

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

TRANSPORTS & INFRASTRUCTURES. RIPAGE DU PONT-RAIL DU LAVEZON. VOIE SUR DALLE POUR LIGNES A GRANDE VITESSE. LE TRAMWAY DE DIJON. LES OUVRAGES D'ART DE L'AUTOROUTE A65. PROJET SHARD OF GLASS A LONDRES : UNE VASTE CAMPAGNE DE MONITORING. « EXPRESS RAIL LINK PROJECT » A HONG KONG – CONTRATS 803A & 803D

N°881 JUIN 2011



MÉTRO DE DUBAI
© SYSTRA -
G. LE CLOIREC



DÉVELOPPER L'INGÉNIERIE DU TRANSPORT DANS TOUTES SES COMPOSANTES

« SYSTRA VA JOUER UN RÔLE ESSENTIEL
DANS DE GRANDS PROJETS D'INFRASTRUCTURES
DANS LE MONDE ET SERA UN POINT D'APPUI POUR
L'INDUSTRIE FRANÇAISE TOUTE ENTIÈRE. »



© DR

LE 28 OCTOBRE 2010, LA SNCF ET LA RATP ANNONÇAIENT LEUR ACCORD DE CÉDER À SYSTRA LEURS FILIALES PROPRES D'INGÉNIERIE INEXIA ET XELIS À HAUTEUR DE 49 %. AU TERME D'UN PROCESSUS PROGRESSIF QUI S'ACHÈVERA FIN 2012, LES TROIS ENTITÉS SERONT APPORTÉES À SYSTRA À 100 %.

OBJECTIF : CONSTITUER UN LEADER MONDIAL DANS LE TRANSPORT PUBLIC DE LA GRANDE VITESSE ET DES MÉTROS, DEUX DOMAINES DE COMPÉTENCES PRIVILÉGIÉS DE SYSTRA. **PIERRE MONGIN, NOUVEAU PRÉSIDENT DE SYSTRA, PRÉCISE LES ATOUTS ET LA STRATÉGIE DE CE NOUVEL ENSEMBLE.** PROPOS RECUEILLIS PAR MONA MOTTOT

Systra devrait prochainement intégrer Inexia, filiale de la SNCF et Xelis, filiale de la RATP. Quels sont les objectifs de ces intégrations ?

Quelques mots tout d'abord sur chacune de ces filiales. Inexia est une filiale à 100 % de la SNCF, créée en 2006 pour permettre à la

SNCF de répondre aux appels d'offre publics d'ingénierie ferroviaire et pour élargir ses compétences à d'autres secteurs du transport (urbain, fluvial). Cette entreprise est spécialisée dans la conception et la réalisation des systèmes de transport, des études amont à la mise en service du projet. Xelis quant à elle est filiale à 100 %

de la RATP. Née en 2006 de la volonté de la RATP de filialiser pour partie ses différents métiers d'ingénierie pour faire face aux évolutions du paysage institutionnel, elle est spécialisée dans l'ingénierie des systèmes et des infrastructures de transport. Xelis intervient dans la maîtrise d'œuvre d'infrastructures de transport,

le mandat de maîtrise d'ouvrage, l'assistance à maîtrise d'ouvrage, les études de faisabilité, les audits et les expertises. Il est à noter que ces intégrations devraient se faire en deux étapes. La SNCF et la RATP apporteront ainsi leurs filiales en procédant à la cession de 49 % de leur capital, et ensuite les trois entités

© SYSTRA - P. JOURDAIN



1

© SYSTRA - P. JOURDAIN



2

© SYSTRA - G. LE CLOIREC



3

seront apportées à Systra à 100 % avant fin 2012.

L'objectif de Systra avec l'intégration de ces deux entreprises est de constituer un leader mondial dans le transport public (de la grande vitesse et des métros, deux domaines de compétences privilégiés de Systra). Les deux entreprises devraient rester d'ailleurs à parité au capital de Systra. Chaque entreprise va ainsi pouvoir valoriser son expertise dominante et les deux dirigeants respectifs, de Inexia et Xelis ont vocation à rejoindre le Comité de Direction de Systra.

Quels sont les atouts de ce nouvel ensemble ?

Ce nouvel ensemble va jouer un rôle essentiel dans de grands projets d'infrastructures dans le monde et sera un point d'appui pour l'industrie française toute entière.

Guillaume Pépy et moi-même sommes convaincus que Systra est une pépite de l'ingénierie internationale.

Nous avons décidé de faire de Systra un pôle d'excellence des différentes spécialités de l'ingénierie française du transport, afin de mieux nous développer à l'international, d'une part dans le domaine de la grande et de la très grande vitesse, territoire d'excellence de la SNCF, d'autre part dans celui du métro notamment automatique, spécialité incontestable de la RATP. Le Systra de demain sera donc encore plus puissant que celui d'aujourd'hui (voir tableau A).

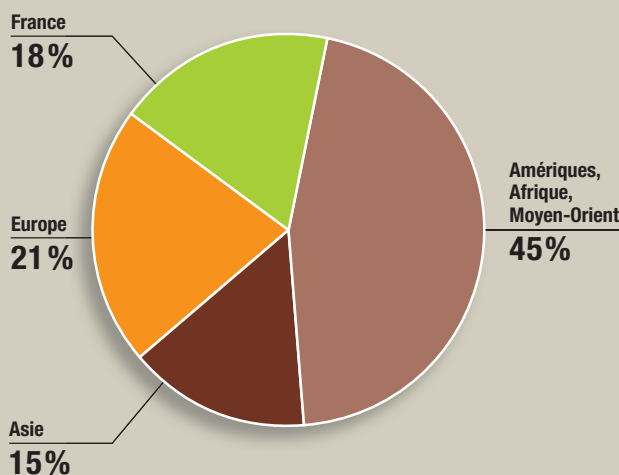
Quels sont les principaux actionnaires de Systra aujourd'hui et quels sont les accords qui les engagent ?

Les principaux actionnaires de Systra sont aujourd'hui la RATP et la SNCF, le reste du capital étant détenu par des actionnaires financiers. Dans le cadre du nouveau Systra,

TABLEAU A : CHIFFRES D'AFFAIRES EN M€

	2009	2010 (prevision)	2011 (prevision)
Systra	253	268	276
Inexia	75	105	126
Xelis	13,40	15,70	18,60

L'ACTIVITÉ DE SYSTRA DANS LE MONDE



et afin de reconnaître la contribution des équipes au développement de Systra, il est prévu d'ouvrir le capital aux salariés, jusqu'à hauteur de 5 % maximum.

Guillaume Pépy, Président de la SNCF, a été élu vice-président de Systra. Qu'en est-il de la nouvelle gouvernance du nouvel ensemble Systra ?

Avec Guillaume Pépy, nous sommes décidés à travailler main dans la main pour refondre et développer Systra. Nous réaliserons le changement de gouvernance de Systra à l'été prochain, en adoptant un fonctionnement à Conseil de surveillance et Directoire.

Ce changement a été acté dès le début dans l'accord qui date du 28 octobre 2010.

- 1 & 2- Tramway de Bordeaux et alimentation par le sol.
- 3- Viaduc en U pour le métro de Dubaï.
- 4- Ligne à grande vitesse en Corée.
- 5 & 6- Projet de station pour le métro de Panama.

En votre qualité de nouveau Président de Systra, quelles sont vos ambitions pour votre groupe aujourd'hui ?

2011 sera une année de succès et de refondation stratégique, le Systra de demain sera encore plus puissant que celui d'aujourd'hui grâce à ce regroupement de forces qui vise à rendre plus lisibles les couleurs de notre pays dans l'ingénierie des transports.

Cette ingénierie, à l'instar de celle des maisons mères, véhicule une image d'excellence qu'il faut préserver.

Vous pouvez d'ailleurs compter sur mon attachement personnel à ces métiers pour les promouvoir.

J'ai un immense respect pour Systra, son professionnalisme, l'implication de son personnel, la qualité de ses réalisations qui font le prestige de cette marque.

Le talent et l'audace des ingénieurs de Systra ont permis au cours des dernières décennies de réaliser des exploits techniques, tels que le « viaduc en U » (utilisé pour le métro de Dubaï), il doit en ressortir des partenariats industriels au gré des appels d'offre qui nous rendent incontournables sur ces sujets.

Le dynamisme de Systra vient encore d'être confirmé : l'entreprise vient de remporter un appel d'offres au Panama pour un métro et a enclenché des discussions avec la ville de Bagdad là aussi pour la réalisation d'un métro. Systra est aussi partie prenante du futur TGV marocain. Systra est d'ores et déjà dans l'attente des nouveaux projets de transport en Ile-de-France, en France et dans le monde, avec l'objectif d'apporter les solutions les plus innovantes et les plus efficaces dans le domaine de la mobilité, avec par exemple les nouvelles lignes de TGV en France ou à l'étranger ; le projet du Grand Paris Express pour lequel Systra sera

© SYSTRA - A. GUENET



© SYSTRA



particulièrement bien placé pour répondre aux appels d'offre qui seront lancés ; le Métro d'Alger dont la mise en service définitive devrait avoir lieu fin 2011...

Selon vous, quelle est l'image de transport à la française à exporter ?

Le transport à la française est synonyme de haute technicité, de sécurité sans faille et d'un immense professionnalisme. Le transport à la française, c'est aussi le très haut niveau d'expertise et d'innovation des industriels français qui travaillent sur les systèmes, la voie, la signalisation, les matériels roulants, etc.

Cette image collective est le vrai reflet de notre expertise. C'est bien celle-ci qu'il nous faut exporter.

Le tramway et le tram-train marquent leur retour en force dans les métropoles à travers le monde. Quels sont vos projets de développement de ces modes en France ? À l'international ?

Passées les 20 dernières années qui ont marqué le retour du tramway dans le champ du possible de la mobilité urbaine, ce mode revendique désormais une maturité et une modernité nouvelles.

Maturité dans la conduite des projets pour lesquels les autorités organisatrices des transports exigent de l'efficacité en termes de tenue des délais, de maîtrise des coûts et d'atteinte des performances ; en effet, tout ce qu'une municipalité est en droit d'attendre d'un tramway dans la ville est désormais connu et partagé par tous les acteurs du transport et l'exigence se porte de manière sensible sur la gouvernance des projets. C'est dans ce sens que Systra apporte son expérience aux maîtres d'ouvrage de communautés urbaines telles que Brest, Le Havre ou Besançon.



© SYSTRA

Modernité dans le sens des innovations technologiques car le tramway a désormais cessé d'être un train simplifié ; on voit naître des projets de tramway dotés de composantes techniques qui relevaient plutôt du champ des métros, telles des stations climatisées équipées de portes palières, des systèmes de signalisation assurant un niveau de sécurité de conduite au moins équivalent à celui d'un conducteur seul, des dispositifs de transmission de l'énergie s'affranchissant des fils aériens, des voies ferrées répondant à de nouvelles exigences environnementales. Systra est véritablement une force de prescription proactive vis-à-vis de ses clients pour ces nouvelles caractéristiques qui rendent le tramway encore plus attrayant et efficace pour le voyageur urbain. C'est au Moyen-Orient (Dubai, Doha) que ces récentes évolutions sont notoires et que Systra est très actif actuellement. La déclinaison du tramway en tram-train est un avatar très porteur de cette modernité du tramway et Systra sait mettre à profit sa connaissance des deux mondes des transports urbain et ferroviaire pour faire émerger des solutions combinées là où soit le train seul, soit le tram seul ne répondaient pas au besoin de mobilité. Des tram-trains se développent dans le Médoc, au Danemark (Aarhus), toutes régions où Systra a été retenue pour ces compétences.

Quel est le degré d'avancement des grands projets ferroviaires auxquels Systra participe, notamment dans les Pays du Golfe, l'Afrique du Nord et l'Asie du Sud-Est ?

Au Moyen-Orient, la première section de la ligne Nord/Sud en Arabie Saoudite sera inaugurée courant 2011. Au Maroc, depuis avril 2010, nous avons commencé nos prestations de maîtrise d'œuvre génie civil pour le lot sud de la ligne à grande vitesse Kénitra-Tanger. En Asie, les seuls grands projets ferroviaires dans lesquels Systra intervient aujourd'hui sont ceux de la construction de lignes à grande vitesse en Chine, où nous réalisons des prestations de contrôle de la qualité de la supervision des chantiers assurée par des entreprises locales. Les prestations de Systra dans

le domaine ferroviaire en Corée se sont pour l'instant terminées avec la mise en service de la deuxième étape de la LGV Séoul - Busan en Novembre 2010.

Comment êtes-vous organisés localement pour traiter ces projets qui nécessitent des moyens lourds ?

Plusieurs équipes d'ingénieurs expatriés et locaux sont présentes à proximité des chantiers de construction en Chine. De même au Maroc, une équipe composée d'expatriés et de locaux est basée à Rabat.

Dans le cadre de la 8^e Conférence Internationale « Voie et Maintenance VTM 2011 » qui s'est déroulée en janvier 2011 à Paris, il a été question de « voie verte urbaine ». Qu'en est-il précisément ? Quels sont les axes de R&D de Systra aujourd'hui ?

Développée par le pôle plate-forme tramway de Systra, basé à Lyon, la « voie perméable » ou pose de voie sur longrines ne nécessite plus de bétonnage entre les rails.

Plus économique, elle met le gazon de revêtement en contact direct avec le sol et permet de réduire ou supprimer les arrosages.

Cette technique a d'ores et déjà été adoptée par les réseaux de Lyon, Le Havre et Bordeaux.

Les recherches menées par les équipes de Systra sont particulièrement concentrées autour des principaux axes de développement durable, énergie, insertion urbaine. Tout cela est conforme avec la politique de Systra qui dès 2009, a promulgué une « Charte de développement durable » formulant cinq engagements et trois textes relatifs à « l'Éthique, équité et diversité », à la « Santé et sécurité » et à l'« Environnement ». □

7 & 8- Projet de station pour le métro d'Hanoi.

9- Pose de la plate-forme perméable au Havre.

10- Construction d'un prototype de plate-forme perméable.

© SYSTRA



8

© SYSTRA



9

© SYSTRA



10

NGE

DES GRANDS CHANTIERS AUX CONCESSIONS ET AUX PPP, L'EXPERTISE D'UNE ENTREPRISE MULTIMÉTIERS

TOUT EN DÉVELOPPANT SES IMPLANTATIONS RÉGIONALES ET SE POSITIONNANT SUR LES TRAVAUX URBAINS, NGE S'ADAPTE AUX NOUVELLES FORMES DE MARCHÉS DES CONCESSIONS ET DES PPP. ENTRETIEN AVEC JOËL ROUSSEAU, PRÉSIDENT DU HOLDING NGE. PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON

NGE est la première entreprise de taille intermédiaire (ETI) entrée sur le marché des concessions en tant que mandataire d'Alicorne, concessionnaire de l'autoroute A88 en Normandie, mise en service en août 2010.

Joël Rousseau ne cache pas sa satisfaction d'avoir ainsi mené à terme,

dans les meilleures conditions techniques et économiques, ce qu'il considère comme la première incursion réussie d'une ETI dans un secteur jusque-là réservé aux grands groupes : A88, dont il a été l'un des acteurs les plus déterminés et « le bras armé de NGE », se plaît-il à dire.

Il ambitionne également de développer

l'implication de son groupe dans des concessions d'un type nouveau, comme avec le groupement Atlandes (A63) dans les Landes, ainsi que dans des contrats de Partenariat Public Privé (PPP), dont il pense qu'ils constituent la solution la plus économique pour la collectivité, à condition de les choisir avec circonspection.

Pourriez-vous, en introduction, dresser un portrait synthétique du Groupe NGE ?

Historiquement, le groupe a cinq métiers dont le plus important est le Terrassement puisqu'il représente, avec 500 M€, plus de 50 % de son chiffre d'affaires, en particulier avec Guintoli, auquel s'ajoutent les Canalisations





et Réseaux (23 %) notamment avec EHTP, le Génie Civil (6 %) piloté par NGE Génie Civil, les Routes et leurs équipements (11 %) en développement sous l'impulsion de Siorat, reprise voici un peu plus de deux ans et Agilis, spécialisée dans l'équipement de la route, et enfin les travaux Géotechniques et de Sécurisation (7 %) en tête desquels GTS, SATS et SFI, dans le domaine des parois moulées, des pieux et des confortements de talus.

Le groupe est bien connu pour sa présence dans les grands travaux où il est acteur de premier rang en matière de construction de grandes infrastructures linéaires, telles les autoroutes ou les lignes de TGV.

Précisément, la construction de l'autoroute A88, constitue la référence majeure du Groupe NGE en 2010.

À quels niveaux NGE est-il intervenu sur ce chantier ?

Historiquement, NGE est un acteur important des chantiers d'infrastructures. Mais, il y a déjà 5 ans, nous avons décidé d'intervenir sur le marché des affaires préfinancées, qu'il s'agisse

des concessions ou des contrats de partenariat.

A88 constitue la première concession sur laquelle l'entreprise NGE s'est lancée. Un groupement a été constitué à cet effet, associant, pour des raisons de garanties financières, la Caisse des Dépôts ainsi que les entreprises Spie Batignolles et Demathieu & Bard. Mais NGE avait à la fois la capacité financière et la capacité technique de réaliser seule l'ensemble des travaux, d'un montant de 200 M€. Tout comme elle était la seule entreprise de taille intermédiaire (ETI) qui croyait en la possibilité de gagner cette affaire.

Les services de l'État ont accueilli favorablement l'arrivée d'un nouvel acteur, d'autant que la constitution de ce groupement apportait toutes les garanties financières en ce qui concerne ses capacités à mener à bonne fin l'opération, tout ceci s'étant d'ailleurs passé en 2008, c'est-à-dire en pleine crise financière.

Le chantier, qui a été réalisé au prix le plus compétitif de l'appel d'offres, s'est achevé fin août 2010 avec deux mois d'avance sur le délai contractuel.

Toutes les questions qui auraient pu

1 & 2 - A88 est la première concession sur laquelle s'est lancé le groupe NGE.

3 & 4 - Démarrage des terrassements sur la LGV Est.

5 - Joël Rousseau, président de la holding NGE et président d'A88 - Alicorne.

poser des problèmes, notamment celles liées à l'environnement et à la protection des espèces protégées, ont été traitées très largement en amont avec l'ensemble des services concernés, ce qui a permis de démarrer rapidement le chantier et d'en faire un modèle en matière de développement durable.

L'A88 constitue ainsi le fer de lance de la capacité du groupe NGE à fédérer autour de lui les entreprises de taille intermédiaire pour entrer sur le marché des concessions ou des partenariats de Travaux Publics.

Quelles sont les raisons qui vous ont amené à faire preuve d'une telle détermination dans le cadre de l'A88 ?

La principale a été dictée par le fait que NGE avait besoin d'acquiescer la compétence pour structurer un financement important sans l'aide d'autres entreprises que celles de la taille d'une ETI. Sur des affaires de ce type, c'est l'indépendance du groupe qui est en jeu. Une autre raison était de répondre, toujours en tant que mandataire, pour des affaires que nous pouvons financer nous-mêmes, c'est-à-dire jusqu'à hauteur de 500 M€.

Quelles sont les grandes opérations en cours pour le groupe NGE en 2011 ?

NGE est associé au sein d'Atlantes à Colas et Spie Batignolles dans le cadre du contrat de concession de l'autoroute A63, entre Salles et Saint-Geours-de-Mareme.

L'État a lancé un appel d'offres de concession dans lequel les candidats se voient attribuer la possibilité de mettre un péage sur ce tronçon après avoir mis aux normes autoroutières ce qui était jusqu'alors la RN10, et réalisé son élargissement à 2x3 voies qui traversent les Landes.

Sur le plan financier, la démarche est intelligente : le groupement attributaire ▢



HISTORIQUEMENT, NGE EST UN ACTEUR IMPORTANT DES CHANTIERS D'INFRASTRUCTURES

© DR

5

de la concession récupère l'apport « en nature » qui est la voie existante et reverse à l'État la somme de 400 M€. Il réalise ensuite 500 M€ de travaux et, pendant 40 ans, assure l'exploitation et la maintenance de la section autoroutière sur une longueur de 105 km. Le projet Atlantes nécessite un financement total de 1,1 milliard d'euros, composé de 200 M€ de fonds propres apportés par les actionnaires et près de 900 M€ de crédits levés auprès d'un pool bancaire, complétés par le paiement de 400 M€ de droit d'entrée initial correspondant à la reprise de l'infrastructure existante.

NGE assure naturellement une grande partie des travaux car les élargissements d'autoroutes constituent la spécialité de longue date des équipes du Groupe, au travers de ses filiales Guintoli et EHTP. Nous avons de solides références dans ce domaine, Guintoli étant intervenu sur l'autoroute A7, dès le milieu des années 80 puis, après son intégration au sein de NGE, sur A7 encore à plusieurs reprises, mais aussi sur de nombreuses sections des autoroutes A13, A46, A31, A9 et A8, pour le compte des sociétés autoroutières.

La concession a été attribuée au groupement Atlantes le 24 janvier 2011, et les travaux doivent démarrer l'été prochain pour un délai global de 41 mois, avec une mise en péage en octobre 2013, à l'issue d'une première phase de travaux.

Il semble que l'une des volontés de l'État soit de développer à l'avenir les contrats de partenariat. Quelle est votre position dans cette perspective ?

NGE est totalement prêt pour répondre sur toutes les affaires d'infrastructures en contrat de partenariat. Il faut savoir qu'un tel contrat est moins difficile à appréhender qu'une concession car il n'inclut pas le risque trafic. Il comprend la conception, la réalisation et la maintenance de l'ouvrage mais le risque trafic est conservé par l'État ou les collectivités locales.

Les entreprises sont rémunérées uniquement par un loyer en échange du fait qu'elles maintiennent un ouvrage dans une situation d'usage, pendant une durée de longueur variable en fonction du contrat.

Par exemple, le contournement Nord-Ouest de Tarbes, auquel NGE participe au sein de la société Hautes-Pyrénées Rode Tarbaise avec les entreprises Malet et Demathieu & Bard, vient d'être signé avec le Conseil Général



des Hautes-Pyrénées sous cette forme de contrat.

Pensez-vous que ces « PPP », contrats de partenariats public-privé, soient réellement appelés à se multiplier ?

Je pense qu'ils constituent la solution économique la plus intéressante pour la collectivité. Ils permettent de maîtriser les coûts au départ et de responsabiliser l'acteur privé. Il faut évidemment les manier avec précaution et ne pas les généraliser.

Mais, en présence d'un ouvrage complexe, difficile à réaliser, il peut être intéressant pour le partenaire public de demander au privé quelles sont ses

6- Travaux de fondations spéciales par SFI sur l'axe Seine-Arche à La Défense.

7- Travaux de confortement de sol par GTS.

8- La RN10, future A63, avant le début du projet Atlantes.

idées pour l'exécution des travaux, le but étant toujours d'être le plus performant possible pour l'économie nationale.

Au niveau des grands travaux d'infrastructures linéaires qui constituent le cœur de métier de NGE, quels sont les projets en cours ou à venir ?

Notre métier, c'est de construire. Pour les grands travaux qui continuent à se faire en appels d'offres classiques, nous sommes toujours aussi présents. En effet, NGE réalise sur la branche Est de la LGV Est, en tant que mandataire, deux lots de terrassements (41 et 42) d'un montant de travaux de 200 M€ pour 40 km de ligne et participe à un troisième lot (43).

Il faut signaler que NGE a développé ses compétences à concevoir et monter des projets sur le plan financier et technique, mais reste un groupe concentré sur le cœur de son métier, à savoir la réalisation des travaux.

Pour finir sur une remarque révélatrice de l'esprit qui préside à la politique globale de NGE, il faut savoir que tous les dirigeants du groupe sont des ingénieurs travaux, qui ont commencé sur un chantier, tout particulièrement un chantier d'autoroute ou de TGV.

Notre métier, il est là ! □

ATLANDES EN BREF

L'État et Atlantes -société constituée par Colas Sud-Ouest, Screg Sud-Ouest, Spie batignolles, NGE, Egis Projects, HSBC European Motorway Investments et DIF Infrastructure II- ont signé le contrat de concession portant sur le financement, la conception, l'aménagement, l'élargissement, l'entretien, l'exploitation et la maintenance de l'autoroute A 63, entre Salles (Gironde) et Saint-Geours-de-Maremne (Landes). Le contrat d'une durée de 40 ans est entré en vigueur le 24 janvier 2011. Atlantes assure la maîtrise d'ouvrage du projet dont les travaux d'aménagement, d'un montant de l'ordre de 500 M€, consistent notamment en la mise aux normes environnementales et autoroutières de l'ancienne RN 10 et de son élargissement à 2x3 voies sur une longueur de 105 km.



1- Ligne
Manhattan -
Roosevelt
Island.

© POMA

POMA

LES « AUTRES » TRANSPORTS AÉRIENS

REPORTAGE DE BERNARD ALDEBERT

LE FUNICULAIRE DE MONTMARTRE À PARIS EST DEvenu UNE LÉGENDE. À L'IMAGE DES TRAMWAYS, LES TRANSPORTS PAR CÂBLE REVIENNENT EN FORCE DEPUIS UNE DIZAINE D'ANNÉES DANS LES VILLES. D'UNE TRÈS GRANDE TECHNOLOGIE, RESPECTUEUX DE L'ENVIRONNEMENT, EFFICACES ET D'UNE GRANDE SOUPLESSE D'ADAPTATION, CES RÉALISATIONS ONT ÉTÉ RETENUES DANS DE NOMBREUSES VILLES CAPITALES DU MONDE. LEUR CONCEPTION ET LEUR RÉALISATION RELÈVENT D'UNE GRANDE SPÉCIALITÉ ET D'ENTREPRISES SOUVENT « HISTORIQUES » DANS LE DOMAINE.

« Jusqu'où ne monteront-ils pas ? ». La devise du surintendant Fouquet pourrait être transposée à la société Poma dont les transports sur câble, non seulement prennent d'assaut de plus en plus de sommets montagnards mais encore franchissent les rivières ou s'agrippent aux collines urbaines. À New-York ou Taipei, à Medellin ou Zurich, à Grasse ou Rio de Janeiro, l'entreprise imprime sa marque sous tous les cieux.

LE SPÉCIALISTE DU TRANSPORT PAR CÂBLE

Né dans l'entre-deux-guerres, dans les années trente, le groupe Poma est un pur produit de l'industrie émergente du tourisme puisque sa vocation première était le transport dédié au ski. De ce transport ultraléger, l'entreprise a progressé vers le transport de masse. Un schéma assez inhabituel, car ses concurrents ont souvent parcouru le chemin inverse : d'un transport lourd (parfois dans un but militaire en premier

lieu) vers le transport individuel ou en très petit nombre. Une origine qui n'est pas sans influence sur sa façon de travailler estime Jean Souchal, le Président de son Directoire : « nos solutions sont d'abord simples et adaptées au milieu d'utilisation. La démarche est naturelle puisqu'il s'agit de proposer des moyens de transport complémentaires à d'autres systèmes, performants et légitimes ». Cette recherche permanente de la solution optimale pour le besoin donné dynamise une innovation

permanente, elle-même sollicitée par la diversité des dossiers. À ce titre, l'export qui représente une part significative de l'activité de Poma fait aussi partie de sa culture depuis très longtemps. C'est son fondateur, Jean Pomagalski⁽¹⁾, né à Cracovie en 1905, qui l'a, dès la création en France, insufflée à l'entreprise (« en lien avec la diaspora polonaise », souligne Jean Souchal). De la perche à la cabine de petite taille puis aux cabines de grandes dimensions, Poma sait répondre à toutes les demandes



2



3



4



5

- 2- Ligne Manhattan - Roosevelt Island.
- 3- Funiculaire à Grasse.
- 4- Funiculaire du CEA (Grenoble).
- 5- Tramway aérien à Rio de Janeiro.

et partout (dès les années 50, Poma installait les téléskis puis les télésièges aux États-Unis). On se souvient encore des célèbres « œufs » dont le prototype était découvert avec un certain émerveillement par les skieurs de Val-d'Isère en 1966, mais on ignore souvent que la même installation était réalisée au même moment en Nouvelle-Zélande. Aujourd'hui, Poma peut planter plus de 80 drapeaux sur le planisphère pour matérialiser sa présence. Pour ce faire, il a fallu s'habituer à différentes cultures. « La France est le pays des contrats clés-en-main, explique Jean Souchal. L'ingénierie y est très développée. À l'étranger, nous avons plus souvent à travailler avec des clients plus intégrateurs qui gèrent eux-mêmes différents fournisseurs ». Cette culture particulière associée à un nouvel intérêt, développé depuis une dizaine d'années, pour la prise de contrat de concession ou de délé-

Jean Souchal,
Président du Directoire de Poma.



POMA EN CHIFFRES

- CA (2010) : 245 M€ dont 57 % à l'export**
- EFFECTIFS : 830 personnes**
- SIÈGE SOCIAL : Voreppe (Isère)**
- MAISON-MÈRE : Groupe HTI (détient l'entreprise française Poma et la société italienne Leitner)**
- 5 filiales en France**
- 9 filiales à l'étranger**
- 7 800 appareils réalisés sur les cinq continents**

GAMME D'ACTIVITÉS

- ACTIVITÉS PRINCIPALES : Métros, shuttles, funiculaires, ascenseurs inclinés, APM, téléphériques débrayables, télécabines, télésièges, téléskis, téléphériques à matériaux...**
- Filiales spécialisées dans la conception des véhicules, télécabines et funiculaires, la conception des automatismes.**
- ACTIVITÉS CONNEXES : Véhicules utilitaires à chenilles, neige de culture...**
- La maison-mère HTI développe également depuis quelques années une activité éolienne. « Il y a de véritables synergies entre les techniques du télésiège et l'éolien, explique Jean Souchal. Au-delà de la gestion de projet et sur des aspects plus techniques, on peut citer la notion de puissance (et donc de gestion d'énergie), la notion de rotation de grands éléments (comme les grandes poulies de télésièges) ».**

gation de service public, a ouvert le champ d'action de Poma. Car, dans les grandes villes comme New-York, le Caire, ou Rio-de-Janeiro, le transport en milieu urbain qui constitue maintenant un de ses importants champs d'action, est plutôt soumis à ce type de statuts.

JUSQU'À 5 000 PERSONNES PAR HEURE

Le « produit » en lui-même est assez convaincant : à la fois simple et très technologique pour assurer une sécurité maximale, d'un très faible impact sur l'environnement dans la plupart des cas, facile et rapide à démonter pour une réutilisation sur un autre site... Les atouts sont d'autant plus grands que, désormais, le transport par câble atteint des capacités considérables, de plus en plus proches de celles des transports plus traditionnels. « Nous pouvons assurer sans problème le transport des passagers jusqu'à 3 600 personnes par heure, précise Jean Souchal, quand un tramway atteint une moyenne de 5 à 6 000 personnes sur la même durée. Mais il est désormais possible de concevoir des systèmes pouvant prendre en charge jusqu'à 5 000 personnes ».

RELIER POUR DÉSENCLEAVER

Pour les villes qui se sont installées dans des sites cernés de collines ou de montagnes, le développement urbain s'est fait sur les hauteurs environnantes. ▷

Dans la plupart des cas, la desserte principale parcourt la vallée sur, parfois, des dizaines de kilomètres. Pour irriguer les flancs, des séries de transporteurs par câbles apparaissent souvent comme la solution la plus souple et la plus simple. Leur faible impact au sol permet d'éviter des interventions traumatisantes pour l'habitat et la vie de quartier, leur rapidité de réalisation assure de faire face aux urgences. « Medellín en est un des exemples les plus significatifs. Cette ville colombienne de 2 millions d'habitants est d'ailleurs l'une de nos plus anciennes références. Nos équipements dessinent comme une sorte d'arête de poisson avec la ligne de train du fond de vallée qui parcourt une quinzaine de kilomètres. Nous y transportons environ un million de passagers par mois dans un réseau ouvert de 5 h à 1 h le lendemain matin ». C'est d'ailleurs cette réalisation qui a décidé le Président brésilien Lula, en visite en Colombie, à commander l'installation de cinq tronçons de transport par télécabines pour la ville de Rio-de-Janeiro.

DES RÉALISATIONS SUR MESURE EN MILIEU URBAIN

Mais la gamme des transports tractés par câble, suspendus ou reposant sur coussin d'air (que propose également Poma) se décline en de multiples formes. Qu'il s'agisse de monter à la basilique de Montmartre ou d'accéder à des temples hindous, de franchir l'Est-River, ou depuis quelques années de transporter sur de courts trajets les visiteurs en transit dans les aéroports avec les APM (Automatic People Mover), les réalisations sont à chaque fois originales et différentes. Les APM au fort développement ont donné l'occasion de partenariats avec des spécialistes de moyens de transports verticaux. La dernière réalisation en date de ce type d'installations a été assurée à l'aéroport de Zurich et fait circuler sur coussin d'air, des cabines tractées par câble. En cours, au Caire, malgré quelques soubresauts, la fin d'un chantier au terme duquel des trains, eux aussi tractés par câble et reposant sur coussin d'air, transporteront 300 personnes à la vitesse de 40 km/h.

Les réalisations atteignent parfois une sophistication extrême à partir d'un cahier des charges drastique comme ce funiculaire « blanc » qui relie deux salles blanches du CEA de Grenoble. Enfin, pour donner un dernier exemple, les blondins qui servent à alimenter les chantiers de barrage et qui sont



6
© POMA

capables de porter des charges de 50 à 60 tonnes, relèvent directement de la compétence de Poma.

UNE PART IMPORTANTE DE GÉNIE CIVIL

Dans de nombreux cas, la part du génie civil est assez importante. Que l'on circule dans des tunnels (APM, funiculaire blanc, etc.), sur des viaducs ou qu'il s'agisse de pylônes aux dimensions gigantesques pour le transport suspendu, Poma a pris l'habitude de travailler avec des spécialistes du génie civil et des travaux publics. Les ouvrages sont parfois complexes comme à Rio de Janeiro lorsque la

6- Télécabines à Chamonix.

gare se situe au quatrième étage d'un immeuble qui abrite différents équipements telle une école. « Le cas est fréquent, explique Jean Souchal. À côté de la mission purement transport, les chantiers impliquent de plus en plus de travaux d'infrastructure et de bâtiment, notamment en Amérique du Sud ». Un peu comme nos modernes tramways impliquent en préalable à leur venue des travaux considérables

sur les réseaux et la voirie. Quant aux pylônes, ils peuvent atteindre des hauteurs considérables : 80 m à Nijni Novgorod (Russie) ou encore 120 m dans le Mississippi (États-Unis). Qu'il s'agisse de béton ou de construction métallique « nous nous associons très souvent à des partenaires spécialisés dans ces ouvrages d'art. D'ailleurs, compte-tenu des sommes considérables que représentent ces marchés, c'est souvent le spécialiste du génie civil qui assure la fonction de mandataire ». Cas particulier, « à New York, nous avons assumé la totalité du marché, en lien avec notre filiale Leitner-Poma of America, basée dans le Colorado ».



© POMA



© POMA

7- Transport à Medellín (Colombie).
8- Blondins.

DES RÉALISATIONS DE RÉFÉRENCE

→ Roosevelt Island : le prestige

C'est l'une des dernières réalisations de Poma et sans doute une des plus médiatiques. La ligne de 942 m qui relie Manhattan à Roosevelt Island en seulement 3 minutes fonctionne avec des cabines pouvant transporter 110 personnes. On atteint ainsi le rythme de 1 500 personnes par heure dans chaque sens. Le chantier a été mené dans des conditions complexes, à partir d'infrastructures existantes dont deux gares à proximité de Queensboro. Pas question, évidemment de perturber la circulation !

→ Blondins « moyens » au Portugal

Sur le barrage de Baixo Sabor au Portugal, la filiale italienne de Poma, Agudio, a mis en place des blondins d'une capacité de 38 tonnes et fourni des blondins d'une capacité de 50 tonnes aux États-Unis. Pas moins d'un million de mètres cubes de béton seront coulés sur cet ouvrage de 100 m de haut. La hauteur de levage est de 140 m.

→ Funiculaire « Blanc-Blanc »

Tel est le nom du système de liaison organisé entre deux salles blanches du CEA de Grenoble. Les chercheurs, qui économisent ainsi entre 20 et 25 minutes de préparation pour passer d'une salle blanche à une autre, empruntent ce funiculaire tracté par un câble, qui met en relation deux salles

blanches par l'intermédiaire d'un sas spécial constitué par un joint gonflable. Un petit viaduc de béton de 250 m de long supporté par six pylônes relie un niveau -1 à un rez-de-chaussée en franchissant une route à 6 m de hauteur. Doté d'un système d'appel identique à un ascenseur, il circule à 5 m/s.

→ Grasse en 7/7

110 m de dénivelé, 570 m de parcours, le funiculaire était « la » solution permettant de relier les hauteurs de Grasse au reste de la ville. Les trains à double cabine circuleront 7 jours sur 7, de 6 h du matin à 23 heures.

Construite par un groupement mené par Bouygues Construction, cette installation devrait être inaugurée en 2013. Deux trains, pouvant transporter 120 voyageurs, desserviront quatre stations, tout en automatique, bien entendu.

→ Le Pain-de-Sucre, une mine et une cimenterie, Alemão

Quel rapport entre ces trois sites ?

Des installations de Poma qui a rénové avec sa filiale Agudio l'installation du premier (396 m de dénivelé), amélioré les premiers équipements qui relie une mine au site de production en parcourant 10 km pour le second, et réalisé. Pour le troisième, cinq quartiers d'Alemão, ensemble de treize favelas au nord de Rio-de-Janeiro sont désormais irrigués par un transport en commun qui matérialise l'énorme effort fait dans ces quartiers (construction de logements pour 1 750 familles, programme social ambitieux).

→ Le ski, vocation première

Le téléphérique installé à Chamonix en 2008 symbolise la vocation première de Poma née du tourisme de montagne. 1 832 m de long pour une dénivellée de 924 m, sont parcourus par des cabines qui avancent à 5,30 m/s maximale. Le trajet n'excède pas 6 mn. Il est ainsi possible de transporter jusqu'à 3 000 personnes par jour.

→ Medellín : l'irrigation

Pour accéder aux collines très urbanisées qui bordent Medellín, trois tronçons de transport par câbles parcourent 2 061 m pour des dénivelés de 400 m. En 9 mn et 10 s, à une vitesse maximale de 5 m/s, ce transport assure le déplacement de près de 3 000 personnes par heure dans 93 cabines (plus trois en garage) accueillant de huit à dix personnes. □

⁽¹⁾ Jean Pomagalski est notamment l'inventeur du système d'attache à douille des télésièges qui est toujours utilisé.



RIPAGE DU PONT-RAIL DU LAVEZON (ARDÈCHE)

AUTEURS : PIERRE BINIGNAT, DIRECTEUR DE TRAVAUX BEC RHÔNE-ALPES - GEORGES VERNAY, DIRECTEUR RÉGIONAL FRANKI FONDATION

LES TRAVAUX DE REMPLACEMENT DU TABLIER DU PONT SNCF DE LAVEZON PRÉSENTENT DES DIFFICULTÉS TECHNIQUES USUELLES SUR CE TYPE DE CHANTIER, MAIS ACCENTUÉES PAR LA DIMENSION DE L'OUVRAGE ET LES CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES. SUR LA BASE DES ÉTUDES MENÉES PAR RFF ET LA SNCF, LA COLLABORATION ENTRE CETTE DERNIÈRE ET LES ÉQUIPES DU GROUPE FAYAT A PERMIS D'APPORTER LES RÉPONSES APPROPRIÉES AUX EXIGENCES DU CHANTIER.

LE FRANCHISSEMENT ACTUEL

Le pont ferroviaire situé au point kilométrique 658.799 de la ligne 800 000 de Givors à Grézan traverse le Lavezon en amont de sa confluence avec le Rhône. Ce pont-rail à deux tabliers métalliques (un par voie), de 65 m de longueur droite, comporte quatre piles de largeur 1,60 m et deux culées. L'ouvrage initial a été construit en 1905,

et le tablier actuel a été réalisé en 1916 (remplacement du tablier de 1905). Depuis, l'ouvrage a subi quelques réparations : remplacement de 180 rivets en 1926, peintures en 1966 et 1984, remise en place des appuis en 1982, remplacement des appareils d'appui sur culées par des appuis néoprène en 1988, campagne d'injections dans les piles en 1989, remplacement du

mortier de résine sur appui en 1992. Cependant, les inspections de contrôle ont conclu à un ouvrage en mauvais état, présentant comme pathologies des fissures de la semelle supérieure d'une poutre principale et des réductions de section des pièces de pont biaises, situées sur culées notamment. Ces rapports concluent à la nécessité du remplacement de l'ouvrage.

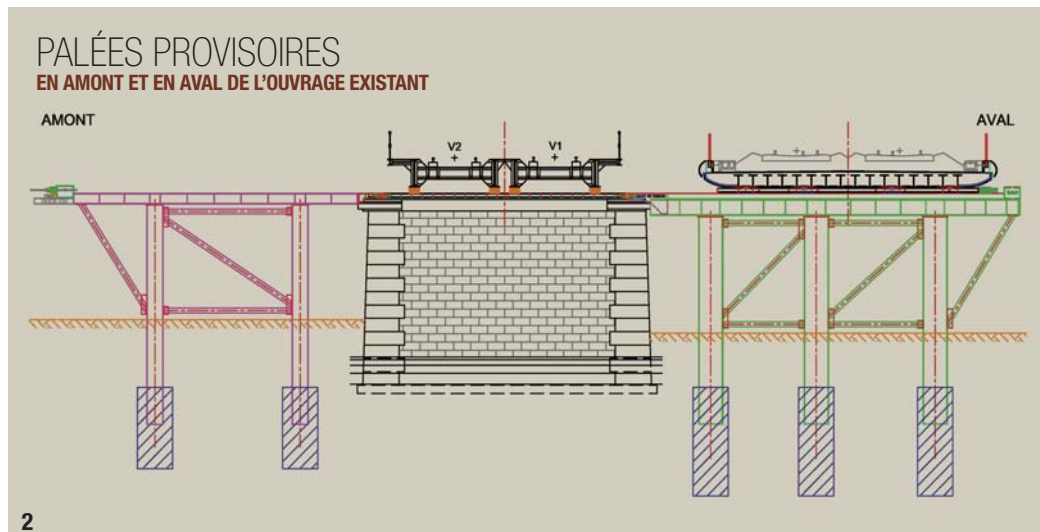
MAINTENIR LES CAPACITÉS DE LA LIGNE

L'ouvrage projeté doit permettre de respecter les besoins fonctionnels suivants :

- Maintien de la capacité de la ligne Givors-Grézan sur ce tronçon en termes de tonnage, de débit et de type de circulations ferroviaires ;
- Conservation du tracé actuel de la



© FRANKI FONDATION



© FRANKI FONDATION

1- Forage à la benne Leffer sous ligne haute tension.

2- Palées provisoires en amont et en aval de l'ouvrage existant.

3- Mise en place du poteau de la palée provisoire.

1- Leffer bucket drilling under high-voltage power line.

2- Temporary bents upstream and downstream of the existing structure.

3- Placing the column of the temporary bent.

ligne (le futur ouvrage sera installé en lieu et place de l'actuel) ;
→ Pas d'impact des travaux sur les circulations ferroviaires, hormis en phase de substitution ;

→ Durée de vie prévisionnelle de l'ouvrage : 100 ans ;

→ Conservation du sous-poutre du tablier actuel pour garder la même marge de sécurité vis-à-vis du niveau des plus hautes eaux pour la crue de temps de retour centennal.

L'ouvrage est construit sur l'implantation du pont actuel avec remplacement des tabliers et conservation des piles et culées (moyennant quelques aménagements). Du fait de l'augmentation de la charge amenée sur les culées, le travelage de l'ouvrage est modifié à ses deux extrémités. Le tablier est à poutrelles enrobées ; il reprend les deux voies de l'ouvrage au droit des appuis.

ARCHITECTURE ET ENVIRONNEMENT

En plus des contraintes liées aux techniques utilisées pour le chantier, l'environnement immédiat de l'ouvrage entraîne des exigences spécifiques. L'ouvrage SNCF de franchissement du Lavezon se situe dans le rayon

de 500 m du périmètre de protection des monuments historiques de l'église Saint-Jean-Baptiste-de-Meyse. À ce titre, il exige un dossier de présentation à l'architecte des bâtiments de France. Par ailleurs, au droit du site d'étude, les communes de Meyse et de Roche-maure sont alimentées en eau potable par le captage du puits de Meyse déclaré d'utilité publique par l'arrêté préfectoral du 10 juin 2002 et géré par le Syndicat intercommunal d'adduction d'eau potable des communes de Meyse et de Roche-maure.

Le Lavezon alimente par des infiltrations le captage de Meyse, qui est la seule alimentation d'eau potable pour les deux communes (absence de captage de secours). La ligne ferroviaire et le pont-rail du Lavezon sont compris au sein du périmètre de protection rapprochée. Dans ce périmètre, toute activité pouvant nuire au débit d'exploitation du captage et/ou altérer la qualité des eaux par la création d'une source de pollution est interdite.

DES MOYENS À LA HAUTEUR DE L'OBJECTIF

La construction d'un tablier à poutrelles enrobées fait appel à des techniques parfaitement maîtrisées par l'entreprise. La spécificité du projet et la méthodologie retenue ont amené celle-ci à mettre en œuvre des moyens matériels et des compétences humaines à la hauteur de l'objectif. Le nouveau tablier de 75 m de longueur et cinq travées est mis en place par ripage latéral à partir de palées provisoires réalisées dans le lit de la rivière, sur lesquelles il est assemblé. Préalablement au ripage du nouvel ouvrage, l'ouvrage existant sera déripé sur des palées provisoires également réalisées dans le lit de la rivière (figure 2).

RÉALISATION DES PALÉES PROVISOIRES

Du fait de la nature alluvionnaire des matériaux constituant le lit du Lavezon, les palées provisoires ont été fondées sur pieux. Elles sont constituées de fondations profondes de type pieux bétonnés. Ces pieux, au nombre de trois par palées, sont prolongés jusqu'au chevrete en béton armé d'appui du tablier. Ils sont prévus bétonnés à partir de - 2 m par rapport au fond du lit du Lavezon (niveau de recépage en fin de travaux). Les palées situées au niveau des piles doivent être alignées avec les appuis de l'ouvrage existant, sans engagement de l'ouverture hydraulique actuelle. Seules les palées des culées seront décalées par rapport aux appuis existants afin de réduire l'impact sur les perrés.

Les dimensions des pieux sont déterminées en fonction des efforts développés par l'ouvrage en situation provisoire et en situation de ripage ; les dimensions

© FRANKI FONDATION



3

des chevêtres sont déterminées en fonction des efforts développés par l'ouvrage en situation provisoire. La palée est démolie en fin de travaux et les gravais sont évacués à la décharge. Les pieux sont recépés à - 2 m par rapport au fond du lit de la rivière.

MISE EN PLACE DES TUBES

La compacité des alluvions d'ancrage excluait le recours au battage, solution assez répandue pour ce type de problématique. Un travail de concertation entre Franki Fondation et BEC a permis de définir une méthodologie de mise en place des palées adaptée au contexte, économiquement performante et réalisable dans les délais impartis.

Les tubes constituant les palées provisoires devaient être fichés dans des pieux en béton armé, arasés à - 2 m sous le lit de Lavezon, et cela sans contact direct du béton de pieu avec les alluvions pour des raisons de protection de la nappe de captage. Les tubes de soutènement provisoires de diamètre 1 500 mm ont été mis en place par louvoyage. Un atelier constitué d'un porteur Liebherr 855 associé à un louvoyeur Casagrande de capacité 1 500 mm a été utilisé pour mener à bien le forage des 26 pieux de diamètre 1 500 mm et de profondeur moyenne 6 m. Le grappin de forage à haute performance (Leffer LKG 1 118) a permis le havage des tubes provisoires avec une précision d'implantation de 5 cm.

Le bétonnage de la fiche a été réalisé au tube plongeur. Les tubes constituant les palées ont été fichés dans le béton frais avec une tolérance stricte de verticalité et de planimétrie (verticalité 5 mm/m ; altimétrie 1 cm) (photo 3). Du fait des contraintes environnementales (nappe de captage), le bétonnage a été effectué à l'abri d'une chemise métallique perdue.

Les moyens déployés par Franki Fondation ont permis de mettre en place



© FRANKI FONDATION

l'ensemble des palées provisoires en un mois de travail hors intempéries.

Une contrainte de site particulière a dû être intégrée du fait de l'existence d'une ligne électrique de 15 000 V en surplomb des ouvrages à réaliser. L'atelier de forage a été conditionné en flèche courte avec dispositif d'asservissement pour éviter tout risque d'amorçage. L'opération suivante a consisté à mettre en place les chevêtres métalliques en tête des pieux, travaux menés par BEC Rhône-Alpes (photos 4 à 6).

CONSTRUCTION DU TABLIER ET SUBSTITUTION À L'EXISTANT

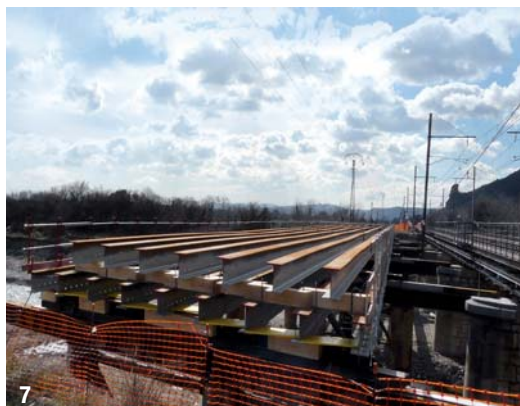
Le tablier de type poutrelles enrobées se compose de 16 poutrelles HEB 450 de longueur 25 m raboutées sur site (photos 7 et 8).

Il est constitué de 380 m³ de béton C30/37 mis en place en deux phases. Le poids de l'ouvrage neuf avoisine 2 000 t, y compris les superstructures du tablier qui ont fait l'objet d'une étude architecturale (photo 9).

L'opération de substitution est program-



- 4- Vue d'ensemble des poteaux provisoires.
- 5- Mise en place du chevêtre métallique.
- 6- Vue d'ensemble poteaux et chevêtre palée provisoire.
- 7 & 8- Poutrelles HEB 450 sur appui provisoire.
- 9- L'ouvrage neuf.



© FRANKI FONDATION

- 4- General view of temporary columns.
- 5- Placing the steel crossbeam.
- 6- General view of columns and temporary bent crossbeam.
- 7 & 8- HEB 450 girders on temporary support.
- 9- The new structure.



© FRANKI FONDATION

mée sur 96 h du 2 au 6 juin 2011. L'ancien tablier sera ripé par vérins sur les palées amont.

Le nouveau tablier préfabriqué sur les palées aval sera glissé sur les piles.

Les voies seront remises en état de part et d'autre du pont-rail et raccordées sur l'ouvrage. Pour mener à bien cette

opération dans les délais impartis, BEC Rhône-Alpes prévoit la mobilisation de 40 personnes.

Après rétablissement des circulations ferroviaires, le tablier ancien sera déposé et les appuis provisoires seront démolis en rivière afin de retrouver la configuration initiale du site. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : RFF

MAÎTRISE D'ŒUVRE : SNCF

ENTREPRISE ADJUDICATAIRE : BEC Rhône-Alpes (groupe Fayat)

SOUS-TRAITANT : Franki Fondation (groupe Fayat)

ABSTRACT

SKIDDING FOR THE LAVEZON RAIL BRIDGE (ARDÈCHE REGION)

PIERRE BINVIGNAT, BEC RHÔNE-ALPES - GEORGES VERNAY, FRANKI FONDATION

The work for replacement of the deck of the Lavezon rail bridge involved the technical difficulties that are customary in this type of project, but which were accentuated by the size of the structure and environmental constraints. Based on studies carried out by RFF and SNCF, collaboration between the latter and Fayat group's teams made it possible to give an appropriate response to the project requirements. □

RIPADO DEL PUENTE FERROVIARIO DE LAVEZON (ARDÈCHE, FRANCIA)

PIERRE BINVIGNAT, BEC RHÔNE-ALPES - GEORGES VERNAY, FRANKI FONDATION

Los trabajos de sustitución del tablero del puente de la SNCF de Lavézon presentan las dificultades técnicas habituales en este tipo de obra, aunque acentuadas por la envergadura del proyecto y las restricciones ambientales. A partir de los estudios llevados a cabo por RFF y SNCF, la colaboración entre esta última y los equipos del grupo Fayat ha permitido aportar respuestas adecuadas a las exigencias de la obra. □

VOIE SUR DALLE POUR LIGNES À GRANDE VITESSE – ÉTAT DE L'ART

AUTEURS : ALAIN HOCKE, SNCF, DIRECTEUR DE PROJETS FERROVIAIRES, SYSTRA - PHILIPPE MOINE, DIRECTEUR DU DÉPARTEMENT GÉNIE CIVIL ET OUVRAGES D'ART, SYSTRA

VOIE BALLASTÉE OU VOIE SUR DALLE POUR LES LIGNES FERROVIAIRES À GRANDE VITESSE ? LE CHOIX ENTRE L'UN OU L'AUTRE SYSTÈME DOIT SE FAIRE SUR LA BASE D'UNE ANALYSE MULTICRITÈRE COMPLEXE DONT LES PRINCIPES SONT EXPOSÉS DANS CET ARTICLE, AINSI QUE DES EXEMPLES DE RÉALISATIONS À TRAVERS LE MONDE.



1 - Voie de type Rheda - Nouvelle ligne Cologne-Rhin/Main, Pont de Hallerbachtal.

1 - Rheda slab track - Cologne - Rhin/Main new line, Hallerbachtal bridge.

© RAIL.ONE_DR

VOIE BALLASTÉE ET VOIE SUR DALLE - GRANDS PRINCIPES

L'accroissement des efforts horizontaux et verticaux induits par la circulation des trains à grande vitesse sur la voie a conduit à une dégradation plus rapide

de la qualité de la voie et une augmentation des coûts de maintenance.

Cette dégradation varie en fonction du nombre, du type (voyageurs ou marchandises) et de la vitesse des trains. Lorsque la vitesse dépasse 300 km/h le facteur vitesse devient au moins aussi

important que le volume de trafic et la charge transportée. Les valeurs des défauts de géométrie de la voie qui, à ces vitesses d'exploitation, entraînent des limitations temporaires de vitesse, sont rapidement atteintes sans un régime drastique de maintenance par

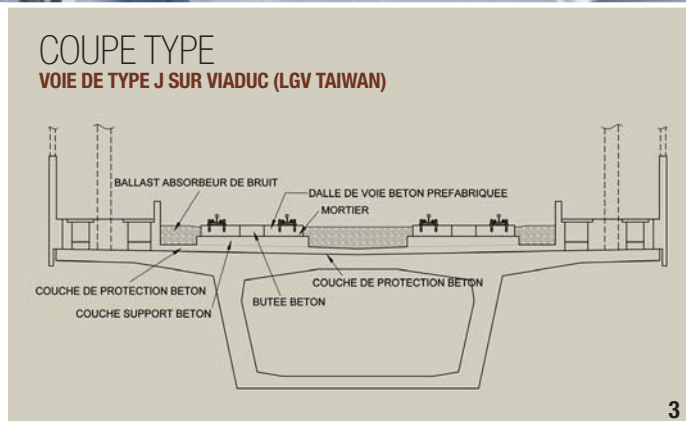
bouillage mécanique lourd. Ces ralentissements, lorsqu'ils doivent être mis en place, réduisent mécaniquement le taux de disponibilité de l'infrastructure et pénalisent financièrement le gestionnaire de l'infrastructure dans le cadre de PPP par exemple.



2

- 2- Pose de voie de type CRTS 2 (LGV Chine).
- 3- Coupe type, voie de type J sur viaduc (LGV Taiwan).
- 4- Voie de type J sur viaduc (LGV Taiwan).

- 2- CRTS 2 track slab installation (China HSR).
- 3- Typical section of J slab track on viaduct (Taiwan HSR).
- 4- J slab track on viaduct (Taiwan HSR).



3



4

© SYSTRA

De plus un paramètre important est le temps disponible pour effectuer les travaux de maintenance. Il est en général admis qu'une durée minimum d'intervention quotidienne de 5 heures par section de voie, généralement de nuit, est nécessaire pour mettre en œuvre les

mesures préventives et correctives de maintenance, permettant de conserver le confort des passagers et la sécurité des circulations à grande vitesse sur les voies ballastées. Les opérations de renouvellement des éléments de la voie requièrent des temps beaucoup plus

longs de neutralisation de la voie et doivent être planifiées de longue date. La réalisation de ces opérations, outre leur coût, réduit aussi le taux de disponibilité de l'infrastructure. Le niveau de qualification du personnel de maintenance et de matériel moderne

pour effectuer les opérations de maintenance sur le réseau ferré est un autre paramètre à prendre en compte. C'est pourquoi certains réseaux ferrés, qui souhaitent exploiter de manière continue notamment des lignes à trafic mixte voyageurs/fret, sur des durées quotidiennes plus longues, ont opté pour des systèmes de voie sur dalle. Initialement les nouveaux projets étaient valorisés sur la base du coût d'investissement. Une approche plus générale est maintenant de considérer le coût du cycle de vie du système, qui est plus adapté. À cet égard, le système de voie sur dalle peut être une alternative compétitive au système traditionnel de voie ballastée. D'autres considérations peuvent conduire à adopter des systèmes de voie sur dalle de manière exceptionnelle pour les ponts et les tunnels ferroviaires. Par ailleurs l'amélioration constante et la mécanisation croissante des méthodes de construction des systèmes de voie sur dalle les rendent de plus en plus compétitifs sur le plan économique.

LES VOIES SUR DALLE POUR LGV DANS LE MONDE

Des systèmes de voie sur dalle pour lignes à grande vitesse (≥ 300 km/h) sont actuellement en exploitation en Europe et en Asie.

→ **Europe** : essentiellement en Allemagne qui a opté pour la voie sur dalle depuis 1998 sur les lignes à grande vitesse Hanovre-Berlin, Cologne-Rhin/Main (photo 1) et Nuremberg-Ingolstadt. Quelques tronçons de test ont été réalisés en Espagne et en France (TGV Est).

→ **Asie** :

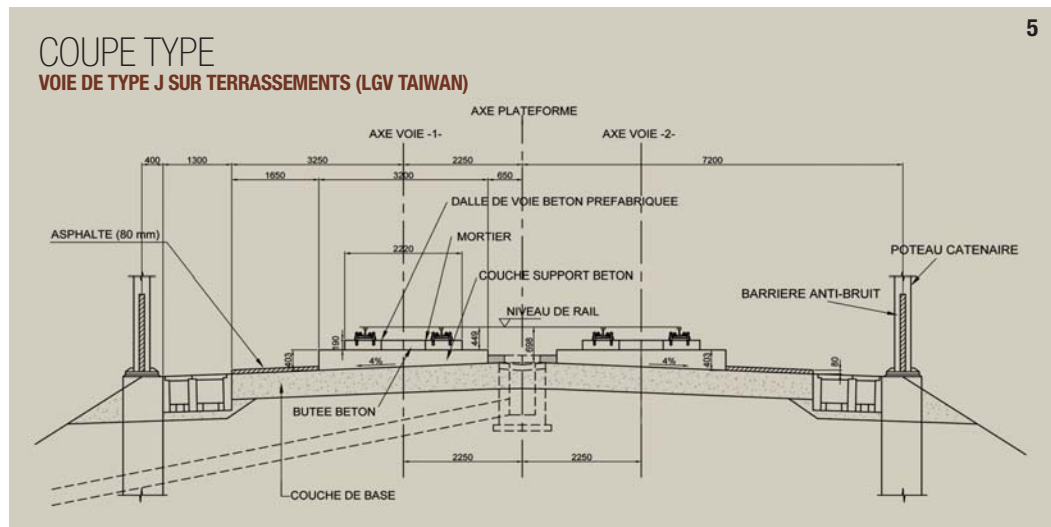
- Le Japon a développé son système de voie sur dalle depuis 1975 sur plus de 1 000 km du réseau Shinkansen.
- Taïwan exploite depuis 2007 un train à grande vitesse entre Taipei et Kaohsiung, sur une voie sur dalle dont la technologie est inspirée des technologies japonaises et allemandes.
- La Chine a ouvert sa première ligne à grande vitesse en 2008 entre Pékin et Tianjin (120 km). La Chine a installé le système allemand de voie sur dalle Boegl sur Pékin-Tianjin via un transfert de technologie et est en train de construire 3 000 nouveaux kilomètres de voie sur dalle pour lignes à grande vitesse.
- En Corée du Sud, installation de voie sur dalle sur la section sud (Taegu-Pusan) de la Kyongbu line, ligne à grande vitesse Séoul-Pusan. ▷

La tendance en Asie et en Allemagne est d'installer des voies sur dalle de manière systématique sur les nouvelles lignes à grande vitesse, alors que des pays européens tels que la France, l'Espagne, l'Italie et le Portugal continuent à installer des voies ballastées. Ceci s'explique par le fait que ces pays européens disposent de ressources importantes en ballast de bonne qualité et à coût modéré. Ils ont développé au cours des années un savoir-faire considérable en termes de maintenance, au sein des autorités ferroviaires et du secteur privé et sont très bien équipés en matériel de maintenance performant, et bénéficient d'une large expérience dans la construction de voie ballastée.

De plus, le coût relativement élevé du béton et de la main d'œuvre pénalisent le coût de construction de la voie sur dalle.

CHOIX DU TYPE DE VOIE

Il s'agit d'un problème complexe. Plusieurs critères doivent être pris en compte comme le contexte local, les paramètres économiques locaux, la connaissance du coût du cycle de vie de la voie ballastée et de la voie sur dalle par les autorités ferroviaires



locales, le niveau de qualification du personnel de maintenance des réseaux ferrés locaux et des exploitants futurs, et le niveau des équipements des réseaux ferrés locaux et des exploitants futurs (voir Tableaux A & B). Les critères suivants doivent être pris en considération pour une évaluation économique : coûts d'investissement ; coûts de maintenance ; possibilité d'op-

5- Coupe type, voie de type J sur terrassements (LGV Taiwan).

5- Typical section, J slab track on earthworks (Taiwan HSR).

timisation du tracé compte tenu de la relaxation de certains critères pour la voie sur dalle ; valorisation d'une plus grande disponibilité de l'infrastructure réalisée avec la voie sur dalle ; pérennité du confort des passagers ; contraintes environnementales liées au bruit et aux vibrations. D'autres critères entrent également en ligne de compte comme la possibilité

TABLEAU A :

VOIE BALLASTÉE	
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts de construction relativement plus faibles que ceux de la voie sur dalle. • Cadences de construction élevées. • Elasticité élevée. • Possibilité de corriger les défauts de construction. • Possibilité de modifier la géométrie de la voie. • Bonne connaissance des coûts du cycle de vie. • Bonne capacité d'absorption du bruit et des vibrations. • Possibilité d'un réemploi partiel du ballast. • Bonne capacité d'adaptation aux tassements des structures et des ouvrages en terre. • Procédures de maintenance éprouvées. • Méthodes de renouvellement standardisées.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la disponibilité de l'infrastructure lors des opérations de maintenance. • Fréquence élevée des opérations de maintenance et coût de maintenance élevés. • Stabilités horizontale et transversale limitées, en particulier sous températures extrêmes. • Rapide détérioration de l'alignement avec le temps. • Durée de vie plus limitée que la voie sur dalle. • Problèmes liés à l'usure du ballast*. • Poids propre élevé sur les ouvrages d'art. • Nécessité d'une section plus large du fait du profil du ballast. • Risques de projection de ballast à vitesse élevée. • Possible de réduction de la perméabilité du ballast. • Besoin en ballast à caractéristiques mécaniques élevées pour lignes à grande vitesse. • Planning de construction restrictif.
<p>(*) À titre d'exemple, le renouvellement du ballast de la ligne TGV Sud-Est a eu lieu 15 ans après l'ouverture de la ligne et a nécessité un budget très élevé.</p>	

TABLEAU B :

VOIE SUR DALLE	
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Besoins en maintenance réduits. • Forte disponibilité de l'infrastructure. • Durée de vie plus élevée du support de la voie. • Réduction des coûts du cycle de vie. • Réduction de l'épaisseur du système de voie dans les tunnels. • Réduction du poids propre de la voie sur les ouvrages d'art. • Stabilités transversales et verticales élevées, permettant des vitesses plus élevées**. • Possibilité de faire circuler des véhicules d'urgence routiers sur la plate-forme afin d'accéder à la voie. • Planning de construction flexible.
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts de construction plus élevés. Des résultats d'études comparatives donnent des écarts de 30 % (Asie) à 75 % (Europe). • Processus d'installation complexes avec difficultés pour corriger les défauts de construction. • Nécessité d'installer un matériau spécifique pour absorber le bruit et les vibrations dans les zones sensibles. • L'installation des voies sur dalle est relativement récente et il y a encore peu de retour d'expérience. • Possibilité d'ajustement limitée, uniquement fournie par le système de fixation du rail. • Difficulté de modification de l'alignement et de renouvellement du support de la voie. • Suivant le système de signalisation, nécessité d'isoler électriquement le ferrailage de la voie sur dalle. • Faible capacité à s'accommoder des tassements à long terme. Nécessite une conception contraignante de l'infrastructure.
<p>(**) Deutsche Bahn AG (Allemagne) autorise des variations d'insuffisance de dévers et des accélérations transversales plus élevées, afin de réduire les valeurs de rayon en plan minimum. Il est nécessaire d'installer deux niveaux d'amortissement pour compenser l'élasticité réduite de la voie sur dalle. Ces niveaux d'amortissement sont intégrés dans le système de fixation du rail. Pour la voie dite « Stedef », ils sont complétés par un garnissage des blocs de voie à l'aide de chaussons en matériau caoutchouté. Idéalement la raideur verticale totale de la voie doit être de l'ordre de 100 kN/mm, de manière à absorber les efforts dynamiques engendrés par les trains.</p>	

6- Coupe type, voie de type Rheda 2000® (LGV Taiwan).

7- Principes de la voie de type Rheda 2000® sur viaducs (LGV Taiwan).

8- Coupe type de la voie de type Rheda 2000® sur viaducs (LGV Taiwan).

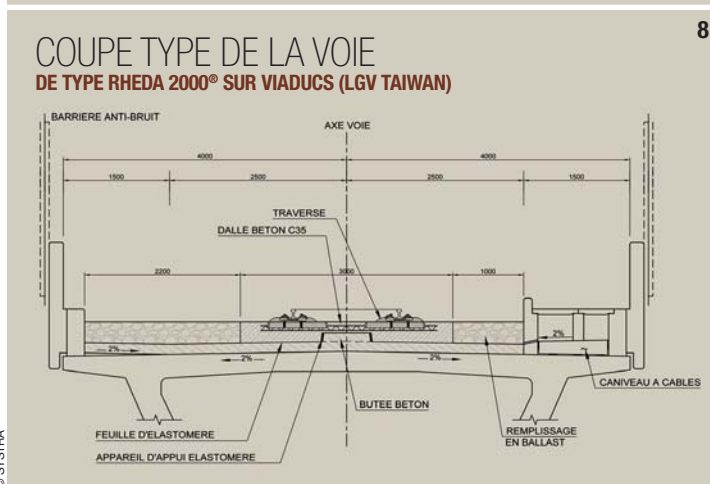
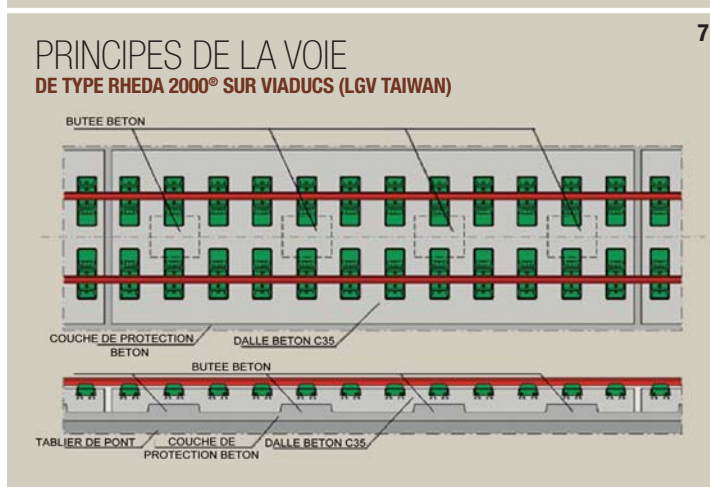
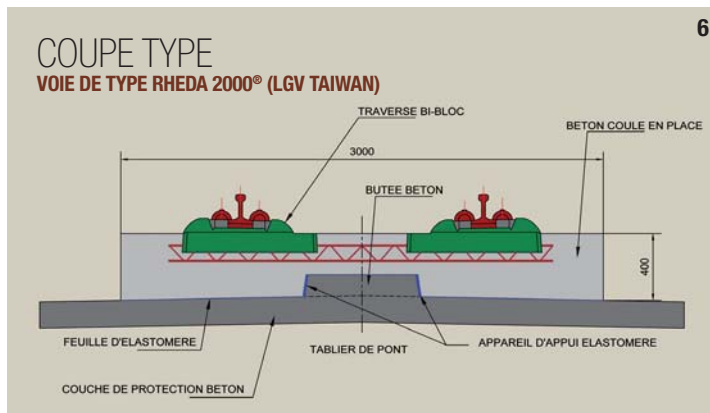
9, 10 & 11- Construction de la voie de type Rheda 2000® sur viaducs (LGV Taiwan).

6- Typical section, Rheda 2000® slab track (Taiwan HSR).

7- Principles of Rheda 2000® slab track on viaduct (Taiwan HSR).

8- Typical section of Rheda 2000® slab track on viaduct (Taiwan HSR).

9, 10 & 11- Construction of Rheda 2000® slab track (Taiwan HSR).



© SYSTRA

d'adaptation du tracé, l'influence du poids propre de la voie sur le design des ouvrages d'art, l'importance de l'épaisseur de la voie dans les tunnels, les aspects liés à la sécurité (stabilité transversale et longitudinale de la voie), ainsi que tout autre critère provenant des autorités ferroviaires locales.

LES DEUX GRANDS TYPES DE SYSTÈMES DE VOIE SUR DALLE (LGV)

Ils se distinguent par leur méthode d'installation :

→ Le type « Top/Down » pour lequel l'ensemble du système traverses + rails est installé et réglé à sa position définitive sur vérins provisoires, puis le béton structurel coulé en place.

→ Le type « Bottom/Up » pour lequel le système est constitué de couches successives, béton de fondation, dalles de voies préfabriquées, attaches et rails empilées successivement.

Le premier type permet d'obtenir du premier coup la géométrie de la voie définitive sans ajustement a posteriori mais au détriment d'un rendement d'installation inférieur au second type. Le second type, plutôt utilisé dans le cas de grandes longueurs où la construction d'installations de préfabrication de dalles est économiquement pertinente, permet un rendement plus important mais au prix d'ajustements topographiques nécessitant une technologie de grande précision.

LES PRINCIPAUX SYSTÈMES DE VOIE SUR DALLE

VOIE SUR DALLE DE TYPE J (SOURCE SYSTRA, LGV TAIWAN) SUR VIADUCS

La voie japonaise de type J (figure 3 et photo 4) est basée sur l'utilisation de dalles préfabriquées et s'applique uniquement à la voie courante (pas aux ▹

© SYSTRA



9

10

11

zones d'appareils de voie). Le système, de type « Bottom/Up » est composé de :

- Une couche de protection en béton placée sur le viaduc et dont le rôle est d'absorber les irrégularités dues à la construction (épaisseur 100 mm).

- Une couche support en béton sous chaque voie. C'est cette couche support qui fournit le dévers.

- Des butées en béton de section circulaire qui assurent le blocage longitudinal et transversal de la voie.

- Une couche de mortier asphalticement entre la couche support et la voie. Cette couche participe à l'élasticité nécessaire à la voie ainsi que la capacité d'ajustement du profil de la voie.

- Une dalle de voie préfabriquée dont la longueur standard est de 4,95 m.

- Du ballast n'étant utilisé dans ce cas que comme matériau absorbant de bruit et vibrations.

Les dalles préfabriquées ne peuvent pas traverser les joints de structure, c'est pourquoi la longueur standard doit être adaptée à chaque travée, ce qui nécessite un calepinage précis. Le système est installé de bas en haut par couches successives avec un réglage final du rail réalisé à l'aide de sacs de résine placés sous le patin du rail.

EN ZONE DE TERRASSEMENTS

Les principes de conception et d'installation de la voie de type J en zone de terrassements sont similaires à ceux des zones de viaducs, sauf que la couche support est installée directement sur une couche de matériau granulaire soigneusement compactée, appelée couche de base (figure 5).

VOIE SUR DALLE DE TYPE RHEDA 2000 (SOURCE SYSTRA, LGV TAIWAN ET LGV CORÉE)

SUR VIADUCS

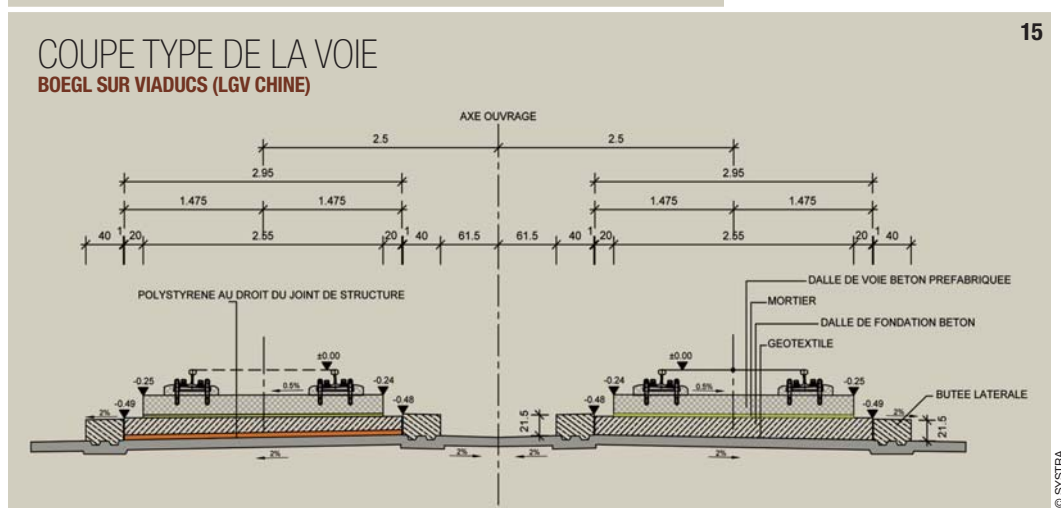
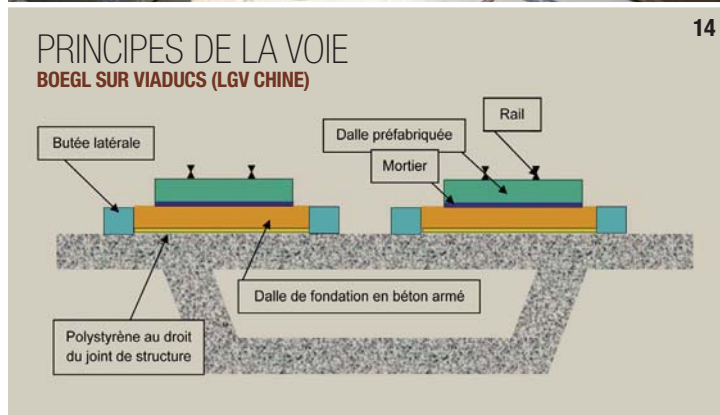
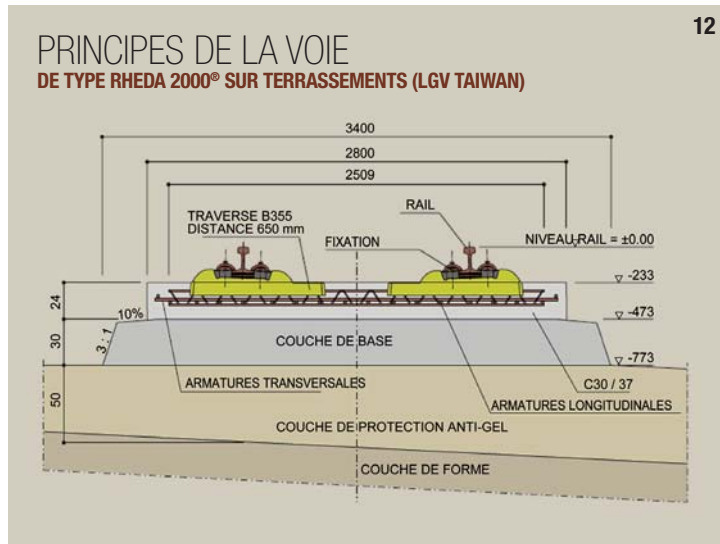
La voie allemande de type Rheda 2000 est une voie coulée en place basée sur des composants élémentaires, traverses bi-blocs notamment, noyées dans le béton (figures 6 à 8).

Ce système de type « Top/Down », garantit un haut niveau de précision de la voie : les rails fixés aux traverses sont installés dans leur position finale, avant bétonnage de la voie en béton (photos 9 à 11).

EN ZONE DE TERRASSEMENTS

Comme pour la voie de type J, la voie Rheda 2000 en zone de terrassements est très similaire à la voie Rheda 2000 en zone de viaducs.

La différence principale est qu'en zone de terrassements, il n'y a pas de nécessité d'avoir des butées dans la couche de base, compte tenu du fait que la



12- Principes de la voie de type Rheda 2000® sur terrassements (LGV Taiwan).

13- Pose de voie Rheda 2000® en tunnel – ligne Seoul Pusan, Corée du Sud.

14- Principes de la voie Boegl sur viaducs (LGV Chine).

15- Coupe type de la voie Boegl sur viaducs (LGV Chine).

12- Principes of Rheda 2000® slab track on earthworks (Taiwan HSR).

13- Installation of Rheda 2000® slab track in tunnel, Seoul-Pusan line, South Korea.

14- Principles of Boegl slab track on viaduct (China HSR).

15- Typical section of Boegl slab track on viaduct (China HSR).

16- Principes de l'ancrage de la voie Boegl à l'arrière des culées (LGV Chine).

17- Principes de la mise en continuité de la dalle de fondation Boegl (LGV Chine).

18a, b & c- Construction de la dalle de fondation de la voie Boegl sur viaducs (LGV Chine).

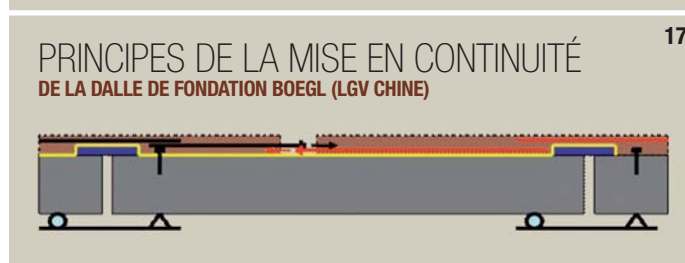
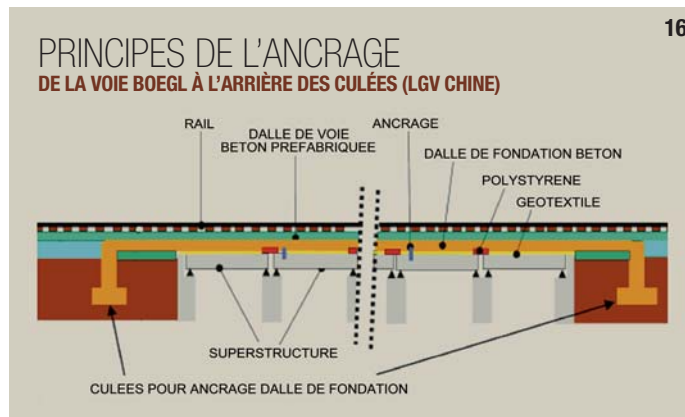
19- Perspective montrant la dalle de fondation continue au droit des joints des ouvrages d'art.

16- Principles of Boegl slab track anchoring behind the abutments (China HSR).

17- Principles of implementation of Boegl foundation layer continuity (China HSR).

18a, b & c- Construction of Boegl foundation layer on viaduct (China HSR).

19- Perspective showing continuous foundation layer on viaduct.



structure support n'est pas sujette aux mouvements causés par les variations de température.

Ceci rend la construction très aisée et rapide, la couche de base pouvant être réalisée à l'aide d'une machine à paver (figure 12).

EN ZONE DE TUNNELS

La voie Rheda est installée de manière similaire en zones de tunnels (photo 13).

VOIE SUR DALLE DE TYPE BOEGL (SOURCE SYSTRA, LGV CHINE)

Initialement, le système Boegl installé en Allemagne comportait des dalles de voie préfabriquées différentes sur ouvrage d'art et sur ouvrage en terre. Afin d'utiliser les mêmes dalles de voie préfabriquées sur ouvrage d'art et sur ouvrage en terre, Boegl a développé en 2005 et 2006, un nouveau concept pour la LGV Pékin-Tianjin.

Le support de la dalle de voie préfabriquée sur ouvrage d'art est constitué d'une dalle en béton armé qui fournit un support continu de la même manière que la couche support en zone de terrassements.

Ce nouveau concept a été mis en œuvre pour la première fois sur la LGV Pékin-Tianjin (ouverte en août 2008). Systra était en charge de l'assistance à maîtrise d'ouvrage pour ce projet.

CONCEPT

La voie sur dalle Boegl est de type « Bottom/Up ».

Les dalles de voie préfabriquées sont posées sur une dalle de fondation en béton armé continue et vont d'une extrémité à l'autre du viaduc sans interruption.

Les dalles préfabriquées sont identiques à celles de zones de terrassements et leur installation sur la dalle en béton armé est similaire.

La dalle en béton armé est ancrée dans le tablier de l'ouvrage d'art au droit de chaque appui fixe.

Afin de permettre les mouvements relatifs entre la dalle en béton armé et le tablier de l'ouvrage d'art sous variation de température et ainsi limiter les efforts dans la voie et la structure, une couche de glissement (géotextile) est installée à l'interface.

Au droit des joints structurels des ouvrages d'art, cette couche de glissement est remplacée par une plaque de polystyrène qui permet de limiter la rotation imposée à la dalle en béton armé.

Les mouvements latéraux sont restreints par des butées latérales en béton armé qui sont ancrées dans les tabliers (figures 14 et 15).

La dalle continue en béton armé est ancrée aux extrémités de l'ouvrage à l'arrière des culées (figure 16).

CONSTRUCTION

L'installation de la voie sur ouvrage d'art est similaire à la construction en zone de terrassements. Mais il est tout d'abord nécessaire de construire la dalle continue en béton armé. Cette construction n'est pas simple, compte tenu de la continuité. La méthodologie de construction doit, entre autres :

→ Éviter la transmission d'efforts horizontaux aux piles et fondations pendant la construction.

→ Permettre de réaliser la construction de la dalle continue à une température de référence, de sorte que les contraintes dues aux variations de température soient limitées aux valeurs théoriques.

En fonction de la température au moment de la construction, il peut être nécessaire de « libérer » les contraintes dans la dalle de fondation, par utilisation de coupleurs mécaniques entre éléments successifs de dalle de fondation, afin d'obtenir un niveau de contrainte nul dans la dalle à la température de référence, la contrainte nulle ne pouvant être obtenue par la fissuration normale de la dalle (figures 17 & 19 - photos 18a à 18c).



20

© SYSTRA

DÉVELOPPEMENTS RÉCENTS DE LA VOIE SUR DALLE EN CHINE

Pour les LGV en cours de construction, les Chinois utilisent des systèmes de voie sur dalle très similaires aux systèmes allemand et japonais mis en œuvre sur leurs premières LGV.

En particulier, la voie CRTS 2 qui présente quelques évolutions par rapport à la voie Boegl, avec une dalle de fondation sans réduction d'épaisseur au droit des joints structurels des tabliers (le polystyrène est logé dans une engravure du hourdis de pont).

AUTRES APPLICATIONS DE LA VOIE SUR DALLE

La voie sur dalle fait l'objet d'applications pour des projets de transport urbain, comme le projet Delhi Airport Link à

Delhi (Inde). Pour ce dernier projet, les exigences en termes de qualité de la voie pour une vitesse d'exploitation élevée (160 km/h) ont conduit à la construction d'une voie sur dalle de type Rheda.

Des solutions permettant de réduire le poids de la structure de voie ont été élaborées avec Systra, pour permettre la mise en œuvre sur des viaducs urbains légers (photo 20).

CONCLUSION

La mise en œuvre de systèmes de voie sur dalle sur les lignes à grande vitesse (LGV), dans plusieurs pays européens et asiatiques, répond à un certain nombre de besoins dont la disponibilité de l'infrastructure et un coût de maintenance réduit par rapport aux systèmes de voie ballastée. Cependant, la voie sur dalle

20- Voie de type Rheda installée sur le projet Delhi Airport Link (Inde).

20- Rheda slab track for Delhi Airport Link project (India).

n'est pas la solution à toutes les problématiques posées par la construction et la maintenance des infrastructures de Lignes à Grande Vitesse, et le choix entre la voie sur dalle et la voie ballastée doit se faire sur la base d'une analyse multicritère complexe dont les principes sont exposés dans cet article. Enfin, cet article présente des solutions techniques dont certaines sont assez récentes et ne bénéficient pas encore d'un retour d'expérience suffisant. Il faudra encore attendre quelques années pour pouvoir évaluer leur tenue à long terme ainsi que les coûts de maintenance associés. Il est cependant à prévoir que le développement de la voie sur dalle se poursuive dans des pays comme la Chine, dont le réseau ferré de Lignes à grande Vitesse est en pleine expansion. □

ABSTRACT

SLAB TRACK FOR HIGH-SPEED RAIL LINES – STATE OF THE ART

ALAIN HOCKE, SYSTRA - PHILIPPE MOINE, SYSTRA

Ballasted track or slab track for high-speed rail lines? *The choice between one system or the other should be based on a complex multiple-criterion analysis, the principles of which are outlined in this article, which also gives examples of projects performed throughout the world. □*

VÍA EN PLACA PARA LÍNEAS DE ALTA VELOCIDAD – SITUACIÓN ACTUAL

ALAIN HOCKE, SYSTRA - PHILIPPE MOINE, SYSTRA

¿Vía con balasto o vía en placa para las líneas ferroviarias de alta velocidad? *La elección entre uno u otro sistema debe realizarse sobre la base de un complejo análisis multicriterio cuyos principios se exponen en este artículo, junto con ejemplos de realizaciones en todo el mundo. □*

LE TRAMWAY DE DIJON (CÔTE-D'OR)

AUTEURS : AMMAR TRICHE, INGÉNIEUR DIRECTION TECHNIQUE, EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS - THIERRY WINKEL / DIRECTEUR DE TRAVAUX, EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS EST - BENOÎT PETIT, RESPONSABLE DU PÔLE TRAMWAY, EIFFAGE RAIL - MARIE-FRANÇOISE ROUSSEL, RESPONSABLE TECHNIQUE EST, EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS

DEPUIS PLUSIEURS ANNÉES, EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS EST UN ACTEUR MAJEUR DE LA CONSTRUCTION DES PLATES-FORMES DE TCSP ET NOTAMMENT DE TRAMWAYS. LA CONSTRUCTION DU TRAMWAY DE DIJON RESTE DANS LA LIGNÉE DES CHANTIERS AUXQUELS A PARTICIPÉ LE GROUPE DEPUIS LA FIN DES ANNÉES 80 (MONTPELLIER, GRENOBLE, LYON, CAEN, PARIS, ANGERS, ...). CEPENDANT, LE TRAMWAY DE DIJON CONSTITUE UNE INNOVATION : C'EST LE PREMIER CHANTIER DE TRAMWAY NEUF INTÉGRALEMENT RÉALISÉ PAR EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS, Y COMPRIS LA POSE DES VOIES.



© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS

On le croyait définitivement abandonné, dépassé, rangé au placard ou dans les musées des transports...

Pourtant depuis le milieu des années 80, le tramway connaît une deuxième jeunesse. De nombreuses villes, y compris de taille moyenne, ont opté

pour ce mode de transport disparu de nos villes depuis les années 60.

Le premier choc pétrolier de 1973 puis celui de 1979, ainsi que les politiques d'aménagement des cœurs de ville, ont obligé les pays développés à repenser leurs modes de transport et à s'orienter vers des

1- Protection des voies avant bétonnage.

1- Protection of the tracks before concreting.

solutions moins consommatrices en énergie. Aujourd'hui, le tramway est plébiscité, en conformité avec le Grenelle de l'Environnement : non polluant, silencieux, moins consommateur d'énergie et d'une capacité de transport supérieure aux bus.

(1 tramway = 3 bus ou 177 voitures). ▷

UN PROJET AMBITIEUX

En 2010, Eiffage Travaux Publics Est et Eiffage Rail, en partenariat avec des PME locales, ont été adjudicataires d'un marché d'aménagements urbains et de la pose des voies ferrées de la future ligne de tramway du Grand Dijon.

Ce marché comprend les travaux de terrassements, la réalisation de multibulaires, les VRD, les revêtements et la pose des voies ferrées au cœur de Dijon.

Le projet de tramway du Grand Dijon est une pièce maîtresse pour le développement et l'attractivité de la capitale de la Bourgogne et de l'ensemble du Dijonnais (315 000 habitants, 135 000 emplois) (figure 2). Il complétera à terme le réseau des transports en commun existant tout en contribuant activement à la réduction des gaz à effet de serre.

Selon le Grand Dijon, ce projet de tramway répond à plusieurs impératifs ou attentes :

→ Il s'intègre dans une stratégie globale des planifications locales des politiques de transport et notamment la réalisation d'un éco-PLU (plan local d'urbanisme) pour Dijon.

→ Il favorise le report modal de la voiture particulière vers les transports collectifs et les autres modes de déplacements moins énergivores et plus propres.

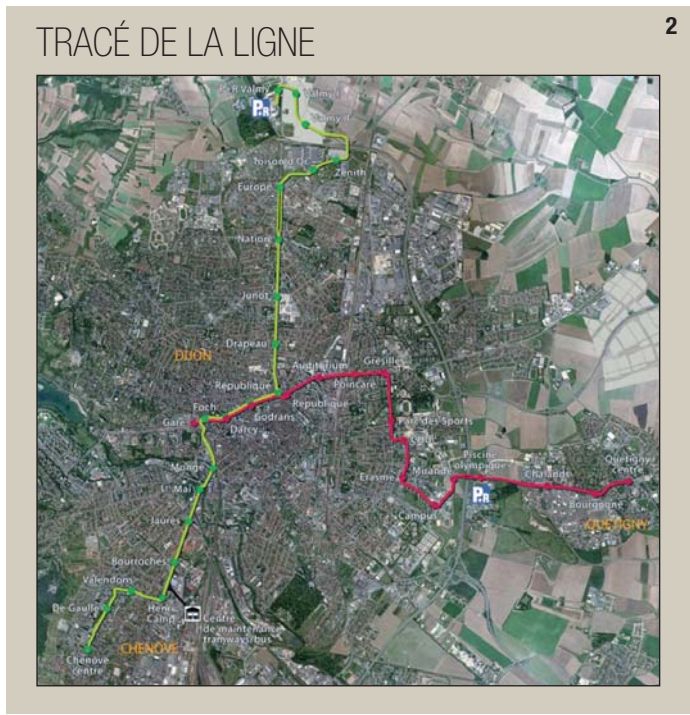
→ Il assure une desserte de qualité des grands équipements scolaires, de santé, de formation, et des pôles d'emplois. La future ligne participera à la cohérence globale des besoins en déplacements des usagers.

→ Il participera au désenclavement de quartiers sensibles « prioritaires de la politique de la ville » (Le Mail à Chenôve, les Grésilles à Dijon et le centre-ville de Quetigny).

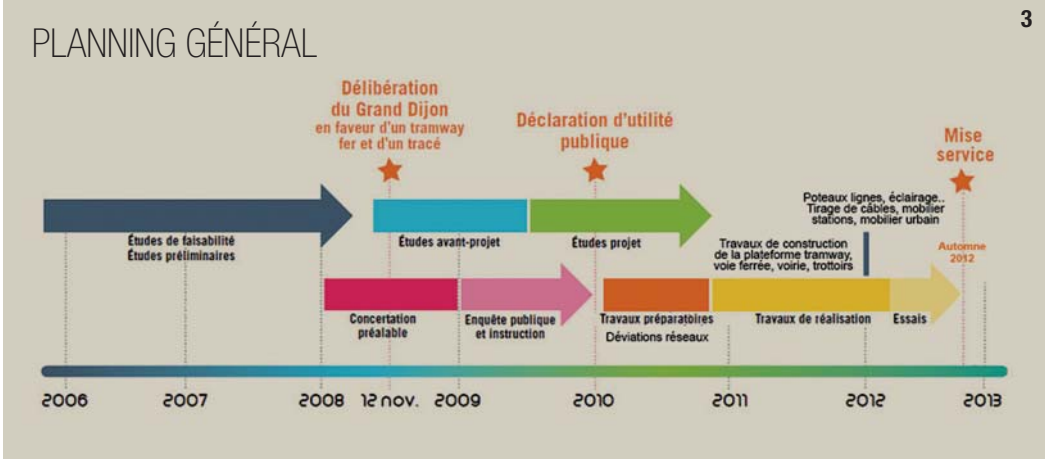
Pour résumer, ce projet va améliorer la qualité de vie des habitants du Grand

- 2- Tracé de la ligne.
- 3- Planning général.
- 4- Balisage des travaux.
- 5- Travaux de VRD.
- 6- Soudage des rails.

- 2- Alignment of the Greater Dijon line.
- 3- Greater Dijon general schedule.
- 4- Marking out the works.
- 5- Main services works.
- 6- Welding the rails.



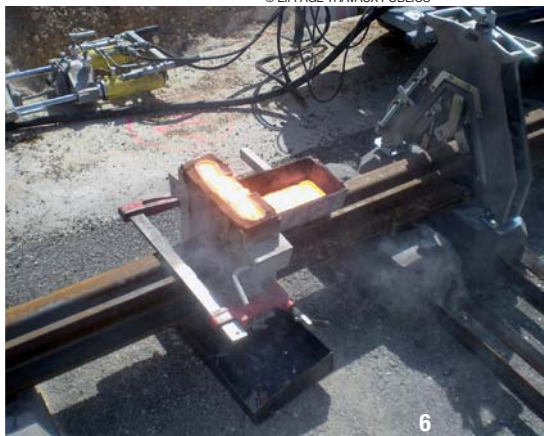
© GRAND DIJON



Dijon tout en participant à la cohésion sociale, à la préservation de l'environnement, au développement économique, à la maîtrise de l'aménagement urbain et de la circulation automobile (figure 3).

PHASAGE DES TRAVAUX – SPÉCIFICITÉS
Les projets de tramway font appel à tous les corps de métiers d'Eiffage Travaux Publics. Cette palette de métiers transversaux, complétée aujourd'hui

par Eiffage Rail créée en 2010, permet au Groupe de proposer une offre globale de construction de plates-formes de TCSP (terrassements, VRD, voie ferrée, ouvrages d'art, aménagements urbains).



© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS



7

© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS



8



9

Ce type de projets est assimilable non pas à un « grand chantier » mais à une multitude de petits chantiers imbriqués qui nécessitent une coordination et une maîtrise des interfaces. L'intérêt des offres globales (VRD + voie ferrée) est justement la réduction des interfaces et des risques pour le client, et une conduite de travaux plus efficace et plus cohérente pour l'entreprise.

Dans le cadre du tramway de Dijon, le phasage des travaux se décompose en 4 grandes étapes :

→ Travaux préparatoires - signalisation :

Les travaux ont débuté au printemps 2010. Dans un premier temps, ils consistaient à réaliser les installations de chantier et de stockage des matériaux, la signalisation provisoire, les mesures de protection des riverains et du chantier (barrières, clôtures, passerelles). Le chantier, situé en milieu urbain, nécessitait de nombreuses précautions pour minimiser les nuisances occasionnées par les travaux : bruit, poussière... et réduire les difficultés de circulation des différents usagers pendant les travaux (piétons, cyclistes, automobilistes, transport en commun) (photo 4).

Ainsi, au démarrage du chantier, Eiffage Travaux Publics et ses partenaires ont adapté leurs méthodes de travail afin de répondre aux impératifs liés aux spécificités des travaux en milieu urbain et hyper-urbain : utilisation d'un matériel de compactage adapté (éviter les désagréments des vibrations), recherche de matériaux performants pour une remise en circulation rapide, adaptation de matériel courant pour répondre au travail en zone urbaine ou entre rails.

→ Travaux de démolition - terrassements - assainissements - VRD :

Se sont enchaînés les travaux de dépose du mobilier urbain, les travaux

de démolition et de terrassement, puis l'assainissement (photo 5).

Aujourd'hui, le chantier se poursuit à un rythme relativement soutenu, faisant intervenir les différents corps de métiers : couche de forme et enrobés de la future plate-forme tramway, assainissement, VRD, réseaux multibulaires, travaux de chaussées, pose des séparateurs.

→ Travaux de pose de voie ferrée :

Une fois terminées, les plates-formes sont livrées au fur et à mesure à l'entreprise en charge des massifs de la ligne aérienne de contact (LAC) et à Eiffage Rail pour la réalisation du béton de voie, la pose des rails et des équipements (photos 6 à 8).

Côté ferroviaire, 14 mois seront nécessaires pour mettre en place les 14 km de voies (2 x 7 km) et neuf appareils d'aiguillage. Eiffage Rail a mobilisé trois équipes (environ 70 personnes) pendant la durée du chantier. La grande nouveauté du tramway de Dijon réside dans la réalisation de la fondation de la voie : usuellement réalisée en béton maigre, la voie reposera cette fois sur un enrobé à module élevé (EME) (photo 9).

7- Réglage des traverses.

8- Détail des cornières en carrefour.

9- Traverses sur enrobés à module élevé (EME).

7- Adjusting the sleepers.

8- Detail of brackets at intersection.

9- Sleepers on high modulus asphalt.

Cette innovation testée à petite échelle sur d'autres projets, notamment à Strasbourg, a été généralisée sur Dijon. Elle apporte plusieurs avantages non négligeables, notamment un gain de temps (délais d'exécution réduits) car il n'y a pas d'attente liée à la prise du béton, et une meilleure résistance

à l'érodabilité de l'EME par rapport au béton maigre.

→ Travaux de finition :

La dernière phase des travaux consiste, après la restitution des voies équipées des rails, à réaliser les revêtements définitifs des plates-formes, les couches de roulement des chaussées, la pose des bordures et caniveaux, les revêtements de trottoir, le mobilier urbain et la signalisation.

LES REVÊTEMENTS DE PLATE-FORME

Étape phare du chantier, les travaux de revêtement des plates-formes consistent à combler les 17 à 18 derniers centimètres qui séparent la surface du béton de voie (communément appelé BC5) et la surface du rail. Cette opération permet à la voie de s'intégrer totalement dans l'espace urbain. Le choix des matériaux de surface se fait selon plusieurs critères : architectural, technique et méthodes de travail, en tenant compte des retours d'expériences.

Les techniques et matériaux actuels offrent un large panel de solutions : matériaux modulaires, béton, enrobés, gazon. À Dijon, le choix s'est porté sur 4 types de revêtements : les matériaux modulaires (pierre naturelle et béton), le gazon, les enrobés pour les traversées de carrefours et le béton désactivé.

Le gazon, devenu un matériau incontournable au fil des chantiers, représente le revêtement le plus utilisé sur le cheminement du tramway, suivi des matériaux modulaires et enfin des enrobés et du béton. Le gazon présente plusieurs avantages aux yeux des architectes et urbanistes : ruban de verdure permettant d'associer des aménagements végétaux hors plate-forme, il permet d'intégrer des espaces verts en milieu urbain. De plus, son coût est relativement inférieur aux autres matériaux, notamment les pavés en pierre naturelle.

SOURCE GRAND DIJON

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU NOUVEAU TRAMWAY

- **20 kilomètres de ligne ;**
- **37 stations ;**
- **90 000 voyageurs / jour ;**
- **76 000 habitants, 44 000 emplois et 38 000 étudiants desservis à moins de 500 mètres d'une station ;**
- **Une amplitude de service de 5h à 0h30 ;**
- **Une fréquence de passage en heure de pointe de 5 minutes (entre 2 et 3 minutes sur le tronçon commun aux deux lignes) ;**
- **32 rames de 30 mètres de long pouvant transporter de 200 à 220 voyageurs ;**
- **Une vitesse commerciale d'environ 20 km/h ;**
- **19 km d'itinéraires cyclables construits en même temps que le tram.**

Les matériaux modulaires (pavés et dalles), qu'ils soient en pierre naturelle ou en béton, sont régulièrement préconisés par les architectes : ils favorisent les aménagements tels que les places ou placettes, sur les chantiers au cœur des centres villes historiques ; ils offrent une multitude de coloris et de nuances leurs permettant de s'intégrer totalement dans l'environnement urbain et le contexte architectural local. Cependant, leur utilisation sous circulation (usagers et notamment camions et bus) est délicate et nécessite des études spécifiques.

Le béton et les enrobés sont généralement réservés aux carrefours, zones de fortes sollicitations et sujettes aux dégradations précoces.

À Dijon, Eiffage Travaux Publics a pris soin d'étudier de manière spécifique toutes les zones du projet (plate-forme, voiries et trottoirs). Un dimensionnement de structure, fondé sur les outils de dimensionnement classiques (Alizé, VoirB) et des procédures d'exécution spécifiques tenant compte de l'expérience ont été mises en place.

En plate-forme, le choix des matériaux et les dispositions constructives retenues tiennent compte des appareillages de voies, du rail, des capots et blochets, ainsi que des éléments de drainage.

LES CARREFOURS : DES POINTS TRÈS SOLLICITÉS

Les traversées de plate-forme, croisements des voies classiques et de la voie tramway, représentent des points spécifiques dans la construction de l'ouvrage.

La structure doit reprendre simultanément les efforts latéraux et verticaux du tramway ainsi que les efforts de la circulation usuelle (voiture, camions et bus).

Le choix du revêtement en carrefour est primordial pour la tenue à long terme de l'ouvrage et dépend de plusieurs facteurs : technique, architectural, politique d'entretien.

La maîtrise d'œuvre a opté pour des matériaux de type enrobés ou béton désactivé en carrefour. Ces matériaux offrent l'avantage d'une mise en œuvre relativement facile et un entretien aisé, surtout pour l'enrobé.

Une autre spécificité des carrefours consiste à retenir une solution technique pour la transition entre le rail et le revêtement.

Ce point névralgique conditionne la bonne tenue à long terme du carrefour : si cette interface n'est pas réalisée correctement, c'est la garantie de dégradations prématurées sur les matériaux de surface et l'ouvrage.

PRINCIPAUX INTERVENANTS SUR LE LOT EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS

MAÎTRE D'OUVRAGE : COMMUNAUTÉ D'AGGLOMÉRATION DIJONNAISE (GRAND DIJON)

MAÎTRISE D'ŒUVRE : EGIS RAIL / Alfred PETER

GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Eiffage Travaux Publics Est, Eiffage Rail, Rougeot, Desertot, Graglia

La solution retenue est la mise en place d'un plat métallique le long du joint afin d'éviter les phénomènes de fissuration ou de départ de matériaux.

Il s'agit d'une solution classique en tramway qui a déjà donné satisfaction sur d'autres projets (Valenciennes, Lyon).

CONCLUSION

Dans la tradition des projets de tramways récemment réalisés par Eiffage Travaux publics, Dijon reste un chantier classique : travaux de grandes ampleurs en milieu urbain ou hyperurbain avec mise en place d'une structure de chantier adaptée au contexte local et une offre technique complète (matériaux, matériels, méthodes) pour répondre aux attentes et aux besoins du client.

Cependant, par d'autres points, il présente quelques spécificités : premier chantier neuf de tramway réalisé par Eiffage Rail (créée en 2010) et l'innovation au travers de l'utilisation des enrobés à module élevé (EME) en lieu et place du béton maigre de fondation. Enfin, ce projet permet, une fois de

**10- Voie
en cours de
bétonnage.**

11- Bétonnage.

**10- Track
undergoing
concreting.**

11- Concreting.



10



11

© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS



© EIFFAGE TRAVAUX PUBLICS

12

plus, d'étoffer l'expertise d'Eiffage Travaux Publics dans le domaine de la construction de voies ferrées urbaines. De plus, l'offre globale (VRD et voie ferrée) permet au client de diminuer les interfaces et d'assurer ainsi une meilleure maîtrise des risques et donc des coûts.

Pour Eiffage Travaux Publics, elle permet d'avoir une conduite des travaux cohérente et une optimisation des moyens et des méthodes. □

12- Vue générale bétonnage terminé.

12- General view with concreting completed.

ABSTRACT

THE DIJON TRAMWAY (CÔTE-D'OR REGION)

AMMAR TRICHE, EIFFAGE - THIERRY WINKEL, EIFFAGE - BENOÎT PETIT, EIFFAGE - MARIE-FRANÇOISE ROUSSEL, EIFFAGE

For some years now, Eiffage Travaux Publics has been a major player in the construction of subgrades for reserved right-of-way public transport systems, and tramways in particular. The construction of the Dijon tramway is in line with the projects in which the Group has taken part since the end of the 1980s (Montpellier, Grenoble, Lyon, Caen, Paris, Angers, etc.). However, the Dijon tramway represents an innovation: it is the first new tramway project carried out entirely by Eiffage Travaux Publics, including track laying. □

EL TRANVÍA DE DIJON (CÔTE-D'OR, FRANCIA)

AMMAR TRICHE, EIFFAGE - THIERRY WINKEL, EIFFAGE - BENOÎT PETIT, EIFFAGE - MARIE-FRANÇOISE ROUSSEL, EIFFAGE

Desde hace varios años, Eiffage Travaux Publics es un actor clave en la construcción de plataformas de transporte colectivo en sitio propio, y en especial de tranvías. La construcción del tranvía de Dijon sigue la estirpe de las obras en las que el Grupo viene participando desde finales de los años 80 (Montpellier, Grenoble, Lyon, Caen, París, Angers, etc.). Sin embargo, el tranvía de Dijon reviste una novedad: es la primera obra de tranvía nuevo íntegramente realizada por Eiffage Travaux Publics, incluido el tendido de las vías. □

CARACTÉRISTIQUES ET PRINCIPALES QUANTITÉS

LONGUEUR : 7 km

DÉLAI : 28 mois (livraison septembre 2012)

PRINCIPALES QUANTITÉS :

- Enrobés VRD et plates-formes de tramway : 60 000 tonnes
- Décapage : 100 000 m²
- Déblais : 130 000 m³
- GNT : 35 000 m³
- Tranchées : 21 000 ml
- Réseau multitubulaires : 7 000 ml
- Bordures tous types : 49 000 ml
- Massifs LAC : 280 unités
- Traverses béton armé biblocs : 16 500 unités
- Traverses antivibratiles : 3 355 unités
- Rail à gorge : 1 534 tonnes
- Appareils de voie : 9 unités
- Béton de calage BC5 : 8 500 m³
- Mélange terreux : - Hors plate-forme : 39 900 m³
- Plate-forme : 4 760 m³
- Matelas drainant de plate-forme : 28 000 m²
- Semis du gazon de plate-forme : 61 100 m²

LES OUVRAGES D'ART DE L'AUTOROUTE A65

AUTEURS : FRÉDÉRIC CUFFEL, GIE A65, INGÉNIEUR OUVRAGES D'ART - ZIAD HAJAR, EIFFAGE TP, DIRECTEUR DU SERVICE TECHNIQUE OUVRAGES D'ART -
DIDIER KOENIG, GIE A65, DIRECTEUR DES TRAVAUX - FRÉDÉRIC ZIRK, ARCHITECTE



L'AUTOROUTE DE GASCOGNE A65 EST UNE INFRASTRUCTURE AU SERVICE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE DESTINÉE À DÉSENCLAVER ET AMÉLIORER LES COMMUNICATIONS ENTRE LE NORD ET LE SUD DE LA RÉGION AQUITAINE. RELIANT PAU À LANGON SUR 150 KM, ELLE COMPORTE DE NOMBREUX OUVRAGES D'ART DÉCRITS DANS LE PRÉSENT ARTICLE.



1- Viaduc du Gabas.

1- Gabas viaduct.

© EIFFAGE TP

En décembre 2006, la société A'Liéonor, détenue à 65 % par Eiffage et à 35 % par Sanef, a été désignée concessionnaire de l'autoroute de Gascogne A65 Pau-Langon, pour une durée de 55 ans.

A'Liéonor a conclu un contrat de conception-construction avec le groupement (GIE A65) piloté par Eiffage Travaux Publics, et associant toutes les branches du groupe Eiffage.

Le projet se développe sur environ 150 km entre Pau et Langon, à travers les départements de Gironde, des Landes et des Pyrénées-Atlantiques, et la région Aquitaine. En tant que première autoroute post-Grenelle, la protection de l'environnement est au centre du projet.

Le tracé de l'autoroute a donc été conçu pour minimiser l'effet sur l'environnement, et en particulier sur la faune et la flore.

La maîtrise des délais et des coûts, la maîtrise des risques, le recours à l'ingénierie concourante, la qualité de la concertation et le respect de l'environnement ont permis au GIE A65 de mener à bien la conception et la construction de l'infrastructure dans un délai très court. En effet la mise en service des 150 km d'autoroute a eu lieu à la fin de l'année 2010 soit 4 ans seulement après la signature du contrat de concession.

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DU PROJET

Le projet consiste à réaliser une nouvelle liaison autoroutière, entre l'autoroute A62 (Bordeaux-Toulouse) à hauteur de Langon, et l'autoroute A64 (Bayonne-Toulouse) à hauteur de Les-car, commune située à la périphérie Ouest de Pau (figure 2).

Il comprend :

- 150 km d'autoroute à 2x2 voies à profil normal ;
- 2 échangeurs autoroutiers (A62 au Nord et A64 au Sud) ;
- 8 diffuseurs ;
- 2 aires de service, 4 aires de repos, un centre d'entretien.

En phase de conception, le projet est découpé en 3 sections comprenant ▷

chacune deux TOARC de 20 à 30 km de longueur totale :

- **Section Sud** : 45 km entre Pau et Aire-sur-l'Adour Sud ;
- **Section Centre** : 39 km entre Aire-sur-l'Adour Nord et Roquefort ;
- **Section Nord** : 61 km entre Roquefort et Langon.

Le découpage de l'exécution des travaux est fait en cohérence avec la phase conception, de manière à ce que les ingénieries responsables du développement du projet puissent assurer la maîtrise d'œuvre des mêmes sections étudiées.

LES OUVRAGES D'ART

La réalisation de l'autoroute A65 nécessite la construction de 165 ouvrages d'art dans un délai de moins de 2 ans.

2- Synoptique de l'autoroute A65.

3- Caractéristiques principales des ouvrages d'art non courants.

4- Coupe transversale fonctionnelle.

2- Block diagram of the A65 motorway.

3- Main characteristics of linking structures.

4- Functional cross section.

La conception de ces ouvrages doit en outre s'adapter à de fortes contraintes environnementales et écologiques, qui guident le choix des types de structures ainsi que la méthodologie de réalisation des ouvrages.

Les ouvrages peuvent être regroupés dans deux grandes familles :

→ Les ouvrages d'art non courants (OANC) au nombre de 15.

→ Les ouvrages d'art courants (OAC) au nombre de 150, comprenant 78 passages supérieurs, 21 passages inférieurs et 51 ouvrages hydrauliques.

APPROCHE ARCHITECTURALE LES OUVRAGES D'ART NON COURANTS

D'une manière générale, le dimensionnement des ouvrages de franchisse-

ment des cours d'eau est conçu de façon à respecter les enjeux relatifs aux rétablissements hydrauliques et aux enjeux écologiques (maintien de la qualité des eaux, des habitats et des espèces). Pour les cours d'eau à forts enjeux, le dimensionnement de l'ouvrage doit respecter une ouverture au sol minimale inscrite dans le Dossier des engagements de l'État.

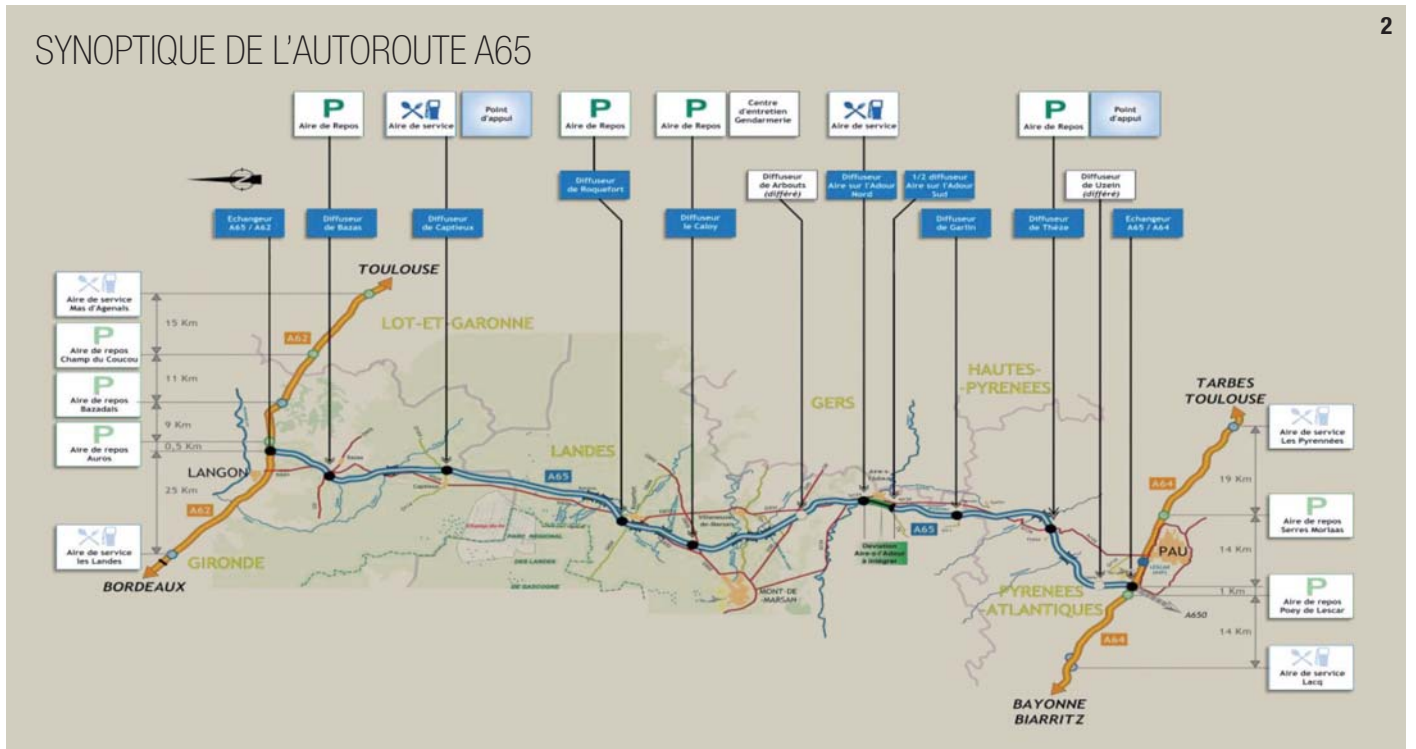
D'autre part la réalisation des ouvrages doit préserver, y compris en phase chantier, les lits mineurs et les berges des cours d'eau.

Le respect de l'ensemble de ces contraintes et mesures implique la réalisation de 15 OANC dont la longueur varie de 34 à 444 m (figure 3).

La largeur du tablier adoptée pour ces ouvrages est de 21,50 m, correspon-

SYNOPTIQUE DE L'AUTOROUTE A65

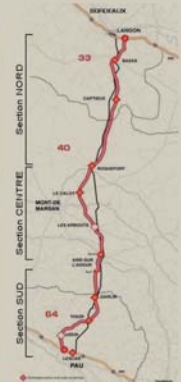
2



CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DES OUVRAGES D'ART NON COURANTS

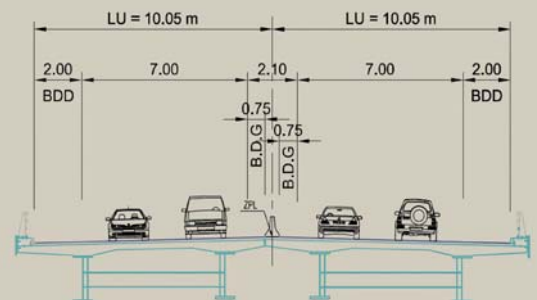
3

Section	Ouverture au sol Mini DEE (m)	Longueur (m)
Section Nord		
Viaduc du BARTOUQUET		66-77
Viaduc du CIRON	110	120
Viaduc le Retjons	70	78
Viaduc du Ribamouy	40	34
Viaduc de la Douze	200	220
Section CENTRE		
Viaduc le Corbleu	65	78
Viaduc des 9 fontaines		73
Viaduc le Midou	120	150
Viaduc le Ludon	85	103
Viaduc du Barouquet	80	118,5
Viaduc de Cassagne	60	88
Section SUD		
Viaduc du Gabas	350	444
Viaduc du Luy-de-France	25	80
Viaduc du Ruimayou	150	246
Viaduc du Luy-de-Béarn	70	80



COUPE TRANSVERSALE FONCTIONNELLE

4



dant à une largeur utile de 20,10 m (figure 4). Ce profil est conforme à la circulaire ministérielle du 29 août 1991 relative aux profils en travers des ouvrages d'art non courants (BAU réduite à 2 m).

Compte tenu de la configuration des brèches et des contraintes de franchissement, les travures proposées pour l'ensemble des OANC se situent dans le domaine d'emploi des ouvrages de type bipoutre à ossature mixte acier-béton. Le tablier mixte de type bipoutre permet en effet une rapidité d'exécution et un impact réduit du chantier, se limitant aux zones d'appuis, car la structure métallique peut être assemblée et mise en œuvre par lancement.

■ OUVRAGES DE TYPE BI-TABLIER

Les ouvrages présentant une longueur et des portées modestes sont constitués de 2 tabliers indépendants portant chacun un sens de circulation de l'autoroute.

Les deux tabliers présentent la même largeur utile de 9,75 m, mais des largeurs totales légèrement différentes : elle est de 11,09 m pour le tablier recevant le dispositif de retenue en TPC (type DBA) et de 10,36 m pour l'autre tablier. Le joint longitudinal de 5 cm en partie centrale entre les deux tabliers est traité par la mise en œuvre d'une étanchéité par feuilles, et complété par l'installation sous le joint d'un caniveau pour la récupération des eaux de ruissellement (photos 5 et 6).

Pour chaque tablier, le hourdis en béton armé repose sur les 2 poutres métalliques espacées de 6,00 m et reliées par des entretoises métalliques tous les 8 m environ.

Les piles (photo 7) sont constituées d'un fût unique dont la section est en forme de deux octogones s'engrenant l'un dans l'autre, surmonté d'un chevêtre marteau. Pour certains ouvrages dont la hauteur des piles est faible, la section du fût est circulaire et constante sur toute la hauteur.

L'ouvrage bi-tablier repose à chacune de ses extrémités sur une culée commune aux deux tabliers. Les culées sont constituées par un chevêtre fondé sur pieux, surmonté d'un mur garde-grève et fermé à ses extrémités par 2 murs en retour.

Réalisation des appuis

Le déroulement des travaux des appuis se fait en plusieurs étapes :

→ Réalisation des fondations (pieux et semelles).

→ Réalisation des parties en élévation : les culées sont réalisées de manière tra-



5



6



7

© EIFFAGE TP

ditionnelle en deux phases, la première phase correspond à la configuration de lancement, la seconde à la configuration définitive (réalisation du mur garde-grève et des murs en retour). Elle intervient après démontage de l'avant-bec. Les piles sont réalisées en place à l'aide d'un coffrage outil par levée de 4 m pour les piles hautes, ou bien en une seule levée pour les piles courtes (Luy de Béarn).

Les solutions de préfabrication des cages d'armatures ont bien souvent été privilégiées afin de limiter les durées d'intervention.

5- Viaduc du Riumayou.

6- Viaduc du Retjons.

7- Viaduc du Bartouquet – Piles.

5- Riumayou viaduct.

6- Retjons viaduct.

7- Bartouquet viaduct – Piers.

Réalisation du tablier

Les poutres métalliques du tablier sont fabriquées par tronçons en usine puis acheminées et assemblées sur site. Pour la majorité des ouvrages, la mise en place de la structure métallique est réalisée par lancement à l'aide d'un treuil à câbles.

Le hourdis en béton armé est soit coulé en place à l'aide d'un équipage mobile (pour 3 ouvrages de la section Sud), soit réalisé en dalles préfabriquées posées sur les poutres et clavées en deuxième phase (pour 10 ouvrages des sections Nord et centre).

Différentes méthodes de pose des dalles préfabriquées ont été utilisées, et ceci en fonction de la configuration et des contraintes particulières du site d'une part et des méthodes spécifiques des entreprises d'autre part :

→ Pose à la grue mobile de grosse capacité depuis le sol (photo 8), c'est le cas des ouvrages de la section Nord.

→ Pose à la grue à chenilles à l'avancement. C'est le cas du viaduc des Neuf fontaines de la section centre, pour lequel les contraintes environnementales sont particulièrement fortes. Cette solution nécessite d'augmenter le ferrailage des dalles afin de reprendre les charges liées à la circulation de la grue à chenilles, en contrepartie il n'est plus nécessaire d'aménager des pistes d'accès et plateforme en pied de piles.

→ Pose à l'aide d'un portique spécifique (photo 9) circulant sur des rails disposés dans l'axe des poutres métalliques et d'un chariot de translation. La dalle est chargée sur le chariot à l'aide d'une grue mobile positionnée à l'arrière de la culée, puis acheminées sous le portique. Ce dernier prend la dalle en charge et la pose à son emplacement définitif.

■ OUVRAGES DE TYPE MONOTABLIER

Les ouvrages présentant une longueur et des portées moyennes sont constitués d'un tablier unique portant les deux sens de circulation de l'autoroute. Les deux ouvrages concernés sont le viaduc du Gabas de 444 m de longueur (photo 1) et le viaduc de la Douze (photo 10) de 220 m de longueur totale. Le tablier de ces ouvrages est en ossature mixte constituée de deux poutres métalliques de hauteur constante espacées de 10,35 m, avec des pièces de pont tous les 4 m prolongées en console. Le hourdis en béton armé de 25 cm d'épaisseur repose sur les 2 poutres métalliques, et sur les pièces de pont.



8

© EIFFAGE TP

Chaque poutre est supportée par un fût de pile constitué de deux colonnes de section octogonale creuse, reliées en tête par un chevêtre massif.

Le viaduc du Gabas, ouvrage le plus long du projet, est implanté sur les communes de Claracq et de Mossens-Lanusse dans le département des Pyrénées-Atlantiques (64).

Il permet à l'Autoroute A65 de franchir une brèche profonde d'une trentaine de mètres au fond de laquelle s'écoule la rivière « Le Gabas ».

Le tracé en plan de l'ouvrage suit une courbe de rayon 3 000 m et le profil en long est en pente de 6 % suivant la direction Langon-Pau.

Le viaduc du Gabas comporte 7 travées dont les portées mesurent successivement :

56 m + 5 x 68 m + 48 m

Les piles sont fondées sur des semelles superficielles à l'exception de la pile P2 qui est fondée sur deux files de 4 pieux de diamètre 1 400.

Les culées sont constituées d'un chevêtre surmonté d'un mur garde-grève et fermé à ses deux extrémités par 2 murs en retour. La culée Nord (C0) est fondée sur semelle superficielle

alors que la culée Sud (C7) est fondée sur pieux de diamètre 1 200 disposés en quinconce, et forés au travers du remblai.

Le viaduc de la Douze implanté sur la commune de Roquefort dans le département des Landes (40) permet à l'autoroute A65 de franchir la vallée et cours d'eau de « La Douze ».

Cet ouvrage présente 220 m de longueur entre axes des culées.

8- Dalles préfabriquées posées à la grue mobile.

9- Dalles préfabriquées – Chariot et portique de pose.

8- Prefabricated slabs placed by mobile crane.

9- Prefabricated slabs – Placing truck and gantry crane.

Il comporte 5 travées dont les portées mesurent successivement :

32 m + 3 x 52 m + 32 m

Les piles similaires à celles du Gabas ont une hauteur variable entre 10 et 12 m.

Elles sont fondées sur 2 files de 4 pieux de diamètre 1 200. Les culées sont constituées d'un chevêtre surmonté d'un mur garde-grève et fermé à ses deux extrémités par 2 murs en retour. Elles sont fondées sur 4 pieux de diamètre 1 400.

Réalisation des appuis

Le déroulement des travaux des appuis (photo 11) est le suivant :

→ Réalisation des fondations (Pieux et semelles).

→ Réalisation des élévations :

- Les culées sont réalisées en deux phases de manière traditionnelle.
- Les piles sont réalisées à l'aide d'un coffrage outil par levée de 4 m, avec recours à la préfabrication des cages d'armatures.

Réalisation du tablier

L'ensemble des éléments métalliques des tabliers a été fabriqué à l'usine Eiffel de Lauterbourg, puis acheminé et assemblé sur site.

© EIFFAGE TP



9



Pour le viaduc du Gabas, la charpente métallique a été assemblée sur la plateforme de montage située à l'arrière de la culée Sud C7, et le tablier a été mis en place en 4 phases de lançage (photo 12), avec comme particularité un lançement qui a été effectué dans le sens de la montée avec une pente de 6 %.

Le ferrailage du hourdis a été préfabriqué sur une aire située à l'arrière de la culée C0, et les cages d'armatures ont été mises en place à l'aide d'un chariot roulant sur les poutres.

Le bétonnage du hourdis par plots de 12 m a été réalisé à l'aide d'une paire d'équipages mobiles (photo 13) suivant la méthode classique de pianotage permettant de limiter la fissuration.

Pour le viaduc de la Douze, la charpente métallique a été assemblée sur la plateforme de montage située à l'arrière de la culée Sud C0, et le tablier a été mis en place en 2 phases de lançage.

Le bétonnage du hourdis, par plots de 12 m, a été réalisé à l'aide des mêmes équipages mobiles qui ont été utilisés sur le viaduc du Gabas.

10- Viaduc de la Douze.

11- Viaduc du Gabas – Coffrage et ferrailage des piles.

12- Viaduc du Gabas – Phase de lançage.

10- La Douze viaduct.

11- Gabas viaduct – Pier formwork and reinforcement.

12- Gabas viaduct – Launching phase.

LES OUVRAGES D'ART COURANT

■ OUVRAGES DE RÉTABLISSEMENT DE COMMUNICATION

Le rétablissement des différentes voies de communication interceptées par le projet a nécessité la réalisation de 78 passages supérieurs et 21 passages inférieurs.

Les Passages Supérieurs

La structure retenue pour les passages supérieurs standards (68 ouvrages) est celle d'un pont de type Prad (poutres précontraintes par adhérence) à 2 travées. ▷

© EIFFAGE TP

12





13



14



15



16

Le tablier est constitué de poutres en béton précontraint fabriquées en usine, surmontées par un hourdis en béton armé coulé en place (photo 14).

Ce choix est motivé par une recherche de standardisation du procédé de construction adapté à la réalisation d'ouvrages en grande série.

Pour certains rétablissements présentant des particularités, des structures différentes de l'ouvrage standard sont retenues :

→ Rétablissements pour la grande faune (3 PS) : ouvrage de type portique double (photo 15),

→ Rétablissement à fort biais (5 PS) : tablier de type dalle pleine (photo 16) coulée en place en béton armé ou en béton précontraint selon les portées.

→ Rétablissement en fort déblai et ouvrages d'échangeurs (A62 au Nord du tracé et A64 au Sud) : tablier en ossature mixte de type bipoutre (photo 17).

Les passages inférieurs

Pour les passages inférieurs, la solution choisie est généralement celle du pont de type portique ouvert (Pipo) ou de type cadre fermé (Picf), avec recours à une préfabrication partielle (traverses) ou totale, permettant de s'affranchir de

13- Viaduc du Gabas – Bétonnage du hourdis.

14- Passage supérieur type poutres précontraintes par adhérence.

15- Passage supérieur grande faune.

16- Passage supérieur en dalle pleine.

17- Échangeur A64/A65.

18- Ouvrage hydraulique de type cadre béton armé.

13- Gabas viaduct – Deck section concreting.

14- Bonded post-tensioned beam type overpass.

15- Overpass for large animals.

16- Solid slab overpass.

17- A64/A65 interchange.

18- Reinforced concrete frame type culvert.



17



18



19- Ouvrage hydraulique de type portique ouvert avec piédroits en palplanche.

19- Open portal frame type culvert with sheet piling columns.

LES PRINCIPALES QUANTITÉS

PIEUX : 6 000 ml

BÉTON : 95 000 m³

POUTRES PRAD :
890 u / 18 000 ml

CHARPENTE MÉTALLIQUE :
9 000 t

l'étalement dans le cas de voie rétablie en place (voie ferrée), et offrant un gain de temps dans la réalisation des ouvrages. Les ouvrages supportant une forte charge de remblai sont constitués de voûtes en éléments préfabriqués.

■ OUVRAGES DE RÉTABLISSEMENT HYDRAULIQUE

La plupart des ouvrages hydrauliques sont mixés avec les passages faunes, à l'exception des rétablissements de certaines crastes au moyen de buses circulaires. L'ouverture des ouvrages mixtes hydraulique-faune est majorée par rapport à celle strictement nécessaire pour l'hydraulique, afin d'aménager des banquettes sous ouvrages ou selon le cas destinées à préserver les berges naturelles des cours d'eau.

Ces ouvrages sont dimensionnés de manière à garantir un gabarit minimal de 2,50 m pour les passages de la grande faune et 1,50 m pour les passages de la petite faune.

Les ouvrages hydrauliques dont l'ouverture droite est comprise entre 5 et 10 m sont des ouvrages classiques pour ce domaine de portée, de type cadre en béton armé (photo 18) prolongés par des murs de soutènement en aile. Pour franchir les cours d'eau de moyenne importance ou à fort enjeu écologique, il a été privilégié des structures permettant de limiter au maximum l'impact des travaux sur le milieu naturel : passage inférieur portique ouvert et piédroits en palplanches (Pipal) (photo 19) ou sur pieux, et des traverses en dalles préfabriquées. □

LES PRINCIPAUX INTERVENANTS

CONCÉDANT : État Français

CONCESSIONNAIRE - MAÎTRE D'OUVRAGE : A'LIENOR

CONCEPTION-CONSTRUCTION : GIE A65 PAU-LANGON

MAÎTRE D'ŒUVRE :

• Section Nord et Centre : Groupement INGEROP-ARCADIS-COTEBA

• Section Sud : EGIS Route

ARCHITECTES : F. ZIRK & J. NISSOU

ENTREPRISES :

• Génie Civil : Eiffage TP Grands Travaux, Eiffage TP-Régions Sud-Ouest et Rhône-Alpes-Auvergne, DODIN, ETMF, NGE/MAS, EFC MP

• Construction métallique : Eiffel, Matière, ACCMA, Berthold

ÉTUDES D'EXÉCUTION :

• Génie Civil : Eiffage TP - STOA, BIEP, JMI, Richard Ducros, SIAM, CBDI, SECOA, IOA

• Construction métallique : Eiffel, Matière, ACCMA, Berthold

ABSTRACT

ENGINEERING STRUCTURES ON THE A65 MOTORWAY

FRÉDÉRIC CUFFEL, GIE A65 - ZIAD HAJAR, EIFFAGE TP - DIDIER KOENIG, GIE A65 - FRÉDÉRIC ZIRK

The Gascogne A65 motorway is a regional planning infrastructure designed to open up and improve communications between the north and south of the Aquitaine region. The 150-km link between Pau and Langon includes numerous engineering structures described in this article. □

LAS OBRAS DE FÁBRICA DE LA AUTOPISTA A65

FRÉDÉRIC CUFFEL, GIE A65 - ZIAD HAJAR, EIFFAGE TP - DIDIER KOENIG, GIE A65 - FRÉDÉRIC ZIRK

La autopista de Gascuña A65 es una infraestructura al servicio de la ordenación del territorio, diseñada para desarrollar y mejorar las comunicaciones entre el Norte y el Sur de la región de Aquitania. El presente artículo describe las numerosas obras de fábrica presentas a lo largo de los 150 km que unen Pau y Langon. □



**1- Cyclops
SolData mesu-
rant en temps
réel la position
de la façade
d'un bâtiment
à proximité
du chantier de
la tour Shard.**

**1- SolData
Cyclops mesu-
ring in real time
the position of a
building facade
near the Shard
Tower construc-
tion site.**

© SOLDATA

PROJET SHARD OF GLASS À LONDRES : UNE VASTE CAMPAGNE DE MONITORING

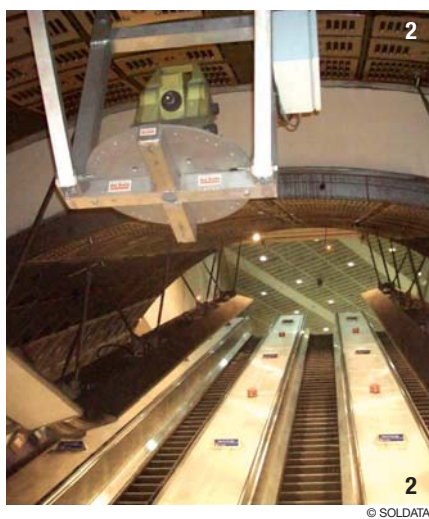
AUTEURS : HENRI-PIERRE MANANJARA, INGÉNIEUR INSTRUMENTATION, SOLDATA - MICHEL MARON, INGÉNIEUR INSTRUMENTATION, SOLDATA LTD - JULIEN LEROUX, INGÉNIEUR INSTRUMENTATION, SOLDATA LTD

TANDIS QUE LES TRAVAUX DE LA TOUR SHARD OF GLASS (TESSON DE VERRE) DE 310 M DE HAUT SUIVENT LEUR COURS POUR UNE LIVRAISON PRÉVUE EN MAI 2012, UNE BATTERIE D'INSTRUMENTS INSTALLÉS PAR SOLDATA S'ASSURE QUE LES BÂTIMENTS ET LES STATIONS FERROVIAIRES AÉRIENNES ET SOUTERRAINES SITUÉS À PROXIMITÉ DU LONDON BRIDGE NE SONT PAS AFFECTÉS PAR LES TRAVAUX.

La *Shard of Glass* promet d'être l'un des principaux points de repères dans le paysage londonien. En effet, cette structure iconique s'élèvera à 310 m de hauteur. Une fois terminée, la tour à usage mixte sera la plus haute d'Europe de l'Ouest avec un total de 72 étages praticables, et accueillera entre autres des bureaux, des restaurants, un hôtel de luxe, un spa ainsi que des résidences de haut standing et des galeries ouvertes au public.

Le débardage causé par la démolition d'une tour existante, la construction d'un sous-sol à 3 niveaux et la surcharge résultant de la construction de cette tour, le tout au-dessus du quatrième terminal ferroviaire le plus fréquenté de Londres, requièrent une ingénierie robuste et des solutions de monitoring performantes. D'autant plus que le *Shard of Glass* s'inscrit dans un projet plus vaste de réaménagement du paysage urbain des environs de *London Bridge*, comprenant notamment l'élargissement du pont ferroviaire de *Borough Viaduct*, visant à améliorer le réseau de transport ferroviaire londonien.

Le *Shard* remplace les tours *Southwark Towers*, un complexe d'immeubles de bureaux de 24 étages datant des années 70. Les fondations du *Shard* se situent immédiatement au-dessus et à côté de l'une des plus anciennes stations de métro du monde, la station *London Bridge*. Les fondations de la station sont constituées d'un réseau de voûtes en briques victoriennes qui abritent le Théâtre *Shunt*, les Donjons de Londres et de nombreux commerces très fréquentés.



© SOLDATA

SURVEILLER LE COMPORTEMENT STRUCTUREL DES INFRASTRUCTURES AVOISINANTES

Afin de déterminer le comportement des ouvrages des réseaux ferroviaires de *London Underground* et de *Network Rail*, une vaste campagne de monitoring a été conçue et mise en place à partir de 2007, avant que la démolition et la reconstruction ne débutent.

Les escaliers roulants (photo 2), les tunnels au niveau des voies, les passages piétons et le marché couvert « voûté » ont nécessité un monitoring en temps réel, afin de déterminer la solidité et le comportement des infrastructures et de permettre la surveillance d'un espace public qui accueille quotidiennement plus de 150 000 visiteurs, incluant aussi bien travailleurs que touristes. L'empreinte détaillée des tassements prévus a révélé que les façades des immeubles voisins, y compris le *Guy's*

Hospital, les complexes de bureaux et les arches du viaduc nécessitaient également du monitoring. De plus, le développement du sous-sol de la tour *Shard of Glass* a été surveillé afin de déterminer le comportement structurel lors du démarrage de la phase de construction.

UN ORGANIGRAMME D'INSTRUMENTATION DÉTAILLÉ

Le déploiement et la maintenance du dispositif d'instrumentation ont été confiés à SolData par *Mace*, agissant comme Entreprise Principale pour le compte du groupe *Sellar's*, développeur du projet.

On compte également comme intervenants majeurs sur le site : *Network Rail* (équivalent britannique de la SNCF), *London Underground* (régie en charge de la gestion du métro londonien), ainsi que leurs multiples partenaires et sous-traitants.

2- Instrumentation en temps réel des escaliers roulants de la station *London Bridge*, située sous les fondations du *Shard*.

2- Real-time instrumentation on the escalators of *London Bridge Station*, located under the foundations of the *Shard*.

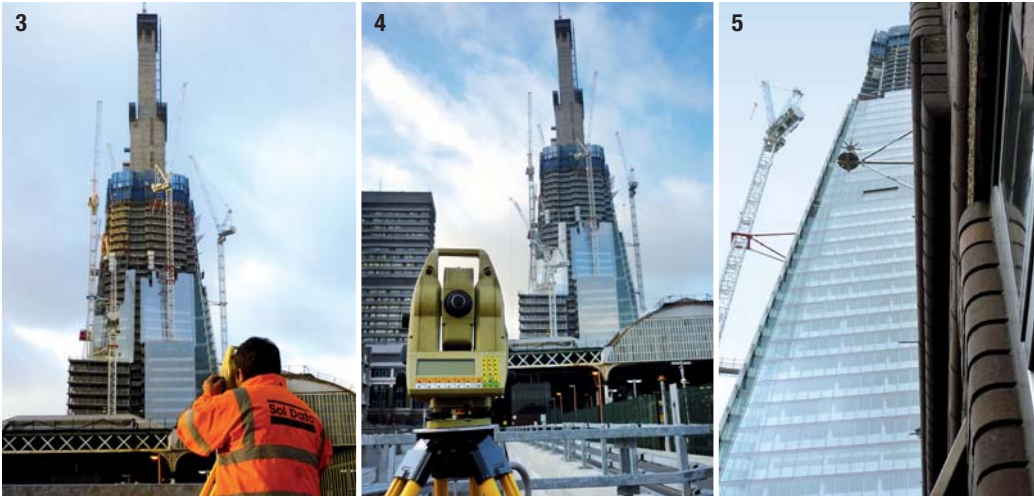
Le chantier d'instrumentation est régi selon un organigramme détaillé, dont l'élément prépondérant est l'*Emergency Preparedness Plan* (EPP : littéralement, Programme de Mesures d'Urgence).

Il s'agit d'un document propre au chantier qui fixe les seuils d'alarme pour chaque structure ou ouvrage instrumenté, et définit précisément le rôle de chacun des intervenants en cas de dépassement de seuil.

En d'autres termes, l'EPP est la traduction organisationnelle de la méthode dite « observationnelle » : selon l'Eurocode 7, celle-ci permet de réaliser « un dimensionnement optimiste d'un ouvrage, à la condition d'avoir pris la mesure des risques encourus, de réaliser des mesures efficaces pendant les travaux et de disposer d'un programme de mesures d'urgence à mettre en œuvre si les observations montrent que le comportement réel de l'ouvrage sort des limites admises ». SolData y occupe une place centrale et primordiale, puisque elle est garante de la fiabilité de la mesure ainsi que de la pertinence des alarmes transmises le cas échéant.

UN SYSTÈME D'INSTRUMENTATION COMPLET

Le dispositif d'instrumentation se compose de 20 stations totales robotisées de haute précision (Cyclops®) fonctionnant en groupe et surveillant les mouvements absolus en 3 dimensions au moyen de plus de 1 500 prismes optiques répartis le long des voies ferroviaires, des façades de bâtiments sensibles et des tunnels de métro (photos 3 à 5). Ce système permet d'assurer une acquisition de données toutes les vingt minutes en moyenne. ▶



Ce système est combiné avec plus de 250 instruments classiques surveillant des mouvements relatifs discrets des voûtes de fondation et des poteaux de support de la station aérienne.

Par ailleurs, 19 inclinomètres permettent de surveiller le comportement des parois constituant les fondations de la future tour.

En complément du monitoring automatique, un régime rigoureux de monitoring manuel des structures utilisant des méthodes traditionnelles d'auscultation a été mis en place et mesuré par un tiers. Ainsi, des repères topographiques et de nivellement sont suivis selon une fréquence régulière, et permettent à la fois d'obtenir une redondance des mesures, mais aussi de garantir un contrôle régulier des mesures automatiques.

Toutes les données des instruments automatiques sont collectées au moyen d'un réseau sans fil dimensionné sur mesure. Le traitement des données recueillies est assuré au moyen du logiciel Geoscope de SolData (photo 6). Les résultats des mesures manuelles y sont également incorporés.

Geoscope permet de mettre à la disposition de l'ensemble des intervenants les données en temps réel.

Elles peuvent être consultées via Internet, permettant une analyse plus poussée des résultats et favoriser l'aide à la décision pour le maître d'ouvrage.

En effet, des alarmes déclenchées par rapport à des seuils prédéterminés informent automatiquement (par SMS ou e-mail) les personnes-clés ainsi que le maître d'ouvrage, afin que des actions rapides puissent être mises en place le cas échéant, avec des temps de réponse compris entre 4h et 24h selon le niveau d'alarme et le type de structure ausculté.

UNE ÉQUIPE RÉACTIVE

Pour gérer le volume conséquent de données d'instrumentation et garantir à tout moment une grande précision auprès du client, SolData a déployé un chef de projet, des ingénieurs en instrumentation et une équipe de techniciens expérimentés à temps plein.

Parmi les tâches multiples confiées à cette équipe, on retrouve entre autres la gestion de campagnes d'installation de nouveaux équipements d'instrumentation, ainsi qu'un suivi quotidien et systématique de l'ensemble du dispositif afin d'optimiser les performances si besoin, et répondre aux demandes du client.

L'équipe SolData doit être réactive afin d'assurer l'aspect temps réel des mesures.

La législation britannique, très contraignante en matière de sécurité, accroît considérablement les difficultés logistiques en imposant une organisation administrative lourde pour toute intervention sur le terrain.

Les ingénieurs SolData, par leur expérience de chantiers complexes à interfaces multiples, répondent à ce défi quotidien en faisant preuve d'une

3 à 5- Instrumentation en temps réel des façades des bâtiments sensibles à proximité du chantier.

6- Logiciel de gestion et de traitement des données Geoscope : collecte de l'ensemble des données d'instrumentation et visualisation en temps réel.

3 to 5- Real-time instrumentation on the facades of sensitive buildings in the vicinity of the construction site.
6- Geoscope data management and processing software: collection and real-time monitoring of all instrumentation data.

grande flexibilité : une bonne vision d'ensemble du chantier et une bonne relation avec les différents intervenants du projet leur permettent d'anticiper au mieux toute intervention.

ÉTUDE DE CAS

Les années 2009/2010 ont été les plus critiques pour le projet du *Shard*, période où ont été réalisés les pieux de fondation, la paroi en pieux sécants et l'excavation. Dans un milieu à l'activité aussi dense, un système automatique de monitoring se doit d'être flexible et de s'adapter aux impératifs et aux imprévus du chantier.

Une des colonnes soutenant le toit de la station de train et située à proximité du chantier a été l'occasion pour SolData de montrer sa capacité d'adaptation. En effet, à partir des études structurales, cette colonne avait été identifiée comme un sujet sensible. Un système Cyclops et 2 cibles réfléchives aux extrémités de la colonne ont été installés pour suivre les mouvements de la structure.

Au cours de l'évolution du chantier, la ligne de visée entre le système Cyclops et la colonne a été bloquée en novembre 2009, en raison de l'avancement de la superstructure (photo 7). SolData a alors dû proposer une solution dans le but de rétablir au plus vite la surveillance automatique de la colonne par un système Cyclops, tout en conservant une continuité d'axes et de valeurs entre les deux systèmes.

La solution proposée a consisté à installer un autre système Cyclops en vérifiant l'absence de nouveau blocage de la ligne de visée. L'objectif était que les valeurs de la nouvelle station totale reprennent la surveillance de la colonne tout en prenant en compte les mouvements antérieurs.

Une équipe de surveillance manuelle est intervenue de façon journalière sur site afin de prendre en compte les possibles mouvements de la colonne durant la période où la surveillance a été interrompue,

Lorsque toutes les informations ont été disponibles, il a fallu procéder par étapes : SolData a calculé et établi la corrélation d'axes entre les valeurs données par l'ancien Cyclops et les valeurs manuelles. Un ajustement a ensuite été appliqué aux valeurs manuelles.

Lors de l'installation du nouveau Cyclops, le système a été configuré de façon à calculer les valeurs dans un système d'axes identique à celui précédemment utilisé. Un dernier ajustement a été appliqué aux valeurs pour



7- Blocage de la ligne de visée du Cyclops en cours de travaux.

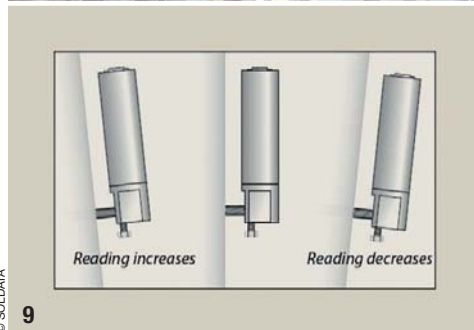
8a & 8b- Valeurs calculées par l'ancien et le nouveau Cyclops avant et après ajustement.

9- Clinomètre biaxial.

7- Locking the Cyclops' line of sight during the works.

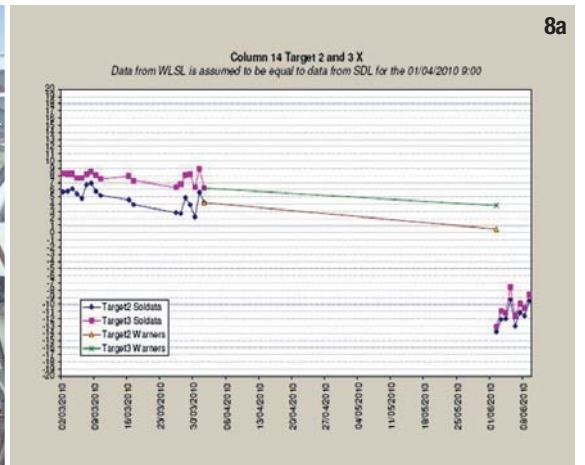
8a & 8b- Values calculated by the old and new Cyclops before and after adjustment.

9- Two-axis clinometer.

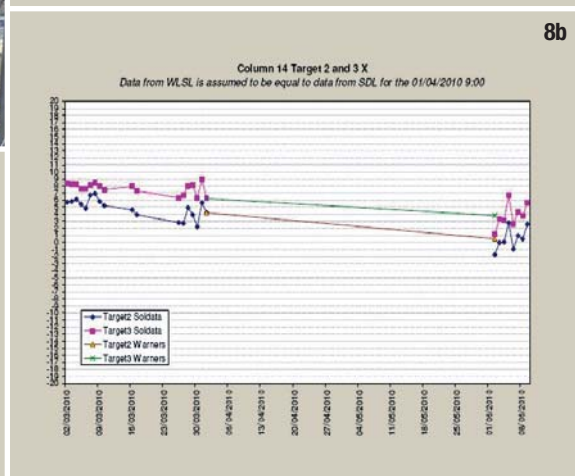


© SOLDATA

9



8a



8b

avoir une continuité complète tout au long de l'opération.

La figure 8a montre en rose et bleu, les valeurs calculées par l'ancien Cyclops et le nouveau. Les courbes en vert et marron correspondent aux mesures manuelles. On peut noter que l'ajustement entre les valeurs manuelles et les dernières valeurs Cyclops n'a pas été appliqué. Dans la figure 8b, les nouvelles valeurs Cyclops ont été ajustées

et la continuité est ainsi établie tout au long de la période d'obstruction.

Pour qu'un tel ajustement fonctionne, il faut travailler dans un seul et unique système d'axes.

Dans une zone de co-activité aussi dense que le chantier du *Shard of Glass*, SolData a dû fournir une solution alternative de surveillance pour éviter qu'un tel problème ne se reproduise. Installer un clinomètre biaxial semblait

être la solution idéale. Il s'agit d'un instrument directement fixé à la colonne et qui permet de mesurer une inclinaison selon deux directions orthogonales du plan horizontal, en temps réel (figure 9). Avec un tel système, on s'affranchit des problèmes d'obstruction visuelle car l'instrument est directement fixé à la colonne que l'on veut surveiller. Les données sont collectées toutes les heures à l'aide

d'une centrale d'acquisition de données qui transmet l'ensemble des valeurs via un modem 3G.

Malgré les avantages pratiques de ce type d'instrument, il faut souligner qu'il ne permet pas de fournir de valeurs absolues de type X, Y, Z pour la colonne. Pour cette raison, le système de type Cyclops a été conservé et les deux méthodes de surveillance ont été utilisées simultanément. □

ABSTRACT

SHARD OF GLASS PROJECT IN LONDON: A VAST MONITORING CAMPAIGN

HENRI-PIERRE MANANJARA, SOLDATA - MICHEL MARON, SOLDATA - JULIEN LEROUX, SOLDATA

While work continues on the 310-metre high *Shard of Glass* tower, scheduled for delivery in May 2012, a bank of instruments installed by SolData checks that the buildings and above-ground and underground rail stations located near London Bridge are not affected by the works. □

PROYECTO SHARD OF GLASS EN LONDRES: UNA AMPLIA CAMPAÑA DE MONITORING

HENRI-PIERRE MANANJARA, SOLDATA - MICHEL MARON, SOLDATA - JULIEN LEROUX, SOLDATA

Mientras que las obras de la Torre *Shard of Glass* (Casco de Cristal), de 310 m de altura, siguen su curso, con una entrega prevista para mayo de 2012, una batería de instrumentos instalados por SolData garantiza que los edificios y estaciones ferroviarias de superficie y subterráneas situados en proximidad del Puente de Londres no se vean afectados por los trabajos. □



1- Vue d'une hydrofraise.

1- View of a hydro-cutter.

© DR

« EXPRESS RAIL LINK PROJECT » À HONG KONG – CONTRATS 803A & 803D

AUTEUR : FRÉDÉRIC HUBERT, XRL 803A-803D PROJECT DIRECTOR
CRÉDITS PHOTOS : DEREK M ALLAN PHOTOGRAPHY ET PHOTOS TRILOGIC

« L' EXPRESS RAIL LINK PROJECT (XRL) » EST L'UN DES DIX GRANDS PROJETS LANCÉS PAR LE GOUVERNEMENT DE HONG KONG POUR MODERNISER ET RENFORCER LES INFRASTRUCTURES DE LA RÉGION ADMINISTRATIVE SPÉCIALE. LE PROJET COMPREND LA CONSTRUCTION D'UNE LIGNE FERROVIAIRE À GRANDE VITESSE QUI VA CONNECTER HONG KONG AUX 8 000 KM DE LIGNES DÉJÀ EXISTANTES EN CHINE CONTINENTALE (16 000 KM À L'HORIZON 2020). SOLETANCHE BACHY GROUP LTD S'EST VU CONFIER LA RÉALISATION DES SOUTÈNEMENTS ET D'UNE PARTIE DES FONDATIONS DE LA GARE TERMINUS.

La mise en place de l'Express Rail Link va réduire considérablement le temps de transport entre Hong Kong et les villes frontalières industrielles du delta de la rivière des Perles, plaçant Hong Kong à moins de 50 minutes de Canton contre un peu plus de deux heures actuellement.

La ligne dans son ensemble sera enterrée avec 2 tunnels de 28 km traversant Kowloon et les Nouveaux Territoires jusqu'à la frontière chinoise. La future gare terminus est construite à Kowloon, à quelques encablures de l'île de Hong Kong, sur une zone gagnée sur la mer il y a quelques années mais déjà fortement urbanisée. Cette gare terminus s'étendra sur 12 ha et sera construite sur 4 niveaux d'infrastructure.

Elle comprendra une gare grandes lignes, une gare de desserte locale, un dépôt de matériel roulant ainsi qu'une zone d'entretien et de maintenance. En surface s'élèvera le futur centre culturel de Hong Kong.

Les contrats des lots 803A et 803D qui ont été attribués à Bachy Soletanche Group Ltd, filiale locale de Soletanche Bachy, en janvier 2010, comprennent la réalisation des soutènements et d'une partie des fondations de la gare terminus. Ces 2 lots, d'un montant global de 130 millions d'euros, à réaliser en 14 mois, constituent l'un des plus gros projets du groupe pour 2010-2011.

UNE GÉOLOGIE TOURMENTÉE

Les 2 chantiers sont situés sur une zone gagnée sur la mer et donc consti-



tuée de remblais placés sur le site dans les années 1990. Ces remblais, très hétérogènes, comprennent des matériaux d'apport, les restes d'anciens murs de quais et jetées ainsi que des débris d'anciens immeubles et des blocs rocheux.

On trouve ensuite des dépôts marins récents ou plus âgés (les plus vieux datant de la période interglaciaire soit environ 130 000 ans) de faibles caractéristiques mécaniques au-dessous

desquels se trouvent des dépôts alluvionnaires de la période quaternaire. Ces couches sont supportées par des horizons en place constitués de granite complètement ou partiellement décomposé puis de granite sain plus ou moins fracturé traversé par des failles. L'ensemble du site est baigné par une nappe phréatique subissant l'influence de la marée et située à environ 3 m sous la plate-forme de travail.

LES DEUX LOTS DE TRAVAUX

Les lots 803A et D forment deux parties distinctes d'un seul et même ouvrage :
→ Le lot 803D est constitué d'une paroi moulée au tracé en forme de U ouvert au Nord avec au centre des pieux de fondation.

→ Au Nord, le lot 803A comporte le prolongement de la paroi moulée du lot 803D et une paroi au coulis fermant l'enceinte.

Outre ces travaux spéciaux, les lots 803A et D comportent aussi des travaux préparatoires et annexes nécessaires à une bonne réalisation du projet. Il s'agit principalement :

→ Des travaux de déviation des réseaux ;

→ De la construction et de la gestion d'un appontement permettant l'évacuation future des déblais générés par les travaux ;

→ Des travaux de déviation de route et de signalisation.

La capacité de Bachy Soletanche Group Ltd à allier expertise géotechnique et capacité de management de gros chantiers et d'ensembliser a été un ▢

2- Plan de la ligne ferroviaire dans Hong Kong.
3- Emplacement de la gare dans Kowloon.

2- Layout of the railway line in Hong Kong.
3- Location of the station in Kowloon.



4

élément déterminant dans le choix du client dans l'attribution de ces 2 lots à l'entreprise.

LA PAROI MOULÉE PÉRIMÉTRALE

Le soutènement périmétral est constitué d'une paroi moulée permanente de 1 645 ml de périmètre. Cette paroi moulée comprend 246 panneaux de 6 mètres de longueur en moyenne et d'épaisseur 1,20 m à 1,50 m. Elle est descendue à une profondeur variant de 24 m à 56 m. L'ouvrage dans son ensemble représente 47 000 m² d'excavation. Chaque panneau est équipé de 2 cages d'armatures d'un poids unitaire compris entre 35 et 70 tonnes. Outre la logistique importante à mettre en œuvre, l'ancrage dans le rocher de la paroi moulée constitue la difficulté technique majeure du projet. En effet, compte tenu de la présence de nombreux blocs de granite sain au-dessus du substratum rocheux, un ancrage théorique de quelques dizaines de centimètres dans le granit sain peut se traduire dans les faits par une pénétration de plus de 20 m dans du rocher extrêmement résistant et faiblement fracturé. On comprend mieux dans ces conditions pourquoi l'excavation de certains panneaux réalisés à l'hydrofraise et à la benne lourde ait pu durer jusqu'à 2,5 mois.

Cette paroi permanente est fermée au Nord par un écran au coulis provisoire (2 875 m²) permettant de commencer le terrassement de la fouille avant la déviation d'une des routes principales traversant le projet (soutien et imperméabilisation du talus d'excavation). L'interface des contrats 803A et D comprend aussi deux petits écrans au coulis de 30 ml ayant un rôle temporaire de barrière étanche lors de la réalisation de l'essai de pompage.

Dans les parties Est et Sud du chantier, du fait de la faible profondeur du rocher, la paroi moulée a été arrêtée avec un ancrage au rocher au-dessus du niveau du futur fond de fouille.

Dans cette partie, le rocher a été traité par injection pour réduire les venues d'eau potentielles. La paroi a aussi été reprise en sous-œuvre par des micro-pieux (224 unités de 13 m de long en moyenne).

Une partie de la paroi est localisée sous deux ponts routiers, sous lesquels la hauteur est limitée à moins de 6 mètres. Cela a nécessité l'utilisation d'une benne hydraulique courte type KS 3000 et d'une grue de manutention à flèche raccourcie pour l'installation des cages. Ces dernières, d'une longueur de 45 m, étaient constituées de 15 éléments de 3 m. Dans cette zone, l'installation des cages a duré en moyenne 5 jours par panneau.

FONDATION PAR PIEUX ET MINIPIEUX

Les fondations du contrat 803D sont constituées de deux types de pieux situés à l'intérieur de l'enceinte périmétrale :

→ 177 pieux de 3 m de diamètre et de 40 à 65 m de profondeur, soit 8 150 m d'excavation pour 2 875 m de longueur bétonnée (le béton est arasé au niveau du futur fond de fouille). Les pieux, qui sont réalisés à l'aide d'oscillateurs et de machines à circulation inverse, sont équipés de cages d'armatures de 35 à 70 t et de poteaux profonds métalliques pesant eux aussi de 40 à 70 t.

→ 890 « minipieux H préforés » de diamètre 610 mm, équipés de profilés métalliques 305 x 305, faisant 65 m de profondeur pour une longueur totale d'excavation de 49 900 ml. Ces pieux sont réalisés à l'aide de marteaux fond de trou de gros diamètre (18 pouces).

CONTRÔLE QUALITÉ

L'ancrage au rocher de la paroi moulée et des pieux a été déterminé et contrôlé avec précision grâce à la réalisation préalable d'un sondage préliminaire par pieu et par panneau de paroi moulée. Lors de l'exécution des panneaux, le processus de substitution de la

4- Vue panoramique du chantier.

5- Situation et descriptif de la gare.

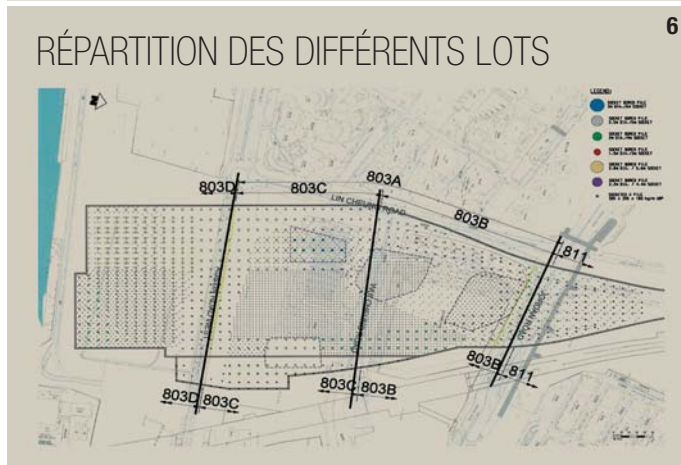
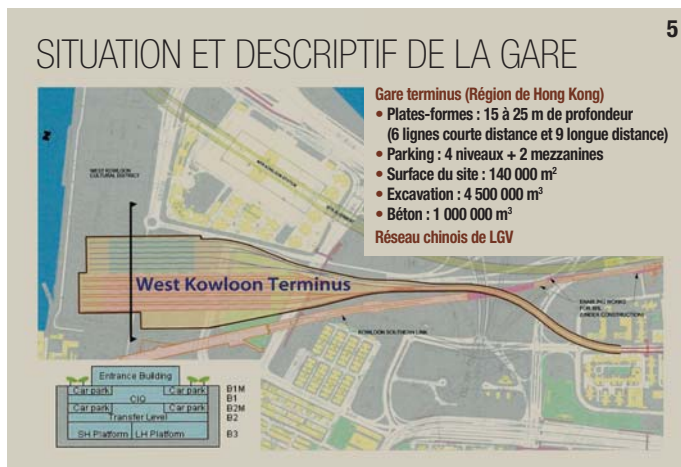
6- Répartition des différents lots.

4- Panoramic view of the project.

5- Station location and description.

6- Breakdown of the various work sections.

bentonite de forage par de la bentonite « neuve » ainsi que le nettoyage du fond des panneaux de paroi moulée par pompage ou « air lift » ont été extrêmement rigoureux. Le contrôle a posteriori de cette interface rocher/béton sur les pieux et les panneaux de paroi a lui aussi fait l'objet d'une attention toute particulière, avec la réalisation d'un carottage sur tous les panneaux et tous les pieux. L'ensemble de la perforation petit diamètre réalisée sur les 2 chantiers représente 13 600 ml de forage. Afin de vérifier l'efficacité de l'injection de rocher, et de valider les hypothèses de conception de l'ouvrage, un essai de pompage est prévu.





Il comprend l'exécution de 46 puits de pompage, 36 puits d'observation et 25 puits de recharge de la nappe à l'extérieur de la paroi. Ces derniers puits serviront à recharger la nappe à l'extérieur de l'ouvrage afin de limiter la baisse de cette dernière (limitée contractuellement à 1,00 m) et donc les tassements potentiels.

LES TRAVAUX DE VOIRIE ET RÉSEAUX DIVERS

La réalisation du projet nécessitait la déviation d'une route existante de 4 voies avec 4 carrefours et feux de signalisation. Cette route étant un axe important pour la desserte du quartier,

7- Gestion des déviations routières.

8- Foreuse de pieux (type RCD).

9- Déviation des réseaux.

7- Management detours.

8- Pile driller (RCD type).

9- Main services deflection.

avec notamment de nombreux arrêts de bus et accès au centre commercial voisin, un gros travail d'information des riverains et des usagers a été mené avant le démarrage des travaux. Ce travail a été mené par une cellule spécifique et totalement dédiée, qui a tenu des réunions régulières avec les résidents et les concessionnaires. Cette coordination, longue et parfois fastidieuse, a été une des clés du succès des travaux.

Des réseaux divers ont aussi dû être déviés préalablement à l'exécution de la paroi moulée. Parce que ces réseaux étaient en service et parce qu'ils étaient principalement placés sous une route également en service, ces travaux ont dû être organisés selon un phasage complexe, et l'intervention de l'ensemble des concessionnaires sur un même site a demandé beaucoup de diplomatie.

Les dimensions hors normes de certains réseaux, les emprises limitées et, dans certains cas, une géologie compliquée ont nécessité la mise en œuvre de solutions spécifiques et innovantes afin de limiter les nuisances possibles aux exploitants et au public.

LES MOYENS ET LA SÉCURITÉ

Le programme des deux chantiers étant extrêmement serré, la mobilisation d'importants moyens a été nécessaire. À cette contrainte de délai, s'est ajoutée la présence de nombreuses habitations situées aux abords immédiats du chantier, qui rendaient impossible le travail de nuit.

Les ressources en personnel ont été en proportion des moyens matériels mis en œuvre : en moyenne 900 personnes ont travaillé sur l'ensemble de ces deux lots.

L'organisation de la sécurité sur un tel projet est, bien sûr, primordiale. Cet aspect a été intégré dès la préparation du chantier et a constitué un élément décisif dans le choix des techniques mises en œuvre et des procédures retenues pour la réalisation des ouvrages.

En outre, un système très strict de contrôle et de suivi des compétences en matière de sécurité a été mis en place. Chaque ouvrier, technicien ou ingénieur assistait, à intervalles réguliers, à une session de formation afin d'apprendre ou réviser les règles de base de sécurité du chantier. ▷





Ce système a été renforcé par des points journaliers réalisés avec l'ensemble du personnel du chantier avant la prise de poste.

L'ASPECT ENVIRONNEMENTAL

Le chantier est situé dans une zone urbaine dense, face à la baie de Hong Kong. La prise en compte des contraintes environnementales a joué un rôle important dans la préparation du chantier. L'attention du client et de l'entreprise s'est plus particulièrement portée sur les points suivants :

• Le bruit

Des capteurs de bruits ont été installés tout autour du chantier et plus particulièrement près des habitations. Ils enregistrent les niveaux sonores en temps réel avec communication en direct par e-mail ou SMS des dépassements.

• La poussière

L'ensemble des voies de circulation à l'intérieur du chantier a été équipé d'arroseurs automatiques afin d'éviter les soulèvements de poussières.

• Le rejet des eaux usées

L'ensemble des eaux usées est traité et majoritairement réutilisé pour l'arrosage des voies de circulation ou l'alimentation des nettoyeurs de roues aux sorties de chantier. Des protections ont été installées pour éviter toute pollution de la baie par des eaux sales.

• Le monitoring des structures et routes avoisinant le chantier

Un système important d'instruments a été installé pour le suivi des mouvements des structures et routes tout autour du chantier. En particuliers, les réseaux ont tous été suivis afin d'éviter des dommages et pannes pour les résidents.

• La circulation aux abords du chantier

Chaque véhicule qui doit entrer sur le chantier doit le signaler à l'avance. Il lui est assigné un créneau horaire afin de

fluidifier le trafic, particulièrement pendant les bétonnages. Un contrôleur de trafic a été positionné à chacune des dix entrées de chantier afin de faciliter les entrées/sorties des véhicules sur le site.

• La maîtrise des déchets

Le chantier a été organisé pour optimiser la réutilisation des matériaux aussi bien au niveau de bureaux que du chantier, grâce au stockage sélectif des matériaux de démolition et d'excavation.

ET MAINTENANT...

Les travaux des contrats 803A et 803D sont désormais quasi-achevés et les entreprises titulaires des lots de génie civil ont pu d'ores et déjà prendre possession d'une partie du chantier. En dépit de conditions géologiques

10- Réalisation de paroi moulée sous faible hauteur.

11- Appontement pour l'évacuation des déblais.

12- Cages d'armatures pour pieux diamètre 3 m.

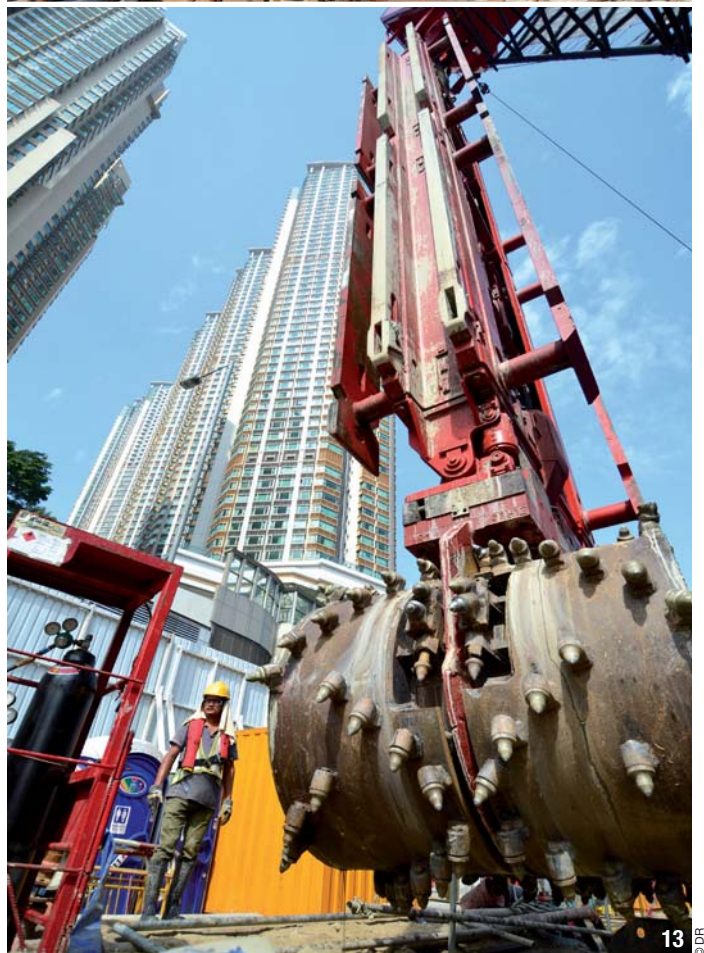
13- Détail des tambours d'hydrofraise.

10- Execution of the diaphragm wall with a low clearance.

11- Landing stage for the removal of excavated material.

12- Concrete reinforcing cages for piles of 3-metre diameter.

13- Detail of hydro-cutter drums.





14
© DR

imprévues, Bachy Soletanche Group Ltd a su relever les multiples défis techniques posés par ces travaux et livrer les 2 lots dans un planning très tendu qui permet de maintenir l'objectif d'une ouverture de la ligne avant fin 2015. Ces 2 contrats ont permis de démontrer l'aptitude de Soletanche Bachy à mobiliser des moyens humains et matériels importants en un temps très court et à réaliser des travaux dépassant le cadre habituel des fondations spéciales. □

14- Des moyens matériels conséquents.

14- Substantial equipment resources.

POUR L'ENSEMBLE DES 2 CHANTIERS LES MOYENS MIS EN ŒUVRE ONT ÉTÉ :

POUR L'EXCAVATION DE LA PAROI MOULÉE :

- 3 hydrofraises EV03
- 15 bennes à câbles
- 4 bennes hydrauliques type KS 3000

POUR LES PIEUX DE GROS DIAMÈTRES :

- 6 grues type LS 885 ou équivalent
- 6 RCD et oscillateurs avec 12 jeux de casing de 60 m de long

POUR LES « MINIPIEUX » DE DIAMÈTRE 600 mm :

- 10 machines de forage munies de marteau fond de trou 18 pouces et plus de 30 compresseurs

MOYENS DE MANUTENTIONS :

- 3 grues de 250 t
- 3 grues de 200 t
- 6 grues de 100 t
- 10 grues de 60 t

Soit au total 50 grues d'excavation ou de manutention mobilisées sur chantier

PRINCIPAUX INTERVENANTS

CLIENT : Le gouvernement de la région administrative spéciale de Hong Kong

MAÎTRE D'ŒUVRE : MTR

INGÉNIEUR : AECOM

ENTREPRISE : Bachy Soletanche Group Limited

ABSTRACT

EXPRESS RAIL LINK PROJECT IN HONG KONG – CONTRACTS 803A & 803D

FRÉDÉRIC HUBERT

The Express Rail Link (XRL) Project is one of the ten big projects started by the Hong Kong government to modernise and enhance the special administrative region's infrastructure. The project includes the construction of a high-speed rail line which will connect Hong Kong to the 16,000 km of lines already existing in continental China. Soletanche Bachy Group Ltd was awarded the contract for execution of the retaining structures and part of the foundations of the terminus station. □

EXPRESS RAIL LINK PROJECT EN HONG KONG – CONTRATOS 803A Y 803D

FRÉDÉRIC HUBERT

El Express Rail Link Project (XRL) es uno de los diez grandes proyectos impulsados por el gobierno de Hong Kong para modernizar y reforzar las infraestructuras de la región administrativa especial. El proyecto incluye la construcción de una línea férrea de alta velocidad que conectará Hong Kong con los 16.000 km de líneas existentes en China continental. Soletanche Bachy Group Ltd ha recibido el encargo de construir los apuntalamientos y una parte de los cimientos de la estación terminal. □