et ils peuvent être dimensionnés en conséquence.

Toutefois, dans le cadre des études de projet, le maître d'ouvrage a accepté notre proposition de prévoir des gabions de protection des appuis en rivière, un à l'amont et l'autre à l'aval, pour protéger les appuis et la partie fixe des tabliers adjacents des chocs directs.

### Les viaducs d'accès

Les viaducs d'accès, d'une longueur de 145 m pour le viaduc nord et de 404 m pour le viaduc sud, ont

► un impact visuel moins fort que celui du pont levant, mais cela ne veut pas dire que leur architecture soit indifférente. Lors du concours de conception nous avons donc donné à leurs tabliers la même forme qu'à ceux de la travée levante pour assurer l'unité d'ensemble de la structure; il a fallu toutefois diminuer la hauteur du caisson dans les zones de franchissement des voiries urbaines, dont certaines sont à grand gabarit, sur les deux rives; et pour éviter un hiatus aux jonctions entre la travée levante et les travées d'accès, nous avons fait décroître linéairement la hauteur du tablier de chaque côté depuis la pile en rivière jusqu'à la culée. De 3,5 m à 2,2 m pour le viaduc nord et à 2,71 m pour le viaduc sud.

En ce qui concerne les piles, nous les avons voulues discrètes et ramassées, pour bien laisser la vedette à la partie principale du franchissement, la travée levante. Elles sont donc constituées de deux fûts pleins, un sous chaque tablier, de forme pseudo-elliptique pour assurer l'harmonie avec les piles principales, et alignés selon des parallèles à la rivière, aux quais et aux différentes voiries pour s'inscrire au mieux dans le site.

Il pourrait paraître étonnant de souhaiter un ouvrage droit au niveau des piles principales et des piles biaises à terre; mais tel est bien notre objectif: les tours – qui ont des dimensions considérables et se voient de loin – seront jugées par rapport à la ligne générale du pont et doivent être droites; tandis que les piles à terre ne se verront qu'au niveau local et seront jugées par rapport aux quais, aux voiries et aux bâtiments, ce qui impose le biais.

La distribution des travées découle des contraintes d'implantation, mais aussi des choix que nous avons faits et du souci d'une transition harmonieuse: les portées décroissent sur chaque rive depuis la travée levante jusqu'aux culées.

Cela assure une progressivité des portées et correspond bien à la diminution progressive de la hauteur du caisson. Les portées varient de 39,45 m à 71,99 m.

### Conclusion: l'architecture d'ensemble

L'architecture de cet ouvrage exceptionnel résulte donc de choix techniques et de notre objectif architectural de simplicité et de légèreté: nous avons voulu réduire le volume des tours et de tous les équipements de levage en tête pour une meilleure inscription dans le site; nous avons conçu des structures très simples, qui ne sont soumises qu'à des efforts de compression (en dehors des effets du vent), en évitant les formes complexes qui sont le plus souvent régies par des phénomènes de mode, mais aussi pour assurer un fonctionnement structurel sain et contrôler le coût de construction. Cette simplicité est un gage d'efficacité, d'élégan-

ce et de lisibilité des structures pour les usagers. C'est aussi un gage de durabilité des structures et de bon fonctionnement de la machinerie; les pièces, travaillant essentiellement en effort normal, se déforment peu, ce qui facilite la conception de la câblerie, son fonctionnement et sa maintenance.

## ■ OUVRAGES ANNEXES ET ÉQUIPEMENTS

### Escaliers et tours d'accès

Les escaliers d'accès pour les piétons sont placés sur chaque rive au niveau de la première pile des viaducs d'accès. Ils sont parallèles aux quais et se dégagent nettement des tabliers d'accès; ils constituent un point d'arrêt des trottoirs en rive gauche, masquant la variation de largeur qui sinon serait visuellement gênante.

Il n'était pas possible de créer des rampes à 5% pour les personnes à mobilité réduite, compte tenu de la dénivelée entre le quai et le tablier. Nous avons donc choisi de créer sur chaque rive une tour d'accès au trottoir du tablier amont, équipée d'un ascenseur. Ces tours servent aussi d'accès aux passerelles de visite de l'ouvrage, pour son inspection et sa maintenance.

### Poste de contrôle

Le poste de contrôle est installé dans la partie supérieure de la tour d'accès en rive gauche. Il est équipé de tous les éléments nécessaires à la commande des opérations de levage et à la surveillance du trafic. Il permet de vérifier tous les indicateurs de fonctionnement du matériel de levage, depuis les barrières qui ferment l'ouvrage à la circulation jusqu'aux repères de position de la travée, en cours de levage ou sur ses appareils d'appui. Des caméras vidéo permettront d'observer les zones cachées par les tours de levage, ou d'améliorer la vision la nuit et par temps de brouillard.

### Eclairage

La travée levante sera éclairée à partir des tours. Cette solution évite l'installation de lampadaires et surtout d'un câble électrique qui devrait se dérouler lors des opérations de levage. Des lames sont disposées autour de chacune des lampes pour bien diriger le pinceau lumineux et ne pas aveugler les conducteurs.

Nous utiliserons aussi les tours pour éclairer la première travée d'accès de chaque côté (sur une soixantaine de mètres); les autres travées d'accès seront éclairées de façon traditionnelle par des lampadaires, placés sur des mâts prenant appui sur le sol, entre les deux tabliers.

## Rive d'ouvrage

La rive d'ouvrage est habillée d'une corniche arrondie s'inscrivant dans le profilage général de la section du tablier, et créant un jeu d'ombre et de lumière qui affinera la ligne de l'ouvrage.

## Étanchéité - Roulement

Le choix du complexe d'étanchéité et de roulement sur la travée mobile doit être fait avec le souci de réduire le poids au strict minimum. Il est aujourd'hui possible de mettre en œuvre une couche extrêmement mince, constituée de résine et de gravillons pour produire la rugosité indispensable; l'épaisseur totale peut être ainsi limitée à 8 mm. Avec un revêtement de cette nature le poids d'une travée mobile est de 1 350 t; toute l'étude a été menée avec un poids légèrement majoré de 1 400 t. Dans les travées d'accès, par contre, nous avons adopté des dispositions classiques avec une couche d'étanchéité de 3 cm et une couche de roulement de 8 cm d'épaisseur.

## Appareils d'appui

Les appareils d'appui de la travée mobile sont de simples blocs en néoprène fretté. Ils sont complétés par des pions de centrage qui permettent d'amener la travée en position lors de la descente sur appuis, et servent de butées pour la reprise des efforts transversaux lorsque la travée est en place.

Par ailleurs, la géométrie de l'ouvrage soulève une difficulté particulière : du fait de l'étréoussse du caisson et de sa dissymétrie – qui présentent comme nous l'avons vu d'autres avantages – et de l'effort permanent de soulèvement appliqué par les câbles de levage, l'appareil d'appui intérieur peut subir des réactions vers le haut quand on charge le trottoir et la bande d'arrêt d'urgence. Pour éviter les soulèvements dans les conditions des ELU (états limites ultimes), il a fallu largement écarté les appareils d'appui, ce qui a imposé l'utilisation de sabots à l'aplomb de chaque appareil.

## ■ MÉCANISMES DE LEVAGE

### Conception d'ensemble

Comme nous l'avons expliqué, l'ouvrage a été conçu de telle façon que chaque travée puisse être levée de façon indépendante à partir des tours centrales. Le système de levage, très simple comme l'ont voulu ses concepteurs, est à câbles et contrepoids. C'est le seul système de levage qui permette de lever directement et facilement une charge aussi lourde (1 400 t) sur une telle course (près de 50 m). C'est aussi un système fiable et d'une grande to-

lérance vis-à-vis des mouvements et des déformations des travées.

Comme nous l'avons vu, chaque travée est suspendue à ses extrémités par des câbles qui viennent s'ancrer de part et d'autre de la chaussée routière, avec un point de levage situé à la verticale de son centre de gravité.

Pour limiter la puissance des moteurs de levage et le coût de l'installation, le poids de chaque travée est en grande partie équilibré par des contrepoids logés dans les fûts des tours. Ces contrepoids ne sont pas bloqués lorsque la travée est descendue sur ses appuis, de façon à éviter la mise en œuvre de systèmes de décharge et de verrouillage qui compliqueraient aussi bien la conception que la manœuvre. Les contrepoids équilibrent donc en permanence la plus grande partie du poids de la travée, ne la laissant sur ses appuis qu'avec un poids apparent – la prépondérance – que nous avons fixée à 200 t, lors du concours et portée ensuite à 350 t pour améliorer la stabilité de l'ouvrage en position fermé. Cette valeur est un compromis entre un effort de levage modéré et des réactions d'appui de la travée en service suffisantes pour assurer sa stabilité (175 t à chaque extrémité). Ce n'est qu'à l'occasion d'opérations lourdes d'entretien – pour remplacer un câble, une poulie, un contrepoids... – que tous ou certains contrepoids seraient décrochés et que la réaction d'appui sur les piles principales atteindrait ou approcherait celle correspondant au poids total réel de la travée levante (c'est-à-dire 700 t à chaque extrémité).

Compte tenu de la valeur choisie pour la prépondérance, du poids des câbles, des effets dynamiques et de toutes les sujétions de la câblerie, l'effort maximum de levage des treuils varie entre 350 et 450 t pour une travée.

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### *Maître d'ouvrage*

Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer

### *Maître d'œuvre général*

DDE de Seine-Maritime

### *Maître d'œuvre particulier*

Groupement Arcadis - Michel Virlogeux - Ayméric Zublena - Eurodim - Serf

### *Entreprises*

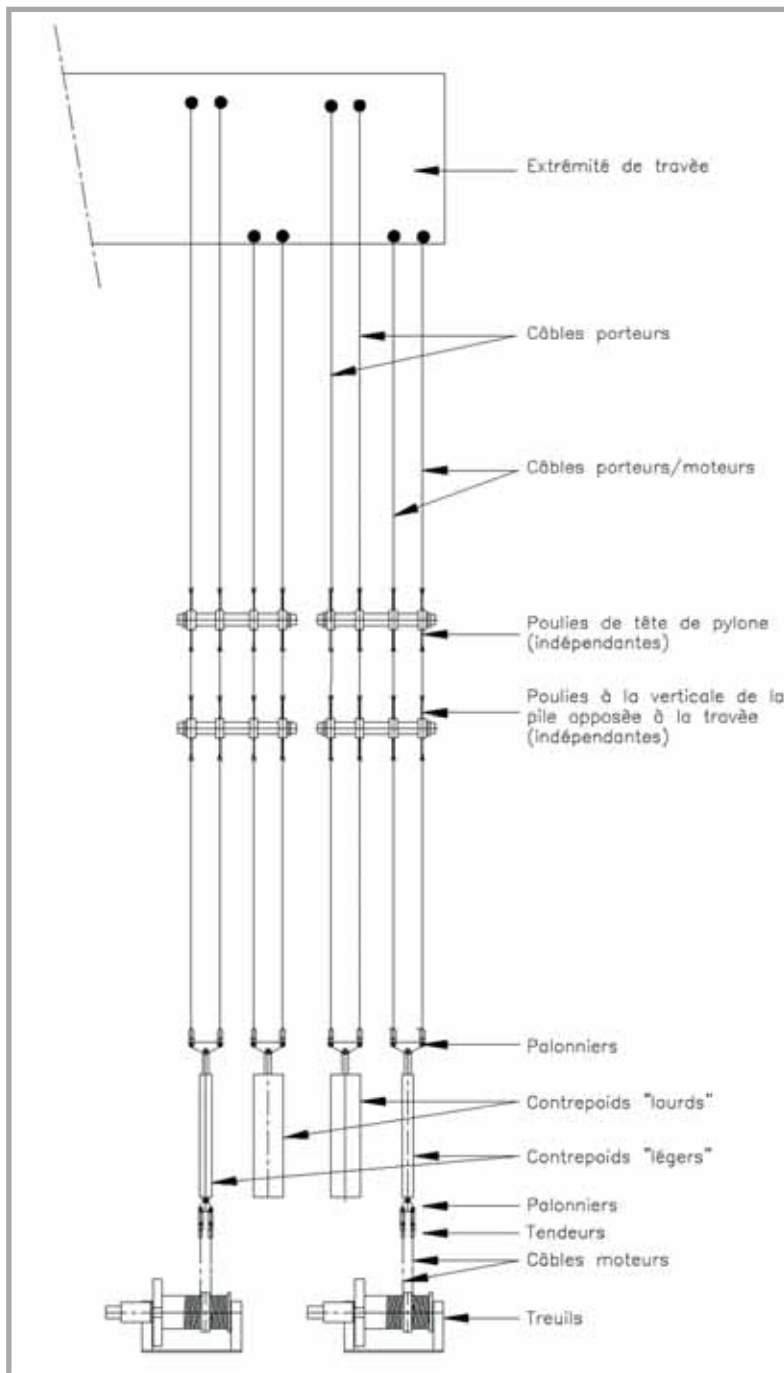
Groupement Quille - Eiffage TP - Eiffel - Victor Buyck

### *Montant du marché de travaux*

50 millions d'euros HT

Figure 6  
Mécanisme  
de levage

Lifting  
mechanism



### Description du système (figure 6)

Chaque travée est levée par seize câbles, huit au total à chaque extrémité de la travée, quatre de chaque côté de la chaussée. Les huit câbles se rejoignent en tête de la tour de levage et passent sur huit poulies réparties en deux blocs ; ils sont conduits sur huit autres poulies, toujours réparties en deux blocs et situées à la verticale du fût opposé dans lequel ils descendent pour s'attacher aux contrepoids.

Sur les quatre câbles ancrés d'un côté de la chaussée à une extrémité de la travée, deux sont dits "porteurs" et deux "porteurs/moteurs". Les deux câbles porteurs sont reliés au même contrepoids

"lourd" (de l'ordre de 195 t) ; les deux câbles "porteurs/moteurs" sont reliés au même contrepoids "léger" (de l'ordre de 115 t), lui-même relié au treuil électrique qui assure le levage par deux "câbles moteurs" qui s'enroulent sur le tambour du treuil en hélices à pas inversés (l'une à gauche, l'autre à droite). Les contrepoids et le treuil correspondant aux câbles ancrés d'un côté de la chaussée sont indépendants de ceux qui correspondent aux câbles ancrés de l'autre côté de la chaussée.

Les moteurs de levage actionnent les treuils. C'est une solution dont l'expérience a montré qu'elle est beaucoup plus fiable qu'une motorisation sur les poulies entraînant les câbles par frottement, qui provoque inévitablement des glissements.

Les quatre treuils qui assurent le levage d'une travée (deux à chaque extrémité) sont asservis pour garantir l'horizontalité en cours de hissage. Le levage simultané des deux travées est assuré en asservissant l'ensemble des huit treuils de la machinerie.

Cette conception est celle qui assure la plus grande sécurité et les meilleures conditions de fonctionnement :

- ◆ chaque poulie est indépendante, ce qui laisse une totale liberté pour les micro-déplacements des câbles et supprime les risques de glissement entre câbles et poulies qui existent quand les poulies ne sont pas indépendantes ;
- ◆ tous les câbles assurant une même fonction sont associés par deux ; en cas de rupture accidentelle d'un câble, sa tension est reprise par l'autre ;
- ◆ les câbles porteurs sont soumis à une tension constante par les contrepoids (de l'ordre de 90 t) et les câbles porteurs/moteurs ne subissent qu'une variation de tension modeste (entre 60 t lorsque le pont est fermé, et 90 t en cours de levage et en position ouverte). Il n'y a donc aucun risque de fatigue.

### Conditions de fonctionnement

Les treuils sont placés en bas des tours dans le socle de fondation, ce qui facilite leur installation et leur entretien.

Le blocage du pont en position levée est assuré par les treuils eux-mêmes : chaque treuil est équipé de quatre groupes moto-réducteurs munis de freins, dont la redondance procure toute la sécurité nécessaire dans toutes les phases de fonctionnement et dans toutes les positions.

On peut ainsi lever et bloquer le tablier à n'importe quel niveau en fonction de la taille du bateau, ce qui permet de limiter la durée d'ouverture lors du passage des petits navires.

La conception du pont mobile assure donc une grande liberté d'exploitation, chaque tablier pouvant être levé de façon complètement indépendante dans des conditions normales, et bloqué à n'importe quel niveau.

## Guidage de la travée en levage

Pour éviter tout déplacement horizontal – longitudinal ou transversal – pendant le levage, et donc tout choc contre les tours, le tablier est guidé par un chariot roulant dans une rainure verticale le long de chacune des deux tours. La travée est bloquée transversalement sur chacune des deux tours, mais seulement sur l'une d'entre elles pour les déplacements longitudinaux pour éviter tout bridage. Les galets de guidage des chariots sont précontraints sur leurs pistes, pour éviter tout déplacement et tout choc.

Les efforts à reprendre – essentiellement produits par les effets du vent – sont très faibles à l'échelle d'un tel ouvrage (quelques dizaines de tonnes). Les contrepoids sont eux aussi guidés à l'intérieur des fûts où ils se déplacent, pour éviter les mouvements et les chocs.

## Principales dispositions constructives particulières aux mécanismes

Les câbles sont des câbles de haute qualité qui ne subissent que peu de contraintes mécaniques du fait du faible nombre de manœuvres, mais aussi grâce aux dispositions conceptuelles retenues dans toute la chaîne de levage : conditions d'enroulement sur les treuils et dimensions de leur tambour, indépendance et dimensions des poulies, dispositifs de rotulage des chapes d'extrémité. Compte tenu de leur exposition particulière, ils doivent par contre présenter la meilleure durabilité et la meilleure protection contre la corrosion, et permettre le contrôle le plus efficace et le plus facile de leur état. Au droit des travées, ils sont protégés contre les chocs sur une hauteur d'environ cinq mètres. Les poulies tourneront sur des patins de glissement à très faible coefficient de frottement. Ce choix peu conventionnel par rapport aux "roulements" a été préféré après une longue analyse. Les paliers lisses sont, en effet, apparus mieux adaptés aux charges élevées quasi-statiques permanentes, plus accommodants en répartition de charges, acceptant mieux les déformations de l'axe, peu vulnérables à la corrosion, plus rustiques et plus fiables dans le temps.

Contrairement à beaucoup d'installations de levage, il n'y a pas de palonniers d'association des câbles par paire car ceux-ci, après analyse approfondie, se sont avérés inutiles et ils constituent des points faibles potentiels.

Les treuils, équipés chacun de quatre groupes motoreducteurs dont la redondance procure la sécurité de fonctionnement nécessaire aussi bien en phase motrice qu'en freinage, sont entièrement électriques.

Les chariots et rails de guidage des travées le long des pylônes sont d'une conception originale et res-

tent discrets dans l'architecture de l'ouvrage. Ils sont conçus pour prévenir au mieux tout risque de coincement lors des mouvements de levage des travées, et sont à la fois suffisamment résistants pour reprendre les efforts apportés par celles-ci et suffisamment souples pour en amortir les variations.

Rails et galets seront réalisés en acier inoxydable pour leur meilleure durabilité et pour éviter les risques de salissure sur les pylônes.

## Les principaux équipements liés aux mécanismes

Pour son exploitation, l'ouvrage reçoit les principaux équipements suivants :

- ◆ un ascenseur dans chaque pylône ;
- ◆ les dispositifs de ventilation propres à assurer une atmosphère sèche dans les pylônes et les socles, et à refroidir les motorisations ;
- ◆ des dispositifs vidéo pour contrôler les treuils pendant les manœuvres ;
- ◆ des protections incendie, anti-intrusion, foudre ;
- ◆ un dispositif destiné à empêcher que les oiseaux ne viennent salir les "papillons".

## ■ LES ÉTUDES EN SOUFFLERIE

### Le problème de la stabilité statique

C'est au tout début des études d'avant-projet que Michel Virlogeux a pris conscience d'un problème spécifique à ce type d'ouvrage : comme chaque tablier reste en permanence relié à son contre-poids pour faciliter la manœuvre, les réactions d'appui sont très faibles.

La différence entre le poids réel de la travée équipée et l'action des contrepoids était de l'ordre de 200 t si bien que les réactions sur chaque appui auraient été de 50 t si les charges avaient été réparties symétriquement. La dissymétrie des tabliers, imposée par la nécessité de disposer les appareils d'appui au plus près des tours de levage et par la position des câbles de levage, surcharge l'appui extérieur sur chaque pile et décharge l'appui intérieur, qui ne reçoit qu'une très faible réaction à vide. Dans ces conditions les effets du vent, qui n'ont habituellement qu'un effet secondaire sur les réactions d'appui des ouvrages, peuvent devenir déterminants et engager la stabilité statique des tabliers.

Les charges d'exploitation pouvaient aussi engager la stabilité transversale du fait du décentrement des appareils d'appui vers l'intérieur, même si c'est seulement le trottoir qui se trouve le plus à l'extérieur avec le plus grand bras de levier.

Cette réflexion a conduit à plusieurs décisions majeures :

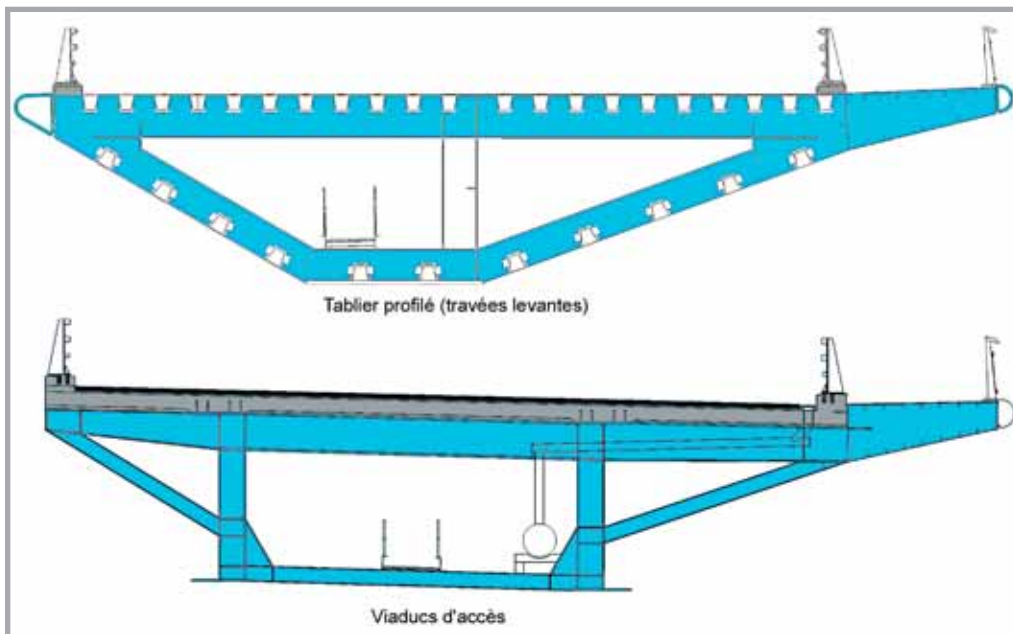


Figure 7  
Sections transversales définitives  
Definitive cross sections

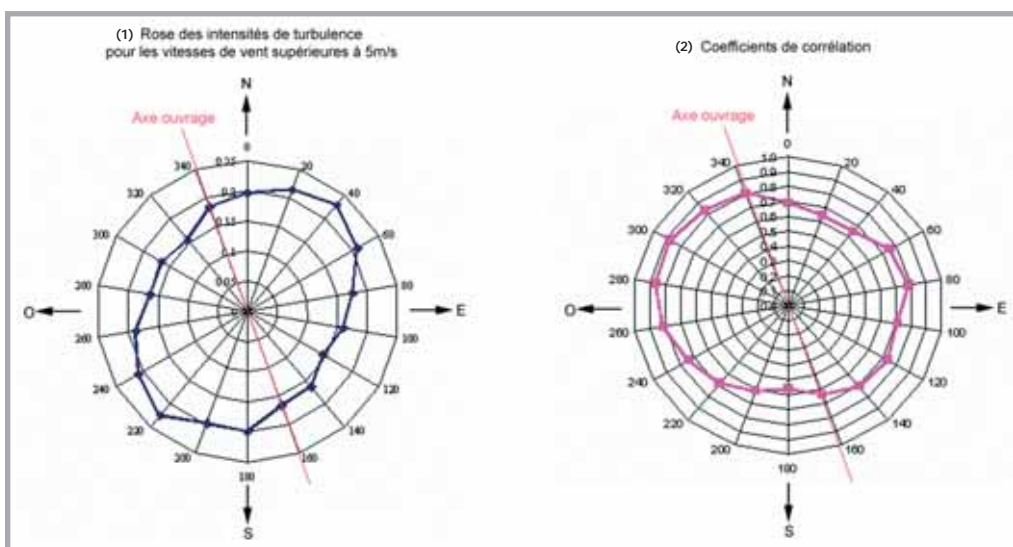


Figure 8  
1 - Rose des intensités de turbulence pour les vitesses de vent supérieures à 5 m/s  
2 - Coefficients de corrélation  
1 - Wind rose of turbulence intensities for wind speeds exceeding 5 m/s  
2 - Correlation coefficients



- ◆ il a été décidé de profiler le tablier (figure 7) pour réduire les efforts générés par le vent (même si un tablier profilé génère souvent des effets de soulèvements importants);
- ◆ des études en soufflerie ont été lancées pour étudier la stabilité aérodynamique des tabliers dans les différentes configurations qu'ils peuvent avoir, et en particulier pour mettre en évidence d'éventuels échappements tourbillonnaires;
- ◆ ces études en soufflerie ont été complétées par une étude climatologique permettant de définir le vent de référence dans le site;
- ◆ la stabilité des tabliers sous circulation et soumis à l'action du vent aurait pu être assurée par un mécanisme de verrouillage. Mais Eurodim a estimé que l'introduction d'un tel système aurait ralenti les opérations de manœuvre du pont et

augmenté les risques d'erreurs et de pannes. Après de longues réflexions, il a donc été décidé de porter la prépondérance de 200 à 350 t pour garantir la stabilité transversale des tabliers dans les conditions des états limites ultimes, aussi bien vis-à-vis du trafic que des effets du vent;

◆ mais il a fallu aussi augmenter l'entraxe des appareils d'appui en écartant davantage l'appui extérieur. Les fûts de pile débordent ainsi du socle de pile elliptique dans lequel ils pénètrent en biais, et la réaction d'appui est transmise au tablier par une console dont les formes ont été définies dans le même registre que celles du caisson tout en marquant l'excentrement que nous ne pouvions pas éviter.

### L'étude climatologique

L'étude climatologique du site a été confiée au CSTB sous la direction de Jean-Paul Flori. Le premier objectif de l'étude était d'établir une corrélation entre le vent sur le site et celui enregistré à la station météorologique de Rouen Boos, dans la zone de l'aérodrome. Un pylône de mesure a été installé à une altitude de 21 m au-dessus du quai de la presqu'île Rollet, équipé d'un anémomètre tridimensionnel à hélices.

Les ajustements statistiques par secteur ont permis d'établir une rose des coefficients de recalage, qui montre que le vent sur le site a une vitesse comprise, selon la direction considérée, entre 60 et 90 % de la vitesse enregistrée à la station. Comme d'habitude, la rose est orientée dans le sens de la rivière, donc de la vallée (figure 8).

L'étude statistique des vitesses enregistrées à la station a alors permis d'évaluer à 24 m/s la vitesse de référence dans le site à 21 m d'altitude, vitesse moyenne sur dix minutes et de 50 ans de période de retour. Pour les vents obliques, à 45 degrés, la vitesse de référence est réduite à 21 m/s.

L'étude a également permis de définir la fréquence des vitesses maximales et la turbulence des deux vents de calcul, perpendiculaire et oblique à 45 degrés par rapport à l'ouvrage, ainsi que les densités spectrales de turbulence et tous les paramètres nécessaires à la construction d'un modèle de vent.

### Etudes en soufflerie

#### Effets moyens du vent

Une première série d'essais en soufflerie a été menée en février 2001 pour évaluer les effets moyens d'un vent laminaire sur les deux tabliers de l'ouvrage; le CSTB a utilisé une maquette sectionnelle, ou plutôt deux maquettes sectionnelles en parallèle.

Ces essais ont permis de définir les coefficients aérodynamiques stationnaires sur le tablier au vent et sur le tablier sous le vent, ce qui a permis de

faire une première évaluation des efforts sur l'ouvrage avec ses deux tabliers sur appuis, ouverts au trafic routier. Mais il peut arriver qu'un incident en cours de levage – ou de descente – bloque l'un des deux tabliers, si bien que le vent peut aussi attaquer un tablier isolé, dans un sens ou dans l'autre; ou l'ensemble des deux tabliers à des niveaux légèrement différents.

Toutes ces configurations ont été analysées à une échelle du 1/72<sup>e</sup>.

Ces essais ont mis en évidence l'importance des effets de sillage du tablier au vent sur le tablier à l'aval, et de façon plus générale l'interaction entre les deux tabliers. Il a donc été jugé nécessaire de faire des études plus complètes qui ont été menées au CSTB en octobre et novembre 2001 sous la direction de Gérard Grillaud et d'Olivier Flamand.

### Essais aéroélastiques

Les essais ont été menés sur maquette complète de l'ouvrage (photo 1), en représentant par des éléments rigides les tours de levage et l'amorce de la première travée d'accès sur chaque rive. L'ensemble de la maquette a été monté sur un plateau tournant de façon à permettre l'étude de plusieurs orientations du vent par rapport à l'ouvrage (plusieurs angles d'azimuts de vent).

Les deux tabliers ont été modélisés au 1/72<sup>e</sup>, mais de façon différente :

- ◆ l'un des deux a été représenté par un modèle aéroélastique, représentant au mieux le premier mode de flexion verticale de la travée sur appuis ou en cours de levage, et le premier mode de torsion de la travée en cours de levage ;

- ◆ l'autre a été représenté par un modèle rigide. La maquette aéroélastique d'un tablier avait pour objectif de permettre l'étude des échappements tourbillonnaires et de la stabilité aéroélastique. Elle devait donc permettre l'étude de l'ouvrage dans deux configurations, sur ses appuis et en cours de levage, auxquelles correspondent des fréquences propres différentes puisque la souplesse des câbles de levage intervient lorsque les tabliers sont suspendus. Le tableau I donne, en Hertz, les fréquences propres des modes étudiés, étant entendu que le premier mode de torsion a une fréquence très grande lorsque le tablier est sur appuis.

Les échelles de similitude en fréquence sont donc légèrement différentes pour l'étude des deux configurations. Cette maquette aéroélastique est équipée de capteurs de déplacement laser, permettant l'analyse des vibrations verticales et de torsion, et d'accéléromètres.

La maquette rigide avait le double objectif de permettre la reconstitution physique de l'ouvrage complet et d'évaluer les efforts globaux sur la travée, en particulier les réactions d'appui. Dans ce but sept sections de la travée ont été équipées d'une série de capteurs de pression sur tout leur pour-

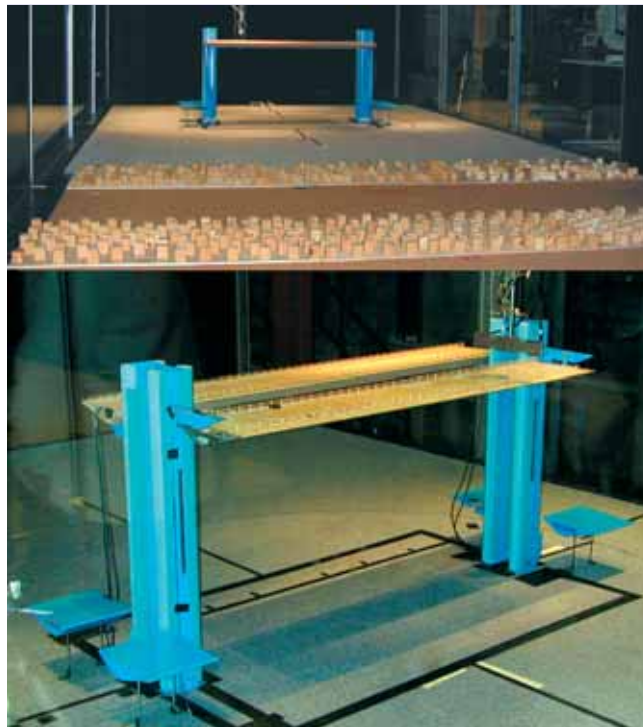


Photo 1  
Essais en soufflerie  
(CSTB Nantes)  
Tests in wind tunnel  
(CSTB Nantes)

	Premier mode de flexion	Premier mode de torsion
Tablier sur appui	0,725	-
Tablier suspendu	0,653	1,636

Tableau I  
Table I

tour (19 par section) permettant la mesure de la pression instantanée, et par intégration directe sur un ordinateur l'évaluation de n'importe quel effort défini a priori.

Les deux tabliers pouvaient être placés à des niveaux différents, pour faire l'étude complète des phénomènes d'interaction ; il était aussi possible de donner aux tabliers une légère inclinaison sur l'horizontale pour analyser l'effet de l'inclinaison du vent. Les essais ont été menés en vent laminaire et en vent turbulent, avec une turbulence modélisée de façon à se rapprocher des conditions du site.

Il ne peut être question de détailler tous les essais qui ont été menés, ni leurs résultats. Nous allons seulement évoquer les difficultés mises en évidence par les essais.

### Les amortisseurs dynamiques accordés

Comme nous avons déjà évoqué les différentes mesures adoptées pour assurer la stabilité statique de l'ouvrage sur ses appuis (déport vers l'extérieur de l'appareil d'appui extérieur sur chaque pile, augmentation de la prépondérance), il ne reste à évoquer que les vibrations produites par les échappements tourbillonnaires sur les travées en appui et les risques d'instabilité d'un tablier isolé en position haute.



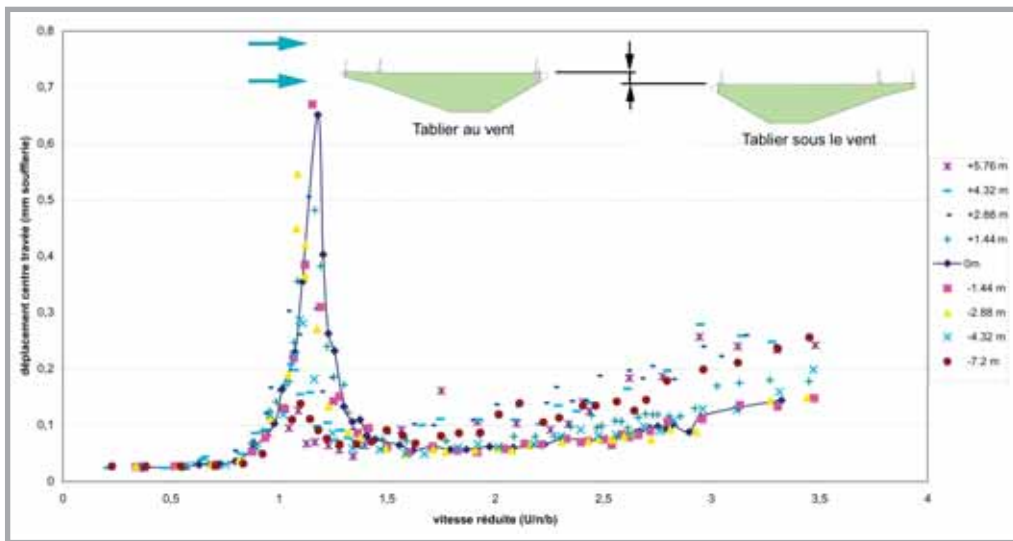


Figure 9 Evolution de l'écart type du déplacement de flexion avec la vitesse du vent uniforme pour plusieurs écarts d'altitude entre les tabliers. Tablier sous le vent

*Change in the flexural displacement standard deviation with a uniform wind speed for several differences in height between the decks. Downwind deck*

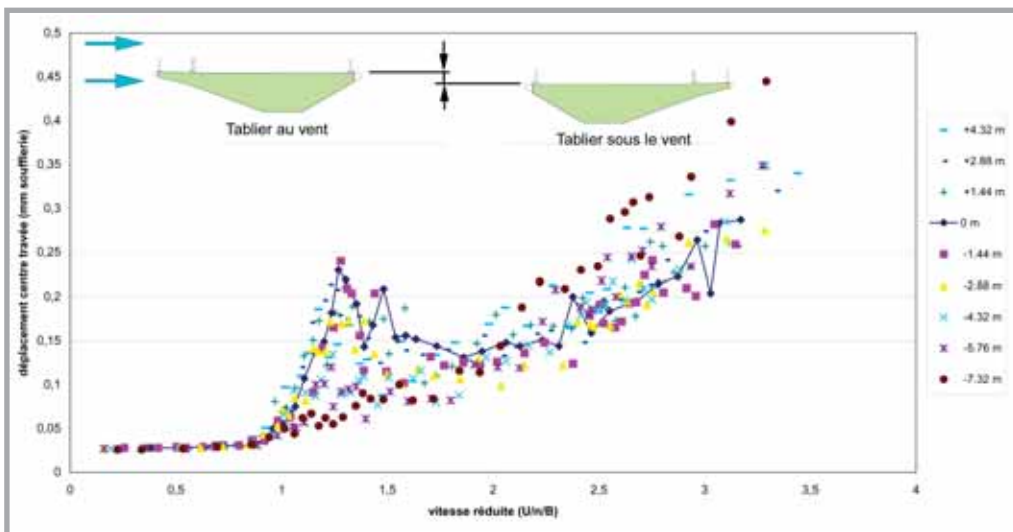


Figure 10 Evolution de l'écart type du déplacement de flexion avec la vitesse du vent turbulent pour plusieurs écarts d'altitude entre les tabliers. Tablier sous le vent

*Change in the flexural displacement standard deviation with a turbulent wind speed for several differences in height between the decks. Downwind deck*



L'étude en soufflerie a montré que lorsque les tabliers sont suspendus les échappements tourbillonnaires les excitent : les deux tabliers sont excités si le vent est uniforme (figure 9), mais en vent turbulent seul le tablier sous le vent est fortement excité, sur une gamme de fréquence beaucoup plus large (figure 10). Il s'agit bien plus d'un effet de sillage que d'échappements tourbillonnaires classiques.

On retrouve la même chose lorsque les tabliers sont en appui, avec des effets de turbulence accrus par la proximité du sol.

Il a donc été décidé de mettre en œuvre à mi-portée un amortisseur dynamique accordé de 15 t, qui a été calé par Denis Rigault sur une fréquence de 0,67 Hertz, intermédiaire entre la fréquence du pont à vide (0,72 Hertz) et la fréquence du pont en char-

ge (0,65 Hertz), mais aussi intermédiaire entre la fréquence du premier mode de flexion du pont sur appuis et celle du pont en cours de levage (0,65 Hertz).

Le second problème est celui de l'action du vent sur un tablier isolé lorsque le vent arrive par le côté non profilé de l'ouvrage (le bord aval du tablier amont lorsque le vent vient de l'ouest) : le coefficient aérodynamique stationnaire de portance a une pente négative pour les angles d'incidence positifs, ce qui est évidemment inquiétant même si la valeur de la pente est suffisamment faible pour que son effet défavorable soit compensé par l'amortissement structural de la travée, et si cette instabilité n'a pas été mise en évidence par les essais aéroélastiques. L'amortisseur que nous avons prévu pour éliminer les effets de sillage élimine tout risque d'instabilité sur le premier mode de flexion verticale de la travée, mais il existe un autre mode qui correspond à un mouvement vertical "solide" de la travée suspendue, permis par la déformabilité des câbles de suspension et qui n'a pas été analysé en soufflerie parce qu'il n'a été identifié que plus tard.

La fréquence de ce mode varie entre 0,40 Hertz et 0,45 Hertz en fonction de la position de la travée et donc de la longueur des câbles (0,404 Hertz en début de levage et 0,458 lorsque le tablier est en position haute, avec des câbles plus courts).

Nous avons alors décidé de disposer un amortisseur dynamique accordé à chacune des deux extrémités du tablier, pour qu'ils servent en même temps à amortir les vibrations potentielles au freinage, lorsque le tablier va être reposé sur ses appuis. Denis Rigault a donc choisi une fréquence "moyenne" de 0,426 Hertz et une masse de 7,5 t pour chacun de ces amortisseurs.

## ■ L'ÉVOLUTION DU PROJET

Si l'on met de côté les problèmes posés par la stabilité statique transversale des tabliers et l'étude des effets du vent, le projet n'a que peu évolué entre la réponse au concours et le projet définitif mis à l'appel d'offres, sauf en ce qui concerne les viaducs d'accès.

Il a en effet fallu reprendre le projet pour en limiter le coût qui s'était avéré supérieur aux prévisions, et c'est sur les viaducs d'accès qu'il a fallu porter l'effort, faute de pouvoir réduire le coût de la travée mobile et de ses mécanismes.

La section en caisson des viaducs d'accès a été remplacée par une section de type bipoutre (figure 7), qu'il a fallu inscrire dans le profil de la travée mobile pour préserver l'unité du projet à laquelle tenaient le maître d'ouvrage et les concepteurs. Nous avons donc maintenu des bracons dans le prolongement des âmes du caisson profilé de la grande travée et disposé des traverses inférieures

## LE POINT DE VUE DE L'ARCHITECTE

La mémoire et l'identité de Rouen se lisent à travers ses paysages qui gardent les traces de son histoire. Cette histoire s'est construite sur son rapport à la Seine comme trait d'union entre les domaines fluviaux et maritimes. Le centre-ville et le port maritime sont les deux visages d'une même ville, les paysages physiques et symboliques d'un lieu unique. C'est une histoire commune qui les lie. Mais ce sont aujourd'hui des paysages aux rapports d'échelle bien distincts : d'un côté un centre-ville médiéval dominé par un paysage de tours et de clochers avec en son centre la cathédrale, de l'autre les bassins du port maritime avec ses gigantesques grues, silos et cargos (photo 2).

Le centre-ville est aujourd'hui à la recherche de son ancien rapport à la Seine que les reconstructions de l'après-guerre avaient escamoté.

La conception du sixième franchissement de la Seine en ville, au seuil du centre-ville et du port maritime, est l'occasion unique d'imaginer un monument urbain qui deviendra un élément d'identification du site, signe architectural de permanence et de mémoire dans un environnement naturellement destiné à se transformer. Sa valeur de permanence lui est donnée par la charge de mémoire, le lien qu'il établit avec l'histoire, le passé et le présent d'une ville. Il s'agit donc ici de relier non seulement les deux rives, les domaines fluviaux et maritimes mais aussi les deux entités constituantes de la ville, leurs passés et leurs futurs.

Ce contexte urbain nous a donc orientés vers une attitude très réservée vis-à-vis des gestes par trop ostentatoires et soumis à la mode d'un moment. Nous avons plutôt privilégié une approche sobre, économe et surtout parié sur la vertu plastique de la lisibilité des forces et des mouvements sans artifices complémentaires. Nous avons rejeté les solutions aux dessins trop complexes dans des paysages urbains aux échelles et formes déjà multiples.

### *L'ouvrage principal et ses viaducs d'accès*

Il nous apparaît indispensable de relier les quartiers du port maritime et du centre-ville, et donc d'éviter les talus qui auraient eu pour effet de rendre difficile cette relation. Les viaducs d'accès et les tabliers qui franchissent la Seine sont des poutres à hauteur perçue comme constante et continue pour garder une unité au franchissement et inscrire sur le site largement ouvert la simplicité unificatrice d'une ample horizontale. Le dessin général des tabliers a été conçu dans un souci de légèreté de la travée levante (tout en intégrant les contraintes de vent) : un caisson orthotope profilé. Le caisson est nettement dissymétrique pour recentrer la charge de levage. Les travées d'accès sont traitées en bipoutre avec bracons dans la continuité du profil des travées levantes. Discrètes et ramassées, les piles elliptiques des viaducs d'accès qui sont implantées suivant la géométrie des lieux traversés, ne forment pas un obstacle à la traversée au niveau du sol de l'ouvrage par les différents dispositifs urbains : quais, voies, mails plantés, futur parc de la presqu'île Rollet, points de vue, etc.

Pour donner sa bonne mesure à l'ouvrage sur la Seine et notam-



Photo 2  
Insertion dans le site  
de Rouen

*Integration  
into the Rouen site*

ment à l'impact des tours de levage dans le site, sous tous les angles, nous avons opté pour une solution à tours centrées entre les tabliers. Cette approche permet de minimiser aussi l'obstacle des piles en rivière pour un meilleur écoulement des eaux en les dirigeant dans le sens du courant, tout en les dimensionnant pour résister aux chocs de bateaux. Les deux tours viennent s'inscrire dans le paysage des tours de Rouen. Une attention particulière a été portée à leurs proportions et notamment à leur hauteur qui reste inférieure à la tour sud du parvis de la cathédrale. Ces tours sont dédoublées en deux fûts pour en augmenter l'élancement et réduire au maximum les effets de masque trop importants. Leurs sections oblongues permettent à la lumière d'y glisser ses nuances. Elles expriment avec clarté la fonction de support des moyens de levage des tabliers.

La structure supérieure de levage, "le papillon", en porte-à-faux symétrique de part et d'autre des tours, est conçue en structure métallique tubulaire dans un vocabulaire qui réinterprète les silhouettes des superstructures des navires et des grues du port maritime. La structure métallique supérieure permet par ailleurs de "dématérialiser" le sommet des tours. Les poulies et les câbles apparents donnent à voir et à comprendre le principe de levage du pont. L'élancement de la structure est obtenu en minimisant les porte-à-faux grâce à un levage par câbles centrés au-dessus du centre de gravité des tabliers. Le choix des matériaux exprime les options structurelles et symboliques. Les fûts verticaux des tours sont traités en béton clair : surgissement du calcaire des sols géologiques du bassin parisien que traverse la Seine. La structure aérienne métallique est teintée en gris métallisé qui reflète toute la palette des nuances des lumières des ciels rouennais, des blancs aux gris roses en passant par les bleus.

Le pont relie ici à sa manière le passage éclair de l'homme avec les éléments atemporels d'un site : le surgissement de la terre, le fil de l'eau et la course du ciel.

### *L'éclairage architectural*

Des projecteurs situés sur les piles en rivière et dans le "papillon" permettront une mise en valeur de l'ouvrage et des effets de mise en scène par la lumière lors de manifestations publiques. Les sources de lumière implantées à leurs pieds éclairent les pylônes depuis l'intérieur. Chacun des "papillons" éclairé en pied semble jaillir des fûts béton.

La ligne horizontale des travées pourrait être traitée avec une lumière bleutée dans une continuité de traitement avec le projet d'ensemble des traversées de la Seine à Rouen.

entre poutres pour laisser passer les conduites de recueil des eaux de drainage.

De même, les formes des piles à terre ont été simplifiées : il s'agit in fine de fûts de section pseudo-elliptique, homothétique de celle des pylônes. Chaque pile est constituée de deux fûts placés chacun sous une poutre et orientés dans le sens longitudinal. Enfin, les culées ont été simplifiées, en faisant un large appel à la terre armée dans un souci d'économie.

## CONCLUSION

Les travaux, confiés à l'issue d'un appel d'offres européen au groupement des entreprises Quille - Eiffage TP - Eiffel - Victor Buyck, ont débuté au printemps 2004 en vue d'une mise en service de l'ensemble de la liaison fin 2006.

## ABSTRACT

A lift bridge for the sixth crossing over the Seine in Rouen

*Various authors*

The sixth bridge over the Seine in Rouen, located downstream of the five existing bridges, is the main part of a new direct link between the A13 motorway to the south and the A150 motorway to the north. To enable sea traffic, cruise liners and the large sail boats of the Armada (a major event bringing together numerous sail boats), to go upriver to William the Conqueror Bridge near the city centre, a lift bridge will be employed, 120 metres in span and of 55-metre clearance. The deck is formed of two independent, all-steel box girders, weighing 1,300 tonnes each. The lifting towers, placed between the spans, receive all the lifting mechanisms, which for sake of simplicity, ruggedness and efficiency, are of the cable and counterweight type. They consist of two oblong concrete masts, topped by a "butterfly" steel structure which, through cunning overlapping of lifting systems, enables a perfect match between the structure and the force diagram. The assembly will serve as a harmonious interface between the historic centre of Rouen, dominated by its cathedral, and the port buildings and equipment, thus creating a symbolic link between the city's past and future.

## RESUMEN ESPAÑOL

Un puente levadizo para el sexto franqueo del río Sena en Ruán

*Autores diversos*

El sexto puente sobre el río Sena en Ruán, ubicado aguas abajo de los cinco puentes ya existentes, constituye el elemento principal de un nuevo enlace directo entre la autopista A13 por el sur y la autopista A150 por el norte. Con objeto de permitir al tráfico marítimo, buques transatlánticos y grandes veleros de la "Armada" (gran certamen que reúne a numerosos veleros), poder dirigirse río arriba hasta el puente Guillaume le Conquérant que se sitúa a proximidad del casco urbano, se está realizando un puente levadizo, de 120 m de luz y 55 m de altura libre. El tablero está formado por dos vigas cajón total-

mente metálicas, independientes, de 1 300 toneladas cada una. Las torres de elevación, dispuestas entre los tramos, reciben el conjunto de los mecanismos de elevación, que son, por un afán de sencillez, de solidez y de eficacia, de cables y contrapesos. Estas torres están constituidas por dos tramos oblongos de hormigón, coronadas por una estructura metálica en "mariposa" que permite, mediante un acertado cruzamiento de los sistemas de elevación, una perfecta adecuación de la estructura con el diagrama de las fuerzas. El conjunto podrá así inscribirse de forma armoniosa en el interfaz entre el casco histórico de Ruán dominado por su catedral y los edificios y equipos portuarios, creando de este modo un enlace simbólico entre el pasado y el futuro de la ciudad.

# RN 104 - La Francilienne

## Élargissement à 2 x 3 voies et construction d'un nouvel ouvrage sur la Seine

L'élargissement de la Francilienne entre les autoroutes A6 et A5 répond principalement à trois objectifs :

- l'amélioration des conditions de déplacement pour le trafic de transit et le trafic local (92000 véhicules/jour) ;
- le soutien du développement local pour les pôles d'activités d'Evry, de Sénart et de Corbeil-Essonnes ;
- la prise en compte de l'environnement par la réalisation de protections acoustiques, la remise à niveau du réseau d'assainissement et les aménagements paysagers.

L'amélioration des conditions de déplacement passe par la construction d'un nouvel ouvrage de franchissement de la Seine doublant l'ouvrage existant. Sa conception a été dictée par la volonté du maître d'ouvrage de réaliser un ouvrage identique au précédent. L'ouvrage est en béton précontraint constitué d'un tablier bicaïsson à âmes verticales de hauteur variable fondé sur pieux. Sa longueur est de 209 m, la distribution des trois travées étant identique à l'ouvrage existant. Le tablier de largeur 21 m est composé de deux caissons de 10 m séparés par un clavage de 1 m. Les désordres constatés sur l'ouvrage existant après sa construction ont nécessité sa surveillance renforcée lors des travaux. Aussi, une instrumentation (fissuromètre, géophone, inclinomètre et sonde de température) a été mise en œuvre notamment pendant la phase de battage des palplanches et de fondations.

### ■ CONTEXTE DE L'OPÉRATION

L'élargissement de la Francilienne entre les autoroutes A6 et A5 répond principalement à trois objectifs :

- ◆ amélioration des conditions de déplacement ;
- ◆ soutien du développement local ;
- ◆ prise en compte de l'environnement.

#### Amélioration des conditions de déplacement

La Francilienne est la rocade de grande périphérie de l'Île-de-France. Elle a une double fonction qui consiste à assurer les diverses liaisons entre grands pôles de développement régional (dont les villes nouvelles) et à permettre localement des échanges performants.

La section de A6-A5 est une section très importante de la Francilienne puisqu'elle permet, entre autres, de desservir les trois pôles d'emplois régionaux : Evry, Corbeil et Sénart.

Aujourd'hui, ce tronçon supporte un trafic à saturation notamment sur le barreau RN 7 - RD 33 qui est le plus chargé. Ce barreau à 2 x 2 voies comptabilise actuellement de 4600 à 6800 uvp/heure/sens aux heures de pointe du matin et du soir. Il en résulte ainsi de nombreux problèmes d'engorgement qui dissuadent une partie des automobilistes d'emprunter la Francilienne. On remarque ainsi des transferts significatifs sur les voiries locales non adaptées.

#### Le soutien du développement local

Jusqu'à aujourd'hui, la Francilienne a joué un rôle important d'accompagnement du développement des zones comprises entre les autoroutes A6 et A5.

C'est notamment le cas des villes nouvelles d'Evry et de Sénart.

Plusieurs projets futurs d'aménagement, tels que le développement de la ZAC de Villepècle, le projet de la ZAC des Fossés Neufs, se sont appuyés sur la présence de cet axe de développement.

La réalisation de l'élargissement permettra de poursuivre le développement dans ce secteur.

#### Prise en compte de l'environnement

L'élargissement de la Francilienne s'accompagnera notamment :

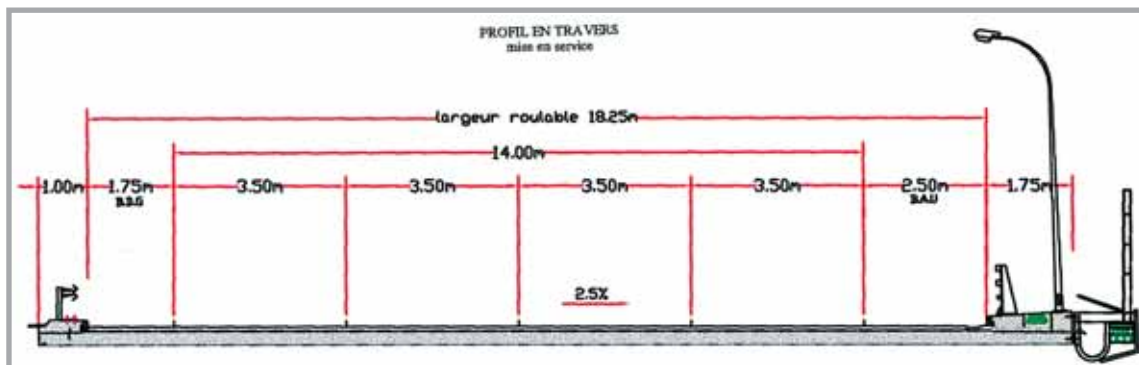
- ◆ de la réalisation de buttes et d'écrans antibruit. Ce sont environ 15000 m<sup>2</sup> d'écrans qui seront réalisés dans le cadre de cette opération. La réalisation de ces écrans permettra :
  - d'atteindre des niveaux sonores inférieurs à 65 dB (A) pour toutes les zones habitées dont le niveau actuel est supérieur à 65 dB (A),
  - d'améliorer les niveaux sonores de toutes les zones habitées dont le niveau de bruit actuel est inférieur à 60 dB (A) ;
- ◆ de la remise à niveau du réseau d'assainissement.

La plupart des rejets actuels ne font l'objet d'aucun traitement particulier. Il est prévu de créer un réseau étanche, ainsi que des bassins de décantation équipés de système de traitement entre la RN 7 et l'autoroute A5 afin de recueillir l'ensemble des eaux de ruissellement des chaussées (nouvelles et existantes).

◆ de mesures d'insertion dans l'environnement. Des études architecturales et paysagères ont été effectuées afin de mieux intégrer la Francilienne dans son environnement.

Ainsi, environ 16 % du budget de l'élargissement sont consacrés à ces aménagements d'environnement dont 3 % pour les aménagements paysagers.

Figure 1  
Profil en travers.  
Mise en service  
Cross section.  
Commissioning



# entre A6 et A5 ouvrage de franchissement

Philippe Renier

ADJOINT AU CHEF  
DE STRA  
DDE de l'Essonne

Nicolas Barasz

RESPONSABLE  
DU BUREAU TRA2  
DDE de l'Essonne

## ■ CONCEPTION GÉNÉRALE

### Le franchissement de Seine

Au vu des trafics actuels et des augmentations futures des déplacements, un élargissement était indispensable. Il nécessitait la création d'un nouvel ouvrage de franchissement de la Seine (OA 601) au sud de l'ouvrage existant (OA 6).

Le franchissement de Seine actuel est assuré par un ouvrage à trois travées, dont le tablier est du type bi-caisson précontraint à inertie variable. Cet ouvrage a connu dès sa construction des désordres importants consécutifs au tassement de plus de dix centimètres d'une des piles en rivière. Une importante opération de réparation (mise en place d'une précontrainte additionnelle transversale et longitudinale) a eu lieu en 1988.

Le maître d'ouvrage dans la décision ministérielle d'approbation de l'avant-projet sommaire a décidé de doubler l'actuel pont par un ouvrage structurellement indépendant sur la base d'une solution en béton précontraint, constituée d'un tablier bi-caisson à âmes verticales de hauteur variable, identique à l'ouvrage existant.

### Contraintes à prendre en compte

Parmi les contraintes on note :

- ◆ les gabarits :
  - de la voie sur berge (Quai de l'Apport Paris) de largeur 14 m et dont le gabarit routier a été fixé à 4,85 m,
  - de la passe navigable de largeur 42 m et dont le gabarit à respecter est de 6 m à partir de la cote 34,20 NGF (niveau des plus hautes eaux navigables PHEN) ;
- ◆ l'ouvrage existant : sa proximité, 1 m entre rives en vis-à-vis, a entraîné la mise sous surveillance

renforcée de cet ouvrage lors des phases de fondations (voir détail ci-après) ;

- ◆ l'application de la loi sur l'eau : l'Arrêté préfectoral a fixé les prescriptions concernant la phase chantier. La mise en place des batardeaux nécessaires à la construction des piles devait être réalisée entre les mois de mai et d'octobre.

### Caractéristiques principales de l'ouvrage

Le choix du maître d'ouvrage a conduit à reprendre les caractéristiques suivantes.

Le biais géométrique de l'OA 6 est de 83,99 grades. Les axes d'appuis de l'OA 601 résultent donc du prolongement des axes d'appui de l'OA 6. Ainsi, la distribution des travées de l'ouvrage existant, dont les longueurs biaisées sont respectivement de 56,65 m, 95,68 m et 56,65 m soit une longueur totale entre axes de culées de 208,98 m, sont conservées pour le nouvel ouvrage.

Le profil en travers à la mise en service est reporté sur la figure 1.

A l'horizon 2015, il est prévu la mise à cinq voies de l'ouvrage avec la nouvelle distribution suivante, pour laquelle l'ouvrage a été calculé (figure 2).

Le dévers transversal est de 2,5 % vers la rive sud.

### Tablier

Des épaisseurs identiques à celles du tablier existant à savoir 5 m sur piles et 2 m à la clé et sur culées ont été retenues dans la mesure où :

- ◆ les calculs ont montré qu'elles conduisent à un dimensionnement de l'ouvrage raisonnable (béton ordinaire B45 et 42 kg de précontrainte par mètre cube de béton) ;
- ◆ ces épaisseurs permettent de ne pas être plus contraignant que l'ouvrage existant et de respecter le gabarit de 4,85 m en rive gauche ;

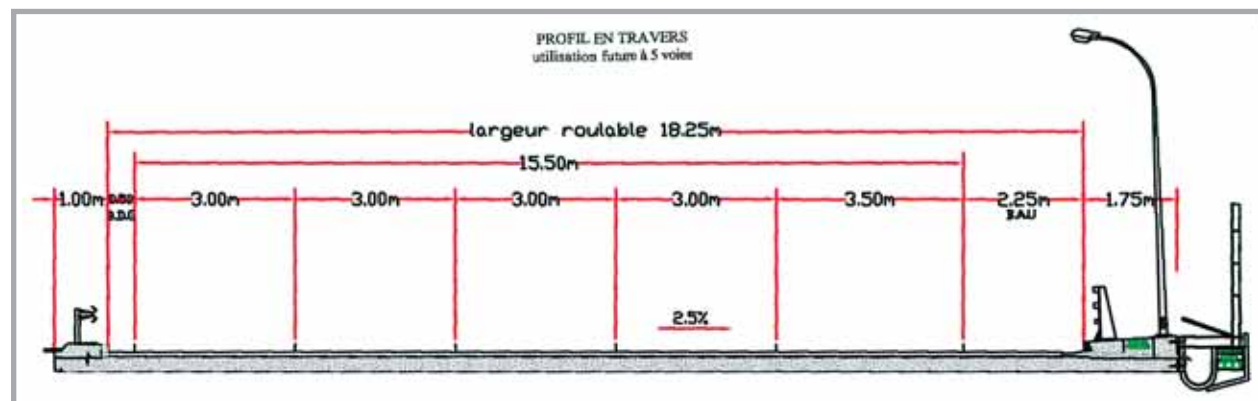
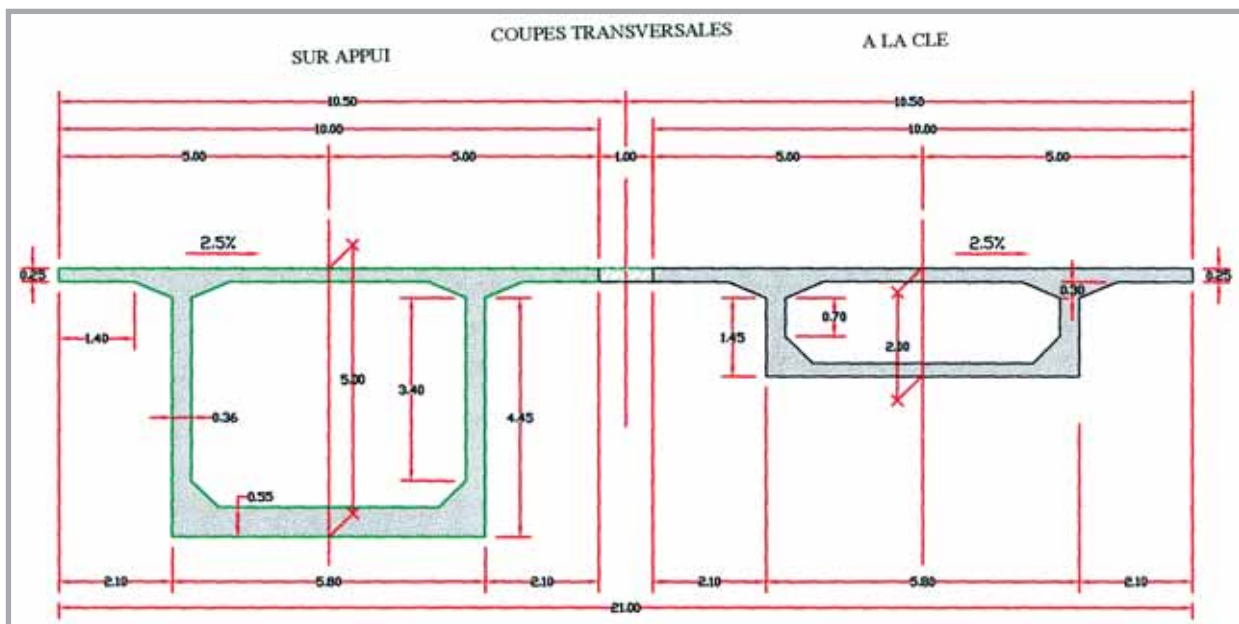


Figure 2  
Profil en travers.  
Utilisation future  
à 5 voies

Cross section.  
Future use with 5 lanes

Figure 3  
Coupes transversales -  
Sur appui - A la clé

Cross sections -  
On support -  
At the keystone



◆ c'est la solution esthétiquement la plus satisfaisante.

Les élancements valent 1/48 à la clé et 1/19 sur pile. L'ouvrage ainsi obtenu est élancé.

Toutefois, l'épaisseur de 2 m à la clé rendra plus difficile localement le cheminement des personnels dans l'ouvrage lors des opérations de surveillance notamment.

Afin de faciliter le façonnage du ferrailage, les âmes des caissons sont perpendiculaires aux hourdis et sont donc inclinées de 2,5 % sur la verticale, de même que le hourdis inférieur. Ces dispositions non perceptibles à l'œil ont permis d'avoir des aciers identiques pour les deux âmes des caissons. Le tablier est symétrique de largeur hors tout de 21 m. Il est décomposé en deux caissons de 10 m chacun (entre extrémités d'encorbellements) séparés par un clavage de 1 m. Chaque caisson est symétrique de largeur constante 5,80 m entre nus extérieurs des âmes, avec des encorbellements de 2,10 m chacun.

Chaque caisson présente les caractéristiques suivantes :

- ◆ les âmes ont une épaisseur constante de 36 cm ;
- ◆ le hourdis supérieur (y compris les encorbellements) garde une hauteur constante de 25 cm, permettant d'assurer une fixation correcte de la BN 4 ;
- ◆ l'épaisseur du hourdis inférieur varie linéairement entre 25 cm à la clé et 55 cm sur pile ;
- ◆ les âmes sont reliées au hourdis supérieur par quatre goussets de dimensions horizontale 80 cm et verticale 30 cm et au hourdis inférieur par l'intermédiaire de deux goussets de dimensions horizontale 65 cm et verticale 30 cm (figure 3).

Ces dispositions ont permis d'obtenir une hauteur libre sous ouvrage de 5,20 m au droit du gabarit routier et de 7,70 m au droit du gabarit fluvial. Cette hauteur a ainsi permis de maintenir la circulation fluviale malgré la réduction de gabarit liée à

l'encombrement de l'équipage mobile en phase de construction.

#### Les piles

Afin de donner une unité architecturale à l'ensemble du franchissement, le choix de reconduire la forme des fûts de piles a été fait.

Ceux-ci sont constitués d'un voile en forme de "Y", chacune des branches du "Y" recevant un caisson. Compte tenu de la faible valeur du biais géométrique, chaque ligne d'appui munie de quatre appareils d'appui, a été alignée sur une même droite faisant un angle de 83,99 grades avec l'axe longitudinal de l'ouvrage.

Ce principe a conduit à majorer l'épaisseur des têtes de piles de 1,50 m à 2,20 m ainsi que la base et l'ensemble du fût. La forme de la pile étant ainsi globalement conservée, cet épaissement n'est quasiment pas perceptible depuis les berges. Un raidisseur (socle) est interposé entre le fût et la semelle de répartition. Pour simplifier l'exécution des travaux les fûts sont identiques (soit 8,53 m sur la branche nord et 8,26 sur la branche sud) sur les deux piles, ce qui a permis de réutiliser le coffrage. La prise en compte des contraintes altimétriques imposées d'une part par le profil en long et d'autre part par les fondations a pu être respectée en jouant sur la hauteur du socle (1,31 m sur la pile ouest et 2,05 sur la pile Est).

La reprise des efforts de traction dans la section où les branches du "Y" se rejoignent a été résolue par la mise en œuvre sur deux lits, de six câbles de précontrainte 19T15S.

#### Appareils d'appui

Les appareils d'appui mis en œuvre tant sur les culées que sur les piles sont des appuis à pots. Chaque appui est muni d'une ligne de quatre appareils.

### LES PRINCIPALES QUANTITÉS

#### Tablier

- Acier : 644 t
- Béton : 11 825 t
- Précontrainte : 140 t

#### Fondations

- Acier : 157 t
- Béton : 6 420 t

#### Terrassements

- Remblais contigus : 11 000 m<sup>3</sup>
- Fouilles : 2 600 m<sup>3</sup>

Les appuis des culées et de la pile Est comportent :

- ◆ un appareil monodirectionnel (blocage transversal) ;

- ◆ trois appareils multidirectionnels.

La pile ouest comporte quant à elle pour chaque caisson :

- ◆ un appareil fixe ;

- ◆ trois appareils monodirectionnels (blocage longitudinal).

#### *Les fondations*

Compte tenu des tassements observés sur les piles de l'ouvrage existant fondé sur semelles, les piles sont fondées sur fondations profondes, à savoir sur deux files de quatre pieux de diamètre 1,50 m. Sur les deux piles, la cote supérieure de la semelle est fixée à 24,50 NGF, qui correspond au fond de Seine. Les pieux, tubés (virole), sont fichés dans le marno-calcaire du Lutécien.

Les dimensions de la semelle de répartition prennent en compte la position des pieux mais également celle des palées provisoires nécessaires à la stabilité du fléau soit 19,47 m de largeur pour 8,30 m de longueur.

Les culées sont également fondées sur pieux de 1,30 m de diamètre. Ceux-ci sont disposés sur deux files excentrées de 1,00 m pour la file avant et de 2,00 m pour la file arrière par rapport à l'axe d'appui. La file avant est munie de quatre pieux et la file arrière de deux pieux.

Ils sont fichés dans le marno-calcaire de Saint-Ouen à la cote 13,00 NGF pour la culée ouest et à la cote 21,22 NGF pour la culée Est (photo 1).

#### *Câblage du tablier*

Le câblage est mixte au sens où la précontrainte de continuité est assurée à la fois par des câbles extérieurs et intérieurs au béton. Leur classe de résistance est de 1 860 MPa.

#### *Câbles de fléaux*

Ils ont été dimensionnés pour reprendre les effets du poids propre des fléaux et de l'ensemble des charges de chantier pendant leur exécution (équipages mobiles et charges diverses). Ils sont au nombre de 13 paires par fléau plus une paire de gaines vides afin de pouvoir mettre en œuvre une précontrainte complémentaire si nécessaire.

#### *Câbles de continuité*

Les câbles intérieurs reprennent les effets du poids propre des clavages, du gradient thermique après clavage et du retrait différentiel dans les zones de clavage ainsi que leur propre effet hyperstatique, le cas échéant (cas des câbles de la travée centrale). Deux paires d'unités de 12T15 super ont été mises en œuvre dans chaque travée de rive et quatre paires en travée centrale.

Ils circulent dans le hourdis inférieur et sont ancrés dans les bossages surmontant les goussets infé-



**Photo 1**  
**Terrassements**  
**dans batardeau**  
*Earthworks*  
*in cofferdam*

rieurs du caisson ou à l'about de l'entretoise de culée (extrémité des câbles de travées de rives).

Afin de minimiser les effets de poussée au vide, ils sont situés latéralement au plus près des âmes. En zone courante, ils sont rectilignes parallèles à l'axe de l'ouvrage et excentrés de 10 cm par rapport à la fibre inférieure du caisson. Dans chaque travée c'est le câble le plus long qui est centré sur l'âme. Transversalement, les autres câbles sont décalés successivement de 20 cm.

#### *Câbles extérieurs*

Les câbles extérieurs reprennent les effets des superstructures, des charges d'exploitation, du fluage du béton, ainsi que leur propre effet hyperstatique. La position des déviateurs est déterminée afin de bénéficier de la réduction d'effort tranchant apportée par leur inclinaison au voisinage des piles.

Afin de minimiser l'encombrement dans les caissons, des unités de forte capacité de 19T15 super ont été mises en œuvre selon un tracé dit "croisé" soit deux paires de câbles circulant de la travée ouest à la travée centrale et deux paires de la travée Est à la travée centrale. Une paire additionnelle circule également de culée à culée. Cette disposition conduit au maximum à 2 x 5 paires en travée centrale (avec la précontrainte additionnelle).

#### *Equipements de l'ouvrage*

##### *Etanchéité*

Il est prévu une chape de 3 cm d'épaisseur décomposée en :

- ◆ un enduit d'imprégnation à froid ;
- ◆ une couche d'indépendance partielle ;
- ◆ une couche de mastic d'asphalte ;
- ◆ une couche d'asphalte gravillonnée.

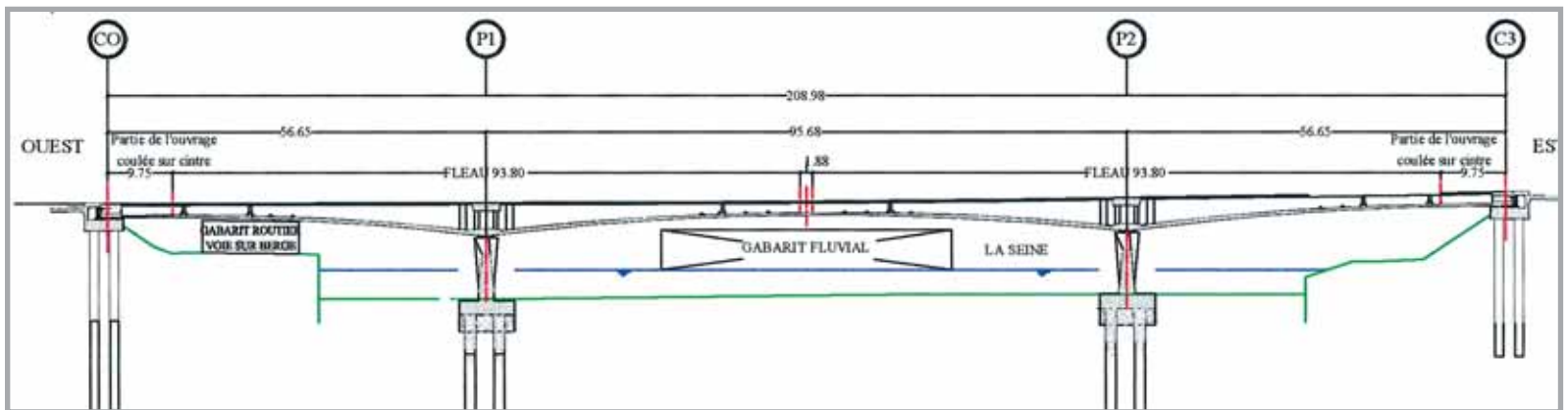


Figure 4  
Coupe  
longitudinale  
Longitudinal  
section



Photo 2  
Vue aérienne  
Aerial view

#### Candélabres

La chaussée portée par l'ouvrage sera éclairée. Les candélabres de hauteur 15 m et espacés de 40 m, seront disposés sur la rive Sud du tablier le long du passage de service (figure 4).

#### Dispositifs d'accès, de visite et d'entretien

Les dispositions ont été prises pour faciliter l'accès à l'ouvrage et son auscultation ultérieure et notamment par :

- ◆ des portes blindées pour accéder aux culées ;
- ◆ des escaliers de franchissements des entretoises de culées et de piles dans les caissons ;
- ◆ l'éclairage intérieur.

La visite des piles et des appareils d'appui est assurée par des échelons sur les parties inférieures des piles et par des marches exécutées dans leur échancrure.

#### ▶ Joints de dilatation

Les joints prévus ont un souffle de 80 mm sur la culée ouest et de 200 mm sur la culée est. Sous chaque joint, un dispositif de collecte des eaux pluviales est mis en place.

#### Dispositifs de retenue

Une barrière de type BN 4 est prévue en rive sud tandis que la rive nord recevra une glissière de sécurité métallique simple de profil B de type GRC.

#### Corniche caniveau

La rive sud est équipée d'une corniche caniveau métallique destinée à recevoir d'une part les écrans acoustiques, et d'autre part, le caniveau et la boîte de réseau concessionnaires (pour le réseau Sirius notamment). Sa forme a été définie par l'architecte dans le cadre de son marché de prestations architecturales et paysagères.

Celle-ci doit s'efforcer d'alléger la corniche afin de renforcer la perception de l'ouvrage vu de la Seine par l'intermédiaire de la mise en œuvre d'une tôle d'habillage en aluminium laqué blanc venant en finition.

## ■ EXÉCUTION DES TRAVAUX

### Organisation de la maîtrise d'œuvre

Dans le cadre de ces travaux, le maître d'œuvre (Service des travaux routiers et autoroutiers - STRA) s'est adjoint l'assistance de la Direction régionale de l'Équipement d'Ile-de-France (DREIF) et notamment :

- ◆ de la Division études d'infrastructures de transports et d'ouvrages d'art (DEITOA) pour la partie conception, suivi des études d'exécution, contrôle topographique en cours d'exécution et mise en place de la surveillance de l'ouvrage existant ;
- ◆ du Laboratoire régional de l'Ouest parisien (LROP) pour le contrôle extérieur (béton et précontrainte).

### Procédure et résultat de l'appel d'offres

La procédure de consultation choisie a été l'appel d'offres restreint. Le marché est décomposé en trois lots :



◆ le lot n° 1 : ouvrage 601 (franchissement de la Seine) hors fondations.

◆ le lot n° 2 : fondations de l'ouvrage 601.

◆ le lot n° 3 : ouvrage 701 (franchissement de la RN 448) et réhabilitation d'une buse.

Le marché a été contracté avec le groupement d'entreprises conjointes GTM Construction et Services, Solétanche Bachy et Balineau pour un montant total de 9 996 937,29 € HT soit 11 956 337 € TTC. Le coût de l'ouvrage OA 601, fondations comprises s'élève ainsi à 1 958 € HT/m<sup>2</sup>.

Le délai d'exécution a été fixé à 20 mois plus 4 mois pour les études d'exécution. L'ouvrage 701 (PIPO) et la réhabilitation de la buse ont été réalisés pendant l'exécution des fondations de l'ouvrage de franchissement de Seine (photos 2 et 3).

### Prise en compte de l'ouvrage existant

Afin de garantir sa pérennité et étant donné les désordres réparés, l'ouvrage OA 6 a fait l'objet d'une mise sous surveillance renforcée sur une durée de 24 mois et d'une haute surveillance sur une durée de 4 mois.

Dans un premier temps, des travaux topographiques pour le suivi de l'ouvrage en planimétrie et nivellement, ont été réalisés au cours de l'année 2001. Dans un deuxième temps au cours de la période de préparation du chantier, un suivi et une instrumentation ont été mis en place.

Cette instrumentation a consisté à équiper l'ouvrage :

◆ de fissuromètres au nombre de 10 situés soit sur des fissures verticales (piles P1 et P2), soit sur ouverture de joint central (caisson amont et aval) soit sur fissures de flexion ;

◆ de géophones en tête de chaque pile destinés à enregistrer les vibrations dans les trois directions (transversale, longitudinale et verticale) ;

◆ d'inclinomètres (quatre par piles et un sur la culée C0) et des lasers (sur chaque culée) implantés afin de mesurer le mouvement des piles ;

◆ de 15 sondes de température en différentes sections de tablier, en hourdis inférieur et supérieur ainsi que la température extérieure en tête des piles.

Chaque capteur est relié par liaison analogique à une centrale d'acquisition. Celle-ci par bus numérique permet de communiquer à distance entre le PC et les capteurs afin notamment de pouvoir paramétrer les seuils de déclenchement d'alerte et de récupérer pour analyse les signaux enregistrés. Les essais de battage de palplanches (février 2002) ainsi qu'une période d'apprentissage (avril 2002) ont permis de caler les seuils d'alerte et d'alarme par rapport au seuil théorique pour chacun des mouvements mesurés.

Le seuil d'alerte est défini par les mesures de déformations anormales. Dans ce cas, le chantier est



Photo 3  
Voussoir sur pile -  
Equipage mobile

Segment on pier -  
Mobile rig

arrêté et les données analysées. Il n'y a pas de danger structurel pour l'ouvrage et la circulation est maintenue sans restriction.

Le seuil d'alarme est quant à lui défini par les mesures de déformations atteignant les valeurs de ré-

### LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

#### *Maître d'ouvrage*

Ministère de l'Équipement, des Transports, du Logement, du Tourisme et de la Mer - DDE de l'Essonne

#### *Maître d'œuvre*

Service des travaux routiers et autoroutiers (STRA)

#### *Assistant maître d'œuvre*

DREIF - DEITOA - Groupe ouvrages d'art

#### *Contrôle extérieur*

DREIF - Laboratoire régional de l'Ouest parisien

#### *Entreprises*

GTM Construction et Services (mandataire)

**Cotraitant** : Solétanche Bachy et Balineau : fondations

#### *Sous-traitants*

- Terrassements remblais : JLM
- Estacades : Leduc
- Batardeaux - Ducs d'Albe - Enrochements : EMCC
- Fourniture et mise en coffrage des aciers coupés façonnés : Sendin Armatures/KDI Hardy
- Protections lourdes de chantier : Eurovia Béton
- Surveillance de l'ouvrage existant : Concrete/Advitam

sistance théorique de l'ouvrage à l'ELS. L'intégrité de la structure étant menacée, le chantier est arrêté et toute circulation sur l'ouvrage interrompue. Les seuils d'alerte ont toutefois été revus lors de l'apparition de températures extrêmes (juin 2002 et janvier 2003) afin de prendre en compte les fluctuations liées à ces températures.

Une procédure de traitement des alertes de la part de l'entreprise mais également de la part du maître d'œuvre a été mise en œuvre.

L'éventualité d'interrompre la circulation de la RN 104 a nécessité d'intégrer dans la chaîne d'alerte, le Service interdépartemental d'exploitation de la route (SIER) et d'établir un dossier d'exploitation (arrêtés et plans de déviation) relatif à cette éventuelle coupure d'urgence.

## ABSTRACT

National highway 104 - "La Francilienne". Enlargement to a three-lane dual-carriageway road between the A6 and A5 and construction of a new bridge over the Seine

*Ph. Renier, N. Barasz*

**The enlargement of "La Francilienne" between the A6 and A5 motorways has three main objectives :**

- Improvement of travel conditions for transit traffic and local traffic (92,000 vehicles per day) ;

- Support for local development for the business centres of Evry, Sénart and Corbeil-Essonnes ;

- Allowance for the environment through the construction of noise abatement systems, upgrading of the sewerage network and landscaping development. Improvement of travel conditions involves the construction of a new bridge over the Seine, doubling the existing structure. Its design was dictated by the contracting authority's desire to build a structure identical to the previous one. The structure is of prestressed concrete and is formed of a dual box-section deck with vertical webs of variable height on pile foundations. It is 209 metres long, the distribution of the three spans being identical to that of the existing structure. The deck, 21 metres wide, is formed of two box sections 10 metres wide separated by 1-metre keying. The damage detected on the existing structure after its construction meant that very close monitoring had to be performed during the works. Accordingly, instrumentation (crack measurement apparatus, geophone, inclinometer and temperature sensor) was employed especially during the sheet piling driving and foundation stage.

## RESUMEN ESPAÑOL

Carretera nacional RN 104 - La Francilienne. Ampliación a 2 x 3 carriles entre las autopistas A6 y A5 y construcción de una nueva estructura de franqueo del río Sena

*Ph. Renier y N. Barasz*

**La ampliación de la Francilienne entre las autopistas A6 y A5 corresponde principalmente a tres objetivos :**

- la mejora de las condiciones de desplazamiento para el tráfico de tránsito

y el tráfico local (92000 vehículos/día) ;  
- el apoyo del desarrollo local para los polos de actividades de Evry, Sénart y Corbeil-Essonnes ;

- la integración del medio ambiente mediante la ejecución de protecciones acústicas, la rehabilitación de la red de saneamiento así como la ordenación del paisaje.

Para mejorar las condiciones de desplazamiento es imprescindible la construcción de una nueva estructura de franqueo del río Sena que duplica la estructura ya existente. Su diseño fue dictado por la voluntad de la empresa contratante consistente en la ejecución de una estructura idéntica de aquella existente. La estructura es de hormigón pretensado formado por un tablero bicajón de almas verticales de altura variable construido sobre pilotes. Su longitud es de 209 m, siendo idéntica la distribución de los tres tramos de la estructura ya existente. El tablero de una anchura de 21 m está formado por dos cajones de 10 m separados por una dovela central de 1 m. Los deterioros que se han comprobados en la estructura existente tras su construcción han precisado la supervisión reforzada durante las obras. Así, se ha implementado una instrumentación, (fisurómetro, geófono, inclinómetro y sonda de temperatura), fundamentalmente, durante la etapa de hinca de tablestacas y de cimentaciones.

# À Roissy, le dernier maillon des viaducs de franchissement des aérogares 2

## Sous le chantier, la vie continue...

Au cœur de la rocade desservant les aérogares 2E et 2F de Roissy, un chantier très technique se déroule juste au-dessus des voyageurs, des chauffeurs de bus et de taxis depuis janvier 2002. Le challenge relevé par les équipes de Spie Batignolles TPCI à la demande d'Aéroports de Paris : perturber le moins possible les activités qui se déroulent en contrebas de l'ouvrage, dans le plus strict respect des règles de sécurité. Et ce n'est pas chose simple quand il s'agit de réaliser deux viaducs mono-voie de 670 m chacun, composés respectivement de 21 travées d'une portée moyenne de 32 m supportées par 20 piles tulipes dont la plus haute mesure 22 m!

### ■ UN CHANTIER OÙ TOUT SE JOUE EN HAUTEUR (photo 1)

Avec ce chantier, l'aéroport de Roissy parachève le franchissement de l'aérogare 2 d'est en ouest (et vice versa), et complète ainsi le dispositif d'arrivée par l'Est dans la zone passagers. C'est dire l'importance de ce dernier tronçon, mais aussi la difficulté à conduire un chantier totalement imbriqué dans une zone en activité, et quelle activité! Entre les deux bâtiments 2E et 2F de l'aérogare, une rocade dessert le niveau "départ" (N + 2), une esplanade située au niveau "arrivée" (N + 0) accueille le stationnement des taxis, des bus et les parcs de location de véhicules ; cette esplanade constitue elle-même la couverture d'un parking de trois niveaux.

Dans ce contexte, le cahier des charges défini par Aéroports de Paris insistait fortement sur la nécessaire limitation lors du chantier de la gêne occasionnée aux passagers – bruit et poussière –, et par dessus tout sur l'adaptation à la circulation (rocade dont le gabarit est engagé par la présence du cintre, emprise sur l'esplanade centrale). Spie Batignolles TPCI s'est donc employé à limiter les emprises au sol. Pour éliminer toute forme d'étalement sur l'esplanade, la technique du cintre sur consoles brêlées aux piles a été employée. Ici, tout se joue en hauteur, sur des parcelles de chantier très réduites (jusqu'à 20 m x 30 m!), qu'il s'agisse de la réalisation des piles ou de la pose/dépose des consoles supportant le cintre.

### ■ DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE L'OUVRAGE (photo 2)

#### Les piles

Les piles disposent des caractéristiques suivantes :

- ◆ 20 piles tulipes, hautes de 6 à 22 m ;



Photo 1  
Coffrage de pile au milieu du parking taxis

*Pier formwork in the middle of the taxi parking lot*



Photo 2  
Le viaduc nord terminé, le viaduc sud en cours de réalisation

*The northern viaduct completed, the southern viaduct undergoing construction*

Richard Vandernotte



DIRECTEUR  
DES CHANTIERS ADP  
Spie Batignolles TPCI

Jean-Christophe



Dupoux  
INGÉNIEUR MÉTHODES  
ET COORDINATEUR  
ETUDES-TRAVAUX  
Spie Batignolles TPCI

Pedro Bandera



INGÉNIEUR TRAVAUX  
Spie Batignolles TPCI

Didier Nortier



CHEF DE CHANTIER  
Spie Batignolles TPCI



**Photo 3**  
Le cintre une fois calé  
*The centre after wedging*



**Photo 4**  
L'avancement du cintre :  
accostage d'une pile  
*Moving the centre  
forward : berthing  
against a pier*

**EN CONTREBAS DES VIADUCS,  
SPIE BATIGNOLLES TPCI  
A ÉGALEMENT RÉALISÉ  
L'OUVRAGE L28CD**

En franchissant les voies de service et les voies du futur Système automatique de transport (l'équivalent du Val à Orly), cet ouvrage courbe flanqué de deux ponts-cadres (l'un est monotravée, l'autre est à double travée), crée une route de service directe entre les aires des aéroports 2 F et 2 E. Il a également une vocation fonctionnelle, puisqu'il abrite des groupes électrogènes, des transformateurs et des baches à eau. Là encore, les traitements de surface ont été très soignés : des contreplaqués d'un seul tenant de 3 m x 6,60 m ont été commandés spécialement en Allemagne pour supprimer les joints horizontaux.

- ▶ ◆ section 1,1 x 1,6 m (1,6 x 1,6 en tête), géométrie "standard ADP";
- ◆ béton B50 type mignonnette 0/12 au lieu de 0/20 utilisé couramment (lié à la densité d'armature au niveau des boîtes);
- ◆ boîtes de réservation pour fixation de consoles de tenue du cintre;
- ◆ densité armature moyenne 175 kg/m<sup>3</sup> concentré sur la périphérie;
- ◆ les piles sont majoritairement réalisées à partir de coupleurs en attente sur l'esplanade et de quelques semelles sur pieux.

**Le tablier de l'ouvrage** comprend :

- ◆ 21 travées réalisées en 10 tronçons sur cintre (2 travées par tronçon) + 1 travée sur étalement;
- ◆ portée moyenne des travées : 32 m;
- ◆ ouvrage précontraint avec en moyenne huit câbles 19T15, procédé Spie Batignolles;
- ◆ un noyau central en béton précontraint et deux encorbellements en béton armé accueillent les dispositifs de retenue des véhicules (barrières et glissières de sécurité préfabriquées);
- ◆ l'ouvrage est habillé en sous-face par des coques préfabriquées, dont la seule fonction est esthétique répondant aux standards de la plate-forme de Roissy;
- ◆ 56 pièces préfabriquées au total par tronçon;
- ◆ la formulation du béton B50 a été spécialement mise au point par les ingénieurs de Spie Batignolles TPCI et Holcim Béton afin d'adapter sa viscosité et la plasticité aux contraintes du chantier (pente 6,3 %);
- ◆ 2500 m<sup>3</sup> de béton par tablier au total, soit 240 m<sup>3</sup> par tronçon;

◆ les arrêts de béton en bout de tronçon sont faits au point de moment nul (encorbellement longitudinal).

■ **LA RÉALISATION DES PILES :  
UNE PROUESSE DE BÉTONNAGE**

Le maître d'ouvrage ayant demandé des parements particulièrement soignés, à la finition de type architectural, les piles ont dû être bétonnées en une seule fois quelle que soit leur hauteur. On imagine aisément les difficultés de bétonnage liées à cet élanement ! Les deux prototypes de pile ont permis d'acquiescer la bonne technicité, et ainsi le rythme de réalisation est passé de 8 jours pour les deux premières piles à 3 jours pour les suivantes. Une colonne de bétonnage inspirée de la technique de bétonnage de pieux a été utilisée pour franchir la section réduite au droit des boîtes de réservation (colonne de 165 mm de diamètre pour un passage libre de 200 mm de diamètre entre les armatures enchevêtrées). Introduite jusqu'au bas du coffrage, elle est remontée au fur et à mesure du bétonnage. Elle est démontable par morceaux de 2 m. La vibration est assurée par quatre vibreurs internes et complétée par une vibration de peau. Le débit de bétonnage est lié à la résistance du coffrage : à raison de 6 m<sup>3</sup>/h, 8 heures à 10 heures de bétonnage sont nécessaires pour la pile la plus haute.

■ **LES CARACTÉRISTIQUES  
DU CINTRE UTILISÉ** (photos 3, 4 et 5)

Le cintre est une charpente de type treillis de 300 t, constituée de deux poutres treillis placées de part et d'autre des piles, transversalement. Reliées entre elles ponctuellement par des croix de Saint-André (amovibles lors de l'avancement du cintre), ces poutres supportent le fond de moule amovible en phase de translation, ainsi que les vérins de support et de réglage des coques. Deux pièces appelées "basculeur", posées sur les consoles et supportant les poutres-treillis règlent les différents cas de pentes rencontrés. En phase statique, lors du coffrage, de la pose des éléments préfabriqués et du bétonnage du tablier, le cintre repose sur trois consoles fixées aux piles, chacune reprenant alors 300 t de poids total.

En phase de translation, le cintre repose sur deux à trois consoles selon les positions. L'avancement du cintre se fait sur des rouleurs, en 8 à 10 heures. Des vérins assurent la translation depuis la pile avant du tronçon réalisé (qui devient la pile arrière du tronçon à réaliser). Chaque translation correspond à la course du vérin, soit 1,20 m.

## ■ UN CYCLE DE TROIS SEMAINES PAR TRONÇON

A raison de trois semaines par tronçon de tablier et de deux postes de travail par jour (de 7 h00 à 22 h00 avec recouvrement), le déroulement d'un cycle est le suivant :

- ◆ avancement du cintre ;
- ◆ mise à niveau + calage sur les basculeurs des consoles ;
- ◆ réglage du fond de moule en altimétrie (contre-fèche) et en plan ;
- ◆ réalisation des bossages et pose des appareils d'appui ;
- ◆ pose des coques et des prédalles ;
- ◆ pose des armatures du lit inférieur des encorbellements et des armatures du noyau central + gaines de précontrainte (réalisées en poste de nuit) ;
- ◆ pose des descentes d'eaux pluviales ;
- ◆ pose des barrières ;
- ◆ pose des armatures en lit supérieur des encorbellements + renforts des ancrages de précontrainte ;
- ◆ mise en place et coffrage des ancrages de précontrainte ;
- ◆ bétonnage à la pompe ;
- ◆ enfilage des câbles de précontrainte en temps masqué, pendant la prise du béton ;
- ◆ mise en tension une fois la résistance du béton (36 MPa) obtenue (40 MPa pour les travées de rive d'un JD) ; les câbles sont essentiellement de type actif-passif sauf les câbles de continuité des tronçons (JD à JD) qui sont de type actif-actif ;
- ◆ injection des gaines au coulis de ciment ;
- ◆ déverinage du cintre sur les rouleurs ;
- ◆ basculement du fond de moule ;
- ◆ avancement.

En temps masqué, une fois le cintre avancé, les deux consoles laissées en arrière sont démontées et remontées pour le prochain avancement, selon le principe millénaire des rouleaux égyptiens !

## ■ DES DIFFICULTÉS INHÉRENTES AU SITE

Si le bétonnage de chaque pile a demandé un gros travail d'organisation, vu la petite taille des parcelles de chantiers mobilisables, les difficultés sont décuplées lors de la pose des consoles supportant



Photo 5  
Travaux en cours  
*Work in progress*

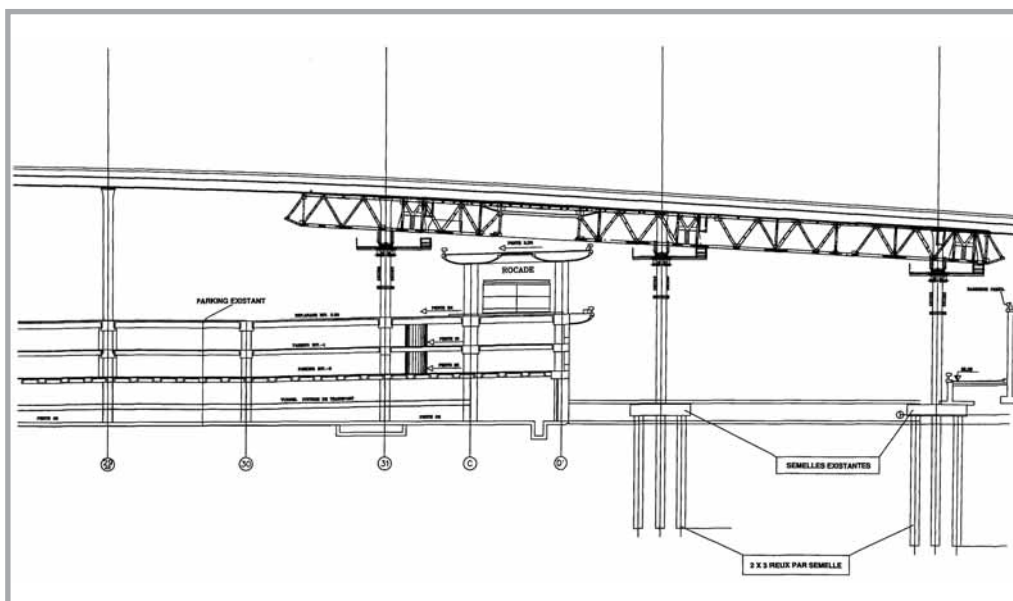


Figure 1  
Ouverture de la passe charretière  
sur la rocade desservant  
les bâtiments 2E et 2F  
*Opening for the ring-road crossing  
providing access to buildings 2E and 2F*

le cintre. Et elles ne sont pas que techniques ! Pour chaque tronçon, il faut déposer une demande d'arrêt préfectoral permettant de neutraliser la zone du chantier située le plus souvent au-dessus de l'esplanade centrale, ce qui revient à interférer avec la circulation ou les aires de parking à ciel ouvert (bus, taxis, voitures de location). Autre difficulté : la circulation sur la rocade.

On est ici au cœur de l'aéroport, il est impensable de bloquer longuement les voies de circulation existantes, à la fois pour des questions de sécurité et de densité de trafic. Or, chaque viaduc les franchit en plusieurs endroits. A chaque franchissement, une passe charretière est donc ouverte dans le cintre juste après son avancement et son calage (figure 1). Cette opération doit être effectuée en 4 jours maximum, au-delà desquels la circulation doit reprendre ses droits.

Préalablement au franchissement de la rocade, des travaux de signalisation et de déviation doivent être mis en place de nuit (entre 0 h00 et 5 h00 du ma-

► tin) conformément aux arrêtés préfectoraux par les équipes du chantier.  
Enfin, signalons une contrainte technique, inhérente à la physiologie de l'ouvrage. Selon les tronçons de tablier, l'effet poids du béton et la déformation de précontrainte sont différents. La contre-flèche est donc à calculer et à mettre en place au cas par cas à chaque travée, et malgré cela, il est difficile de régler les éléments préfabriqués selon un pronostic de déformation.



**Photo 6**  
Pose des consoles sur la pile P19, au-dessus de la galerie de liaison

*Laying cantilevered beams on pier P19, above the connecting gallery*



**Photo 7**  
Dépose des mêmes consoles  
*Removal of the same cantilevered beams*

## ■ À CHAQUE SITUATION SA SOLUTION

Autour des piles P19 et P17, une galerie de liaison piétonne a été construite entre les aérogares 2E et 2F, ce qui a conduit Spie Batignolles TPCI à imaginer une technique de montage et de démontage particulière des consoles. Le montage des pièces – pour les plus lourdes, 7 t à 28 m – a été effectué avec une grue de 120 t et un camion nacelle de 61 m (photo 6). La répartition de charge de 48 t sous un patin de grue s'est faite grâce à des tabourets de répartition pour correspondre au modèle Bc du fascicule 61 titre II ayant servi au calcul de l'esplanade.

Pour le démontage, il a été nécessaire de retirer les consoles fixées aux piles depuis le dessus du tablier en s'aidant d'un palonnier en C, la solution utilisée lors du montage ne fonctionnant plus dès lors que le tablier est réalisé sur ces piles P17 et P19 (photo 7).

## ■ UN OUVRAGE D'ART AUX FINITIONS ARCHITECTURALES

Le maître d'ouvrage ayant demandé qu'une grande attention soit portée aux aspects, sur cet ouvrage comme sur tous les chantiers des aérogares 2 F (aérogare réalisée en gros œuvre par Spie Batignolles TPCI entre 1994 et 1998) et 2 E, Spie Batignolles TPCI a employé des modules préfabriqués (coque, barrière de sécurité) conformes au standard de l'architecte.

Pour la même raison, les joints des contreplaqués ont été soigneusement alignés sur les joints des coques en sous-face.

## ■ LA SÉCURITÉ SUR LE CHANTIER

La sécurité a été intégrée dans la conception des outils de production – que ce soit le cintre, les consoles sur piles ou les coffrages de piles – et dans les méthodes de réalisation. Mais veiller à la sécurité sur le chantier, c'est aussi observer, constater, modifier parfois certains dispositifs pour s'améliorer en permanence. C'est pour cela qu'un agent de prévention est attaché aux deux chantiers de Spie Batignolles TPCI sur Roissy. Impliqué dans les réunions d'avancement de travaux, constamment présent sur le terrain aux côtés du chef de chantier, il est d'autant plus attentif à renforcer la sécurité que les équipes travaillent ici sur un ouvrage exceptionnel.

La haute technicité du personnel de Spie Batignolles TPCI dans le domaine des ouvrages d'art – qu'il s'agisse de travaux ou de méthodes – conjuguée à une sensibilisation de tous les intervenants à la

sécurité a permis d'anticiper et de solutionner tous les problèmes techniques et d'obtenir une absence d'accident depuis le démarrage du chantier.

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### *Maître d'ouvrage*

Aéroports de Paris

### *Maîtrise d'œuvre de conception*

ADP INA

### *Maîtrise d'œuvre de réalisation*

ADP TRA

### *Entreprise principale*

Spie Batignolles TPCI

### *Sous-traitants*

- Spie précontrainte (précontrainte)
- SAMT (armatures)
- PCB (joints de chaussée)
- Eurovia (étanchéité et enrobés)

### *Fournisseurs*

- CM Paimboeuf (cintre)
- Holcim béton
- Capremib (éléments préfabriqués en béton)

## ABSTRACT

In Roissy, the last link on the viaducts passing through the No. 2 air terminals. Under the construction site, life goes on...

*R. Vandernotte, J.-Ch. Dupoux, P. Bandera, D. Nortier*

In the heart of the ring road providing access to Roissy terminals 2E and 2 F, the personnel of Spie Batignolles TPCI are carrying out for Aéroports de Paris a highly technical project : two single-lane viaducts each 670 metres long, each consisting of 21 spans of average length 32 metres supported by 20 tulip type piers, the highest of which measures 22 metres. Roissy Airport thereby completes the crossing of terminal 2 from east to west (and vice versa) and completes the system for arriving in the passenger area via the east. On this construction site right in the heart of a busy area (presence of passengers, buses and taxis), Spie Batignolles TPCI succeeded in limiting its space requirements, disturbing as little as possible the traffic below and around the structure. The deck was built by the centre technique, and to obtain finishes of architectural designer quality, the piers were concreted in a single operation, even the highest ! Safety, carefully allowed for in both the design and methods, is managed daily by an occupational health and safety officer.

## RESUMEN ESPAÑOL

Roissy, último eslabón de los viaductos de franqueo de los terminales aéreos 2. Debajo de las obras, la vida sigue su curso...

*R. Vandernotte, J.-Ch. Dupoux, P. Bandera y D. Nortier*

En pleno centro de la vía de circunvalación que da servicio a los terminales aéreos 2E y 2 F de Roissy, los equipos de Spie Batignolles TPCI ejecutan para Aéroports de Paris una obra sumamente técnica : dos viaductos de carril único de 670 m cada uno, formados respectivamente por 21 tramos de una luz de promedio de 32 m soportados por 20 pilas tulipas entre las cuales, la más alta mide 22 m. El aeropuerto de Roissy finaliza así el franqueo del terminal

aéreo 2 desde el este hacia el oeste (y viceversa) y completa el dispositivo de llegada por el este en la zona de viajeros. En esta obra, totalmente imbricada en una zona de actividades (presencia de viajeros, de autobús y de taxis), Spie Batignolles TPCI ha conseguido limitar la superficie ocupada, con objeto de perturbar al mínimo el tráfico rodado y en torno de la estructura. El tablero se ha construido según la técnica del arco de bóveda, y para obtener acabados de calidad arquitectónica, las pilas fueron hormigonadas simultáneamente, incluso para la más alta... La seguridad, debidamente integrada en el diseño así como en los métodos, se controla a diario por parte de un responsable de la prevención.

# Le pont de Pierre se Protection des piles du pont pour le passage des éléments

Le transport multimodal des principaux éléments de l'Airbus A380 commence par voie maritime, en continuant par un trajet fluvial, pour terminer par la route avant leur assemblage à Toulouse.

C'est au cours de leur trajet fluvial entre Pauillac et Langon que les barges Airbus sont amenées à franchir le pont de Pierre à Bordeaux, qui constitue un obstacle délicat. Il a donc fallu aménager une protection de la passe n° 9, utilisée par les barges, pour assurer leur sécurité ainsi que celle du pont.

C'est le groupement d'entreprises EMCC - Balineau qui a eu pour mission de réaliser les travaux, d'un montant d'un peu plus de 4 millions d'euros, à exécuter dans un délai de 7 mois.

Ces travaux consistaient à réaliser quatre ducs-d'Albe : deux en amont et deux en aval des piles n° 8 et 9,

chaque duc-d'Albe étant constitué de trois pieux Ø 1300 mm liés par une coiffe. Par ailleurs, deux poutres de 38 m de long, 120 t unitaire, encastrées sur quatre pieux Ø 800 mm, servent de glissière de sécurité.

Il fallait percer, sans les perturber, les protections anti-affouillement existantes.

Les principaux éléments de l'Airbus A380 sont fabriqués par différents centres de compétence européens (Hambourg, Broughton, Nantes-St-Nazaire, Stade, Getafe) pour être finalement assemblés à Toulouse.

Le transport commence par voie maritime depuis les différentes usines Européennes avec un navire roulier "le Ville de Bordeaux" qui transfère ces éléments sur le site de Pauillac ; ils sont ensuite réacheminés par des barges fluviales jusqu'à Langon, une seule de ces barges, "Breuil", est actuellement en service.

Le périple s'achève entre Langon et Toulouse par voie routière. Sur le trajet fluvial, le franchissement du pont de Pierre est un passage obligé et doit faire l'objet d'une attention toute particulière.

On sait que le pont de Pierre, monument historique emblématique de la ville de Bordeaux, a été voulu par Napoléon I<sup>er</sup> pour permettre aux armées impériales de franchir aisément la Garonne, large à cet endroit de plus de 500 m. Livré en 1821, il est toujours en service et soigneusement entretenu. Il

compte parmi les quatre seuls ponts routiers de Bordeaux.

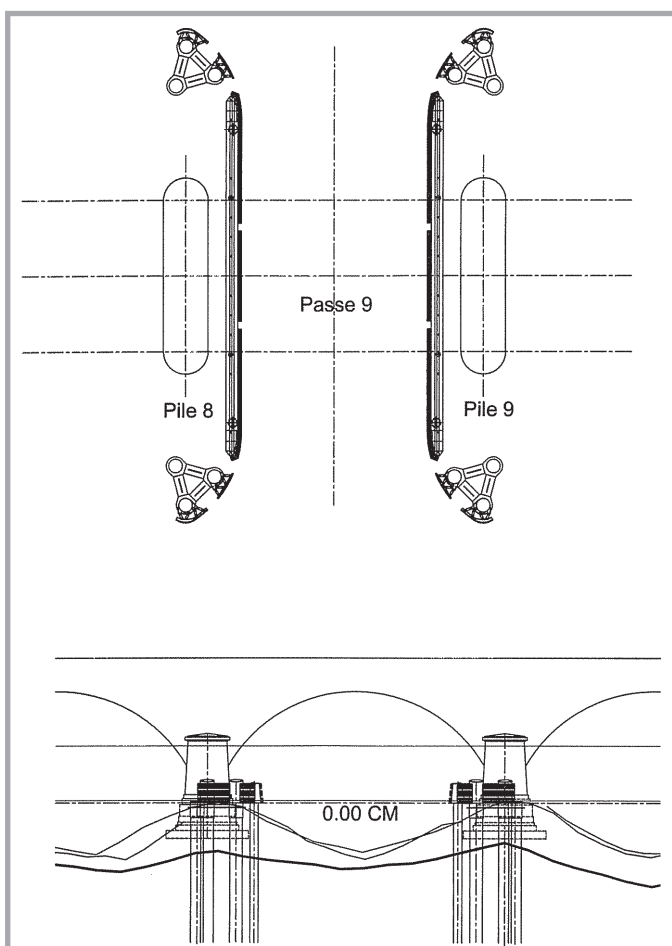
Les difficultés de navigation dans la Garonne, dues aux phénomènes de marée et aux courants importants, s'amplifient au droit du pont de Pierre avec des accélérations de courants pouvant atteindre 5 m/s. La réduction de la section de passage au niveau des arches et les crues ajoutent à ces difficultés.

Afin de prévenir les risques de collision avec l'ouvrage, il a donc été défini un système de protection des piles du pont, que les barges ne peuvent passer qu'à l'étape de marée basse.

Les travaux de la passe n° 9 se sont achevés le 20 août 2004.

## DESCRIPTION DE L'OUVRAGE DE PROTECTION

L'ouvrage de protection est situé entre les piles n° 8 et n° 9 qui constituent la passe n° 9 et se com-



Plan d'ensemble du système de protection de la passe n° 9

General plan of the protection system for channel No. 9

Mise en fiche d'un pieu Ø 1300 avec un vibrofonneur PTC 60 HFV

Pre-driving of a pile of dia. 1300 mm with a PTC 60 HFV vibratory driver





# protège de Pierre à Bordeaux de l'Airbus A380



Vue d'ensemble  
de l'installation nautique

General view of the water  
facility

pose pour chaque pile des différents éléments suivants.

## Ducs-d'Albe

Deux groupes de ducs-d'Albe frontaux (un amont, un aval) constitués de trois pieux de diamètre 1 300 mm, à épaisseur variable de 26 à 65 mm, cette valeur intègre une épaisseur sacrifiée à la corrosion. Tous les pieux sont ancrés d'environ 1 m dans le substratum marneux. Ils sont destinés à résister au choc frontal de la barge. L'énergie amortie en service normal est de 784 kJ par tube ; en situation accidentelle, elle est de 3 700 kJ, ce qui correspond à un choc de 1 200 t sur le bouclier. Ces pieux forment un triangle équilatéral de 4,15 m de côté et sont reliés entre eux par des bielles métalliques. Ils sont munis en tête d'un système de défenses en caoutchouc et d'un bouclier métallique sur lequel sont fixées des plaques de frottement en polyéthylène.

## Glissière latérale

Une protection latérale, formée d'une poutre-caisson métallique encastrée sur deux pieux de diamètre 850 mm, d'épaisseur constante 54 mm, est destinée à reprendre les chocs latéraux de la barge. La poutre a une portée de 30 m entre axes des

pieux et se termine par deux consoles d'extrémité de 4 m de longueur environ.

Sa forme trapézoïdale s'inscrit dans les dimensions 1,38 x 2,00 m. Les parois sont constituées de tôles de 40 mm d'épaisseur, le raidissage est assuré par des cadres transversaux à l'intérieur du caisson d'entraxe 2,50 m. Le poids total de chaque poutre est d'environ 120 t.

La largeur de la passe entre glissières est de 19,20 m.

## Equipements

### Défenses et boucliers

Les ducs-d'Albe sont munis en partie haute d'un système de défense constitué pour chaque pieu de quatre éléments de 600 mm de hauteur par 2,00 m de longueur. Les extrémités des poutres sont équipées sur toute la hauteur du caisson de défenses trapézoïdales de 150 mm de hauteur.

Toutes les défenses sont associées à des boucliers en acier constitués de profilés reconstitués et soudés. Ceux-ci sont recouverts de plaques de frottement en polyéthylène de 50 mm d'épaisseur.

Les glissières latérales sont munies sur leur face avant de protections en bois, fixées sur le caisson métallique.

Aucune protection anticorrosion n'a été appliquée car toutes les structures métalliques intègrent

Jacques Garrissou



DIRECTEUR DE TRAVAUX  
Balineau SA

Michaël Morvan



DIRECTEUR DE TRAVAUX  
EMCC

Etienne Naudé



CHEF DU DÉPARTEMENT  
DES ETUDES  
ET DES TRAVAUX  
DE GÉNIE CIVIL  
Port Autonome de Bordeaux

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

*Maître d'ouvrage*  
Port Autonome de Bordeaux

*Maître d'œuvre*  
Ingérop Sud-Ouest

*Contrôle technique*  
Socotec

*Coordonnateur sécurité et protection de la santé*  
Norisko

*Entreprise*  
Groupement EMCC - Balineau SA

*Principaux sous-traitants*

- Chaudronnerie de la Rhune (construction métallique)
- CTS (travaux subaquatiques)
- EEW (fabrication des tubes)

Mise en place d'une coiffe de duc-d'Albe. Le pieu arrière qui se trouve 2 m plus bas que les autres n'est pas encore visible

*Installation of a dolphin cap. The rear pile which is located 2 metres lower than the others is not yet visible*



### LES PRINCIPALES QUANTITÉS

- Quatre ducs-d'Albe constitués de :
  - 12 tubes diamètre 1 300 mm à inertie variable, épaisseur 26 à 65 mm, en nuance d'acier S620QL, longueur 24 m. Masse unitaire : 34 t
  - 4 têtes de duc-d'Albe, poids unitaire : 30 t
- Deux glissières constituées de :
  - 4 pieux diamètre 850 mm, longueur 24 m, épaisseur 54 mm, masse unitaire : 32 t, nuance S620QL
  - 2 poutres trapézoïdales 2 m x 0,90 m, longueur 38 m, masse unitaire : 120 t



une épaisseur sacrifiée à la corrosion. L'aspect brun rouille de toutes les parties métalliques permet une bonne intégration dans le milieu environnant en se confondant avec les tons de la Garonne. L'intégration est d'ailleurs améliorée par le fait que l'ouvrage de protection n'est visible que quelques heures par jour. Sa partie supérieure est à la cote + 2,00 CM pour une amplitude de marée qui varie de + 0,00 CM à la cote + 6,00 CM.

Le pont de Pierre a été récemment inscrit à l'Inventaire complémentaire des monuments historiques et il est situé dans le périmètre de protection au titre des monuments historiques. Ce projet a donc fait l'objet d'un soin architectural particulier, tant dans le choix des dispositions géométriques que dans le choix des matériaux à mettre en œuvre ayant une influence sur l'aspect final.

### Signalisation

Un feu d'alignement est fixé sur le pont dans l'axe de l'arche pour assurer une aide à la navigation, en supplément au GPS. Ce dispositif, constitué d'un feu à secteur rouge, blanc et vert, définit l'angle d'approche duquel la barge ne doit pas sortir pour franchir le pont.

L'angle total du feu est de 15° et le secteur blanc qui constitue l'angle d'alignement à suivre est de 3°. Jusqu'à 70 m du pont, la barge peut annuler sa manœuvre en cas de dérive. Au-delà de cette limite, l'engagement est obligatoire. On retrouve dans ce dispositif le même principe que celui des techniques d'approche aéronautiques.

### LES CONDITIONS PARTICULIÈRES

La technique des travaux à réaliser est parfaitement connue et maîtrisée par les entreprises du groupement EMCC et Balineau, mais l'environnement particulier du pont de Pierre complique la réalisation.

Le premier handicap est celui du courant qui, déjà très important sur la Garonne, s'accélère considérablement au droit de l'ouvrage, pouvant atteindre 5 m/seconde. Ces conditions obligent à une surveillance accrue du matériel flottant, à une grande vigilance lors des mouvements de barges ainsi qu'à une rigueur absolue dans les amarrages.

Il aura fallu tenir compte également du grand âge de l'ouvrage historique. En effet, les vibrations engendrées par les moyens importants de battage étaient incompatibles avec la relative fragilité de l'ouvrage. Il s'agissait d'appliquer une main de fer dans un gant de velours. Il était donc nécessaire de suivre les éventuels mouvements du pont pendant les travaux. Depuis 2002, tous les appuis sont équipés de capteurs de tassement et d'inclinomètres. Ce dispositif, géré par le CETE, a été adapté pour le chantier, permettant de recevoir en temps réel les informations sur la barge de travail.

Les limites de tassement définies comme seuil étaient de 10 mm pour la réalisation du premier pieu, de 30 mm cumulés pour le deuxième pieu et de 50 mm cumulés pour les pieux suivants. A 75 % de ce seuil, une autre méthode d'exécution devait être appliquée.

Autre difficulté à résoudre, cette fois liée au profil du fond qui forme une digue dont les talus va-

rient de la cote - 4,00 CM à - 20,00 CM sur une distance d'environ 35 m. Cette pente importante des talus compliquait la tenue des pieux au moment de leur mise en fiche ainsi que le positionnement et la stabilité de la plate-forme autoélévatrice. L'érosion importante que subit le lit du fleuve a conduit à plusieurs époques à mettre en place des gros blocs d'enrochements pour protéger les piles, créant un obstacle supplémentaire à la réalisation des pieux.

Toujours dans le cadre de la protection contre l'érosion, des travaux engagés à partir de 1996, auxquels le groupement EMCC et Balineau avait participé, consistaient à reprofiler les talus avec des enrochements protégés par une carapace de gabions jointifs (matelas grillagés remplis de cailloux de 110 mm à 180 mm). Il s'agissait donc maintenant de ne pas endommager ces gabions.

## ■ LES MOYENS MIS EN ŒUVRE

Les moyens nautiques mis en œuvre étaient constitués :

- ◆ d'une part, d'un ponton grue "Tramex" (30 m x 18 m) équipé d'une grue de 250 t Liebherr LR 1250. Cet équipement était chargé principalement de toutes les opérations de levage lourd, ainsi que de la mise en fiche et du battage des pieux, au moyen d'un vibrofonneur à fréquence variable type PTC 60 HFV et d'un mouton hydraulique IHC S70 ;

- ◆ d'autre part, d'une plate-forme autoélévatrice à six pieux "Ile d'Oléron", équipée d'une grue de capacité 65 t, destinée à supporter le guide de battage et à assurer toutes les manutentions secondaires.

Le ponton de servitude (36 m x 9 m), constitué de caissons CMR, permettait les approvisionnements du chantier avec le pousseur "Patrice" de 500 CV, appuyé ponctuellement pour les manœuvres délicates d'un deuxième pousseur "Bègles" de 340 CV.

## ■ LE PHASAGE DES TRAVAUX

La première opération, avant la mise en place de "l'Oléron", consistait à positionner, au droit de chaque pieu de la plate-forme, des gabions de 4 x 4 m pour protéger la carapace existante du risque de poinçonnement.

La plate-forme "Oléron" était ensuite positionnée précisément par un géomètre guidant la manœuvre depuis la berge. Une fois déjaugée, la plate-forme constituait un plan de travail fixe à partir duquel le guide de battage était positionné. Le guide de battage comportait deux niveaux superposés et écartés de 4 m. Ce guide était positionné et soudé sur des fers en console fixés à la plate-forme. Il permettait de mettre en œuvre les trois pieux Ø 1 300 mm en une seule opération.



Forage d'un pieu au trépan émulseur  
*Drilling a pile with an emulsion drilling bit*



Battage d'un pieu au mouton hydraulique IHC S70

*Pile driving by an IHC S70 hydraulic hammer*



Mise en place de la poutre. Aperçu de l'extrémité de la poutre maintenue en semi-immersion par les flotteurs catamarans

*Laying the girder. Glimpse of the end of the girder held in semi-submerged position by the catamaran floats*

Vue du système de protection à l'entrée de la passe

View of the protection system at the channel entrance



Vue d'ensemble de la poutre posée

General view of the installed girder



Passage pendant l'exécution des travaux de la barge Airbus sous l'arche n° 11

Passage of the Airbus barge under arch No. 11 during work performance



La traversée des gabions existants se faisait au moyen d'une gaine métallique Ø 1 500 mm, mise en place dans le guide de battage avant les tubes Ø 1 300 mm.

Une équipe de plongeurs découpait le grillage à l'intérieur de la gaine à l'aide d'une cisaille.

La grue excavait ensuite l'empierrement de remplissage 110-180 mm à l'aide d'une benne type Hammergrab.

Les plongeurs intervenaient à nouveau pour découper la nappe inférieure du grillage. Lorsque les gabions étaient traversés, la gaine Ø 1 500 mm était retirée et les travaux de mise en œuvre des pieux commençaient. Après mise en place dans le guide d'un réducteur pour passer de Ø 1 500 mm à Ø 1 300 mm, les pieux Ø 1 300 mm étaient vibrés le plus bas possible à l'aide du vibrofonceur PTC 60 HFV.

En parallèle du fonçage, le tube était curé à l'aide d'une benne Hammergrab ou d'un trépan émulseur. Ce curage en parallèle diminuait les frottements latéraux pour permettre de descendre plus facilement. Lorsque le tube ne descendait plus au vibrofonceur, le battage se poursuivait à l'aide d'un marteau hydraulique, type IHC S70, et d'un faux pieu.

Comme pour la phase de fonçage, les phases de battage au marteau alternaient avec le curage des tubes.

Après la mise en fiche des pieux, des enrochements de granulométrie 15 - 60 kg étaient directement placés contre et autour des tubes, afin d'éviter tout affouillement en pied de tubes.

Si, en cours de travaux, le pont avait subi des déplacements supérieurs à 75 % des seuils définis à 10 mm pour le premier pieu, 30 mm en valeur cumulée pour le deuxième pieu et 50 mm en cumul pour les pieux suivants, une autre méthode d'exécution devait être appliquée. Cette nouvelle procédure excluait tous matériels de battage. Le fonçage devait s'effectuer avec une louvoyeuse Hochstrasser et le forage avec une foreuse Salzgitter S200H équipée d'un outil type "râteau" : plaques perpendiculaires taillées en biseau et munies de dents.

Tout ce matériel était prêt et à disposition sur le chantier.

Les têtes de ducs-d'Albe étaient fabriquées et assemblées avec leurs boucliers en usine, après un relevé précis de l'implantation réelle des pieux. Leur mise en place se faisait à marée basse en emboîtant l'ensemble directement sur les trois pieux.

La dernière phase des travaux consistait à mettre en place les poutres sur les pieux Ø 850 mm. Chaque poutre de 120 t était mise à l'eau au droit du quai de Brazza, situé à environ 3 km en aval du pont de Pierre.

Leur poids apparent dans l'eau est de 25 t car la partie centrale est étanche. Afin d'assurer leur flot-

tabilité, quatre flotteurs CMR 6 x 3 x 2 m ont été utilisés et disposés de façon à réaliser un catamaran à chaque extrémité.

Chaque caisson métallique, équipé de ses deux catamarans, était amené à pied d'œuvre par flottaison. Pendant la phase de marée montante, le caisson poutre était positionné dans la passe à sa position définitive au-dessus des deux pieux Ø 850 mm. A l'étalement de marée haute, le caisson était élingué aux deux grues sur ponton situées à chaque extrémité de la poutre.

L'implantation précise du caisson en cours d'immersion était contrôlée par deux géomètres en visant des prismes placés sur des perches situées à chaque extrémité de la poutre. La descente était également contrôlée par des plongeurs en guidant la manœuvre et en vérifiant que la poutre s'emboîtait bien, sur la tête des pieux.

La dernière opération consistait à assurer la liaison entre la poutre et les pieux, en réalisant un clavage en béton armé coulé à marée basse.

## ABSTRACT

The Stone Bridge is protected. Protecting the piers of the stone bridge in Bordeaux for crossing by Airbus A380 components

*J. Garrissou, M. Morvan, E. Naudé*

**Multimodal transport of the main components of the Airbus A380 starts at sea, continuing with a river journey, and ending on the road before the components are assembled in Toulouse. It is during their river journey between Pauillac and Langon that the Airbus barges have to cross the stone bridge in Bordeaux, which is a tricky obstacle. Protection therefore had to be arranged for channel No. 9, used by the barges, to ensure their safety and that of the bridge.**

The EMCC-Balineau consortium was assigned the task of performing the works, worth slightly more than 4 million euros, to be performed within a period of seven months.

This work involved building four dolphins : two upstream and two downstream of piers No. 8 and 9, each dolphin consisting of three piles of dia. 1300 mm connected by a cap. In addition, two girders 38 metres long, of unit weight 120 tonnes, fixed on four piles of dia. 800 mm, serve as a safety barrier. The existing anti-scouring protection systems had to be drilled without disturbing them.

## RESUMEN ESPAÑOL

El puente de Piedra se protege. Protección de las pilas del puente de Piedra en Burdeos para el paso de los elementos del Airbus A380

*J. Garrissou, M. Morvan y E. Naudé*

**El transporte multimodal de los principales componentes del Airbus A380 empieza por vía marítima, siguiendo por un trayecto fluvial, para terminar por carretera antes de su ensamblado en Toulouse.**

Durante el transcurso del trayecto fluvial entre Pauillac y Langon las embarcaciones de Airbus deben salvar el puente de Piedra en Burdeos, que constituye un delicado obstáculo. Por consiguiente, se ha tenido que acondicionar una protección del acceso n° 9, utili-

zado por las embarcaciones, para garantizar la seguridad de estas últimas así como aquella del puente.

Se trata de la agrupación de empresas EMCC - Balineau que ha tenido como misión la ejecución de las obras, por un importe de poco más de 4 millones de euros, a ejecutar dentro un plazo de 7 meses.

Estas obras han consistido en la ejecución de cuatro duques de Alba : dos situados aguas arriba y dos aguas abajo de las pilas n° 8 y 9, cada duque de Alba está formado por tres pilotes de 1300 mm de diámetro unidos por un remate. Asimismo, dos vigas de 38 m de longitud, 120 t unitaria, empotradas sobre cuatro pilotes de 800 mm de diámetro, sirven de valla de seguridad. Era preciso perforar, sin perturbar, a las protecciones contra la socavación ya existentes.

# Déviatisation nord-est de Le viaduc sur la Moine

La déviation de la RN 49 au Nord-Est de la ville de Clisson (Loire-Atlantique) implique de créer un nouveau tracé nécessitant la traversée de la Moine, petit affluent de la Sèvre Nantaise. La rivière circule dans un terrain granitique très résistant, ce qui permet d'envisager, pour l'ouvrage de franchissement, une solution architecturalement élégante.

Le tablier, d'une longueur de 147 m pour une largeur de 13,44 m, est constitué d'un bi-caisson mixte acier-béton prenant appui sur les culées et sur quatre paires de pilettes intermédiaires en caissons métalliques. Ces pilettes sont disposées en éventail sur un arc de 75 m de portée et de 100 m de rayon, constitué d'un caisson métallique de 4 m x 1,50 m, reposant lui-même sur deux massifs en béton armé par l'intermédiaire d'appareils d'appui à genouillère cylindrique.

Le tablier est équipé de barrières de sécurité et d'une paroi antibruit en verre feuilleté. Le dessus de l'arc est mis à profit pour constituer un cheminement piétonnier sécurisé par deux files de garde-corps à montants rayonnants.

L'ensemble de l'ossature métallique, en aciers S 355 ou S 460, pèse 620 t et sa mise en place est réalisée à la grue à l'aide de palées provisoires. Le hourdis en béton est coulé par plots au moyen d'un outil coffrant spécialement adapté à la géométrie particulière de cet ouvrage d'art.

Figure 1  
Coupes longitudinale  
et transversale  
Longitudinal  
and cross sections

Le contournement de Clisson par le nord-est, dont le principe avait été adopté voici 12 ans par le Conseil général de Loire Atlantique, permet à la RN 149 (actuellement à 2 voies) d'acquiescer le statut de déviation à grande circulation interdisant tout accès direct.

Le projet représente une longueur de voie nouvelle de 2800 m entre giratoires extrêmes, avec quatre ouvrages d'art, dont le viaduc sur la Moine.

## ■ GÉOGRAPHIE LOCALE

La Moine prend sa source dans le département du Maine-et-Loire, et se jette dans la Sèvre Nantaise en rive droite dans l'agglomération de Clisson. C'est un cours d'eau modeste d'une largeur à peine supérieure à 20 m au confluent, mais qui serpente dans une vallée relativement étroite et encaissée, d'une dénivellée d'une vingtaine de mètres environ. La configuration locale des versants entraîne un comportement de rivière parfois torrentielle sujette aux crues. C'est une des raisons pour lesquelles, pour un cours d'eau franchi de 20 m, une portée de 75 m a été retenue pour la structure porteuse.

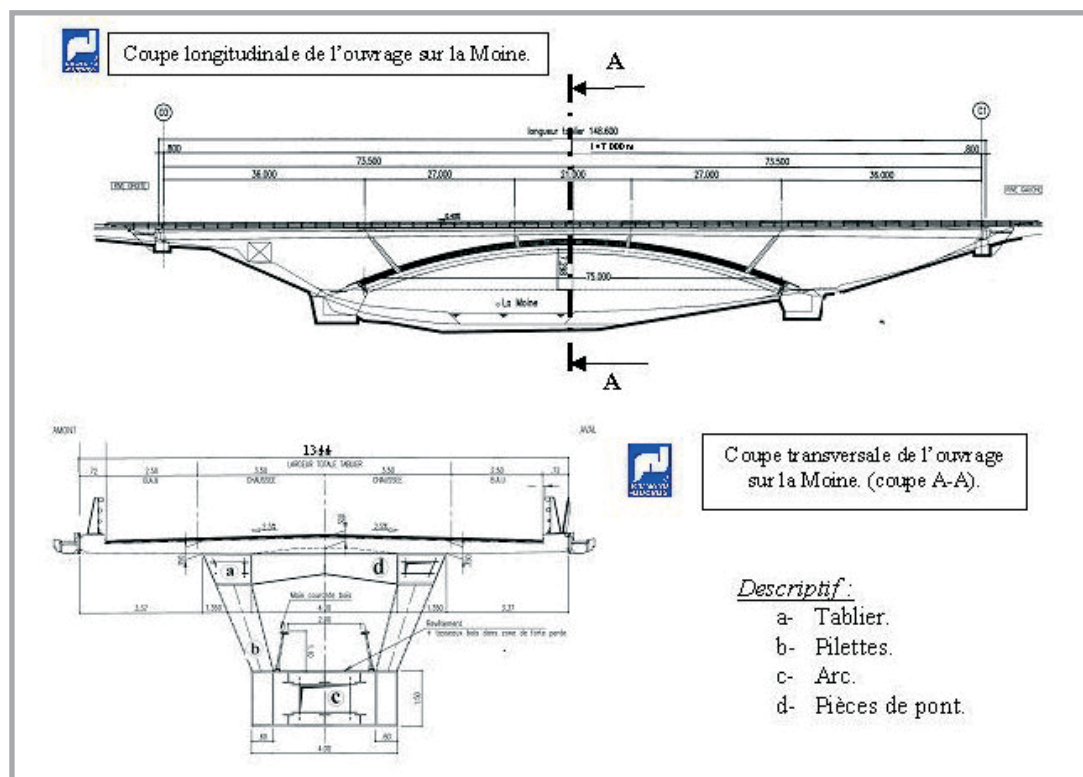
## ■ GÉOLOGIE DU SITE

La rivière circule dans un talweg bordé de talus rocheux recouverts d'une faible épaisseur d'alluvions. Après décapage de celles-ci, on trouve successivement une arène sableuse plus ou moins argileuse, puis un granite altéré, enfin, rapidement, un granite gris-beige très résistant. C'est ce dernier point qui a permis d'oser l'idée d'une infrastructure en arc à deux articulations, puisque le handicap habituel de ce type de conception (efforts très importants dus à la poussée de l'arc) pouvait être ici facilement résolu.

## ■ DESCRIPTIF ARCHITECTURAL

"C'est un trou de verdure où chante une rivière..." (A. Rimbaud, le Dormeur du Val).

Les considérations évoquées plus haut ont amené les architectes et les concepteurs du projet, dans le respect du charme dégagé par ce paysage bucolique de grande qualité, à rappeler en négatif la forme de la vallée par un arc tendu entre les deux rives, arc surmonté par quatre pilettes rayonnantes dédoublées, supportant elles-mêmes les deux caissons.



# Clisson

Jean-Claude Bouley



DIRECTEUR ADJOINT  
DÉPARTEMENT  
OUVRAGES D'ART  
Ets J.Richard-Ducros

sons du tablier, ces derniers reliés par des pièces de pont situées au droit des pilettes. L'arc et les pilettes sont métalliques, tandis que les caissons du tablier et les pièces de pont sont mixtes acier-béton. Le projet inclut également une passerelle piétonne sur l'arc, réservée aux randonneurs.

L'épaisseur de l'arc est nettement marquée, rappelant ainsi les efforts de compression qui s'y exercent, tandis que pilettes et tablier présentent une ligne beaucoup plus fine. L'originalité de la silhouette de l'ouvrage tient pour beaucoup à l'ajout de quelques détails, qui apportent une touche de plus-value architecturale. Ainsi :

- ◆ le centre de rayonnement des pilettes est très nettement surélevé par rapport au centre de l'arc, leur conférant un évasement progressif du centre vers les appuis de l'arc ;
- ◆ la largeur des pilettes en élévation décroît de l'arc vers le tablier ;
- ◆ le tablier présente une hauteur linéairement variable, diminuant des culées vers le centre ;
- ◆ la distance entre âmes intérieures des caissons du tablier est identique à la largeur totale de l'arc : de ce fait, les pilettes situées en vis-à-vis vont en s'éloignant de l'arc vers les caissons du tablier ;
- ◆ le garde-corps de la piste piétonne est constitué de lames métalliques équidistantes, coiffées d'une main courante en bois (tatajuba), disposées selon le même rayonnement que celui des pilettes.

## ■ CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU VIADUC (figure 1)

### Dispositions d'ensemble

La chaussée est constituée de deux voies de 3,50 m, bordées de part et d'autre par des bandes d'arrêt d'urgence de 2,50 m, soit une largeur utile de 12 m et une largeur totale de 13,44 m y compris les longrines des barrières BN 4.

Le tracé en plan est rectiligne. Le profil en long est une rampe montante à 0,40 % de la culée C0 (Nantes) vers la culée C1 (Poitiers).

Ouverture de l'arc : 75 m.

Longueur totale du tablier : 147 m de C0 à C1, décomposée en cinq travées de 36, 27, 21, 27 et 36 m.

### Géométrie détaillée

Arc : caisson rectangulaire de section 4,0 x 1,50 m, portée 75 m, rayon 100 m.



Photo 1  
Ouvrage  
terminé

Completed  
structure

Tablier : deux caissons trapézoïdaux rectilignes, espacés de 4,0 m :

- semelle supérieure 1,35 m constant ;
- hauteur variable de 1,50 m sur culées à 0,75 m au centre ;
- semelle inférieure variable de 0,80 m sur culées à 1,10 m au centre.

Pièces de pont : en caisson trapézoïdal de hauteur linéairement variable, avec brisure en toit au niveau de la semelle inférieure.

Hourdis en béton armé, penté en toit à 2,5 %, d'épaisseur variable allant de 240 à 384 mm, fixée à 300 mm à la clé, de classe B35.

### Superstructures et équipements

Complexe étanchéité-roulement de 110 mm.

Deux files de barrières de sécurité type BN4-16, avec habillage en caillebotis.

Côté aval, écran acoustique réfléchissant en panneaux de verre feuilleté de hauteur 1 m.

Deux files de corniches-caniveaux constituées d'un caniveau en acier inoxydable et d'un habillage en aluminium laqué (teinte : blanc pur RAL 9010).

Deux joints de chaussée capacité 50 mm.

Cheminement piétonnier de largeur 2,40 m sur la semelle supérieure de l'arc, protégé de l'intrusion des animaux par deux grilles à moutons en pied d'arc. Deux files de garde-corps architecturés, galvanisés et thermolaqués (teinte : gris poussière RAL 7037), bordant le cheminement piétonnier (photo 1).



### Aciers constitutifs

La structure métallique est entièrement réalisée à partir d'aciers de construction de qualité, ressortant des normes NF EN 10025, 10113 et 10164, distribués comme suit (cf. tableau I).

Epaisseurs des tôles (mm)	NF.EN 10125 S 355 K2 G3 (ép. inf. à 30)	NF.EN 10113 S 355 N (30 < ép. < 80)	NF.EN 10113 S 460 M ou ML	NF.EN 10164 S 460 ML Z 35 (option Z)
<b>Arc</b>				
Semelle sup.	25	35		55
Ames	25		25	
Semelle inf.	25	55		
<b>Pilettes</b>				
Semelles		50 (centrales)	40 - 65 (latérales)	
Ames	25 (centrales)		25 (latérales)	
<b>Tablier</b>				
Semelle sup.	25	55		
Ames	15 - 25		25	
Semelle inf.	25	30 - 35 - 40		65
<b>Pièces de pont</b>				
Semelle sup.	25 (centrales)	30 (latérales)		
Ames	15			
Semelle inf.	25			

Tableau I  
Table I

Figure 2  
Vue en perspective  
Perspective view

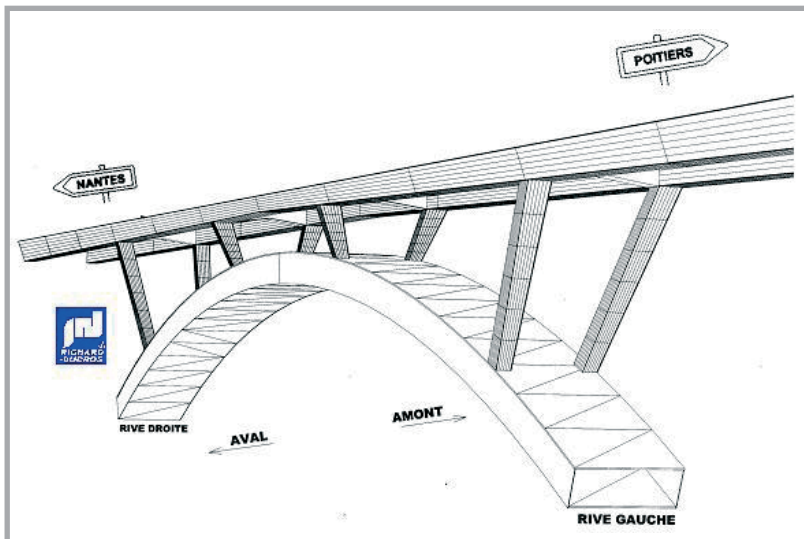


Figure 3  
Dimensionnement  
Structural design

composant	descriptif	longueur	largeur	hauteur	nombre de tronçons	poids
ARC	caisson rectangulaire horizontal	75m	4m	1,50m	6	290T
PILETTES	caissons rectangulaires « gauches »	2,5m à 8,8m	0,8m en moyenne	0,7m en moyenne	8	30T
TABLIER	2 caissons trapézoïdaux	147m	1,35m	1,50 max 0,75 min	2 * 5	290T
PIECES DE PONT	caissons trapézoïdaux	4m	1,29 max 0,87 min	1,03 max 0,55 min	4	10T
<b>TOTAL= 620T *</b>						

\* NOTA : dont 60T S460-Z35 et 70T S460

### CONCEPTION, DIMENSIONNEMENT (figures 2 et 3)

#### Calcul statique

Les charges de calcul sont habituelles pour cet ouvrage faisant partie d'une rocade de déviation. Outre les surcharges routières classiques (A et Bc), les surcharges piétonnières sur l'arc et les trottoirs et les gradients thermiques, la structure est dimensionnée sous l'effet des convois militaires (Mc 120), exceptionnels (D) et de fatigue (Bf pour 10<sup>8</sup> passages). Par précaution, il est également envisagé un éventuel tassement des massifs d'ancrage de l'arc, fixé à ± 1 cm.

Les calculs d'ensemble sont menés à l'aide du programme de calcul Hercule, développé par Socotec, qui permet l'analyse aux éléments finis à partir d'un modèle spatial général composé d'éléments barres, et de modèles locaux constitués de coques pour les encastremets des pilettes dans l'arc et les caissons du tablier.

Les éléments barres du modèle général possèdent les caractéristiques de l'acier pour l'ossature métallique et des caractéristiques homogénéisées pour le réseau de barres constituant le hourdis.

Les aciers constitutifs de l'ossature sont des aciers de nuance S 355, sauf les pilettes latérales et les zones de leur encastrement dans l'arc et les caissons du tablier, qui sont très sollicités, et pour lesquelles la nuance est augmentée à S 460.

La structure ainsi conçue présente une très grande rigidité en flexion longitudinale. A titre d'exemple : sous un chargement centré de 200 t, la flèche maximale à la clé de l'arc vaut 8 mm !

#### Arc

Constitué d'un caisson rectangulaire dont le profil circulaire, avec un rayon de 100 m pour une portée de 75 m, présente une flèche de 7,30 m et

#### PLANNING

- Notification préparation : 20 novembre 2002
- Ordre de service : 10 février 2003
- Etudes : de novembre 2002 à mars 2003
- Fabrication métal : de mars 2003 à septembre 2003
- Appuis (massifs, culées) : de mars 2003 à juillet 2003
- Montage métal : de juillet 2003 à novembre 2003
- Bétonnage du tablier : de décembre 2003 à mars 2004
- Finitions (BN4, revêtement arc, peinture...) : de mars 2004 à juin 2004



donc un élanement de 1/10 environ, l'arc porteur du viaduc de la Moine est indiscutablement un arc tendu.

Transversalement, le caisson est raidi par des diaphragmes assurant à la fois la stabilité au voilement des âmes et des semelles comprimées, ainsi que la rigidité vis-à-vis de la torsion. Longitudinalement, les semelles comportent trois files de raidisseurs de voilement en 1/2 HEA 550, dont le rôle est également de résister à la poussée au vide engendrée par les efforts normaux. Pour permettre les visites ultérieures d'entretien, des trous d'homme (1,20 m x 0,50 m) sont ménagés dans les diaphragmes de l'arc, et des portes de visite à fermeture étanche sont prévues à ceux d'extrémité.

Au droit de l'encastrement des pilettes latérales, la semelle supérieure et les diaphragmes de continuité des pilettes dans l'arc sont réalisés en acier S 460 ML – Z 35, tandis que les âmes passent de S 355 K2G3 à S 460 M.

## Tablier

La partie métallique du tablier mixte est constituée de deux caissons trapézoïdaux. Leur hauteur est linéairement variable, de 0,75 m à la clé à 1,50 m sur culées. Ces caissons, distants de 4,0 m, présentent une âme intérieure verticale, tandis que l'âme extérieure est inclinée à 20°. Les semelles supérieures ont une largeur constante de 1,35 m et les semelles inférieures ont une largeur linéairement variable de 1,11 m à la clé à 0,84 m sur culées.

Transversalement, les caissons sont raidis par des diaphragmes comportant une ouverture centrale minimale de 0,60 x 0,50 m, et des portes de visites étanches sont prévues à ceux d'extrémité.

Au droit de l'encastrement des pilettes latérales, la semelle inférieure et les diaphragmes de continuité des pilettes dans le tablier sont réalisés en acier S 460 ML – Z 35, tandis que les âmes passent de S 355 K2G3 à S 460 M.

## Pilettes

Elles sont constituées de caissons rectangulaires dont les âmes ont une largeur variable se réduisant de l'arc vers le tablier (de 80 mm en moyenne), tandis qu'au contraire les semelles vont s'élargissant (de 350 mm en moyenne). On notera qu'en raison de la géométrie relative de l'arc (cintré) et du tablier (rectiligne), il apparaît un léger gauchissement des pilettes. Les pilettes latérales sont constituées d'acier S 460 M et ML.

Les calculs menés sur modèles aux éléments finis dans les zones d'encastrement des pilettes dans l'arc et les caissons du tablier montrent d'importantes concentrations de contraintes, particulièrement dans les angles aigus. Des goussets arrondis, destinés à améliorer l'écoulement des contraintes

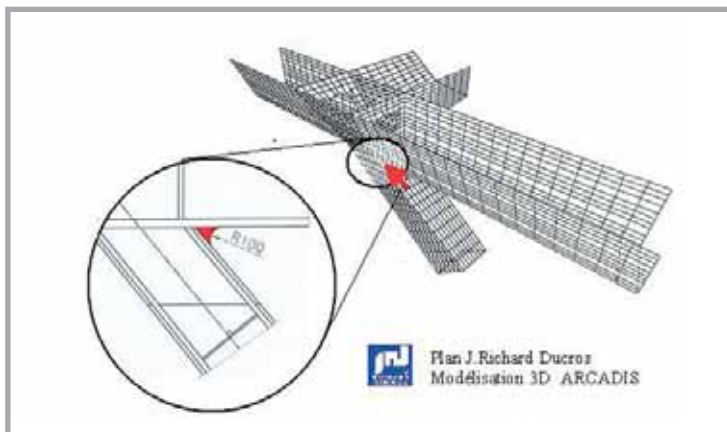


Figure 4  
Modélisation 3D  
au niveau de la pilette  
latérale

3D modelling  
at the small side  
pier level

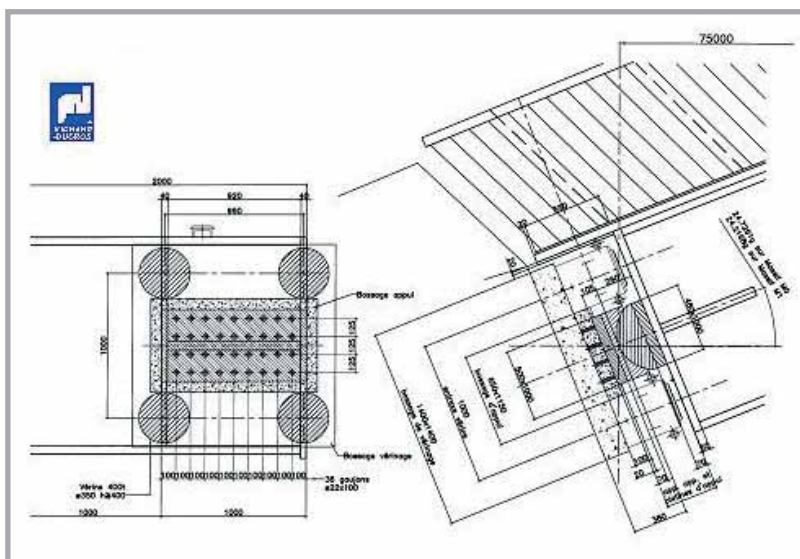


Figure 5  
Appareils d'appui  
de l'arc

Arc supporting  
devices

dans les âmes des pilettes latérales, deviennent nécessaires (figure 4).

## Pièces de pont

Au nombre de quatre, elles relient les caissons du tablier à leur liaison avec les pilettes. Il n'est pas prévu de pièces de pont sur les culées, ce qui, à la lumière de l'expérience, ne semble pas judicieux. La forme des pièces de pont s'inspire de celle des caissons du tablier : trapézoïdale, de hauteur variable en toit, avec une âme verticale et l'autre inclinée, de la même inclinaison que celle que présentent les pilettes à leur jonction avec le tablier. A l'instar de celles des caissons du tablier, leurs dimensions sont modestes : l'enveloppe varie de 0,87 x 0,55 m pour les pièces de pont centrales à 1,29 x 1,03 m pour les pièces de pont latérales.

## Appareils d'appui - Vérinage

Sur les culées, chaque caisson du tablier repose sur un appareil d'appui à pot d'élastomère, à raison par culée d'un appui unidirectionnel et d'un appui multidirectionnel. Il s'agit d'appuis "Vasoflon" de capacité 300 t. Un emplacement de vérinage

Figure 6  
Géométrie  
Geometry

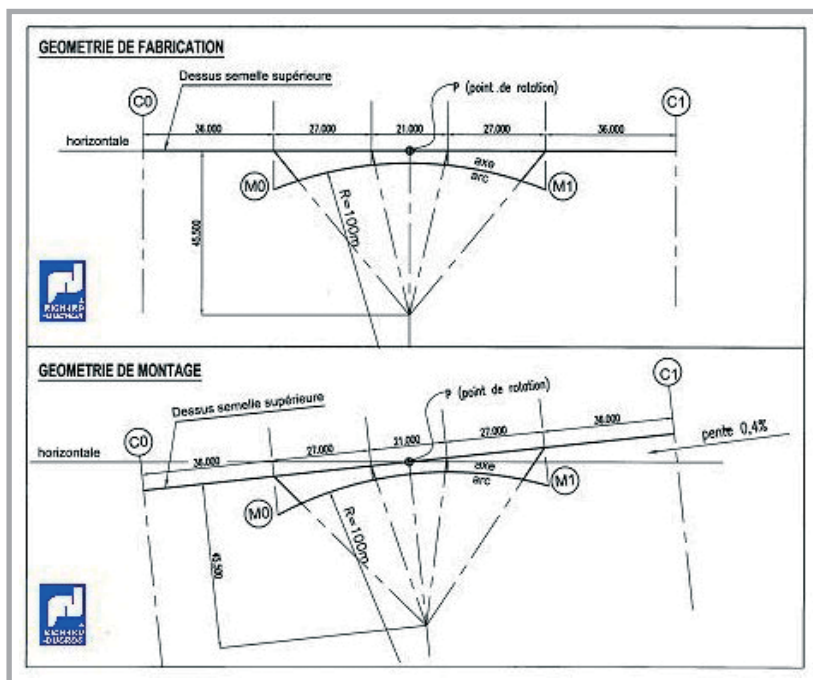
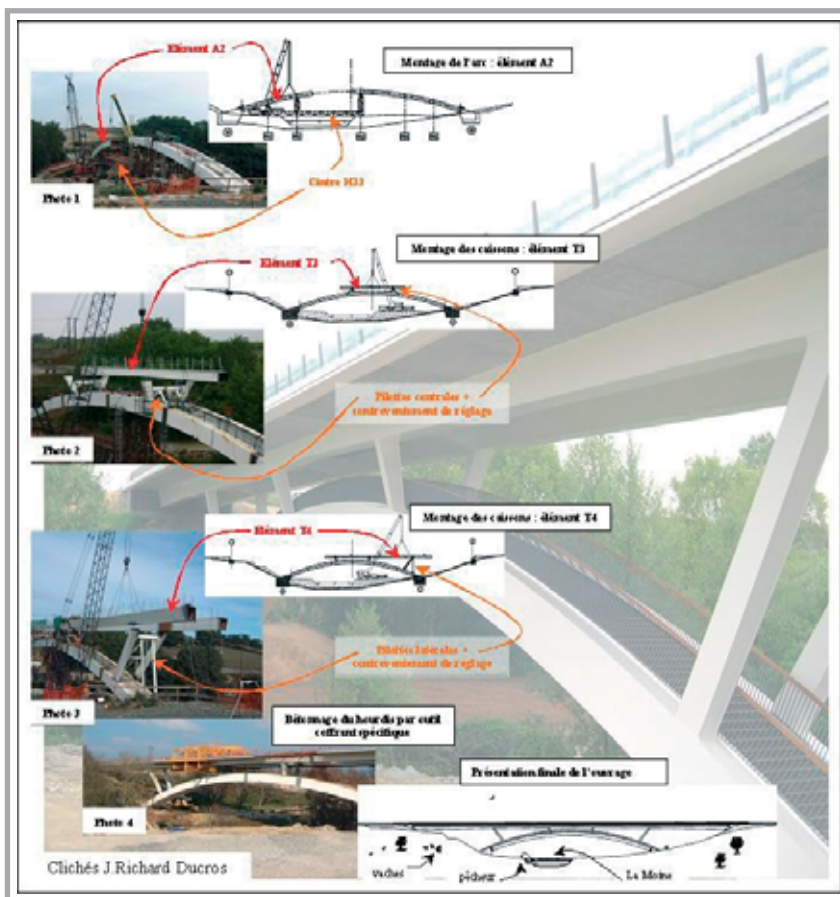


Figure 7  
Présentation -  
Montage  
de l'ouvrage  
Overview - Erection  
of the structure



est prévu en avant de chacun des appareils d'appui.  
L'articulation de l'arc sur ses massifs est réalisée au moyen de deux appareils d'appui spéciaux à genouillère cylindrique par massif, capables de supporter :

- ◆ un effort normal de 1 650 t à l'ELS ;
- ◆ un effort tangentiel de 260 t à l'ELS ;
- ◆ une rotation de 0,01 radian.

Il s'agit d'appuis "Cernoflon 1700". Autour de chacun des appareils d'appui est prévu l'emplacement de quatre vérins en vue d'une éventuelle intervention ultérieure (figure 5, page précédente).

## FABRICATION

### Tronçonnement

Le bilan économique établi au niveau de l'étude de prix a mis en évidence la solution de tronçonnement la plus adaptée :

- ◆ arc en six tronçons de 11 à 15 m pesant de 41 à 58 t ;
- ◆ tablier en 2 x 5 tronçons de 27 à 33 m pesant de 23 à 35 t ;
- ◆ pilettes et pièces de pont en vrac.

### Adaptation géométrique (figure 6)

Selon le projet initial, le tablier présente une rampe de 0,40 %, tandis que les extrémités de l'arc sont situées à un même niveau, ce qui entraîne une géométrie différente pour chaque paire de pilettes. En acceptant une différence de niveau de 300 mm aux pieds de l'arc, on permet une symétrie de fabrication complète de la structure, qui subit alors un pivotement d'ensemble lors du montage. Cette adaptation n'est pas perceptible sur place, même à l'observateur averti.

### Soudage

L'aspect inhabituel de l'ossature implique un soin constant dans la maîtrise de la géométrie lors des travaux d'atelier, en particulier pour la conduite du soudage des fortes épaisseurs (anticipation et accompagnement des retraits) situées aux encastrement des pilettes dans l'arc et les caissons du tablier. Pour les pilettes latérales, par exemple, on doit réaliser la soudure à pleine pénétration de semelles de 65 mm d'épaisseur, en acier S 460 ML sur la peau des semelles inférieures du tablier, en acier S 460 ML - Z 35 de 65 mm d'épaisseur.

### Présentation à blanc

Elle est réalisée en trois phases :

- ◆ arc à plat, par trois tronçons consécutifs ;
- ◆ arc couché et pilette correspondante à plat ;
- ◆ tablier à plat, par deux tronçons consécutifs.

Les clamages réalisés lors de ces opérations sont étudiés pour permettre de retrouver au chantier l'exacte géométrie réglée en atelier en tenant compte des contreflèches de fabrication.

### Système de protection, revêtement de la passerelle piétonne

En raison de la fermeture étanche des caissons visitables (arc et tablier), seules les faces vues sont revêtues d'un système de protection, en l'occurrence le système C4A NV 645.

Les zones accessibles aux piétons (pieds d'arc, pieds des pilettes, culées des tabliers), sont préventivement recouvertes d'une protection anti-graffiti de la gamme Paragraf – Vernis de La Seigneurie. La teinte de finition est le blanc pur RAL 9010. Le cheminement piétonnier ménagé sur la semelle supérieure de l'arc est revêtu d'un complexe d'étanchéité antidérapant à base de résines en polyuréthane à trois composants, combinées à un agrégat de corindon de granulométrie 0,85/1,7 mm. Les zones les plus pentues de l'arc (au-delà de 20 %) comportent en outre des tasseaux transversaux en bois d'ipé (60 x 28 mm), disposés au pas de 0,40 m et collés sur le revêtement.

## ■ MONTAGE (figure 7)

### Principe

L'idée directrice de l'étude du montage consiste à respecter autant que possible une symétrie des charges appliquées à la structure, donc de ses déformations, avant d'emprisonner celles-ci par le soudage des joints entre tronçons.

L'ensemble des éléments est mis en place à l'aide de grues : treillis de 110 t et télescopiques de 160 ou 250 t.

### Arc (photo 2)

Le dossier de consultation prévoit l'utilisation de palées provisoires pour permettre l'assemblage en position des tronçons d'arc, y compris dans le lit de la Moine. L'étude de montage est donc menée sur la base de cinq palées provisoires entre les massifs, dont une en rivière (PA 2). Lors de l'exécution, une application rigoriste de la loi sur l'eau revient sur cette possibilité. Dès lors, la seule option envisageable consiste à réaliser un chevêtre, situé au-dessus des plus hautes eaux de la Moine, appuyé sur les massifs des palées adjacentes (PA 1 et PA 3), sur lequel est implantée la palée PA 2. Ce chevêtre est constitué de quatre cintres H 33 de Hünnebeck de 30 m de portée, contreventés entre eux, capables de résister à la fois à un effort vertical de 100 t, un effort transversal de 5 t et un moment de torsion de 20 tm. La cinématique de montage de l'arc se décompose ainsi :

- ◆ pose A6 sur palée PA5 et culée C1 ;
- ◆ pose A5 sur PA5 et A6, soudage du joint A5/A6 ;
- ◆ pose A4 sur PA3 et A5, soudage du joint A4/A5 ;
- ◆ pose A1 sur palée PA1 et culée C0 ;
- ◆ pose A2 sur PA2 (sur cintre H33) et A1, soudage du joint A2/A1 ;
- ◆ pose A3 entre A2 et A4, soudage des joints A3/A2 et A3/A4 ;
- ◆ scellement des appareils d'appui Cernoflon ;
- ◆ retrait des calages sur palées, mettant ainsi directement l'arc en charge.



Photo 2  
Montage de l'arc A2  
Erection of arc A2

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

### *Maîtrise d'ouvrage*

Conseil général de Loire Atlantique

### *Maîtrise d'œuvre*

- Ingérop (Rennes et Vienne)
- Architectes : Charles Morris - Antoine Renaud - Nicolas Mayeur

### *Entreprises*

Groupement Lang SA - J. Richard-Ducros

### *Réalisation des travaux*

#### **Lot 1** (Lang - Gros-oeuvre) :

- Bureau d'études : CERT
- Terrassements : Clenet
- Ferrailage : Art-Pose
- Outil coffrant hourdis : Sympra
- Etanchéité : Bergeret
- Joints de chaussée : ETIC
- Corniches : TCMI
- BN4 : Rousseau

#### **Lot 2** (J. Richard-Ducros - Métal) :

- Bureaux d'études : Arcadis et J. Richard-Ducros
- Fabrication : J. Richard-Ducros
- Système de peinture : Maestria
- Application peinture : Prézioso
- Montage : SMC
- Revêtement piétonnier : Alliatech
- Garde-corps sur arc : DR Equipement
- Appareils d'appui : FIP Industriale

Photo 3  
Montage  
du caisson T3  
*Erection of box  
section T3*



Photo 4  
Montage  
du caisson T4  
*Erection of box  
section T4*



Photo 5  
Bétonnage  
du hourdis  
*Deck section  
concreting*



## Pilettes (photos 3 et 4)

Les pilettes sont mises en place par ensembles de deux, provisoirement entretoisées avant levage et sont maintenues dans leur position définitive grâce à des butons, également provisoires, prenant appui sur l'arc et permettant leur réglage géométrique.

## Tablier (photos 3 et 4)

Les caissons du tablier sont posés en vis-à-vis, selon la cinématique suivante :

- ◆ pose T3 sur pilettes centrales, puis pièces de pont ;
- ◆ pose T4 sur T3 et pilettes latérales côté C1, puis pièce de pont et soudage T4/T3 ;
- ◆ pose T2 sur T3 et pilettes latérales côté C0, puis pièce de pont et soudage T2/T3 ;
- ◆ pose T1 sur T2 et culée C0, soudage T2/T3 ;
- ◆ pose T5 sur T4 et culée C1, soudage T5/T4 ;
- ◆ scellement des appareils d'appui Vasoflon et mise à disposition pour bétonnage.

## ■ BÉTONNAGE DU HOURDIS (photo 5)

Les calculs de la section mixte formée par les caissons du tablier et le hourdis montrent la nécessité d'un phasage en 11 plots organisés pour bétonner en dernier les zones des pilettes (technique dite du "pianotage"), tout en respectant la symétrie des déformations de la structure. La solution retenue pour la réalisation se résume ainsi :

- ◆ préfabrication, sur plate-forme en arrière de la culée C1, des 11 cages d'armatures (13 x 13 m, poids unitaire 15 t), qui sont lancées l'une après l'autre sur un chariot roulant, au rythme d'une tous les deux jours ;
  - ◆ mise en œuvre d'un chemin de roulement appuyé sur l'arc, destiné à l'amenée du plateau de coffrage de la partie centrale ;
  - ◆ réalisation d'un équipage constitué de trois portiques, roulant sur la semelle supérieure de chaque caisson, et sous lesquels sont suspendus les coffrages des encorbellements.
- La cadence moyenne de bétonnage est d'un plot par semaine.

## ■ LES APPUIS

### Massifs de l'arc

Ceux-ci sont fondés directement sur le substratum granitique. Après réalisation du béton de propreté, ils sont coulés en deux phases : une semelle de 8 x 6 m, puis le corps du massif qui représente environ 250 m<sup>3</sup> de béton. Les particularités dimen-



© Cabinet Morris - Renaud - Mayeur

Photomontage  
Photomontage

sionnelles des massifs impliquent une vitesse de bétonnage lente (50 cm par heure) et une plasticité adéquate du béton. L'écran vertical qui applique sur le terrain la composante horizontale de la poussée de l'arc offre une section de 8 x 4 m.

### Culées du tablier

Fondées elles aussi au contact du substratum avec béton de propreté, elles sont constituées d'un chevron surmonté d'un mur garde-grève et de murs en aile, avec une dalle de transition classique.

### ABSTRACT

Diversion northeast of Clisson. The viaduct over the Moine

*J.-Cl. Bouley*

For the diversion of national highway RN 49 northeast of the town of Clisson (Loire-Atlantique region), a new alignment must be created, requiring the crossing of the Moine, a small affluent of the Sèvre Nantaise river.

The river flows through very rugged granitic ground, so that for the overpass an elegant architectural solution can be considered.

The deck, 147 metres long and 13.44 metres wide, consists of a composite steel-concrete twin box section bearing on the abutments and on four pairs of small intermediate piers formed of steel box sections. These small piers are arranged fanwise over an arc 75 metres long and of radius 100 metres, consisting of a steel box section measuring 4 m x 1.50 m, itself resting on two reinforced concrete foundation blocks via supporting devices with cylindrical knuckle joints.

The deck is provided with safety barriers and a laminated glass noise attenuation wall. The top of the arc is used to form a pedestrian path secured by two rows of guard rails with radiating uprights.

The entire metallic framework, of S 355 and S 460 steel, weighs 620 tonnes, and is put in place by crane using temporary bents. The concrete deck is poured in sections using sectional formwork specially suitable for the particular geometry of this engineering structure.

El tablero, de una longitud de 147 m con una anchura de 13,44 m, está formado por un bicajón mixto acero-hormigón que toma apoyo sobre los estribos y sobre cuatro pares de pequeños pilares intermedios en cajones metálicos. Estas pequeñas pilas están dispuestas en abanico sobre un arco de 75 m de luz y de 100 m de radio, compuesto por un cajón metálico de 4 m x 1,50 m, que toma apoyo a su vez sobre dos macizos de hormigón armado por mediación de aparatos de apoyo de articulación cilíndrica.

El tablero está dotado de barreras de seguridad y de una pared contra el ruido de vidrio laminado. La parte superior del arco se ha aprovechado para constituir una pista protegida para peatones mediante dos filas de barandillas de montantes radiales.

El conjunto de la estructura metálica, de aceros S 355 ó S 460, pesa 620 t y su montaje se ha realizado mediante la grúa con ayuda de palizadas provisionales. El forjado de hormigón se ejecuta por bloques por medio de un equipo de encofrado, especialmente adaptado a la geometría particular de esta estructura.

### RESUMEN ESPAÑOL

Variante noreste de Clisson. El viaducto sobre el río Moine

*J.-Cl. Bouley*

La variante de la carretera nacional RN 49 por el noreste de la ciudad de Clisson (Loira-Atlántico) presupone la creación de nuevo trazado que precisa el franqueo del río Moine, pequeño afluente del río Sèvre Nantaise.

El río circula en un terreno granítico muy resistente, lo cual permite contemplar, para la estructura de franqueo, una solución arquitectónicamente elegante.

# Le tablier du viaduc de à Clisson

Dans le cadre de la déviation nord-ouest de Clisson le franchissement de la vallée de la Sèvre Nantaise est un exemple de la bonne adaptation des solutions mixtes de type bipoutre à un environnement intime et bucolique.

La conception de cet ouvrage allie l'économie propre à ce type de structure et un traitement architectural recherché permettant une parfaite insertion de l'ouvrage dans le site.

L'article traite plus particulièrement de la réalisation du tablier du viaduc.

**Photo 1**  
Photomontage d'insertion  
dans le site  
*Photomontage showing  
integration into the site*



## ■ INTRODUCTION

Le viaduc sur la Sèvre Nantaise, constitue un des points forts de la déviation nord de Clisson.

Cette opération inscrite au schéma routier de développement par le Conseil général de Loire-Atlantique en 1992 doit trouver son aboutissement à la fin de l'année 2004, avec l'ouverture, d'une part de la déviation nord-est qui évite à la RN 149 reliant Nantes à Cholet de traverser la ville, et d'autre part de la déviation nord-ouest qui a vocation à s'intégrer ultérieurement dans le grand contournement de l'agglomération nantaise.

La déviation nord-ouest se développe sur une longueur de 2 100 m sur les territoires des communes de Gorges et de Clisson.

Elle comporte une chaussée unique bidirectionnelle de 7 m, avec des carrefours et des franchissements dénivelés.

Elle nécessite la construction, en sus du viaduc, de quatre ouvrages d'art, d'un pont-rail et d'une passerelle.

## ■ PRÉSENTATION DE L'ENVIRONNEMENT NATUREL DU VIADUC ET TRAITEMENT ARCHITECTURAL

Le site naturel du lieu de franchissement du viaduc est caractérisé en premier lieu par la Sèvre Nan-

taise, mais aussi par ses rives arborées en pentes prononcées.

On y trouve notamment des essences rares telles que des cèdres, mais aussi de conséquents massifs granitiques affleurants, ou encore un chemin pédestre en bordure de la Sèvre (principalement sur la rive exposée par le photo montage - culée C4); l'ensemble apportant un cachet indéniable au site.

Ces multiples points marquants ont imposé une conception ayant pour souci affiché de préserver d'une part un environnement unique mais aussi de magnifier les lieux par un ouvrage esthétiquement remarquable (photo 1).

Afin de satisfaire à ces exigences, la solution qui a été retenue est un ouvrage à quatre travées en bipoutre à hauteur constante. Cette solution a fait l'objet d'un traitement architectural soigné et complet dès la conception et adapté à la brèche à franchir.

Ainsi, le traitement architectural de la charpente métallique est particulièrement notable. Il imprime véritablement un rythme au franchissement de la vallée de par le maillage créé par les assemblages des poutres principales et pièces de pont, prolongées à l'extérieur par des consoles métalliques. De même, les plates-formes de culées sont équipées de murs de soutènement latéraux dissymétriques autorisant les extrémités d'ouvrage à se fondre au mieux dans les flancs de la vallée suivant le profil naturel chahuté.

Enfin, outre l'aspect charpente métallique, déve-

# La Sèvre Nantaise

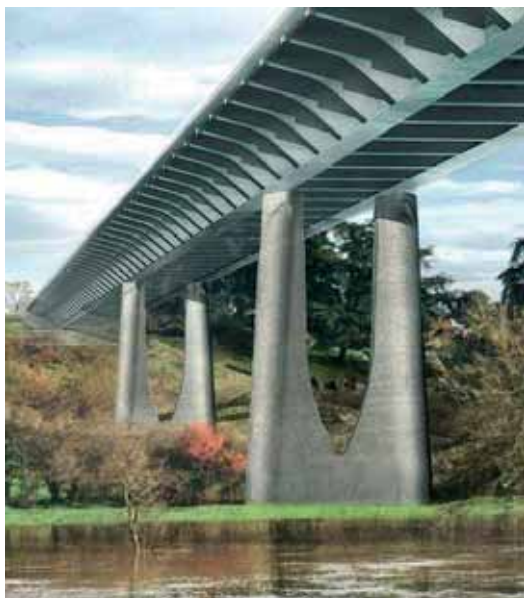


Photo 2  
Vue des piles P2 et P3  
View of piers P2 and P3

loppé en détail dans la suite de cet article, le parti architectural marqué de l'ouvrage repose en bonne partie sur le profil élancé des piles. Celles-ci sont en effet pourvues de doubles fûts inclinés vers l'intérieur et joints par un voile en "V" de faible épaisseur (0,30 m au plus fin). Les fûts de petits diamètres (1,50 m) sont surmontés de chapiteaux aux profils très fins (photos 2 et 3) accueillant les appuis provisoires de l'ouvrage.

## ■ LES CARACTÉRISTIQUES DE L'OUVRAGE

Long de 210 m, l'ouvrage est constitué de quatre travées de 37,50 - 67,50 - 67,50 - 37,50 m de portée.

La chaussée de 12 m de large comporte deux voies de circulation de 3,50 m chacune et deux bandes d'arrêt d'urgence de 2,50 m.

Les poutres métalliques ont une hauteur constante de 2,25 m et un entraxe de 5,50 m. Elles sont reliées tous les 3,75 m par des pièces de pont toute hauteur qui se prolongent à l'extérieur par des consoles de hauteur variable.

L'ensemble de l'ossature métallique représente 800 t d'acier S355, dont 300 t pour les seuls éléments transversaux.

Le treillis constitué par les poutres principales, les pièces de pont et les consoles a permis de réali-



Photo 3  
Vue de la tête de pile  
View of the pier head

ser la dalle en béton armé, de 13,20 m de large, par éléments préfabriqués posés à l'avancement. Après réalisation de la dalle, des dénivellations d'appui ont été réalisées afin de recomprimer les joints transversaux entre les éléments préfabriqués.

## ■ FONDATIONS ET PILES DE L'OUVRAGE

Le sol granitique, aux fortes caractéristiques géotechniques et affleurant dans la région, a permis la fondation de l'ensemble des piles et culées sur semelles superficielles. Pour les piles P1 et P2 encadrant directement la Sèvre Nantaise, des bouchons de gros béton d'épaisseurs respectives de 3,50 m et 2,00 m ont été réalisés au sein de batardeaux en palplanches.

Implantées systématiquement en dehors du lit mineur de la Sèvre Nantaise, la hauteur des piles est comprise entre 11 m pour P3 et 14 m pour P2. Mesurant environ 5,50 m en tête, la largeur des fûts s'accroît progressivement pour atteindre 9,30 m à la base.

Les piles en "U" sont au nombre de trois et présentent de nombreux tronçons identiques dans un but d'uniformisation des coffrages. Les piles étant coffrées par moitié, l'élément courbe du coffrage de l'embase des fûts a ainsi pu être réutilisé successivement pour les trois piles (photo 4).

Robert Dubois  
DIRECTEUR  
COMMERCIAL  
Baudin Châteauneuf



Faiz Belblidia  
CHEF DE PROJET  
Scetauroute



Nicolas Moronval  
INGÉNIEUR ETUDE  
Scetauroute



Photo 4  
Coffrage bois par demi-pile  
Wooden formwork for each half-pier

Photo 5  
Ferrailage  
de tête de pile  
*Reinforcement  
of the pier head*



Photo 7  
Console en cours  
de fabrication  
*Cantilevered beam  
during manufacture*



Photo 8  
Consoles en cours  
d'assemblage  
au chantier  
*Cantilevered beams  
in course of assembly  
on the construction site*

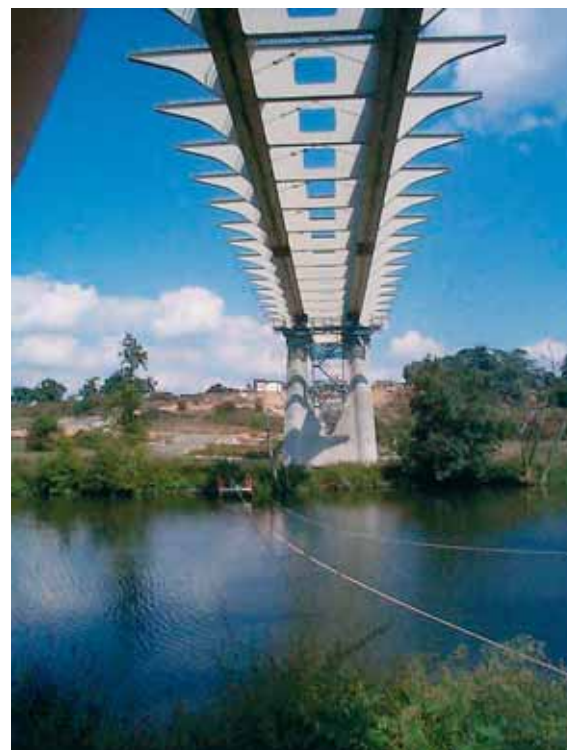


Photo 6  
Vue de l'ossature en cours de lancement montrant  
les pièces de pont et les consoles  
*View of the framework during launching, showing the  
bridge parts and the cantilevered beams*

► La finesse et la géométrie des piles ont conduit à atteindre des ratios de ferrailage relativement importants pour les tronçons les plus critiques, avec une moyenne de 140 kg/m<sup>3</sup> sur la hauteur de la pile. Les têtes de pile, en particulier, sont pourvues d'un ferrailage très dense, justifié par la présence de l'appui définitif et des deux appuis provisoires sur une surface limitée (photo 5).

## ■ LA FABRICATION DE L'OSSATURE MÉTALLIQUE

Les poutres principales sont constituées d'une semelle supérieure de 1 100 mm de large dont l'épaisseur varie de 40 à 120 mm, d'une semelle inférieure de 1 200 mm de large et de 45 à 120 mm d'épaisseur et d'une âme dont l'épaisseur varie de 16 à 22 mm.

Les montants d'appui sont des tés sur lesquels viennent s'assembler les pièces de pont et les consoles.

Des points de vérinage pour le changement des appareils d'appui sont prévus sous les poutres de part et d'autre des montants d'appui sur piles, et devant ceux-ci sur culées. Les montants de vérinage sont constitués d'augets.

Les pièces de pont ayant la même hauteur que les





**Photo 9**  
**Vue d'ensemble de la machine à reconstituer les PRS**  
*General view of the welded-plate-girder welding machine*

poutres, des montants en simple plat sont disposés sur les âmes des poutres pour y souder les âmes des pièces de pont courantes, leurs semelles étant directement soudées sur les semelles des poutres.

Cette disposition est similaire à celle retenue sur les ouvrages bipoutres des lignes TGV.

Les pièces de pont ont des semelles de 300 x 18, et une âme de 15 mm d'épaisseur dans laquelle est percé un trou de 1 100 mm de hauteur pour 1 600 mm de large, dont la fonction est uniquement esthétique, aucune passerelle de visite n'étant prévue entre les poutres (photo 6).

Il est à noter que, pour pallier les phénomènes d'instabilité des âmes des pièces de pont aux abords de ce trou, le bureau d'études de l'entreprise a été conduit à en diminuer les dimensions tout en augmentant légèrement l'épaisseur de l'âme.

A l'extérieur, les âmes des consoles sont soudées directement sur les âmes des poutres. Elles sont pour cela découpées pour s'insérer entre les semelles des poutres sur lesquelles elles sont également soudées (photos 7 et 8).

Des lunules circulaires sont prévues dans les âmes pour permettre la continuité de la soudure des semelles des consoles sur les semelles des poutres. Les consoles ont une forme particulière qui donne son cachet à l'ouvrage.

La variation de hauteur, de 2 250 à 210 mm, est obtenue par la succession d'une pente, d'un rayon de 2 718 mm et d'une pente.

Les semelles des consoles ont les mêmes di-



**Photo 10**  
**PRS en cours de reconstitution**  
*Welded plate girder during welding*

mensions que celles des pièces de pont. A leur extrémité libre un plat de 300 x 210 vient fermer la console.

Les poutres ont été fabriquées dans les ateliers de Baudin Châteauneuf, à côté d'Orléans, en deux fois sept tronçons, dont le plus long mesurait 36,5 m et pesait une quarantaine de tonnes.

Les tronçons sur pile, plus lourds, pesaient environ 70 t.

Les tronçons ont été reconstitués sur une machine automatique, dite à reconstitution verticale.

Après positionnement d'une semelle et de l'âme sur le banc amont, l'ensemble maintenu mécaniquement, passe sous un portique comportant un vérin dont le rôle est de plaquer l'âme sur la semelle pendant que deux têtes de soudage automatique sous flux solide réalisent les deux cordons d'angle de part et d'autre de l'âme (photos 9 et 10).

Une fois ce premier té reconstitué, il est retourné et ramené à l'aide de ponts roulants sur le banc amont, sur lequel on a préalablement disposé la seconde semelle, afin que soit réalisée la seconde opération de soudage.

Les pièces de pont et les consoles sont reconstituées sur des gabarits afin d'en garantir la géométrie avec la tolérance nécessaire pour le soudage sur chantier.

La fabrication de l'ossature se termine par l'opération de pose des connecteurs en goujon, avant d'expédier les pièces au grenailage puis à l'atelier de peinture où sont appliquées les deux premières

## LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

*Maître d'ouvrage*  
 Conseil général de Loire-Atlantique

*Concepteurs*  
 Bruno Gaudin et Scetauroute

*Maître d'œuvre*  
 Scetauroute

*Entreprises*

- Génie civil : Demathieu et Bard
- Construction métallique : Baudin Châteauneuf

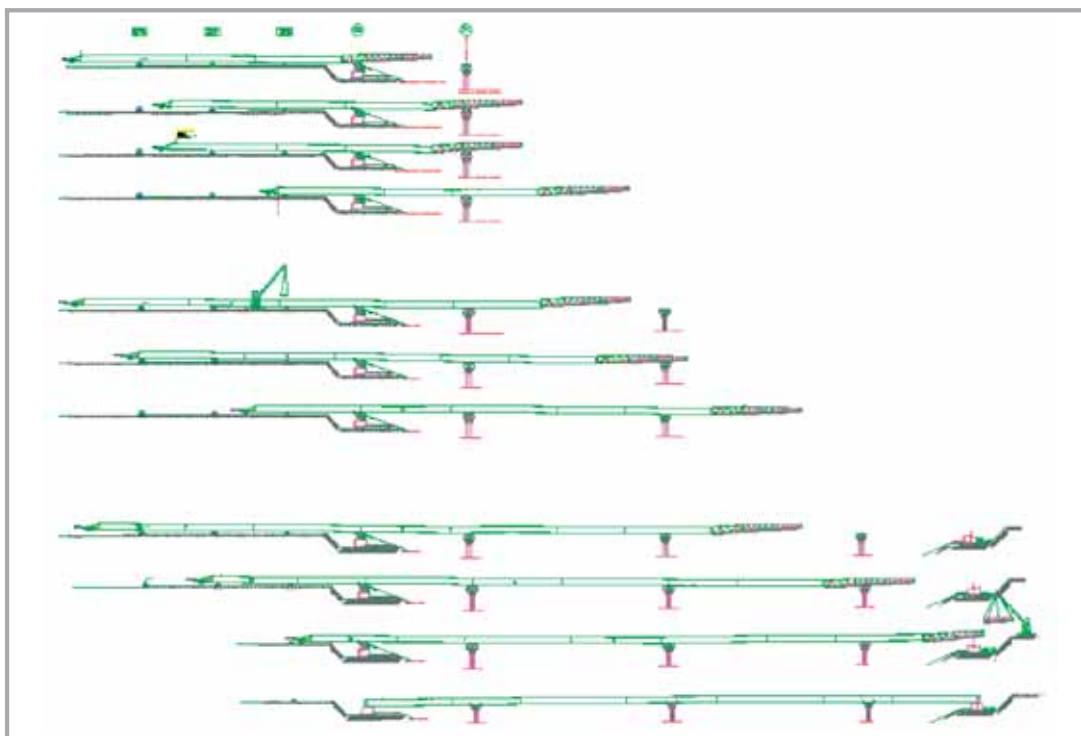
Photo 11  
L'ouvrage en cours  
de lancement  
*The structure  
during launching*



couches du système anticorrosion. Les tronçons sont alors expédiés au chantier par convoi routier exceptionnel.

Pour atteindre le chantier, les poutres ont traversé ou contourné les villes d'Orléans, Blois, Château Renault, Angers et Nantes avant d'arriver sur la plate-forme de lancement à Gorges.

Figure 1  
Cinématique de lancement  
*Kinematics of launching*



## ■ LES OPÉRATIONS DE MONTAGE

L'ossature métallique a été mise en place de manière classique par lancement depuis la plate-forme réalisée en rive gauche par le maître d'ouvrage (photo 11). Cette plate-forme en déblais a été livrée au niveau de la couche de forme, soit environ deux mètres plus haut que le niveau final des poutres, et avec un profil en long en pente vers l'ouvrage. Le profil en long final de l'ouvrage étant à peu près plat, cela a conduit à cambrer l'ouvrage en cours de lancement pour reprendre la pente de départ. Cette disposition a permis de limiter la hauteur des calages sur piles, ce qui a eu pour effet de limiter la hauteur de dévérinage après le lancement. Elle a cependant conduit à une augmentation des calages sur plate-forme ainsi qu'à un renforcement de l'avant-bec.

La longueur de la plate-forme a nécessité un lancement en trois phases. Pendant la première l'ossature est restée isostatique, et un lest a été utilisé pour assurer l'équilibre statique avant l'accostage de la première pile (figure 1).

Par ailleurs, l'entreprise Demathieu et Bard en charge du lot génie civil de l'ouvrage avait installé l'aire de préfabrication des dalles en arrière de la culée d'arrivée, à proximité immédiate. De ce fait, il était impossible d'y prévoir une aire suffisante pour procéder au démontage de l'avant-bec.

Celui-ci a donc été démonté au fur et à mesure de son passage sur la dernière pile (photo 12).

Enfin la dernière particularité de ce lancement est

liée à la présence des consoles et des pièces de pont dont les semelles inférieures, situées au niveau des semelles inférieures des poutres, rendaient inutilisable le système classique de guidage par galets sur le champ des membrures des poutres. Le bureau des méthodes de l'entreprise a donc conçu un système de guidage permettant de s'appuyer sur la faible épaisseur de membrure située sous le niveau d'arrivée des semelles inférieures des pièces de pont (photo 13).

La hauteur disponible étant insuffisante pour des galets, on a utilisé des patins en téflon permettant le glissement avec un coefficient de frottement réduit.

Le reste du matériel de lancement utilisé pour cette opération était classique :

- ◆ un avant- bec treillis de 30 m ;
- ◆ des chaises à balancier à quatre ou six galets ;
- ◆ un treuil de traction et un treuil de retenue.

Une fois l'ouvrage en position on a procédé à l'enlèvement des chaises et à sa descente sur appuis provisoires au niveau des dénivellations à réaliser après le clavage des dalles préfabriquées.

## ■ LA DALLE DE COUVERTURE

Comme indiqué plus haut, le réseau de poutres et des pièces transversales a permis l'utilisation de la technique des dalles préfabriquées, malgré la largeur du hourdis.

Transversalement la dalle a été préfabriquée en trois éléments : un élément central s'appuyant sur les semelles supérieures des poutres et des pièces de pont et deux éléments latéraux s'appuyant sur les semelles des poutres et des consoles.

Les joints à réaliser en seconde phase étaient donc naturellement coffrés par les semelles supérieures. Compte tenu de la présence des pièces de pont et des consoles, cette technique de réalisation s'imposait et était d'ailleurs prévue au dossier de consultation des entreprises.

En outre, la technique des dalles préfabriquées est favorable vis-à-vis de l'apparition des fissures dues au retrait. En effet, la part de retrait endogène et thermique qui apparaît au moment de la prise du béton a pu être évacuée au moment de la préfabrication sans que la connexion avec l'ossature n'introduise les contraintes de traction, cause de fissuration.

Pour mettre en place ces éléments dont les plus lourds pesaient environ 14 t, l'entreprise Demathieu et Bard a utilisé une grue treillis à chenille placée sur un chariot roulant sur les membrures supérieures des poutres (photos 14 et 15).

L'ensemble, grue et son support avec le chariot de transport des dalles, pesait 128 t en charge.

Afin de recomprimer au maximum les joints transversaux, la mise sur appuis définitifs s'est accompagnée de la réalisation de dénivellation d'appui



Photo 12  
Démontage de l'avant-bec pendant le lancement

*Removal of the launching nose during launching*



Photo 13  
Système de guidage

*Guidance system*



Photos 14 et 15  
Mise en place des éléments de dalle préfabriqués

*Installation of prefabricated slab components*

de 23 cm sur les piles P1 et P3 et de 48 cm sur P2, permettant d'obtenir le profil en long définitif de l'ouvrage.

### ■ LE DÉLAI DE RÉALISATION ET MONTANT DES TRAVAUX

Le délai contractuel des travaux était de douze mois précédés d'une période de préparation de 75 jours. Les principales étapes de la réalisation de la charpente ont été :

- ◆ études et commande matières d'octobre 2002 à mars 2003 ;
  - ◆ fabrication en atelier d'avril à juin 2003 ;
  - ◆ montage de mai à septembre 2003.
- OS travaux : 17 janvier 2003.  
Livraison de l'ouvrage : 1<sup>er</sup> avril 2004.  
Montant du marché : 5,0 M€ TTC.

### ■ CONCLUSION

Le viaduc de la Sèvre Nantaise met en évidence la capacité des structures mixtes bipoutres, à réaliser des ouvrages discrets, élégants et parfaitement intégrés au site, de manière économique.

Des dispositions originales, comme la forme des consoles, permettent d'animer l'ouvrage en offrant des perceptions variables selon le point de vue, sans renchérir de manière trop importante le coût de cette solution.

### ABSTRACT

The deck of the Sèvre Nantaise viaduct at Clisson

*R. Dubois, F. Belblidia, N. Moronval*

**As a part of the bypassing of the city of Clisson the crossing of the Sèvre Nantaise valley is a good example of the very good flexibility of composite twingirders bridges in order to preserve the natural environment.**

**This bridge's design combines an inexpensive method of building and an architectural research to perfectly insert the bridge into the site.**

**The following article deals with the fabrication and the erection of the composite deck of the bridge.**

### RESUMEN ESPAÑOL

El tablero del viaducto del río Sèvre Nantaise en Clisson

*R. Dubois, F. Belblidia y N. Moronval*

**Situándose en el marco de la variante noreste de Clisson el franqueo del valle del río Sèvre Nantaise constituye un ejemplo de la correcta adaptación de las soluciones mixtas de tipo de doble viga a un entorno íntimo y bucólico.**

**El diseño de semejante estructura combina la economía propia para este tipo de estructura y un tratamiento arquitectónico refinado que permite una perfecta inserción de la estructura en el sitio.**

**El presente artículo trata en su mayor parte de la ejecución del tablero del viaducto.**

# Un concept de ponts métalliques industriels, modulables et évolutifs

## Les ouvrages brevetés Matière type Unibridge

Les ponts à montage rapide que les ingénieurs utilisent sur nos chantiers découlaient jusqu'ici des inventions de Donald Coleman Bailey. Utilisés en temps de paix comme en temps de conflit, dans le cas de catastrophes naturelles comme dans le cas de reconstruction d'urgence, parfois comme ouvrages définitifs, ces ponts, et avec eux les millions de personnes qui les ont empruntés, ont vaillamment franchi la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle.

Cette excellente technique d'il y a 50 ans, définie à l'époque comme "manu portable", ne tire plus parti des moyens actuels de la construction métallique (qualité des aciers, systèmes de manutentions et de connections, main-d'œuvre en moins grand nombre, etc.).

Matière a donc mis au point un concept innovant de pont métallique, industriel et évolutif, à montage très rapide : le pont Matière type Unibridge.

### ■ DESCRIPTION DU CONCEPT BREVETÉ UNIBRIDGE

Les ponts Matière Unibridge sont des ponts multi-poutres métalliques destinés à la réalisation d'ouvrages définitifs ou provisoires.

Leurs tabliers peuvent être métalliques, en béton armé préfabriqué ou coulé en place, ou en bois.

Ils peuvent porter une voie unique ou une double voie de circulation (figures 1 à 3).

Leurs culées peuvent être, selon les circonstances

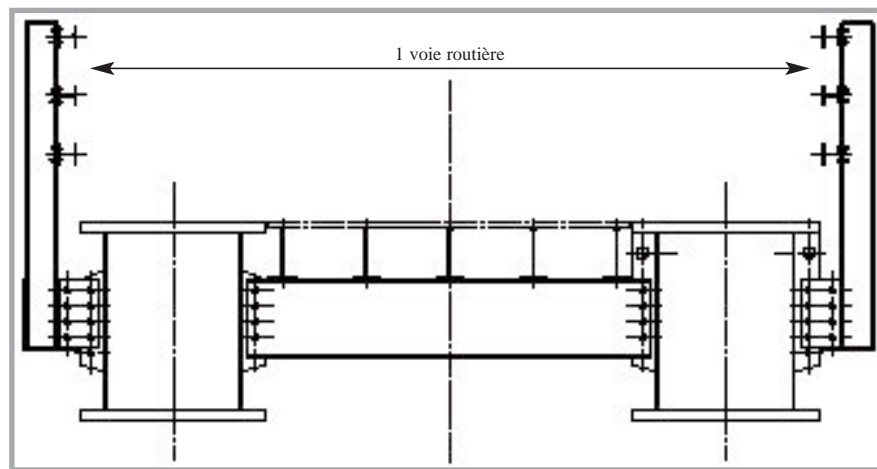


Figure 1  
Une voie. Tablier métallique  
*One lane. Steel deck*

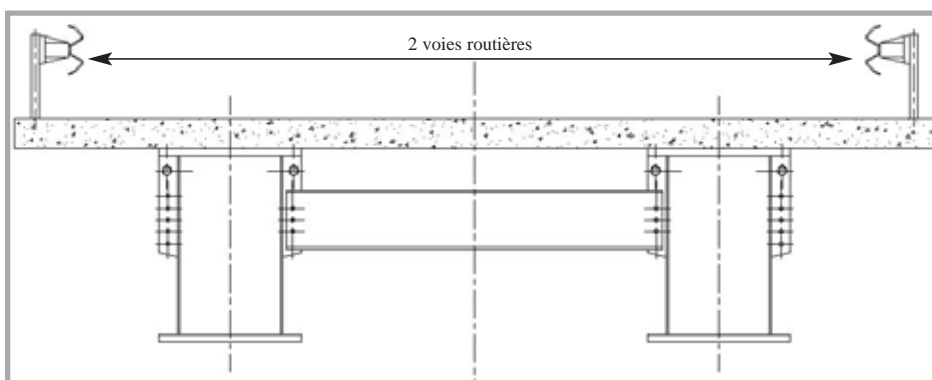


Figure 2  
Deux voies. Tablier béton préfabriqué  
*Two lanes. Prefabricated concrete deck*

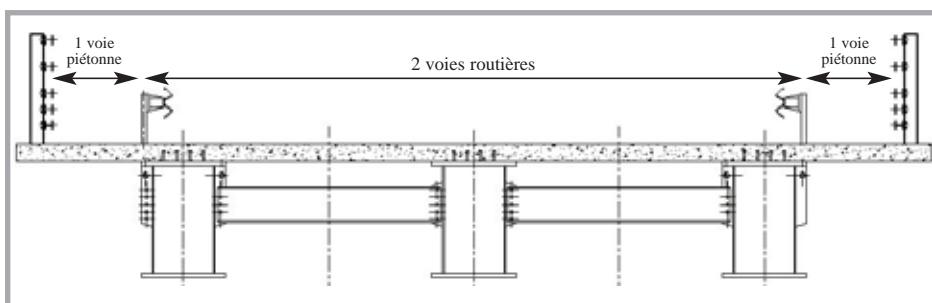


Figure 3  
Deux voies. Tablier béton coulé en place  
*Two lanes. Concrete deck poured in place*

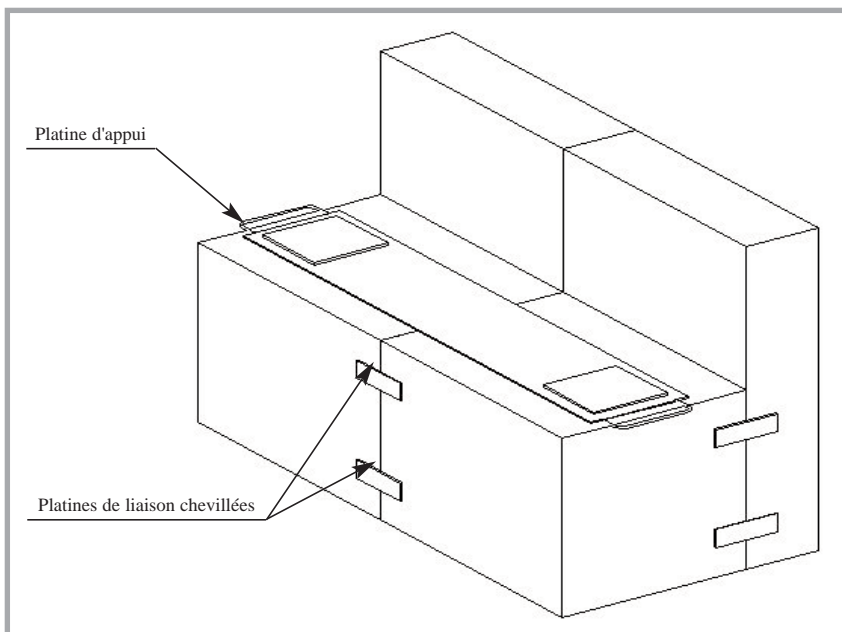


Figure 4  
Culées composées de blocs de béton armé préfabriqués liaisonnés entre eux

Abutments consisting of prefabricated reinforced concrete blocks bonded together

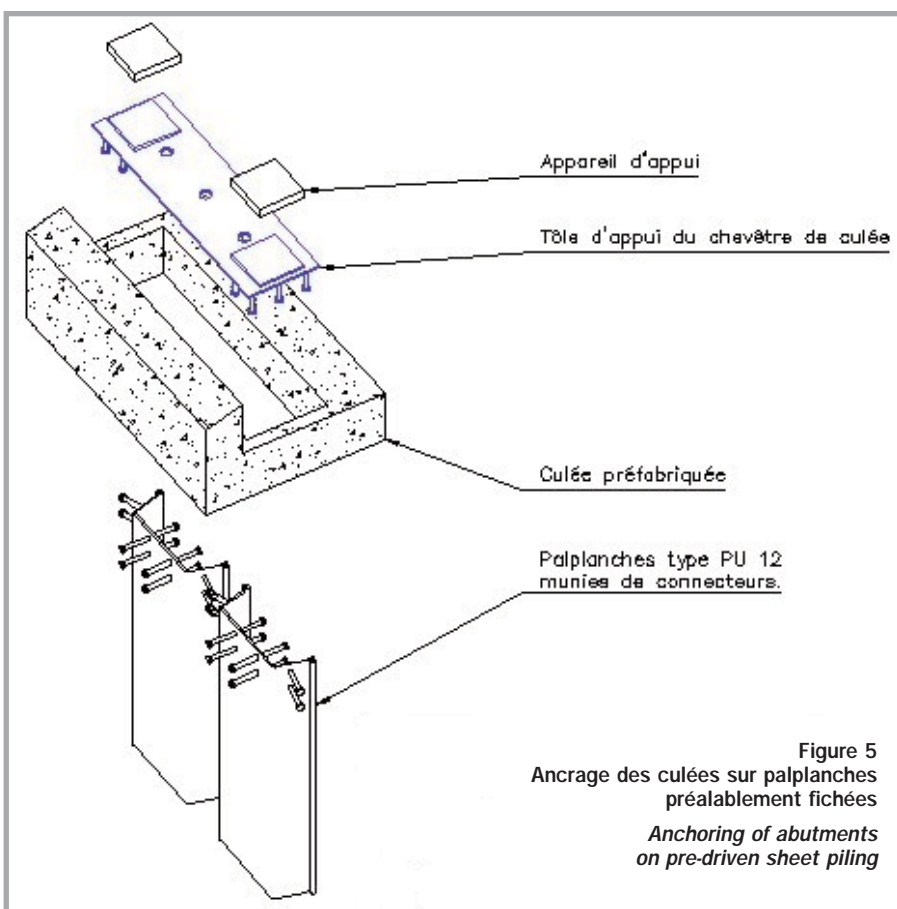


Figure 5  
Ancrage des culées sur palplanches préalablement fichées  
Anchoring of abutments on pre-driven sheet piling

- ◆ soit composées de blocs béton armé préfabriqués liaisonnés entre eux (figure 4) ;
- ◆ soit réalisées selon le brevet Matière n° FR 2824 851-B1 permettant d'ancrer les culées sur des palplanches préalablement fichées (figure 5). Le principe de mise en œuvre des culées consiste successivement :
  - au battage des palplanches,
  - à la mise en œuvre d'un béton de propreté,
  - à la pose de la culée préfabriquée,
  - au clavage (y compris ferrailage),
  - à la pose et réglage de la tôle d'appui du chevêtre de culée.

### LE CŒUR DE L'INNOVATION : DES POUTRES "CONTAINERISABLES"

Les poutres sont constituées de caissons de longueur unitaire de 11,60 m, qui s'assemblent au moyen d'un double axe métallique en partie basse et d'un simple appui en partie haute (photo 1). Chaque caisson unitaire comporte sur chacun de ses flancs, cinq platines sur lesquelles sont boulonnées :

#### OUVRAGE BREVETÉ

A titre d'exemple de l'utilisation du concept breveté Matière - Unibridge, on peut décrire les conditions de construction du pont provisoire sur la Varèze à Monstereux - Département de l'Isère.

Cet ouvrage a été réalisé avec les enseignements tirés de la conception et des méthodes de montage de l'ouvrage prototype de la Ravine à Marquet, Ile de la Réunion, monté quelques mois plus tôt.

Assemblé et éprouvé en 12 heures de travail d'une équipe de cinq personnes, il est totalement métallique ; ses appuis sont réalisés avec des blocs en béton armé préfabriqués existants en stock.

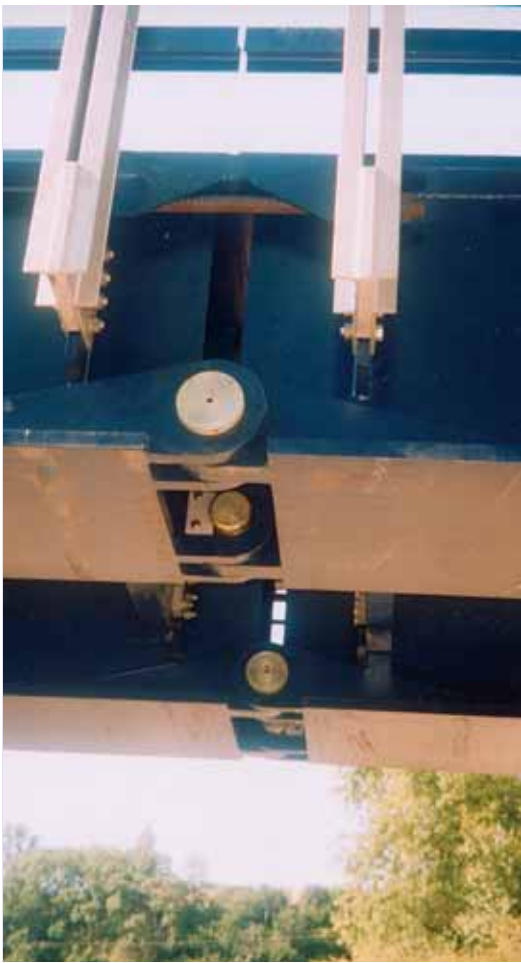
Sa longueur est de 34 m entre appuis, utilisant six caissons élémentaires de 11,60 m montés en deux poutres principales. Sa largeur circulaire est de 3,50 m et l'espace entre poutres est constitué de caillebotis "grand trafic". Mis en service pour une charge circulaire de 8 t (desserte locale et route d'accès à tonnage limité), il a été éprouvé avec deux camions 4 x 2 pour un poids total d'un peu plus de 20 t. Il a été démonté après 5 mois de fonctionnement.

A ce jour, 16 ouvrages de ce type ont été commercialisés en ouvrages provisoires ou définitifs.

Photo 1  
Vue générale des caissons. Appui et barre Dywidag en partie haute. Axe-rotule en partie basse (femelle d'un côté - mâle de l'autre)

General view of the box girders. Dywidag support and anchor bar in the upper section. Ball-and-socket joint in the lower section (female at one end, male at the other end)





**Photo 3**  
Des tiges Dywidag ou Macalloy provisoires permettent la manutention  
*Temporary Dywidag and Macalloy bars for handling*

- ◆ soit des pièces de pont de liaison entre poutres d'un côté ;
- ◆ soit des consoles pour trottoirs et les éléments de garde-corps ou rambardes de l'autre côté (photo 2).

Les caissons, livrés en containers de 40 pieds avec leurs pièces de pont et leurs garde-corps éventuels, sont raboutés en poutres sur plate-forme.

Leurs assemblages sont constitués de doubles axes métalliques en partie basse et de tiges Dywidag ou Macalloy placées provisoirement en tête pour permettre la manutention (photo 3).



**Photo 2**  
Vue des détails d'assemblage  
*Detail assembly view*

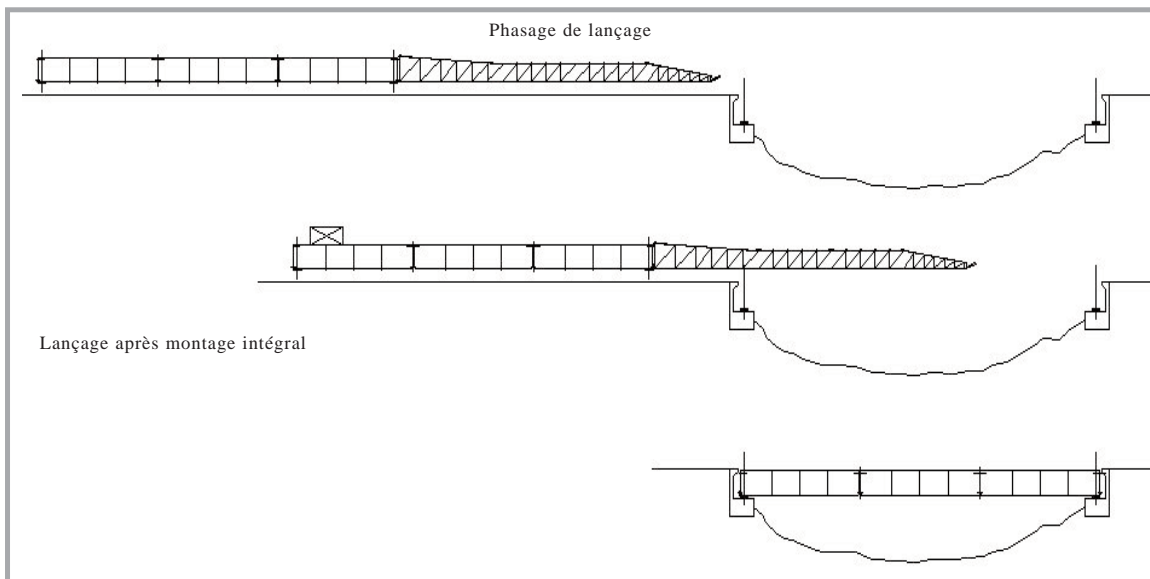


**Photo 4**  
Pose des poutres sur appuis par grutage  
*Laying girders on supports by craning*

Chaque poutre ainsi reconstituée, peut être posée indépendamment sur les appuis, puis liaisonnée aux poutres par boulonnage des pièces de pont sur les platines latérales. Dans le cas d'un tablier métallique, deux poutres permettent de constituer un pont à une voie, "n" poutres permettent de constituer un ouvrage à "n-1" voies.

La pose peut se faire par grutage (photo 4), ou par lançage (cf. paragraphe suivant).

L'ouvrage, muni d'un avant-bec et de contrepoids, peut être également lancé classiquement, soit poutre par poutre, soit intégralement. La charpente métallique est, dans ce cas, totalement assemblée sur plate-forme (figure 6).



**Figure 6**  
Vues en élévation  
*Elevation views*

Figure 7  
Principe d'un tablier à plusieurs voies de circulation  
*Schematic of a deck with several traffic lanes*

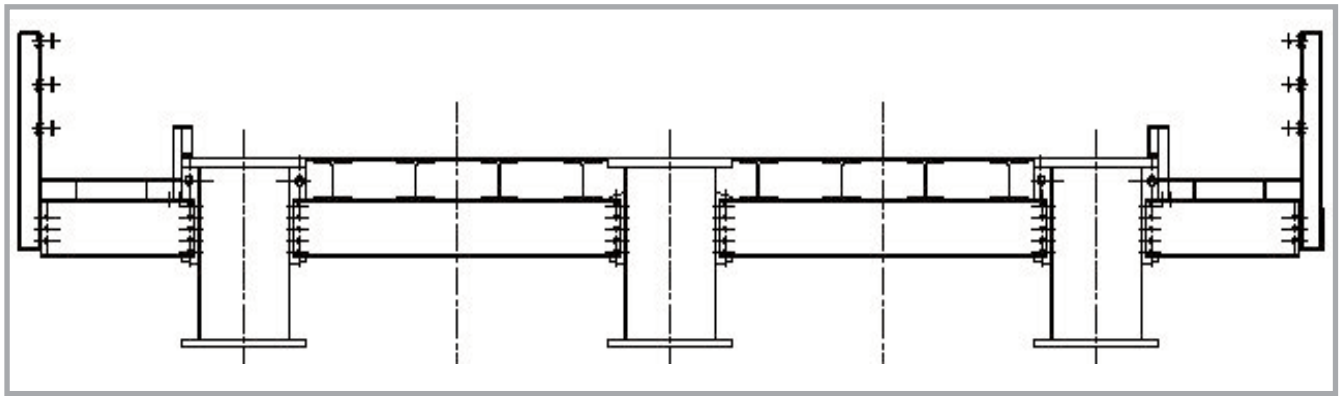


Figure 8  
Principe évolutif du tablier  
*Variable-configuration deck schematic*

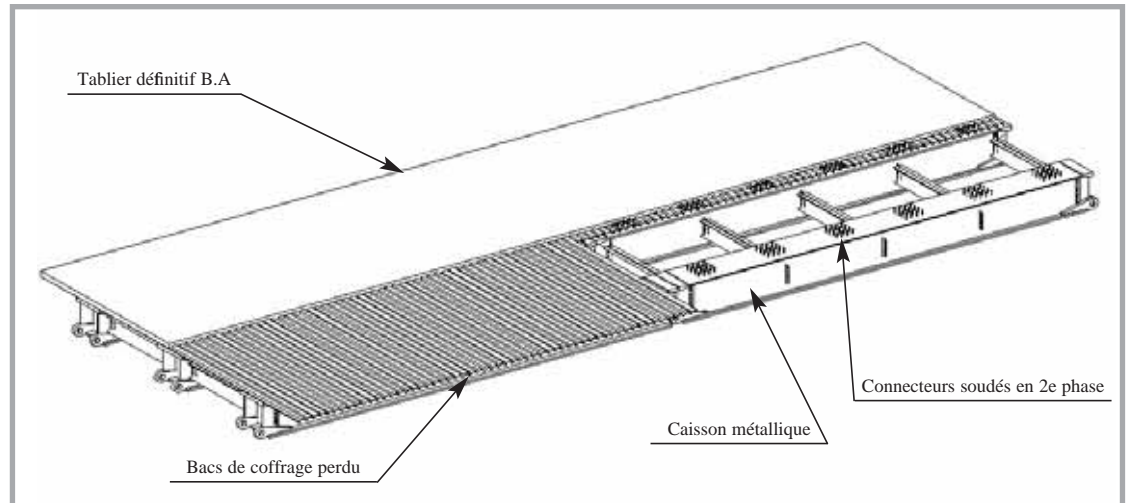


Photo 5  
Pont mis en place à l'aide d'éléments en béton armé préfabriqués  
*Bridge set up using prefabricated reinforced concrete elements*



Photo 6  
Pose de dalles préfabriquées  
*Laying prefabricated slabs*



Si le tablier est métallique, la circulation routière peut se réaliser directement sur chaque poutre, revêtue en usine d'un revêtement strié antidérapant. L'espace entre poutres est constitué soit d'un caillebotis métallique (ouvrage provisoire), soit en tôle striée. Dans ce cas, il est possible de recouvrir la totalité du tablier métallique d'un revêtement routier (tri-couche ou enrobé).

Dans le cas où le tablier doit supporter plusieurs voies de circulation, on pourra procéder par juxtaposition de plusieurs poutres et mise en place éventuelle de consoles pour le passage des piétons (figure 7).

On pourra aussi utiliser des éléments en béton armé préfabriqués.

Le procédé est innovant par son nombre restreint de composants (22 accessoires, se transportant en containers maritimes, par poutre élémentaire seulement) et par sa simplicité de conditionnement en cas de chantier à l'international.

Il est également innovant par son caractère évolutif, car il peut devenir – après avoir soudé des connecteurs sur la face supérieure des caissons métalliques – un **vrai pont mixte**, grâce à la mise en place d'un tablier béton coulé en place (figure 8), ou préfabriqué (photo 5).

L'ouvrage peut donc devenir, si le client le souhaite, un véritable ouvrage définitif.

Si le tablier est en béton armé préfabriqué, les dalles sont posées à la grue, roulées, ou ripées, puis connectées aux poutrelles supérieures des deux poutres (photo 6).



La solution du tablier bois sera particulièrement pertinente lorsque le concept Unibridge sera utilisé dans des pays où les ressources de ce type sont abondantes.

#### ABSTRACT

A variable-configuration, modular, industrial steel bridge concept. Unibridge type Matière patented structures

*Ph. Matière*

The easy-to-assemble bridges used by engineers on our projects were until now based on the inventions of Donald Coleman Bailey. Used both in peacetime and in wartime, in the event of natural disasters and for urgent reconstruction work, sometimes as permanent structures, these bridges, and with them the millions of people who have crossed them, provided sterling service throughout the second half of the 20th century.

This excellent technique of 50 years ago, defined at the time as "hand portable", no longer exploits present-day steel construction resources (quality of steels, handling and connection systems, fewer labour requirements, etc.).

Matière has therefore developed an innovative, variable-configuration, industrial steel bridge concept, that can be assembled rapidly : the Unibridge type Matière bridge.

#### RESUMEN ESPAÑOL

Un concepto de puentes metálicos industriales, modulables y evolutivos. Las estructuras patentadas Matière tipo Unibridge

*Ph. Matière*

Los puentes de construcción rápida que los ingenieros utilizan en nuestras obras se derivaban hasta la fecha de las invenciones de Donald Coleman Bailey. Utilizados tanto durante los tiempos de paz como durante los tiempos conflictivos, y tanto en el caso de catástrofes naturales como en el caso de reconstrucción de emergencia, también utilizados como estructuras definitivas, estos puentes, y conjuntamente con las millones de personas que los aprovecharon, han atravesado resueltamente la segunda mitad del siglo XX. Semejante excelente técnica, que existe desde hace 50 años, definida en la época como "manu portable", no puede aprovechar los medios actuales de la construcción metálica (calidad de los

aceros, sistemas de manipulaciones de cargas y de conexiones, mano de obra reducida, etc.).

Matière ha desarrollado entonces un concepto innovador de puente metálico, industrial y evolutivo, de construcción sumamente rápida : el puente Matière tipo Unibridge.

# Existing antique stone bridges Zhejiang Province, China

This article introduces synthetically more than 500 antique stone bridges completed in Shaoxing Region before Qing Dynasty. From structural conception, they can be divided into 2 categories, i.e. beam bridges and arch bridges. In the former, there are stone beam bridges supported on columns, piers and on cantilevers, beam bridges with special plan layouts as well as some combined bridges. In the latter there are arch bridges of many types, including semicircular arch bridges, horse-shoe-shaped arch bridges, catenary arch bridges and folded arch bridges.

**Keywords :** stone beam bridge, stone beam bridges supported on cantilever, stone arch bridge, folded arch bridge, catenary arch bridge, aqueduct, overpass

## ■ INTRODUCTION

The Shaoxing Region introduced in this article includes Shaoxing City Proper, Shaoxing County, Xinchang County, Shengzhou City, Zhuji City and Shangyu City.

According to the statistics at the end of 1993, in Shaoxing Region there were 10610 bridges, so Shaoxing is called « Region of Ten-Thousand Bridges » [1]. But many ancient bridges were buried in oblivion, for an example, from « the thoroughfare of the City Proper of Shaoxing Prefecture » [2] drawn in the 19<sup>th</sup> year (1893) of Guangxu, Qing Dynasty, it can be seen that along a short Duantou River (600 m long or so) linking up the main river through the opening under the south slope at the westside of famous Bazi Bridge introduced in the following, there were 4 bridges, now, the river course and the 4 bridges have been buried in oblivion, but many new modern bridges are completed. Following statistics, in the City Proper of Shaoxing, there are 31 bridges in every km<sup>2</sup>, in Chinese Suzhou City of Jiangsu Province, known as the Orient Venice, there are 15 bridges in every km<sup>2</sup>, i.e., the former has double bridges as compared as the latter, up to the end of 1989, the statistics for Shaoxing County (with area of 1 493 km<sup>2</sup>) shows that there are 5 122 bridges and 3.43 bridges/km<sup>2</sup>. In Italian Venice with area of 567 km<sup>2</sup> there were 378 bridges before the 2<sup>nd</sup> War, i.e., there are 0.667 bridge/km<sup>2</sup>, the number of bridges every km<sup>2</sup> in the former is 5.2 times in the latter; in Hamburg, the Deutsch Bridge City, there were 2 155 bridges, Shaoxing County has bridge number to be 2.4 times of Hamburg. It can be seen that the distribution density of bridges is great. Now, over the area of Shaoxing Region, there are

604 existing ancient bridges [1], among which 13 bridges were constructed before Sone Dynasty (960-1279), 41 in Yuan (1279-1368) and Ming Dynasties (1368-1644) as well as 550 in Qing Dynasty (1644-1911). The existing earliest ancient stone arch bridge is Guangxiang Bridge, constructed firstly in the years of East Jin Dynasty (317-419); the existing earliest 5-folded arch bridge is Baiwang Bridge, constructed in the years of Qianning (894-897) of Zhaozong, Tang Dynasty.

Some buried bridges and river courses will be restored in plan, such as the Duantou River through the South slope at the west of Bazi Bridge mentioned below and 4 bridges over this river and the nameless river through the south slope at the east of Bazi Bridge, these 2 rivers and 4 bridges are planned to be restored.

## ■ STONE BEAM BRIDGES

### Beam bridges supported on columns

Bazi Bridge (figure 1) located at the northeast of Shaoxing City is one of the existing earliest city bridges in China, on the abutment stone there are some Chinese words : « engraved on lucky day in the 2<sup>nd</sup> month of winter of Baoyou Bingchen » (Baoyou is one of the title of Lizong's reign during the years of 1225-1264, Song Dynasty, Bingchen year in this period is equivalent to 1256). At both of edges over the main span, 2 layers of stone beam are used with slightly upward flexure and this bridge is supported on slightly leaning afterward stone column piers to increase its stability [1]. Bazi Bridge was constructed at intersecting place of 2 rivers with main flow of Jishan River in northsouth direction. The main span of Bazi Bridge is in the westeast and crosses over Jishan River. The length of bridge floor is 5.5 m, the width 3.10 m, the height of bridge and opening are 5.75 m and 4.15 m respectively, span length 4.80 m.

Along the north-south slope at the east end of bridge, there are towpaths but not through the opening of main span, so it can not constituted the overcrossing condition. The east end is near to vernacular dwellings, so the bridge turns into 2 slopes in the north and south directions, in the north, there are 14 stone steps with total length of 18.45 m and in the south, 14 steps also, but with length of 12.6 m; at the west end, the slopes direct the west and south, the west slope has total length of 22.70 m

Figure 1  
Bazi Bridge



# in Shaoxing Region,

Luo Guangzhou  
SPECIALIST OF ANCIENT BRIDGE  
Road Transportation and Administration  
of Shaoxing Region

Tu Jianghong  
THE HEAD OF URBAN  
CONSTRUCTION ARCHIEVES  
OF SHAOXING REGION

Ding Dajun  
PROFESSOR, RETIRED FROM  
NANJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY

with 17 stone steps and the south one has total length of 15.80 m with 18 stone steps, the south slope in the west crosses over the Duantou River through a small opening (water only in a small segment under this opening remains, and outside it, the river is buried); at east end, there is also a small bridge opening (from the left of figure 1, below a boulder strip) this opening is clearly seen to span over a nameless river buried also). Constructing a bridge to span 3 rivers solves the complicated communications of 3 rivers and 3 streets, the design is ingenious. Two south slopes at the west and east ends of bridge stand relatively in an inclined direction to form an open Chinese character of eight (ba zi), so this bridge is called Bazi Bridge. In Bazi Bridge, the walled abutments (to be constituted of 9 stone columns continuously arranged) were adopted. The bridge is a national preservation unit of cultural relics.

Figure 2 shows local city map around the location of Bazi Bridge drawn from Literature [3]. From figure 2 it can be seen that in the north, there is Guangning Bridge of 7-folded stone arch bridge with its axis perpendicular to that of Bazi Bridge, in the south of Bazi Bridge there are respectively Dongshuang Bridge (semicircular arch bridge) and Fangche Bridge (single-span stone beam bridge), these 4 bridges are all constructed in Song Dynasty and the distances between them are 136.00 m, 147.00 m and 154.00 m respectively, it can see the distribution density of antique bridges in this local area is more great.

## Beam bridge supported on cantilever

Generally, beam bridges are supported on columns and piers, beams sometimes are supported on the brackets (cantilevers) constructed from piers to decrease the calculated span to form into a cantilever bridges. Figure 3 shows Tianbao Bridge located at Wangtan Village of Wangtan Town in Shaoxing County is a 8-span cantilever bridge with total length of 82.60 m and the max. span of 8.70 m. This bridge was constructed in the 10<sup>th</sup> year (1884) of Guangxu, Qing Dynasty. Its piers are wide and thick, at the sides towards flow, wedge shapes for water-diversion are made<sup>1</sup>. In Literature [2], there are listed 6 cantilever bridges.

1. In Tang Dynasty (618-907) of China, Mr. Li Zhaode adopted firstly this advanced construction when he re-built Lishe Bridge [4].

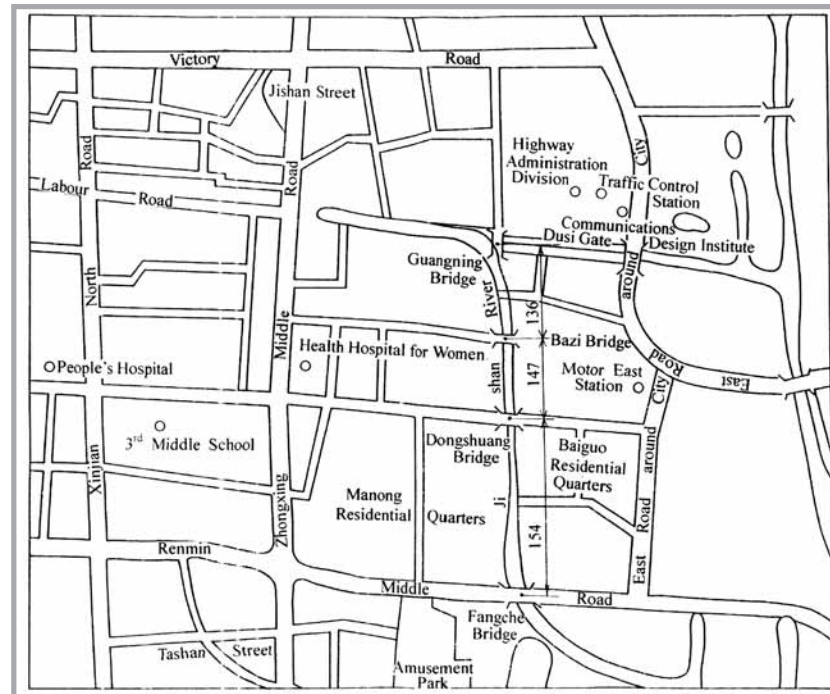


Figure 2  
Local city map  
around Bazi  
Bridge



Figure 3  
Tianbao Bridge

## The longest beam bridge

Xiandao (Towpath) Bridge (figure 4) located at Keqiao Street in Shaoxing County was completed firstly at the south side of Ruanshe Section of Xixing Canal in Jin Dynasty (266-420). The existing antique Xiandao Bridge was constructed in the 10<sup>th</sup> year (815) of Yuanhe, Tang Dynasty when the Canal was

Figure 4  
Xiandao Bridge



Figure 5  
Huilong Bridge



Figure 6  
Sanjie Bridge



being dredged. It is a long bridge constituted of stone slabs and stone piers, the main function of which is for the use of tow by towing men, and also for taking shelter from the wind when boats met the great storms. The ancient Xiandao Bridge from Xixing to Gaoba is long to 100 li (Chinese unit of length, 1 li = 1/2 km), constituted of very many segments

of xiandao bridges with low openings, beam bridges with high openings, arch bridges and banks. The ancient Xiandai Bridge is a national preservation unit of cultural relics, the most brilliant section is constituted of 2 segments on the Canal from Taiping Bridge to Hutang and Banqiao area, among which one segment is 502.00 m long with 149 spans and the other 377.40 m long with 112 spans, the bridge floors of which are constituted of a width of 1.50 with 3 strip stones, and the 1.50 m thick piers were constructed by dry masonry method with strip stones. The bridge bottom is near to the water face, in order to let boats pass through easily and to avoid storms, there is constructed a high span of beam or arch bridge every 500 m or so, such as baodai Bridge, Yinyu Bridge.

### Gallery bridges

The gallery bridge means that there are built houses on it. Figure 5 shows the Huilong Bridge located at the outside of Xiguo Gate of Shaoxing City. On this bridge there were constructed 3 houses. The length for bridge floor is 5.15 m and the width can walk through is 3.60 m; the bridge height is 3.60 m and opening height 2.75 m, span length 3.70 m. There are respectively 11 stone steps at east end of bridge with length of 5.10 m and 15 steps at west with length of 6.80 m. This bridge was constructed before the years of Jiatai (1201-1204), Song Dynasty and reconstructed in the 3<sup>rd</sup> year (1871) of Guangxu, Qing Dynasty.

### Beam bridge with special plans

Generally, the bridge plans are straight, but in Shaoxing, there are several bridges the plans of which are not straight, these modelling are special.

#### (1) Beam bridge with Y-shaped plane

Figure 6 shows the Sanjie Bridge located at the junction of 3 rivers in Shaoxing City. This bridge was constructed to pass through 3 banks with a plan of Y shape, one branch has 2 openings with clear spans of 3.75 m and 2.75 m; both of the others have single opening with clear span of 4.00 m and 3.20 m respectively. This bridge was constructed at the end of Qing Dynasty and is a preservation unit of cultural relics of Shaoxing Region.

#### (2) Beam bridge with Z-shaped plan

Guhongming Bridge located at Xushan Village of Fuguan Town in Shaoxing County is a stone beam bridge to have 3 segments in Z-shape plan with total length of 55.20 m, including 11 spans, the main segment has 5 spans in westeast direction, the lengths of span are respectively 3.45 m, 4.70 m, 4.90 m, 3.10 m and 3.60 m; 2 secondary segments have respectively 2 westeast spans with equal length of 1.40 m and 4 northsouth spans

with span lengths of 3.15 m, 2.20 m, 3.80 m and 3.90 m. This bridge was constructed in Ming Dynasty and repaired twice in Qing Dynasty, respectively in the 50<sup>th</sup> year (1785) of Qianlong and in the 6<sup>th</sup> year (1801) of Jiaqing; in 1994, Mr. Yu Wenrong and Mrs. Huang Aixiu from Koulong of Hongkong contributed money to repair.

*(3) Beam bridge with arc-shape plan*

Lang Bridge located at Keyan Street of Shaoxing County is called also Wan-an Bridge, it is an 11-span stone beam bridge and has a rare circular arc plan with total length of 73.20 m and clear width of 1.70 m, every span length is 1.25 - 2.15 m. This bridge was constructed in the 33<sup>rd</sup> year (1768) of Qianlong, Qing Dyansty and reconstructed in the 6<sup>th</sup> year (1867) of Tongzhi, Qing Dynasty. In the 33<sup>rd</sup> year (1554) of Jiajing, Ming Dynasty, the martyr Mr. Yao lured Japanese pirates into a trap ambushing here to annihilate all of them more than 130, and sacrificed himself. A stone tablet « Martyr Yao Monument of annihilating Japanese pirates » was erected before this bridge.

**Two bazi bridge constituted of 3 bridges**

The Bazi Bridge located at Bazi Village of Qixian Town in Shaoxing County (the middle one in figure 7) is a northsouth-direction single span stone beam bridge with span length of 4.80 m, at the north and south, there are constructed 14 and 13 stone steps with 4.25 m and 3.50 m long respectively. It constitutes 2 bazi-shape bridges in plan with the left Guxiao Bridge (l = 2.85 m, in northeast-southwest span direction) and the right Yongning Bridge (l = 5.10 m, in southeast-northwest span direction) as looking at in one side and in the opposite, i.e., in the east of Bazi bridge looking at towards the northwest direction then it will constitute « bazi bridge » with Yongning Bridge; in the west of Bazi Bridge looking at towards the southeast, i.e., in the opposite direction, it will constitute other « bazi bridge » with Guxiao Bridge. So can say, to cut the upper and lower parts of chapter Russian, alphabet Б™ (as looking chapter English N from its back) with 2 approx. parallel lines, the remaining 3 segments, the middle is Bazi Bridge, the right and left will be Yongning Bridge and Guxiao Bridge. It is rare in China.

**Combining beam bridges**

Figure 8 shows the Wanshou Bridge located at Yongning Village of Donghu Town in Shaoxing City, the navigable spans of main river way are 3-span stone beam bridge with span lengths of 7.55 m, 11.50 m and 3.00 m, the navigable spans of tributary river way are 2-span stone beam bridge with span lengths of 3.20 m and 2.90 m, a bank connects these 2



**Figure 7**  
Two bazi-shape Bridge



**Figure 8**  
Wanshou Bridge combined with beam bridges and bank



**Figure 9**  
Sanjiang Sluice Bridge

sections of beam bridges with total length of 89.00 m. The years of first construction of this Bridge is unknown, in the 14<sup>th</sup> year (1925) of the Republic of China it was reconstructed.

**Bridges on sluice**

Figure 9 shows Sanjiang Bridge on Sluice located at Sanjiang Village of Doumen Town in Shaoxing City. It was constructed at the joining place of 3 rivers, Qiantang River, Qianqing River and Cao-e River and is a structure combined from bridge and sluice. The Sluice was constructed in the 16<sup>th</sup> year (1537) of Jiajing, Ming Dynasty. The sluice height is 11.00 m and its length is 153.33 m with 28 ope-

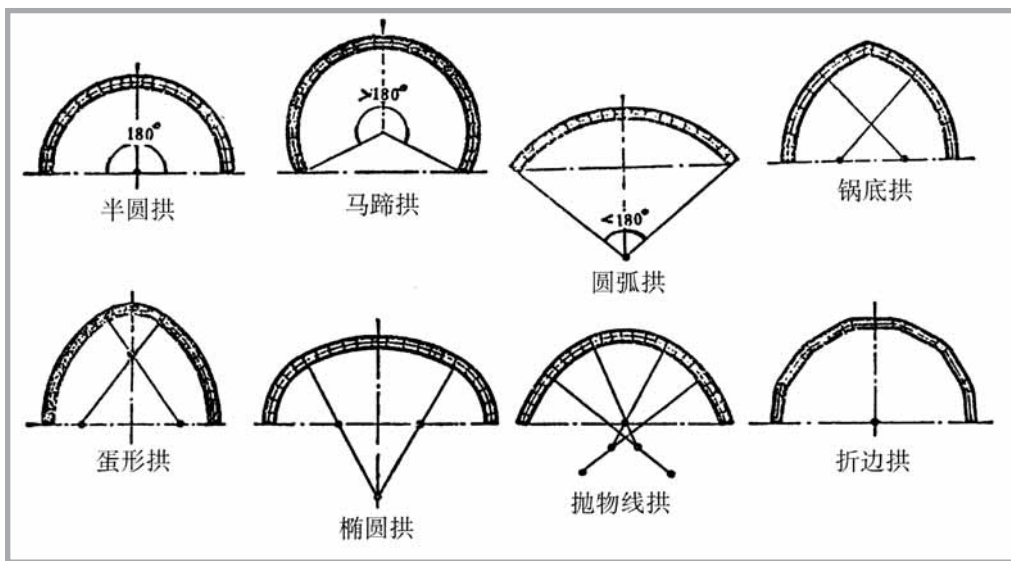


Figure 10  
Curves of arch bridge



Figure 11  
Luoshan Bridge



Figure 12  
Guangxiang  
Bridge

## STONE ARCH BRIDGE

In Shaoxing antique bridges, the curves of stone arch bridge type vary more, there are semicircular shape; circular arc shape, horse-shoe shape, ellipse shape and centenary shape, etc. (figure 10).

### Semicircular arches bridges

Literature [2] presents 523 photos of existing antique bridges preserved well, including 99 bridges marked semicircular shape, but according to the relations of span length  $l$  and arch height (rise)  $f$ , there are only a part in semicircular shape and the most are approximate with the majority in horse shoe shape and minority in circular arc shape. To call semicircular shape is due to more difficult determination in temporary time.

When span length  $l = 2f$ , it is exact to have semicircular shape. For examples, Changchun Bridge located at Butou Village of Xiaojiang Town in Xinchang County, with  $l = 9.60$  m,  $f = 4.80$  m, in the north and south, there are constructed 9 and 4 stone steps respectively with lengths of 10.00 m and 5.00 m. It was built in the 6<sup>th</sup> year (1856) of Xianfeng, Qing Dynasty, the arch ring was built with dry (without mortar) rubble and its face is very neat. Limudong Bridge is called also Taiping Bridge, located at Caiao Village of Wangtan Town in Shaoxing County, with  $l = 5.00$  m,  $f = 2.50$  m, the arch ring was built with dry rubble and is neat. Xiuxi Bridge located at Xikou Village of Qiaoying Town in Xinchang County, with  $l = 7.40$  m,  $f = 3.70$  m, was constructed firstly in Ming Dyansty (1368-1644), the arch ring was built with dry cobble.

When  $l = 2f$ , some greater than, or smaller than, then the shape is listed temporarily in semicircular shape.

For examples : Longqing Bridge located at Haoling Village of Cangyan Town in Shengzhou City, with  $l = 10.90$  m,  $f = 5.20$  m, was firstly constructed in the years of Qianlong, Qing Dynasty, an arch bridge was reconstructed in the 8<sup>th</sup> years (1828) of Daoguang, Qing Dynasty, with dry regular green stone. Taiping Bridges located at Keqiao Street of Shaoxing County, with  $l = 10.00$  m,  $f = 5.30$  m, was constructed in the 2<sup>nd</sup> year (1622) of Tianqi, Ming Dynasty, in the 6<sup>th</sup> year (1741) of Qianlong, in the 5<sup>th</sup> year (1825) of Daoguang, Qing Dynasty it was repaired and in the 8<sup>th</sup> year (1858) of Xianfeng, Qing Dynasty was reconstructed, the arch ring was built by the masonry method of longitudinal and parallel joints with separate courses. Now this bridge is a preservation unit of cultural relics of Zhejiang Province. Guodong Bridge located Yingkeng Village of Xiyan Town in Zhuji City, with  $l = 8.00$  m,  $f = 4.10$  m was constructed with rubble in Qing Dynasty. Luoshan Bridge (figure 11) located at Wu Village of Yangqiao Town in Shaoxing County is a combination of a 3-span stone arch bridge and a 7-span sto-

ings, it can pass through as beams were erected. This sluice has carried agricultural production and people life into important effect. In 1988, the upper structures on the old sluice were pulled down and a reinforce concrete bridge floor was reconstructed with length of 108.00 m and width of 8.60 m, and connected to the new bridges at 2 ends, the total length is 253.00 m and cars can pass through. Now this sluice bridge is a preservation unit of relics of Zhejiang Province.

ne beam bridge, for the former  $l = 6.55$  m,  $10.00$  m and  $7.30$  m,  $f = 3.65$  m,  $5.95$  m and  $3.75$  m. This bridge was constructed in Qing Dynasty, the arch ring was built by the masonry method of longitudinal and parallel joints with separate courses. Xuan Bridge located at Zhengjiayza Village of Xialü Town in Shaoxing County, with  $l = 9.25$  m,  $f = 4.75$  m, was constructed firstly before the years of Jiantai, Song Dynasty, and repaired in the 19<sup>th</sup> year (1754) of Qianlong, Qing Dynasty. Puji Bridge located at Xinlian Village of Wutan Town in Shaoxing County, with  $l = 7.00$  m,  $f = 3.60$  m, was constructed in the 16<sup>th</sup> year (1890) Guangxu, Qing Dynasty, the arch ring was built with rubble and ring slab is neat. Ji-shan Bridge located at Nianzhai Village of Quanting Town in Shengzhou City, with  $l = 9.50$  m,  $f = 4.50$  m, was constructed in the years (1736-1795) of Qianlong, Qing Dynasty, the arch ring was built with dry rubble. Saikou Bridge located at Lianzeng Village of Xialü Town in Shaoxing County, with  $l = 15.80$  m,  $f = 6.00$  m, was constructed in the 12<sup>nd</sup> year (1886) of Guangxu, Qing Dynasty, the arch ring was built with small stone block by masonry method of longitudinal joints. Guangxiang Bridge located in the northwest of Shaoxing City, with  $l = 8.35$  m,  $f = 4.40$  m, was constructed before the years of Jiatai, Song Dynasty, the arch ring was built by the masonry method of parallel joints with separate courses (figure 12), and repaired in the 1<sup>st</sup> year (1567) of Longqing, Ming Dynasty, and in the years of Qianlong and Jiaqing, Qing Dynasty. This Bridge is a preservation unit of cultural relics of Zhejiang Province. Xikuahu Bridge located at Hutang Street of Shaoxing County, with  $l = 9.65$  m,  $f = 4.55$  m, was constructed before the years of Jiatai, Song Dynasty, the arch ring was built by the masonry method of longitudinal and parallel joints with separall courses. At north end of bridge there were constructed 22 stone steps with length of  $11.15$  m and at south end, 21 stone steps with length of  $11.20$  m, at the end of south stone steps, there is connected to a 3-span beam bridge with  $l = 2.75$  m,  $11.60$  m and  $11.50$  m respectively; at the end of north stone steps there is connected to single-span beam bridge with bridge floor length of  $3.70$  m. This bridge was repaired respectively in the 4<sup>th</sup> year (1576) of Wanli, Ming Dynasty, in the 11<sup>th</sup> year (1746) of Qianlong and in the 9<sup>th</sup> year (1804) of Jiaqing, Qing Dynasty.

From the above it can be seen that there are arc-shaped arches or house-shoe-shaped arches, individual, may be arches in ellipse shape, even in egg shape.

### Arch bridges in circular arc shape

Anshan Bridge located at Zhenhe Village of Xiawang Town in Shengzhou City, with  $l = 12.50$  m, is an arch bridge in circular arc shape, pointed out definitely in Literature [2]. This bridge was constructed



Figure 13a  
Ji-an Bridge.  
Full view



Figure 13b  
Ji-an Bridge.  
Bridge floor

in the years (1621-1627) of Tianqi, Ming Dynasty, the arch ring was built with dry rubble. Longting Bridge located at Donglin Village of Beizhang Town in Shengzhou City, with  $l = 6.00$  m,  $f$  being smaller (ungiven), is a circular arc arch bridge, defined clearly in Lit. [2], at 2 ends, there are 2 big stones as abutments, 2 points on which the arch intersects are not on the same level, but have a difference of  $0.80$  m, it is sole in Shaoxing arch bridges. This bridge was constructed in the 8<sup>th</sup> year (1828) of Daoguang, Qing Dynasty. Ruyi Bridge located at Dinggongqiao Village of Boma Town in Xinchang County, with  $l = 15.00$  m,  $f = 6.50$  m, was constructed before the yearas (1465-1487) of Chenghua, Ming Dynasty and reconstructed in the 25<sup>th</sup> year (1845) of Daoguang, Qing Dynasty, the arch ring was built with dry unregular stone block. Huangdu Bridge located at Hengduqiao Village of Ru-ao Town in Xinchang County, with  $l = 16.00$  m,  $f = 7.70$  m, was reconstructed in the 24<sup>th</sup> year (1844) of Daoguang, Qing Dynasty, because the Emperor Gaozong (he reigned in the years 1227-1262) of Song Dynasty had crossed here over the river, so this bridge is called Huang (the Emperor) du (crossed over the river). is a preservation unit of cultural relics of Xinchang County. Ji-an Bridge (figure 13a) located at Jiuwu Village of Xiaojiang Town in Xinchang County, with  $l = 20.50$  m,  $f = 9.60$  m, clear width =  $6.70$  m, height of bridge =  $10.80$  m, was reconstructed in the 15<sup>th</sup> year (1889) of Guangxu, Qing Dynasty, the arch ring was built by the masonry method of longitudinal joints with small stone block. Its span length, the width and the height are all the most of arch bridges in Shaoxing Region, and the bridge was paved into fine pattern with cobble (figure 13b). Shuban Bridge located at Leishan Village of Qingshan Town in Zhuji City, with



Figure 14  
Jingkou Bridge



Figure 15  
Yingxian Bridge

No. of section springing	Springing 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	crown 12
Coordinates of arch axis	1.0000	0.7758	0.5951	0.4507	0.3349	0.2428	0.1700	0.1133	0.0701	0.0384	0.0163	0.0041	0.0000

Table I



$l = 6.20$  m,  $f = 2.80$  m, was constructed in Qing Dynasty, the arch ring was built by piling and layout with cobble. Huangxi Bridge located at the juncture of Xikeng Village and Huangkeng Village of Zhaojia Town in Zhuji City, with  $l = 11.00$  m,  $f = 4.35$  m, was constructed in Qing Dynasty, the arch ring was built with mixed regular stone block and rubble. Hui-long Bridge located at Jinxi Village of Jinting Town in Shengzhou City, with  $l = 9.80$  m,  $f = 3.40$  m, was constructed before the 10<sup>th</sup> year (1474) of Xianzong, Ming Dynasty and repaired in the years (1912-1949) of the Republic of China, the arch ring was built by the masonry method of longitudinal and parallel joints with separate courses. Wangyue Bridge located at Nianzhai Village of Jinting Town in Shengzhou City, with  $l = 8.50$  m,  $f = 3.90$  m, was constructed in the years (1736-1795) of Qianlong, Qing Dynasty, the arch ring was built with dry rubble, and ring slabs (two side face slabs of arch) built with strip stone is neat.

### Arch bridges in horse-shoe shape

In the bridges with approximately semicircular shape introduced in Section "Semicircular arches bridges", there are many with horse-shoe shape i.e.,  $l < 2f$  (of course, a few may be in egg shape). In Lit. [2], there are 21 bridges defined to have

horse-shoe shape. Huapu Bridge located at Doumen Village of Doumen Town in Shaoxing City, with  $l = 7.00$  m,  $f = 4.00$  m. On the bridge stele, it was recorded that this bridge was reconstructed in the 24<sup>th</sup> year (1759) of Qianlong, Qing Dynasty and repaired in the 20<sup>th</sup> year (1931) of the Republic of China, the arch ring was built by the masonry method of longitudinal and parallel joints with separate courses. Jingkou Bridge (figure 14) located at Jingkoucun of Taoyan Town in Shaoxing County, is a rare 3-span continuous stone arch bridge with  $l = 5.85$  m,  $6.70$  m and  $6.60$  m,  $f = 4.35$  m, in the north span (the right one) there is a towpath. It is also a combination of arch and beam bridges, and was constructed in the 3<sup>rd</sup> year (1911) of Xuantong, Qing Dynasty, the arch ring was built by the masonry method of longitudinal and parallel joints with separate courses. This bridge reflects that the stone bridges in the south of the lower reaches of Yangtze River appear the fine posture of slim, graceful and vigorous manners, and the stone carvings are exquisite and full of romantic charm, can be commended as the refined arts of the antique bridges in Shaoxing. This bridge is a preservation unit of cultural relics of Shaoxing County.

### Arch bridges in ellipse shape

The ellipse arch bridge is rare. In the 4<sup>th</sup> Section « Conclusion », the 1<sup>st</sup> author has discovered 4 bridges which may be catenary arch bridges or ellipse ones.

Shimenkeng Bridge located at Shimenkeng Village of Dongming Town in Xinchang County, with  $l = 9.00$  m,  $f = 3.25$  m, is only marked as « single-span stone arch bridge », the axis curve of that might be ellipse. It was constructed in the 29<sup>th</sup> year (1903) of Guangxu, Qing Dynasty. Behind this bridge, there are peaks rising one higher than another, and standing like walls with height of ten-thousand meters to make the mountain features to be very precipitous, all to set off the small and exquisite, succienet and clear graceful modelling of this bridge.

### Arch bridges in catenary shape

The 1<sup>st</sup> author has discovered in Zhejiang Province, there are 6 antique stone arch bridges with catenary axis curves, among which 2 are located in Shaoxing Region : Yingxian Bridge (figure 15) at Taoshuwu Village of Bomao Town in Xinchang County, with  $l = 14.70$  m,  $f = 7.10$  m. In the Annals of Shaoxing County, edited in the years of Chenghua (1465-1487), Ming Dynasty, this bridge had been recorded and was reconstructed in the 24<sup>th</sup> year (1844) of Daoguang, Qing Dynasty ; and Yucheng Bridge located at Futou Village of Gulai Town in Shengzhou City, with  $l = 12.00$  m,  $f = 4.80$  m, was constructed in the 16<sup>th</sup> year (1836) of Daoguang,



Qing Dynasty. For Yingxian Bridge, in the following table, there are shown the measured coordinates of arch axis, which approach to those calculated with a constant 6.530 of catenary curve by using electron brain. The measured coordinates of the arch axis of Yucheng Bridge are neglected here, which approach also to those calculated with a constant 9.889 of catenary curve. These results were obtained by the 1<sup>st</sup> author.

Besides, in Zhejiang Province, the 1<sup>st</sup> author discovered 4 other bridges being possible to have arch axes of catenary or ellipse according to primary estimation, they are two, Fenggan Bridge and Guanyin Bridge in Tiantai Region; Guohe Bridge in the Scenic Spot of Yandang Mountain, and the other one with temporarily unknown bridge name near the National Highway 104 in Leqing County. The arch axes of these 4 bridges will be measured recently in plan. It can be seen that using catenary curve in Chinese antique stone arch bridges is earlier (table I).

### Arch bridges standing side by side

Fude Bridge located at Renwu Village of Beizhang Town in Shengzhou City consists of 5 bridges in circular arc shape with the same span,  $l = 5.70$  m,  $f = 2.50$  m, standing side by side, except that only the width of a bridge floor is 4.30 m, the other are all 3.70 m, the entire bridge floor is neat as an integral whole. This bridge was constructed in the 1<sup>st</sup> year (1851) of Xianfeng, Qing dynasty and built with regular stone block.

Yongfu Bridge located at east Village of Xiaojiang Town in Xinchang County, with  $l = 6.80$  m, Height of arch (not arch rise) = 5.80 m, was reconstructed in the 54<sup>th</sup> year (1789) of Qianlong, Qing Dynasty and the arch ring was built with rubble, behind this one, there are 2 stone arch bridges in closed distance, as looking to from bridge opening a wonderful scene of that there is bridge in bridge and the openings are linked up into a string of wonderful scenery will appear.

### New arch bridge built to press the old

Paishan Bridge located at Xikou Village of Qiaoying Town in Xinchang County, with  $l = 12.7$  m,  $f = 5.70$  m, the old one has been constructed in the years (1875-1908) of Guangxu, Qing Dynasty, the arch ring was built by piling and layout with rubble (figure 16). Later on, because of the constructing highway, a new arch bridge with the same  $l$  and  $f$  was built to press the old one, the new bridge is 4.00 m wide and was built with regular stone block. The connection of new and old bridges is obvious. Wangqing Bridge is located at Juxi Village of Dongming Town in Xinchang County, with  $l = 8.30$  m,  $f = 4.70$  m, was constructed by the masonry method of longitudinal joints with regular stone block in the 7<sup>th</sup> year (1881)



Figure 16  
New and old arches  
of Paishan Bridge

of Guangxu, Qing Dynasty. Afterwards, a new stone arch bridge with the same height and span was connected to the side of old one, the joint can be seen obviously.

### Bazi bridge constituted of 2 arch bridges

Tongji Bridge ( $l = 6.80$  m,  $f = 3.20$  m) located at Fenghui Town of Shangyu City is adjacent to Wangjia Bridge ( $l = 4.00$  m) defined in Lit [2] to be an arch bridge in circular arc shape. The plan layout of these 2 arch bridges constituted « small bazi bridge ». The former was constructed in the years (1821-1850) of Daoguang, Qing Dynasty and repaired in 1971 and changed the name as Lixin Bridge.

### Arch bridge of irrigation ditch

Yongfu Bridge (figure 17) located at Sanxi Village of Shihuang Town in Shengzhou City, with  $l = 14.30$  m,  $f = 7.60$  m, crosses over Sanxi River, on the floor of which an irrigation ditch has been constructed. The construction date of this bridge is unknown, and it may be the earlier aqueduct in China.

### Stone arch bridges in folded shapes

In the antique stone arch bridges in Shaoxing Region, there are 3-fold, 5-fold and 7-fold arch bridges.

#### (1) 3-fold arch bridges

The arch bridges in this type are the most and the spans are smaller, in Lit. [2] there are listed 27<sup>2</sup> 3-fold arch bridges.

2. Xiyuan Bridge is the longest 3-fold arch and located at Jinjia Village of Datang Town in Zhujiaji City, there are 15 spans crossing over Wuxie River with total length of 144.80 m, the height of arch are all 3.70 m and the span lengths 8.00 m with slab thickness of 0.30 m. It was constructed in the 12<sup>th</sup> year (1923) of the Republic of China. The scale of this bridge is magnificent and its momentum is outstanding.



Figure 17  
Yongfu Bridge

Figure 18a  
Meixi 3-Fold Arch Bridge.  
Full view



Figure 18b  
Meixi 3-Fold Arch Bridge.  
Arch beam

▶ Meixi Bridge (figure 18a) located at Meixi Village of Paitou Town in Zhuji City is a 3-fold stone arch bridge with 2 spans, the total bridge length = 14.40 m,  $f = 3.00$  m, and was constructed in Qing Dynasty, and the bridge arch was constituted of 5 beams and 5 braces (figure 18b), the pier and abutments were built with stone block, and the pier end toward flow was constructed into wedge-shape for water diversion. Yanshan Bridge located at Wangjiazhai Village of Donghe Town in Zhuji City is a 3-fold stone arch bridge with 3 spans, the bridge floor length = 16.65 m,  $f = 3.00$  m and span lengths are 4.70 m, 5.30 m and 4.50 m. The first construction date of bridge is unknown and reconstructed in the 3<sup>rd</sup> year (1798) of Jiaqing, Qing Dynasty, the arch was built with strip stone in the construction of 5 beams and 5 braces.

#### (2) 5-fold arch bridges

Baiwang Bridge located at the south side of Luxun West Road in Shaoxing City is a 5-fold stone arch bridge with single span, the total length is 26.30 m, span length  $l = 5.70$  m,  $f = 3.25$  m was constructed in Song Dynasty and the arch ring was built by the masonry method of longitudinal and parallel joints with separate courses (figure 19). This bridge is a preservation unit of cultural relics of Shaoxing Region. Zhiwang Bridge located at Ejing Village of Fushan Street in Shaoxing City is a 5-fold stone arch bridge with single span,  $l = 3.30$  m,  $f = 1.45$  m, the date of first construction was unknown and reconstructed in the 2<sup>nd</sup> year (1852) of Qianfeng, Qing Dynasty, the folded arch was built by the method of longitudinal and parallel joints with separate courses. This bridge is also a preservation unit of cultural relics of Shaoxing Region. Waishan Bridge located at Feng'er Village of Keyan Street in Shaoxing County is a 5-fold stone arch bridge, at the north and south arch ends there are 15 and 16 stone steps respectively with the lengths of 6.35 m and 6.55 m and was reconstructed in Qing Dynasty, the folded arch is 1.75 m high, built by the method of longitudinal and parallel joints with separate courses.

#### (3) 7-fold arch bridges

Guangning Bridge (figure 20) located at the east end of Guangning Bridge Straight Street and in the north of famous Bazi Bridge (see figure 1) in Shaoxing City is a 7-fold stone arch bridge with single span in northsouth direction, there are constructed respectively 20 and 16 stone steps at the north and

south end of arch with lengths of 26.30 m and 25.30 m,  $l = 6.25$  m,  $f = 4.20$  m. This bridge was firstly constructed before the years of Jiatai, Song Dynasty, and repaired respectively in the 2<sup>nd</sup> year (1574) of Wanli, Ming Dynasty and in the 3<sup>rd</sup> year (1664) of Kangxi, Qing Dynasty, is a preservation of cultural relics of Zhejiang Province. Below the arch of this bridge, there are towpaths for towing and also for walking, so it may be the embryonic form of overpass in China, also in the world. Baozhu Bridge located at the intersection of Hongqi Road and Guangming Road in Shaoxing City is a 7-fold stone arch bridge with single span in westeast direction, the total length is 33.75 m, in the west and east directions there were set respectively 25 and 23 stone steps with lengths of 14.00 m and 12.4 m, folded arch height is 6.50 m, span 7.90 m, below this bridge there are also towpaths. This bridge was constructed before the years of Jiatai, Song Dynasty and repaired in the years of Jiajing, Ming Dynasty, now it is the existing highest 7-fold stone arch bridge and the important preservation unit of cultural relics of Shaoxing Region. Ying-en Bridge located at the west city walls of Shaoxing City, crossing Nandajiang (river) is a 7-fold stone arch bridge with single span in northsouth direction, the total length is 19.00 m, at the north and south end of arch, there were set respectively 18 and 11 stone steps with lengths of 8.90 m and 5.55 m, span length of bridge is 9.30 m and arch height 3.77 m, the folded slab was built by the method of longitudinal and parallel joints with separate courses. This bridge is the existing longest 7-fold ancient stone arch bridge constructed in the 7<sup>th</sup> year (1626) of Tianqi, Ming Dynasty, is a preservation point<sup>3</sup> of cultural relics of Shaoxing Region. Xiegong Bridge located at the west end of Xinhenong in Shaoxing City is a 7-fold stone arch bridge with single span in westeast direction, the total length is 30.60 m, at the west and east end of arch, there were set respectively 20 and 21 stone steps with lengths of 11.50 m and 15.25 m, the span length of bridge is 7.40 m, arch height 3.70 m, was constructed in the years (936-946) of later Jin Dynasty, the arch ring was built by the method of longitudinal and parallel joints with separate courses. This bridge is a preservation point of cultural relics of Shaoxing Region.

It can be seen that as early before 1000 years, it is known in China to use folded curve to replace circular one for simplifying the construction of arch bridge.

### Construction of arch bridges

There are many construction methods of the antique stone arch bridges in China, as shown in fi-

3. The preservation unit is published formally by central government; the preservation point is stipulated by local government.

Figure 21. When the regular stone blocks are adopted the methods in (1), (3), (4) and (5) in figure 21 will be used usually. So called « masonry » means to bond the stone blocks with mortar. Before the production of cement in 1876 in China [4], lime mortar was always used, in a few cases, clay mortar was used. When unregular stone block or rubble stone are adopted, dry masonry or dry rubble is often built. So-called « piling and layout » means also dry masonry.

## CONCLUSION

The existing antique bridges in Shaoxing Region, Zhejiang Province, China, are the most, almost they are stone bridges, there are also some quantity of timber bridges and floating bridges. In this article they are roughly divided into 2 categories, i.e., stone beam bridges and stone arch bridges. Because the modelling, construction and layout are very various, they are further divided into many terms, these divisions may not be exact. At the same time, the type of stone arch bridges is difficult to be determined exactly, so in Lit. [2], they are always simple written into « semicircular stone arch bridges », or more briefly into « stone arch bridges », among which there are actually included arch bridges in circular-arc shape ( $l > 2f$ ) or in horse-shoe shape ( $l < 2f$ ). As in Section "Arch bridges in horse-shoe shape", 21 arch bridges defined to have horse-shoe shape are all concentrated in Shaoxing City and Shaoxing County, but none has been marked as this special shape in the other cities and counties, it can be explained that the investigation, measurement and study are conducted there more deeply, for the other areas, there is temporarily not enough time to do the detailed tasks. For the former case ( $l > 2f$ ), the 1<sup>st</sup> author has still discovered that in the other regions of Zhejiang Province the axis curves of which may be catenary or ellipse (see Sec. "Arch bridges in catenary shape"). For the latter case ( $l < 2f$ ), as if the span at springing is smaller than that at the above section, it will be an arch bridge with horse-shoe shape, if the condition is not so, it will be one with egg shape, or all called high arch. To solve the problem mentioned above, a lot of further careful measure and study tasks should be carried out to determine finally. There are also a lot of antique bridges in foreign countries, for an example, the stone arch bridge at Syratat-Plauen completed in 1904 in Germany,  $l = 90.00$  m, it had been the worldwide record of stone arch bridges before the Changhong Stone Arch Bridge with  $l = 112.50$  m has been completed 1961 in Yunan Province, China. The longitudinal section cited in Lit. [4] was mailed by Deutsche friend Dr. – Ing. Klaus Stiglat (he was the Editor-in-Chief of « Beton- und Stahlbetonbau » in 1975-1997, since 1998, this journal has been turned over to



Figure 19  
Arch ring  
of Baiwang Bridge



Figure 20  
Guangning Bridge

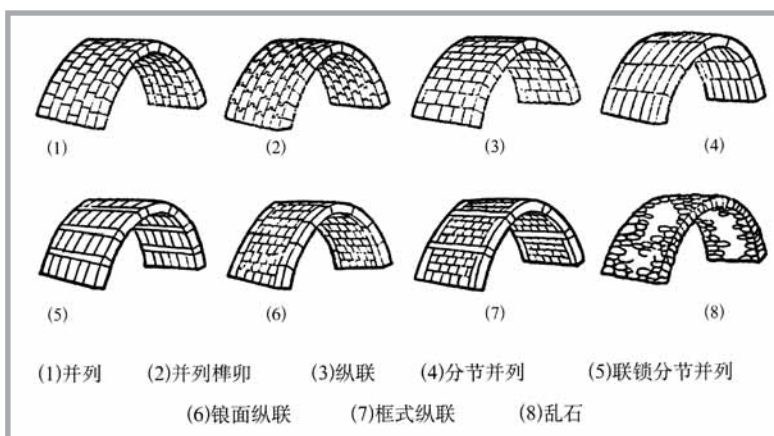


Figure 21  
Construction methods  
of stone arch bridges

Austria for edit.) for finding out the « Bauzeitung » (« Construction newspaper ») in July of 1904 to copy, the authors wish express their heartfelt gratitude to him. In Lit. [6] the bridges on road in Germany and France in early time from the year 1850 are introduced, including those of timber, stone, iron and concrete bridges. The scales of some among which are large, such as French Agen Bridge (stone arch) completed on Garonne River in 1845, there are 23 openings, every with (clear) width of 20 m, the length between 2 abutments is 539 m. Because the exchanges in this field with international friends are not many, though in Lits. [7] [8], there are introduced a few of antique bridges in China, yet the most were constructed in the northwest of China and are more timber structures and stone structures are rare. The stone bridges in Shaoxing Region are so many and so concentrated that it is very convenient to visit and investigate. Wish to exchange with them, the criticism to this article is opened. In this article, only the general construction of antique stone bridges in Shaoxing Region is simply

and comprehensively reported, but the bridge culture of the rich and consummate art of stone carving on these bridges, bridge couplets and bridge steles, etc. are not related. It will be introduced in the further exchange.

## ■ REFERENCE

- [1]. Qian Maozhu, Luo Guanzhou (Editors-in-Chief). Shaoxing Culture of Bridges. Shanghai Communications University Press, Shanghai. 1997, 211 pp.
- [2]. Tu Jianhong (Editor-in-Chief). Antique Bridges in Shaoxing. China Art College Press, Hangzhou. 2001, 270 pp (Vol. I), 270 pp (Vol. II).
- [3]. Luo Guanzhou (Editor-in-Chief). History of Communications in Shaoxing Region. International Culture Publication Company. 1996, 330 pp.
- [4]. Ding Dajun, Jiang Yongsheng. Introduction to Civil Engineering. China Architecture & Building Press. Beijing. 2003, 410 pp.
- [5]. Ding Dajun (Editor-in-Chief), Huang Xingdi, Cheng Wenrang. Reinforced Concrete Structures. Shanghai Science and Technology Press, Shanghai. 1985, 533 pp.
- [6]. Klaus Stiglat. Brucken am Weg, Fruke Brucken aus Eisen und Beton in Deutschland und Frankreich. Ernst & Sohn, Berlin. 1997, 179 pp.
- [7]. Ding Dajun. Ancient and Modern Chinese Bridges. Structural Engineering International, Journal of IABSE, vol.4, No.1, 1994, pp. 41-43.
- [8]. Ding Dajun. Antike und moderne chinesische Brucken – Eine kurze Übersicht (in German) (Antique and Modern Chinese Bridges, Simple Introduction). Beton und Stahlbetonbau, 88, Heft.11, 1993, pp. 289-296.

## RÉSUMÉ

Ponts anciens en pierre de la région Shaoxing de la province de Zhejiang en Chine

*L. Guangzhou, T. Jianghong, D. Dajun*

**L'article introduit de façon synthétique plus de 500 ponts anciens en pierre réalisés dans la région de Shaoxing avant la dynastie Qing (avant 1644). Du point de vue structural, ils sont classés en deux catégories : les ponts poutres et les ponts en arc. Au début, il s'agissait de ponts poutres appuyés sur des poteaux, des piles et en encorbellement, des ponts poutres spéciaux ainsi que des ponts combinés. Plus tard, ce sont des ponts en arc de tous types comprenant des ponts en arc semi-circulaire, en fer à cheval, funiculaire ou surbaissé.**

**Mots clés :** pont poutre en pierre, pont poutre en pierre en encorbellement, pont en pierre en arc, pont en arc surbaissé, pont en arc funiculaire, aqueducs, ponceaux.

## RESUMEN ESPAÑOL

Antiguos puentes de piedra de la región Shaoxing en la provincia de Zhejiang en China

*L. Guangzhou, T. Jianghong y D. Dajun*

**El presente artículo introduce de forma sintética más de 500 antiguos puentes de piedra realizados en la región de Shaoxing antes de la dinastía Qing (antes de 1644). Desde el punto de vista estructural, estos puentes se han clasificado según dos categorías : los puentes de vigas y los puentes en arco. En su origen, se trataba de puentes de vigas que toman apoyo sobre pilotes, pilas y en voladizo, de puentes de vigas especiales así como puentes combinados. Más adelante, se trata de puentes en arco de distintos tipos incluyendo los puentes en arco semicircular, en herradura, funicular o rebajado.**

**Palabras clave :** puente viga de piedra, puente viga de piedra en voladizo, puente en arco de piedra, puente en arco rebajado, puente en arco funicular, acueductos, atarjeas.