

# LE PONT SUR LA MAINE À ANGERS

## BRIDGE OVER THE MAINE IN ANGERS

Nabil YAZBECK, Gilles FRANTZ, Frédéric MENUÉL, Jean-Marc TANIS

EGIS JMI

Thomas LAVIGNE, Christophe CHERON

Architecture et Ouvrages d'Art

Maurice NADON

Atelier AVENA

### 1. CONTEXTE GÉNÉRAL DE L'OPÉRATION

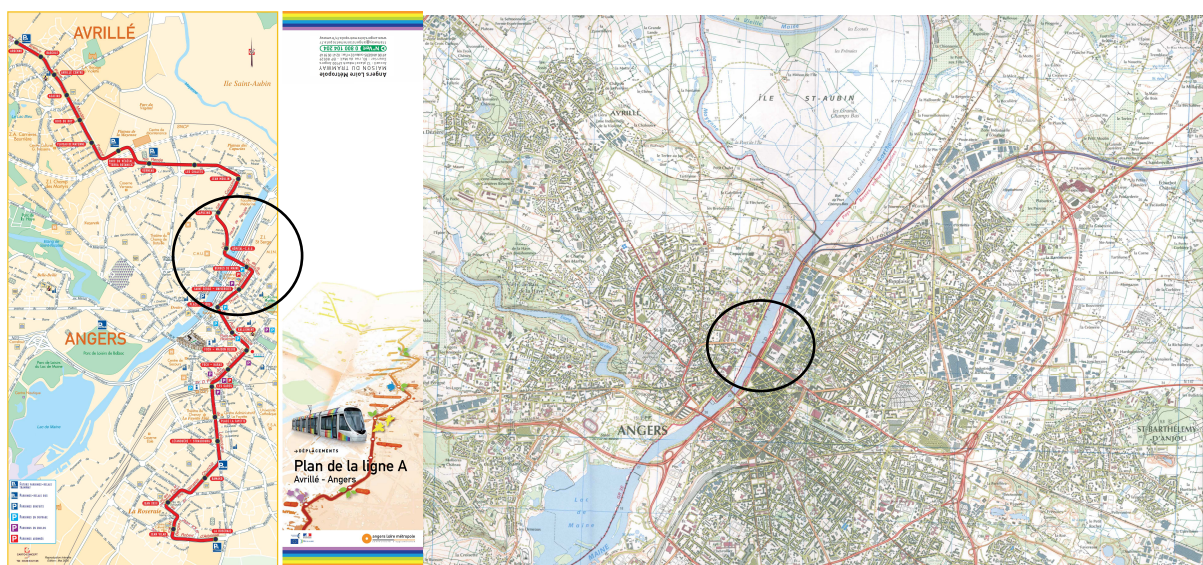
Fondé sur des enjeux forts de développement durable et solidaire, le Plan de Déplacements Urbains angevin, approuvé par le Conseil de la Communauté en avril 2003, annonçait la nécessité de créer un réseau de transports collectifs en site propre, structurant le développement du territoire communautaire.

Sur la base des études de faisabilité lancées en 2000, le Conseil d'Angers Agglomération et le syndicat des transports angevins ont approuvé à l'unanimité en 2003 le tracé de la première ligne de tramway et le lancement de sa réalisation, ainsi que la mise à l'étude de la seconde ligne.

### 1. BACKGROUND

*The Angers urban transport plan, approved by the municipal council in April 2003, and based on the key issue of inclusive sustainable development, announced the need to create a dedicated public transport network to structure local development.*

*Based on feasibility studies launched in 2000, the Angers municipality and the Angers transport authority unanimously approved the route and construction kick-off for the first tram line and initiated the preliminary studies for the second line in 2003.*



Plan de situation et tracé de la ligne A / Line A location and route

L'unique ouvrage d'art non courant de la ligne occupant une position privilégiée dans le projet de développement et de restructuration du centre ville d'Angers, le maître d'ouvrage a souhaité que sa conception fasse l'objet d'une recherche architecturale poussée, associée à un respect de l'environnement et du site.

La communauté d'agglomération Angers Loire Métropole (ALM) et le groupement TSP, mandataire du maître d'ouvrage, ont retenu en août 2006, à l'issue d'un concours de maîtrise d'œuvre particulière, le projet présenté par le groupement associant Egis JMI (mandataire), le cabinet d'architecture AOA (Lavigne-Chéron), le paysagiste Avena, et le cabinet Ece Environnement.

Constituant le huitième pont angevin, ce nouveau franchissement, à forte vocation urbaine, s'inscrit au cœur de la première ligne de tramway ; il relie les deux rives de la Maine à l'amont du pont de la Haute Chaîne, en franchissant la rivière et les voies sur berge. En rive droite, le site est marqué par la présence de la Chapelle de l'Hôpital et de la Tour des Anglais, toutes deux inscrites à l'inventaire des monuments historiques. En rive gauche, la tête de pont est située à l'articulation du nouveau quartier Saint Serge, entre la partie aujourd'hui réalisée (faculté de droit, cinéma multiplexe Gaumont, immeubles de bureaux), et la ZAC au nord-est, territoire en mutation dont la restructuration urbaine est inscrite au PLU. Le contournement nord de l'A11, prévu d'être achevé en 2012, permettra de désengorger les voies sur berges (la RD 323, ex-RN 23), et d'engager leur requalification progressive d'une autoroute urbaine en un boulevard de desserte du nouveau quartier.

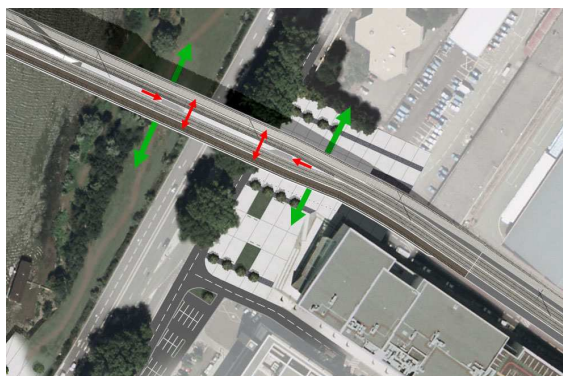
L'ouvrage occupe donc une position centrale, qui en fait un signal symbolique de ce nouveau quartier. L'équipe de concepteurs a saisi l'opportunité représentée par le projet pour proposer en rive gauche la création d'un nouvel espace public, par le réaménagement du parvis Gaumont et du quai Félix Faure, contribuant au renouvellement urbain et permettant de renouer le contact entre la ville et sa rivière, séparées par les voies sur berges. Le projet proposé intègre également en rive gauche un réaménagement des berges de la Maine, riches sur les plans floristique et écologique.

*Since the only non-typical bridge occupies an important position in the Angers city centre development and restructuring project, the client wanted the aesthetics to be the result of an architectural reflection that would respect both the environment and the location of the bridge.*

*In August 2006, the Angers Loire Metropolitan (ALM) conurbation committee and TSP, the client's representative, selected a consortium consisting of Egis JMI (representative), architectural firm AOA (Lavigne-Chéron), landscape architect Avena and consultants Ece Environnement, as the winner of a project design competition.*

*The new bridge, the eighth in Angers, has a strong urban vocation and is located right in the middle of the city's first tram line, linking the two banks of the Maine River upstream of Haute Chaîne Bridge, crossing both the river and the embankment expressway. Two historical landmarks stand on the west bank – Chapelle de l'Hôpital and Tour des Anglais. The east end of the bridge is located in the new neighbourhood of Saint Serge, between the part that is now completed (law faculty, Gaumont multiplex cinema, office buildings) and the urban development zone to the north-east, a fast-evolving area whose urban restructuring is part of the local urban development plan. The northern A11 bypass, to be completed in 2012, will relieve traffic congestion on the embankment expressway (RD 323, ex-RN 23), gradually upgrading it from an urban motorway to a boulevard providing access to the new neighbourhood.*

*The bridge occupies a central location, giving it a symbolic value in this new development area. The design team seized the opportunity represented by the project to propose the creation of a new recreational area on the east bank by redeveloping the area around the Gaumont Multiplex Cinema and Quai Félix Faure embankment, contributing to urban renewal and re-establishing contact between the city and its river, from which it is separated by the embankment expressway. The project proposed also includes redevelopment of the east banks of the Maine, which are rich from both a botanical and environmental viewpoint.*



Aménagement du quai Félix Faure / Redevelopment of Quai Félix Faure



Plan masse des travaux / Site plan of works



Photomontage : Depuis l'aval en rive droite / Photomontage: View from the west bank looking upstream



Photomontage : Vue aérienne amont / Photomontage:Aerial view of the bridge

Les missions confiées au groupement de concepteurs comprenaient la maîtrise d'œuvre complète de la réalisation de l'ouvrage de franchissement et de sa rampe d'accès en rive gauche, de l'abaissement de la voie sur berge au droit du pont, et de l'aménagement du quai Félix Faure, ainsi qu'une mission de maîtrise d'œuvre limitée aux seules études préliminaires pour ce qui concerne le réaménagement des berges de la Maine. Ces missions sont menées en partenariat avec les équipes pluridisciplinaires d'Egis Eau, Egis Aménagement, et des cabinets JPL Conseil et Boplan.

Le marché de travaux principal (OA), organisé en deux lots techniques (génie civil et équipements, charpente métallique) a été attribué en février 2008 au groupement d'entreprises ETPO / Baudin-Chateauneuf. Les travaux d'abaissement de la RD 323 et d'aménagement du quai Félix Faure font l'objet de deux marchés spécifiques. Les premiers ont été réalisés par le groupement d'entreprises SACER / SCREG, en deux interventions de 15 jours chacune durant les vacances scolaires de février et d'avril 2009, pour limiter au maximum la gêne à la circulation. Les seconds sont programmés pour le mois de mai 2010.

*The design consortium was assigned the tasks of complete project management of the bridge and its approach ramp on the east bank, lowering of the embankment expressway at the bridge and redevelopment of Quai Felix Faure, and the preliminary design of redevelopment of the Maine River banks. These tasks were conducted in partnership with multidisciplinary teams from Egis Eau and Egis Aménagement, and consultants JPL Conseil and Boplan.*

*The main works contract for the bridge, divided into two technical lots (civil engineering and equipment and structural steelwork) was awarded in February 2008 to the ETPO/Baudin-Chateauneuf joint venture. The lowering of road RD 323 and redevelopment of Quai Felix Faure are the subject of two separate contracts. The first was carried out by the SACER/SCREG joint venture, in two 15-day periods during the February and April 2009 mid-term school holidays, in order to disrupt traffic as little as possible. The second is scheduled for May 2010.*

## 2. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

La Maine, rivière longue d'une douzaine de kilomètres, prend naissance à l'amont d'Angers, à la confluence de la Mayenne, de la Sarthe et du Loir, et se rejette dans la Loire. Son niveau dans la traversée d'Angers est fortement lié à celui de ses affluents et, par reflux, à celui de la Loire. Le choix d'un ouvrage en arc sans appui dans le lit mineur a permis de minimiser l'impact hydraulique. Le projet veille principalement à limiter son emprise sur les rives et à préserver le libre écoulement de la Maine, dont le débit présente des fluctuations saisonnières bien marquées.

L'ouvrage, de la famille des ponts en arc à tablier intermédiaire, présente une longueur totale de 293 m entre axes d'appuis des culées (C0-C7), se décomposant en une travée principale de 161 m et des travées d'accès de 32, 40, 35 et 25 m. Il est prolongé en rive gauche par une rampe d'accès de 90 m, à l'extrémité de laquelle sera implantée la station de tramway « Berges de Maine ».

### 2.1. Caractéristiques géométriques et fonctionnelles du projet

Le profil en travers fonctionnel sur ouvrage est composé de l'amont vers l'aval, d'une piste de 3,00m réservée aux cycles, de deux voies dédiées au transport en commun en site propre de 3,50 m chacune, séparées par un terre-plein central, et d'un espace piétons de 3,00 m. Des bordures de largeur 0,50 m séparent les circulations douces de la plate-forme TCSP. Dans la travée suspendue, l'arc, les suspentes et leurs organes d'ancrage sont protégés du choc accidentel des véhicules par des barrières de sécurité.

En prévision de futures évolutions dans le schéma de transports en commun angevin, la plate-forme TCSP est polyvalente. La structure du pont est dimensionnée pour accueillir indifféremment des tramways, des bus sur pneus ou des circulations routières traditionnelles sur les deux voies de la plate-forme centrale.

Le tracé en plan retenu permet d'inscrire l'infrastructure dans le périmètre d'intervention fixé par la DUP. Il se compose, de la rive droite vers la rive gauche, d'une portion droite entre C0 et P5, dans l'axe de la Chapelle de l'Hôpital, d'un arc de cercle de rayon 300 m entre P5 et C7, et d'un nouvel alignement droit sur la rampe d'accès, parallèle à l'avenue de la Constitution.

La définition du profil en long sur ouvrage résulte de la prise en compte des différentes contraintes géométriques et fonctionnelles (niveaux des entrées en terre, franchissement de la RD 323 et de la passe navigable, pentes et rayon de courbure limites sur ouvrage compatibles avec les critères d'accessibilité des différents usagers).

Ce profil se compose aux extrémités de deux parties linéaires de pente 4 %, raccordées par un rayon de 2000 m dont le point haut se situe sensiblement au droit de la RD 323. Sous la travée P4-P5, un abaissement de 0,50 m de la RD 323 permet de dégager le gabarit de 5 m imposé par l'exploitant.

## 2. DESCRIPTION OF BRIDGE

*The source of the Maine River, which is about 12 kilometres long and flows into the Loire River, is located upstream of Angers at the confluence of the Mayenne, Sarthe and Loir Rivers. The water level of the river as it goes through Angers is strongly linked to that of its tributaries and, because of the ebb tide, to that of the Loire. The choice of an arch bridge without piles in the low-flow channel minimises the hydraulic impact. The project is mainly designed to occupy a minimum amount of space on the river banks and ensure free flow of the Maine River which has high seasonal fluctuations.*

*It is a through arch bridge with a total length of 293 m between abutment axes (C0-C7), comprising a 161-metre main span and 32, 40, 35 and 25 m approach spans. It is extended on the east bank by a 90 m approach ramp, at the end of which the future "Berges de la Maine" tram station will be located.*

### 2.1. Geometrical and functional characteristics of project

*The functional cross-section of the bridge in the downstream direction consists of a 3.00 m wide cycle lane, two 3.50 m wide dedicated public transport lanes, separated by a median strip and a 3.00 m pedestrian lane. Two 0.50 m wide concrete barriers separate the green traffic from the public transport lanes. In the suspended span, the arch, hangers and anchors are protected from accidental impact from vehicles by safety barriers.*

*To allow for future development of the Angers public transport network, the public transport platform is multi-purpose. The bridge structure is dimensioned to accommodate trams, buses on tyres and traditional road traffic indifferently in the two lanes on the central platform.*

*Alignment in the horizontal plane means that the declaration of public utility is respected. From west to east, the bridge consists of a straight section between C0 and P5, in line with Chapelle de l'Hôpital, an curved section with a radius of 300 m between P5 and C7 and a straight section on the approach ramp, parallel to Avenue de la Constitution.*

*The longitudinal section of the bridge was defined according to the different geometrical and functional constraints (finished abutment levels, crossing of RD 323 road and navigable channel, maximum slopes and radius of curvature compatible with the accessibility criteria of the different users). There is a linear section at each end with a slope of 4%, connected by a radius of 2000 m whose highest point is roughly above road RD 323. Under span P4-P5, a 0.50 m reduction in the level of road RD 323 provides the 5 m clearance required by the operator.*

La continuité des circulations piétonnes depuis l'ouvrage vers les berges et le parvis Gaumont en rive gauche est assurée dès la phase actuelle d'exploitation de la RD 323, par la mise en œuvre d'escaliers sur P4 et P5.

## 2.2. L'arc et le tablier

La travée principale au-dessus de la Maine est suspendue à un arc métallique axial par l'intermédiaire de paires de suspentes rayonnantes, espacées de 5 m à leur jonction avec le tablier. Structurellement, l'arc et le tablier présentent la particularité d'être totalement désolidarisés au niveau de leur intersection géométrique, l'arc traversant le tablier par des trémies. Le tablier et la partie centrale de l'arc au-dessus de la chaussée sont métalliques ; les naissances d'arc sont des béquilles en béton.

Centré sur la Maine, l'arc présente une ouverture en pied de 149 m pour une flèche de 26 m. A son point haut, il se situe à 12,30 m au-dessus de la chaussée. Du fait de la dissymétrie du profil en long dans la travée suspendue, son axe de symétrie est légèrement incliné par rapport à la verticale. La partie métallique, se développant sur un cercle de 98 m de rayon, est un caisson trapézoïdal de section constante 1400/800 x 1220 (h) mm, constitué de tôles d'épaisseurs variant de 30 à 80 mm. Les béquilles sont également de section trapézoïdale. Leur largeur en extrados, constante, vaut 1,70 m. Leur hauteur, variable linéairement, est de 1,60 m aux points de jonction avec l'arc métallique.

Le tablier est un caisson métallique à dalle orthotrope de hauteur constante, composé de quatre cellules. Sa largeur hors tout est de 18,10 m, pour une hauteur à l'axe de 1,43 m. Quatre trémies axiales de 2 m de largeur sont aménagées au droit des deux traversées d'arc, et sur les piles P4 et P5 pour les escaliers d'accès. Le platelage supérieur présente un profil en toit.

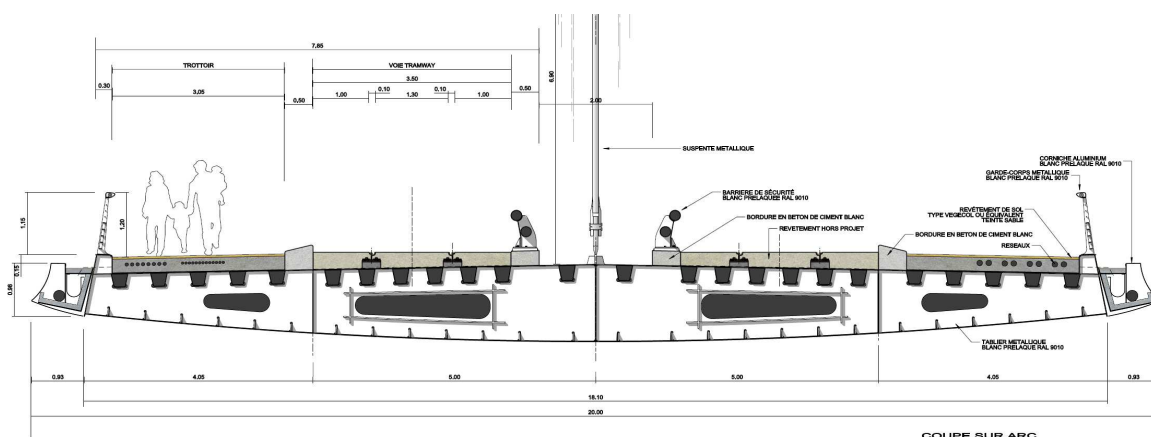
The pedestrian walkways on the bridge will be connected to the footpaths leading to the embankment and the Gaumont Multiplex Cinema on the east bank by staircases on P4 and P5 as soon as the bridge is completed.

## 2.2. The arch and deck

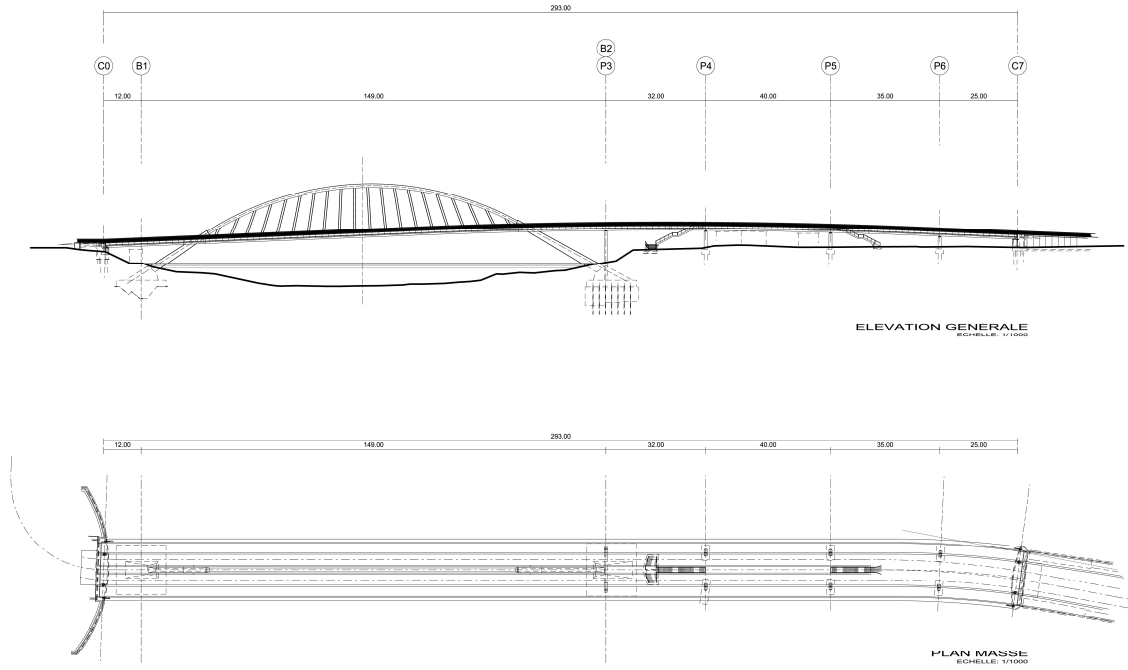
The main span above the Maine is suspended from an axial steel arch by pairs of radiating hangers, 5 metres apart at their junction with the deck. Structurally, the arch and the deck have the distinctive feature of being totally independent at their geometrical intersection; the arch is taken through a cavity in the deck without actually touching it. The deck and central part of the arch above the road are made of steel. The arch springs are concrete hinged piers.

Centred over the Maine River, the arch has a span of 149 m and a rise of 26 m. At the crown, it stands 12.30 m above the road surface. Due to the dissymmetry of the longitudinal section of the suspended span, its axis of symmetry is tilted slightly with respect to the vertical. The steel section, which describes a circle with a radius of 98 m, is a trapezoidal box girder with a constant section of 1400/800 x 1220 (h) mm, made of sheet steel varying in thickness from 30 to 80 mm. The hinged piers are also of trapezoidal section. Their width at the extrados is constant and equal to 1.70 m. Their height, which varies linearly, is 1.60 m at the junction between the piers and the steel arch.

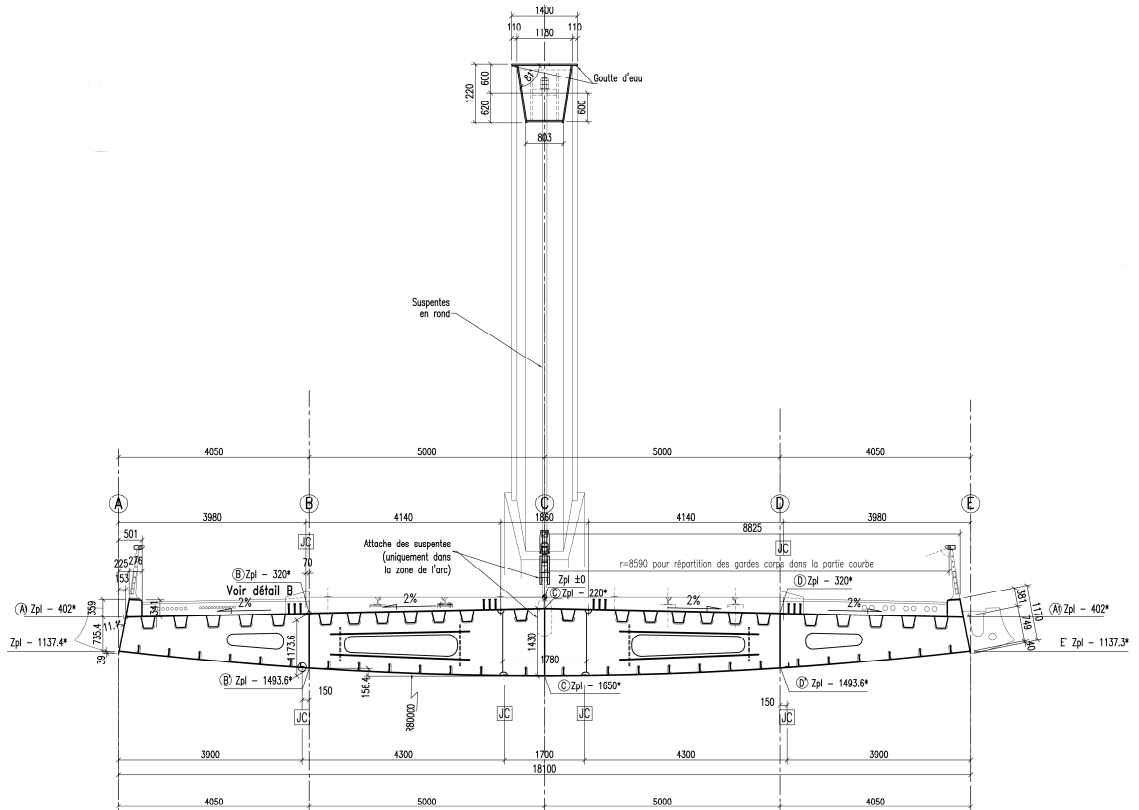
The deck is an orthotropic plate four-cell box girder of constant height. Its overall width is 18.10 m for a centreline height of 1.43 m. A total of four two-metre wide axial openings are provided in the deck for the arch to pass through and for the access stairways on piers P4 and P5. The upper plate has a rooftop profile.



Coupe transversale du tablier / Cross-section of the deck



Élévation aval et vue en plan de l'ouvrage / Downstream elevation and plan view of bridge



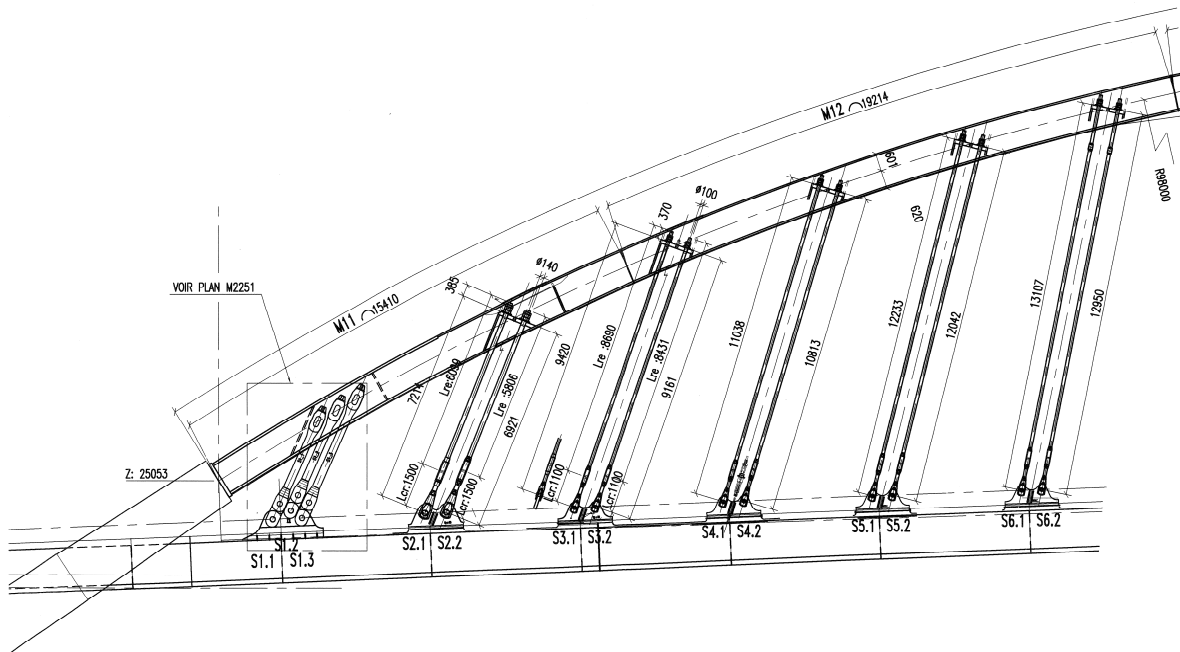
Coupe transversale dans la travée suspendue / Cross-section in suspended span

L'intrados est constitué d'une tôle courbe raidie par des plats, dont la forme renforce l'aspect profilé et élancé de la structure. Le caisson, rigidifié par des diaphragmes échancrés disposés au pas de 5 m en zone courante, est constitué de tôles d'épaisseurs variant de 10 à 20 mm pour les membrures, et de 10 à 30 mm pour les âmes. Les aciers de charpente mis en œuvre sont de nuances S355 K2 et S355 N, avec le recours à des aciers S460 ML pour les membrures de certains tronçons d'arc.

Les suspentes courantes sont des barres de diamètres 100, 120 et 140 mm en acier S460, équipées de filets roulés à leurs extrémités. En extrémité haute, les organes d'ancrage (écrou/contre-écrou et coupelle à portée sphérique) prennent appui sur une chaise d'ancrage intérieure au caisson d'arc. Les suspentes d'extrémité, les plus sollicitées, sont constituées de paquets de 3 barres bi-articulées mécano-soudées

*The intrados is made of curved sheet steel stiffened with flats whose shape reinforces the streamlined, slender aesthetics of the bridge. The box girder, stiffened with notched diaphragms every 5 m in the typical area, is made of sheet steel varying in thickness from 10 to 20 mm for the flanges and 10 to 30 mm for the webs. The structural steel used is S355 K2 and S355N grade, with S460 ML steel for the flanges in some sections of the arch.*

*The typical hangers are S460 steel bars with a diameter of 100, 120 and 140 mm, with rolled threads at the end. At the high end, the anchors (nut/lock nut and spherical bearing cup) rest on a support bar inside the arch girder. The end hangers, which are under the highest stress, consist of sets of 3 mechanically welded double-hinged bars.*



Vue partielle de la suspension / Partial view of suspension

### 2.3. Piles et culées

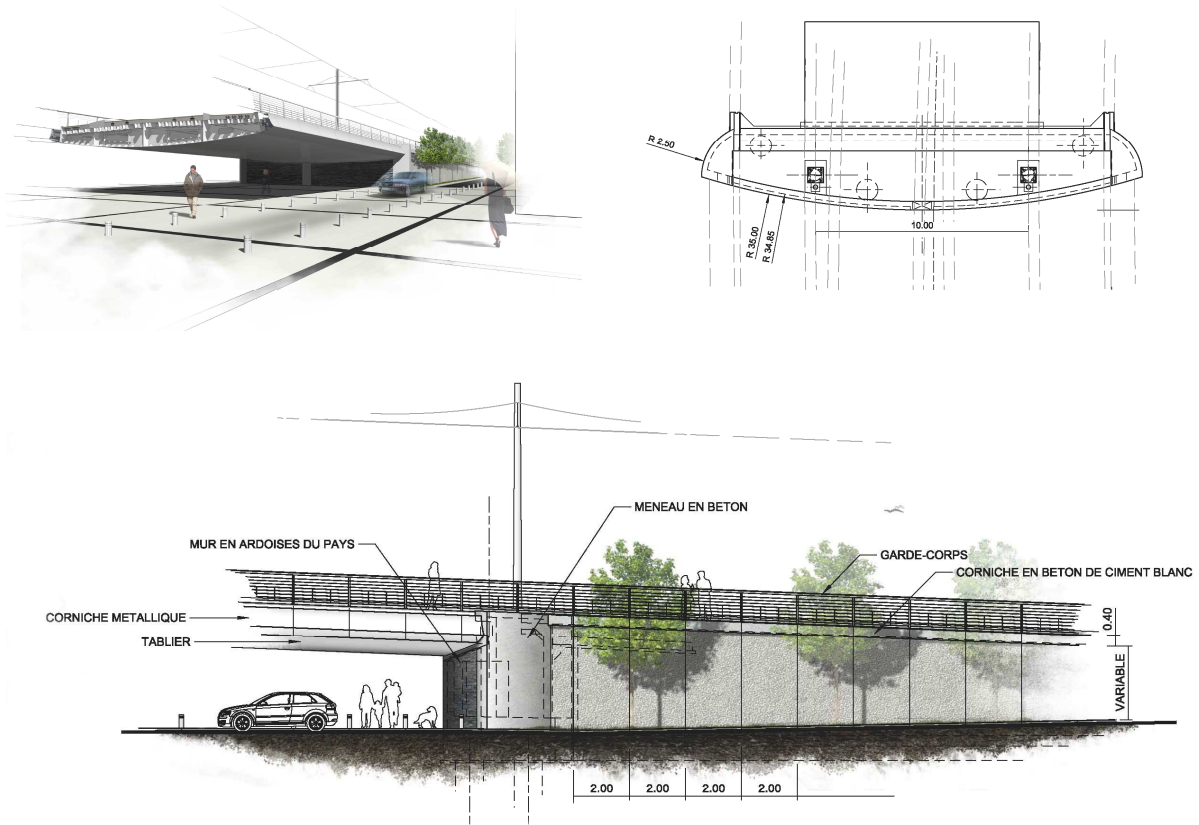
Les culées C0 et C7 sont des boîtes creuses. Elles sont constituées d'un chevêtre fondé sur des pieux ancrés dans le schiste, d'un mur arrière garde-grève, de deux poteaux supportant les appareils d'appui à pot d'élastomère, et d'un voile avant courbe, habillé par un parement en ardoises de schiste du pays.

La culée C7 se prolonge par des murs de soutènement latéraux courbes dits « en demi-lune », assurant une intégration harmonieuse des entrées en terre et une continuité des cheminements piétons avec les aménagements prévus hors ouvrage.

### 2.3. Piers and abutments

*Abutments C0 and C7 are hollow boxes. They consist of a pier cap on piles anchored in schist, a gravel guard wall at the rear, two posts supporting the elastomeric pot bearings, and a curved cast concrete wall faced with local schist slate at the front.*

*Abutment C7 is extended by lateral "half-moon" retaining walls, to ensure smooth interfacing of the bridge with the abutment and continuity between the footpaths and the recreational areas around and under the bridge.*

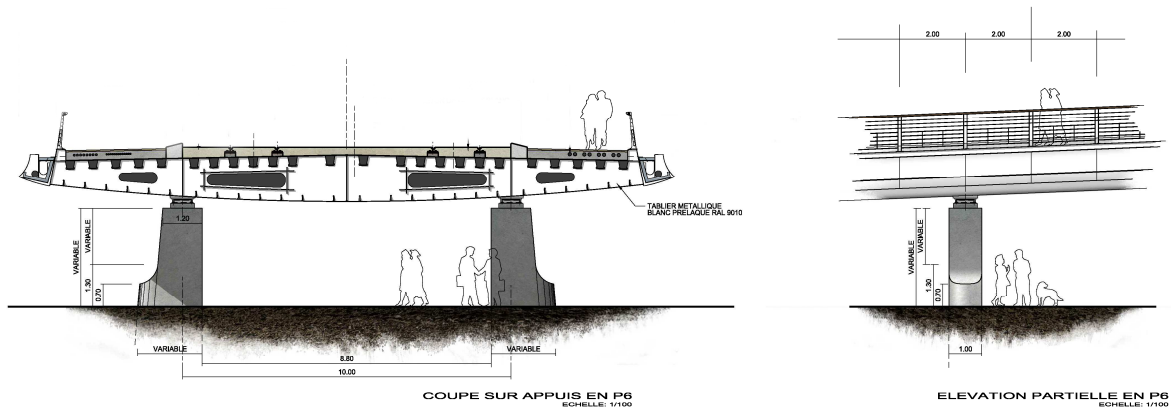


ELEVATION PARTIELLE DE LA CULEE  
ECHELLE: 1/200

Culée C7 / Abutment C7

Les piles P4 à P6, supportant les travées d'accès, sont constituées de deux fûts indépendants à section rectangulaire, de dimensions 1,00 x 1,20 m en tête, reposant chacun sur une semelle de fondation coiffant deux pieux forés. Elles reçoivent en tête les appareils d'appui à pot d'élastomère. Des inserts métalliques disposés en tête de pile, sur les faces longitudinales du fût, permettent la prise d'appui des consoles de vérinage qui serviront pour un éventuel changement des appareils d'appui.

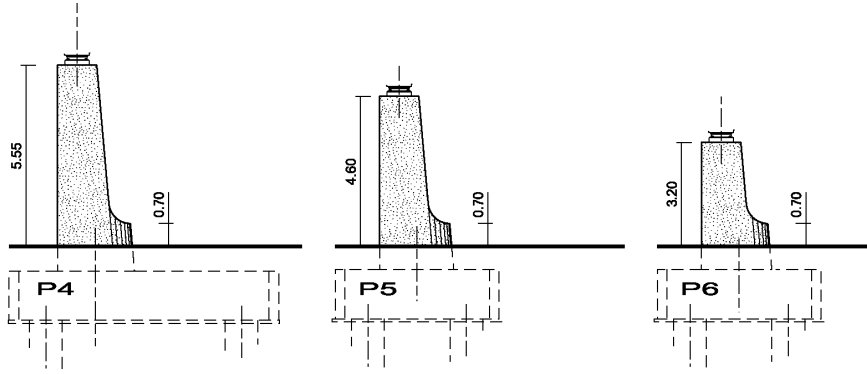
*Piers P4 to P6, supporting the approach spans, consist of two independent shafts of rectangular section, 1.00 x 1.20 m at the head, each resting on a foundation footing supported by two driven piles. There are elastomeric pot bearings at the top of each shaft. Metal inserts on top of the pier, on the longitudinal faces of the shaft, are designed to take the jacking brackets used to change the elastomeric bearings if required.*



COUPE SUR APPUIS EN P6  
ECHELLE: 1/100

ELEVATION PARTIELLE EN P6  
ECHELLE: 1/100

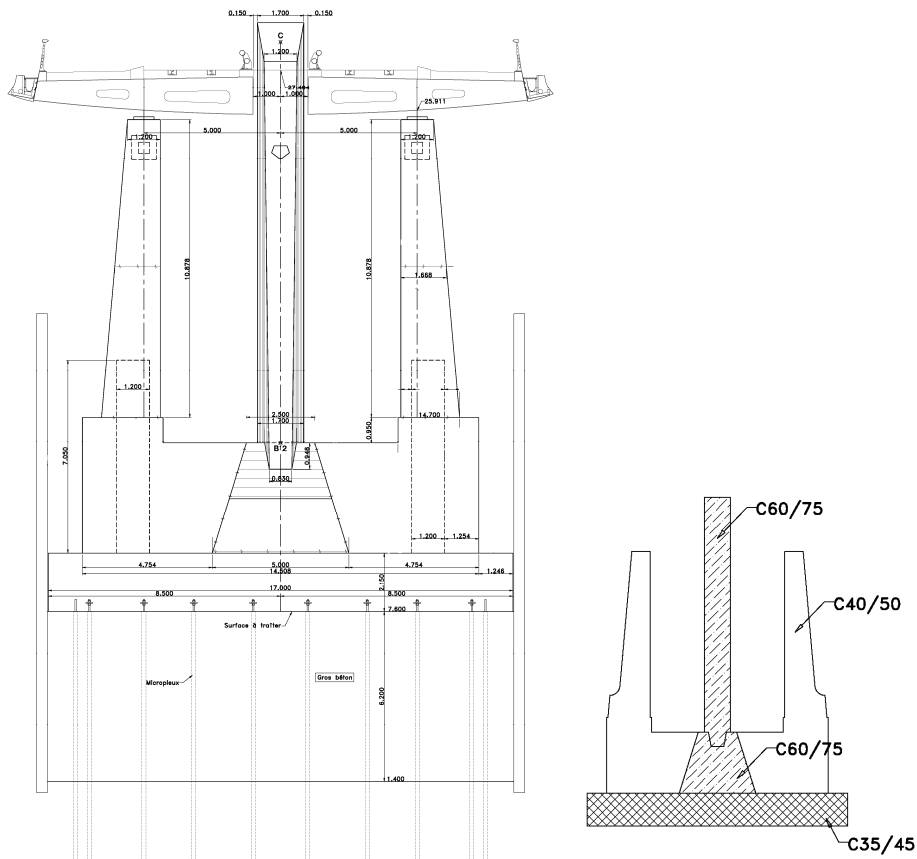
Piles P4 à P6 / Piers P4 to P6



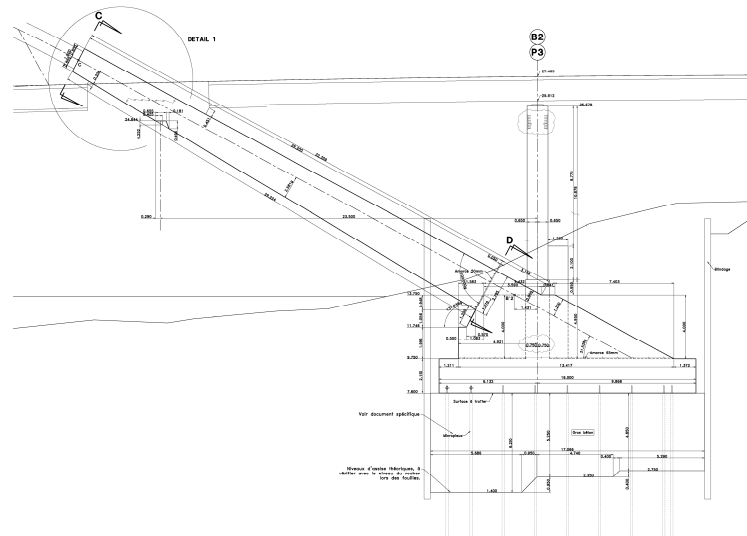
Piles P4 à P6 / Piers P4 to P6

Sur chacune des files d'appui C0, P4, P5, P6 et C7, les déplacements de l'ouvrage sont libres dans le sens longitudinal, et bloqués (sur un des deux fûts) dans le sens transversal. Longitudinalement, l'ouvrage présente un point fixe sur les piles P3. Ces piles, encastées sur la fondation de la béquille B2 via un voile de liaison, sont de formes identiques à celles des autres fûts et présentent une section de 1,30 x 1,20 m en tête. Elles sont renforcées par des voiles contreforts longitudinaux enterrés en partie basse, pour permettre la reprise des efforts horizontaux.

*The bridge can move freely in the longitudinal direction on each of the support piers (C0, P4, P5, P6 and C7), but is prevented from moving in the transverse direction by one of the two shafts. Longitudinally, the structure has a fixed point located on piers P3. These piers, embedded in the foundations of hinged pier B2 by means of a concrete connection wall, are identical in shape to those of the other shafts and have a section of 1.30 x 1.20 m at the head. They are reinforced with longitudinal buttress walls whose lower part is buried in order to transfer the horizontal loads.*



Béquille B2 et piles P3 / Hinged pier B2 and piers P3



Béquille B2 et piles P3 / Hinged pier B2 and piers P3

#### 2.4. Fondations des pieds d'arc

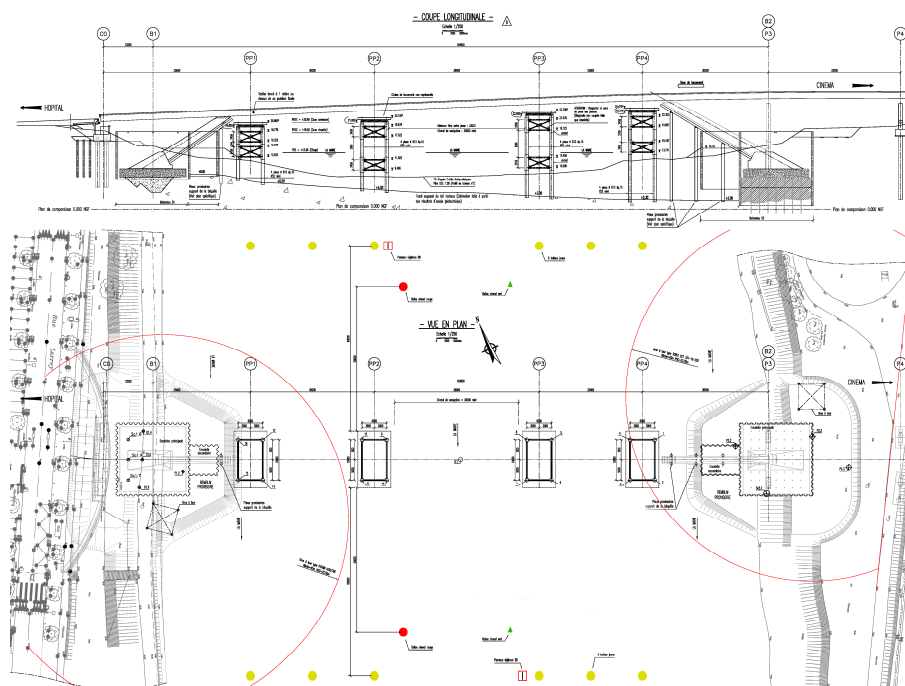
Les pieds d'arc sont encastrés dans le schiste sain par l'intermédiaire de deux systèmes de fondation, dont les caractéristiques sont adaptées aux variations du contexte géotechnique entre les deux berges de la Maine.

La rivière a creusé son lit dans un contexte de terrains paléozoïques constitués de schistes des séries schisto-gréseuses. Ce substratum est masqué par les alluvions de la Maine, dont la puissance atteint une épaisseur 12 m sous la berge en rive gauche et 4 à 6 m sous la rive droite. Le toit du substratum, rencontré vers + 2 à + 3 m NGF sous la berge en rive gauche, remonte progressivement pour atteindre la cote + 8 NGF sous la rive opposée.

#### 2.4. Foundations of arch bases

The arch bases are embedded in good quality schist rock by means of two foundation systems, whose features are adapted to variations in the geotechnical context of the east and west banks of the Maine.

The riverbed was formed in Paleozoic ground consisting of schistose sandstone series. The slaty schist substratum is covered with Maine alluvium up to 12 m thick under the east bank and 4 to 6 m under the west bank. The roof of the substratum, located at 2 to 3 m above mean sea level under the east bank slowly rises to 8 m above mean sea level on the opposite bank.



Ouvrages provisoires et profil géotechnique en rivière / Temporary structures and geotechnical river profile

La partie supérieure des fondations des pieds de béquilles B1 et B2 est identique ; elle est composée d'une semelle de fondation épaisse et d'un sabot de liaison assurant la diffusion des charges. Le dessus des semelles B1 et B2 est calé à la cote + 9,75 NGF.

En rive gauche (B2), la fondation est composée d'un massif en gros béton ancré dans le substratum, contribuant par sa masse à redresser la résultante des efforts appliqués, et de 56 micropieux d'une longueur de 9 ou 12 m clouant la semelle en béton armé et le massif dans le schiste. Ces micropieux contribuent à la reprise de la composante horizontale des efforts en augmentant le coefficient de frottement mobilisable à l'interface gros béton / schiste. Ils permettent également de garantir un bon contact entre les deux surfaces, et de renforcer le massif schisteux sous-jacent. Ces unités ont été réalisées suivant la technique des micropieux auto-foreurs, proposée par l'entreprise en variante aux micropieux type IV Ø150 mm initialement prévus.

En rive droite (B1), la fondation, de type superficielle, consiste en une bêche ancrée dans le schiste sain, présentant une face d'appui arrière inclinée à 40° sur l'horizontale et d'une superficie de 115 m<sup>2</sup>. La contrainte moyenne au sol, limitée à des valeurs inférieures à 0,8 MPa aux ELU, peut être reprise par le matériau en place sans déplacement significatif.

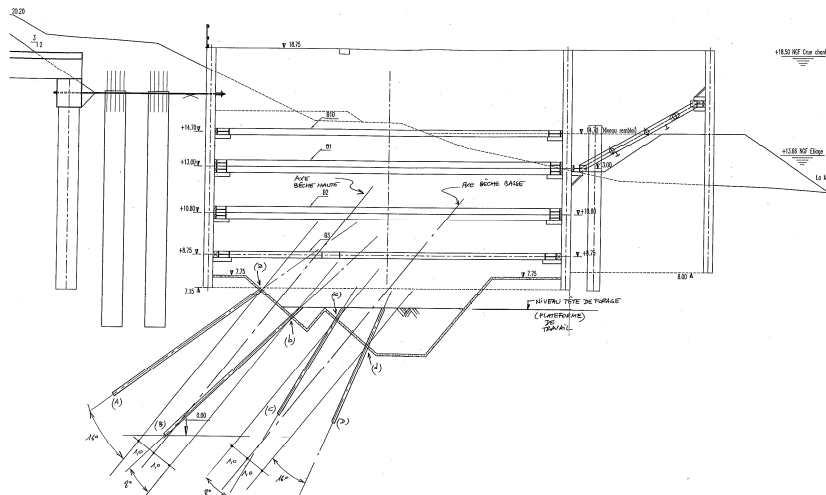
Les reconnaissances géotechniques complémentaires de la qualité du rocher de fondation sous B1, réalisées dans le cadre du marché de travaux, ont confirmé d'une part l'aptitude du massif rocheux à supporter les charges amenées par la fondation, et d'autre part son caractère hétérogène dans la zone d'influence de l'appui, sous les faces inclinées arrière. Le schiste, sain, présentait des discontinuités subverticales orientées suivant les plans de schistosité, dans une direction sensiblement parallèle à l'axe longitudinal de l'ouvrage. En conséquence, le renforcement par clouage et injection du massif rocheux prévu au marché a été mis en œuvre. Il a consisté en la réalisation de 30 micropieux inclinés entre 30 et 50° sur l'horizontale, de longueurs 4 à 9 m, permettant de traiter le volume correspondant à la zone de diffusion des efforts. Ces unités ont également été réalisées suivant la technique des micropieux auto-foreurs.

*The upper part of the foundations of the bases of hinged piers B1 and B2 is identical. It consists of a thick foundation footing and a connection plate to ensure correct load distribution. The top of footings B1 and B2 is adjusted to 9.75 m above mean sea level.*

*On the east bank (B2), the foundation consists of a 4.40 m thick rubble concrete base anchored to the substratum whose mass helps to balance the resultant of the applied loads, and 56 micropiles, 9 or 12 m in length, that anchor the reinforced concrete footing and the rubble concrete base to the schist. The micropiles help to transfer the horizontal load component. They also guarantee good contact between the two surfaces and reinforce the subjacent schistose base. The micropiles were produced using the self-driven micropile technique proposed by the contractor as an alternative to the classical type IV dia 150 mm micropiles initially indicated.*

*On the west bank (B1), the foundations, of the superficial type, consist of a footing heel anchored in good quality schist, with its rear bearing surface at an angle of 40° to the horizontal and a surface area of 115 sq.m. The average ground stress, less than 0.8 MPa under ULS loads, can be transferred by the schist without any significant displacement.*

*Additional geotechnical surveys of the quality of the foundation rock under B1, specified in the contract, confirmed the capacity of the solid rock to bear the loads transferred by the foundations and its lack of uniformity in the bearing influence zone, under the rear sloping surfaces. The schist, of good quality, had subvertical discontinuities along the schistosity planes, more or less parallel to the longitudinal axis of the bridge. As a result, the reinforcement system specified in the contract consisting of micropiles grouted into solid rock was implemented. Thirty micropiles, varying in length from 4 to 9 m, were driven at an angle of 30 to 50° to the horizontal, in order to reinforce the stress distribution area. Once again, micropiling was carried out using the self-driven micropile technique.*



**Principe de renforcement par clouage du massif rocheux sous B1**  
*Principle of reinforcement by micropiling into the solid rock under B1*

## 2.5. Soutènements et remblais d'accès

Les remblais d'accès à l'ouvrage ont été mis en place sur des inclusions rigides transmettant les charges au substratum, afin d'éviter les tassements des sols compressibles de surface, non admissibles par la voie. Cent quatre-vingts pieux  $\square$ 400 mm en béton non armé, disposées suivant une maille de 2,50 x 2,50 m et d'une longueur de 13 m, ont été mises en œuvre. Elles sont coiffées d'un matelas de transfert de charge, consistant en une grave traitée de classe T3, d'une épaisseur de 1 m.

Les voiles des murs de soutènement de la rampe d'accès en rive gauche ont été préfabriqués sur site et encastrés dans une semelle superficielle coulée en place. Les murs de soutènement en demi-lune en rive droite sont fondés sur pieux.

## 2.6. Superstructures et équipements

L'extrados du tablier est équipé d'une étanchéité mince de type SEL (Système d'Etanchéité Liquide), consistant en une résine époxydique projetée à chaud sur un support préalablement décapé et recouvert d'un primaire, et complétée par une couche de protection gravillonnée à refus.

Le tablier supporte une dalle en béton armé non connectée. Dans l'emprise de la plate-forme tramway, cette dalle, dans laquelle sont encastrés les rails, est constituée d'un béton de remplissage recouvert sur les 15 derniers centimètres par un béton désactivé fibré de teinte claire. Au droit des trottoirs, le béton de remplissage, penté transversalement à 2%, est recouvert d'un enrobé à base de liant végétal de teinte sable. Les bordures sur ouvrage, connectées à la charpente, sont réalisées en béton de ciment blanc.

Les eaux pluviales de la plate-forme sont évacuées aux extrémités de l'ouvrage, avant traversée des joints de dilatation. Elles sont recueillies dans des caniveaux à grille transversaux métalliques, soudés sur la charpente du tablier et passant sous les rails. Ces caniveaux se rejettent dans les caniveaux-corniches latéraux, dimensionnés en conséquence sur les derniers mètres. Les eaux de trottoirs sont elles directement recueillies dans les corniches caniveaux via des avaloirs disposés tous les 10 m.

La voie est équipée d'appareils de dilatation aux deux extrémités du pont. Ces appareils sont disposés sur le tablier côté C0, juste avant la courbe de sortie d'ouvrage, et sur les remblais techniques derrière la culée C7.

L'ouvrage porte les réseaux secs suivants sous les trottoirs : multitubulaire tramway (8 fourreaux PVC  $\varnothing$ 60 mm pour courants faibles) et multitubulaire ville (12 fourreaux PVC  $\varnothing$ 45 mm CFA et 8 fourreaux  $\varnothing$ 100 mm CFO). Des chambres de tirage sur ouvrage sont prévues pour ces réseaux. En prévision des besoins ultérieurs, un PVC  $\varnothing$ 160 mm est également logé dans la corniche aval.

## 2.5. Supports and approach embankments

The bridge approach embankments were constructed on rigid inclusions transferring the loads to the substratum in order to prevent subsidence of compressible surface ground, which is not admissible for the tram tracks. One hundred and eighty 400 mm diameter 13 metre long non-reinforced concrete piles were used, on a 2.50 x 2.50 m grid. The inclusions are capped with a one-metre thick load transfer gabion, made of class T3 treated gravel.

The retaining walls of the approach ramp on the east bank were prefabricated on-site and embedded in a cast-in-place superficial footing. The half-moon retaining walls on the west bank have pile foundations.

## 2.6. Superstructure and equipment

The deck is covered with a thin liquid waterproofing system (LWS) consisting of an epoxy resin hot-sprayed onto a substrate after cleaning and priming, followed by a protective layer of gravel-coated asphalt sand-blasted to refusal.

The reinforced concrete deck slab is unconnected. Under the tram platform, the slab, in which the tracks are embedded, consists of concrete filler covered with a 15 cm layer of light-coloured exposed-aggregate fibre-reinforced concrete. The concrete filler on the sidewalks, which have a 2% cross slope, is covered with sand-coloured coated macadam with a plant-based binder. The barriers separating the green traffic from the trams are connected to the steelwork and made of white cement concrete.

Storm run-off from the platform is evacuated at the ends of the bridge, before it reaches the expansion joints. It is collected in drains with metal grating welded to the steelwork of the deck and passing under the tracks. The drains empty into suitably dimensioned cornice gutters over the last few metres. Run-off from the sidewalk is collected directly in the cornice gutters via inlets every 10 m.

The track is equipped with breather switches at each end of the bridge, on the deck at the C0 end, just before the end of the curve, and on the embankment behind abutment C7 at the other end.

The bridge has the following power distribution networks under the sidewalks: multiduct tram network (8 dia 60 mm PVC ducts for communications) and multiduct urban network (12 dia 45 mm PVC ducts for communications and 8 dia 100 mm ducts for power and lighting). Draw-in pits for the above networks are located on the bridge. To cater for subsequent requirements, a dia 160 mm PVC duct has also been incorporated into the downstream cornice.

Les garde-corps latéraux sont composés de montants, lisses et grilles basses en acier galvanisé thermolaqué, de 3 câbles tendus en acier inox en partie supérieure, et d'une main courante en aluminium brossé.

L'éclairage fonctionnel des trottoirs est assuré par des tubes néon logés dans la main courante du garde-corps. Des spots disposés en divers points de l'ouvrage permettent de compléter le dispositif (éclairage des trémies d'escalier, spots en tête des piles et en sous-face du tablier pour l'éclairage de l'aménagement sous ouvrage en rive gauche, encastrés dans les murs de culées).

L'ouvrage est également équipé d'un éclairage de mise en valeur. Des barreaux à diodes filants en lumière blanche soulignent la ligne de l'arc, prolongés par des spots éclairant la tranche des béquilles. Des balises à diodes de teinte verte rythment la ligne de la corniche-caniveau.

### 3. LES ÉTUDES DE CONCEPTION

La recherche d'une structure fine aux lignes simples et épurées a constitué la ligne directrice des études de conception. Parmi les différentes solutions permettant un franchissement sans appui dans le lit mineur, l'arc intermédiaire est apparu comme le plus adapté au site et au parti retenu par l'équipe : celui de proposer un geste symbolisant l'union des deux rives, sans caractère ostentatoire ni complexité formelle.

Le programme recommandait d'éviter l'implantation de mâts ou piliers de grande hauteur en rive droite, pour préserver la berge, et du fait de la proximité de la Chapelle de l'Hôpital et de la Tour des Anglais. Les structures à câbles porteurs comprenant un pylône unique en rive gauche (pont suspendu auto-ancré, pont à haubans) ne semblaient pas adaptées au site, notamment de par la hauteur du pylône. Les structures en arc à tablier inférieur ont également été écartées pour des raisons d'échelle et d'insertion dans le site.

Le choix d'un pont en arc à tablier intermédiaire était bien adapté au site : la portée à franchir restait compatible avec la conception d'une structure élancée supportée par un seul arc axial, dont les pieds pouvaient être ancrés sans difficulté notable dans un rocher de bonne qualité. La suspension axiale va dans le sens d'une meilleure lisibilité de la structure, et permet aux usagers d'avoir une vue dégagée sur le site. Le tablier métallique, en caisson fermé, apporte la rigidité à la torsion nécessaire à la reprise des charges.

Les premières études du comportement mécanique de l'ouvrage ont été menées à l'aide d'un modèle filaire tridimensionnel simple composé d'éléments poutre. Ce modèle a permis de dimensionner les différents éléments de la structure, de proposer une répartition des matières et d'obtenir la descente des charges pour le dimensionnement des fondations. Ce modèle a également été utilisé pour les études spécifiques (étude de la stabilité de l'arc, analyse des effets des sollicitations sismiques, analyse du comportement dynamique et étude de l'endommagement sous circulation du TSCP).

*The guard rails on the outside of the bridge have powder-coated steel posts, rails and railings, with 3 taut stainless steel cables on the upper part and a brushed aluminium handrail.*

*Functional lighting of the sidewalks is provided by neon lights built into the handrail. Spotlights at various points along the bridge complete the lighting system (lighting of stairwells, spotlights at the pier heads and underneath the deck to light the recreational area under the bridge on the east bank, recessed spotlights into the abutment walls).*

*The bridge is also equipped with architectural lighting. White LED strip lights draw attention to the line of the arch, extended by spotlights on the side of the hinged piers. Green LED beacons run along the edge of the cornice.*

### 3. DESIGN STUDIES

*The design studies were guided by the bridge aesthetics: a slender structure with simple, clean lines. Among the different solutions that eliminated the need for piers in the minor bed, the through arch bridge proved to be the most suitable for the site and the principle adopted by the team, i.e. a gesture that would symbolise coming together of the east and west banks, and was neither ostentatious nor overpowering in its complexity.*

*The scope statement recommended avoiding the use of very high masts and pillars on the west bank, to both preserve the embankment and respect the proximity of the historical landmarks of Chapelle de l'Hôpital and Tour des Anglais. A bridge with suspension cables and a single tower on the east bank e.g. a self-anchored suspension bridge or cable-stayed bridge, did not seem suitable for the site, particularly due to the height of the tower. The bow-string solution was also eliminated for reasons of scale and unsuitability for the site.*

*The choice of a through arch bridge, however, seemed to be a good solution: the span remains compatible with the design of a slender structure supported by a single axial arch, whose bases could be anchored without any particular difficulty in good quality rock. The axial suspension means that onlookers and users have an undistorted view of the bridge from any angle. The steel deck, with its closed box girder, provides the torsional stiffness required for load transfer.*

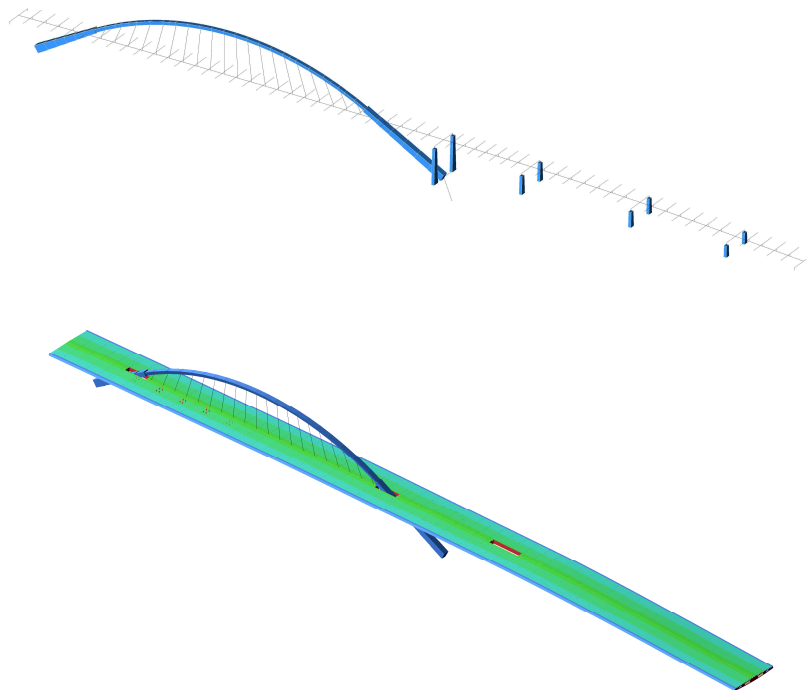
*The initial mechanical behaviour studies were conducted using a simple three-dimensional beam model. The model was used to dimension the different parts of the bridge, suggest an appropriate steel thickness distribution and obtain the schedule of loads required to dimension the foundations. It was then used to carry out more specific studies (arch stability study, analysis of seismic loads, analysis of dynamic behaviour and study of fatigue damage caused by tram traffic).*

Compte tenu de la morphologie particulière du tablier, large et très élancé, il convenait de s'assurer que les propriétés mécaniques affectées aux éléments poutres du modèle filaire permettaient de traduire correctement sa rigidité en flexion et en torsion. Un modèle aux éléments finis coques du tablier a été réalisé dès les études de conception. Ce modèle a également permis d'analyser de manière fine la distribution et la diffusion des contraintes dans le caisson, et de vérifier localement la résistance de ses éléments constitutifs (dalle orthotrope, diaphragmes, zones de trémie).

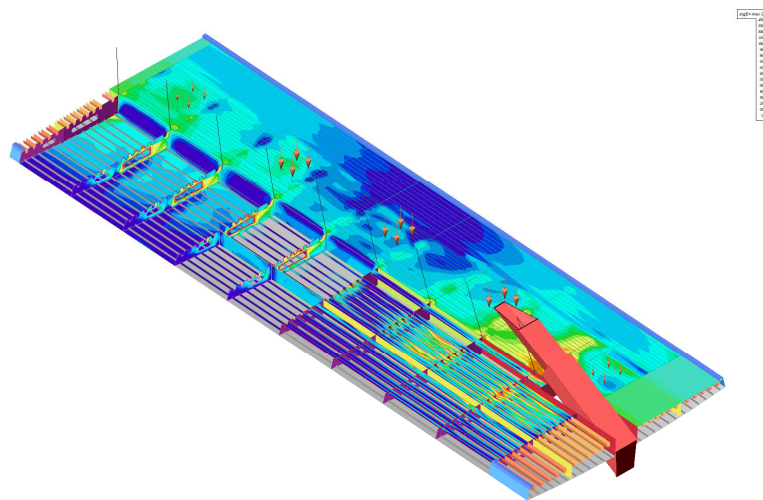
*Given the particular morphology of the deck, which is both wide and very slender, it was important to ensure that the mechanical properties assigned to the girder components of the line model were sufficient to correctly convey stiffness in flexure and torsion. A shell finite element model of the deck was produced during the design studies. The FEM was also used to finely analysis the stress distribution in the box girder and locally check the mechanical strength of the component parts (orthotropic slab, diaphragms, openings in the deck).*

Des modèles de calcul locaux ont également été mis en œuvre pour étudier les zones d'ancrage des suspentes sur l'arc, et le comportement de la bêche de fondation B1.

*Local calculation models were also implemented to study the areas in which the hangers are anchored to the arch and the behaviour of footing heel B1.*



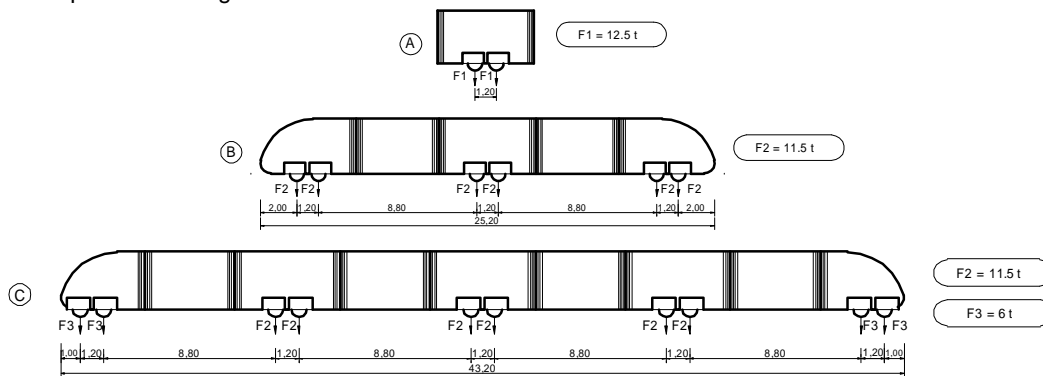
Modèles de calcul / Calculation models



Vue partielle et éclatée du modèle, cartographie des contraintes de Von Mises (ELU) / Partial exploded view of model, mapping of Von Mises stress (USL load conditions)

L'ouvrage a été étudié pour les deux configurations de service qu'il sera susceptible de connaître, en configuration tramway et sous circulations routières. Les charges d'exploitation routières prises en compte sont les charges des systèmes A et B du Fascicule 61 Titre II. Les charges d'exploitation du matériel roulant sont définies par le maître d'ouvrage dans son référentiel technique. Elles sont issues des propositions du groupe de travail piloté par le STRMTG. Il s'agit des trois convois type A, B, C, permettant d'englober tous les tramways équipant actuellement les lignes françaises. Il convient de noter que les charges à l'essieu de ces convois sont des charges exceptionnelles correspondant à 8 personnes debout par m<sup>2</sup>, à retenir aux états limites ultimes accidentels. Les actions introduites dans les combinaisons ELS et ELU fondamentales doivent quant à elles prendre en compte une densité de 6,6 personnes par m<sup>2</sup>. Les calculs ont montré que de manière générale, les surcharges du tramway étaient légèrement moins défavorables que les surcharges routières.

The bridge is designed for two possible traffic configurations, namely trams and road vehicles. The road traffic loads taken into account are those of systems A and B in the French standards (CCTG Fascicule 61 Titre II). The rail traffic loads are those defined by the client in its technical guidelines and correspond to proposals made by the work group led by STRMTG. There are three types of universal trams - A, B, and C - which cover all the trams currently used in France. The axial loads of the trams are exceptional loads corresponding to 8 people standing per square metre, under accidental ULS load conditions, while the actions included in the SLS and ULS combinations correspond to a density of 6.6 people per square metre. Calculations show that, generally speaking, live loads for tram traffic are slightly less problematic than those due to road traffic



Matériel roulant – Convois type A, B, C / Trams – Type A, B, C

Le comportement de l'ouvrage à la fatigue a également été analysé pour les deux référentiels routier et TCSP. Pour le TCSP, le convoi de fatigue retenu est le véhicule Citadis 402 en charge nominale, pondéré par 0,9, et pondéré par le coefficient « c » du guide du Setra, pris égal à 1,2.

The fatigue behaviour of the bridge was also analysed for both road traffic and public transport. For public transport, the type of tram used to perform the fatigue analysis was the Citadis 402 at rated load, weighted by 0.9 and a "c" coefficient in the Setra guidelines of 1.2.

Pour le chargement des trottoirs, les charges locales définies au Chapitre II du Fascicule 61 Titre II ont été prises en compte de manière sécuritaire, à savoir 450 kg/m<sup>2</sup> appliqués longitudinalement de manière à obtenir l'effet le plus défavorable, et ceci de manière à se rapprocher des charges de foule prévues aux Eurocodes.

For the sidewalk loading, the local loads defined in Chapter II of Fascicule 61 Titre II (CCTG) were taken into account to be on the safe side, i.e. 450 kg/m<sup>2</sup> applied longitudinally to obtain the worst case scenario and thus approach the Eurocode crowd loading.

Les béquilles sont calculées pour pouvoir résister au choc de convois fluviaux. Les intensités de choc imposées au cahier des charges sont celles issues de l'EN1991-1-7 (300 t en choc frontal, 150 t en choc latéral, appliqués à 2,90m au-dessus des PHEN). Concernant le risque sismique, l'application des règles AFPS dans leur état actuel conduisait à classer le site en zone 0 ; aucune disposition particulière relative au risque sismique n'est alors à prendre en compte. En prévision de l'entrée en vigueur du nouveau zonage sismique, classant le site de l'ouvrage en zone d'aléa faible, les dispositions constructives minimales ont cependant été appliquées.

The hinged piers are designed to withstand the impact of river traffic. The impact intensities required by the specifications are those of EN1991-1-7 (300 tonnes for a front impact and 150 tonnes for a side impact, applied 2.90 m above the highest navigable water level).

With respect to earthquake risks, application of the current AFPS rules classifies the site as zone 0 which means that no special earthquake risks need to be taken into account. However, in anticipation of the new earthquake zoning rules which classify the bridge site as a low hazard area, the minimum building provisions have been applied.

## 4. LES TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL

### 4.1. Les batardeaux

Les béquilles et leurs fondations ont été réalisées à l'abri de deux batardeaux implantés sur les berges. Leur impact hydraulique a été analysé et validé au stade des études de projet. La cote d'inondation en tête, fixée à 18,50 NGF et correspondant à une crue de période de retour 2 ans, a permis de s'affranchir des crues durant les travaux.

Chaque batardeau est constitué de deux cellules adjacentes : une enceinte principale au droit de la fondation et une verrue côté rivière, permettant de réaliser la béquille à l'abri des eaux. Les palplanches (sur B2 : 56 paires PU28 pour l'enceinte principale et 20 paires PU18 pour la verrue) ont été fichées par vibrofonçage puis battues au refus dans les schistes. Du fait de leur implantation, les batardeaux sont soumis à des poussées différentes sur les faces côté rivière et côté berge. Des tirants ancrés en tête du rideau arrière permettent d'équilibrer la résultante des poussées.

### 4.2. Les fondations des pieds d'arc

L'excavation des matériaux alluvionnaires a été réalisée à sec dans les deux enceintes. Côté B2, le toit des schistes, rencontré à la cote + 3,20 NGF, a été nettoyé pour retirer la pellicule de matériau décomposé en surface. Le massif en gros béton, d'un volume de 1460 m<sup>3</sup>, a nécessité 20 heures de bétonnage en continu, mobilisant les deux centrales à béton disponibles à Angers.

Le forage et l'injection des micropieux B2, initialement prévus d'être effectués depuis une plate-forme de travail en tête, ont été réalisés depuis le fond de fouille. Pour garantir la qualité du scellement, les quelques forages recoupant des circulations d'eau ont été injectés depuis un tube en rehausse. Un contrôle de la qualité de l'exécution du scellement de chacun des ancrages a été réalisé par mesure de l'impédance mécanique. La réalisation d'un essai de traction préalable sur un micropieu d'essai, scellé uniquement dans les schistes, a permis de valider les coefficients de frottement retenus dans les calculs.

Côté B1, le terrassement dans les schistes a été réalisé au BRH, avec une finition à la fraise sur les plans inclinés. Les surfaces d'appui ont été nettoyées au jet d'eau sous pression avant d'être recouvertes d'un béton de propreté. La configuration des fouilles imposait de dresser des faces latérales amont et aval subverticales, sur une hauteur de 2 à 5 m sous la fiche des palplanches. Afin d'assurer sa stabilité, le schiste a été cloué sur ces faces.

## 4. CIVIL ENGINEERING WORKS

### 4.1. Cofferdams

*The hinged piers and their foundations were constructed inside two cofferdams on the river banks. Their hydraulic impact was analysed and validated during the preliminary design phase. A flood height of 18.50 above mean sea level, corresponding to a return period of 2 years, was adopted to protect the works from flooding.*

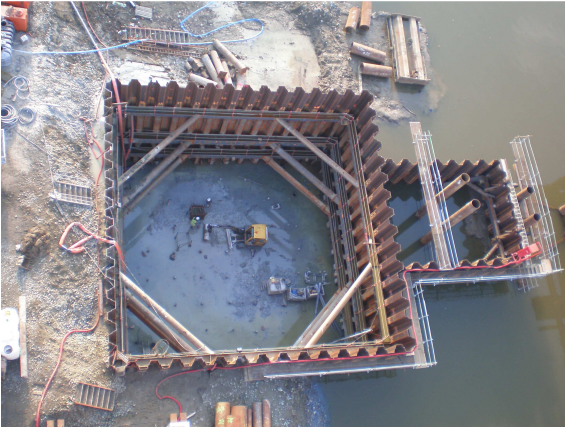
*Each cofferdam consisted of two adjoining enclosures: a main enclosure at the foundations and a secondary adjacent enclosure on the river side so that the hinged pier could be built without getting wet. Vibropiling was used to drive the sheetpiling (on B2: 56 pairs of PU28 for the main enclosure and 20 pairs of PU18 for the secondary enclosure) then ramed to refusal in the schist. Due to their location, the cofferdams were exposed to different types of thrust on the river and bank sides. Anchors at the top of the rear wall were used to balance the resultant of the thrust.*

### 4.2. Arch foundations

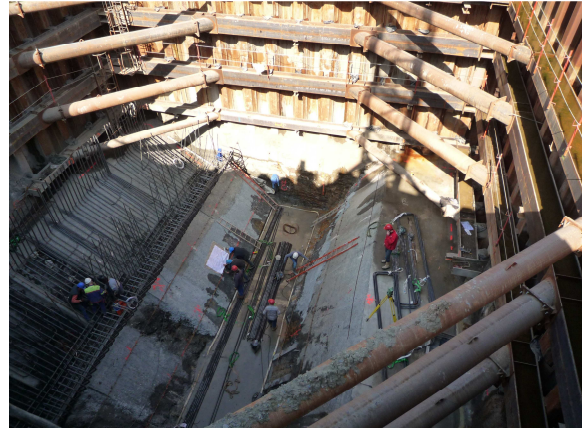
*The alluvial soil was dry excavated in both cofferdams. On side B2, the schist roof, at 3.20 above mean sea level, was cleaned to remove the film of decomposed material on the surface. The rubble concrete base, with a volume of 1460 cu.m., required 20 hours of continuous pouring, using both of the concrete plants available in Angers.*

*Drilling and grouting of the B2 micropiles, which were initially to be carried out from a work platform at the top of the cofferdam, were finally carried out at the bottom of the excavation. To ensure correct anchoring, the small number of drillings that had to be made in the water pipes was grouted using a raised tube. Quality control was carried out on each anchor by measuring the mechanical impedance. A prior tensile test carried out on a test micropile embedded in the schist only validated the friction coefficients used for the design calculations.*

*On side B1, the schist was excavated using a rock breaker and finished off with a milling cutter on the inclined planes. The bearing surfaces were cleaned with a pressurised water jet before being covered with blinding concrete. The excavation configuration required the preparation of subvertical sides upstream and downstream at a height of 2 to 5 m under the set of the sheetpiles. In order to ensure its stability, the schist was micropiled on the subvertical sides.*



Batardeau B2 après réalisation des micropieux  
Cofferdam B2 after micropiling



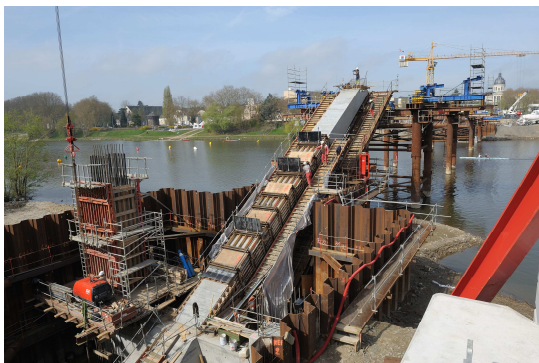
Bêche B1 / Footing heel B1

### 4.3. Les béquilles

Les béquilles B1 et B2, de longueurs respectives 22 et 29,20 m, ont été réalisées en deux phases, la reprise de bétonnage étant placée juste sous le niveau du tablier dans sa position de lancement. Les parties situées sous le tablier sont bétonnées sur cintre. L'outil coffrant est constitué d'une ossature métallique supportant les panneaux coffrants 4 faces et des escaliers d'accès latéraux.

Le cintre prend appui sur le sabot en partie basse et sur une palée spécifique en tête. Cette palée reçoit également une « chandelle » métallique servant de point d'appui provisoire de la béquille après son décoffrage. Une boîte à sable permet de réaliser le transfert des charges après clavage de l'arc et dépose des appuis provisoires.

Le bétonnage de la première levée des béquilles a été réalisé en continu. Le béton a été mis en place et vibré à partir de trappes aménagées dans le coffrage de la face supérieure. Le bétonnage des deux voussoirs de clavage est réalisé après montage de l'arc métallique.



Béquille B2

### 4.3. Hinged piers

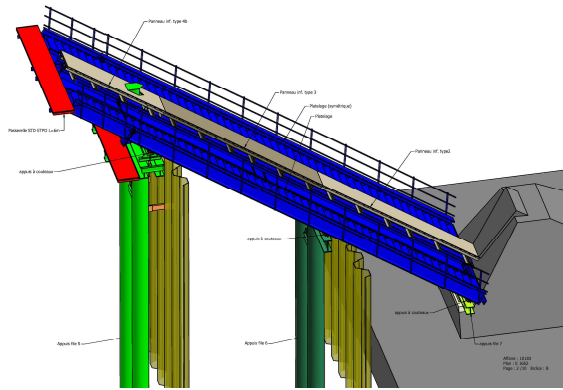
*Hinged piers B1 and B2, with a respective length of 22 and 29.20 m, were built in two phases, with the construction joint just under the deck in its launching position. The parts below the deck were cast on travelling formwork. The travelling form consisted of a metal frame supporting the 4-sided form liners and side access stairs.*

*The bottom part of the travelling formwork was supported by the transition block and the top part by a special trestle. The trestle also had a steel prop used as a temporary support for the hinged pier after striking. A sandbox was used to transfer the loads after closure of the arch and removal of the temporary supports.*

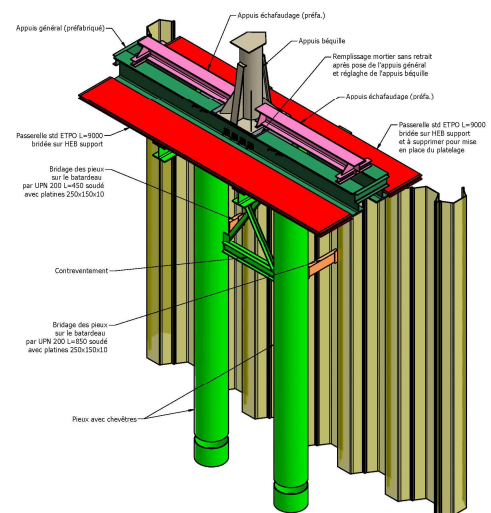
*Continuous pouring was used for the first lift of the hinged piers. The concrete was poured and vibrated from openings in the upper surface formwork. The two final segments were poured after the steel arch had been mounted.*



Hinged pier B2



Outil coffrant des béquilles – Vues isométriques



Travelling form for hinged piers – Isometric views

#### 4.4. Les palées provisoires

Pour les besoins du lancement, quatre palées provisoires ont été mises en place dans le lit de la Maine. Elles sont constituées de quatre tubes  $\square 813$  mm battus par une grue sur ponton, de jackets de contreventement pré-assemblés sur la berge, et d'une plate-forme de travail rétractable en tête.

#### 4.4. The temporary pile frames

Because of the push launching method used, four temporary pile frames were constructed in the Maine River bed. They consisted of four 813 mm diameter tubes driven by a barge crane, bracing jackets preassembled on the banks and a retractable platform at the top.

### 5. LES TRAVAUX DE CHARPENTE MÉTALLIQUE

La fabrication des éléments de tablier a débuté dans les ateliers de Baudin-Chateauneuf en juillet 2008. Le tablier, d'un poids total de 1900 tonnes, a été tronçonné en 60 éléments, d'un poids variant entre 14 et 47 tonnes, pour une longueur courante de 25 m. Après application de la première couche du système de protection anticorrosion, les tronçons ont été acheminés sur site par convois routiers, par séries de 5 éléments constituant une tranche complète de tablier. Les tronçons ont été directement déchargés, réglés et assemblés sur la plate-forme provisoire de lancement, située dans l'emprise de l'ouvrage en rive gauche, entre les appuis P5 et C7.

### 5. STEELWORK

Manufacture of the deck components began in Baudin-Chateauneuf's workshops in July 2008. The deck, weighing a total of 1900 tonnes, was divided into 60 components, varying in weight from 14 to 47 tonnes, for a typical length of 25 m. After the first layer of the corrosion protection system had been applied, the segments were transported to the site by road train, in 5-component lots, each comprising a complete deck section. The sections were unloaded directly, adjusted and assembled on the temporary launching platform located within the perimeter of the bridge on the east bank between piles P5 and C7.

Cette plate-forme, d'une longueur de 55 m environ, permet d'assembler dix tronçons. La portion droite du tablier a ainsi été lancée en cinq phases de 50 m chacune, à un mètre environ au-dessus de son niveau définitif. Les dix derniers tronçons, situés dans la partie courbe, ont été posés à la grue.

The platform, about 55 m in length, was long enough to assemble ten sections. The straight section of the deck was launched in five 50-metre phases, about one metre above the final level. The last ten sections, located in the curved part, were crane-lifted into position.

Un abri constitué de portiques mobiles a permis de réaliser les opérations de soudage dans des conditions proches de celles de l'atelier et de s'affranchir des aléas liés aux intempéries. La durée d'un cycle complet (rabotage, mise en peinture, lancement) est de l'ordre de quatre semaines. La pose de l'étanchéité s'est déroulée en temps masqué sur la portion déjà lancée.

A shelter comprising moving gantries was used to carry out the welding operations under workshop conditions and avoid the potentially disruptive effects of inclement weather. A complete cycle (lapping, painting and launching) took about four weeks. Waterproofing was carried out concurrently on the portion already launched.

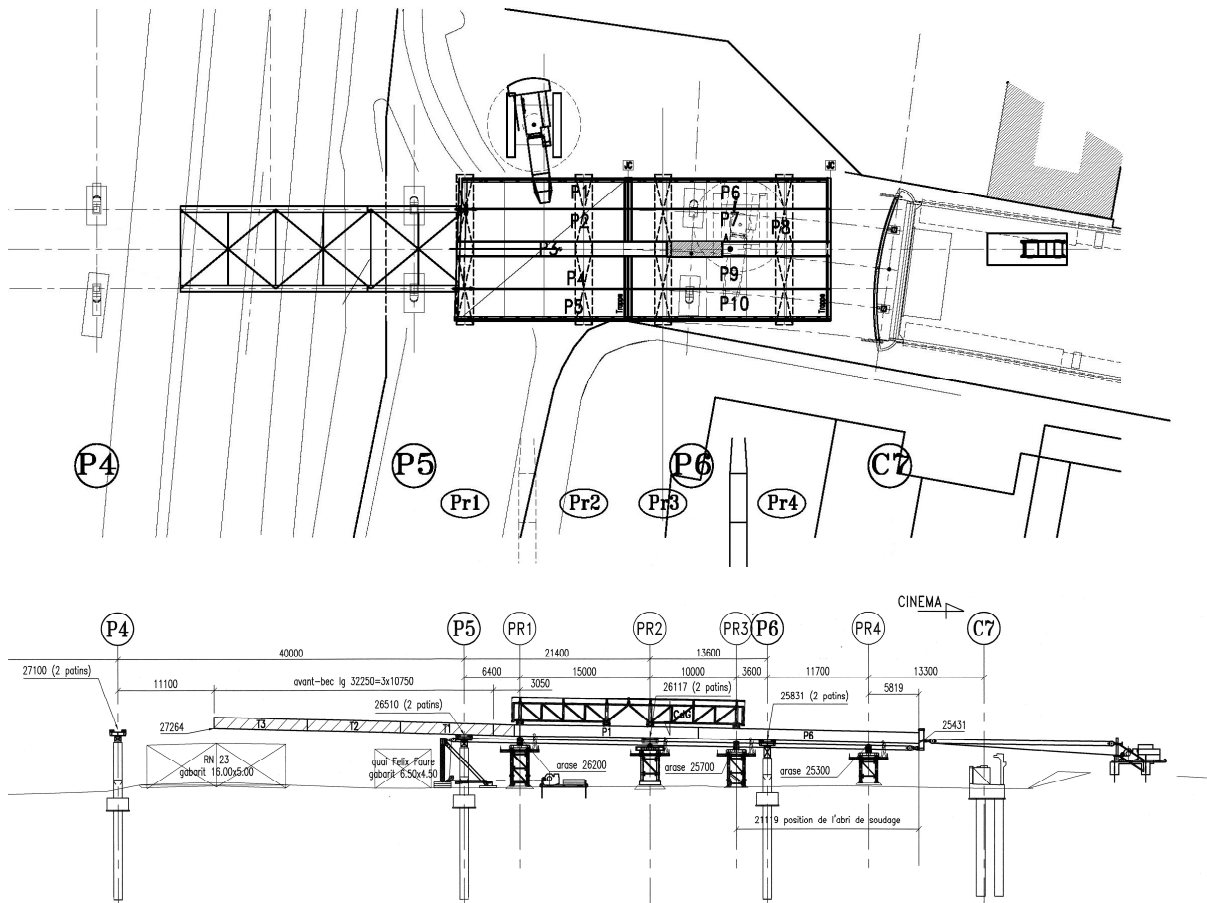


Plate-forme d'assemblage et de lancement / Assembly and launching platform

Un avant-bec de 35 m a été utilisé pour soulager le porte-à-faux. Les trois tronçons le constituant ont été levés et assemblés au-dessus de la voirie en rive gauche, de nuit, avec fermeture par demi-chaussée et basculement des circulations sur la RD 323, de manière à ce que le tronçon en cours d'assemblage ne soit jamais au-dessus d'une voie circulée.

Le dispositif de traction était constitué d'un treuil à câble équipé de lests, positionné sous l'ouvrage entre les appuis P5 et P6, et agissant à l'arrière de la structure à lancer, par l'intermédiaire d'une potence de traction fixée au tablier. Le point fixe du système, placé sur P5, est une structure métallique triangulée prenant appui sur les pieds des deux fûts de pile. Ce dispositif est complété par un treuil de retenue ancré dans le remblai à l'arrière de la culée C7. Les chaises de lancement, placées sur les piles et culées et sur les palées provisoires en rivière, sont des balancelles équipées de deux patins en téflon. Un dispositif de guidage latéral a également été mis en place sur chacune des files d'appui.

A 35-meter launching nose was used to relieve the cantilever. The three sections forming the nose were lifted and assembled above the roadway on the east bank at night closing one lane and diverting traffic to road RD 323, so that the section being assembled was never above the traffic.

The traction device consisted of a ballast cable winch, located under the bridge between piers P5 and P6, and operating from behind the deck section to be launched, using a crane hoist fixed to the deck. The fixed point of the system, placed on P5, was a triangulated metal structure resting on the base of the two pile shafts. This was completed with a retaining winch anchored to the embankment at the rear of abutment C7. The launching supports, placed on the piers and abutments and on the temporary pile frames in the river, took the form of monorails equipped with two Teflon skids. A lateral guide was also installed along each of the support lines.



Lancement 3/ *Launch 3*



Fin du lancement / *End of launching*



Tablier avant descente sur appuis / *Deck before being placed on the substructure*

L'arc, d'un poids total de 225 tonnes, a été fractionné en 6 éléments. Après un montage à blanc à plat en atelier, les tronçons ont été acheminés sur site début janvier 2010. Déchargés sur le tablier à l'aplomb de leur position définitive, ils ont été assemblés deux à deux avant levage et présentation sur quatre tours d'étalement montées sur le tablier.

Au terme d'un premier délai de travaux de 26 mois, l'ouvrage sera libéré fin avril 2010 pour la pose de la voie et de ses équipements. Les travaux de finition (pose des superstructures et équipements de l'ouvrage, réglage final de la suspension) seront réalisés dans une seconde phase, pour une réception finale prévue au mois de septembre 2010.

## 6. FICHE TECHNIQUE

- Longueur totale : 293 m
- Largeur du tablier : 18,10 m
- Charpente métallique : 2140 t (tablier : 1900 t, arc : 225 t ; escaliers : 15 t)
- Béton de structure : 4600 m<sup>3</sup> (C30, C35, C40, C60), Armatures passives : 600 t
- Béton hydraulique : 1460 m<sup>3</sup>
- Pieux : 400 ml (Ø800, 1000, 1200 mm), inclusions rigides : 2400 ml (Ø400 mm), micropieux : 820 ml
- Délai de réalisation : 29 mois de travaux à compter de février 2008

## 7. INTERVENANTS

- Maîtrise d'Ouvrage : Communauté d'Agglomération Angers Loire Métropole
- Mandataire du Maître d'Ouvrage : Groupement TSP (Transamo – Sara – IM Projet)
- Maîtrise d'œuvre - Concepteurs : Egis JMI (mandataire), Architecture et Ouvrages d'Art (Lavigne-Chéron), Atelier Avena (paysagiste), Ece Environnement.
- Laboratoire Contrôles Extérieurs : CETE / LRPC
- Entreprises : Groupement ETPO (Génie Civil) / Baudin-Chateauneuf (Construction Métallique)
- Sous-traitants : Semen Tp, Fugro Géotechnique, Infraco, Guintoli, Welbond Armatures, Etic, Aximum, Tcmi, Etde, Rousseau, Goujeon Paysage, Pro Soudure, Sotarpi, Lorlev, Norisko Equipements, Mie Sols Résines.
- Bureaux d'étude d'exécution : Cogeci, Snf Igoa.

*The arch, with a total weight of 225 tonnes, was divided into 6 components. After trial assembly in the workshop, the sections were transported to the site at the beginning of January 2010. After being unloaded on the deck according to their final position, they were assembled two at a time before being hoisted onto four shoring towers mounted on the deck.*

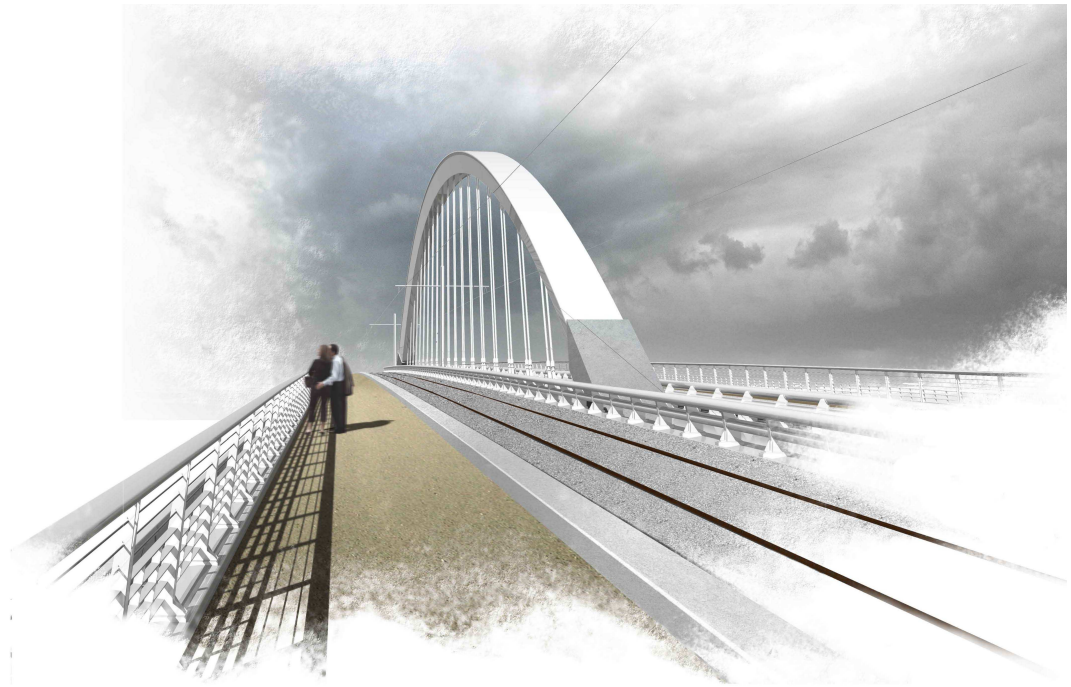
*After an initial 26-month construction period, the bridge will be ready for installation of the tram tracks and furniture at the end of April 2010. The finishing work (installation of bridge superstructure and furniture) will be carried out in a second phase, whose final acceptance is scheduled for September 2010.*

## 6. TECHNICAL DATA SHEET

- Total length: 293 m
- Deck width: 18.10 m
- Steelwork: 2140 t (deck: 1900 t, arch: 225 t; stairs: 15 t)
- Structural concrete: 4,600 cu.m. (C30, C35, C40, C60), Reinforcements: 600 t
- Hydraulic concrete: 1460 cu.m.
- Piers: 400 ml (Ø 800, 1000, 1200 mm), rigid inclusions: 2400 m (Ø 400 mm), micropiles: 820 m.
- Delivery deadline: 29 months of construction starting February 2008

## 7. PARTNERS

- Client: Communauté d'Agglomération Angers Loire Métropole
- Client's Representative: TSP consortium (Transamo, Sara, IM Projet)
- Project management – Designers: Egis JMI (representative), Architecture et Ouvrages d'Art (Lavigne-Chéron), Atelier Avena (landscape architect), Ece Environnement.
- Outside verification laboratory: CETE / LRPC
- Contractors: Consortium: ETPO (Civil Engineering) / Baudin-Chateauneuf (Steel Construction)
- Subcontractors: Semen Tp, Fugro Géotechnique, Infraco, Guintoli, Welbond Armatures, Etic, Aximum, Tcmi, Etde, Rousseau, Goujeon Paysage, Pro Soudure, Sotarpi, Lorlev, Norisko Equipements, Mie Sols Résines.
- Consultancy: Cogeci, Snf Igoa.



*Vue d'artiste depuis le trottoir amont / Artist's view from the upstream sidewalk*