



Un pont levant pour la cité rouennaise

>>> LE PRINCIPE D'UN SIXIÈME FRANCHISSEMENT DE LA SEINE À ROUEN A ÉTÉ ADOPTÉ DE LONGUE DATE.

L'OUVRAGE, QUI VOIT AUJOURD'HUI LE JOUR DANS LES QUARTIERS OUEST DE ROUEN, SE DESSINE SOUS LA FORME

D'UN PONT LEVANT DE 120 M DE PORTÉE ET 55 M DE TIRANT D'AIR. ALLIANT UNE ARCHITECTURE LÉGÈRE

ET ÉLÉGANTE À UNE TECHNICITÉ EXCEPTIONNELLE, IL RÉUSSIT BRILLAMMENT SON INTÉGRATION DANS LE PAYSAGE

ROUENNAIS. CE PONT LEVANT, LE PLUS GRAND DE FRANCE, A D'AILLEURS ÉTÉ RÉCOMPENSÉ PAR UNE MENTION

SPÉCIALE AU GRAND PRIX DE L'INGÉNIERIE 2006.



1



2

Le sixième pont sur la Seine n'a pas pour unique vocation de faciliter les déplacements dans l'agglomération rouennaise. Il est aussi le symbole d'un nouveau rapport entre la ville et son port. Le trafic entre les deux rives avoisine les 100 000 véhicules par jour. Aujourd'hui, faute de liaison directe, les véhicules empruntent des voies situées au cœur de la ville, privant celles-ci de leur véritable fonction urbaine. La mise en place de cette liaison facilitera la traversée par l'ouest et permettra le raccordement de

l'autoroute A13 au sud avec l'autoroute A150 au nord vers Dieppe et Le Havre, tout en aidant au développement des quartiers ouest de Rouen.

Trois possibilités, trois solutions envisagées

L'ensemble des solutions possibles a été envisagé : tunnel, pont fixe à gabarit maritime, pont levant. Le pont levant a été retenu, afin de conserver le gabarit maritime tout en préservant l'environnement. Suite à un concours de maîtrise d'œuvre, s'est imposée la proposition du groupement de concepteurs Arcadis, Michel Virlogeux (concepteur du pont de Normandie), Aymeric Zublena (architecte du Stade de France), Eurodim et Serf. L'ouvrage revêt un caractère exceptionnel par ses dimensions et ses caractéristiques techniques. Il culminera en effet à 86 m au-dessus des quais de la Seine et libérera un gabarit maritime de 55 m et un gabarit fluvial de 7 m de hauteur sur une portée biaise de 100 m. La longueur totale de l'ouvrage, viaducs d'accès compris, est de 670 m. Le pont est équipé d'une travée centrale constituée de deux travées indépendantes, qui se soulèvent horizontalement au-dessus

du niveau de la Seine pour permettre l'accès au cœur de la ville des bateaux de grande taille, des navires de la Marine nationale et des grands voiliers de l'Armada. Cette solution présente l'avantage de préserver les activités fluviales et portuaires. Mais le problème majeur était l'impact des tours de levage sur le site de la ville de Rouen. Les concepteurs, attentifs à l'empreinte de l'ouvrage dans le paysage, ont donc cherché à réduire autant que possible le volume du système de tours.

Une réalisation complexe

La construction de l'ouvrage a été confiée au groupement Quille-Eiffage-Eiffel-Buyck en 2004, avec une livraison fixée à décembre 2006. Ce pont est une réalisation exemplaire, complexe de par ses particularités techniques et ses contraintes architecturales. Les travaux comprennent la réalisation des deux

tours de levage implantées dans la Seine, reposant chacune sur un socle de section elliptique de 35 x 20 m fondé sur 18 pieux de 1,8 m de diamètre qui reprennent une charge de 15 000 t.

Chaque tour est constituée de deux fûts oblongs en béton de 70 m de haut, couronnés chacun par une charpente métallique en "papillon". Quatre gabions de 20 m de diamètre et de 16 m de hauteur remplis de tout-venant protégeront les piles en cas de choc avec un bateau. Deux tabliers à travées levantes métalliques (poutres caissons de 120 x 17 m) en dalle orthotrope, suspendus à un ensemble de câbles et de poulies situé au sommet des pylônes en béton, complètent l'ensemble.

La construction des socles fut l'opération la plus sophistiquée. Ces socles, qui abriteront à terme les mécanismes de levage, ont été mis en œuvre par dévérinage, tout comme les gabions. La technique consiste à construire chaque

>>> **1** Les fondations du gabion amont. **2** La construction des socles, destinés à abriter les mécanismes de levage, fut l'opération la plus complexe. Dix-huit pieux bétonnés au fond de la Seine assurent les fondations.

3 Les gabions de 20 m de diamètre et 16 m de hauteur protégeront l'ouvrage en cas de choc avec un bateau. **4** La qualité architecturale de cet ouvrage exigeait une qualité et une régularité maximales pour les parements en béton de teinte gris clair.

chiffes clés

- Portée entre appareils d'appui : **117 m**
- Pylônes de **66,30 m** de hauteur de forme elliptique
- Papillons de **16,10 m** de hauteur pour un poids de **525 t**
- Fondations des socles : **36 pieux de diamètre 1 800**
- Béton : **21 000 m³**
- Armatures : **3 000 t**
- Aciers pour travées levantes : **2 230 t**
- Aciers pour papillons : **365 t**
- Gabarit fluvial : **7 x 70 m**
- Gabarit maritime : **55 x 86 m**



3

4

structure, les deux socles et les quatre gabions, au sommet des pieux préalablement forés, au-dessus de l'eau, par assemblage d'éléments préfabriqués en béton. Puis on descend la structure pré-assemblée au moyen d'un système de dévérinage synchronisé. Il a d'abord fallu forer 18 pieux de 1,80 m de diamètre et de 20 m de profondeur, pour les bétonner ensuite dans le fond de la Seine. Le socle ovale de 35x20m a alors été construit au-dessus de l'eau, sur ces fondations. Puis il a été descendu au fond du fleuve en glissant le long des tubes. Les deux piles fixes, sur lesquelles reposeront les travées levantes, ont été construites sur le dessus du socle.

La difficile étape de la construction des pylônes

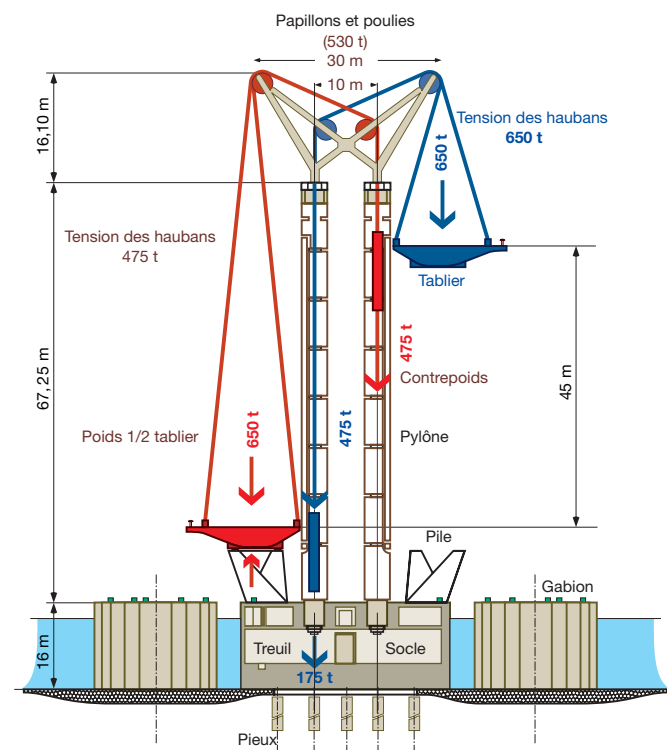
Intervient ensuite la construction des pylônes à l'aide de coffrages grimpants. En août 2006, les papillons métalliques, amenés par voie maritime et fluviale, ont été posés. Les pylônes soutiendront le tablier du pont en phase de levage. L'ouvrage en phase de service repose sur des piles posées sur le socle. Les pylônes doivent répondre à trois objectifs : être de teinte claire et uniforme,

>>> Le système de levage

Le système de levage, très simple, est à câbles et à contrepoids.

Il permet de lever facilement une charge très lourde (1 300 t) sur une course longue (près de 50 m) en 12 minutes. Chaque tablier est suspendu par deux séries de câbles inclinés, ancrés de part et d'autre de la chaussée.

Le poids de chaque travée est en grande partie équilibré par des contrepoids de 475 tonnes logés dans les fûts des tours. Ces contrepoids ne sont pas bloqués lorsque la travée est descendue. Ils équilibrent donc en permanence la plus grande partie du poids de la travée, ne la laissant reposer sur ses appuis qu'avec un poids apparent de 350 t. Pour le levage, des treuils, situés dans le socle, assurent l'effort complémentaire pour soulever le tablier. La transmission entre les treuils et le tablier s'effectue par les câbles qui remontent vers la tête de pylône,



sont déviés par les blocs poulies des "papillons" et redescendent vers le tablier. Pendant le levage, les contrepoids se translatent à l'intérieur des pylônes. Le tablier est guidé par un chariot roulant dans une rainure latérale le long

de chacune des tours, évitant ainsi tout déplacement horizontal. Chaque tablier peut être levé séparément. On peut également le bloquer à n'importe quel niveau, en fonction de la taille du bateau.



5



6



7

>>> **5** Hauts de 86 mètres, les quatre pylônes dépassent d'un mètre la tour des Archives ! **6** Ces pylônes comprennent quatre fûts cylindriques en béton armé. La section d'un fût est de 4,35 m de largeur, de 9,50 m de longueur et de 0,35 m d'épaisseur. **7** Vue des pylônes rive gauche avec le "papillon" posé au sommet des piles. **8** Détail d'un "papillon" (400 tonnes et 32 poulies) et de ses câbles de levage.

technique

Des bétons "sur mesure"

La teinte du béton des pylônes était de première importance pour la qualité architecturale de cet ouvrage. Le cahier des charges soumis à l'entreprise exigeait une teinte gris clair et une qualité et une régularité maximales des parements. Les fûts verticaux des tours sont donc en béton gris clair, évoquant ainsi le surgissement du calcaire des sols géologiques du Bassin parisien qui traverse la Seine. "Le choix des matériaux exprime les options structurelles et symboliques", complète l'architecte.

Pour répondre à l'ensemble des attentes – teinte et qualité de parement –, l'entreprise a travaillé d'une part sur la conception des outils coffrants, et d'autre part sur le béton et les procédures de mise en œuvre. Concernant les coffrages, des outils coffrants grimpants métalliques sans tiges traversantes, constitués de deux demi-coquilles extérieures, ont permis de réaliser le pylône par levées successives de 4 m. Pour le béton, plusieurs formulations ont été testées. Leurs principales performances sont une résistance caractéristique à 28 jours de 40 MPa ; une bonne maniabilité avec une valeur au cône de l'ordre de 20 grâce à l'utilisation d'un superplastifiant ; une valeur d'E/C inférieure à 0,45 ; l'utilisation d'un ciment présentant un indice de clarté élevé. Le choix de l'architecte et du maître d'œuvre s'est porté sur un béton de classe de résistance C40/50 formulé avec un CEM III/A 42,5 N CE PM-ES-CP1 NF dosé à 400 kg/m³. Il a ensuite fallu valider l'adéquation de la formulation avec les outils coffrants et les méthodes de mise en œuvre des bétons. Pour ce faire, l'entreprise a réalisé un élément témoin de pylône constitué de deux levées de 4 ml.

offrir une tolérance de verticalité inférieure à 10 mm, et le coffrage doit progresser à raison d'un cycle de deux levées tous les deux jours.

La formulation du béton, extrêmement pointue, a été mise au point par la direction technique de Quille. Afin d'optimiser la cinétique de prise et de durcissement du béton exigée par le respect du cycle de progression du coffrage, le chantier a fait appel à la technique de la "maturométrie". Les coffrages étaient également isolés par flocage et chauffés.

Des lasers de visée pour garantir la verticalité

Pour assurer le levage, la construction devait accorder un soin particulier au respect des tolérances géométriques. Les pylônes sont donc érigés avec une parfaite verticalité grâce, en particulier, à l'utilisation de lasers de visée verticale.

L'ouvrage a également fait l'objet d'une étude au vent très complexe. Des études climatologiques ont permis de détermi-

ner les caractéristiques précises du vent sur le site. Des essais en soufflerie sur maquette ont permis de valider, entre autres, le choix de la section du tablier, le comportement de l'ouvrage et l'influence d'un tablier sur son jumeau en fonction de la direction du vent. Ont aussi été étudiés les effets du décalage de hauteur entre les deux tabliers pendant les manœuvres de levage, tandis que l'on définissait des systèmes d'amortisseurs permettant d'éliminer les risques de vibration.

Preuve supplémentaire de sa haute technicité et de sa parfaite intégration dans le site, l'ouvrage a été récompensé par une mention spéciale au Grand Prix national de l'Ingénierie décerné par le ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer, en partenariat avec la Fédération professionnelle de l'ingénierie. ■

TEXTE : MARTINE MEILHOC

PHOTOS :

OUVERTURE, 3, 4 ET 8 ARNAUD BERTEREAU – 7, NICOLAS VERCELLINO – 1, 2, 5 ET 6 QUILLE



8

P

oint de vue de l'architecte Aymeric Zublena

« 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 celle de la tour sud du parvis de la cathédrale. »



La mémoire et l'identité de Rouen se lisent à travers ses paysages qui gardent les traces de son histoire. Le centre-ville et le port maritime sont les deux visages d'une même ville, les paysages physiques et symboliques d'un lieu unique.

La conception du sixième franchissement de la Seine, au seuil du centre-ville et du port maritime, était une occasion unique d'imaginer un monument urbain qui deviendrait un élément d'identification du site, un repère dans un environnement naturellement destiné à se transformer. Il s'agit 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.

Au geste par trop ostentatoire et soumis à la mode d'un moment, nous avons préféré une approche sobre, économe, et surtout parié sur la vertu plastique de la lisibilité des forces et des mouvements sans artifice complémentaire. Nous avons rejeté les solutions aux dessins trop complexes dans ce paysage urbain aux échelles et formes déjà multiples. Pour donner sa bonne mesure à l'ouvrage

sur la Seine, et notamment 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 aussi de minimiser l'obstacle formé par les piles en rivière en les dirigeant dans le sens du courant, tout en renforçant leur résistance en cas de choc avec un bateau. 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 celle de la tour sud du parvis de la cathédrale. Ces tours sont dédoublées en deux fûts pour en augmenter l'élanement et réduire au minimum les effets de masque. Leur section oblongue permet à la lumière d'y glisser ses nuances.

La structure supérieure de levage, le "papillon", en porte-à-faux symétrique de part et d'autre des tours, est une structure métallique tubulaire construite dans un vocabulaire qui réinterprète les superstructures des navires et des grues du port maritime. Les poulies et les câbles apparents donnent à voir et à comprendre le principe de levage du pont. L'élanement 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. Les escaliers d'accès piétonnier à l'ouvrage sont traités dans le même souci de sobriété qui a présidé à la conception de l'ensemble : des emmarchements intégrés entre deux poutres de rives rectilignes. ■

« Au geste par trop ostentatoire et soumis à la mode d'un moment, nous avons préféré une approche sobre... »



Maître d'ouvrage :
ministère de l'Équipement, des
Transports et du Logement

Maître d'œuvre :
DDE 76

**Maître d'œuvre
de conception :**
Arcadis – Serf – Michel Virlogeux
– Aymeric Zublena architecte –
Eurodim

Entreprise :
groupement conjoint Quille
(mandataire) – Eiffage – TP/Eiffel –
Victor Buyck SC

Coût :
50 M€ HT
Lot génie civil : 22 M€
Lot charpente métallique :
10 M€
Lot mécanismes : 18 M€



→ Le béton à l'épreuve du froid

La construction du viaduc de la Colagne, en Lozère, a exigé une phase d'étude d'une précision exceptionnelle. Objectif : assurer une cinétique de prise adaptée lors des travaux et une durabilité parfaite malgré les futures agressions du gel.

Trente-six mois de travaux, une longueur et une hauteur hors normes, des quantités de matériaux rarement atteintes : le viaduc de la Colagne cumule les records. En toute discrétion pourtant, il affiche les mensurations du plus imposant ouvrage d'art jamais bâti en Lozère. Il constituera à son entrée en service, prévue fin 2007, le principal maillon de raccordement entre la RN 88 (Lyon-Toulouse) et l'autoroute A75 (Clermont-Ferrand-Millau-Béziers), donc le principal vecteur du désenclavement de cette région très montagneuse.

Appréciable gain de temps

La profonde vallée du Lot, qui inclut celle de la Colagne, était jusqu'à présent très isolée malgré son statut de point de passage obligé vers le sud. Pour 61 millions d'euros, dont la moitié investis dans le viaduc, la ville de Mende se situera 5 km plus près de l'autoroute A75. Les automobilistes y gagneront à la fois un temps appréciable et une plus grande sécurité.

Commencé en automne 2003, le chantier a respecté le phasage prévu. Pour autant, rien n'était joué d'avance. André Mascarelli, l'architecte du viaduc, a conçu un projet impliquant l'emploi de 21 000 m³ de béton. Culminant à 108 m au-dessus du cours paisible de la Colagne – une rivière "à truites", dit-on –, la plus haute pile de l'ouvrage se signale de loin aux visiteurs. Le tablier aussi, avec son épaisseur variant de 5 m à 11 m. Son caisson en béton précontraint, d'une largeur utile de 18,10 m, sera couvert par une plateforme de circulation comprenant 2x2 voies de 3,50 m chacune, et un terre-plein central. D'une longueur totale de 663 m, construit par encorbellements successifs, il se décompose en cinq travées de 83 m, 148 m, 190 m, 151 m et 91 m de longueur. Les voussoirs constituant le tablier, coulés sur site à l'aide d'une paire d'équipages mobiles ont, à eux seuls, requis 120 m³ de béton à chaque phase de bétonnage. C'est peu dire qu'à la Colagne, le béton est omniprésent...

Les piles P2 et P3, hautes respectivement de 108 m et 92 m, sont fondées sur des puits marocains de 7,30 m de diamètre. Constituées d'un fût en forme d'ovoïde, elles sont réalisées à l'aide de coffrages grimpants par levées de 4 m.

Compte tenu de la grande hauteur des piles et de la dimension des fléaux (190 m) en cours de construction, l'ouvrage est particulièrement sensible aux

chiffres clés

- Longueur totale : **663 m**
- Coffrages : **52 000 m²**
- Béton : **21 000 m³**
- Armatures passives : **3 100 t**
- Armatures de précontrainte : **800 t**
- Durée du chantier : **36 mois**

effets du vent. Il a fait l'objet d'études précises pour valider la stabilité des fléaux au cours de toutes les phases de construction. Ils ont ainsi été cloués sur les têtes de pile avec des câbles de précontrainte, et haubanés par d'autres câbles ancrés au niveau des fondations.

Des conditions de bétonnage particulièrement difficiles

Vincent Rouch, le chef de chantier de Spie Batignolles TPCI, l'entreprise mandataire, le confirme volontiers : "Ce n'est pas sans raison que le béton a été mis au point par le bureau d'études spécialisé de Spie selon des formulations spéciales particulièrement précises." Pourquoi un tel souci et un tel soin ? Un chiffre à lui seul vaut réponse : au mois d'avril 2006, l'équipe de Spie a coulé du béton par $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$! Quand on sait combien il est difficile de maîtriser la prise et le durcissement du matériau à cette température extrême, on comprend la complexité du problème. D'autant que le viaduc devra également se montrer résistant au gel durant toute sa durée de service. Concrètement, hormis les bétons des puits et des pieux, réalisés en béton de classe de résistance C 35/45 classique, toutes les autres formulations ont intégré ces paramètres. Y compris, bien entendu, pour les longrines et pour les corniches-caniveaux. Le caisson en béton précontraint est coulé en béton de classe de résistance C 60/75, assez complexe à fabriquer car sujet aux variations des éléments fins du sable fourni localement, préconisation imposée par le maître d'ouvrage.

Du béton produit *in situ*

Eu égard à l'ampleur du défi à relever, la réussite est complète. Le béton était produit sur le chantier dans deux centrales implantées sur chaque rive. L'objectif permanent était d'obtenir un maintien en rhéologie correct, bien sûr, mais aussi une résistance au jeune âge la plus élevée possible. Pour ce faire, "ce ne sont pas les 15 MPa rendus nécessaires au

décoffrage qui s'avéraient les plus pénalisants, mais bien les 23 MPa que nous étions tenus d'obtenir 15 à 18 heures après le bétonnage afin de tendre les câbles de précontrainte de construction", précise Vincent Rouch. Le dosage et la nature de l'adjuvantation auront donc aussi été optimisés.

Les teneurs en eau de la formulation ont été adaptées et ajustées en fonction des heures de coulage et donc des températures. Sans que l'équipe de Vincent Rouch, vite "vaccinée" contre les aléas de la météo, en soit pour autant déstabilisée. Simplement plus concentrée et attentive encore que dans des conditions habituelles... D'autant qu'elle peut se fier à l'expérience d'André Mascarelli. Il s'était également vu confier le projet du viaduc de Verrières, un peu plus loin sur l'A75. "Verrières connaît la même exposition au grand froid. Et les délais de livraison ont été parfaitement respectés, sans que le climat hivernal ni les différences de température entre la saison froide et l'été ne perturbent ni ne dégradent la structure en béton." Et il n'y a aucune raison pour que des conditions thermiques similaires influent différemment sur la construction du plus grand viaduc de Lozère... ■

TEXTE : SIMON ARTZ

PHOTOS : SPIE BATIGNOLLES

Maître d'ouvrage :
DDE de la Lozère

Maître d'œuvre :
Arrondissement inter-départemental des ouvrages d'art (AIOA)

Architecte :
André Mascarelli

Bureau d'études et contrôle :
SETRA

Études d'exécution :
direction technique de Spie Batignolles

Entreprise :
Spie Batignolles TPCI

Coût :
31 M€ TTC



1



2



3



4

>>> **1** La section des piles est pratiquement constante sur les petites (P 1 et P 4) et plus complexe sur les P 2 et P 3, avec un profil variable sur les 32 premiers mètres. **2** L'entreprise de construction a utilisé des coffrages semi-grimpants par levées de 4 mètres. **3** Démarche esthétique : les fûts ovoïdes sont parés d'engraves. **4** Le tablier est coulé en place par encorbellement à l'aide d'équipages mobiles.