

© WILKINSON EYRE ARCHITECTS

CONCEPTION DU PONT SAINT-LAZARE

AUTEUR : RÉGIS BOUTES, INGÉNIEUR SENIOR, ARCADIS

SITUÉ SUR LE FAISCEAU FERROVIAIRE LE PLUS FRÉQUENTÉ DE PARIS, LE NOUVEAU PONT SAINT-LAZARE REPRÉSENTAIT UN DÉFI RELEVÉ PAR LE GROUPEMENT WILKINSON EYRE ARCHITECTS - ARCADIS - LIGHT CIBLES. LA CONCEPTION TECHNIQUE DE L'OUVRAGE A PERMIS DE CONCILIER UNE IMAGE ARCHITECTURALE FORTE ET DE NOMBREUSES CONTRAINTES D'ENVIRONNEMENT URBAIN ET FERROVIAIRE.

CONTEXTE

Dans le cadre de l'opération d'aménagement de la ZAC Clichy-Batignolles, plusieurs franchissements du faisceau Saint-Lazare sont prévus pour relier la ZAC au lotissement Saussure.

Parmi ces franchissements, un pont situé au-dessus des quais de la gare Pont-Cardinet a pour objectif de créer un lien piéton, cycliste et routier entre ces deux nouveaux quartiers (figure 2). Le programme de la Ville de Paris demandait un pont de 125 m de long avec une largeur utile de 14 m permettant le passage de bus articulés, le passage de réseaux et la possibilité de créer ultérieurement une connexion avec les quais de la gare.

Le marché de maîtrise d'œuvre du pont a fait l'objet d'un concours restreint entre fin août et fin novembre 2012.

Le groupement Wilkinson Eyre Architects - Arcadis - Light Cibles a été annoncé vainqueur au printemps 2013 avec une notification du marché en août 2013.

La phase conception s'est déroulée jusqu'en mars 2015 pour une notification du marché de travaux en juin 2015 au groupement Nge GC - Baudin-Chateaufort - G.T.S. avec une fin du délai contractuel en août 2017.

PLAN DE REPÉRAGE



2

© PARIS BATIGNOLLES AMÉNAGEMENT

CONTRAINTES

L'environnement de l'ouvrage a pour conséquence d'imposer de nombreuses contraintes pour la conception finale mais aussi pendant les phases de construction. L'ensemble des contraintes est représenté de façon schématique sur la figure 3.

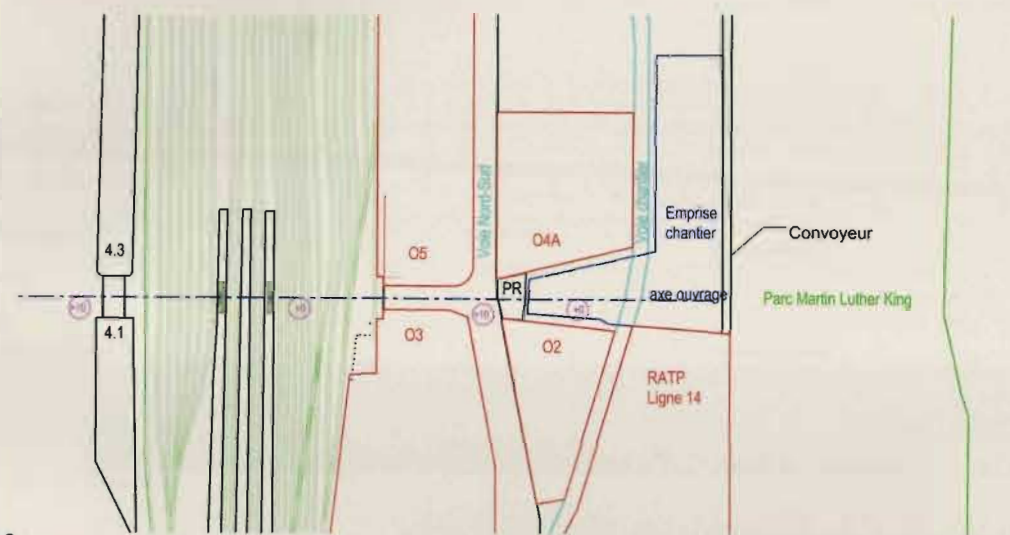
1- Vue du pont pour le concours.
2- Plan de repérage.

1- View of the bridge for the design contest.
2- Location drawing.

CONTRAINTES FERROVIAIRES

La gare Pont-Cardinet est située à 1,5 km au nord de la gare Saint-Lazare sur le faisceau le plus emprunté de la capitale. Large de 125 m au niveau du futur franchissement et encaissé en moyenne de 10 m par rapport au niveau de la voirie, il est composé de voies de maintenance et de voies circulées.

ENVIRONNEMENT



3

Les principales contraintes amenées par le franchissement du faisceau ferré sont :

- De limiter au maximum les interruptions de trafic ferroviaire, ce qui limite fortement les méthodes de mise en place envisageables ;
- De limiter les emplacements possibles des appuis intermédiaires aux trois quais existants ;
- De respecter le gabarit ferroviaire, de 8,5 m dans la partie la plus défavorable ;
- La nécessité de prévoir des écrans de protection caténaires et anti-vandalisme de 2,50 m de hauteur sur les rives de l'ouvrage, composés d'une partie pleine de 1 m de hauteur en partie basse et d'une partie supérieure constituée d'une maille serrée.

3- Environnement.
4- Réservations côté Batignolles.

3- Environment.
4- Wall pockets on Batignolles side.

CONTRAINTES LIÉES AUX STRUCTURES EXISTANTES

Côté Saussure, la voirie est retenue par deux murs de soutènement en sol renforcé successifs dont un en limite d'emprise, sur l'emplacement de la future culée du pont. La réalisation de

celle-ci a donc nécessité le démontage du premier mur. Cette zone est par ailleurs limitée en largeur à environ 20 m par la présence de deux bâtiments neufs (appelés 4.3 et 4.1).

Côté ZAC Batignolles, une structure en béton armé, appelée dalle Batignolles, couvre des voies de garage de la SNCF, à environ +10 m par rapport aux voies et à l'emprise chantier disponible à l'arrière de cette structure. Deux emplacements sont réservés en tête du voile côté faisceau pour les bossages d'appui du pont (figure 4). Un poste de redressement (PR) sur lequel il n'est pas possible d'appliquer de charges se situe à l'arrière de la dalle Batignolles.

Enfin, le parc Martin Luther King constitue la limite arrière de l'emprise chantier.

CONTRAINTES LIÉES AUX STRUCTURES EN COURS DE CONSTRUCTION

Côté Batignolles, deux bâtiments (O3 et O5) sont en cours de construction en même temps que les travaux du pont, libérant ici aussi une largeur d'environ 20 m pour le passage de l'ouvrage. Une voie de circulation (voie Nord-Sud) permet l'approvisionnement des chantiers de la zone à l'arrière de ces bâtiments.

En contrebas de la dalle Batignolles, une autre voie de chantier doit rester en permanence ouverte.

Le long de la limite du parc Martin Luther King est situé un convoyeur à bandes permettant l'évacuation des déblais du tunnelier de la ligne 14.

CONTRAINTES LIÉES AUX RÉSEAUX

Le pont doit permettre le passage de nombreux réseaux, en particulier le réseau de chauffage urbain constitué de deux gaines Ø 350 et le réseau de collecte pneumatique constitué d'une gaine Ø 500.

SOLUTION DU CONCOURS

La solution présentée au concours par le groupement était un ouvrage entièrement métallique s'appuyant sur deux des quais de la gare, conduisant à une répartition des travées de 43 m - 24 m - 54 m.

L'ouvrage présentait une largeur totale variable de 16,4 m sur les culées à 17,5 m au droit des piles. Le respect des niveaux de voirie et du gabarit ferroviaire conduisait à retenir un profil en long variable (figure 5).

Le tablier était constitué de deux caissons métalliques de hauteur variable incluant les supports latéraux des écrans de protection.

La hauteur sous chaussée était égale à 1,3 m. Des entretoises espacées de 3 m reliaient les caissons principaux. Une dalle orthotrope supportait la chaussée.

Des écrans verticaux variables en hauteur et en inclinaison équipaient les rives du tablier.

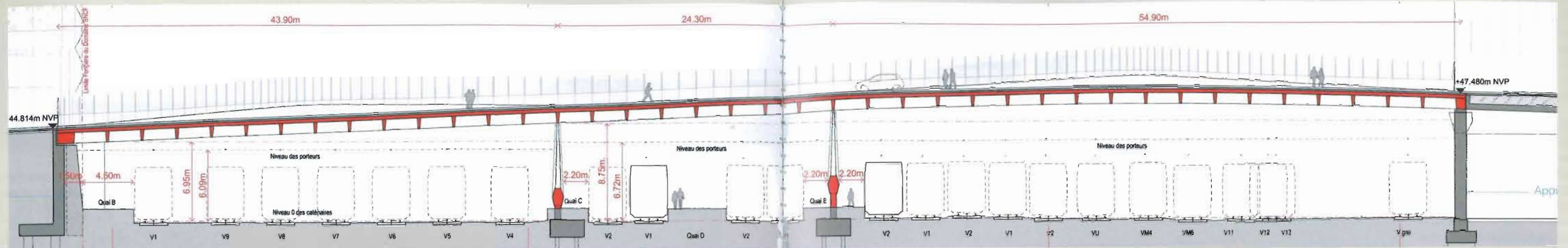
Les piles métalliques étaient constituées de caissons métalliques d'inertie variable formant un V. Le tablier était prévu encastré en tête de ces piles afin d'éviter les problèmes de maintenance d'appareils d'appui au milieu des voies ferroviaires. Les piles étaient fondées sur micropieux, avec une largeur limitée par les contraintes de maintien de circulation sur les quais pendant les phases travaux (figure 6).



4

© ARCADIS

COUPE LONGITUDINALE CONCOURS



5

© WILKINSON EYRE ARCHITECTS

Une mise en lumière du pont était réalisée par la mise en œuvre des dispositifs d'éclairage intégrés dans les protections verticales. L'ensemble du dispositif d'éclairage du pont était compatible avec les besoins de l'exploitation ferroviaire. Le tablier était assemblé au sol perpendiculairement à l'axe de l'ouvrage, levé à l'aide de chariots automoteurs dans l'alignement définitif puis lancé au-dessus de la dalle Batignolles et du faisceau ferroviaire.

ÉVOLUTION DE LA CONCEPTION

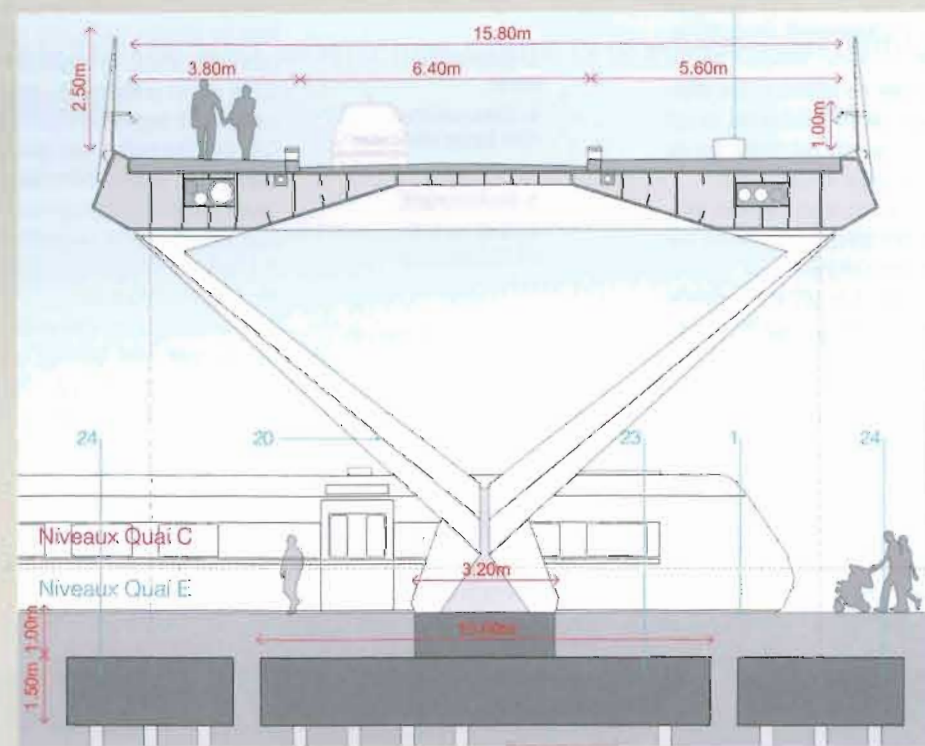
Les différentes phases de la conception ont vu évoluer certaines parties de l'ouvrage, l'objectif principal restant de conserver le parti architectural initial. Ainsi, les principes généraux tels que la répartition des travées, les variations du tablier ou la forme des piles sont restées conformes à la solution présentée au concours.

COUPE TRANSVERSALE

Les premières analyses de la section transversale ont montré que le fonctionnement global des différents éléments des caissons et de la dalle orthotrope était difficile à appréhender, en particulier à cause des hauteurs variables des supports d'écran et de la prise en compte des sections de classe 4 de l'Eurocode 3.

La structure du tablier a donc été simplifiée en retenant deux caissons rectangulaires sous les trottoirs pour reprendre la flexion générale. Les caissons latéraux ne participent plus à la résistance d'ensemble et maintiennent les écrans en flexion locale. Ces caissons ont cependant dû être raidis lors

COUPE TRANSVERSALE CONCOURS



6

© WILKINSON EYRE ARCHITECTS

des études d'exécution pour empêcher leur voilement, notamment au cours des phases de lancement. La dalle support de la chaussée, proche du centre de gravité des caissons latéraux, a, elle aussi, été négligée pour la résistance en flexion longitudinale du tablier. Elle reprend par contre les charges routières pour les transmettre aux entretoises puis aux caissons latéraux. Pour des raisons de coût, il a

5- Coupe longitudinale concours.
6- Coupe transversale concours.

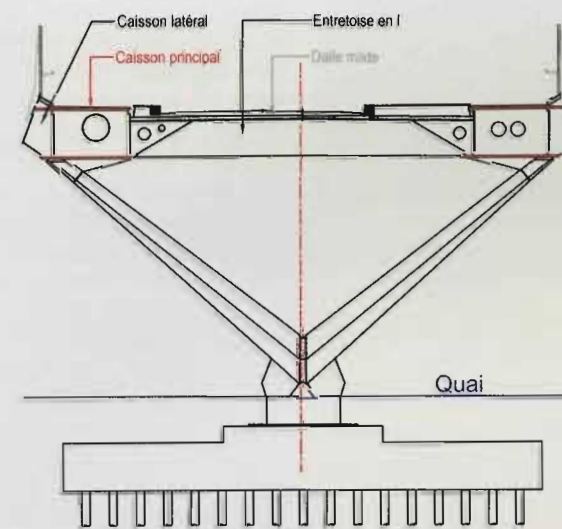
5- Design-contest longitudinal section.
6- Design-contest cross section.

d'abord été envisagé de remplacer la dalle orthotrope par une dalle en béton armé, ce qui posait des problèmes de poids et de coulage du béton au-dessus des voies.

Finalement, une dalle mixte a été retenue, ce qui permet de résoudre ces deux points.

La section finale est présentée sur la figure 7. La figure 8 montre le caisson lors de sa réalisation en atelier.

COUPE TRANSVERSALE PROJET



7

© APCADIS



8

© ABBÉVILLE

LIAISON PILE TABLIER

La volonté architecturale était d'avoir des piles les plus fines possible à la liaison avec le tablier. Il s'est avéré que, sous l'effet des déformations imposées, essentiellement dues à la température, il n'était pas possible de trouver une section permettant de reprendre les efforts induits. En effet, le renforcement de la section réduite conduisait

7- Coupe transversale projet.
8- Caisson en atelier.

7- Project cross section.
8- Box section in workshop.

à augmenter la raideur de la section et par conséquent les efforts à reprendre, ce qui imposait à nouveau de renforcer la section.

La première solution envisagée a été de mettre en place des appareils d'appui en tête des branches des piles. Cette approche remettait cependant en question l'idée initiale de ne pas avoir d'appareils d'appui à inspecter et maintenir sur les quais. Par ailleurs, compte tenu de l'inclinaison des branches et de la nécessité de placer les appuis horizontalement, il aurait été nécessaire d'ajouter un tirant en tête de la pile, ce qui ne correspondait pas à l'approche architecturale.

La solution retenue est de mettre en place un appareil d'appui à balancier à appui ponctuel au sens de la norme NF EN 1337-6, plus communément appelé « appui à grain ». Ce type d'appui est constitué d'une surface sphérique convexe roulant sur une surface sphérique concave de rayon plus important. Ces appareils d'appuis sont placés selon l'axe des branches de la pile, ce qui permet d'utiliser l'entretoise sur appui comme tirant, comme dans la solution encastree.

Ces appareils d'appui ne demandent pas de maintenance particulière.

FONDATION DES PILES

Les piles sont situées au droit des quais de la gare. Compte tenu de la nature des sols présents sur le site, des fondations profondes ont été envisagées dès le début de la conception. Le maintien de la circulation sur les quais, imposant une semelle de largeur réduite et donc un espace de travail très limité, ont conduit naturellement à des micro-pieux (figure 9).

Initialement, au stade du concours, les fondations de la pile définitive et des palées provisoires au droit des caissons étaient séparées. Les calculs menés au cours des phases ultérieures ont eu pour conséquence de mettre en place une semelle unique, donnant une image surprenante de cette fondation.

AMÉNAGEMENT DE LA CULÉE BATIGNOLLES

Comme indiqué précédemment, des réservations pour les bossages d'appuis étaient ménagées dans la dalle Batignolles. Ils présentaient cependant deux soucis majeurs. D'une part, ils n'étaient pas centrés par rapport à l'axe de l'ouvrage projeté et, d'autre part, ils ne permettaient que la mise en place de poutres principales, sans la hauteur disponible pour l'entretoise d'about. Il a donc été nécessaire de réaménager la dalle Batignolles en déplaçant une des réservations et en abaissant le niveau général de la dalle dont la couverture est constituée de poutres de grande hauteur et de dalles à des niveaux variables (figure 10). Un portique de protection de la voie SNCF la plus proche a été mis en place pour effectuer les travaux de démolition.

MISE EN PLACE DES STRUCTURES MÉTALLIQUES PILES

Chaque pile représentait un poids d'environ 30 t et a été découpée en 3 éléments (embase plus deux branches) d'une dizaine de tonnes chacun. La difficulté principale était l'acheminement de ces éléments sur les quais ainsi que leur mise en place proprement dite.

Un approvisionnement par rail a été envisagé mais le poids des éléments n'était pas compatible avec une grue sur rails. L'amenée d'une grue de capacité suffisante sur les quais posait elle aussi de nombreux problèmes.

La solution retenue pour le projet a donc été de mettre en place une grue de très forte capacité (700 t) côté Sausure, permettant d'amener les éléments de 10 t à 80 m, distance séparant la position de la grue du quai le plus éloigné (figure 12). Des palées provisoires, servant à maintenir les piles avant leur assemblage et à soutenir le tablier pendant les phases de lancement, sont amenées de la même façon.

Ces opérations sont faites sous interruption des circulations ferroviaires pour les voies survolées.

Cette solution a effectivement été mise en œuvre sur chantier.



9

TABLIER

La solution d'une mise en place par lancement s'est imposée dès le concours afin de limiter les interruptions de circulation ferroviaire.

La première contrainte rencontrée concerne l'emprise chantier.

En effet, celle-ci est environ 10 m plus bas que le niveau de la dalle Batignolles

9- Réalisation des micropieux.
10- Travaux culée Batignolles.

9- Execution de micropiles.
10- Work on Batignolles abutment.

et du niveau définitif de l'ouvrage. La solution de d'assemblage au sol et de levage puis déplacement par chariots automoteurs prévue au concours a dû être abandonnée. L'ajout du poste de redressement et du convoyeur à bandes entre la phase concours et les études de projet conduisaient à prévoir de nombreuses manœuvres très serrées.

La solution retenue a donc été de prévoir une plateforme de montage au même niveau que la dalle Batignolles et dans l'alignement de l'ouvrage en situation finale.

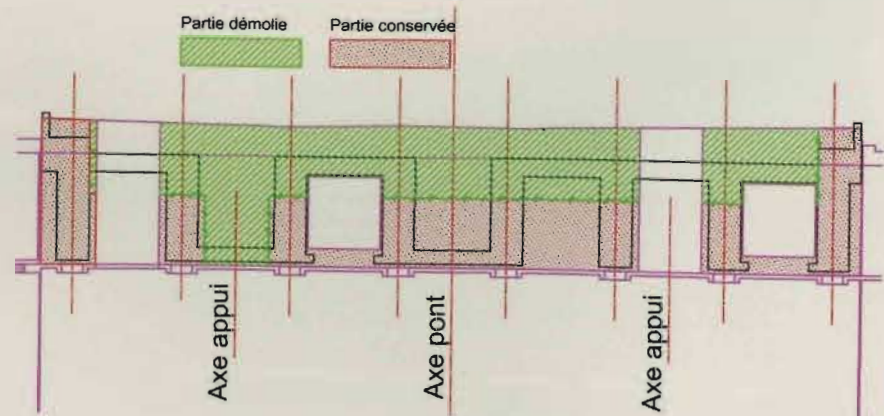
De plus, la longueur de l'emprise chantier était limitée par le poste de redressement d'un côté et le parc Martin Luther King de l'autre.

Le montage de la charpente a donc dû se faire en deux phases, avec un lancement intermédiaire entre ces deux phases.

Trois appuis de lancement étaient placés sur la dalle Batignolles, au plus proche des voiles supports afin de ne pas avoir à renforcer la dalle sous l'effet des charges importantes sur ces appuis lors de certaines phases (environ 400 t). Au cours du chantier, seuls deux appuis ont été mis en place sur la dalle, avec l'ajout d'un étai sous la dalle Batignolles au droit d'un des appuis de lancement.

Ces réactions d'appuis importantes sont notamment liées au profil en long non uniforme du tablier qui provoque des décollements d'appui pendant certaines phases, conduisant parfois à n'avoir plus que deux appuis actifs. Il est important de noter que lors du lancement au-dessus de la dalle Batignolles, les deux chantiers de bâtiments

TRAVAUX CULÉE BATIGNOLLES



10



11

avoisnants ont dû être interrompus afin de disposer d'un espace suffisant pour le tablier avec une marge d'environ 2 m entre celui-ci et les emprises des bâtiments.

Le passage au-dessus du faisceau ferroviaire était prévu le week-end du

11- Lancement.
12- Mise en place des piles.

11- Launching.
12- Placing the piers.



12

ABSTRACT

DESIGN OF SAINT-LAZARE BRIDGE

RÉGIS BOUTES, ARCADIS

The design of Saint-Lazare Bridge meets numerous constraints: crossing of the busiest railway sidings in the city, an environment constrained by buildings already existing or in construction, and compliance with the architectural image presented in the design contest. The solution adopted is a structure 125 m long and with a maximum width of 17.5 m. The deck is formed of steel box sections bearing a composite slab. The V-shaped piers are also in steel and are supported on foundations consisting of several rows of micropiles. From the outset the design factored in the requirements entailed by railway operations, in particular for definition of the construction phases. □

DISEÑO DEL PUENTE SAINT-LAZARE

RÉGIS BOUTES, ARCADIS

El diseño del puente Saint-Lazare plantea numerosos desafíos: el cruce de la red ferroviaria más concurrida de la ciudad, un entorno limitado por edificios construidos o en fase de ejecución y el respeto de la imagen arquitectónica presentada a concurso. La solución elegida es una construcción de 125 m de longitud por una anchura máxima de 17,5 m. El tablero está formado por cajones de acero que soportan una losa mixta. Los pilares en forma de V también son de acero y están soportados por varias filas de micropilotes. El diseño ha integrado desde el principio las exigencias relativas a la operativa ferroviaria, en particular en la definición de las fases de construcción. □

PRINCIPALES QUANTITÉS (PROJET)

BÉTON DE STRUCTURE : 900 m³
ARMATURES POUR BÉTON ARMÉ : 117 t
MICROPIEUX POUR STRUCTURE DÉFINITIVE : 3 000 m
CHARPENTE MÉTALLIQUE : 1120 t

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Ville de Paris
MAÎTRE D'ŒUVRE GÉNÉRAL : Wilkinson Eyre Architects - Arcadis - Light Cibles
MAÎTRE D'ŒUVRE DALLE BATIGNOLLES : Concrete
INGÉNIEUR DES SOLS : Technosol
GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Nge GC - Baudin-Chateaufort - G.T.S.
BUREAU DE CONTRÔLE : Socotec
COORDONNATEUR SPS : BeCS
CONTRÔLE EXTÉRIEUR : loa