

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

INTERNATIONAL. PONT DU R4 SUD A GAND. PONT ROUTE-RAIL ENTRE BRAZZAVILLE ET KINSHASA. LA PLUS GRANDE ECLUSE DU MONDE A ANVERS. PONT SUR LA MOSELLE ENTRE LUXEMBOURG ET ALLEMAGNE. PONT DE DIMBALA EN GUINEE EQUATORIALE. QUAI DANS LE PORT DE MONTEVIDEO. TERMINAL CONTENEURS T3 A DUBAI. PONT HAUBANE DE JOBAL EN COREE. OUVRAGES D'ART DU TRANSGABONNAIS. METRO DE HO-CHI-MINH-VILLE. TRESORS DE NOS ARCHIVES : AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE

N°909 OCTOBRE 2014



TRANSPORT DE
LA TRAVÉE DU PONT
FRONTALIER SUR
LA MOSELLE
© INCA



Nous ouvrons la voie aux idées neuves.

La route qui dépollue l'air que nous respirons ? Des déchets ménagers recyclés en granulats routiers ? Des routes recyclées in situ ? Hier, ces idées étaient encore de la fiction. Aujourd'hui, elles portent un nom - NOxer®, Scormat®, Recyclovia®,... - et sont appliquées quotidiennement avec succès. Alors, pour imaginer les routes de demain, nous croyons aux idées neuves, même les plus surprenantes. Et c'est bien pour cela que nous innovons.

Eurovia, 18, place de l'Europe, 92565 Rueil-Malmaison cedex, France

Directeur de la publication
Bruno Cavagné

Directeur délégué
Rédacteur en chef
Michel Morgenthaler
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. +33 (0)1 44 13 31 03
morgenthalerm@fntp.fr

Comité de rédaction

Hélène Abel (Ingérop), David Berthier (Vinci Construction France), Sami Bounatirou, Jean-Bernard Datry (Setec), Philippe Gotteland (Fntp), Jean-Christophe Goux-Reverchon (Fntp), Laurent Guilbaud (Saipem), Ziad Hajar (Eiffage TP), Florent Imbert (Razel-Bec), Claude Le Quéré (Egis), Stéphane Monleau (Soletanche Bachy), Jacques Robert (Arcadis), Claude Servant (Eiffage TP), Philippe Vion (Systra), Michel Morgenthaler (Fntp)

Ont collaboré à ce numéro

Rédaction
Monique Trancart, Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente
Com et Com

Service Abonnement TRAVAUX
Bât. Copemic - 20 av. Édouard Herriot
92350 Le Plessis-Robinson
Tél. +33 (0)1 40 94 22 22
Fax +33 (0)1 40 94 22 32
revue-travaux@cometcom.fr

France (9 numéros) : 190 € TTC
International (9 numéros) : 240 €
Enseignants (9 numéros) : 75 €
Étudiants (9 numéros) : 50 €
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)
Multi-abonnement : prix dégressifs
(nous consulter)

Publicité

Rive Média
2, rue du Roule - 75001 Paris
Tél. 01 42 21 88 02 - Fax 01 42 21 88 44
contact@rive-media.fr
www.rive-media.fr

Directeurs de clientèle
Bertrand Cosson - LD 01 42 21 89 04
b.cosson@rive-media.fr

Carine Reininger - LD 01 42 21 89 05
c.reininger@rive-media.fr

Site internet : www.revuetravaux.com

Édition déléguée

Com'1 évidence
Siège :
101, avenue des Champs-Élysées
75008 PARIS
Tél. bureaux : +33 (0)2 32 32 03 52
revuetravaux@com1evidence.com

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

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

Editions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0116 T 80259
ISSN 0041-1906

UN MONDE HORS NORME, DES CHANTIERS RECORDS MAIS OÙ SONT LES HOMMES ?



© AGENCE REA

En 2007, le monde a basculé. Cette année-là, en effet, les citadins (3,3 milliards) deviennent majoritaires dans la population mondiale. Une première dans l'histoire de l'humanité et l'amorce d'un phénomène qui n'ira qu'en s'accroissant. Si, en 2014, les urbains constituent 53% de la population mondiale, ils en représenteront 60% en 2030 et ils devraient être 6,3 milliards en 2050 pour une population totale de 9,7 milliards d'individus. Dans ces conditions, il n'échappe à personne que la Terre a tendance à prendre les allures d'une immense ville, d'une mégapole planétaire au sein de laquelle de nombreux défis attendent les ingénieurs.

Dans les pages de *Travaux* ces chiffres prennent une signification particulière. Clés de la gestion de l'espace et de l'aménagement des territoires, ils dessinent le cadre de vie des habitants. Que l'on étende un réseau afin de connecter « au centre » des localités plus ou moins éloignées et l'on crée des banlieues entre lesquelles et vers lesquelles il va falloir assurer mobilité et fluidité. Que l'on oublie un arrêt ou que l'on en limite la desserte et l'on fabrique une marge, avec ses laissés-pour-compte et ses déshérités.

Concevoir une mobilité collective au service de tous, est synonyme d'infrastructures à l'échelle de ces hyper métropoles. Construire des voies, des tunnels, des viaducs ou des ponts, les doter d'une panoplie de services aujourd'hui indispensables, est souvent synonyme de performances et conduit à battre des records.

Lorsque les ingénieries ferroviaires françaises se voient confier des chantiers aussi emblématiques que la construction à Shanghai de la ligne de métro en viaduc en U la plus longue au monde (59 km), à Dubaï la plus longue ligne de métro automatique jamais réalisée (75 km) ou à La Mecque, une des lignes de métro les plus fréquentées de la planète (72 000 passagers/heure) tout paraît aller pour le mieux dans le meilleur des mondes. À un détail près.

Si les clients, les projets ou les volontés politiques ne manquent pas dans ce secteur en pleine expansion, il n'en va peut-être pas de même en ce qui concerne ces ingénieurs qu'il faut recruter, motiver et convaincre d'inventer ces nouvelles solutions de mobilité. Et là, contrairement à ce que l'on pourrait imaginer, le recrutement n'est pas chose aisée. À première vue c'est même paradoxal alors que ces régions offrent aux diplômés débutants, autant qu'aux ingénieurs aguerris, des possibilités passionnantes, des projets « hors normes » et des carrières palpitantes.

Pourtant lorsque l'on rencontre les candidats, comme à l'espace recrutement du dernier salon Transports Publics par exemple, ils disent tous la même chose : « *Nous n'imaginions pas une telle richesse de projets* ».

Gageons qu'à la lecture d'un numéro comme celui-ci, ils auront changé d'avis.

PIERRE VERZAT
DIRECTEUR GÉNÉRAL DE SYSTRA



INTER NATIONAL

UN NOUVEAU QUAI DANS LE PORT DE MONTEVIDEO © PHOTOTHÈQUE SOLETANCHE BACHY



04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



16

**ENTRETIEN AVEC
HÉLÈNE ORTIOU
PARTIR À LA CONQUÊTE DES
MARCHÉS INTERNATIONAUX**

**20 SOLDATA : ANTIICIPER ET MAÎTRISER
LES RISQUES GÉOTECHNIQUES
ET ENVIRONNEMENTAUX**



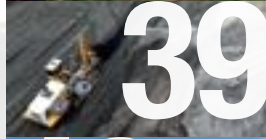
26

**PONT À HAUBANS
DU R4 SUD
à Gand (Belgique)**



32

**ÉTUDES AMONT
D'UN PONT ROUTE-RAIL
entre Brazzaville (RC)
et Kinshasa (RDC)**



39

**CONSTRUCTION
DE LA PLUS GRANDE
ÉCLUSE DU MONDE
en Belgique**



46

**RECONSTRUCTION
DU PONT FRONTALIER
SUR LA MOSELLE
à Grevenmacher**



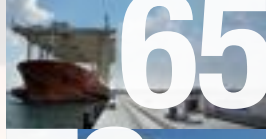
52

**CONCEPTION
ET CONSTRUCTION
DU PONT DE DIMALA
en Guinée Équatoriale**



58

**UN NOUVEAU QUAÏ
DANS LE PORT
DE MONTEVIDEO**



65

**LA LISTE DES RECORDS
À DUBAÏ S'ALLONGE
avec le nouveau terminal
conteneurs T3**



70

**CONCEPTION ALTERNATIVE
DU PONT HAUBANÉ
DE JOBAL
en Corée**



78

**PROGRAMME
DE RÉHABILITATION
DES OUVRAGES D'ART
DU TRANSGABONNAIS**



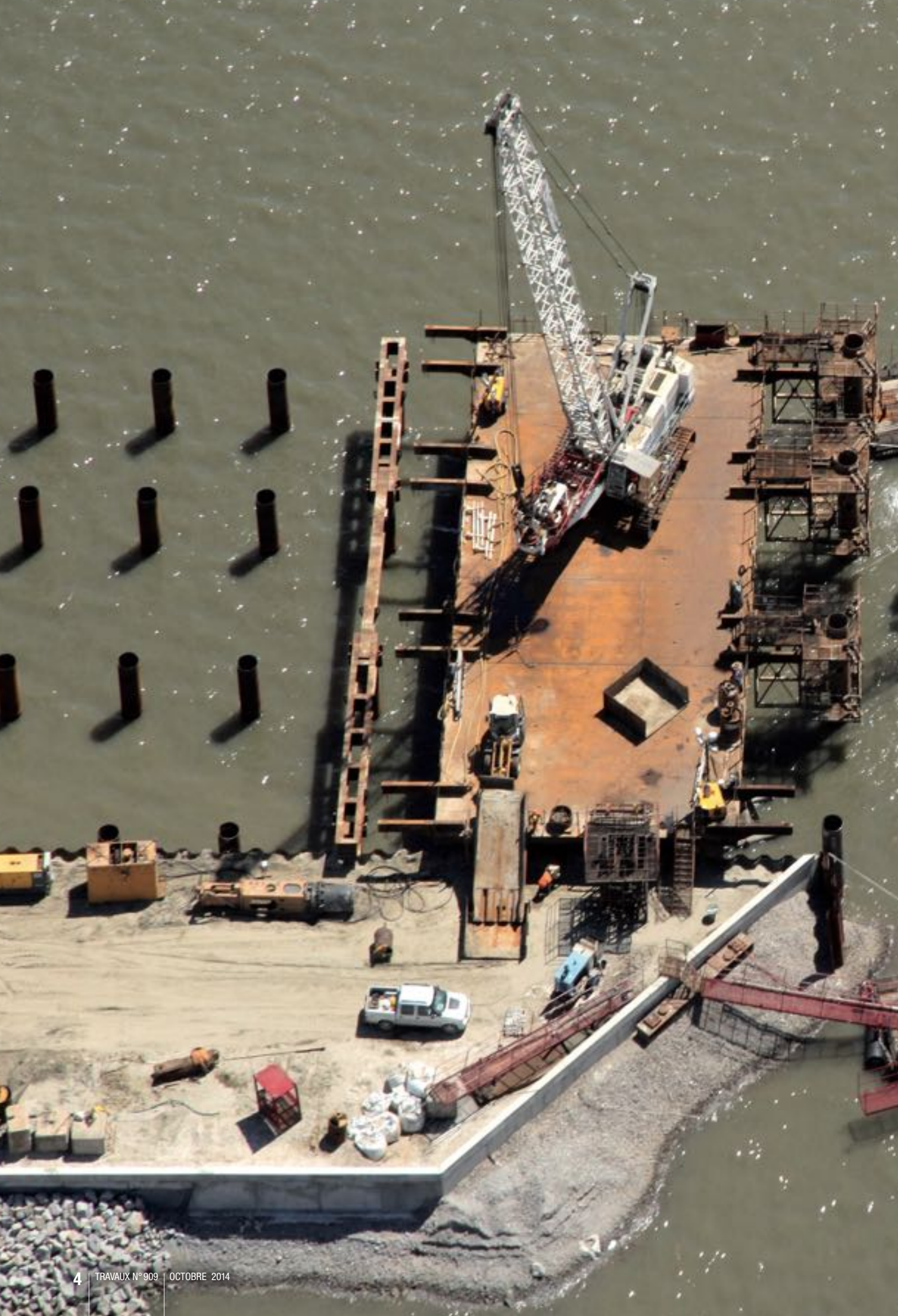
84

**PREMIÈRE
LIGNE DE MÉTRO
DE HO-CHI-MINH-VILLE
au Vietnam**



91

**TRÉSORS DE NOS ARCHIVES :
L'AMÉNAGEMENT
HYDROÉLECTRIQUE
DU RIO ANCHICAYA
ET DU RIO CARONI
TRAVAUX n°286 - Août 1958**



MONTEVIDEO UN NOUVEAU TERMINAL

DANS LE RIO DE
LA PLATA

SOLETANCHE BACHY,

Saceem et Dredging International Deme se sont groupées pour la construction d'un nouveau terminal de 383 m de long et 33 m de large dans le port de Montevideo. C'est un quai de type danois, fondé sur 256 pieux de 35 m de profondeur moyenne exécutés à partir d'une plateforme mobile. Il est composé d'éléments préfabriqués et d'une dalle coulée en place. Le projet comporte également la réalisation d'une esplanade de stockage de conteneurs de 36 000 m², 300 000 m³ de remblais vibrocompactés, d'importants dragages et une digue en enrochements de 100 000 m³.

(voir article page 58).







AU PAYS DU MATIN CALME

**PROJET ALTERNATIF
POUR LE PONT DE
JOBAL**

SYSTRA, en qualité de bureau d'études, a proposé à l'entrepreneur Hyundai Development Company une variante pour le pont haubané de Jobal en Corée du Sud, d'une longueur de 990 m, dont la construction avait déjà commencé. Cette solution alternative à la solution initiale en béton comporte un pylône en acier et un tablier mixte et conserve les dimensions extérieures d'origine. La préfabrication à terre des éléments en acier permet réduire à 6 mois le délai de construction qui était de 18 mois pour une construction en mer.

(voir article page 70).



CONCOURS EUROPAN : DE JEUNES EUROPÉENS ÉLABORENT L'URBANISME INCERTAIN

Europan qui termine sa 12^e édition couronne des méthodes de travail façonnées par des professionnels de moins de 40 ans en Europe.



© EUROPAN FRANCE

Fosses (Val-d'Oise), un des sites d'Europan 12 : au premier plan, le centre ancien actuellement séparé du quartier plus récent, à l'arrière-plan.

Europan est un concours d'urbanisme d'un genre particulier. Il s'agit d'élaborer des méthodes et non de dessiner des projets précis. Les équipes travaillent sur des sites réels proposés par des collectivités locales ou des organismes privés, validés au préalable par une commission. Le concours, créé il y a vingt-six ans, s'adresse aux professionnels de moins de 40 ans spécialisés en conception urbaine : architectes, urbanistes, paysagistes, sociologues, ingénieurs, etc. Ils sont européens au sens large, au-delà de l'Union européenne.

La 12^e édition (2012-2014) s'est terminée fin septembre à Pavie (Italie) avec un forum et une exposition de tous les projets gagnants. La 13^e (2014-2015) est déjà lancée.

La France est pour quelque chose dans la création d'Europan : « Cela a commencé par le programme d'architecture nouvelle (Pan) du ministère de l'Équipement, explique Isabelle Moulin, directrice d'Europan France. Le Pan portait surtout sur le logement. L'Europe s'y intéressait. L'Espagne a été motrice pour le changer d'échelle. »

Chaque pays organise son concours selon les mêmes règles. L'échange d'idées entre nationalités fait partie des objectifs et a lieu autant que possible, notamment lors de l'intersession comme celle de septembre.

→ Plates-formes flottantes

Rien n'empêche une équipe française de se pencher sur un projet à l'étranger et vice-versa. Ainsi, par exemple, trois architectes Bulgares installés à Paris, se sont-ils intéressés au quartier Saint Sever-Île Lacroix de Rouen (Seine-Maritime), site d'Europan 12. Leur proposition a été remarquée. Ils ont envisagé le débordement de la Seine et l'implantation de plates-formes flottantes. « Ce projet a provoqué un débat particulièrement intéressant à propos de risques d'élévation du niveau des eaux, évalués comme réels, est-il écrit dans le livre de la 12^e édition. Néanmoins, il a été classé hors sujet. » La demande de Rouen porte sur la création d'un ensemble réunissant Saint-Sever et l'île qui, jusqu'ici, s'ignorent.

Le 12^e Europan a pour thème la ville adaptable : « Depuis deux sessions au moins, les politiques évoquent la difficulté voire l'impossibilité de mener des projets définis à l'avance pour vingt ans, rapporte Alain Maugard, président d'Europan France. Les réponses au concours sont de moins en moins architecturales et de plus en plus urbaines. La ville adaptable est moins professionnalisée qu'avant et plus politique au sens étymologique du terme. La remise en questionnement de la ville est plus forte qu'avant. »

→ Prochain concours en février 2015

La 13^e édition reprend le même thème pour l'enrichir sous trois angles : l'auto-organisation plutôt que l'État-providence ;

le partage plutôt que la ségrégation ; la conception d'un projet plutôt que d'un objet. Les sites ont été dévoilés fin septembre à Pavie. Le concours sera lancé en février 2015. Les réponses des candidats seront examinées et les meilleures, présentées en décembre 2015.

Europan 12 a sélectionné 22 équipes dont 3 étrangères pour les sept sites français retenus : Rouen, Fosses (Val-d'Oise), Marseille, Paris, Saclay (Essonne), Saint-Herblain (Loire-Atlantique) et dans l'agglomération de Vichy (Allier).

La Ville de Fosses et la Communauté d'agglomération Roissy Porte de France, par exemple, ont proposé de relier un quartier ancien à un plus récent, actuellement séparés par 9 hectares.

Ce lien doit « mettre en valeur la richesse archéologique, historique et agricole, et modeler les pleins et les vides » de cette zone à caractère rural en bordure nord de l'Île-de-France.

→ Que la ville se transforme sur elle-même

Le projet de l'équipe menée par Julien Boidot, architecte urbaniste, a plu au jury parce qu'il est « cohérent, ambitieux sur la co-production, économe en ressources naturelles et foncières. Il se focalise sur les leviers à actionner pour que la ville se transforme sur elle-même. Il développe un scénario de densification raisonné avec réappropriation de l'existant. Il peut servir de modèle à des sites similaires. » Dans toute l'Europe, 170 équipes ont été retenues à Europan 12. Parmi elles, 18 françaises ont travaillé hors de France.

Pour en savoir plus :

www.europan-europe.eu ;
www.europanfrance.org. ■

ROUEN : RÉCONCILIER UNE ÎLE ET UN QUARTIER DÉSHÉRITÉ

L'équipe lauréate du site Saint Sever-Île Lacroix à Rouen (Seine-Maritime) est parisienne. Représentée par Nicolas Cèbe, architecte, elle comprend une autre architecte, un architecte urbaniste, un géographe urbaniste et un graphiste. Le secteur Saint-Sever, en bord de Seine, est délaissé depuis la fermeture d'industries et d'entrepôts.

Une gare TGV est prévue mais seulement dans quinze-vingt ans. L'île est habitée. Que faire aujourd'hui sans présumer de

l'avenir, pour partie inconnu ? Les cinq professionnels ont su, selon le jury, conserver l'adaptabilité des lieux.

Ils ont choisi de faire du viaduc du quai Anquetil une pièce maîtresse de leur vision du quartier.

→ Viaduc habité

Il comprendra un belvédère et sera en partie habité. Les hangars deviendront des pépinières d'entreprises et les rez-de-chaussée pourront recevoir tout type d'occupation. ■



© EUROPAN FRANCE

À Rouen, il s'agit de relier l'Île Lacroix, au centre de la photo, avec Saint-Sever sur l'autre rive de la Seine, en bas à droite.

UN CINQUIÈME DE L'ÉLECTRICITÉ MONDIALE EST RENOUVELABLE



Les deux tiers de l'électricité renouvelable sont produits par l'hydraulique. Ici, centrale hydroélectrique à Alqueva, au Portugal (2013).

« En Chine, la puissance installée d'énergie renouvelable a, pour la première fois en 2013, dépassé celle en combustible fossile et celle en nucléaire, » précise Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) dans son dernier rapport.

Ce réseau de 50 membres - représentants d'organisations professionnelles, gouvernementales ou non, universitaires, chercheurs, etc. - apporte son expertise aux décideurs en faveur d'une transition rapide vers les renouvelables.

La Chine vient en tête de tous les pays pour sa capacité en électricité renou-

velable, hydraulique incluse ou non. Hors hydraulique, elle dispose de 118 gigawatts (GW) dont plus de 90 GW en éolien et 20 GW en solaire photovoltaïque. En deuxième position, figurent les États-Unis avec 93 GW dont 60 en éolien. L'Allemagne vient ensuite avec 78 GW dont 35 en éolien et 35 en photovoltaïque. Les trois places suivantes sont occupées par l'Espagne, à 32 GW, l'Italie à 31 et l'Inde à 27.

→ 1 560 gigawatts électriques

En incluant l'hydraulique, la Chine et les États-Unis sont les deux premiers, suivis du Brésil, du Canada et de l'Allemagne.

Dans le monde, la puissance installée en électricité renouvelable a atteint 1 560 GW en 2013, soit 8 % de plus qu'en 2012. Les renouvelables assurent 22 % de la production électrique.

Le réseau REN21 attribue cette croissance aux pays émergents. Selon lui, 95 d'entre eux ont des politiques de soutien du secteur contre 15 seulement en 2005. « Cela contraste avec le recul de l'appui de certains pays européens et des États-Unis, l'incertitude qui entoure leurs politiques dans ce domaine, » écrit-il.

→ Gros efforts des petits

Le 100 % énergies renouvelables n'effraie ni Djibouti, ni l'Écosse ni l'État des Tuvalu⁽¹⁾ qui l'envisagent pour 2020. REN21 voit dans cet objectif un moyen que tous accèdent à l'énergie. En Afrique, par exemple, seulement 43 % de la population dispose d'électricité.

Après l'hydraulique, c'est l'éolien qui tire le mieux son épingle du jeu au niveau mondial, avec 35 GW de plus qu'en 2013, soit 318 GW en place.

Le photovoltaïque totalise 139 GW avec une bonne année 2013 : +39 GW.

→ Chaleur : 10 % renouvelable

Quant à la chaleur et au refroidissement produits par la biomasse moderne (bois en plaquettes, biogaz, etc.), par le solaire thermique et la géothermie, ils progressent modestement mais constamment. Ils couvrent 10 % de la demande de chaleur.

En savoir plus sur : www.ren21.org.

⁽¹⁾ Archipel d'îlots polynésiens rattaché au Commonwealth britannique.

MARSEILLE PROCHE DES PORTS MAROCAINS

Le Grand port maritime de Marseille (Bouches-du-Rhône) entretient des relations avec les ports marocains comme Tanger et Casablanca.

À la suite de plusieurs rencontres, deux accords de coopération ont été signés début août avec l'Agence nationale des ports (Maroc) et l'Agence spéciale Tanger Méditerranée. Objectif : développer des lignes maritimes entre les deux pays. Par ailleurs, il est prévu de « mener avec les partenaires économiques des études pour la création d'une plate-forme logistique dédiée aux produits agricoles du Maroc, réception, traitement et réexpédition, » sur le pourtour de la Méditerranée dont Marseille Fos ainsi que de développer le Ropax, transport combiné de passagers et de marchandises par bateau avec le Maroc.

GÉOTHERMIE : 3 PERMIS

Trois permis exclusifs de recherche de gîtes géothermiques à haute température ont été accordés le 16 juillet par le ministère de l'Écologie.

Le premier, dit de Cézallier, est accordé à Fonroche Géothermie sur 1 000 km² situés à cheval sur le Cantal, la Haute-Loire et le Puy-de-Dôme.

Le deuxième, dit de Sancy, revient à Electerre de France pour 412 km² dans le Puy-de-Dôme.

Pour le troisième, il s'agit de la prolongation jusqu'au 5 octobre 2017 du permis de Soultz-sous-Forêts, sur 56 km² dans le Bas-Rhin, accordée au Groupement européen d'intérêt économique Exploitation minière de la chaleur.

POIDS DES PAYS ÉMERGENTS

La production mondiale d'électricité d'origine renouvelable atteindra 26 % de la production d'électricité en 2020, annonce l'Agence internationale de l'énergie (AIE) dans son rapport à mi-2014 (www.iea.org). Actuellement, elle est de 22 % (voir ci-contre).

Cependant « l'expansion des renouvelables va ralentir dans les cinq ans à venir, » prédit l'AIE. Cela fragilise la lutte contre le réchauffement climatique.

La croissance revient pour 70 % aux États non membres de l'OCDE*, toujours selon l'Agence. Cependant, l'absence de mesures d'intégration au réseau et l'insuffisance du crédit peuvent contrecarrer cette progression.

Au niveau mondial, le montant des investissements en énergies renouvelables pourrait baisser car les technologies coûtent moins cher à l'unité.

Le rapport de l'AIE souligne que la chaleur et le froid renouvelables sont insuffisamment exploités et soutenus, les énergies fossiles étant dominantes. La moitié de l'énergie dans le monde est consommée pour produire de la chaleur.

* OCDE : Organisation de coopération et de développement économique composée surtout de pays dits occidentaux.

APPEL À COMMUNICATIONS STRUCTURES MÉTALLIQUES

Les personnes qui voudraient intervenir à la conférence sur la norme d'exécution des structures métalliques EN 1090 qui a lieu les 25 et 26 mars 2015 à l'École normale supérieure de Cachan (Val-de-Marne), peuvent se manifester auprès de Construiracier jusqu'à fin novembre (mcritter@construiracier.fr).

RILEM EN CHINE

Miao Changwen est le premier président du groupe Rilem chinois, créé début août à Hong-Kong. Rappelons que le Rilem, Syndicat international des laboratoires et experts en matériaux de construction, systèmes et structures*, a pour mission de faire progresser le savoir dans ces domaines et d'en soutenir la diffusion dans le monde.

* International union of laboratories and experts in construction materials, systems and structures (www.rilem.org).

GUIDE CLAUSES TECHNIQUES

Le groupe d'études des marchés "ouvrages, travaux et maîtrise d'œuvre" (GEM-OTM) a publié en juillet le guide d'harmonisation des clauses techniques contractuelles relatives aux documents sur le management de la qualité et le respect de l'environnement. Ce guide s'adresse aux rédacteurs de fascicules du cahier des clauses techniques générales de travaux de génie civil et à ceux de marchés publics de travaux. Le GEM-OTM est rattaché à l'Observatoire économique de l'achat public, à la direction des affaires juridiques du ministère de l'Économie.

AMÉLIORER LE MODÈLE FRANÇAIS DE L'EAU



Il faudrait renouveler 3 % du linéaire des réseaux pour en stabiliser le vieillissement. Sur la photo, chantier d'eau potable à Laval (Mayenne).

« Le modèle français de l'eau pourrait disparaître ou être mis à mal, craint Alain Grizaud, président des Canalisateurs de France qui ont organisé une conférence sur sa pérennité en juin. Si le principe de l'eau paie l'eau était abandonné, cela déstabiliserait beaucoup de choses. » Actuellement, l'eau n'est pas payée par des impôts qui alimenteraient des dépenses par poste, comme les routes par exemple, avec le risque d'être ajusté selon les priorités. La facture d'eau va au service de l'eau et de l'assainissement. Actuellement, la consommation d'eau des ménages se stabilise voire diminue, d'où de moindres rentrées dans les caisses de ces services. Par ailleurs, les collectivités locales qui provisionnent pour investir dans les réseaux font parfois leurs calculs sur le montant qu'elles ont déboursé, excluant les subventions, d'où des niveaux insuffisants d'épargne. Actuellement, 0,6 % du linéaire d'eau potable et 0,8 % de l'assainissement sont renouvelés chaque année, estime la profession. Il faudrait 3 % pour stabiliser le vieillissement du réseau sans même rattraper le retard.

→ Inventaires : à faire

Les obligations légales d'entretenir les canalisations existent pourtant. La loi Grenelle 2 et son décret de 2012⁽¹⁾ exigeaient que les collectivités locales aient dressé l'inventaire des réseaux à fin 2013. Dans le cas où le rendement se révèle inférieur à 85 % en zones urbanisées (15 % de fuites) et à 65 % en rural, un plan d'actions doit être établi dans l'année qui suit. En pratique, le nombre d'inventaires n'est pas connu. La sanction - doublement de la redevance versée aux agences de l'eau - est-elle appliquée ?

Un réseau d'eau potable étanche réduit le volume distribué et donc celui traité en usine, ce qui abaisse les frais du service. L'abonné, lui, ne paie que l'eau parvenue à son compteur.

Des collectivités locales prennent le problème à bras le corps. La Vendée qui redoute une pénurie d'eau en été, a un taux moyen de fuites de 12,5 % pour 277 des 282 communes du département.

→ Aides des Régions

À la Communauté d'agglomération du Lac du Bourget (Savoie, 18 communes), la question de l'eau et de l'assainissement est une priorité. « Le rendement du réseau de l'eau potable n'était que de 61,5 % sur Aix-les-Bains, a témoigné Corinne Casanova, vice-présidente de la CA. Nous avons instauré une surtaxe pour le renouvellement des réseaux. Nous devons être solidaires entre collectivités pour sécuriser l'approvisionnement et rationaliser les investissements. Nous envisageons une station d'épuration des eaux usées commune avec Chambéry. » Les agences de l'eau ne subventionnent

plus le renouvellement des canalisations mais les diagnostics, la détection de fuites et certains travaux d'assainissement.

Les Régions, de leur côté, « peuvent inscrire le renouvellement des réseaux dans leur programmation et y consacrer des financements de l'Union européenne, » a rappelé Sophie Auconie, co-présidente du Cercle français de l'eau.

→ Assises en 2015 ?

« Afin de faire passer le modèle de l'eau à une autre étape, nous voudrions que des assises de l'eau soient organisées en 2015, » a proposé Thomas Laurenceau du magazine 60 millions de consommateurs, qui estime que le grand public n'est pas assez impliqué dans les comités de bassin, reconnus pourtant comme un modèle de concertation par Jean Launay, président du Comité national de l'eau. ■

⁽¹⁾ Décret n°2012-97 du 27 janvier 2012 ; loi n°2010-788 du 12 juillet 2010.

⁽²⁾ Cf. Inventaire des réseaux d'eau et d'assainissement, guide pratique, novembre 2013. Voir aussi les fiches Mémo n°1 à 4, avril 2014, Canalisateurs de France.

1,4 MILLIARD DE MÈTRES CUBES PERDUS

Sur les 6 milliards de mètres cubes d'eau potable produits par an, 1,4 n'arrive pas chez l'abonné et se perd en chemin. Voici quelques chiffres sur l'eau et l'assainissement.

• Réseau d'eau potable : 900 000 km.

• Réseau d'assainissement : 400 000 km.

Service eau et assainissement.

• Prix moyen : 3,62 euros TTC/m³ (2012).

• Répartition du prix : 45 % eau potable ; 40 % assainissement ; 16 % redevances et TVA.

ÉCOLE CHINOISE D'INSPIRATION FRANÇAISE



© KREACTION/COSTE ARCHITECTURES

L'école chinoise, six fois plus grande que son modèle, a ouvert ses portes en septembre.

L'école Parc Marianne de Montpellier (Hérault), ouverte en 2013, a désormais une réplique en Chine. Six fois plus grande. Celle qui vient d'être livrée à Chengdu, dans la province du Sichuan (Sud-Est), couvre 15 000 m² contre 2 650 pour la française, peut accueillir 1 800 élèves contre 300, compte 36 classes contre 11. L'une est estimée à 30 millions d'euros tandis que la petite a coûté 8,8 millions HT. Le groupe scolaire chinois comprend également 40 salles annexes, un parking souterrain de 100 places, un jardin, des cours couvertes à chaque étage et des cours extérieures, six terrains de badminton, deux de basket, une piste d'athlétisme, etc. Malgré la différence de taille, les deux établissements se ressemblent.

Tous deux ont été conçus par l'agence Coste Architectures. Le maire de la ville de Chengdu - 14 millions d'habitants - l'a voulu ainsi après une visite à Montpellier dans le cadre de leur jumelage. L'école chinoise reprend les mêmes modénatures et principes architecturaux. Elle aura des performances thermiques équivalentes à celles d'un bâtiment basse consommation français.

→ **Solaire : 350 m²**

L'école de Montpellier rebaptisée École Chengdu est un bâtiment à énergie positive (Bepos). Elle produit 20 % d'électricité en plus de ce qu'elle consomme. Le reste est vendu à EDF. La toiture porte 350 m² de capteurs photovoltaïques.

Les besoins de chauffage ou de rafraîchissement sont limités grâce à son

orientation, des protections solaires, une isolation par l'extérieur, une ventilation double-flux, un éclairage économe.

Les caractéristiques du bâtiment sont expliquées dans un guide d'utilisation à destination des instituteurs et des enfants. Les capteurs solaires ont été implantés de façon à éviter l'ombre qui dégraderait leur production. La parcelle se trouve enclavée dans le futur écoquartier d'habitat Parc Marianne, une des 7 opérations retenues dans le cadre de l'écocité de 2 500 ha (2012), elle-même intégrée au projet "De Montpellier à la mer" qui bénéficie des investissements d'avenir de l'État.

→ **1^{re} réalisation en Chine**

Pour Coste Architectures, c'est la première réalisation en Chine. L'agence qui y est représentée par China Southwest Architectural Design and Research Institute Corporation, travaille sur des projets de tours. ■



© KREACTION/COSTE ARCHITECTURES

L'école Chengdu française a été construite dans un quartier en développement entre ville et mer, à Montpellier (Hérault).

ÉQUIPEMENTS EN PROJET À PARIS-SACLAY

Un poste source Électricité Réseau Distribution France va être implanté sur le pôle scientifique et technologique du plateau de Saclay (Essonne). Explorations Architecture l'a imaginé comme une « formation géologique qui aurait émergé au milieu de la forêt. » Le bâtiment est aveugle, vu de l'extérieur. Sur les façades intérieures, portes, fenêtres et grilles de ventilation sont recouvertes d'un bardage à claire-voie en aluminium qui laisse filtrer la lumière. Le poste source répond ainsi aux préconisations d'aménagement du pôle qui prévoit des clairières où le bâti se fond dans la nature.

Les quatre ailes du centre, en particulier celles des trois transformateurs (225 000 volts/20 000 volts), sont mises à l'abri des intrusions par des façades infranchissables et des sauts de loup (fossés) paysagés. L'eau chaude sanitaire

est produite par récupération sur la chaleur de l'activité dans le bâtiment.

→ **Réseau de chaleur et de froid**

Par ailleurs, trois candidats ont été retenus pour un réseau de chaleur et de froid

© GAËL NYS/EXPLORATIONS ARCHITECTURE



Ce poste source ERDF est conçu comme une formation géologique qui émerge de la forêt.

sur géothermie profonde qui irriguera deux quartiers du pôle, à Palaiseau et à Gif-sur-Yvette/Orsay. Il s'agit d'EDF Optima Solutions-Dalkia France, GDF Suez Energie Services-Cofely Réseaux et Idex Energies avec Egis Industries.

L'entreprise qui remportera le marché au terme d'une procédure négociée sera désignée au 1^{er} trimestre 2015. Elle sera chargée de la conception, réalisation, exploitation et maintenance de l'installation.

→ **Salles de sports de combat**

Notons également l'implantation, à Palaiseau, d'une salle de sports spécialisée en sports de combat. Elle a été confiée au cabinet d'architectes Stoffel-Lefebvre. Elle est reconnaissable par ses voiles en béton poli, sortes de colonnes en ruban torsadé, formant une galerie tout autour des salles. ■

SYSTÈMES ÉLECTRIQUES INTELLIGENTS

Début janvier 2015, l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie examinera les premières manifestations d'intérêt sur les systèmes électriques intelligents, appel dont les lauréats bénéficieront d'un financement par les investissements d'avenir, dans le cadre du programme Réseaux électriques intelligents.

Clôture finale : 11 septembre 2015.

Cet AMI veut faire remonter des idées en lien avec le déploiement des véhicules électriques ou hybrides, l'électricité d'origine renouvelable, les clusters énergétiques et les solutions adaptées à l'export. www2.ademe.fr, rubrique appels à propositions.

RÉSISTANCE AU FEU DES CLAPETS DES CLAPETS

CNPP s'est doté d'un four d'essais de résistance au feu des dispositifs de désenfumage comme les volets et les clapets, appelés dispositifs actionnés de sécurité (DAS). Cet équipement vient compléter les essais mécaniques.

Le four, un cube de 3 m de côté, monte jusqu'à plus de 1 100°C.

Le laboratoire peut désormais évaluer l'étanchéité aux gaz, au feu et l'isolation thermique des DAS.



© CNPP

Vue du dispositif dont le four.

EIFFAGE ÉNERGIE EN ALGÉRIE

Eiffage Énergie va réaliser une sous-station électrique avec la Société algérienne de gestion du réseau de transport de l'électricité. La sous-station de 400 kV se situe à Ain Oussera, à 200 km au sud d'Alger. Elle est rattachée à la centrale à cycle combiné de Djelfa opérationnelle en 2016. Le contrat porte sur 56,5 millions d'euros. L'équipement fait partie du plan de développement 2023 des infrastructures électriques du pays.

BOUYGUES ÉNERGIES & SERVICES DANS L'EST CANADIEN

Bouygues Énergies & Services projette de prendre une participation majoritaire dans Plan Group, société canadienne de génie électrique et mécanique. L'opération est soumise à l'accord des autorités de la concurrence. Plan Group est présente à Toronto, Ottawa et Montréal dans l'Est canadien et à Vancouver, à l'Ouest. Elle emploie 1 700 personnes et réalise 242 millions d'euros de chiffre d'affaires (2013). Bouygues Énergies & Services Canada est déjà active sur le secteur de Vancouver.

EUROVIA SE RENFORCE À VANCOUVER

Eurovia acquiert Imperial Paving, société de travaux routiers basée à Vancouver, en Colombie britannique (Ouest du Canada). La filiale du groupe Vinci accroît son activité sur le secteur où elle avait déjà repris BA Blacktop en 2009. Rappelons qu'Eurovia est présente dans seize pays.



BA Blacktop, reprise en 2009 par Eurovia, intervient sur l'autoroute Port Mann Highway à Vancouver (Canada).

SDMO SE PLACE À L'EXPORT ET SÉCURISE TOUJOURS PLUS SES GROUPES



Huit groupes électrogènes relaient la fourniture d'électricité d'un centre de données informatiques à Londres (Angleterre).

Le Comité français d'accréditation (Cofrac) a accordé une accréditation internationale au laboratoire d'essais de SDMO, en avril. Ainsi, le fabricant peut-il garantir que les valeurs des caractéristiques de ses groupes électrogènes - puissance, émissions sonores, refroidissement, sécurité - sont bien établies selon la norme NF EN Iso/CEI 17025 portant sur les exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais. Cette démarche lui ouvre des marchés à l'export en Russie, Équateur, Kenya, Nigeria, Chili, pays qui ont signé des accords de reconnaissance mutuelle entre organismes d'accréditation.

En Angleterre, le constructeur vient de fournir des groupes électrogènes de secours à un centre de données informatiques (data center) d'une banque à Londres. La centrale comprend 8 groupes qui assurent la fourniture d'électricité en cas de panne. La partie qui se met en route si besoin, est elle-même relayée si elle défaille ou pendant les opérations de maintenance.

→ Circuits redondants

La centrale a été assemblée sur place, en toiture d'un immeuble de 13 étages. Elle est dotée de la dernière version du système de contrôle commande APM802 développé par SDMO. La sécurisation de l'approvisionnement en électricité étant

impérative, les circuits d'informations d'une centrale sont redondants. Quand la communication d'un groupe est coupée, l'information peut circuler dans l'autre sens de la boucle.

→ Cogénération au biogaz

Enfin, SDMO se lance dans les groupes électrogènes au biogaz. Ces machines sont conçues pour fonctionner en permanence et non pas en secours. Elles fournissent de l'électricité et de la chaleur (cogénération). Une première unité de 250 kW électriques et 350 kW thermiques a été installée dans une exploitation agricole à Arzal (Morbihan). D'autres projets sont en cours. ■



Cette centrale au biogaz produit électricité et chaleur.

LA CALIFORNIE AURA UNE LGV EN 2029

Les travaux de la ligne à grande vitesse de Californie ont commencé cet été. À mi-juillet, des pieux d'essais pour le viaduc sur la rivière Fresno ont été réalisés à Madera et l'emprise de la ligne a été dégagée par démolitions dans la ville de Fresno, sa voisine.

Systra a conseillé la California High-Speed Rail Authority chargée de planifier et superviser les études, et de la construction de la LGV. La filiale ingénierie de la RATP et de la SNCF assiste aussi le groupement de conception réalisation Tutor-Perini/Zachry/Parsons sur 47 km autour de Fresno. Elle apporte son expertise sur l'interaction entre ouvrage et matériel roulant, sur les défauts de la voie et les vibrations. Elle a aussi étudié les phénomènes aérodynamiques en tunnel - tranchée de Fresno - afin de rendre supportables les variations de pression dans les voitures. Ces travaux ne sont qu'une phase des premiers 400 km,

tronçon central de la ligne entre Merced et San Fernando Valley, à mettre en service en 2022. San Francisco, au nord, et Los Angeles et San Diego, au sud, seront raccordées vers 2029.

→ 100 % électricité renouvelable

À noter que l'électricité nécessaire à la LGV sera produite uniquement par des énergies renouvelables.

La LGV Californie sera raccordée au réseau ferroviaire existant. L'opération qui vise à soulager les 270 000 km de routes et autoroutes, et la centaine d'aéroports, est estimée à 98 milliards de dollars (75 milliards d'euros, août 2014).

→ Commandes :

70 % à l'international

Ce contrat attribué en 2013 est un exemple de l'activité de Systra à l'export qui représente maintenant 52 % du chiffre d'affaires du groupe. « L'élargissement de Systra avec la fusion avec Inexia et Xelis le rend plus robuste et lui permet

de s'affirmer à l'international, confortant l'ambition de doubler le chiffre d'affaires d'ici à 2018 », indique un communiqué. À début juin, 70 % des commandes étaient signées à l'international.

Le résultat net du groupe atteint 9,2 millions d'euros, en hausse de 26 % par rapport à 2012, pour un chiffre d'affaires de 443 millions d'euros (2013). ■



Démolitions pour dégager l'emprise de la future ligne à grande vitesse californienne, à Fresno.

LA BRIQUE PRIMÉE À TRAVERS LE MONDE



© WIENERBERGER

L'architecture de ce centre rappelle le bâti traditionnel thaïlandais.

Le caractère international du prix Wienerberger se confirme. Les prix du concours organisé tous les deux ans depuis 2004 par le fabricant autrichien de tuiles et briques ont d'abord été attribués à des bâtiments en Europe au sens large. En 2010, apparaissent au palmarès des constructions situées en Inde et au Mali, puis en 2012, en Afrique du Sud. En 2014, le premier prix revient à l'Institut Kantan du film et d'animation à Nakhon Pathom en Thaïlande, signé de Boonserm Premthada (Bangkok Project Studio, 2011). Le bâtiment de 2 000 m² est constitué de briques deux fois plus grosses que la taille courante. Elles contiennent de l'air qui isole de la chaleur. L'ensemble se répartit sur plusieurs cours intérieures avec des îlots propices aux relations sociales. Les 600 000 briques ont été fabriquées à la main dans un

des rares villages thaïlandais dont c'est encore la spécialité. Des chômeurs ont été spécialement formés pour la construction. Le jury a apprécié son intégration dans le paysage, son évocation des temples traditionnels et le savoir-faire.

→ 15 sortes de briques

Parmi les sept réalisations primées, citons aussi la Maison de la lumière, à Pula en Croatie, conçue par Andrija Rusan (Rusan Arhitektura, 2012). Elle abrite les bureaux de Lumenart. Les briques et le béton forment le squelette d'un cristal recouvert de panneaux.

Toujours en Europe, la brique a été choisie pour créer de nouveaux espaces dans une usine de teinture textile devenue le Centre d'art Buda, à Courtrai en Belgique. L'Agence d'architectes 51N4E a remporté le prix Wienerberger dans la catégorie réutilisation publique pour l'ajout

de deux pentagones, un sans toit dans une cour, l'autre à l'intérieur comme une grande cage d'escalier éclairée de lumière naturelle.

Le beige rosé de la brique et l'aspect soyeux qu'il confère aux parois, selon le jury, se marie bien avec les 15 sortes de briques des murs anciens, plus rouges.

→ Boue de brique

Enfin, signalons la maison des quatre saisons de l'architecte chinois John Lin, bâtie dans un village de la province de Shaanxi (centre de la Chine).

Les pièces sont raccordées entre elles par quatre cours intérieures.

Le toit sert de séchoir à viande, de collecteur d'eau de pluie et de terrasse.

Les parois comportent deux épaisseurs de briques dont une reçoit un isolant de boue de brique faite sur place. L'intérieur est chauffé au biogaz. ■

MISE À JOUR DES EUROCODES

Une trentaine d'eurocodes structuraux sont entrés en phase de réexamen.

Chaque membre de l'Union européenne devait décider fin septembre s'il fallait les mettre à jour à partir de ses retours d'expérience. Une fois la décision prise, les professionnels peuvent rejoindre le groupe constitué de l'Afnor et de bureaux de normalisation sectoriels, et contribuer aux modifications de ces normes de calcul d'application volontaire par le comité technique européen CEN/TC 250.

GABIONS EN MILIEU MARIN

Les gabions en cours d'installation sur les berges des bassins du nouveau zoo de Casablanca (Maroc) sont dotés d'un grillage capable de résister à l'atmosphère marine et à des sols instables (argiles liquides). Le fil de fer tressé de 3 mm de diamètre est remplacé par des barres de 4-5 mm, électrosoudées et plastifiées.

Aquaterra Solutions a fourni 10 500 m³ de gabions de ce type au parc Sindibad afin de constituer des murs de 3 à 7 m de haut pour un montant de 250 000 euros. L'entreprise signale la parution en avril de deux normes : la NF EN 10223-3 sur les produits en grillage à mailles hexagonales en acier pour le génie civil et la NF EN 10223-8 sur les gabions à mailles soudées.



© AQUATERRA

Les panneaux des gabions sont constitués de barres plastifiées.



© WIENERBERGER

Pentagone installé dans la cour d'une ancienne usine textile en Belgique.

WIENERBERGER ACCROÎT SES PARTS DANS TONDACH

Wienerberger, fabricant autrichien de tuiles et briques, augmente sa participation dans Tondach Gleinstätten de 50% à 82%.

Les autorités anti monopoles ont donné leur feu vert à la mi-août. Il avait déjà accru ses parts de 25% à 50% en 2011.

Tondach, exerçant dans la même activité et le même pays, est présent dans 15 pays d'Europe de l'Est, de la Pologne à la Bulgarie.

BOLIVIE : TROIS LIGNES DE TÉLÉPHÉ- RIQUE

D'ici à la fin de l'année, la capitale de la Bolivie devrait être équipée de trois lignes de téléphérique urbain. Un million de passagers avait déjà emprunté la première, la rouge, début juillet. Le transport de voyageurs par câble convient particulièrement pour relier La Paz, ville escarpée, et sa voisine, El Alto, située à 4 000 m sur le plateau andin.

Actuellement, le trajet en bus de la banlieue vers le centre de la capitale prend une heure et demie environ. Le trajet en téléphérique dure trente minutes.

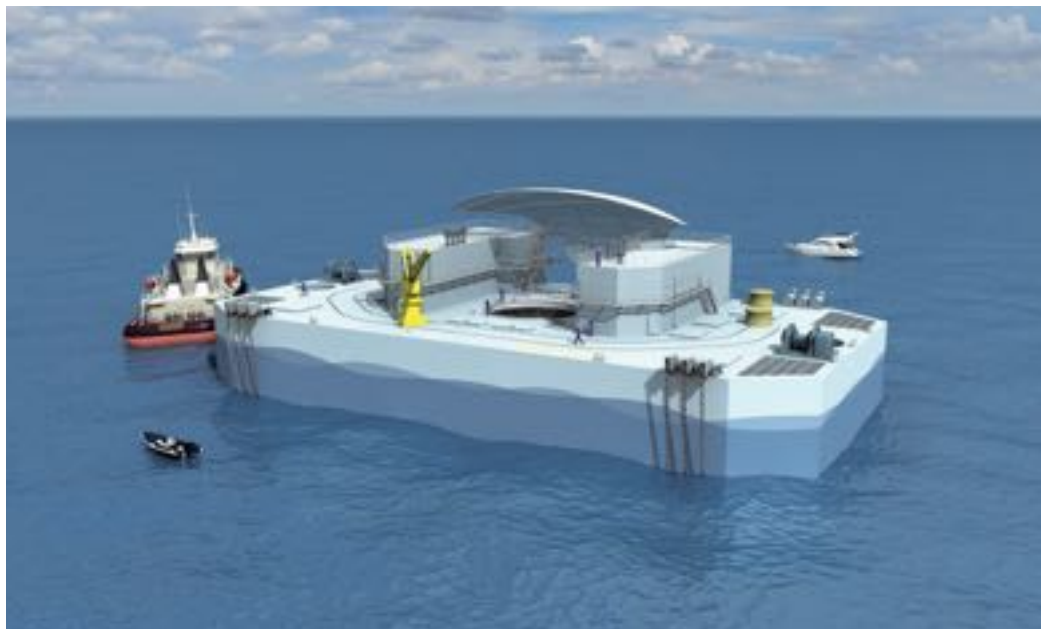
Mi Teleferico, société publique, a confié à Doppelmayr, entreprise autrichienne, ce grand chantier. La première ligne de 3 km, ouverte en mai, sera suivie de deux autres d'une longueur équivalente dont la mise en service est prévue pour l'automne. L'ensemble comprendra onze stations, 443 cabines circulant sur des câbles portés par 77 tours. L'investissement s'élève à 172 millions d'euros, selon *Le Monde* 1^{er} et 2 juin 2014.



© DOPPELMAYR

Ligne rouge du nouveau téléphérique à La Paz (Bolivie).

ÉNERGIES : 2 TECHNOLOGIES AIDÉES PAR L'EUROPE



© DCNS

La centrale flottante tire son électricité de la différence de température entre la surface de l'eau et le fond de la mer en Martinique.

La centrale Nemo qui produit de l'électricité à partir de l'énergie thermique de la mer va recevoir 72 millions d'euros de la Commission européenne. Elle a été retenue avec un autre projet français, Geostras, lors de l'appel d'offres européen NER 300 (New Entrant Reserve 300), outil de financement d'énergies renouvelables, de captage et de stockage de CO₂. Y sont impliqués la Commission européenne, la Banque européenne d'investissement et les États membres.

La ministre de l'Écologie, Ségolène Royal, a félicité les lauréats, le gouvernement ayant aidé ces dossiers « à franchir toutes les étapes de la procédure du programme », selon DCNS, spécialiste naval et énergies qui s'est associé à Akuo Energy, entreprise d'énergies renouvelables, pour concevoir Nemo.

→ **Pilote industriel :**
300 millions d'euros

Nemo est une centrale flottante capable de produire 16 MW d'électricité à partir de la différence de température entre la surface de l'eau, supérieure à 25°C, et celle à 1 000 m de profondeur, 5°C. Elle sera implantée en Martinique en accord avec la Région. Cette technologie donne une certaine autonomie énergétique aux îles non raccordées électriquement au continent.

Il existe déjà un démonstrateur de ce type, à terre à la Réunion. Les fonds européens vont permettre de passer au pilote

industriel en mer. Coût estimé : 300 millions d'euros.

Geostras - Géothermie Strasbourg - se situe dans le périmètre du permis exclusif de recherches de gîtes géothermiques à haute température accordé pour cinq ans à Fonroche Géothermie par arrêté (JO 23 juin 2013). Le permis couvre 573 km² dans le Bas-Rhin. L'entreprise reçoit 16,8 millions d'euros de NER300. Elle collabore avec deux sociétés allemandes - Herrenknecht Vertical et Angers & Soehne - ses co-actionnaires dans Foragelec, société de forage.

→ **Centrale de 6,7 MWe**

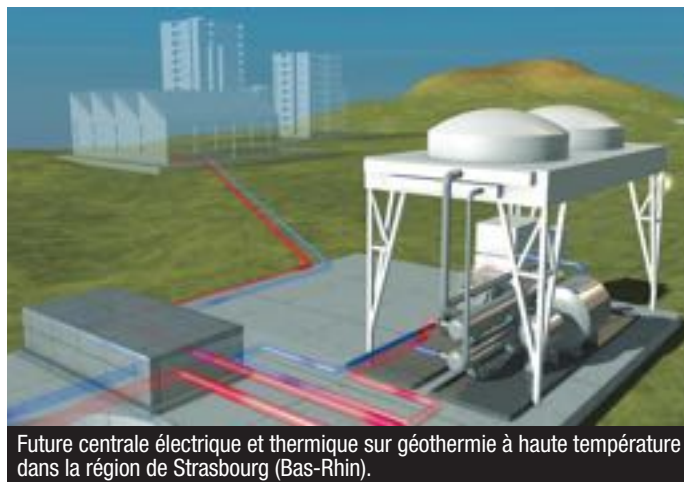
Le site va servir à expérimenter des méthodes de mise en production du

réservoir et à améliorer l'architecture des puits. La centrale y produira de l'électricité à une puissance de 6,7 MWe avec récupération de chaleur estimée à 35 MWth.

Grâce à Geostras, le spécialiste en géothermie profonde va enrichir son savoir-faire. Il a un autre projet, Fongeosec, dans l'agglomération de Pau (Pyrénées-Atlantiques), basé sur une eau à 180°C extraite à 6 km de profondeur pour une puissance électrique de 5 MW et trois fois plus en chaleur.

Pour en savoir plus :

www.ner300.com et site du ministère de l'Écologie. ■



© FONROCHE GÉOTHERMIE

Future centrale électrique et thermique sur géothermie à haute température dans la région de Strasbourg (Bas-Rhin).

AGENDA

ÉVÉNEMENTS

• 6 NOVEMBRE

Développement durable et impacts environnementaux des bâtiments en acier

Lieu : Paris

www.construiracier.fr

• 6 ET 7 NOVEMBRE

Georail, géotechnique ferroviaire

Lieu : Marne-la-Vallée

(Seine-et-Marne)

www.georail2014.fr

• 6 AU 8 NOVEMBRE

Denkmal, salon européen de la conservation des monuments, restauration et rénovations de bâtiments anciens

Lieu : Leipzig (Allemagne)

www.denkmal-leipzig.de

• 18 ET 19 NOVEMBRE

3^e rencontres nationales de la recherche sur les sites et sols pollués

Lieu : Paris Nord Villepinte

www.ademe.fr/manifestations

• 24 AU 26 NOVEMBRE

Matériaux de construction et structures

Lieu : Johannesburg (Afrique du Sud)

www.rilem.org

• 24 AU 28 NOVEMBRE

Écomatériaux

Lieu : Montpellier

www.materiaux2014.net

• 25 AU 27 NOVEMBRE

Salon des maires et des collectivités locales

Lieu : Paris (Porte de Versailles)

www.salondesmaires.com

• 2 AU 5 DÉCEMBRE

Pollutec

Lieu : Lyon

www.pollutec.com

• 27 ET 28 JANVIER 2015

Les rencontres de la mobilité intelligente

Lieu : Montrouge (Hauts-de-Seine)

www.congres-atecitsfrance.fr

NOMINATIONS

ADSTD :

Anne-Marie Herbourg a été élue présidente de l'Association des directeurs des services techniques départementaux. La directrice générale adjointe chargée de l'aménagement de la Meurthe-et-Moselle succède à Christian Gonson (Essonne).

ARCHITECTES :

Esa Mohamed (Malaisie) a été élu président de l'Union internationale des architectes. Il prend la suite d'Albert Dubler (France).

BÉTON :

Joël Lecuyer a été élu président du collège béton prêt à l'emploi de la région Picardie du Syndicat national du même nom.

CSTB :

Le Centre scientifique et technique du bâtiment est présidé par Étienne Crépon qui remplace Bertrand Delcambre, membre du Conseil général de l'environnement et du développement durable.

DCNS :

Hervé Guillou a été nommé prési-

dent directeur général du spécialiste en construction navale et énergies.

ENCHÈRES :

Michel Schietequatte est le nouveau directeur commercial France de Ritchie Bros Auctioneers, spécialiste de la vente aux enchères de matériel de chantier.

SCHNEIDER ELECTRIC :

Luc Rémont préside désormais les activités en France à la suite de Guy Dufraisse devenu directeur marketing opérationnel de l'activité Partner Projects.

SPIE :

Cécile Michard-Lai est responsable de la communication interne du groupe.

SYNTEC-INGÉNIERIE :

Denis Bertel préside pour deux ans le bureau Infrastructures.

TRAVAIL :

Pierre Biscourp devient sous-directeur de l'emploi et du marché du travail à la direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques au ministère du Travail.

BIBLIOGRAPHIE :

PROTÉGER LA RESSOURCE EN EAU À LONG TERME



Les auteurs dirigés par Max Falque développent l'idée que la réglementation ne suffit pas pour gérer ces prélèvements. Ils privilégient la régulation par l'échange de droits entre les parties prenantes ainsi qu'une gestion de l'eau comme bien commun à tous.

Les quinze textes sont répartis en trois parties. Dans les considérations théoriques, sont développés le rapport entre propriété et nappes souterraines, le cadre institutionnel et juridique, et la question des marchés de l'eau.

La deuxième partie présente différents exemples à l'étranger, en Australie (politique de l'eau), Californie et Australie (marchés de quotas), Italie (irrigation) et aux États-Unis (gestion de bassin versant).

La troisième partie revient sur le cas français avec quelques cas précis et les perspectives.

www.editions-johanet.com ■

Extrait des minutes du greffe de la cour d'appel de Versailles

Par arrêt du 4 juin 2014, sur appel d'un jugement du 15 avril 2013, du tribunal correctionnel de Versailles, la 9^{ème} chambre de la cour d'appel de Versailles a déclaré **M. Arlindo DE JESUS TEXEIRA MIGUEL**, gérant de la société JTM TP, coupable d'exécution de travail dissimulé, homicide et blessures involontaires, pour des faits commis dans le cadre de relation de travail le 26 mars 2010 à Limay (78) et l'a condamné à 15 mois d'emprisonnement avec sursis, à une amende délictuelle de 22 000 €, à l'interdiction, durant 5 ans, de diriger, gérer ou contrôler, directement ou indirectement, une entreprise ou société commerciale et a ordonné la présente publication.

*Vu au parquet Général, le Procureur Général
Pour extrait certifié conforme, le Greffier en chef*

Derrière le titre *L'eau entre réglementation et marché*, se cache un outil de débat pour la gestion à long terme des prélèvements d'eaux souterraines et du contrôle des pollutions diffuses.

PARTIR À LA CONQUÊTE DES MARCHÉS INTERNATIONAUX

UBIFRANCE, L'AGENCE FRANÇAISE POUR LE DÉVELOPPEMENT INTERNATIONAL DES ENTREPRISES, EST UN ÉTABLISSEMENT PUBLIC INDUSTRIEL ET COMMERCIAL (EPIC). DOTÉ DE SON RÉSEAU PROPRE DE 1 400 COLLABORATEURS MULTICULTURELS, SA MISSION EST D'ACCOMPAGNER LES ENTREPRISES DANS LEUR PARCOURS EXPORT, SELON LEURS BESOINS ET LEUR PROFIL, DEPUIS L'ORIENTATION SUR LES MARCHÉS ÉTRANGERS JUSQU'À LA CONCRÉTISATION D'AFFAIRES ET L'IMPLANTATION SUR LE TERRAIN.

ENTRETIEN AVEC HÉLÈNE ORTIOU, CHEF DU DÉPARTEMENT INFRASTRUCTURES, TRANSPORTS, INDUSTRIES D'UBIFRANCE. PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



© C.VERRIER/BSM

Les interventions d'UbiFrance sont extrêmement variées : de l'accompagnement à l'export d'un fabricant de matériel de forage et de géotechnique sur des opportunités liées à la préparation des J.O. 2020 et de la coupe du monde de rugby 2019 au Japon, en passant par l'organisation de la participation à un salon africain pour un fabricant d'usine de production d'émulsion de bitume. Elle s'appuie sur un réseau de partenaires sélectionnés pour leur proposer un service de bout en bout.

En 2013, UbiFrance, Bpifrance et Coface se sont regroupés sous le label Bpifrance Export pour apporter ensemble un soutien cohérent aux entreprises, groupant la prospection des marchés internationaux, le financement et la sécurisation de leurs projets à l'étranger.

En janvier 2014, le gouvernement a décidé de la fusion d'UbiFrance avec l'Agence Française pour les Investissements Internationaux (AFII), la structure qui s'occupe des investissements étrangers en France. Le rapprochement est actuellement en cours.

Hélène Ortiou, chef du département « infrastructures, transports, industries » de l'Agence, met en évidence la diversité des actions d'UbiFrance et ses récentes évolutions.

© C.VERRIER/BSM



2

© UBIFRANCE



3

Comment Ubifrance est-elle organisée en France et à l'étranger pour accompagner les entreprises françaises décidées à se développer à l'export ?

Ubifrance est un EPIC dont le mandat est de promouvoir les savoir-faire français à l'international à travers une organisation sectorielle en quatre grandes filières d'activité : produits alimentaires et agro-industrie, technologies de l'information, de la communication et des services, mode, habitat (dont le bâtiment), santé, et enfin, infrastructures, transports et industries dont j'ai la responsabilité.

Cette filière est elle-même constituée de trois équipes spécialisées : industrie, infrastructures (avec un volet travaux publics, routes, équipements aéroportuaires et ferroviaires...) et transports, énergie, environnement, chimie/mines. On retrouve cette organisation du siège parisien dans tous les bureaux dont dispose Ubifrance à l'étranger.

Que proposez-vous aux entreprises pour initier et accompagner leur démarche ?

Pour répondre le mieux aux besoins des entreprises françaises, nous disposons d'une expertise couvrant tous les secteurs.

La première, dite « conseil », est consacrée à tout ce qui concerne l'information en amont :

- Informations sur les marchés, disponibles gratuitement ou vendues en ligne, études personnalisées pour un groupement professionnel ou une entreprise ;
- Outil de veille sur les appels d'offre internationaux - PROAO - auquel il est possible de s'abonner et qui nous permet d'alerter une entreprise sur les appels d'offre qui

UBIFRANCE EN CHIFFRES

En 2013, Ubifrance aux côtés des entreprises, ce sont :

- 7 500 PME et ETI accompagnées sur des manifestations collectives à l'étranger ou lors de missions individuelles sur le terrain.
- 16 000 prestations de mise en contact de PME et ETI avec des partenaires commerciaux étrangers.
- Plus de 8 000 VIE en poste dans 130 pays.

entrent dans son périmètre d'activité et auxquels il serait intéressant qu'elle soumissionne ;

- Rendez-vous avec nos experts que nous mobilisons pour permettre à l'entreprise d'être informée des opportunités de marchés qui peuvent l'intéresser ;

La deuxième gamme, dite « contacts », comprend deux grands types de produits : des actions collectives et des prestations d'accompagnement personnalisé.

1- Hélène Ortiou, chef du département infrastructures, transports, industries d'Ubifrance.

2- Le siège de la société à Paris.

3 & 4- Participation en 2013 au numéro 1 mondial des salons de matériels de travaux publics : la Bauma de Munich.

5- Table ronde franco-allemande organisée dans le cadre de la Bauma 2013.

Les premières sont au nombre de quatre : les pavillons « France » sur les salons professionnels à l'étranger - par exemple le Salon International des Travaux Publics (SITP) à Alger - les missions « découvertes » - notamment dans les domaines portuaires et aéroportuaires - les rencontres « B to B » entre les entreprises françaises et des clients bien identifiés - l'aéroportuaire sur le marché Indonésien, pour citer une de nos démarches actuelles -, enfin les opérations « Vendre à un grand compte ou un grand donneur d'ordre », dernière étape la plus sophistiquée.

Quel est l'un des projets sur lesquels vous travaillez actuellement ?

Nous travaillons dès maintenant, par exemple, sur la Coupe du Monde de rugby 2019 au Japon ainsi que sur les jeux olympiques et paralympiques d'été à Tokyo en 2020.

Si notre bureau identifie un grand acteur privé japonais dont des entreprises françaises pourraient être fournisseurs, nous organiserons ce que nous appelons « vendre à un grand compte ».

Cette démarche est plus complète qu'une rencontre « B to B » car, à partir

d'un cahier des charges précis établi par le donneur d'ordre étranger sur ses besoins, nous recherchons les entreprises françaises pouvant répondre à cette demande.

Si l'entreprise que nous avons identifiée est intéressée, nous soumettons son offre au donneur d'ordre étranger qui nous indique alors son souhait de rencontrer l'entreprise.

Si la réponse est positive, nous organisons la mise en contact entre l'entreprise française et le grand compte (en France ou dans le pays du donneur d'ordre) et l'accompagnons dans la préparation de l'entretien et le suivi de la proposition commerciale soumise par l'entreprise au client étranger.

L'ensemble de ces actions constitue un des exemples de la promotion collective de l'offre française proposée par Ubifrance.

Comment la démarche d'accompagnement personnalisé se matérialise-t-elle dans la pratique sur le terrain ?

Dans la gamme « contact », un volet tout aussi important est précisément l'accompagnement personnalisé des entreprises, réalisé suivant quatre phases :

- En amont, identification de son offre avec l'entreprise, quels sont les types de marchés et les pays visés ;
- À la demande de l'entreprise, nous testons son offre auprès de clients étrangers dans un ou plusieurs pays ciblés lors de la première étape, à partir des éléments qu'elle nous a communiqués ;
- Si ce test s'avère positif, nous organisons un programme de rendez-vous personnalisés sur place avec les clients potentiellement intéressés par son offre ;

© UBIFRANCE



© UBIFRANCE



→ Dès le retour de l'entreprise en France, nous assurons un suivi complet de sa proposition, notamment dans les pays où les contacts sont compliqués.

En fonction du degré de maturité de l'entreprise, du marché et du secteur, le phasage théorique de l'accompagnement est adapté aux besoins de l'entreprise et aux spécificités du couple secteur-marché : commercialiser de la bijouterie fantaisie au Japon ne relève pas de la même démarche que de réaliser un aménagement aéroportuaire en Indonésie.

Notre objectif est de répondre à la demande du client en fonction de nos services, notre expertise des marchés étrangers et de ses possibilités, avec un devis spécifique : nous nous adaptons à chaque entreprise et à chaque pays. Un projet d'appel d'offres avec la Banque mondiale est traité différemment d'un marché à mettre en place avec le comité d'organisation des J.O. au Japon.

Chacun de nos clients en France a des besoins et des demandes différents. Nous devons les aider à intégrer dans leur offre le contexte et le climat des affaires de leurs clients potentiels à l'étranger.

Nous allons chercher à chaque fois les solutions qui permettent la connexion la plus efficace possible entre l'entreprise française et son futur client à l'étranger.

Par rapport à l'objectif de résultats fixés par l'État, comment vous situez-vous actuellement ?

Nous faisons appel à un prestataire extérieur, Ipsos, qui mesure en continu, auprès de nos clients, l'efficacité réelle de l'action d'UbiFrance, et ce de manière totalement indépendante depuis janvier 2011. On observe

BPIFRANCE EXPORT

Pour faciliter la démarche des entreprises françaises à l'international, Bpifrance, Coface et UbiFrance ont noué un partenariat et créé le label Bpifrance Export.

Des chargés d'affaires internationaux UbiFrance et des responsables du développement Coface sont au service des entreprises dans les directions régionales de Bpifrance. En complément des solutions de financement et d'investissement de Bpifrance, ils offrent un ensemble de conseils et de services personnalisés aux entreprises afin de réussir leurs projets à l'international.

qu'une entreprise sur deux accompagnée par UbiFrance déclare avoir établi au moins un nouveau courant d'affaires dans les six mois suivant la prestation de l'Agence. Nous dépassons donc l'objectif de 1/3 fixé par l'État. Cela prouve l'efficacité de notre organisation et le bien fondé du dispositif public d'appui aux PME et ETI françaises à l'export.

Après la première gamme « information conseil » et la deuxième gamme « contact », qu'en est-il de la troisième gamme que vous appelez « communication » ?

Au-delà de l'information sur les marchés et la mise en contact avec des acheteurs étrangers, nous aidons aussi les entreprises françaises à communiquer à l'international.

Pour cela, la gamme « communication » a pour objectif de les aider à communiquer dans la presse technique étrangère et, depuis deux ans dans certains pays, dans les médias sociaux. Aux États-Unis, par exemple, la communication dans les revues techniques a quasiment disparu : tout passe par les médias sociaux.

6 & 7- L'une des missions d'UbiFrance est d'accompagner les entreprises dans le cadre de la préparation des grands événements sportifs.

8- Participation à Intertraffic 2014, salon international de l'ensemble des intervenants dans le domaine de la route.

9- Présence sur les pavillons « France » dans les salons professionnels à l'étranger : ici le SITP à Alger en 2013.

10- Trois exemples de « success story » édités par UbiFrance, obtenues par des entreprises ayant fait appel à elle : Colas, Fordia et Haemmerlin.

11- L'affichette de lancement des rencontres organisées en vue de la préparation des grands événements sportifs.

Désormais, notre équipe à Chicago a développé une expertise dans le conseil « médias sociaux ». Dans un certain nombre de pays, à l'instar de l'Amérique du Nord, nous avons dépassé le stade des simples communiqués de presse et nous aidons les entreprises à maîtriser leur image sur le web.

Si la gamme « communication » est un peu moins utilisée dans le secteur des Travaux Publics et de l'infrastructure, en revanche, il est une démarche qui connaît un essor très important : ce sont les contrats de VIE, c'est-à-dire de Volontariat à l'International en Entreprise. Le VIE, c'est la solution « RH » (Ressources Humaines) pour l'entreprise en complément du conseil, du contact et de la communication. En effet, l'un des points importants pour une entreprise concerne la gestion de ses ressources humaines en territoire étranger. Elle se situe en parallèle de la solution « expatrié » pratiquée généralement par les grandes entreprises. Un jeune, entre 18 et 28 ans, dont le profil a été déterminé en fonction de la stratégie de l'entreprise, va travailler pour elle entre 6 et 24 mois à l'étranger, quelle que soit sa spécialité : commercial, financier, juriste, ingénieur. Après avoir été sélectionné puis s'être imprégné de la technologie de l'entreprise, il est alors envoyé dans le pays de destination où il est chargé de développer ou accompagner l'activité de l'entreprise : cela peut être une mission à connotation technique, pour un ingénieur, par exemple, mais aussi à vocation commerciale, juridique ou financière.

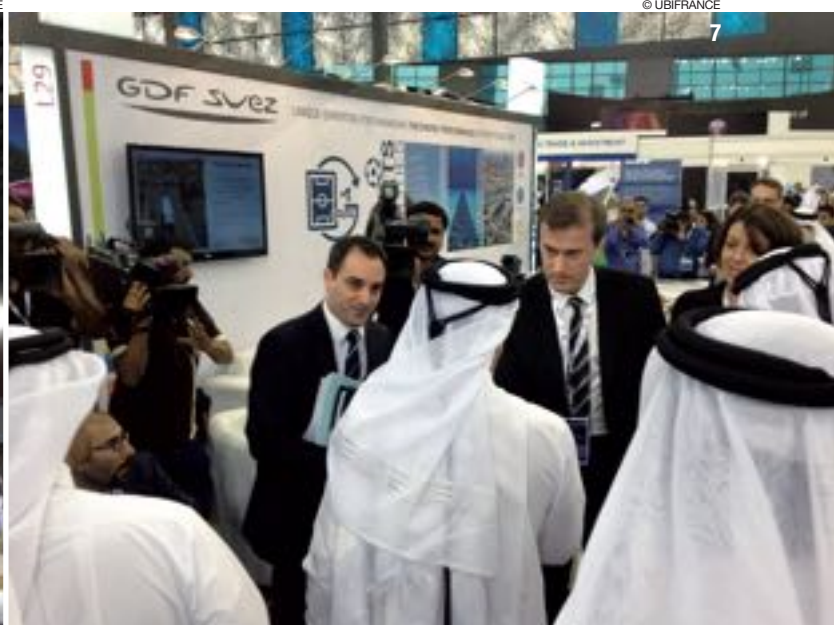
Quel est l'avantage pour une entreprise de s'engager dans une démarche de VIE ?

L'avantage pour l'entreprise est qu'il n'est établi entre elle et le jeune qu'un



© UBIFRANCE

6



© UBIFRANCE

7

contrat technique : c'est Ubifrance qui assure la rémunération du jeune, qui s'occupe des assurances, des couvertures sociales, éventuellement de le rapatrier si nécessaire.

La démarche a un coût pour l'entreprise, qui peut dans certaines régions bénéficier d'aides régionales, mais c'est Ubifrance qui prend en charge la totalité de la procédure administrative. C'est intéressant autant pour les grandes entreprises que pour les PME car cela permet, dans les deux cas, non seulement de tester les capacités du jeune en situation réelle mais aussi d'être déchargé de l'ensemble des contraintes et obligations administratives. Nous avons eu, depuis la création de la formule, plus de 48 000 VIE dans le monde. Actuellement, ils sont plus de 8 200 en mission.

La France est le seul pays au monde à avoir mis en place ce type de dispositif.

Quels sont les résultats de ce dispositif au niveau de l'emploi des jeunes au terme du contrat ?

Le taux d'emploi des jeunes en sortie de mission s'élève à 97%. Il est encore de 92% un an plus tard. 62% travaillent à l'étranger. Un signe fort que le Volontariat est, pour les entreprises aussi, un moyen efficace d'évaluer un jeune talent sur le terrain avant une embauche définitive éventuelle.

Le Volontariat International en Entreprises est le prolongement, sous une forme civile, de la Coopération du Service National en Entreprise. Son histoire débute au milieu des années 60. La gestion et le développement de la formule sont confiés, par décret, à Ubifrance.

À juin 2014, 1 819 entreprises, dont 79% de PME et ETI⁽¹⁾, ont recours au VIE dans le développement de leur



4 TYPES DE PRESTATIONS

Les prestations d'Ubifrance à destination des entreprises voulant travailler à l'export se déclinent en quatre types d'actions :

- **S'INFORMER** : gamme Conseil,
- **PROSPECTER** : gamme Contacts,
- **SE FAIRE CONNAÎTRE** : gamme Communication,
- **VIE** : Volontariat International en Entreprise.

activité économique et 8 297 VIE sont en poste dans 133 pays à travers le monde.

Comment Ubifrance s'inscrit-elle dans le pacte de compétitivité récemment mis en place par le gouvernement ?

Le pacte de compétitivité comprend une directive - la directive 14 - qui prévoit d'accompagner 1 000 PME et ETI⁽¹⁾ à fort potentiel dans la durée.

Elle a pour objectif d'apporter une solution positive à un constat bien connu :

en France, il existe de très grands groupes ainsi qu'une myriade de PME mais, contrairement à la situation en Allemagne, par exemple, les entreprises de taille intermédiaire, qui peuvent disposer d'un bon potentiel à l'international, ne sont pas toujours bien armées pour y parvenir.

Le gouvernement s'est rendu compte que ces entreprises pourraient évoluer facilement, pour peu qu'on leur donne les moyens de le faire, de l'état de grosse PME à celui de petite, voire moyenne, ETI⁽¹⁾.

En effet, lorsqu'une entreprise petite ou moyenne veut exporter, elle se heurte à deux problèmes : d'une part, disposer des bonnes informations et des bons contacts sur les marchés visés mais aussi comment financer sa démarche d'exportation, qu'il s'agisse d'export pur ou d'internationalisation.

Dans cet esprit, la Banque Publique d'Investissement (Bpifrance) accompagnait déjà un certain nombre d'entreprises.

En complément de son action traditionnelle, depuis septembre 2013, elle a souhaité renforcer son partenariat avec Ubifrance et créer une synergie entre les deux organismes, en accueillant des chargés d'affaires internationaux qui sont des collaborateurs Ubifrance installés dans les directions régionales de Bpifrance. Ils seront 40 d'ici janvier 2015.

Désormais, lorsqu'une entreprise rencontre un chargé d'affaire Bpifrance et lorsque cela se justifie, ce dernier associe son collègue d'Ubifrance pour répondre conjointement à l'entreprise sur les questions financières, d'une part, et les souhaits d'internationalisation, d'autre part.

L'idée est d'identifier 1 000 PME qui vont adhérer à cette démarche en leur apportant ses solutions pour accroître leur développement à l'international. À lui de trouver dans la gamme d'outils d'Ubifrance ceux qui vont permettre à l'entreprise concernée de faire du business au travers d'un salon, d'un programme de communication sur internet, ou d'un VIE, et surtout de lui apporter une prestation personnalisée d'accompagnement à haute valeur ajoutée. □

1 - ETI : Entreprise de Taille Intermédiaire.

© UBIFRANCE



© UBIFRANCE





1

© SOLDATA

SOLDATA ANTICIPER ET MAÎTRISER LES RISQUES GÉOTECHNIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

SPÉCIALISTE DES SOLUTIONS DE CONTRÔLE DES RISQUES DANS LE CADRE DES GRANDS PROJETS D'INFRASTRUCTURES - MÉTROS, TUNNELS, BARRAGES, OUVRAGES D'ART... SOLDATA A DÉVELOPPÉ DES TECHNOLOGIES INNOVANTES, Y COMPRIS DES LOGICIELS ET DES OUTILS DE PLANIFICATION PERMETTANT LE SUIVI ET LA GESTION DES RISQUES STRUCTURELS, GÉOTECHNIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX. SON ENGAGEMENT PERMANENT EN RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT ET SON EXPÉRIENCE CONSTITUENT DES ATOUTS INCOMPARABLES POUR AIDER LES MAÎTRES D'OUVRAGE ET LES ENTREPRISES GÉNÉRALES À CONDUIRE DES PROJETS EN TOUTE SÉCURITÉ. VOILÀ CE QUE MET EN ÉVIDENCE JEAN-GHISLAIN LA FONTA, PRÉSIDENT DU GROUPE SOLDATA ET L'UN DES INITIATEURS HISTORIQUES DE CE QUI ALLAIT DEVENIR UN MÉTIER À PART ENTIÈRE.

Les origines de Soldata remontent au début des années 90. Le grand chantier européen de l'époque était l'extension de la Jubilee Line (JLE) à Londres. Alors que sa construction avait commencé

en décembre 1993, le projet a été suspendu pendant plusieurs mois suite à un effondrement survenu en octobre 1994 sur le chantier voisin du Heathrow Express qui utilisait les mêmes méthodes de construction.

1- Alaskan Way à Seattle : le plus gros contrat de monitoring de l'histoire américaine.

La reprise des travaux de JLE était conditionnée par la capacité à maîtriser les risques. Solétanche et Bachy, deux sociétés alors distinctes et impliquées sur la plupart des lots de JLE, ont développé chacune de leur côté

des techniques de monitoring automatique et en temps réel qui ont permis de rassurer les autorités pour la suite des travaux.

La mise en commun du savoir-faire des deux sociétés lors de leur fusion en 1997 a conduit à la création de Soldata, pionnier d'une nouvelle offre de mesure automatique en temps réel, avec une capacité de traitement rapide et efficace. En effet, pour surveiller un chantier, il n'est pas suffisant de disposer d'une multitude de capteurs. Encore faut-il avoir les moyens de collecter les données et de les interpréter rapidement. Or, Soldata, à l'époque, disposait déjà d'un logiciel très puissant capable de récupérer l'ensemble des données fournies par les capteurs, et surtout de les faire apparaître sous un format « visuel » compréhensible permettant d'appréhender immédiatement les problèmes qui surviennent et d'en tirer les informations appropriées. « Grâce à notre logiciel, appelé Geoscope, les parties prenantes peuvent aussi partager les informations en toute transparence, précise Jean-Ghislain La Fonta. Les collectivités et autres donneurs d'ordre, soucieux de leur responsabilité sociale, l'utilisent comme outil de dialogue ».

Indépendant de fabricants de capteurs, Soldata est exclusivement intégrateur et fournisseur de services ce qui constitue une force supplémentaire. Comme l'indique d'ailleurs son nom - Soldata - qui est la contraction de Solution et de Data :

- Solution, parce que ses mesures peuvent être complétées par une étude détaillée, une analyse ou même la gestion de projet et la supervision de travaux de réhabilitation.
- Data, c'est-à-dire les données et la mesure, parce que la détection et le monitoring en temps réel constituent son principal instrument pour évaluer et gérer les risques tout en optimisant les coûts.

« Notre valeur ajoutée, poursuit Jean-Ghislain La Fonta, réside dans notre capacité à offrir à la fois des prestations de conseil, des solutions personnalisées et un service intégré permettant d'être l'interlocuteur unique de nos clients, à toutes les étapes d'un projet d'instrumentation et de monitoring des sols, des structures et de l'environnement, quels que soient les ouvrages concernés ».

« Nous sommes une société de service qui participe à l'anticipation et à la gestion des risques liés aux grands

© MARC MONTAGNON



2

85 % À L'INTERNATIONAL

L'effectif total de l'entreprise est de l'ordre de 350 personnes, dont 80 en France et 270 à l'étranger.

Soldata réalise un chiffre d'affaires de 40 millions d'euros se répartissant entre 15% en France et 85% à l'international.

Outre ses 6 implantations françaises, l'entreprise dispose de 14 filiales dans le monde : Angleterre, Australie, Chili, Chine (Hong Kong), Colombie, Espagne, États-Unis, Hongrie, Maroc, Moyen Orient, Portugal, Roumanie, Ukraine, auxquels vient de s'ajouter Singapour où Soldata a ouvert un nouvel établissement début 2014.

Au niveau des effectifs à l'étranger, à noter que, parmi les 270 hommes et femmes expatriés ou basés dans les filiales, 8 jeunes sont actuellement en VIE⁽¹⁾, avec des contrats portés par Ubifrance : 5 au Royaume Uni, 1 au Moyen-Orient et 2 à Hong Kong. Depuis 2009, c'est un total de 27 contrats de VIE qui ont été mis en place par Soldata à l'issue desquels plus 50% des jeunes sont restés dans l'entreprise.

1 - VIE : Volontariat à l'International en Entreprise.

2- Jean-Ghislain La Fonta, président du groupe Soldata.

travaux, ce qui nous a permis de faire figure de pionnier dès la création de l'entreprise car il s'agissait de notions qui ne figuraient pas, à l'époque, au premier rang des préoccupations des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre. Aujourd'hui ce n'est évidemment plus le cas et aucun projet ne peut être mené sans cette attention à la sécurité de son déroulement tant au niveau des travaux que des conséquences pour les riverains ».

Si Soldata ne fabrique pas de capteurs, cela ne l'empêche de faire de la recherche et du développement sur les appareils existants et de dévelop-

per des systèmes adaptés aux problèmes rencontrés sur les chantiers de construction : le théodolite motorisé - le Cyclops ou le Centaur - est l'un d'entre eux. Il en est de même d'Atlas, qui ouvre la voie du contrôle par satellite, du Micron qui permet de créer un réseau de capteurs sans fil et de Geoscope, une plateforme - logiciel permettant d'intégrer des données de tous types à partir de capteurs, de dataloggers et de fichiers avec une acquisition et une analyse en temps réel couplées avec des dispositifs avancés et paramétrables d'alarmes.

AMSTERDAM 2000 : LA RAMPE DE LANCEMENT

Si l'extension de la Jubilee Line du métro de Londres a été à l'origine de la création de l'entreprise, c'est le chantier de la ligne Nord-Sud du métro d'Am-

sterdam (Noord-Zuid Lijn), en 2000, qui a constitué la rampe de lancement de Soldata. Il s'agissait du percement, dans un sol meuble, d'un tunnel d'environ 3,8 km de longueur. Beaucoup de bâtiments, construits au 17^e siècle, étant fondés sur des pieux en bois, les travaux ont nécessité la conception et la mise en place d'une surveillance automatique particulière du bâti situé sur le tracé de la nouvelle ligne. Pour ce chantier commencé en 2000 et qui a duré 144 mois, 74 Cyclops et 2000 capteurs géotechniques ont envoyé 2,8 milliards de mesures au bureau Noord-Zuid Lijn pour l'analyse avec une fréquence de 55 000 mesures par heure pendant le percement des tunnels jumeaux de 6,50 m de diamètre, situés entre 20 m et 31 m sous la surface.

Ce contrat d'instrumentation d'Amsterdam, aujourd'hui encore, fait figure de référence dans le monde de la construction, y compris aux États-Unis. Quelques chiffres donnent une idée de l'importance de l'opération : 12 ans d'auscultation en continu, 715 points de mesures extensométriques, 40 inclinomètres dans les parois, 165 électrodes à l'intérieur de bâtiments, 1 602 inclinomètres perpendiculaires à l'axe des tunnels, 3 700 plots de nivellement manuel, 74 théodolites et 6 400 prismes sur les façades des bâtiments...

DE LONDRES À BARCELONE : 600 POSITIONS DE CYCLOPS...

Par la suite, de nombreux autres chantiers ont contribué à imposer la « PME Internationale » sur des projets de tunnels urbains à Londres, à Barcelone, à Budapest, à Bucarest, à Seattle pour ne citer que quelques uns des plus emblématiques.

À Londres en 2003, dans le cadre de l'arrivée de l'Eurostar à la gare de Saint Pancras, il s'est agi de reconfigurer en totalité le sous-sol londonien pour assurer notamment la liaison entre les gares de Saint Pancras et de King's Cross. Soldata a été chargée du monitoring de l'ensemble du projet. À la même époque, l'entreprise est intervenue dans le cadre de la construction de la ligne 9 du métro de Barcelone, qui traverse la capitale catalane d'est en ouest et dessert la nouvelle gare TGV et le nouvel aéroport.

La ligne 9, longue de 41 400 m, comprend 43 stations. Une solution technique innovante comprenant un seul tunnel de 12 m de diamètre a été retenue, dans lequel le métro circule sur deux niveaux.



3



4



5



6

Le tracé du tunnel, dont la profondeur varie entre 15 m et 60 m, passe dans les plaines alluvionnaires sous les fleuves Llobregat et Besos et traverse de nombreuses interfaces géologiques délicates. Le marché de surveillance comprend : les immeubles, les structures, le sol, le sous-sol, le tunnel lui-même et les puits d'accès. Il couvre tous les aspects géométriques, topographiques, géotechniques, hydrogéologiques, thermiques et vibratoires du projet et comprend la fourniture des capteurs et des systèmes d'acquisition, la pose des instruments et la synthèse de l'information pour le client. Commencé en 2003, le chantier a duré 109 mois pour la première phase. Parmi les chiffres-clés : 9 ans de suivi, 600 positions de Cyclops, 17 000 m de forage, 18 000 immeubles contrôlés, 4 320 instruments en temps réel, 40 000 m de tunnel auscultés.

...SANS OUBLIER BUDAPEST : 20 000 MESURES/HEURE

À Budapest, en Hongrie, chantier commencé en 2006 et d'une durée de 72 mois, la municipalité et la société gestionnaire du métro ont lancé le per-

cement d'une nouvelle ligne de plus de 74 km. Deux contrats de monitoring indépendants des entreprises de travaux ont été remportés par Soldata et ses partenaires locaux, dont celui de la surveillance en temps réel des bâtis. Soldata s'est vu confier les mesures de déformations et de vibrations, les mesures acoustiques, hydrogéologiques, géotechniques et géothermiques à l'occasion du percement de la ligne 4. Ses prestations sont allées du design détaillé des instruments à mettre en place à la gestion et l'archivage des données en passant par l'installation et la maintenance du système de mesures. L'utilisation du logiciel Geoscope, des Cyclops et des Centaurs, des modules acoustiques en temps réel et de centrales d'acquisition autonomes Microns ont permis à Soldata de mettre à disposition de tous les intervenants en temps réel les informations nécessaires au pilotage technique des chantiers. Parmi les chiffres-clés : 20 Centaurs, 26 Cyclops, 2 300 prismes, 28 piézomètres, 7 000 points de nivellement manuel, 5 Gorgones Acoustiques, 55 extensomètres, 30 inclinomètres, 20 000 mesures/heure intégrées à Geoscope.

3- Double Cyclops sur la ligne Noord-Zuidlijn du métro d'Amsterdam.

4- À Hong Kong, Soldata assure le monitoring automatique et en temps réel du projet « Shatin to Central Link », long de 17 km, qui reliera les nouveaux territoires, Kowloon et l'île de Hong Kong.

5- Ligne 9 du métro de Barcelone : 9 ans de suivi, 18 000 immeubles contrôlés, 40 000 m de tunnel auscultés.

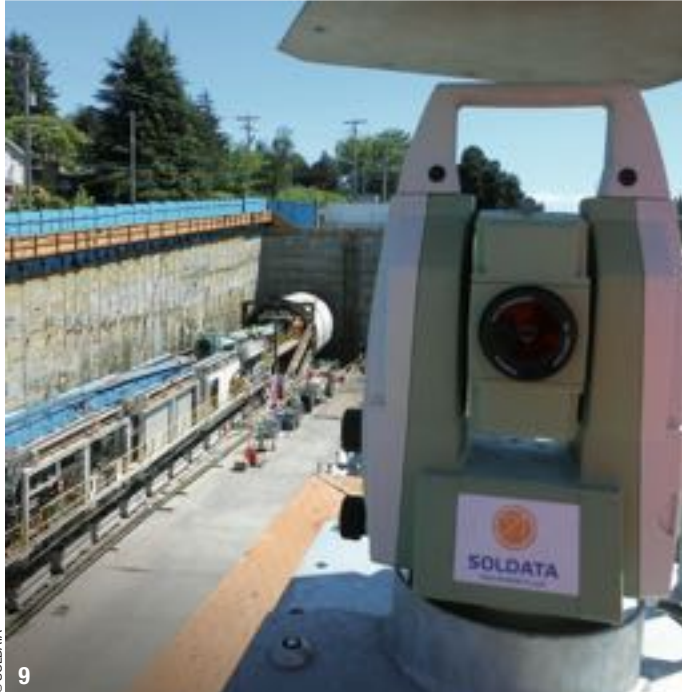
6- Métro de Budapest : 7 km au cœur de la ville et sous le Danube contrôlés par 20 Centaurs et 26 Cyclops.

2013 : DE NOUVEAUX DÉFIS

2013 a marqué le début de nouveaux défis pour Soldata Group qui lui permettent de mettre son expérience au profit de grands projets de construction où la maîtrise des risques est essentielle, tout en renforçant sa présence internationale, notamment en Chine (Hong Kong), aux États-Unis (Seattle) et au Qatar (Doha), dans le cadre de la préparation de la prochaine coupe du monde de football en 2022.

SCL 1112 À HONG KONG (CHINE)

Après avoir gagné ces trois dernières années les contrats de monitoring des principaux lots de construction à Hong Kong, en Chine, des nouvelles lignes MTR (West Island Line WIL703, South Island Line SIL901 et SIL904, Express Rail Link XRL811A et XRL810B, Shatin to Central Link SCL1103 et SCL1103),



Soldata a remporté en 2013 un nouveau gros contrat de monitoring sur le lot SCL1112 pour le compte de Leighton Contractors (Asia) Limited. Le projet "Shatin to Central Link", long de 17 km, reliera les nouveaux territoires, Kowloon et l'île de Hong Kong. Le contrat SCL1112 est un point particulièrement délicat du projet avec la construction d'une nouvelle gare sous la station existante Hung Hom. Soldata a déployé un important dispositif de monitoring automatique et en temps réel qui comprend, entre autres, 60 Cyclops installés dans la station Hung Hom et aux alentours.

NORTHGATE LINK À SEATTLE (USA)

Après avoir obtenu le contrat pour l'Alaskan Way (Seattle) en 2011 - le plus gros contrat de monitoring de l'histoire de la construction améri-

7- À Hong Kong, sur le projet « Shatin to Central Link ».

8- SR99 Alaskan Way : un tunnel de 17,80 m de large sur 2,7 km de long au cœur de Seattle.

9- Chantier du Northgate Link de 4,3 miles du centre-ville au nord de Seattle.

10- Crossrail à Londres : 400 théodolites motorisés sur le plus gros chantier de tunnel urbain actuellement en Europe.

caine - Soldata a remporté en 2013 un deuxième grand projet de monitoring pendant la construction d'un tunnel bi-tube à Seattle.

Le « Northgate link » va prolonger le système de train léger du centre-ville de Seattle jusqu'au nord de la ville.

Le groupement américain JCM (Jaydee Coluccio Michels), titulaire du contrat de construction, a confié à Soldata le suivi de la déformation des bâtiments et de la construction des stations sur l'ensemble du tracé d'une longueur de 4,3 miles.

LE MÉTRO DE DOHA (QATAR)

Dans la perspective de la Coupe du Monde de football de 2022 au Qatar, la ville de Doha a lancé la construction des 4 lignes de métro couvrant plus de 50 km et desservant 30 stations souterraines.

Le lot "Sud" de la Ligne Rouge (11 km entre le nouvel aéroport et le centre-ville, 6 stations souterraines) est confié à Vinci et ses partenaires (QDVC - GS E&C - Al Darwish Eng). La maîtrise d'œuvre ISG JV a fait confiance à Soldata pour assurer le monitoring du

projet pour une durée de plus de 4 ans. L'intégration des données de 5 TBMs travaillant simultanément représentera le plus gros défi technique sur ce lot. Le lot "Nord" de la Ligne Rouge (12 km entre le centre-ville et la nouvelle ville de Lusail, 7 stations souterraines) passera sous les grandes tours du business district de West Bay.

Afin d'assurer une gestion optimisée des risques liés à la construction, ISG JV (Impregilo - SK E&C - Galfar Al Misnad JV) a choisi Soldata parmi une forte concurrence internationale. La capacité à gérer d'importants projets de monitoring ainsi que la qualité et la diversité technique de l'offre ont été les facteurs décisifs de cette acquisition qui verra l'installation de nombreux Cyclops et Centaur, ainsi que l'intégration des données des 5 TBMs en temps réel. Jean-Ghislain La Fonta insiste sur le fait « *qu'avec l'acquisition de ces deux lots, Soldata se positionne comme un acteur majeur en termes de monitoring sur le projet du métro de Doha. D'autres projets colossaux sont attendus au Moyen Orient, comme la construction de plusieurs lignes de métro à Riyad en Arabie Saoudite* ». ▽

CROSSRAIL À LONDRES : 400 THÉODOLITES MOTORISÉS

Toujours à Londres, après King's Cross, Soldata a gagné en 2013 plusieurs lots sur le projet Crossrail de traversée de la capitale britannique d'est en ouest par l'équivalent du RER parisien.

Le chantier Crossrail est le plus gros chantier de tunnel urbain en Europe actuellement et le plus important de tous les temps en terme d'auscultation et de surveillance.

Au cours des dernières années Soldata a multiplié les contrats de monitoring pour les différents lots du projet.

« En septembre 2013, indique Jean-Ghislain La Fonta, la maîtrise d'œuvre du projet a demandé à Soldata d'effectuer le contrôle de qualité des 200 théodolites automatiques installés par un concurrent avant de lui confier la gestion et la maintenance de la totalité des systèmes de mesure exploités directement pour Crossrail ».

« C'est une belle reconnaissance de l'avance de l'entreprise dans le domaine des stations totales automatiques et de la gestion de données d'instrumentation, précise Jean-Ghislain La Fonta ».

Ainsi, Soldata gère-t-elle un total de 400 théodolites motorisés dans le cadre de ce méga-projet de métro londonien, y compris pour les entreprises générales.

11- Métro de Doha : des Cyclops, des Centaurs et l'acquisition des données des 5 TBMs travaillant simultanément.

12- Métro de Rennes : le monitoring de 8 km de tunnels, 9 stations et 4 puits de secours.

13- Centaur Cyclops : système en temps réel de mesure des déformations haute précision.

14- Un théodolite automatique pour le système de mesure Cyclops.

DES TECHNOLOGIES INNOVANTES

Soldata a développé des technologies innovantes qui témoignent de son engagement permanent en recherche et développement et constituent un véritable atout pour ses clients.

CYCLOPS : système temps réel de mesure des déformations de haute précision (0,6 mm +/- 1 ppm) avec des théodolites motorisés automatiques.

CENTAUR CYCLOPS : les mêmes caractéristiques que Cyclops standard avec la mesure des tassements sans prisme avec une précision de 1 mm.

ATLAS : système d'interférométrie radar par satellite (InSAR) pour déterminer la déformation des surfaces sur des zones étendues sans aucune installation spécifique sur le terrain (jusqu'à 10 000 points/km²).

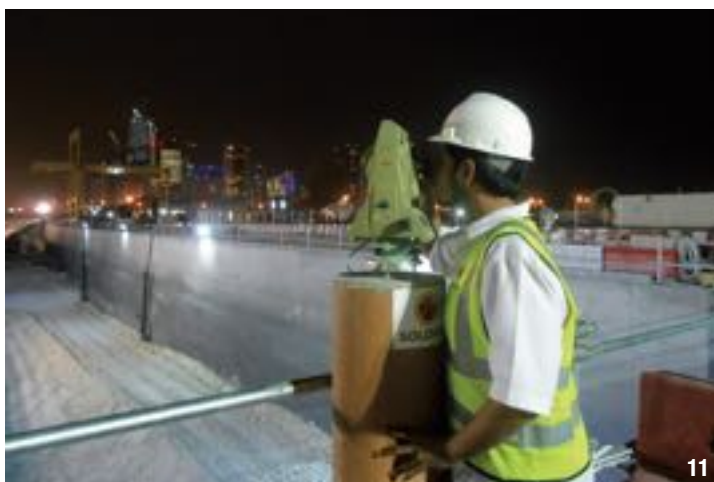
MICRON : réseau de boîtier d'acquisition sans fil et autonome (2 ans sur batterie) pour tout type de capteurs.

GEOSCOPE : système d'information et de gestion de données pour le management des risques techniques dans les projets de construction.

E-RIS (SOLDATA ACOUSTIC) : système intégré de management des impacts environnementaux pour optimiser les projets.

E-BOX (SOLDATA ACOUSTIC) : systèmes de mesures environnementales pour contrôler les impacts.

CYLINDRE ÉLECTRIQUE (SOLDATA GEOPHYSIC) : investigation 3D autour d'un forage (brevet n°EP 0581 686 B1) pour la détection des cavités souterraines et hétérogénéités géologiques ainsi que le jet grouting.



11



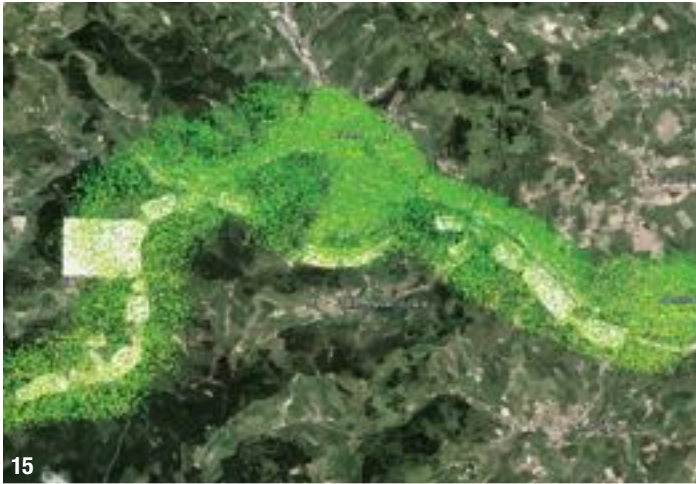
12



13



14



15



16



17



18

15- Mesure de pentes instables par le système Atlas d'interférométrie radar par satellite (InSAR).

16- Modélisation 3D et avis d'expert avec le système intégré E-riS de management des impacts environnementaux.

17- Le système E-riS permet le monitoring en temps réel des impacts environnementaux d'un chantier.

18- E-box est un système de mesures environnementales : bruit, vibrations, poussières, météo...

19- Geoscope : système d'information et de gestion de données pour le management des risques techniques.

MÉTRO DE RENNES : LA GAMME COMPLÈTE DES SOLUTIONS

En France, où Soldata réalise 15% de son chiffre d'affaires, le groupement d'entreprises piloté par Dodin Campenon Bernard (Vinci Construction) et comprenant les entreprises GTM Ouest et Botte Fondations, toutes deux filiales de Vinci Construction France, ainsi que Spie batignolles TPCI, Spie fondations et Legendre Génie Civil, a été désigné par Rennes Métropole pour réaliser les travaux souterrains (lot 1) de la ligne B du métro de Rennes en France. 8 kilomètres de tunnel, 9 stations et

4 puits de secours associés seront réalisés dans le cadre de ce contrat. Le groupement a confié le monitoring du chantier à Soldata et son partenaire Terragone, cabinet de géomètres breton.

Soldata met en place la gamme complète de ses solutions pour suivre au plus près les mouvements du sol et des bâtiments sur toute la longueur du tracé de la nouvelle ligne qui passe sous le quartier particulièrement sensible du Vieux Rennes qui compte de nombreux édifices classés monuments historiques.

ANTICIPER LES PROBLÈMES

L'entreprise est intéressée, par nature, par tous les grands projets dans le monde de construction d'infrastructures souterraines dans des conditions compliquées, plutôt en site urbain, qui risquent d'avoir un impact sur l'environnement.

« C'est notre cœur de métier, conclut Jean-Ghislain La Fonta : nous sommes là pour anticiper les problèmes par nos moyens de mesure et nos solutions de monitoring dans les domaines du sol, des structures et de l'environnement, quels que soient leur localisation et leur nature ».

C'est ainsi que l'entreprise intervient également tant sur les chantiers de travaux souterrains que sur des chantiers de barrages, d'ouvrages d'art, par exemple, dans le cadre de la gestion des risques, qu'ils soient liés aux structures elles-mêmes où à l'environnement dans lequel elles sont construites. Elle dispose d'ailleurs à cet effet de deux filiales - Soldata Acoustic et Soldata Geophysic - spécialisées, pour la première, dans l'ingénierie de l'environnement et, pour la deuxième, dans la géophysique appliquée. □



© SOLDATA 19



1- Vue du dessous de tablier et du pylône.

1- View of the underside of the deck and pylon.

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

PONT À HAUBANS DU R4 SUD À GAND (BELGIQUE)

AUTEURS : BART VAN ZEGBROECK, CHEF DE PROJET, ARCADIS BELGIUM - ROBRECHT KEERSMAEKERS, INGÉNIEUR, ARCADIS BELGIUM - BENOIT RESSELER, INGÉNIEUR, ARCADIS BELGIUM

LA CONCEPTION DE CE PONT DEVAIT RESPECTER DEUX FORTES CONTRAINTES : PLACER LES APPUIS EN RIVES DU CANAL SANS EMPIÉTER SUR LES ROUTES ADJACENTES ET GÊNER LE MOINS POSSIBLE LA CIRCULATION PENDANT LES TRAVAUX. AINSI A ÉTÉ CONÇU UN PONT À HAUBANS AVEC UN SEUL PYLÔNE CONSTITUÉ PAR DEUX BÉQUILLES AVEC ROTULE À LEUR BASE POUR RÉDUIRE LE PLUS POSSIBLE LEUR SECTION. LE PONT A ÉTÉ CONSTRUIT EN RIVE NORD PUIS IL A ÉTÉ TRANSLATÉ À SA POSITION DÉFINITIVE PENDANT UN WEEK-END.



© PHOTO THÈQUE ARCADIS
2

BUT DE L'OUVRAGE

Le nouveau pont à haubans permet aux cyclistes et aux voitures de traverser le canal de Gand et fournit une connexion supplémentaire entre les rings intérieur et extérieur. Le pont est un lien important du projet R4 Sud. Il relie le nouveau complexe de bretelles d'accès sur le canal de l'Escaut à Zwijnaarde avec le nouveau rond-point sur la Ottergemsesteenweg Sud.

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

Le pylône en acier a la forme d'un triangle. Sa hauteur est de 40 m. Ses deux béquilles se rejoignent en tête et sont posées avec une rotule en pied sur la semelle de fondation. Ce choix était imposé pour obtenir un pied de béquille

aussi mince que possible, contrainte due au manque d'espace libre entre le bord du canal et la route adjacente. Une autre particularité du pylône est qu'il est à inertie variable. On observe une décroissance de l'inertie dans le sens transversal et une croissance de

2- Vue générale du pont à haubans du R4 sur le canal.

2- General view of the R4 cable-stayed bridge over the canal.

l'inertie dans le sens longitudinal du bas vers le haut.

Le tablier du pont est constitué de deux poutres maîtresses en béton reliées l'une à l'autre par des entretoises tous les 3 m en béton également. Une dalle en béton, coulée sur des prédalles, supporte la chaussée à deux voies routières (figure 1).

Les poutres maîtresses, d'une longueur de 130 m, ont la particularité d'être précontraintes sur les premier 68 m à partir de l'extrémité Sud.

Deux passerelles en console sont solidarisées du côté extérieur aux poutres maîtresses. Cette structure en acier est recouverte d'un caillebotis. Le caillebotis de la passerelle pour piétons et vélos est recouvert d'un caoutchouc

perméable pour le confort des usagers. Du fait que le chemin de service d'un côté est de moindre taille que la piste cyclable de l'autre côté, l'ouvrage n'est pas parfaitement symétrique (figure 3). La superstructure est ancrée à son extrémité Nord (zone chantier) dans un massif en béton. À son extrémité Sud, le tablier est simplement posé sur une culée, de façon à empêcher les mouvements transversaux tout en laissant le glissement libre dans la direction de l'axe du pont.

Les béquilles servent aux haubans uniquement. Le tablier n'est nullement rattaché à ces béquilles, mais il est suspendu par 26 haubans (13 de chaque côté du tablier) attachés en haut du pylône (figure 4). ▷



3



4

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

PHASES DE CONSTRUCTION

Afin de ne pas trop entraver la circulation, la construction de la superstructure se fait complètement sur la rive Nord du canal de ceinture, proche du lieu d'implantation de l'ouvrage. Cette manière de travailler permet de parachever le pont au maximum, pour ensuite le glisser en entier au-dessus du canal à sa position définitive.

Le phasage de construction sur la rive Nord comprend les étapes suivantes :

→ Préparation du chantier temporaire pour la construction de la superstructure. Cette zone est située dans le prolongement du pont derrière le massif d'ancrage ;

→ Préparation des fondations provisoires des deux béquilles du pylône. Deux tubes d'acier servent d'appuis au pylône jusqu'à ce que les haubans assurent sa stabilité ;

→ Montage de la superstructure du pont à l'exception de la chaussée (figure 5) ;

→ Dressage du pylône sur sa fondation provisoire à l'aide d'une grue géante. Le pylône a préalablement été construit en atelier puis amené sur place par barge sur le canal (figure 6) ;

→ Installation et pré réglage des haubans n°3 à 13. À cet effet, le tablier est muni d'un contre poids

3- Passerelle pour piétons et vélos.

4- Vue des haubans et du pylône.

5- Montage du tablier sur chantier.

3- Foot bridge for pedestrians and bicycles.

4- View of the stay cables and pylon.

5- Deck assembly on site.

afin de pouvoir tendre les haubans. Ceci s'impose car le côté Nord du tablier n'est pas encore ancré dans la culée Nord (figure 7). La construction de la culée Nord ne peut commencer qu'après le placement du pont en position finale. En effet, elle constituerait un obstacle pour la phase de positionnement du pont.

Le déplacement du pont s'est fait en un week-end. Afin de pouvoir soulever l'ouvrage, il est pourvu d'appuis provisoires sur des consoles montées sur les béquilles du pylône et en dessous des poutres maîtresses à 12 m de l'extrémité Sud. Chaque béquille est munie de deux appuis placés de façon



5

© PHOTOTHÈQUE ARCADIS



© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

symétriques pour minimiser les efforts de flexion dans cette phase provisoire. Pour le déplacement, les consoles sont placées sur des skis qui glissent sur des rails. Les appuis des poutres maîtresses sont placés sur une plate-forme roulante. Afin d'assurer la stabilité du pylône, les deux béquilles sont reliées à leur base par un tirant. Ce tirant sera démonté une fois le pylône posé sur sa fondation définitive. Des pontons sont prévus pour la traversée du canal.

Le déplacement en lui-même est assuré par un système de vérins qui poussent progressivement les appuis du pylône sur les rails prévus à cet effet. L'opération prend 24 heures pour une distance de 135 m (figures 8 et 9). Pendant le déplacement, le trafic maritime ainsi que le trafic routier sur l'autoroute R4 sont interrompus.

Avant de positionner les pieds du pylône sur leur fondation définitive, le pont est accroché par des tirants à la culée Sud. La fondation a été adaptée pour pouvoir reprendre une force horizontale pendant cette phase provisoire.

La construction de la culée Nord est alors réalisée, puis les tirants fixés à la culée Sud sont démontés. À cet effet, des vérins horizontaux sont placés entre l'extrémité des poutres maîtresses et la culée Nord. Le tablier est poussé de façon à décharger les tirants côté Sud afin de pouvoir les démonter en toute sécurité.

La finition du tablier peut commencer. Successivement sont placés le complexe d'étanchéité avec géotextile et les couches d'asphalte.

Puis sont réalisés la pose des appareils d'appuis côté Sud, le montage des haubans n°1 et 2, le réglage final

6- Dressage du pylône.

7- Montage et mise sous tension des haubans.

6- Erecting the pylon.

7- Assembly and tensioning of the stay cables.

des haubans n°1 à 13 et le joint de dilatation. Le pont est alors prêt pour sa mise en service.

LES HAUBANS

Seuls les trois premiers haubans, ayant une longueur de 90 m, 80 m et 68 m respectivement, sont pourvus d'amortisseurs.

Les haubans sont mis sous tension dans un ordre conforme à celui modélisé dans les modèles numériques CAO. Une étude méticuleuse a été exécutée à cet effet par l'ingénierie Arcadis Belgique en fonction de l'évolution des différents paramètres, avec vérification des critères physiques des matériaux et des critères de déformation, notamment :

- Effort minimal et maximal des haubans dans les phases de construction ;
- Contraintes maximales admissibles dans les poutres maîtresses ;
- Réactions d'appuis ;
- Flèche du tablier.

Les haubans ont été mis sous tension en deux phases, la première correspondant à la phase chantier pour pouvoir

séparer l'ouvrage de son coffrage et le déplacer. Le réglage final des haubans a eu lieu une fois le pont en position définitive, culée côté Nord construite et tablier achevé (étanchéité et asphalte réalisés).

Au total, les 13 paires de haubans ont été mises en tension en 30 étapes, une étape consistant en la mise en tension d'une paire de haubans.

Les torons sont ancrés individuellement par clavettes sur blocs disposés dans le pylône et dans le tablier. Chaque toron est tendu individuellement selon le procédé breveté d'iso-tension qui permet d'assurer l'égalisation des efforts dans chaque toron.

Pendant toute la durée de la construction, les efforts dans les haubans ainsi que les mouvements du tablier et du pylône sont surveillés. Des capteurs de force ont été positionnés sur les haubans. Le but était de vérifier que le comportement de la structure était conforme à celui calculé par le modèle CAO en fonction de l'évolution de la construction et, le cas échéant, intervenir si nécessaire en modifiant les tensions dans les haubans.

Les torons, composés de fils d'acier, sont individuellement recouvert d'un film mince de cire pétrolière. Ils sont ensuite regroupés parallèlement les uns aux autres, dans une gaine extérieure minimisant les effets aérodynamiques. Les gaines comportent des filets hélicoïdaux sur la partie extérieure qui empêchent l'apparition des vibrations survenant sous l'effet combiné du vent et de la pluie. La coloration de la gaine assure la stabilité aux rayons UV.

Les torons et l'ensemble des composants des haubans ont une durée de vie de 100 ans.

ESSAIS AÉROÉLASTIQUES EN PHASE DE SERVICE

L'étude a été réalisée par le CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment). À cet effet, une maquette de l'ouvrage et de son environnement est réalisée à l'échelle 1/60. Les tests consistent à reproduire un vent normalisé pour différentes vitesses et orientations sur la maquette et à mesurer son effet sur l'ouvrage à l'aide de capteurs. À partir des données concernant l'environnement, la géométrie et les caractéristiques mécaniques du pont en termes de raideur et de masse la maquette a pu être réalisée (figure 10). La maquette a été calibrée en soufflerie de manière à reproduire les premiers modes propres de vibration de l'ouvrage réel déterminés par le biais d'une modélisation numérique en dynamique faite par Arcadis.

Puis le comportement de la maquette a été analysé en soufflerie sous différentes incidences et vitesses de vent, turbulent puis uniforme.

L'objectif de la campagne d'essais était de mesurer la réponse de l'ouvrage en service et de mettre en évidence le cas échéant des effets dynamiques tels que le détachement tourbillonnaire ou des phénomènes de galop ou de flottement liés à la nature turbulente du vent et pouvant être la cause d'inconfort, voire de dommage sur l'ouvrage.

Une conclusion importante de l'étude a été qu'aucun effet dynamique particulier dommageable à l'ouvrage n'a été observé. De même, il n'a été constaté aucun effet de sillage et d'interaction entre les béquilles du pylône, y compris sous l'incidence de vent légèrement biaise vis-à-vis de l'axe transversal du pont pour provoquer cet effet. ▷



© PHOTO THÉÂTRE ARCADIS

Les mesures de déplacements du tablier montrent que la portance dépend de la direction du vent, et qu'elle est majoritairement négative.

QUELQUES ASPECTS DE DIMENSIONNEMENT

Dû au phasage complexe de construction de l'ouvrage, un modèle CAO linéaire prenant en compte 45 phases de calcul a été utilisé. Une phase consiste à modéliser une des opérations suivantes : montage/démontage d'une partie de la structure, montage/démontage d'appuis, mise en tension

d'une paire de haubans. Les phases suivantes ont été considérées :

- **Phases 1 à 3** : montage du tablier sur treillis et pose du pylône.
- **Phases 4 à 15** : pose et mise en tension des paires de haubans n°3 à 13.
- **Phases 16 à 20** : déplacement du pont et achèvement de la structure.
- **Phases 20 à 45** : réglage final des haubans.

Remarquons que l'asphaltage de la chaussée est mis en œuvre avant que tous les haubans soient placés. Dans cette phase, la structure n'est

pas encore posée sur sa culée Sud. La stabilité verticale est assurée par les appuis provisoires positionnés à 12 m de l'extrémité, les 12 derniers mètres étant en console (figure 11).

La phase de pose du pylône sur sa fondation définitive présente un intérêt particulier. Dans cette phase, le pont est accroché par quatre tirants à la culée Sud. Pour limiter l'effort dans les tirants, des appuis temporaires transversaux sont installés du côté Nord.

Les appareils d'appuis ont été dimensionnés pour résister à des grandes déformations en translation et en rota-

tion. En effet, seule l'extrémité Sud est pourvue d'appuis, l'extrémité Nord étant parfaitement encastrée. Les effets de dilatation doivent donc être absorbés totalement par les appuis côté Sud et par les joints de dilatation. De plus, le tablier est très flexible. Ceci résulte

8- Vue du pylône posé par l'intermédiaire de consoles provisoires sur un système de glissement sur rail.

9- Vue de la plate-forme roulante qui supporte l'avant du pont pendant le passage sur le ponton.

10- Maquette du pont dans le tunnel de la soufflerie.

8- View of the pylon placed by means of temporary brackets on a sliding system on rail.

9- View of the mobile platform which supports the front of the bridge when passing over the pontoon.

10- Mock-up of bridge in wind tunnel.



© PHOTO THÉÂTRE ARCADIS



11



12

des grandes rotations d'appuis dues aux charges roulantes et aux effets climatiques, angles positifs et négatifs à considérer par rapport à l'état au repos. En dernier, mentionnons le ferrailage complexe des poutres maîtresses dont la réalisation a représenté un défi.

En effet les poutres doivent résister à chaque phase de construction provisoire et définitive. En plus du ferrailage passif, une précontrainte s'imposait sur les premiers 68 m due aux phases provisoires (par 4 câbles de post-contrainte dans des gaines injectées par la suite).

Une autre difficulté résidait dans l'ancrage des haubans. À cet effet, les poutres maîtresses sont équipées de gaines de coffrage des haubans. Pour le plus long hauban, la longueur de gaine de coffrage fait approximativement 8 m.

Sont également ancrés dans les poutres maîtresses les poutres en console des passerelles et les poutres transversales du tablier. Ainsi coffrage, ferrailage et gaine sont concentrés dans un espace de 1 m sur 2 m (figure 12). □

11- Phase de finalisation de la chaussée.

12- Ferrailage de la poutre maîtresse au droit de la gaine de coffrage d'un hauban.

11- Roadway finalisation phase.

12- Reinforcing bars for the main beam at the level of the lining sheath for a stay cable.

CHIFFRES CLÉS

DÉBUT DES TRAVAUX : 09/2012

FIN DES TRAVAUX : 06/2013

MISE EN SERVICE : 04/2014

HAUBANS : 26 haubans de 30 à 90 m de longueur

PYLÔNE : 250 t

TABLIER : 2 880 t

TORONS : 56 t

CONTRE POIDS : 330 t

AMORTISSEURS : prévus sur les 3 haubans les plus longs

PRINCIPAUX ACTEURS DU PROJET

PROPRIÉTAIRE :

Agentschap wegen en verkeer - AWW

ARCHITECTE :

Zwart en Jansma Architecten

MAÎTRE D'OUVRAGE :

THV R4

ENTREPRISE :

Groupement THV KW, constitué de Besix et Antwerpse Bouwwerken

BUREAU D'ÉTUDE :

Arcadis Belgique avec la collaboration étroite d'Arcadis France

ABSTRACT

CABLE-STAYED BRIDGE OVER THE SOUTHERN R4 RING IN GHENT (BELGIUM)

ARCADIS: BART VAN ZEGBROECK - ROBRECHT KEERSMAEKERS - BENOIT RESSELER

This cable-stayed bridge has a single pylon formed of two struts.

The pylon, located between the canal and the inner R4 ring road in Ghent, is made of steel and is triangular in shape. The bridge deck is suspended from the pylon by two layers of 13 stay cables. This deck is formed of two concrete main beams connected together by cross ties, likewise in concrete, every 3 m. A concrete slab poured on precast formwork units supports the dual-carriageway road. Two cantilevered foot bridges, for pedestrians and bicycles, are joined to the outside of the main beams. This steel structure is covered with a grating. To avoid excessive traffic disruption, the superstructure was built completely on the northern edge of the canal and was then placed in its final position during a weekend. □

PUENTE ATIRANTADO DE LA R4 SUR EN GANTE (BÉLGICA)

ARCADIS: BART VAN ZEGBROECK - ROBRECHT KEERSMAEKERS - BENOIT RESSELER

Este puente atirantado está compuesto por un solo pilar constituido por dos montantes.

Está situado entre el canal y la circunvalación interior de la R4 en Gante. El pilar de acero tiene forma de triángulo. El tablero del puente está suspendido por dos capas de 13 tirantes del pilar. Este tablero está formado por dos vigas principales de hormigón unidas entre sí por vigas transversales cada 3 m, también de hormigón. Una losa de hormigón colada sobre losas prefabricadas soporta la calzada de dos carriles. Dos pasarelas en ménsula, para peatones y bicicletas, están acopladas por el lado exterior de las vigas principales. Esta estructura de acero está cubierta por un enrejado. Para no obstaculizar demasiado la circulación, la construcción de la superestructura se realizó completamente en la orilla norte del canal y, después, se colocó en su posición definitiva durante un fin de semana. □

ÉTUDES AMONT D'UN PONT ROUTE-RAIL ENTRE BRAZZAVILLE (RC) ET KINSHASA (RDC)

AUTEURS : GUY FRÉMONT, INGÉNIEUR EXPERT, EGIS JMI - RÉMY MATTRAS, INGÉNIEUR EXPERT, EGIS GÉOTECHNIQUE - JEAN-BERNARD NAPPI, ARCHITECTE, EGIS ENVIRONNEMENT

DEPUIS 2011, DES ÉTUDES DE FAISABILITÉ TECHNIQUE ET ÉCONOMIQUE ONT ÉTÉ LANCÉES POUR LA CONSTRUCTION D'UN PONT RAIL-ROUTE QUI PERMETTRAIT DE RELIER BRAZZAVILLE ET KINSHASA, DEUX CAPITALES SITUÉES EN VIS-À-VIS, SÉPARÉES PAR LE FLEUVE CONGO. LE CONTEXTE DE CETTE OPÉRATION ET LES DIMENSIONS DU FLEUVE, QUI PRÉSENTE LE PLUS FORT DÉBIT DES FLEUVES AFRICAINS, ONT CONDUIT À CHOISIR DE CONCEVOIR UN PONT EMBLÉMATIQUE : UN PONT MIXTE HAUBANÉ DE GRANDES DIMENSIONS. LE PRÉSENT ARTICLE FAIT LE POINT SUR LES CONCLUSIONS DES ÉTUDES AMONT.



1

© EGIS

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

L'ouvrage présente trois caractéristiques essentielles :

- Il est emblématique de l'Afrique toute entière car il réalise directement la liaison fixe nord/sud du continent ;
- Il croise le fleuve principal de l'Afrique, le second du monde pour son débit ;
- Il est très long, deux à quatre kilomètres entre culées suivant les sites.

Sauf pour les solutions de traversée aval (présence de rapides), il doit permettre la navigation fluviale, en toute période de l'année.

Parmi une douzaine de sites, trois ont été retenus pour une étude plus approfondie :

a- Le site « gare à gare », les deux gares se faisant face (Brazzaville et Kinshasa sont les capitales les plus rapprochées du monde), pardessus un fleuve Congo de quatre kilomètres de large.

1- Photomontage du pont depuis les cotés RC.

1- Photomontage du pont depuis les collines du côté RC.

b- Le site « aval », à N'Gombé, une quinzaine de kilomètres en aval des capitales, dans une zone étroite (un kilomètre de large) mais particulièrement tumultueuse des rapides de Kinsuka.

c- Le site « amont », à Maluku Maes (RDC), zone en cours de développement économique (Zone Economique Spéciale) et urbain, à une trentaine de kilomètres des capitales, juste à la sortie (sens de remontée) de l'immense Pool

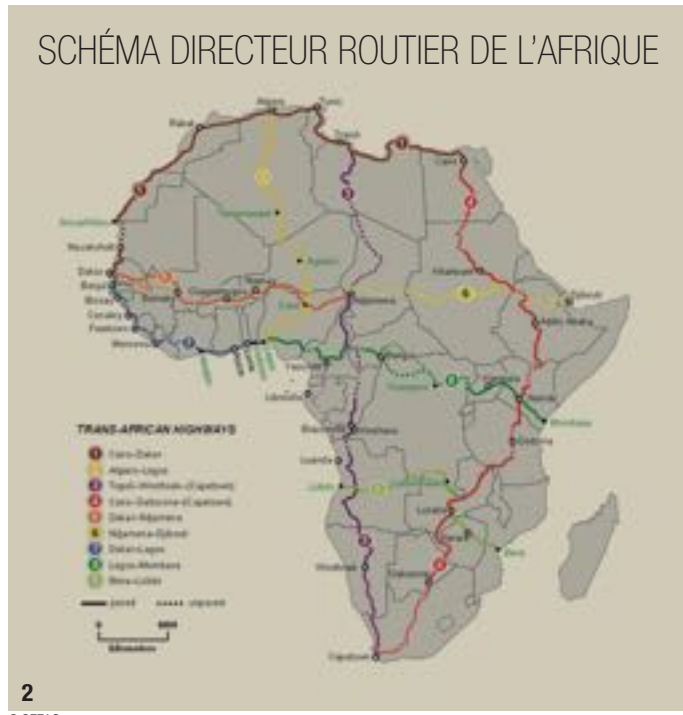
2- Schéma directeur routier de l'Afrique.
3- Schéma directeur ferroviaire de la région de Brazzaville/ Kinshasa.

2- Master Road Plan for Africa.
3- Master Rail Plan for the Brazzaville/Kinshasa region.

Malabo, à l'entrée du grand fleuve Congo, navigable sur encore 1600 km jusqu'à Kisangani. À cet emplacement, le fleuve est comme un estuaire : d'abord très large, trois kilomètres et demi, il se rétrécit assez rapidement pour atteindre, quinze kilomètres plus loin, au lieu-dit Maloukou Tréchet en RC/ Bombala en RDC, une largeur d'un kilomètre et demi (figure 3).

d- Un site « amont bis », sis une quinzaine de kilomètres en amont du précédent, au droit du futur port de Maloukou Tréchet (RC). Ce choix correspond, pour la RC, à la création

SCHÉMA DIRECTEUR ROUTIER DE L'AFRIQUE



2
© CEEAC

du port de Maloukou Tréchet, y compris une voie ferrée de liaison avec Brazzaville. En RDC, il correspond au développement économique prévu des zones de Maluku, ainsi qu'à une urbanisation progressive de la région, la connexion ferroviaire s'établissant à D'jili, site actuel de l'aéroport international.

Le Maître d'ouvrage a affiché sa volonté d'un ouvrage phare. C'est pourquoi on s'est orienté vers des solutions emblématiques à haubans. Des principes généraux de conception technique et architecturale ont été proposés qui sont communs aux quatre sites. C'est finalement le site « amont-bis » de Maloukou Tréchet qui a été retenu.

L'ARCHITECTURE

Afin de rester dans une enveloppe de coût raisonnable, la structure de l'ouvrage est répétitive, c'est-à-dire que les appuis et travées sont de même type et de mêmes dimensions tout au long de l'ouvrage, sauf pour les passes marinières.

Un effet mille-pattes, à l'opposé de la majesté recherchée, est malgré tout à craindre. Pour atténuer cet effet, deux voies sont retenues :

- Des grandes travées de 120 m en zone courante, adaptées à la forte épaisseur de tablier (tablier « à deux niveaux ») ;
- Deux grandes travées haubanées latérales de 240 m, conférant ainsi un effet de « porte » d'accès ou de sortie du fleuve Congo, à proximité du débouché sur le Pool Malabo (figure 1).

Les piles courantes sont tronconiques et les pylônes sont en forme de « baobab », arbre emblématique de l'Afrique (figure 4).

GÉOMÉTRIE ET CARACTÉRISTIQUES DES VOIES PORTÉES

L'ouvrage est rectiligne en plan et le profil en long est en palier.

Transversalement, il porte différentes voies de circulation.

UNE VOIE FERRÉE

Suivant le cahier de charges, la voie ferrée est constituée d'une voie unique, d'écartement dit « du Cap », largement utilisé en Afrique, de 3' 6" (1,067 m) mais avec possibilité de mise à l'écartement Standard UIC de 1,435 m (figure 5).

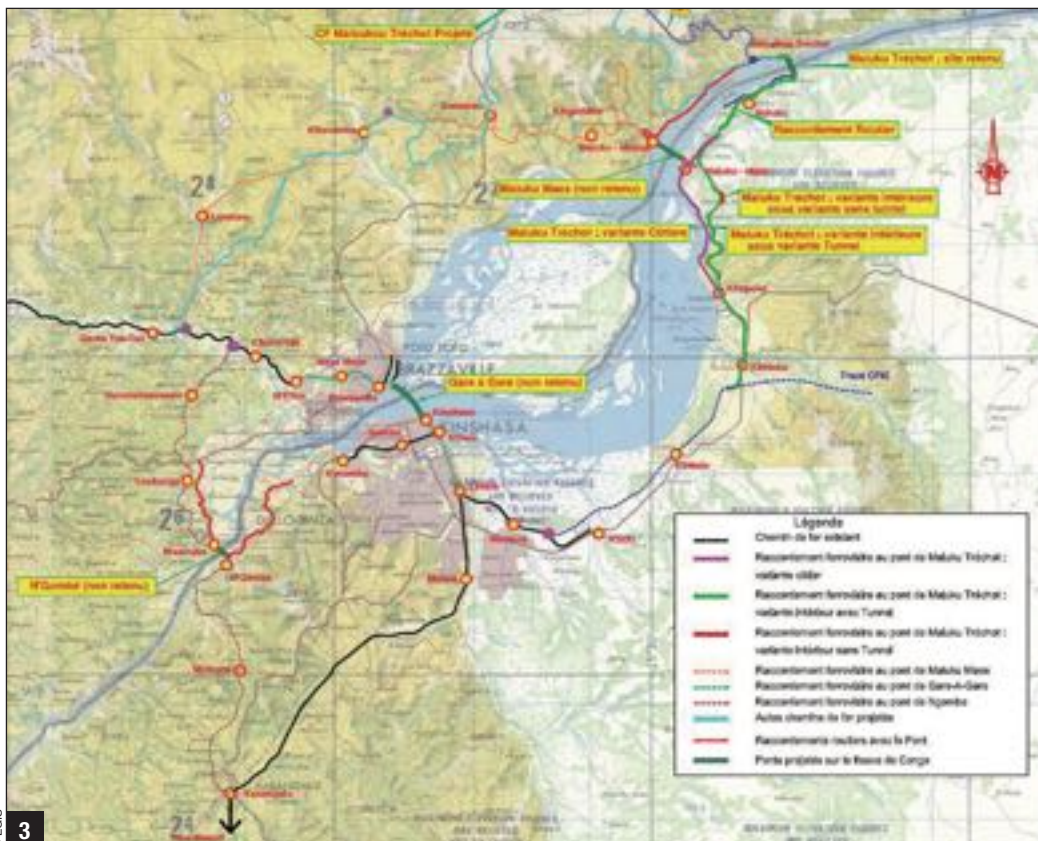
La vitesse de base est fixée à 80 km/h pour la traversée du pont en trafic marchandises.

Le gabarit latéral dit d'obstacle est de 2,50 m de part et d'autre de l'axe.

Verticalement, il est de 6,50 m au-dessus du rail pour être compatible avec la mise en place des caténaies d'électrification.

Le rail est soudé continu sur toute sa longueur, sauf sur les culées d'extrémité et tous les 500 m environ, où un joint de dilatation est prévu.

La voie est posée sur un ballast de 350 mm, lui-même posé sur la dalle de hourdis inférieur pleine largeur du caisson. Cette solution, bien que plus onéreuse en structure, présente l'avantage de faciliter l'entretien de la voie. Enfin, deux caniveaux, l'un « ferroviaire », l'autre « fibre optique », sont prévus sur les côtés de la voie.



3
© EGIS



4 © EGIS

DES VOIES ROUTIÈRES

En phase initiale (à la construction), la voirie consiste en 2 fois une voie de 3,50 m, bordées par deux accotements de 2,25 m permettant le doublement d'un véhicule à l'arrêt. À l'extérieur des accotements et avant les barrières GBA de 0,50 m d'épaisseur, la place qui sera utilisée ultérieurement en voies routières est dévolue à deux trottoirs/pistes cyclables de 1,50 m.

Au-delà et jusqu'au garde-corps externe, il est prévu un passage de service, également utilisé pour y implanter les candélabres et les tubes-guides des haubans.

En phase élargie, les trottoirs sont déplacés « en coursive » en hourdis inférieure (figure 6) tandis que l'espace correspondant libéré en hourdis supérieur, ajouté aux accotements de 2 m, constitue des voies complémentaires de 3,50 m.

Le profil en travers fonctionnel est alors constitué par 2 chaussées à deux voies unidirectionnelles de 3 m bordées par des accotements de 0,50 m à gauche et 0,75 m à droite, une barrière centrale DBA en béton de 0,60 m de large et deux barrières latérales GBA de 0,50 m, complétant ainsi 16,10 m entre faces externes des barrières latérales.

Les bordures externes supports de garde-corps de 0,35 m, et deux passages de service de 1,10 m, servant à l'installation des candélabres et au passage des haubans (tubes anti-vandalisme), complètent la section à 19 m. Transversalement, un dévers en toit à 2,5% assure l'écoulement naturel des eaux pluviales vers les caniveaux et gargouilles.

Sur les ouvrages routiers de raccordement aux extrémités, la voirie routière est d'emblée à 2x2 voies.

DES TROTTOIRS

De 1,50 m de largeur utile, ils occupent, en phase première phase, une partie des sur-largeurs disponibles du niveau supérieur du tablier.

En phase élargie, ils sont déplacés en hourdis inférieur du tablier, derrière le treillis des âmes, en surélévation (figure 7).

PASSES MARINIÈRES

Sur chaque site (sauf à N'Gombé sur les rapides), deux passes marinières sont prévues, une au voisinage de chaque rive, là où les bateaux circulent habituellement, de largeur minimale 200 m et de gabarit vertical au-dessus des PHE centennales de 20 m minimum.

4- Photomontage au site « N'Gombé » (aval sur rapides).

5- Montage 3D de la section transversale courante du tablier.

4- Photomontage on the N'Gombé site (downstream on rapids).

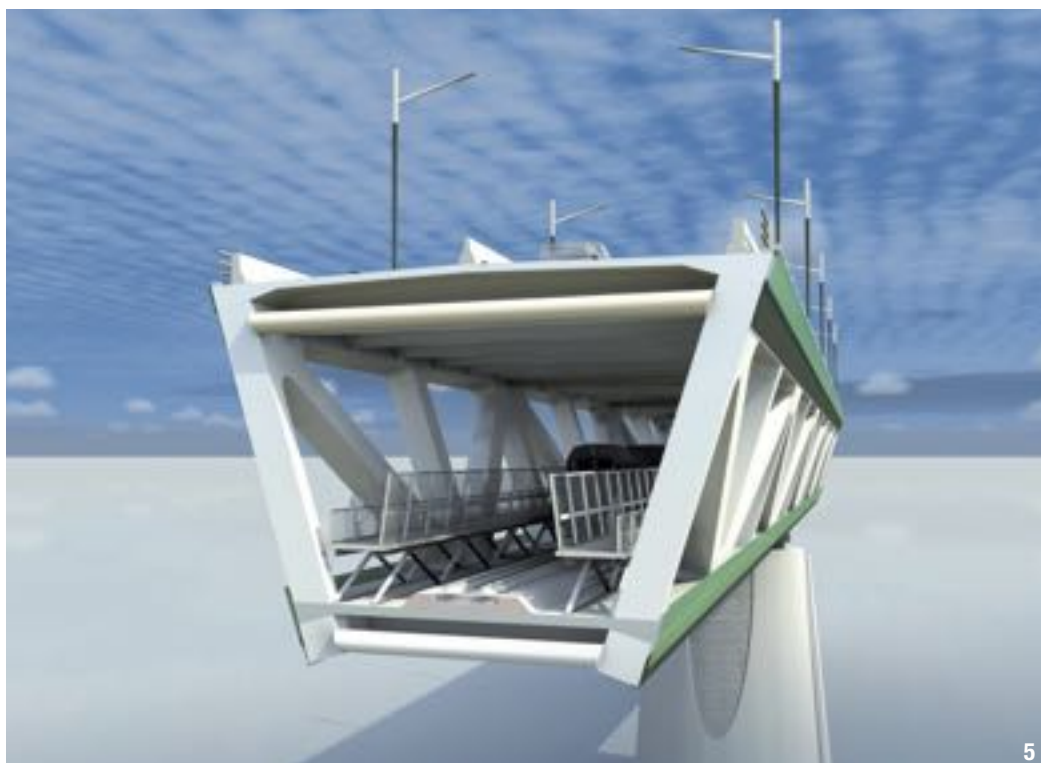
5- 3D montage of a standard cross section of the deck.

HYPOTHÈSES DE CALCUL

S'agissant d'un ouvrage exceptionnel, une durée de service de 100 ans est retenue. Les calculs sont menés conformément aux Eurocodes, complétés par des règles spécifiques particulières, telles que celles UIC pour l'ingénierie ferroviaire et les Recommandations de la Commission Interministérielle de la Précontrainte pour les haubans.

Les matériaux utilisés sont traditionnels en béton et aciers (laminés, aciers BA, acier HLE des câbles de précontrainte ou des haubans).

Les surcharges sont celles de l'Eurocode 1, avec combinaison possible « routières + ferroviaires + trottoirs ». Dans ce cas, le maximum de surcharge ferroviaire est associé au maximum de



5 © EGIS



© EGIS
6

la charge routière multiplié par un coefficient d'accompagnement de minoration défini dans l'Eurocode 0 - Bases de calcul des structures NF EN 1990, et vice versa :

- Avec la surcharge max routière, on associe 80% de la surcharge max ferroviaire ;
- Avec la surcharge max ferroviaire, on associe 40% de la surcharge max routière.

Concernant les charges climatiques,

6- Perspective au niveau bas du tablier (Voie ferrée au centre).
7- Trottoir en coursive.

6- Perspective view of the deck bottom level (railway line in centre).
7- Catwalk footpath.

elles correspondent à la zone « équatoriale humide » type « Guyane » :

- Température ambiante de 20 à 30°C, sur toute l'année ;
- Humidité relative de 55 à 95% ;
- Faible vitesse de vent, moins de 2 m/s, toute l'année, mais des coups de vent à 50 km/h maximum sont possibles.

Enfin, le cas accidentel (10 MN frontal) d'impact d'un bateau sur une pile est pris en compte.

LA STRUCTURE DE L'OUVRAGE PRINCIPAL

Les appuis et tablier présentent des caractéristiques similaires pour les 4 sites de traversée.

C'est un ouvrage à grandes travées, 120 m, 240 m (figure 8) et même 420 m pour le site de N'Gombé, au-dessus des rapides.

LE TABLIER

Pour satisfaire les conditions de raideur sous charges ferroviaires, le tablier est une poutre-caisson de grande hauteur, de 11 m environ.

Sa forme transversale est un trapèze, la largeur du hourdis supérieur, nécessaire à terme, aux quatre voies routières, dépassant celle en niveau inférieur, nécessaire à l'unique voie ferrée (figure 9).

L'ossature métallique se compose, transversalement, de deux poutres treillis inclinées, formant, avec les pièces de pont, un trapèze écarté à 11 m à la base et à 19 m au niveau supérieur.

Les treillis sont du type Pratt pour les travées haubanées et Warren à montants intermédiaires pour les autres travées, le module longitudinal étant de 15 m ; les membrures inférieures et supérieures sont des dalles BA connectées aux barres horizontales du treillis.

Ces treillis sont constitués de Profilés Reconstitués Soudés (PRS) en caissons rectangulaires 1,00 x 1,20 m environ, de tôles d'épaisseur de 20 à 40 mm. Au niveau supérieur, des HEA 900, espacés tous les 5 m, connectés, ainsi que les membrures supérieures des treillis, à une dalle en béton armé de 250 mm d'épaisseur, portent les voies routières, ses dispositifs de sécurité et les candélabres.

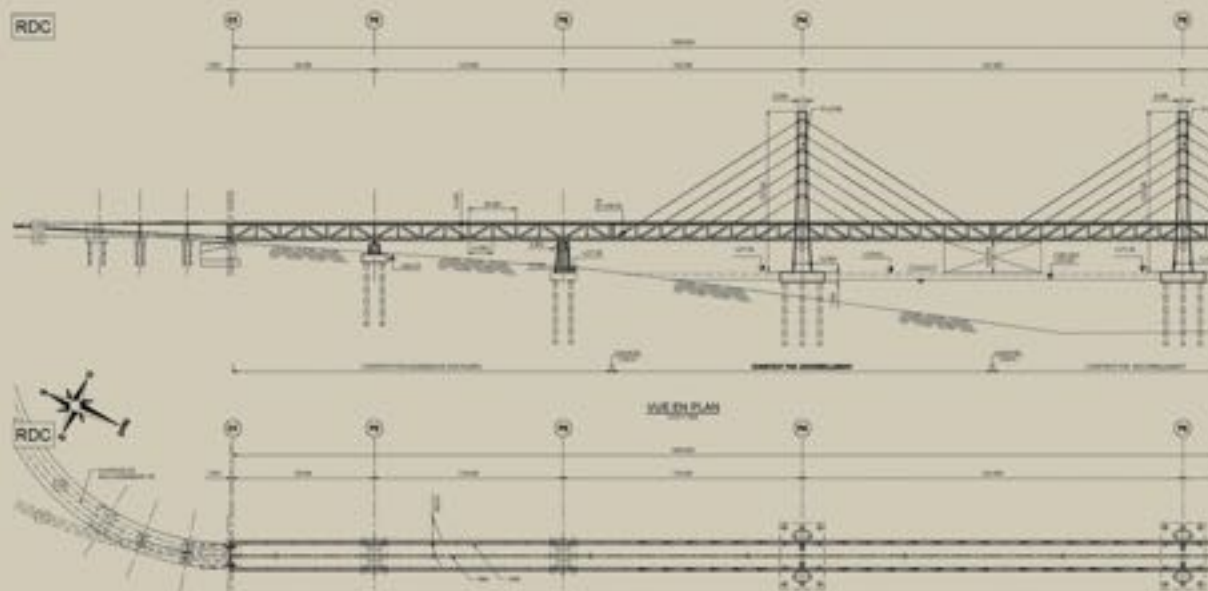
Cette dalle, en toit avec des pentes transversales de 2,5%, est d'épaisseur courante 25 cm, augmentée jusqu'à 80 cm au droit des pièces de pont et sur les membrures supérieures du treillis longitudinal.

Au niveau inférieur, l'ossature métallique est constituée des deux membrures longitudinales inférieures du treillis et de pièces de pont également de type HEA 900, espacées de 5 m. Ces dernières portent le hourdis BA qui lui est connecté, hourdis devant supporter le ballast, la voie ferrée, les caniveaux (l'un ferroviaire, l'autre pour la fibre optique) ainsi que deux structures métalliques légères de 1,50 m de hauteur, surmontées de caillebotis de 1,50 m de largeur utile.



© EGIS
7

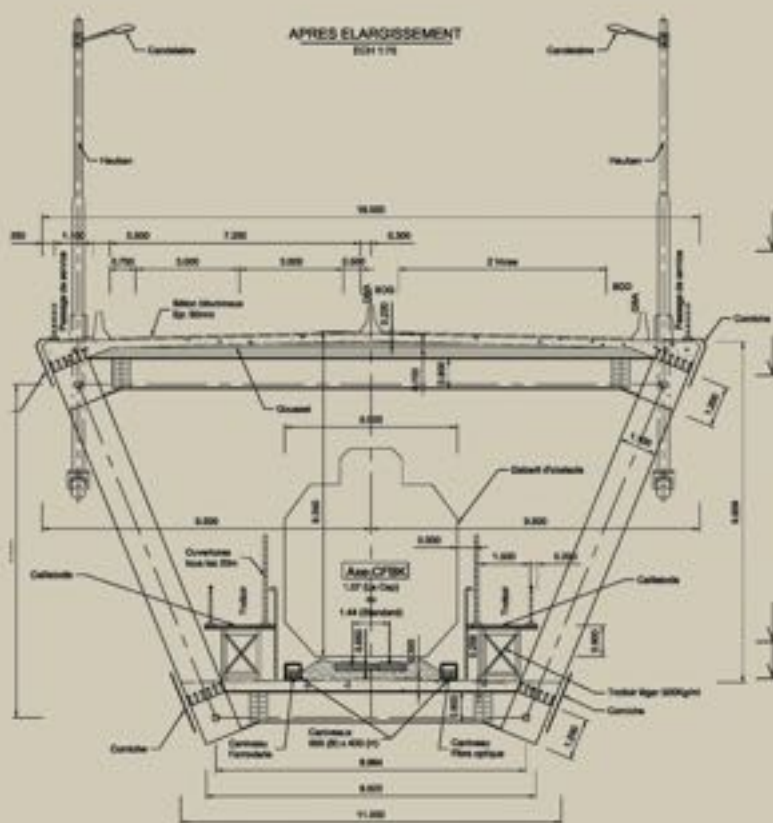
ÉLÉVATION ET VUE EN PLAN AU SITE RETENU DE MALOUKOU TRÉCHOT



8

© EGIS

SECTION TRANSVERSALE COURANTE DU TABLIER (PHASE FINALE)



9

© EGIS

8- Élévation et vue en plan au site retenu de Maloukou Tréchet.

9- Section transversale courante du tablier (phase finale).

8- Elevation and plan views of the selected Maloukou Tréchet site.

9- Standard cross section of the deck (final phase).

LE HAUBANAGE

Le tablier est pourvu de 2 plans de haubanage, consistant, pour chaque pylône et par nappe « en harpe », en 2x6 haubans multi torons 73T15 enserrés dans des gaines PEHD colorées, inclinés à $\arctg 0,64$ par rapport à l'horizontale, espacés horizontalement

tous les 15 m au niveau du tablier et verticalement tous les 9 m le long du pylône.

Pour les travées haubanées, en élévation, les diagonales, situées dans le prolongement des haubans pour assurer une transmission directe des efforts du pylône au tablier, quali-

fient le treillis en type Pratt. Pour les travées non haubanées, la section transversale est la même qu'en zone haubanée.

Le principe de treillis est celui du Warren à montants verticaux intermédiaires, avec des inclinaisons de diagonales alternées $\pm \arctg 0,64$.

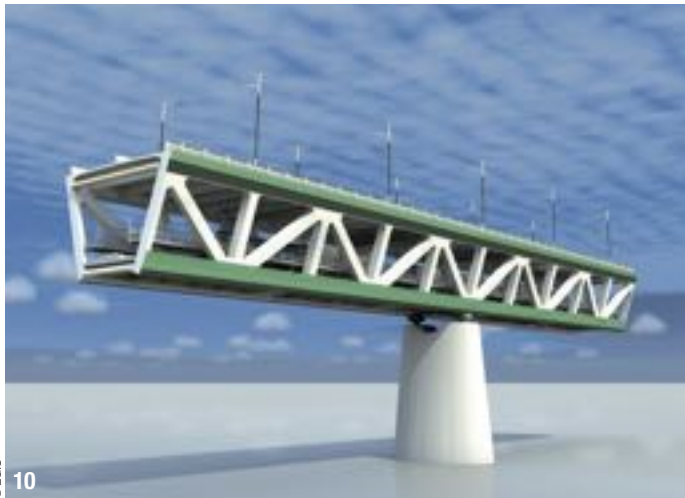
LES PILES

Les piles sont tronconiques creuses encastrées dans des massifs sur pieux (figures 10 et 11).

LES CULÉES

Les culées sont constituées de « boîtes » en béton armé pesantes, ancrées dans le grès tendre de manière à reprendre, conjointement avec les pylônes, la force de freinage d'environ 9 MN.

Des câbles de précontrainte horizontale longitudinale sont prévus à cet effet pour ancrer cet effort sur toute la longueur de la boîte. Le mur de front reçoit les appareils d'appui fixes, ainsi qu'un muret garde-grève prolongé verticalement par un portique en béton armé dont l'ouverture assure le passage du train et des piétons.

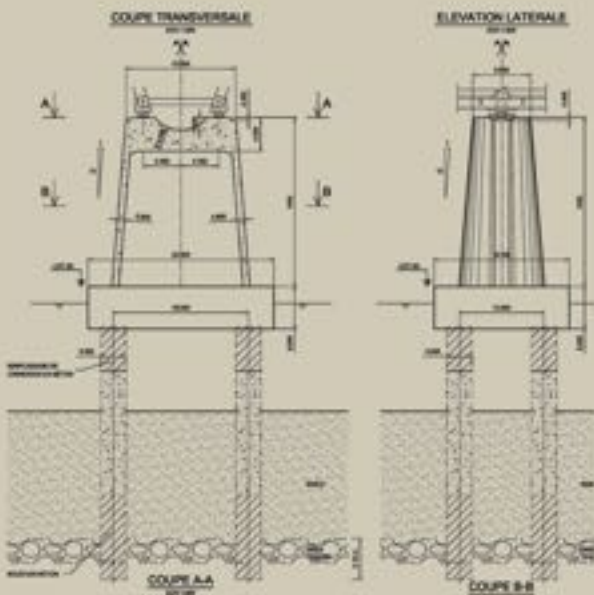


10



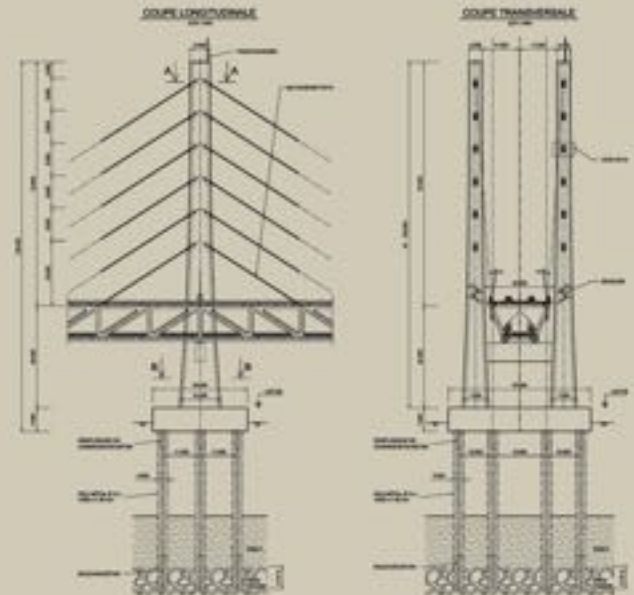
12a

STRUCTURE COURANTE DE PILE



11

PYLÔNE « BAOBAB » au site de Maloukou Tréchet



12b

La traverse supérieure de ce dernier sert de premier appui de l'ouvrage de raccordement au TN.

LES PYLÔNES

Les pylônes sont des H verticaux à deux montants élancés, de forme transversale elliptique, épaissis à la base en tronc de baobab dans les deux directions suivant des lois de variation en cubique, fonction de la hauteur (figure 12).

La barre horizontale du H est une entretoise destinée à améliorer la rigidité transversale d'ensemble et à assurer le support de la zone de 60 m non haubanée sur pylône. L'épaisseur des voiles est constante.

Pour les zones d'ancrage des haubans, en phase d'Avant-Projet Sommaire, un ceinturage par câbles de précontrainte

10- Pile dans le fleuve au site de Maloukou Tréchet.

11- Structure courante de pile. 12a & 12b- Pylône « baobab » au site de Maloukou Tréchet.

10- Pier in the river at the Maloukou Tréchet site.

11- Standard pier structure. 12a & 12b- "Baobab" pylon on the Maloukou Tréchet site.

horizontaux a été prévu pour assurer la continuité des efforts horizontaux résistants entre les ancrages en vis-à-vis. Dans les phases suivantes, on examinera une solution de boîte métallique pour l'ancrage des haubans.

LES APPAREILS D'APPUI

Les tabliers reposent sur les appuis par l'intermédiaire d'appareils d'appui mécaniques « à pot d'élastomère » placés sous chacune des poutres principales.

Ils sont monodirectionnels longitudinalement sur l'une des files et multidirectionnels sur l'autre, sauf sur les lignes d'appui fixes, sur culées, où ils sont destinés à reprendre une grande partie de l'effort de freinage ferroviaire, l'autre partie de l'effort étant équilibré par les haubans et le pylône.

Des emplacements de vérinage sont prévus sous les poutres principales du tablier au voisinage des appareils d'appui définitifs.

LES OUVRAGES DE RACCORDEMENT

À chaque extrémité de l'ouvrage principal, la route et la voie ferrée, déjà dissociés en élévation grâce à une solution étagée, doivent alors se dissocier également en plan, tant pour des raisons fonctionnelles que purement géométriques. Il s'en suit la nécessité de faire traverser en biais prononcé la VF par la VR dès la sortie du pont par un ouvrage routier courbe, en rampe et déversé, de travure 25 à 30 m (figure 13). Sa largeur, de 16 m, correspond aux quatre voies routières et aux barrières GBA en rive.

Les tabliers sont des dalles pleines de béton précontraint épaisses d'1 m à 1,20 m pourvues de larges encorbellements latéraux, coulées sur cintre.

Le premier appui, côté Pont Principal, est constitué par un prolongement vertical en portique du mur garde-grève de la culée.

Il ménage, à son travers, le gabarit ferroviaire 5 m horizontalement x 6,5 m verticalement, ainsi que l'entrée/sortie des piétons en phase élargie.

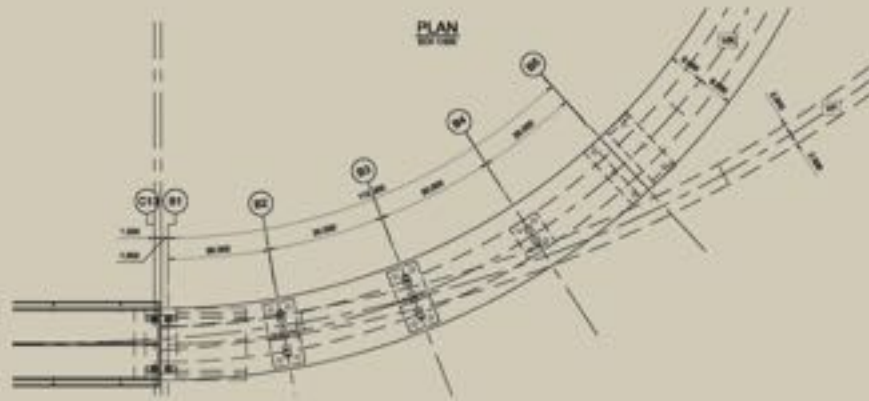
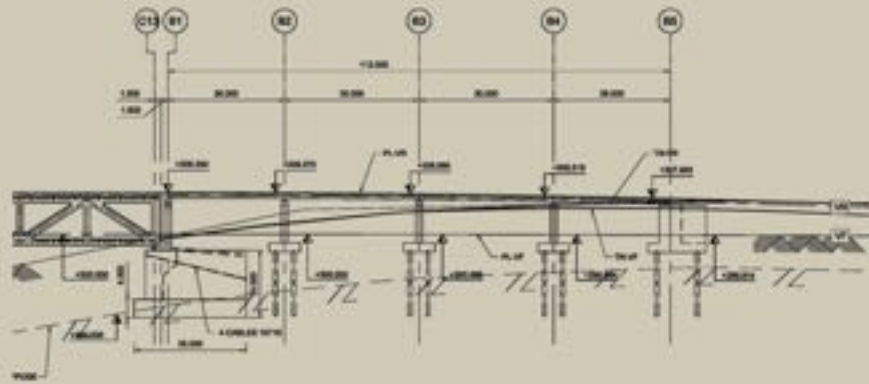
Le second appui est également un portique en béton armé car la voie ferrée est encore, bien que partiellement, sous la voie routière.

Avec seulement 2,40 m d'épaisseur pour la superposition traverse des portiques, appareils d'appui et dalle du pont, cette solution permet de traverser la VF sans affecter son gabarit vertical.

En effet, les appareils d'appui s'implantent indépendamment de la position de la VF, dans la zone de croisement des deux types de voirie, puisqu'ils sont situés sur la traverse horizontale du portique.

La voie ferrée étant franchie, les appuis de l'ouvrage deviennent de simples fûts rectangulaires.

Compte tenu du terrain, les fondations seront réalisées avec des pieux forés. □



13- Raccordement RC, au site de Maloukou Tréchet.

13- RC connection, on Maloukou Tréchet site.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

CLIENT :

Le Secrétariat Général de la Communauté des États de l'Afrique Centrale (CEEAC), au nom des gouvernements de la République du Congo (RC) et de la République Démocratique du Congo (RDC).

LE GROUPEMENT (GME) CONSTITUÉ PAR :

- 1- Egis International (EI), Mandataire, pour les études sociales, environnementales et économiques.**
- 2- Egis Structures et Environnement (ESE), ce dernier subdivisé en marques, dont :**
 - Egis JMI pour les études de Structures en béton et acier.
 - Egis Géotechnique, pour les études de fondations.
 - Egis Environnement, pour les études architecturales.
- 3- Scet - Tunis, pour les études géométriques routières et ferroviaires, ainsi que pour les études hydrauliques.**

PRINCIPALES QUANTITÉS

LONGUEUR DE L'OUVRAGE : 1 695 m

PORTÉE PRINCIPALE : 252 m

DIMENSIONS DU TABLIER : hauteur 11 m, largeur 19 m

HAUTEUR DU PYLÔNE : 106 m (89 m au-dessus du tablier)

TONNAGE D'ACIER ATTENDU POUR LE TABLIER : 15 000 t environ

TONNAGE D'ACIER ATTENDU POUR LES HAUBANS : 750 t environ

ABSTRACT

PREPARATORY STUDIES FOR A ROAD-RAIL BRIDGE BETWEEN BRAZZAVILLE (RC) AND KINSHASA (DRC)

GUY FRÉMONT, EGIS JMI - RÉMY MATTRAS, EGIS - JEAN-BERNARD NAPPI, EGIS

As part of the second North/South link on the African continent, the Economic Community of Central African States decided to have an economic and technical study performed on a crossing over the Congo River, between the two capitals Brazzaville and Kinshasa. It was the Egis/Scet Tunisie consortium that was chosen. Following a comparative study of several sites, in the end it was the site of Maloukou Tréchet, about sixty kilometres from the two capitals, that was selected. At this point, the structure is 1.7 km long and the water is up to 30 m deep. The planned solution is a cable-stayed bridge. The deck is a very high trapezoidal caisson, adapted to the 120-metre intermediate spans and the two 240-metre stayed spans. Its side girders are Warren or Pratt trusses depending on the zone. The bottom and top concrete slabs which are connected to it carry a railway line and a two-lane dual-carriageway road. The abutments are gravity-base foundations in order to absorb a substantial braking force. □

ETUDIOS PREVIOS DE UN PUENTE DE CARRETERA-FERROCARRIL ENTRE BRAZZAVILLE (RC) Y KINSHASA (RDC)

GUY FRÉMONT, EGIS JMI - RÉMY MATTRAS, EGIS - JEAN-BERNARD NAPPI, EGIS

En el marco del segundo enlace norte/sur del continente africano, la Comunidad Económica de los Estados de África Central ha decidido realizar el estudio económico y técnico del cruce del río Congo, entre las dos capitales Brazzaville y Kinshasa. Se ha elegido a la agrupación Egis/Scet Tunisie. Después del estudio comparativo de varios emplazamientos, finalmente se ha optado por el de Maloukou Tréchet, a unos sesenta kilómetros de las dos capitales. En este punto, la estructura tiene una longitud de 1,7 km y la profundidad de agua alcanza 30 m. La solución proyectada es un puente atirantado. El tablero es un cajón trapezoidal de gran altura, adaptado a los tramos habituales de 120 m y a los dos tramos atirantados de 240 m. Sus vigas laterales son celosías Warren o Pratt según las zonas. Las losas de hormigón inferior y superior conectadas a él soportan una vía férrea y una carretera de 2x2 carriles. Los estribos son macizos de relleno para soportar un importante esfuerzo de frenado. □



© GOUVERNEMENT FLAMAND

CONSTRUCTION DE LA PLUS GRANDE ÉCLUSE DU MONDE EN BELGIQUE

AUTEURS : DÉPARTEMENT MOBILITÉ ET TRAVAUX PUBLICS, ACCÈS MARITIME - IR. BENNY DE SUTTER, CEO HERBOSCH-KIERE (EIFFAGE BENELUX) - IR. ERIC ONRAEDT, CEO ANTWERPSE BOUWWERKEN (EIFFAGE BENELUX)

LA CONSTRUCTION DE LA PLUS GRANDE ÉCLUSE DU MONDE DANS LE WAASLANDHAVEN - LE COMPLEXE DE DOCKS DANS LE PORT D'ANVERS - EST UN PROJET GIGANTESQUE NECESSITANT UN TRAVAIL DE GRANDE PRECISION. L'ÉCLUSE DEURGANCKDOK A UNE LONGUEUR DE 500 M SOIT 28 BUS GARES PARE-CHOCX CONTRE PARE-CHOCX. SA LARGEUR DE 68 MÈTRES EST CELLE D'UNE AUTOROUTE À 19 VOIES. LA CONSTRUCTION DE L'ÉCLUSE, DES PONTS ET DES OUVRAGES ANNEXES NÉCESSITE 22 000 TONNES D'ACIER, TROIS FOIS PLUS QUE LA TOUR EIFFEL.

LE PORT D'ANVERS

Le port d'Anvers (en flamand : Haven van Antwerpen) est un port belge situé sur l'estuaire de l'Escaut et donnant sur la mer du Nord (figure 1). C'est l'un des plus grands ports européens, il entraîne toute une économie autour de lui. Il est la principale activité économique de la ville d'Anvers. Profitant d'une position stratégique en Europe, il est alimenté par l'Escaut, dispose d'un important réseau de navigation intérieure (Escaut, Meuse via le Canal Albert, Rhin) qui peut distribuer

une grande partie des marchandises transportées par mer dans une grande partie du continent, d'un réseau autoroutier reliant les grandes villes belges et européennes, et d'un réseau ferré. Ce carrefour est une plateforme maritime et fluviale de première importance en Europe (2^e port européen derrière celui de Rotterdam) qui constitue la porte d'entrée de l'Europe sur la mondialisation sur le Northern Range (la « rangée du nord » constituée par la quinzaine de ports principaux du nord de l'Europe sur 1 000 km entre Le Havre

et Hambourg), principale interface commerciale du continent. En 2013, le port a créé une valeur ajoutée de 18,8 milliards d'euros, 142 000 emplois et un débit de plus de 190 millions de tonnes.

LES BESOINS DEUXIÈME ÉCLUSE

Le Waaslandhaven est déjà raccordé à l'Escaut par une écluse : la Kallosluis. Cependant celle-ci, en service depuis 1979, ne répond plus entièrement aux exigences actuelles. Avec la nouvelle écluse, la Région flamande et la

Gemeentelijk Havenbedrijf Antwerpen (la Régie Portuaire d'Anvers) entendent assurer l'accès aux docks sur la rive gauche de l'Escaut. L'écluse permet aux navires de circuler depuis l'Escaut (avec ses marées) vers les docks du port, où le niveau de l'eau ne varie pas. La nouvelle écluse est plus grande que l'actuelle Kallosluis et permettra ainsi d'exploiter pleinement le potentiel du Waaslandhaven. La nouvelle écluse n'est pas seulement plus longue et plus large que la Kallosluis, elle est aussi plus profonde. ▷

Vu la croissance des activités du Waaslandhaven (avec notamment des terminaux Ro-Ro très fréquentés, mais aussi des investissements dans un nouveau terminal pétrolier), la Kallosluis atteint les limites de sa capacité. Une deuxième écluse sur la rive gauche de l'Escaut offre au port d'Anvers une sécurité d'exploitation au cas où la Kallosluis deviendrait inaccessible à la circulation des navires. Il n'y aura pas de problème en cas de travaux d'entretien ou de réparation, parce que les navires pourront entrer et sortir du Waaslandhaven via la deuxième écluse. Ainsi, le port d'Anvers sera toujours certain de l'accessibilité de ses docks sur la rive gauche de l'Escaut.

LES SPÉCIFICATIONS DE L'ÉCLUSE

DIMENSIONS

La deuxième écluse pour le Waaslandhaven sera une écluse maritime du type de la Berendrechtssluis.

Celle-ci reste à ce jour la plus grande écluse du monde.

Tout comme la Berendrechtssluis au nord du port d'Anvers, la nouvelle écluse sur la rive gauche de l'Escaut aura 68 mètres de largeur et 500 mètres de longueur (figure 2).

Le fond de l'écluse sera à -17,80 mètres en dessous le niveau 0 belge parce que cela permet d'exploiter de manière optimale la profondeur des docks auxquels elle donne accès.

La nouvelle Deurganckdoksluis et la voie d'accès y afférente à partir du Waaslandkanaal ont été conçues de manière à ce que l'écluse soit accessible par la nouvelle génération de porte-containers 14 000 TEU (dimensions 397,5 m de longueur x 56,4 m de largeur, 13,1 m et 14,5 m de tirant d'eau), moyennant l'emploi de remorqueurs suffisants (60 t) et dans des conditions anémométriques normales.

MÉCANISMES

L'écluse est constituée d'un sas d'écluse (figure 3) et de deux portes coulissantes situées à chaque extrémité. Même si, de chaque côté, une seule porte seulement est fermée lors de l'emploi de l'écluse, la deuxième porte assure la continuité de l'exploitation en cas de travaux d'entretien ou de réparation sur les portes.

Les portes roulent sur un chariot de support spécial, sur des rails de fond, et sont soutenues par des rails supérieurs dans la chambre de porte. Des câbles à alimentation électrique mettent les portes en mouvement.

1- Plan du Port d'Anvers avec l'écluse Deurganckdok indiquée par un cercle orange.
2- Vue d'artiste de l'écluse Deurganckdok.

1- Drawing of the Port of Antwerp with the Deurganckdok lock indicated by an orange circle.
2- Artist's view of Deurganckdok lock.



© GOUVERNEMENT FLAMAND - PATRICK VANHOPLINUS



© GOUVERNEMENT FLAMAND

PONTS ROUTIERS ET FERROVIAIRES

Pour ne pas entraver le transport routier et ferroviaire dans le Waaslandhaven au niveau de l'écluse, 2 ponts routiers/ferroviaires mixtes (figures 4 et 5) assurent la continuité du trafic sur l'écluse ainsi que l'accessibilité des entreprises sur la rive gauche de l'Escaut. Ces ponts permettront aussi aux cyclistes et aux piétons de traverser l'écluse.

Des deux côtés de l'écluse, un pont à bascule est prévu, les deux ponts pouvant être ouverts pour permettre le passage des navires.

Il s'agit d'un pont à deux voies, d'une largeur de 20,55 m, pour la circulation automobile, comportant une piste cyclable et une voie ferroviaire séparées. Comme l'une des deux portes de

l'écluse reste toujours fermée pendant le passage des navires dans le sas, et comme le pont de ce côté reste accessible, la circulation n'est jamais interrompue. Pour assurer la sécurité de la circulation des trains, des voitures, des vélos et des piétons, les voies d'accès aux ponts surplombant l'écluse sont équipées de panneaux et de feux de signalisation.

GROUPEMENT MOMENTANÉ DE CONSTRUCTEURS WAASLANDSLUIS

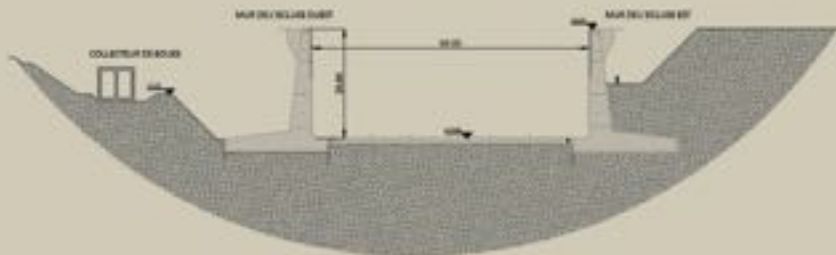
La société momentanée créée pour la construction de l'écluse est constituée de cinq entreprises : Herbosch-Kiere et Antwerpse Bouwwerken (Eiffage), CEI-De Meyer et Betonac (BAM) et Jan De Nul. Aucun des cinq partenaires de

la société momentanée n'est spécifiquement responsable d'une partie des travaux. Il s'agit d'une société momentanée intégrée, c'est-à-dire que les travaux sont effectués en commun, avec une mise à disposition équilibrée de personnel et de matériel, pratiquant des prix unitaires fixes.

LE DÉROULEMENT DES TRAVAUX POSE DE LA PREMIÈRE PIERRE

Le lundi 21 novembre 2011, Madame Hilde Crevits, ministre flamande de la Mobilité et des Travaux publics, Philippe Maystadt, président de la Banque européenne d'investissement, et Marc Van Peel, échevin du port et président de la société portuaire, ont lancé le démarrage officiel de la construc-

COUPE TYPE DU SAS D'ÉCLUSE

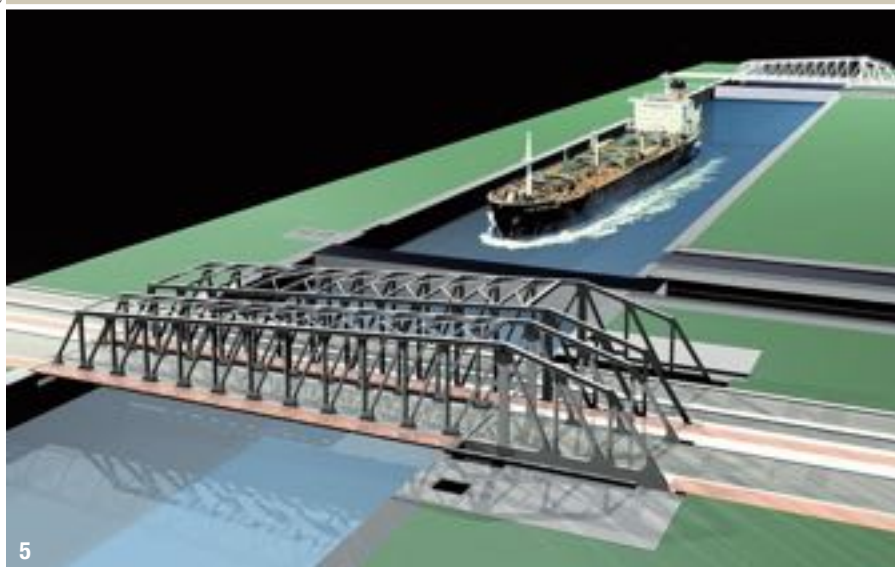


3

COUPE TYPE DE LA CHAMBRE DE PONT



4



5

© ARCADIS

© GOUVERNEMENT FLAMAND

© ARCADIS

tion de la deuxième écluse. Pour la ministre Crevits, la construction de la nouvelle écluse est nécessaire pour assurer un meilleur désenclavement maritime du portail économique qu'est le port d'Anvers. Pour le président de la Banque européenne d'investissement, Philippe Maystadt, la nouvelle écluse va contribuer à la suite du déploiement d'un transport de marchandises efficace, multimodal et durable, dans l'intérêt non seulement d'Anvers et de la Flandre, mais aussi de l'Europe.

TRAVAUX PRÉPARATOIRES

En premier lieu, il a évidemment fallu clôturer le chantier. Pour que la pose de l'écluse ait lieu le plus rapidement possible, le chantier comporte une centrale à béton, deux centrales à bentonite et suffisamment d'espaces de chargement et de déchargement des matériaux à proximité du chantier (figures 6 et 7). Cela limite le transport par route et permet le bon déroulement des travaux. Une grande partie du matériel sera acheminée par bateau. Des bases-vie seront installées pour les entreprises participant à la construc-

tion de l'écluse. Il y a aussi un espace réservé pour une exposition sur le chantier. Cet espace est accessible lors de visites guidées. Le complexe comprend aussi un laboratoire de chantier, où peuvent être notamment effectués des tests de matériaux et de sol. À l'endroit où sera construite l'écluse se trouvaient la route Sint-Antoniusweg et une voie ferroviaire. La route et la voie ferrée ont été déplacées.

3- Coupe type du sas d'écluse.

4- Coupe type de la chambre de pont.

5- Pont routier/ferroviaire mixte.

3- Typical cross section of the lock chamber.

4- Typical cross section of the bridge chamber.

5- Combined road/rail bridge.

Pour éviter que la circulation routière ne doive traverser la route, un pont temporaire a été construit pour enjamber le Sint-Antoniusweg et la voie ferrée. Cela garantit une sécurité maximale pour le trafic des voitures et des camions, mais aussi pour les cyclistes et le trafic ferroviaire.

Avant de pouvoir commencer la construction de l'écluse, il fallait abaisser le niveau des eaux souterraines. C'est pourquoi un écran étanche en ciment-bentonite a été réalisé autour de l'emplacement de la fosse pour contenir les infiltrations d'eau (figure 8). Une déviation temporaire a été installée lors du croisement de l'écran étanche et de la route Sint-Antoniusweg.

Les palplanches visent à constituer un raccord étanche entre les extrémités des murs de quai du Deurganckdok et l'écran étanche autour de la fosse de l'écluse à construire (figure 9).

CONSTRUCTION DE L'ÉCLUSE

La fosse de l'écluse a été creusée jusqu'à -22,5 mètres DNG (niveau 0 belge). Cette tâche est réalisée par des excavatrices, des bennes et des bulldo-

zers (figure 10). Pour rabattre le niveau d'eau jusqu'à environ -23 m DNG, une série de puits a été installée. Ensuite, le niveau d'eau a été maintenu constant par un pompage de maintenance. Cela permet d'évacuer de la fosse les eaux de pluie et les percolations résiduelles. L'installation de pompage peut évacuer jusqu'à environ 40 m³/h. Elle est utilisée pendant toute la durée des travaux. Après la pose de l'écluse, l'écran étanche est éventuellement percé de trous si cela s'avère nécessaire pour restaurer le niveau naturel des eaux souterraines. Au total, quelque 9,1 millions de m³ de terre sont excavés pour la pose de l'écluse et des deux chenaux. Les terres supérieures sont évacuées vers le Doeldok (qui doit être remblayé) à proximité du chantier. Le sable est partiellement récupéré lors de la construction de l'écluse (environ 2,7 millions m³), par exemple pour remplir l'espace derrière les chambres de porte ou les murs de l'écluse et, en partie, lors de la finition de la zone remblayée du Doeldok. En complément, on utilise aussi les sables issus de l'extraction de l'Escaut occidental. ▷



6



7



8



9

- 6- Centrale à béton.
- 7- Quai pour chargement et déchargement des matériaux.
- 8- Écran étanche en ciment-bentonite.
- 9- Palplanches.

- 6- Concrete mixing plant.
- 7- Quay for loading and unloading materials.
- 8- Cement-bentonite watertight slurry wall.
- 9- Sheet piling.

Après le creusement de la fosse, la construction de l'écluse a pu commencer. Des palplanches ont été utilisées au pied des murs de l'écluse (figure 11). Elles sont d'une longueur approximative de 8,5 m et règnent jusqu'à -26 m DNG de profondeur dans le sol. L'entrepreneur a foncé les palplanches dans la couche d'argile dans le sol. Cela n'a pas posé de problème particulier parce que le fonçage a eu lieu dans la fosse de construction. Ensuite est intervenu le bétonnage. Les murs de l'écluse, qui sont des murs massifs en forme de L délimitant l'écluse, sont en béton, de même que les chambres de porte, les guides des portes, les cavités des ponts, le tunnel des canalisations et

le plafond de l'écluse (figures 12 et 13). L'approvisionnement a été assuré par une centrale à béton temporaire sur le chantier. Le 13 novembre 2012 les travaux de bétonnage ont démarré. Les travaux ont commencé par la construction des murs transversaux raccordés aux murs des quais. Ces murs ont été construits à l'aide d'un coffrage réutilisable (figure 14).

Un collecteur de boues a été installé du côté du dock de la Deurganckdoks-luis (figure 15). Il s'agit d'un ouvrage destiné à collecter les boues entrant dans l'écluse et les docks par le chenal. Cette fosse de collecte est équipée de canalisations menant au côté fleuve de l'écluse. Quand le niveau du fleuve

est inférieur à celui du dock, il est alors possible de déverser dans l'Escaut l'eau mélangée avec les boues, de manière contrôlée (en ouvrant les canalisations) et par écoulement libre. Cette construction est destinée à réduire le plus possible les travaux de dragage côté dock. Le concept de ce collecteur a été développé par le Waterbouwkundig Laboratorium. La pente du collecteur est de 26,6° (plus du double de la pente maximale du Mont Ventoux). Évidemment, le béton avait tendance à s'écouler vers le bas, mais ce n'était pas le but. C'est pourquoi on a utilisé un béton thixotropique spécial. Les portes de l'écluse sont approvisionnées vers l'écluse pour y être

mises en place. Le même procédé est utilisé pour les deux ponts basculants : ils sont fabriqués ailleurs, transportés en plusieurs pièces puis assemblés à leur emplacement final sur le pont. Ensuite, les équipements électromécaniques sont installés. Ils permettent la commande des portes de l'écluse et des ponts, la signalisation routière et maritime, ainsi que les caméras et haut-parleurs de l'écluse.

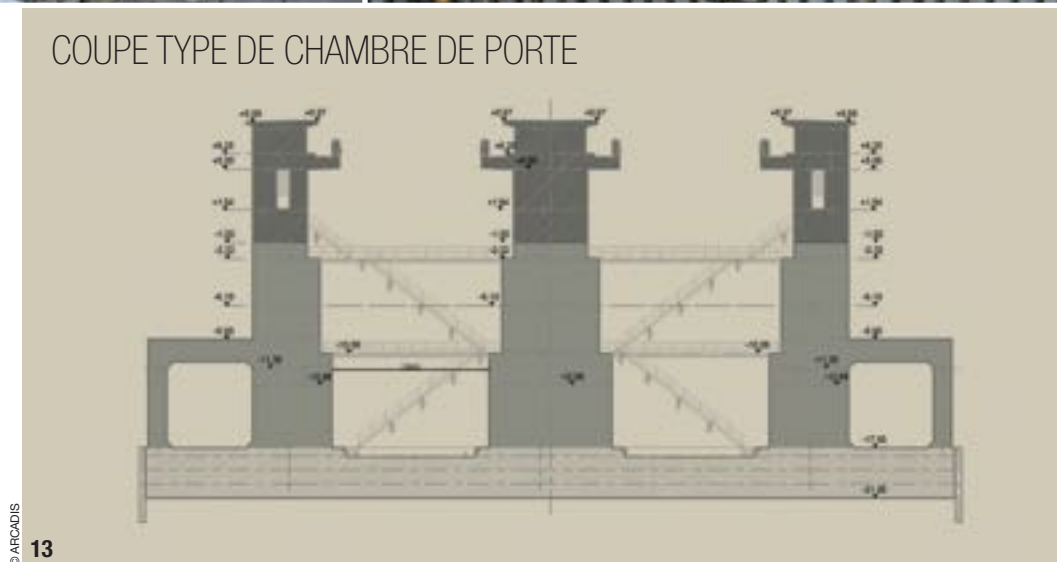
La construction des éléments métalliques, comme les roulements, les portes de l'écluse et les ponts mobiles répond aux exigences de qualité les plus strictes, à une préparation minutieuse en Belgique et à un contrôle et suivi sur place. Un bureau externe



- 10- Terrassements.
- 11- Palplanches au pied des murs.
- 12- Le fond de l'écluse.
- 13- Coupe type de chambre de porte.

- 10- Earthworks.
- 11- Sheet piling at base of walls.
- 12- Bottom of the lock.
- 13- Typical cross section of gate chamber.

COUPE TYPE DE CHAMBRE DE PORTE



© ARCADIS 13

effectue aussi un contrôle permanent de tous les travaux métalliques et de soudage. En outre, les travaux sont contrôlés à des moments cruciaux par une équipe d'experts indépendante et par les autorités. Actuellement, la production des constructions en acier est en cours. Au printemps 2015, toutes

les constructions en acier seront transportées par bateau vers le chantier (figure 16).

POSE DES CHENAU D'ACCÈS

Les chenaux d'accès sont conçus et réalisés de la même manière que l'écluse. Ils sont délimités par des

murs massifs en béton en forme de L. Une partie du chenal d'accès est cependant réalisée différemment du côté du Waaslandkanaal. Là où le chenal est moins profond, une paroi en acier remplace les murs en béton. Le chenal d'accès proprement dit est excavé. Cette opération s'effectue à

l'aide d'une découpeuse/aspiratrice qui déverse les terres excavées directement sur les terrains à remblayer et à rehausser. Une partie des matériaux est évacuée de la même manière un peu plus loin vers le Doeldok à remblayer. Des digues y ont déjà été construites en vue du remplissage. ▷



14

© GOUVERNEMENT FLAMAND

POSE DES VOIES D'ACCÈS ET DES VOIES FERROVIAIRES

À l'endroit où va être installée l'écluse se trouvaient la route Sint-Antoniusweg et une voie ferrée. La circulation est maintenue grâce à des ponts au-dessus de l'écluse. La route et la voie ferrée ont été déplacées.

Au début des travaux, la route Sint-Antoniusweg et la voie ferrée sont hors de la zone de chantier.

Un pont enjambe les deux, pour que le trafic sur le chantier ne puisse pas traverser la route (figure 17).

Cela garantit la sécurité du trafic des voitures et des camions, des cyclistes et du trafic ferroviaire.

Dans une phase ultérieure la zone de chantier sera adaptée. La nouvelle route et la voie ferrée entreront en service dès qu'elles seront terminées.

La route et la voie ferrée existantes seront alors fermées, mais grâce à la nouvelle infrastructure, la construction de l'écluse ne constituera plus d'obstacle majeur au trafic routier et ferroviaire. Il faudra cependant prévoir des dérivations pendant deux week-ends au moment de la transition d'une route à l'autre.

La continuité du service est également garantie dans les plans de déplacement des canalisations.

À l'endroit où sera installée l'écluse, il existe actuellement une série de réseaux pour l'eau, l'électricité et les télécommunications. Il faudra les déplacer. Pour ce faire, les nouvelles canalisations

seront installées, puis elles seront raccordées. Enfin, les anciennes canalisations seront enlevées.

TRAVAIL PAR ÉQUIPES

L'entrepreneur est soumis à une forte pression pour livrer les travaux dans le délai contractuel. De ce fait, la première équipe d'ouvriers commence le travail dès 5 h le matin.

En général, la dernière équipe travaille jusqu'à 22 h. Mais, vu la particularité des travaux de bétonnage et le planning

très chargé, le travail peut se poursuivre jusqu'à la fin des tâches commencées. Cela signifie aussi que la surveillance des travaux effectués par Maritieme Toegang via le travail par équipes suit ce rythme de travail.

14- Coffrage réutilisable.
15- Collecteur de boues.

14- Reusable formwork.
15- Sludge collector.

MATÉRIEL SUR CHANTIER

Les grands travaux d'infrastructures nécessitent un parc de machines et matériels étendu et surtout divers. Il y a environ 75 machines différentes à disposition. Ce sont principalement les



15

© GOUVERNEMENT FLAMAND



16



17

travaux de terrassement qui nécessitent un large éventail de machines de terrassement et de transport : bennes, grues à chenilles, tracteurs, pompes, plaques vibrantes, chargeuses sur pneus, etc. Le fonctionnement de ces machines exige 20 000 à 22 000 litres de fuel par jour. Il faut aussi une journée de travail à temps plein juste pour alimenter les machines en carburant avec un camion-citerne.

FINANCEMENT

Le coût de l'écluse et de ses dépendances est évalué à environ 340 millions d'euros. La Banque européenne d'investissement, qui considère que ce projet s'inscrit dans l'objectif de réalisation du réseau transeuropéen de transport et de développement des modes de transport durables, a décidé de financer la construction de l'écluse à hauteur de 50% de son coût total, avec un maximum de 170 millions d'euros. KBC Bank octroie également au projet une ligne de crédit de 81 millions d'euros. Le solde est à la charge de l'autorité portuaire d'Anvers et des autorités flamandes.

16- Manoeuvre de placement avec les portes de l'écluse.

17- Pont pour le trafic de chantier.

16- Placing operation with lock gates.

17- Bridge for site traffic.

PLANNING

Bien que l'écluse affiche des dimensions gigantesques, l'édifice reste un ouvrage de précision. À titre d'exemple, les quatre portes devront se fermer de manière parfaitement hermétique. Le mécanisme permettant d'actionner les ponts mobiles est un véritable travail d'horlogerie. Cela nécessite de la part de l'entrepreneur un savoir faire et une expérience de haut niveau ainsi que, de la part du client, un suivi contractuel rigoureux.

Le puits de fondation est en cours d'excavation et ces travaux dureront l'été 2014. L'entrepreneur assurera ensuite les activités de bétonnage jusqu'à la fin de cette même année. Pendant toute cette période, on s'attèlera également à la réalisation des structures en acier.

Les infrastructures de l'écluse sortiront de terre dès l'automne 2014 et seront terminées au printemps 2015. Le dragage final devrait durer un an, de la fin 2014 à la fin 2015, après quoi l'écluse pourra entrer en service dès le début de l'année 2016. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

CHIFFRES CLÉS DES TRAVAUX DE GÉNIE CIVIL

CHARPENTE MÉTALLIQUE : 22 000 t

BÉTON ARMÉ : 795 000 m³

PALPLANCHES : 50 000 m³

TERRASSEMENTS SECS : 5 495 000 m³

TERRASSEMENTS MOUILLÉS : 50 000 m³

MATELAS D'ASPHALTE : 44 000 m²

TERRASSEMENTS

PUITS : 4 500 000 m³

COMBLEMENT DU DOELDOK : 2 800 000 m³

SABLES DE REMBLAI : 1 700 000 m³

ACIER

PALPLANCHES : 10 000 t

ACIER DE CHARPENTE (PONTS ET PORTES) : 20 000 t

ACIERS PASSIFS POUR BÉTON ARMÉ : 50 000 t

ABSTRACT

CONSTRUCTION OF THE BIGGEST LOCK IN THE WORLD IN BELGIUM

IR. BENNY DE SUTTER, EIFFAGE - IR. ERIC ONRAEDT, EIFFAGE

The Deurganckdok lock in the port of Antwerp will be 68 m wide and 500 m long. The bottom of the lock will be -17.80 m below Belgium's zero level. The lock consists of a lock chamber and two sliding gates located at either end. In all, about 9.1 million cu.m of earth were excavated for construction of the lock and the two channels. Sheet piling was used at the base of the lock walls. The lock walls (massive L-shaped walls bounding the lock) are concrete, like the gate chambers, gate guides, bridge cavities, the piping tunnel and the bottom of the lock. A sludge collector was installed to collect sludge entering the lock and docks via the channel. Final dredging is expected to last one year, after which the lock will be able to come into operation from the start of 2016. □

CONSTRUCCIÓN DE LA MAYOR ESCLUSA DEL MUNDO EN BÉLGICA

IR. BENNY DE SUTTER, EIFFAGE - IR. ERIC ONRAEDT, EIFFAGE

La esclusa Deurganckdok en el puerto de Amberes tendrá 68 m de ancho y 500 m de largo. El fondo de la esclusa estará a -17,80 m por debajo el nivel 0 belga. La esclusa está constituida por una cámara de esclusa y dos puertas corredizas situadas en cada extremo. En total, se han excavado unos 9,1 millones de m³ de tierra para la construcción de la esclusa y de los dos canales. Se han utilizado tablestacas al pie de los muros de la esclusa. Los muros de la esclusa (muros macizos en forma de L que delimitan la esclusa) son de hormigón, al igual que las cámaras de puerta, las guías de las puertas, las cavidades de los puentes, el túnel de las canalizaciones y el fondo de la esclusa. Se ha instalado un colector de lodos, se trata de una estructura destinada a recoger los lodos que entran en la esclusa y los docks por el canal. El dragado final debería durar un año, después de que la esclusa pueda entrar en servicio a comienzos de 2016. □



RECONSTRUCTION DU PONT FRONTALIER SUR LA MOSELLE À GREVENMACHER

AUTEUR : ANDREA DE CILLIA, INGÉNIEUR DIPLÔMÉ, ASSOCIÉ-GÉRANT DE INCA - INGÉNIEURS CONSEILS ASSOCIÉS

LE PONT SUR LA MOSELLE À GREVENMACHER-WELLEN CONSTITUE UN AXE IMPORTANT POUR LES MILLIERS DE FRONTALIERS QUI SE RENDENT CHAQUE JOUR AU LUXEMBOURG POUR TRAVAILLER. IL VA DE SOI QUE LE DÉLAI IMPARTI DE QUATRE MOIS ET DEMI POUR SA DÉMOLITION ET RECONSTRUCTION ALLAIT CONSTITUER UN CHALLENGE DE POIDS POUR TOUS LES INTERVENANTS. LE NOUVEL OUVRAGE MÉTALLIQUE, D'UNE PORTÉE DE 213 M POUR UN TONNAGE DE 2000 T D'ACIER, PRÉSENTE UNE ARCHITECTURE SOBRE ET CONTEMPORAINE S'INTÉGRANT PARFAITEMENT DANS SON ENVIRONNEMENT.

Le pont routier relie le centre de la Ville de Grevenmacher à la localité de Wellen sur la rive allemande. Il est fortement fréquenté, surtout lors des heures de pointe, par les frontaliers venant travailler au Luxembourg. Le pont est inséré dans le tissu urbain dense de la ville de Grevenmacher et surplombe la promenade le long de la Moselle avant de rejoindre la rive allemande. Le pont existant, composé d'un tablier en béton précontraint à 5 travées de 38,5 m à 46 m avait été construit en 1955 (figure 2). C'était un ouvrage

fonctionnel qui avait été réalisé sous des contraintes de budget et de temps laissant de côté l'esthétique. Les Ponts et Chaussées ont constaté, lors d'une campagne de contrôle des câbles de précontrainte de l'ouvrage existant, que les injections au coulis de ciment étaient largement déficientes et que la protection contre la corrosion n'était plus garantie. En effet bon nombre de câbles ont été trouvés non tendus, fait probablement dû à la corrosion. Depuis 2002, des entretiens préventifs et un allègement de la circulation permettaient de garder provisoirement

le pont en service jusqu'à son remplacement définitif. La superstructure choisie pour le nouvel ouvrage est celle d'un pont à 4 travées, dont la travée principale type bow-string enjambant la Moselle a été retenue comme la plus appropriée (figure 3). En effet la sécurité du chantier, du trafic routier et naval sont garantis tout en réduisant la durée des travaux. Le temps de barrage complet du trafic sur le pont peut être réduit à quatre mois et demi. Le Service de la Navigation de la Moselle exige un gabarit de navigation de 7,50 m par rapport aux plus hautes

eaux navigables dont le niveau (phen) au profil en travers n° 212,300 est de 133,47 m.

Prévoyant un réaménagement futur de l'écluse de Grevenmacher dans le cadre du projet du grand canal Rhône-Moselle entre Mulhouse et la Saône, il faut supprimer la pile médiane qui générerait la future navigation à gabarit européen dans ses manœuvres d'approche ou de sortie de l'écluse.

L'optique de ce gabarit européen unique combiné au souci de prévoir des piles à l'abri de la voie navigable nous mène à écarter les piles de berge.



2
© INCA

PRINCIPALES DISPOSITIONS ARCHITECTURALES

Redessiner les relations intimes entre le Luxembourg et l'Allemagne, tant politiques et économiques que sociales ; marquer ce point de communication bilatérale par une silhouette fluide et harmonieuse, ce sont les intentions

primaires à la base de la recherche esthétique du nouveau pont.

Il faut un trait d'union entre deux berges qui partagent, au-delà d'un même fleuve, toute une culture liée à ce cours d'eau.

La modification des conditions d'appui décuple la portée principale par rap-

port à l'existant ce qui augmente les sections des éléments porteurs.

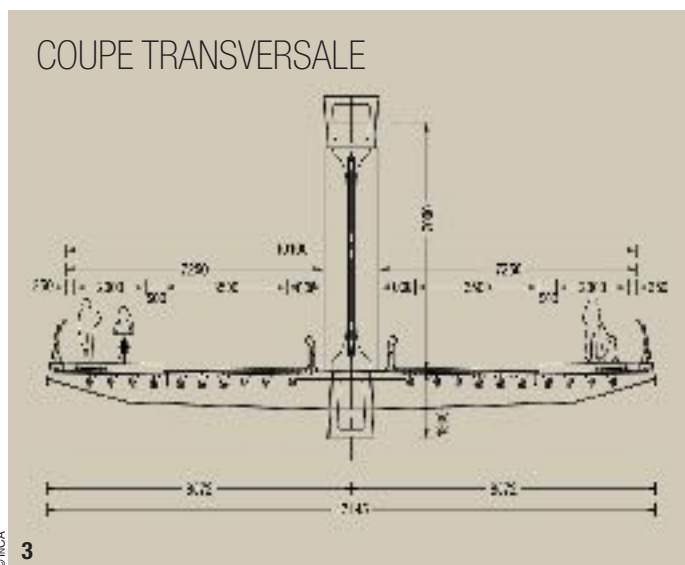
Pour garantir le gabarit de navigation, le choix du type de pont tend rapidement vers un système porteur supérieur, i.e. au-dessus du tablier.

Le système de l'arc supérieur - aussi appelé bow-string -, nous permet d'ob-

tenir la fluidité recherchée par le biais d'un arc peu élevé qui se prolonge sous le tablier, près des berges et en dehors du gabarit de la Moselle (figure 1).

Pour des raisons de stabilité (torsion) l'arc unique part en fourchette, une fois sous le tablier, pour aller chercher les piles solides près des berges.

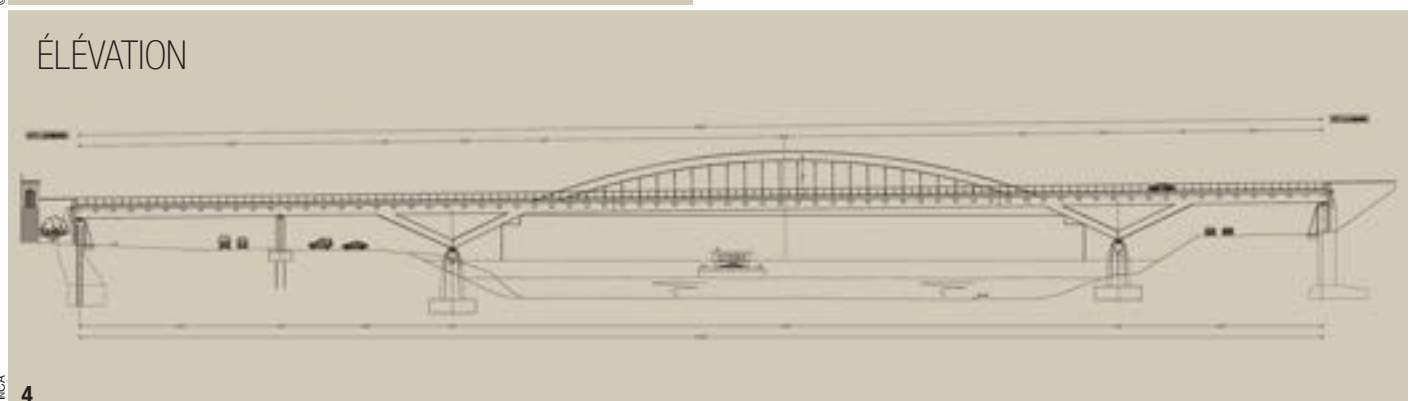
L'idée était de rejoindre la berge opposée suivant le mouvement d'une pierre plate rebondissant sur l'eau, comme au jeu du ricochet donc d'avoir un ouvrage qui ressort de l'eau en préservant le milieu naturel du bassin de la Moselle. Le dictionnaire nous apprend que *le ricochet*, c'est le « *bond ou rebond que fait un caillou léger et plat lancé par jeu presque horizontalement à la surface de l'eau.* » Cette définition reprend exactement les valeurs recherchées par la conception de l'ouvrage : une allure légère, plate, ludique, quasi horizontale à la surface de l'eau et pleine de dynamisme. Avec rythmicité le pont passe dans les trois milieux naturels (terre, eau et ciel) sans interruption de continuité. ▷



3
© INCA

- 1- Vue générale du nouveau pont.
- 2- Pont existant construit en 1955.
- 3- Coupe transversale.
- 4- Élévation.

- 1- General view of the new bridge.
- 2- Existing bridge built in 1955.
- 3- Cross section.
- 4- Elevation view.



4
© INCA



5

© INCA

Tel le cheminement de cette pierre unique et bien choisie, la conception de l'ouvrage prévoit un seul arc médian. Contrairement à deux arcs latéraux, érigés en concurrence ou en opposition l'un de l'autre, les deux caissons partant des piles, chacune de nationalité différente, se rejoignent au point culminant, c'est le trait d'union évoqué précédemment (figure 4).

Les parallèles vont plus loin. Si le jeu du ricochet fascine par sa pureté et son dynamisme, il est régi par des lois complexes de la physique et de la mécanique.

Le nouveau pont, lui aussi, pourra fasciner par sa pureté et son dynamisme alors qu'il a fait l'objet de nombreux calculs statiques et dynamiques.

L'épure étant trouvée, il s'agit ensuite

de la marier subtilement aux exigences émanant des diverses contraintes fixées par le maître d'ouvrage.

L'ouvrage d'art projeté a ainsi une longueur totale d'environ 213 m avec une travée centrale de 113,80 m entre les piles des berges. L'arc métallique n'a pas été tiré jusqu'aux berges mais repose sur des piles en béton. En effet, les piles en béton s'avèrent moins sensibles à la corrosion due aux eaux de la Moselle et plus résistantes lors d'un éventuel choc de péniche. Et elles permettent aussi des hauteurs égales de l'arc de part et d'autre du tablier, ce qui allège et harmonise la ligne d'ensemble.

La pile entre la route et le parking a été réalisée en acier afin de respecter cet horizon qui sépare l'acier du béton.

5- Travée principale après la pose sur les piles.

6- Dépose des poutres en béton précontraint.

7- Fabrication de la dalle orthotrope en atelier.

5- Main span after placing on piers.

6- Dismounting the prestressed concrete beams.

7- Manufacturing the orthotropic slab in the workshop.

CARACTÉRISTIQUES STRUCTURELLES

Le tablier métallique de l'ouvrage est constitué d'une dalle orthotrope reposant sur des poutres transversales en profilés reconstruits soudés, appelés « pièces de pont ». Au droit de la travée centrale, ces pièces de pont rejoignent en porte-à-faux un caisson métallique central qui constitue le tirant du système « bow-string ». Ce tirant représente la partie inférieure et indissociable de l'arc et est accroché via des suspentes à l'arc principal. En dessous du tablier, cet arc en caisson métallique se divise en deux parties rejoignant les piles en béton armé situées près des berges. Depuis ces piles, les deux béquilles en caisson métallique repartent pour rejoindre les tabliers des



6



7

© INCA



8



10



9



11

travées d'approche. On obtient ainsi une sorte de quadripode prolongeant l'épure de l'arc en élévation (figure 5). Au-delà de la travée centrale, des travées d'approche ont été réalisées en bi-poutres à caisson métallique avec dalle orthotrope. Ces bi-poutres rejoignent le point de naissance de l'arc au droit du tablier.

Ce point de convergence où arrivent l'arc, les béquilles, le tirant et les caissons bi-poutres représente la pièce maîtresse de l'ouvrage. Lors des calculs, un soin particulier est accordé à la faisabilité en atelier de cette pièce.

PLANNING GÉNÉRAL DES TRAVAUX

Un des enjeux majeurs du projet était de limiter le barrage du pont à quatre mois de demi. Le trafic sur le pont a été interrompu le 21 mai 2013. Pendant ce temps il a fallu démolir l'ouvrage existant et reconstruire le nouvel ouvrage. La travée principale avec son arc et

8- Assemblage du tablier et de l'arc dans le port de Mertert.

9- Ripage latéral de la travée principale sur barge.

10- Ripage latéral de la travée principale sur barge.

11- Nouveau pont métallique sur barge après ripage.

8- Assembling the deck and arch in the port of Mertert.

9- Side skidding of the main span on barge.

10- Side skidding of the main span on barge.

11- New steel bridge on barge after skidding.

les quadripodes a été assemblée sur un quai du port de Mertert, situé à 2 km en aval du site du pont. Après avoir terminé les nouvelles piles, la pièce maîtresse a été transportée sur la Moselle pour être posée sur son site définitif le 8 août 2013. Les travées d'approche ont été assemblées sur site et mise en place par Kamags, engins roulants. Les travaux d'étanchéité ont pu commencer fin août. Les travaux de finitions, garde-corps, glissières et lampadaires ont suivi, pour permettre la réouverture du pont le 15 octobre 2013.

Le délai extrêmement court n'a pu être tenu que grâce à l'implication proactive de tous les intervenants du projet.

DÉMOLITION DU PONT

Le tablier étant constitué de poutres en béton précontraint isostatiques, il a suffi de désolidariser les poutres et de procéder à la dépose par grues mobiles de 700 t et 550 t pour les travées

terrestres. La dépose des deux travées fluviales a demandé l'utilisation d'une grue sur barge des 300 t (figure 6). Une par une les poutres ont été transportées au Port de Mertert ou elles ont été broyées par des croc-béton.

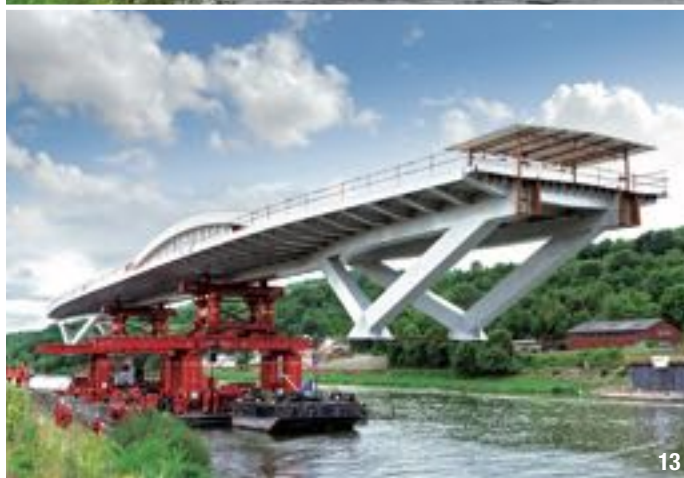
La dépose des poutres a été effectuée pendant la période de chômage de la Moselle, durant laquelle le trafic fluvial est interrompu pour réaliser les travaux d'entretien des écluses.

Une contrainte imposée par le Service de la Navigation était de démolir les piles fluviales du pont existant jusqu'à un mètre en-dessous du niveau du lit de la Moselle. Une fois le tablier déposé, un brise-roche installé sur un ponton a permis de démolir la pile et sa fondation. En même temps un dragage du fond permettait d'évacuer les débris tombant dans l'eau. Pendant toute l'opération de démolition des piles le trafic fluvial était maintenu.

Un couloir de 25 m devait être garanti à tout moment.



12



13



14



15

RÉALISATION DES NOUVELLES PILES ET CULÉES

Pour des raisons de délai et de coût le maître d'ouvrage a décidé de récupérer les culées du pont existant.

Toutefois, pour garantir une homogénéité de l'ensemble de la nouvelle structure, les culées ont été munies d'un habillage en béton teint dans la masse de couleur anthracite comme les nouvelles piles sur les berges.

Une protection anti-graffiti a été appliquée sur l'ensemble des surfaces visibles et accessibles en béton vu lisse. Le batardeau des piles a été réalisé avec des palplanches permettant ainsi, par pompage continu, la confection des piles.

La charpente métallique repose sur deux appuis à calotte de diamètre

545 mm par pile, pour une charge utile de 20933 kN.

ASSEMBLAGE DE LA CHARPENTE MÉTALLIQUE

La charpente métallique fabriquée en atelier a été livrée en 76 colis sur site (figure 7). L'assemblage de la travée principale a été réalisé en deux phases :
> Phase 1 : assemblage du tablier à dalle orthotrope. Assemblage des tronçons d'arc posé sur palées provisoires (figure 8).

> Phase 2 : levage de la charpente à plus de 7 m. Soudage des quadripodes en dessous du tablier.

Les travées d'approche constituées de deux caissons avec tablier orthotrope ont été assemblées sur site à côté de l'emplacement définitif.

12- Transport de la travée principale sur la Moselle.

13- Transport de la travée principale sur la Moselle.

14- Mise en place de la travée principale.

15- Pose des quadripodes sur appuis.

12- Transporting the main span on the Moselle.

13- Transporting the main span on the Moselle.

14- Putting the main span in place.

15- Placing the quadripods on supports.

OPÉRATION DE RIPAGE LATÉRAL DE LA TRAVÉE PRINCIPALE

En préparation au ripage latéral la travée principale a été appuyée sur deux tours, chacune composée de quatre colonnes en acier contreventées entre-elles. Les tours reposent sur deux fois deux chemins de ripage composés de poutres PRS. Les chemins de ripage partent du quai pour reposer sur les tours à tiroirs de la barge située dans la darse du port (figures 9 et 10). Des vérins hydrauliques déplacent la charpente métallique vers la barge (figure 11). L'opération est très délicate : au fur et à mesure que le poids de la charpente se déplace vers la barge, il est nécessaire, pour éviter un déversement, que la barge pleine d'eau soit vidée pour permettre une poussée vers le haut qui compense la charge. Pour ce faire la barge est composée de plusieurs chambres séparées qui peuvent être vidées individuellement. L'opération de ripage a duré quatre heures. Pour descendre le centre de gravité de l'ensemble et garantir une meilleure stabilité lors du transport, la charpente métallique a été abaissée de 3 m. Le système des tours à tiroir sur la barge permet de réaliser cette opération en toute sécurité.



© INCA

16

TRANSPORT FLUVIAL ET POSE DE LA TRAVÉE PRINCIPALE SUR LES NOUVELLES PILES

La barge servant au transport de la charpente mesure 65 m x 22,8 m. Dans cette barge sont pompés 2300 m³ d'eau. Ainsi le centre de gravité de l'ensemble est fortement abaissé (figures 12 et 13). Toutefois la manoeuvre ne pourra se faire que si la vitesse du vent est inférieure à beaufort 6 (49 km/h) Lors du transport le 8 août 2013 les conditions météorologiques étaient idéales, ainsi les 2 km ont été parcourus en moins de deux heures. Une fois sur site, la barge a été raccordée avec les berges à l'aide de six câbles aciers. Les câbles étaient fixés à des treuils situés sur la barge. Ainsi était-il possible de faire pivoter la charpente et de procéder à une pose millimétrique sur appuis (figures 14 et 15). Le transport et la mise en place ont suscité l'intérêt de la population entière, massée sur le site pour observer l'impressionnante opération.

16- Vue générale du nouveau pont.

16- General view of the new bridge.

TRAVÉES D'APPROCHE ET TRAVAUX DE FINITIONS

Une fois la travée principale mise en place, il a été procédé à la translation des travées d'approche qui étaient préalablement assemblées sur site à côté

du pont. La charpente a été translattée par Kamags, engins roulants à multiples axes. L'ensemble de la serrurerie, garde-corps et lampadaires a été galvanisé à chaud suivi d'un électropoudrage en deux couches. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

LONGUEUR TOTALE :
213 m
LARGEUR DU TABLIER :
12,50 m - 16,10 m
CHARPENTE ACIER :
2000 t
APPUIS - BÉTON :
800 m³
COÛTS DES TRAVAUX :
12 000 000 € HT
DURÉE DU CHANTIER :
2012 - 2013

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :

1- Ministère du Développement durable et des Infrastructures - Administration des Ponts et Chaussées - Division des Ouvrages d'Art
2- Landesbetrieb Mobilität Rheinland-Pfalz

ARCHITECTURE ET MAÎTRISE D'ŒUVRE :

INCA - Ingénieurs Conseils Associés

GROUPEMENT CONSTRUCTEURS :

CDCL SA (génie civil) - Atelier Roger Poncin & Cie SA (charpente métallique) - Cos.me. Costruzioni Metalliche s.r.l. (travaux soudure) - Entrapaulus Construction SA (démolition) - Mammoet (transport fluvial)

BUREAU D'ÉTUDES D'EXÉCUTION : Schroeder & Associés

ABSTRACT

RECONSTRUCTION OF THE BORDER CROSSING BRIDGE OVER THE MOSELLE AT GREVENMACHER

ANDREA DE CILLIA, INCA

The new steel bridge located between Grevenmacher and Wellen is intended to be a strong gesture of union between Luxembourg and Germany, accentuated by a sober, dynamic contemporary architectural design. The main span, straddling the Moselle, consists of a central steel bow-string girder which plunges into the orthotropic-slab deck to rest on a steel quadripod which provides it with the stability needed for a 114-metre span. The integration of the approach spans with the main span is characterised by a continuous undulation connecting the two banks over a total length of 213 m. In four and a half months the existing bridge had to be demolished, the supports were reworked and the new bridge was built. □

RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE FRONTERIZO SOBRE EL RÍO MOSELA EN GREVENMACHER

ANDREA DE CILLIA, INCA

El nuevo puente metálico situado entre Grevenmacher y Wellen pretende ser un fuerte gesto de unión entre Luxemburgo y Alemania, acentuado por una arquitectura contemporánea, sobria y dinámica. El tramo principal, que franquea el Mosela, está constituido de un bow-string metálico central que se sumerge en el tablero de losa ortótropa para apoyarse en un cuadrípode metálico que le confiere la estabilidad necesaria para una luz de 114 m. La integración de los tramos de aproximación con el tramo principal se caracteriza por una ondulación continua que conecta las dos orillas en una longitud total de 213 m. Durante realización de la obra, de cuatro meses y medio, hubo que demoler el puente existente, rehacer los apoyos y reconstruir la nueva estructura. □



1
© SOGEA SATOM

CONCEPTION ET CONSTRUCTION DU PONT DE DIMBALA EN GUINÉE ÉQUATORIALE

AUTEURS : NICOLAS METGE, RESPONSABLE DU PÔLE CONCEPTION ET MAÎTRISE D'ŒUVRE, ISC (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) - DAVID BERTHIER, DIRECTEUR GÉNÉRAL, ISC (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) - FRANCK CASTELEYN, DIRECTEUR GÉNÉRAL, SOGEA SATOM GUINÉE ÉQUATORIALE (VINCI CONSTRUCTION)

LES TRAVAUX DU PONT DE DIMBALA SE SONT ACHEVÉS AU COURS DE L'ÉTÉ 2014. ASSURANT LA CONTINUITÉ DU CONTOURNEMENT DE LA VILLE DE MONGOMO EN GUINÉE ÉQUATORIALE ET SITUÉ À MOINS DE 200 M DE LA FRONTIÈRE AVEC LE GABON, L'OUVRAGE CONSTITUE UNE VÉRITABLE PORTE D'ENTRÉE EN GUINÉE ÉQUATORIALE, MONGOMO DEVENANT UN CARREFOUR IMPORTANT DU RÉSEAU ROUTIER INTER RÉGIONAL, AU CŒUR DE LA ZONE CEMAC.

CONTEXTE DU PROJET

Le pont de Dimbala s'inscrit dans un projet plus global de réalisation du contournement de la ville de Mongomo en Guinée Équatoriale, ville frontalière avec le Gabon. Le chantier a été confié à Sogea Satom, filiale africaine du groupe Vinci et présente depuis plus de vingt ans en Guinée Équatoriale. À l'est de la ville, la route doit franchir une brèche d'environ 120 m. Sogea Satom a alors fait appel à Ingénierie des Structures et des Chantiers (ISC), filiale de Vinci Construction France, pour la conception de l'ouvrage puis les études techniques d'exécution tant en structure qu'en méthodes.

CONCEPTION ARCHITECTURALE ET TECHNIQUE

Le projet concerne le franchissement d'une rivière et de la route frontalière menant au Gabon.

Transversalement, le tablier supporte 4 voies de circulation routière avec un terre-plein central et deux trottoirs latéraux. Il fait 23 m de largeur totale. La solution qui a été retenue est la réalisation d'un bipoutre droit à deux travées égales de 58,25 m de portée soit une longueur totale de l'ouvrage de 116,5 m. C'est la distance minimale pour franchir la rivière et la route tout en réalisant des culées simples et dis-

crètes sur talus. L'ouvrage présente une pente unique longitudinale de 3,07% (figure 2). L'appui central et les deux travées soulignent les deux franchissements, d'un côté la rivière, de l'autre la route. La variation de hauteur du tablier permet de marquer le point central et

1- Le pont de Dimbala en cours de chantier.

1- Dimbala Bridge during the works.

affine les lignes de fuite vers les culées. Un sentiment de légèreté et de finesse se dégage du pont. La transparence est forte, la traversée semble facile, les forces bien équilibrées sur cette « balance ». De par sa couleur rouge, le pont ressort du paysage et se distingue sur le fond uniforme vert de la végétation (figure 3).

DESCRIPTION DE L'OUVRAGE LES FONDATIONS

Les piles et les culées sont fondées sur des pieux forés tubés de diamètre 70 cm, d'environ 10 m de longueur pour la pile P1 et 18 m de longueur pour les culées C0 et C2. Ceux-ci



2

© ISC

permettent d'atteindre le substratum rocheux. On trouve 8 pieux sous chaque culée. Pour les piles, chaque fût possède sa propre semelle de 1,5 m qui permet de répartir la charge sur les 12 pieux qui constituent la fondation.

PILES ET CULÉES

La pile centrale est divisée en deux fûts parfaitement indépendants pour donner de la transparence à l'ouvrage. Chaque fût supporte donc une des deux poutres principales du tablier par l'intermédiaire d'un appareil d'appui à pot. Il s'agit des points fixes de l'ouvrage. Les fûts ont une hauteur d'environ 6,8 m. D'une forme de base en losange de 2,20 m par 3,30 m, ils sont amputés au niveau de deux arêtes pour donner un effet

arborescent à chaque pile. Celles-ci rappellent alors le symbole de l'arbre ceiba, symbole de la Guinée Équatoriale et présent sur le drapeau national. Les culées sont de conception classique. Elles sont constituées d'un

2- Photomontage de l'ouvrage définitif.

3- Coupe longitudinale.

2- Photomontage of the final structure.

3- Longitudinal section.

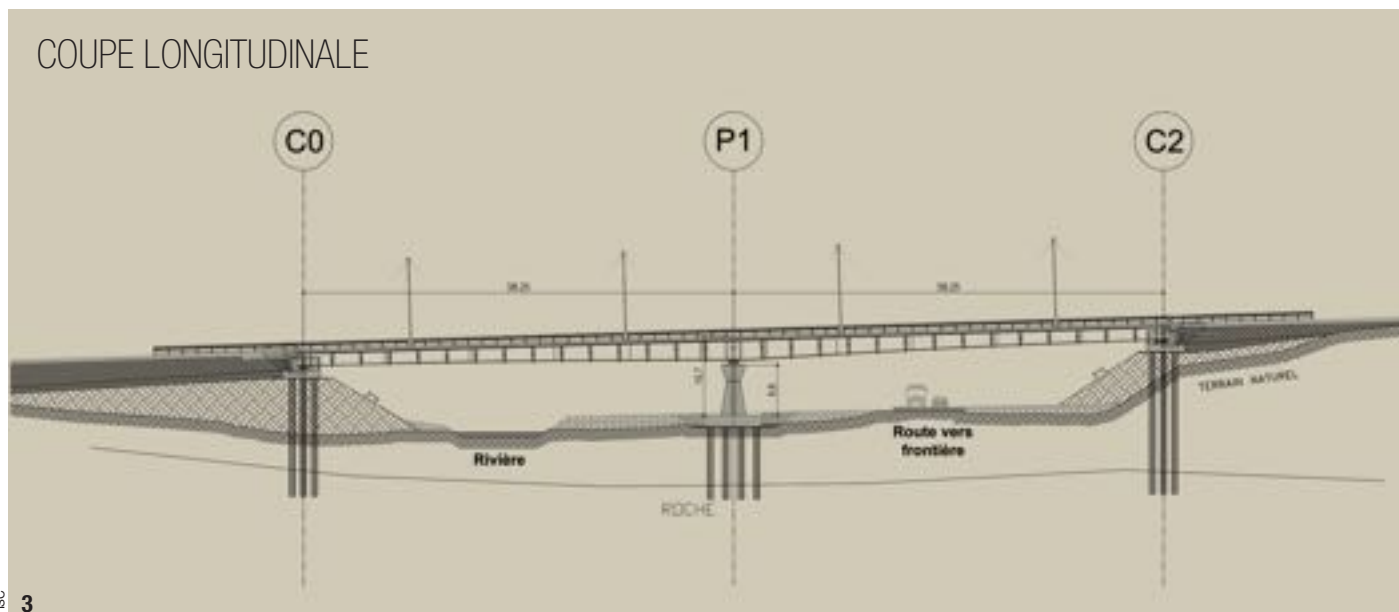
sommier d'appui de 1 m d'épaisseur. Elles comportent un mur garde-grève de 30 cm d'épaisseur et une dalle de transition de 6,5 m de longueur et des dalles de frottement. Les murs en retour et les murs-caches présentent un parement nervuré horizontalement.

LA CHARPENTE MÉTALLIQUE

La charpente métallique a été calculée à l'Eurocode. Elle est constituée de deux PRS de hauteur variable qui supportent le hourdis. Celui-ci est raidi transversalement par des pièces de ponts. Les PRS ont une hauteur de 1,7 m au niveau des culées pour atteindre progressivement leur hauteur maximale de 2,7 m au niveau de la pile. La semelle supérieure a une largeur

constante de 1350 mm et la semelle inférieure une largeur constante de 1500 mm. Les épaisseurs de tôle varient de 50 mm jusqu'à 110 mm. L'acier est principalement de nuance S355 sauf pour certains tronçons de PRS sur appui dont les tôles sont en S460. Des goujons Nelson assurent la connexion avec le hourdis en béton armé. La quantité d'acier de charpente s'élève à 625 t (figure 4).

Le choix des assemblages s'est porté sur les assemblages soudés. La charpente étant fabriquée en France, cela permet de s'affranchir des risques d'erreurs géométriques sur les pièces boulonnées nécessitant des envois d'urgence par avion et des aléas incompatibles avec le planning. ▷



© ISC

3



4

© SOGEA SATOM

LE HOURDIS

La dalle du tablier est réalisée à partir de prédalles participantes de 12 cm d'épaisseur sur lesquelles un hourdis de 13 cm est coulé en place pour obtenir une hauteur totale de 25 cm.

Le hourdis intègre les longrines latérales de l'ouvrage, supports des canelabres et des garde-corps ainsi que le terre-plein central (figure 5).

LES SUPERSTRUCTURES

Une étanchéité de 3 cm est disposée sur l'ouvrage ainsi qu'un revêtement en béton bitumineux d'environ 8 cm dans la zone circulée. Des GBA sont disposées de part et d'autre des voies afin de contenir le trafic. Le profil transversal en toit permet la récupération des eaux du pont via des corniches caniveaux qui rapportent l'eau jusqu'à la culée et servent à l'habillage des rives de l'ouvrage.

4- Vue de la charpente en cours de montage.

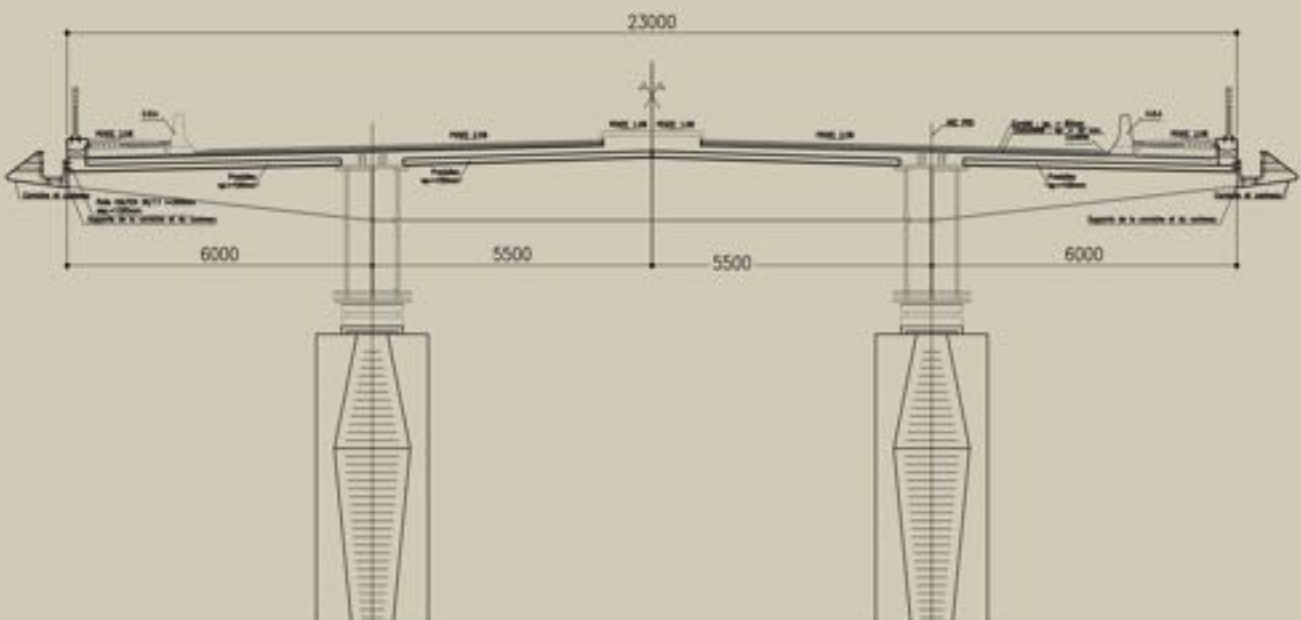
5- Coupe transversale sur pile.

4- View of the structure during erection.

5- Cross section on pier.

La forme permet de refléter le soleil et de former une bande claire en rive en soulignant l'horizontale. Les garde-corps sont en acier laqué. Formés de lisses horizontales et d'une tôle en métal perforé, les garde-corps se veulent discrets et transparents pour laisser passer le regard du promeneur ou des conducteurs. Huit réverbères disposés tous les 29 m sur chaque rive de l'ouvrage éclairent la route la nuit (figure 6).

COUPE TRANSVERSALE SUR PILE



5

© ISC

LA CONSTRUCTION DE L'OUVRAGE

ORGANISATION ET ENCADREMENT DU CHANTIER

Sur le projet de contournement, les équipes de Sogea Satom sont organisées par cœur de métier : terrassements, chaussées, assainissement, bordures, préfabrication, mécanique, carrière et bien sûr ouvrages d'art. L'encadrement est principalement constitué d'expatriés mais la main d'œuvre qualifiée est équato-guinéenne. Pour la charpente métallique, suite à une consultation internationale, Baudin Châteauneuf s'est vu confier la fabrication et la mise en œuvre des éléments de structure. La charpente a été fabriquée en France. Le montage, l'assemblage, les soudures et la peinture ont été réalisés par du personnel détaché sur place le temps du chantier.

LES TRAVAUX DE TERRASSEMENT

La première étape du chantier consistait à réaliser la purge des terrains

existants pour la réalisation de la plate-forme de travail sous l'ouvrage.

Deux dalots, compatibles avec le régime hydraulique de la rivière, ont été installés sous la plate-forme. Un remblai de qualité a été réalisé afin de permettre par la suite aux grues mobiles de travailler et de poser les tronçons de charpente.

LA RÉALISATION DES PIEUX FORÉS TUBÉS

Les pieux sont des pieux forés tubés et ont été sous-traités à l'entreprise équato-guinéenne Horizon Construction. Le tubage provisoire sur la hauteur des terrains instables est retiré une fois le bétonnage du pieu réalisé. Cela permet d'ancrer les pieux sur un terrain dur, dans notre cas le substratum rocheux est situé entre 10 et 20 m de profondeur. Les tubes n'ont pas été vibrofoncés, ils ont été descendus avec leur propre poids au fur et à mesure du forage à la tarière et rabotés par longueurs de 6 mètres.

LA RÉALISATION DE LA PILE

La pile P1 est constituée de deux fûts appuyés sur des semelles indépendantes de hauteur 1,50 m et espacés de 5,50 m l'une de l'autre. Les semelles ont été réalisées au fond des fouilles dont les parois étaient talutées. Le coffrage de 6,80 m a été réalisé toute hauteur avec des panneaux modulaires disposés sous forme de parallépipède. Des négatifs en bois ont été fabriqués sur chantier et positionnés dans le coffrage afin de réaliser les formes biseautées. Le bétonnage a été réalisé en plusieurs levées sur une seule journée avec un temps de séchage court et une pause du bétonnage de deux heures à mi-hauteur pour limiter la poussée sur les coffrages.

LA CHARPENTE MÉTALLIQUE AU CŒUR DU PROJET

La hauteur peu importante et la possibilité d'accès à l'ensemble de l'ouvrage depuis le terrain naturel ont guidé le

choix vers une pose par grutage de la charpente métallique. De plus, la variation de hauteur des poutres rendait l'opération de lancement peu aisée dans le contexte guinéen. Une étude détaillée du levage et du découpage de la charpente a été effectuée pour tenir compte de capacités limitées des grues présentes sur place (1 grue de 120 t et deux grues de 60 t).

Le transport par bateau étant incontournable, les tronçons de poutres ont été limités à 12 m de longueur afin de rentrer dans les gabarits standards des conteneurs et de permettre la pose des poutres principales avec les grues disponibles.

LA FABRICATION DE LA CHARPENTE

La fabrication de la charpente a été entièrement réalisée en France par Baudin Châteauneuf au sein de leur atelier à Châteauneuf-sur-Loire et acheminée depuis le port du Havre jusqu'à celui de Bata. ▷

6- Détail des équipements et superstructures.

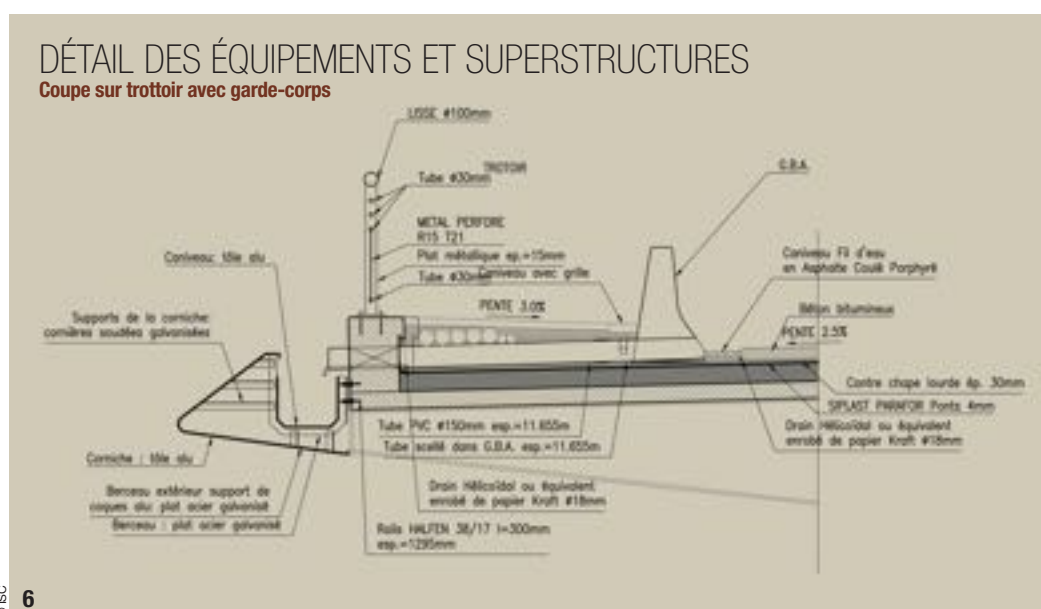
7- Mise en œuvre des palées provisoires.

8- Mise en œuvre des tronçons de charpente à la grue de 120 t.

6- Detail of equipment and superstructure.

7- Placing temporary bents.

8- Installing structure sections with a 120-tonne crane.



© ISC 6



7 © SOGEA SATOM



8 © ISC



9- Soudure en cours sur l'ouvrage.
10- Préfabrication foraine des prédalles.
11- Prédalles en cours de pose.

9- Welding in progress on the bridge.
10- On-site prefabrication of precast formwork units.
11- Precast formwork units being placed.

Les poutres principales sont des poutres reconstituées soudées découpées par oxycoupage.

La peinture est appliquée en 3 couches dont deux sont réalisées en atelier sur l'ensemble de la charpente excepté au droit des joints transversaux d'assemblage. La couche de finition est appliquée sur site.

LE TRANSPORT DE LA CHARPENTE

Le transport des 22 tronçons de charpente dont la longueur maximale est de 11,90 m et de poids maximal égal à 30 t a été réalisé en 3 expéditions par 25 containers de type 40' ordinaires et 6 containers type « OOG » (open top out of gauge) pour les tronçons de PRS près de la pile dont la hauteur était supérieure au gabarit du container.

Parmi ces containers, deux ont été considérés en catégorie « convoi exceptionnel » de niveau 1 pour le transport routier en France.

ASSEMBLAGE ET MISE EN ŒUVRE DE LA CHARPENTE

Le nombre important de tronçons nécessite la mise en œuvre d'un nombre équivalent de palées provisoires. Ces palées sont des tubes de diamètre 610 mm posées sur des semelles d'épaisseur 40 cm et de section 2,50 m x 2,50 m. Elles permettent de supporter le poids de la charpente ainsi que le poids des prédalles, ces charges s'appliquant avant le décintrage de la charpente et le démontage des palées. Les fûts de palées sont au nombre de 20 et contreventés par groupe de 4 ou de 6 dans les 3 directions (figure 7).

Ces fûts sont constitués de morceaux indépendants de 2 m de hauteur boulonnés par platines, ce qui facilite le transport, l'assemblage et l'adaptabilité. Des éléments de 50 cm de hauteur sont posés en tête afin de faire un réglage plus fin de la hauteur avant de positionner les camarteaux sur la dernière platine. Des cales d'épaisseur

sont ensuite disposées sur ces derniers pour régler précisément la hauteur de pose des poutres principales.

Des palées spécifiques ont aussi été conçues en demi-coquilles afin de pouvoir éventuellement servir de coffrage de poteaux (diamètre de 600 mm) dans un futur projet.

La pose des poutres principales a été exécutée avec une grue de 120 t facilitant les opérations de levage par rapport à l'utilisation des deux grues de 60 t simultanément (figure 8).

Une console d'appui est placée en tête de la poutre principale à poser qui s'appuie donc sur le PRS précédent et sur la palée suivante. Une fixation provisoire des tronçons est réalisée par des barrettes latérales de liaison.

Les pièces de pont sont provisoirement assemblées aux semelles des montants au moyen d'une cornière boulonnée avant leur soudage, ce qui permet de réaliser la pose depuis le platelage afin de ne pas travailler en hauteur. Les consoles et les pièces de pont sont

réglées en hauteur via un système de tirants-butées soudés sur les semelles supérieures. Les tiges filetées permettent le réglage et les butées sont découpées une fois la pose finie.

LE PLATELAGE COMME PLATE-FORME DE TRAVAIL

Un platelage complet a été mis en œuvre sur une largeur de 25 m au droit des culées (débord de 1 m par rapport au pont) et 13 m en partie centrale. Le platelage est totalement dissocié des palées provisoires. Il permet aux équipes de poser et régler la charpente, de poser les prédalles, d'assurer la mise sur appareils définitifs au droit de la pile et d'appliquer la couche de finition de la peinture anticorrosion. Il est constitué de planches appuyées sur trois niveaux de poutrelles afin de franchir des portées de 9 m et libérer les passages nécessaires aux engins. Le poids d'acier est de 140 t pour les poutres et le bois des chevrons et planches représente environ 150 m³.



Les poutres primaires sont appuyées sur 82 tours d'étalement de capacité 6 t par pied (figure 9).

PRÉFABRICATION FORAINE DES PRÉDALLES

Le délai de réalisation court et fortement dépendant de la réalisation de la charpente nécessitait une adaptabilité de la réalisation du hourdis. Il a été décidé de préfabriquer des prédalles sur site afin de gagner du temps lors de la réalisation du hourdis et se passer d'un outil coffrant générateur de coûts et d'aléas supplémentaires. Elles sont coulées sur 4 bancs de préfabrication à raison de 2 par jour, permet-

12- Bétonnage du hourdis.

13- Peinture en cours de finalisation.

12- Deck section concreting.

13- Finalisation of painting.

tant un séchage de 36 heures environ. Ces prédalles intègrent les longrines de rive, supports des garde-corps définitifs et des candélabres (figure 10). Elles sont au nombre de 128 au total, dont 4 dans le sens transversal, et mesurent 3,60 m de longueur.

Les prédalles centrales et latérales mesurent respectivement 4,90 et 5,40 m.

Une usine de ferrailage a été installée sur site afin de débiter, façonner et assembler selon les ouvrages l'ensemble du ferrailage. Les prédalles ont été mises en place avec une grue de 60 t après la mise sur appui provisoire de la charpente (figure 11).

LA RÉALISATION DU HOURDIS

Le hourdis est coulé en place par pianotage en 3 phases.

Le premier tronçon est coulé du côté de C0 sur une longueur de 40 m, le deuxième en symétrie du côté de C2 et enfin le dernier tronçon est coulé au droit de la pile P1 afin de limiter la fissuration sur appui.

Le béton est pompé depuis la plateforme en remblais au pied de l'ouvrage. Une rotation de 6 toupies est assurée entre la centrale à béton de la base technique de Sogea Satom située à environ 10 minutes et l'ouvrage (figure 12). □

RÉCAPITULATIF DES DONNÉES PRINCIPALES DE L'OUVRAGE

DÉLAI DE RÉALISATION DES TRAVAUX : 15 mois

CHARPENTE MÉTALLIQUE : 625 t

VOLUME TOTAL DE BÉTON : 1 450 m³

RATIO D'ACIER MOYEN DANS LE HOURDIS : 300 kg/m³

RATIO D'ACIER MOYEN DANS LES CULÉES : 150 kg/m³

RATIO D'ACIER MOYEN DANS LES PILES : 100 kg/m³

NOMBRE DE PRÉDALLES : 128 u

LES INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : État de Guinée Équatoriale - Geproyectos

ENTREPRISE PRINCIPALE : Sogea Satom Guinée Équatoriale

ENTREPRISE SOUS-TRAITANTE CONCEPTION TECHNIQUE ET ARCHITECTURALE : ISC (Ingénierie des Structures et des Chantiers)

ENTREPRISE SOUS-TRAITANTE ÉTUDE D'EXÉCUTION STRUCTURES ET MÉTHODES GÉNIE CIVIL : ISC

ENTREPRISE SOUS-TRAITANTE PIEUX FORÉS MOULÉS : Entreprise Horizon Construction

ENTREPRISE SOUS-TRAITANTE TRAVAUX ET ÉTUDES CHARPENTE MÉTALLIQUE : Baudin Châteauneuf

ABSTRACT

DESIGN AND CONSTRUCTION OF DIMBALA BRIDGE IN EQUATORIAL GUINEA

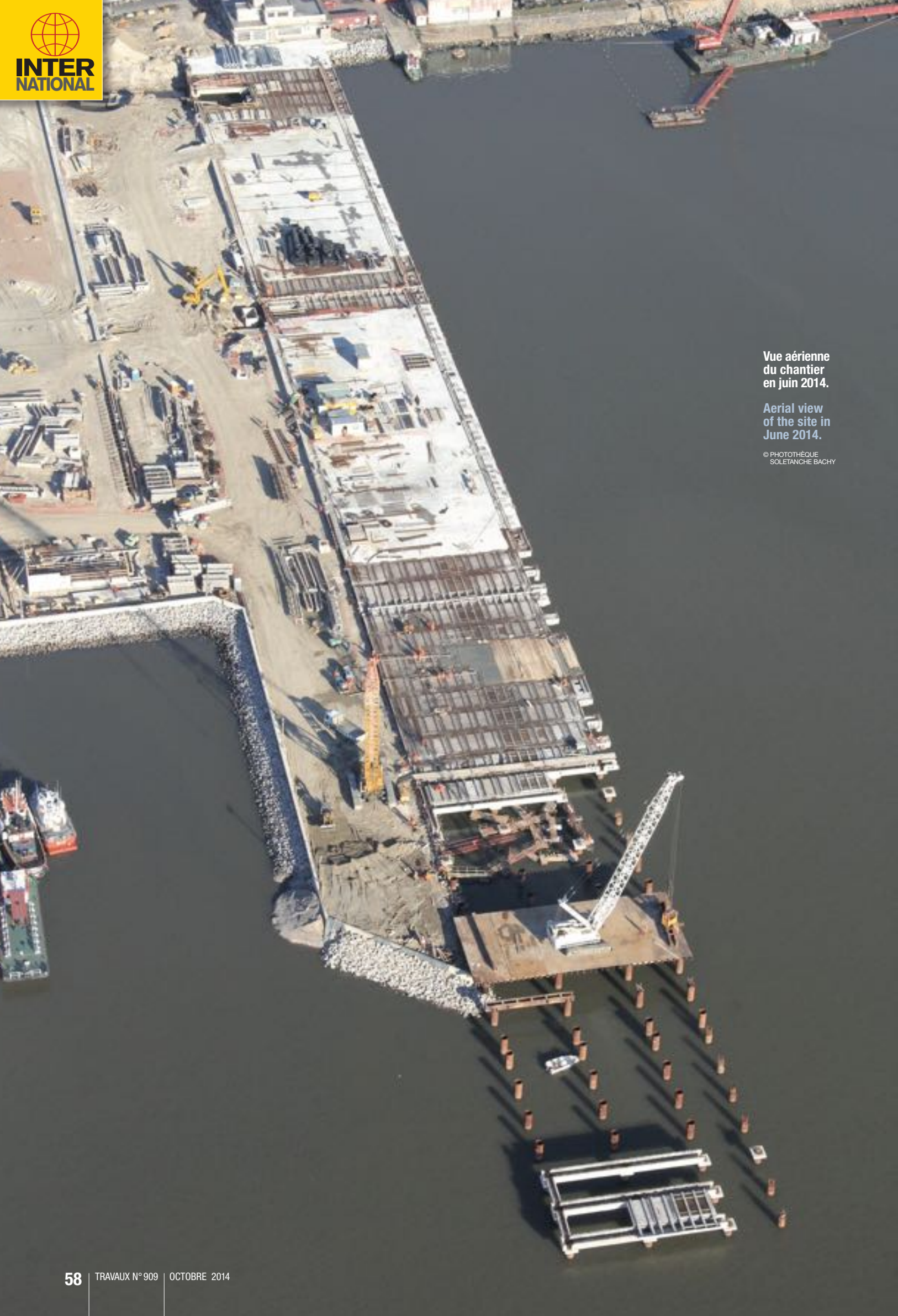
N. METGE, ISC (VINCI) - D. BERTHIER, ISC (VINCI) - F. CASTELEYN, SOGEA SATOM (VINCI)

Dimbala Bridge, designed by ISC, ensures continuity of the ring road around the city of Mongomo in Equatorial Guinea. Located 200 metres away from the border with Gabon, the bridge is a composite double girder of variable height with two equal 58.25-metre spans. The works were performed by Sogea Satom Guinée Équatoriale with the contribution of Baudin Chateauneuf for the structure. They will be completed in the summer of 2014. □

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE DE DIMBALA EN GUINEA ECUATORIAL

N. METGE, ISC (VINCI) - D. BERTHIER, ISC (VINCI) - F. CASTELEYN, SOGEA SATOM (VINCI)

Diseñado por ISC, el puente de Dimbala asegura la continuidad de la circunvalación de la ciudad de Mongomo en Guinea Ecuatorial. Situada a 200 m de la frontera con Gabón, la estructura es una viga doble mixta de altura variable con dos luces iguales de 58,25 m. Las obras han sido realizadas por Sogea Satom Guinée Équatoriale con la participación de Baudin Chateauneuf para el armazón. Finalizarán en el verano de 2014. □



Vue aérienne
du chantier
en juin 2014.

Aerial view
of the site in
June 2014.

© PHOTOÉQUIPE
SOLETANGHE BACHY

UN NOUVEAU QUAI DANS LE PORT DE MONTEVIDEO

AUTEURS : ROMAIN BRIEU, PROJECT MANAGER, SOLETANCHE BACHY - FLORENT ANDRÉ, RESPONSABLE DES TRAVAUX SPÉCIAUX, SOLETANCHE BACHY

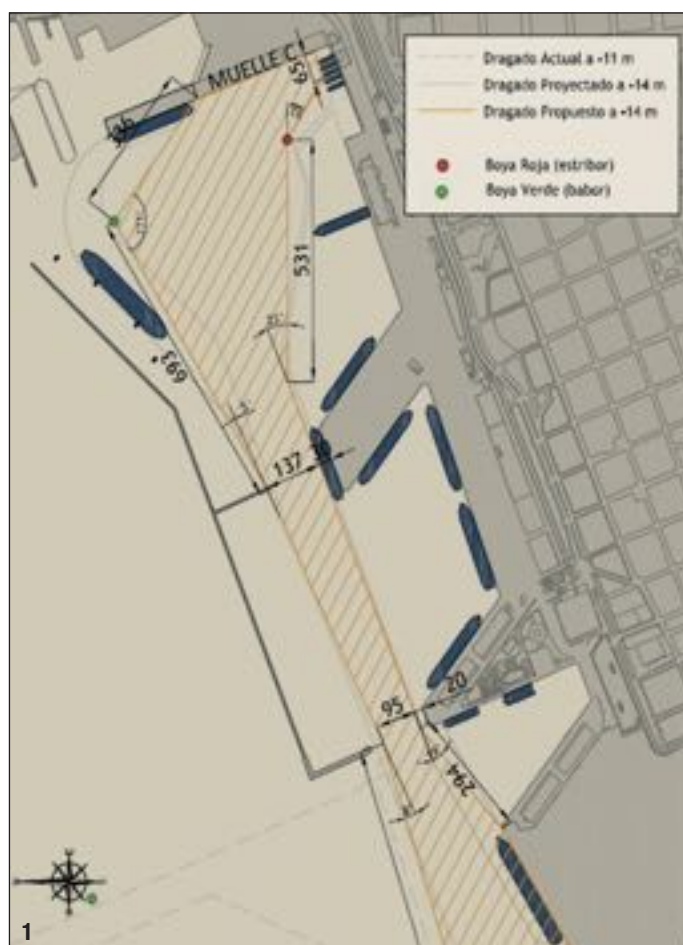
CE PROJET A COMPORTÉ UNE PHASE DE DESIGN IMPORTANTE, AVEC DES SIMULATIONS 3D, ET A REQUIS UNE COORDINATION INFAILLIBLE ENTRE LES DIVERS INTERVENANTS. LE TERMINAL DE 383 M DE LONG, CAPABLE D'ACCUEILLIR DES NAVIRES DE 270 M, REPOSE SUR UN RÉSEAU DE 256 PIEUX EN BÉTON FORÉS À PARTIR D'UNE PLATEFORME MOBILE.

Le port uruguayen de Montevideo se situe dans l'estuaire du fleuve Rio de la Plata qui matérialise la frontière entre l'Uruguay et l'Argentine.

Le projet consiste à construire, au fond de ce port, dans une zone en friche, un nouveau terminal portuaire de 383 m de longueur (incluant une extension de 40 m par rapport aux dimensions initiales, décidée par le client en cours de chantier), ainsi qu'une esplanade attenante de 36 000 m² destinée au stockage des containers. Le futur quai polyvalent pourra accueillir aussi bien des grues portiques que des engins mobiles. Il est de type quai danois, constitué d'éléments préfabriqués et d'une dalle béton coulée en place, le tout supporté par des pieux en béton.

MODÉLISATION 3D DES CONDITIONS DE NAVIGATION

Le contrat, signé en septembre 2011 entre l'Administration Nationale des Ports d'Uruguay et le consortium d'entreprises, est en conception-construction (Design and Build) ; de nombreux essais de sols complémentaires, ainsi que des campagnes de simulations informatiques en temps réel ont en effet dû être menés dans ce cadre. Pour ce faire, il a fallu tout d'abord recréer une modélisation 3D complète de la baie et des conditions d'entrée dans le port. Cette phase particulière a nécessité une étroite coopération avec l'université locale et les services gouvernementaux afin de rechercher et de compiler toutes les données spécifiques de la zone (vents, courants, marées, marnages, houle, état des structures existantes, etc.). À l'issue de cette première étape, des simulations de navigation virtuelle



© PHOTOTHÈQUE SOLETANCHE BACHY

**1- Études
de manoeuvrabilité.**

1- Manoeuvrability studies.

3D ont été réalisées par Siport21 à Madrid (figure 1), l'un des rares bureaux d'études capables d'assurer ce type de prestation. Il s'agissait de définir très précisément l'enveloppe des canaux d'accès et les dimensions des zones de revirement nécessaires aux navires pour se mettre en position sur le terminal. De fait, le design du projet est basé sur la possibilité d'accueillir un

Bulkcarrier de 235 m de long, de 34 m de large et de 70 000 TPM (Tonelage de Peso Muerto, représente le chargement maximum du bateau qui inclut, outre les marchandises, le poids du personnel, des vivres, du carburant, et même le pourcentage des charges non désirées comme la glace), ainsi qu'un porte-conteneurs de 270 m de long, de 40 m de large et de 65 000 TPM). Au cours de ces essais, plusieurs capitaines de marine marchande se sont donc relayés aux commandes de navires virtuels ; ils ont effectué une cinquantaine d'entrées/sorties, le simulateur 3D mixant bien entendu les conditions de navigation afin de balayer toutes les configurations possibles. Ces études de manoeuvrabilité virtuelles, beaucoup plus performantes que les classiques simulations informatiques qui avaient été menées en amont, ont dès lors permis de « redesigner » très précisément le projet. Elles ont pointé des configurations à risques, a priori non évidentes sur le papier, comme celles de bâtiments naviguant à vide, sans conteneurs, qui se sont révélés particulièrement sensibles à l'action des vents.

L'une des deux digues de protection existantes, qui limitent l'impact des courants et des vagues lors de l'accès au port, a dû ainsi être raccourcie de moitié (100 m au lieu des 200 m initiaux) (figure 2). Les données recueillies, qui permettent de prendre en compte les temps de réaction humains, ont par ailleurs fourni des informations sur la quantité de remorqueurs nécessaires, ainsi que des recommandations sur les angles de revirement optimum et, bien entendu, sur la profondeur de dragage à effectuer.



© PHOTOTHÈQUE SOLETANCHE BACHY

TRAVAUX PRÉLIMINAIRES CONCOMITANTS

Une fois les bases du projet définies et les autorisations administratives obtenues, les travaux proprement dits ont commencé en avril 2012. Les équipes de Dredging International (Deme) ont alors pu démarrer les opérations de dragage, conformément aux résultats fournis par les études de modélisation 3D. Ces dernières avaient en effet conclu à la nécessité de « surdraguer » le port profond de 9 m en moyenne à l'entrée, et de 4 m dans la zone de

construction du nouveau terminal. Dans la pratique, cette intervention s'est déroulée avec deux ateliers. Une drague Reynaert a approfondi l'entrée du port jusqu'à la cote -10,50 m PRH (Nivellement uruguayen, le niveau de la mer se situant à +1 m PRH en moyenne) et s'est enfoncée peu à peu vers la zone du nouveau terminal. Un complément jusqu'à -14 m PRH sera réalisé ultérieurement dans certaines zones spécifiques, selon les besoins du maître d'ouvrage. Simultanément, une pelle excavatrice, d'un modèle spécial pré-

paré sur une base de Caterpillar 385C, s'occupait des zones peu profondes (figure 3), à l'extrémité Est du port, périmètre où la drague ne pouvait accéder. Cette phase d'approfondissement avait une incidence sur la pérennité de bâtiments existants, situés au fond du port, en bordure du futur quai. C'est pourquoi des travaux supplémentaires de protection ont dû être effectués concomitamment. Notamment contre un bâtiment classé au patrimoine historique uruguayen - celui qui abritait les hydravions qui effectuaient les navettes entre Montevideo et Buenos-Aires - où un mur de soutènement de 25 à 30 m de hauteur a été construit. Cette structure de 60 m de long, constituée d'un rideau de micropieux (diamètre 270 mm) espacés de 60 cm, a permis d'assurer le maintien du talus sous-jacent. En parallèle, les équipes du consortium Soletanche Bachy/Saceem ont réalisé les travaux préliminaires qui consistaient à dégager la zone d'accès terrestre au futur quai et à la future esplanade, ceux-ci comprenant les démolitions d'un bâtiment hors d'usage et d'une ancienne bordure du port, le long du fleuve, dans l'emprise du chantier. Un sous-traitant uruguayen,

2- Travaux de modification de la digue en mer.

3- Matériel de dragage (pelle sur ponton et drague).

4- Travaux de vibroflotation du terre-plein.

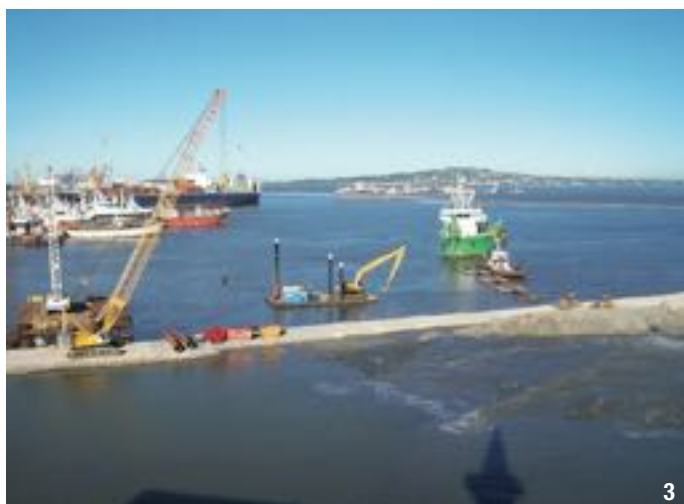
5- Essai statique sur pieu.

2- Breakwater modification works at sea.

3- Dredging equipment (shovel on pontoon and dredger).

4- Esplanade vibroflotation work.

5- Static test on pile.



3



4



5

© PHOTOTHÈQUE SOLETANCHE BACHY



Acosta Construccion, réalisait, quant à lui, la digue de contention permettant d'une part, de contenir le remblaiement de la plage à conteneurs et, d'autre part, de construire le quai. Cet ouvrage de 6 à 9 m de hauteur, d'une largeur en tête de 8 m, est constitué de granite concassé 0/60 provenant d'une carrière locale.

VIBROFLOTATION ET BCR

Pour finir les travaux préliminaires, une campagne de sondages géotechniques était simultanément menée par Geoproyectos, entreprise de reconnaissance de sols argentine. Elle a permis de définir les cotes de fondation des pieux et de dragage de l'esplanade, ainsi que d'évaluer la possibilité d'utiliser le sable

dragué pour le remblaiement de l'esplanade. Cette dernière étude a conclu que, contrairement aux prévisions de l'avant-projet, le matériau extrait se révélait trop argileux et n'avait donc pas les propriétés requises. La drague devait donc, dans un premier temps, évacuer les déblais dans une zone implantée à quelques kilomètres du port, puis, dans

un autre secteur situé à l'extérieur de l'enclave portuaire, charger un sable apte au remblaiement. Une fois l'ensemble de ces travaux préliminaires terminé, les équipes ont été renforcées pour aborder la construction du quai proprement dite, ainsi que les travaux de compactage de l'esplanade fraîchement remblayée par la technique de la vibroflotation (figure 4). Cette technique de stabilisation des sols granulaires tels que les sables lâches, les graviers et remblais, consiste à mettre les particules en suspension par vibration, afin de permettre leur réarrangement pour atteindre un état plus dense. À noter que c'est le bureau d'études de Vibroflotation Group, filiale de Soletanche Bachy, qui a réalisé les études et fourni les spécifications sur la qualité du remblai, les fuseaux granulométriques, la maille du traitement et la puissance d'injection du mélange air/eau. À l'issue de cette phase de compactage, tous les réseaux classiques (électricité, bornes anti-incendie, éclairage) ont été installés et une couche en BCR (voir encadré : Des barrages aux applications portuaires) a été proposée en variante technique, ce qui représentait pour le consortium une première sur un ouvrage de ce type. ▷

6- Vibrofonçage des tubes depuis la plateforme métallique.

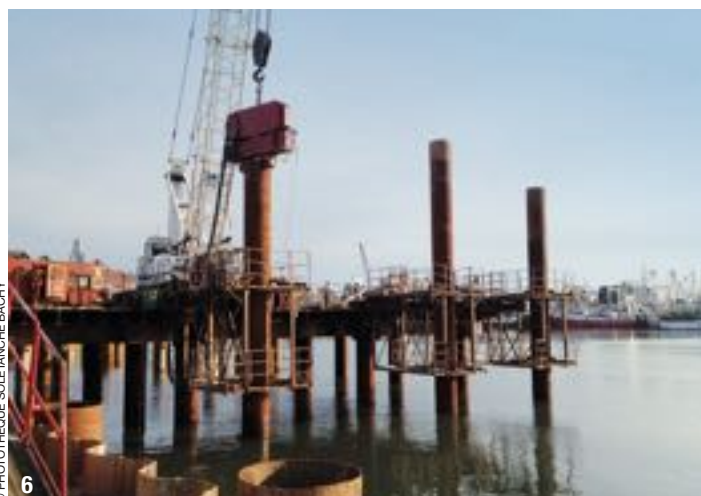
7- Opération de forage dans les tubes métalliques.

6- Vibropiling of tubes from the steel platform.

7- Drilling operation in the steel tubes.

DES BARRAGES AUX APPLICATIONS PORTUAIRES

La technique de béton compacté au rouleau (BCR) est apparue dans les années 1960. Les premières applications importantes ont été réalisées majoritairement sur des barrages, le plus souvent de type poids, à partir de 1980. Depuis cette date, plus de 250 barrages ont été construits dans le monde, dont certains de hauteur dépassant 200 m. La différence essentielle, avec un béton classique, réside dans sa consistance qui lui permet de supporter le serrage par rouleau vibrant lourd. Sur un ouvrage portuaire, le procédé BCR offre l'avantage de réduire considérablement les opérations d'entretien et ce, contrairement aux pavés autobloquants, classiquement utilisés, qui peuvent se casser et générer des problèmes de tassement. Pour cette réalisation, qui a nécessité l'installation d'une centrale dédiée sur le chantier, c'est une formulation (renforcée en ciment) provenant des normes des cimentiers américains qui a été employée, le sous-traitant en charge des travaux ayant déjà une expérience préalable sur la mise en œuvre du matériau.





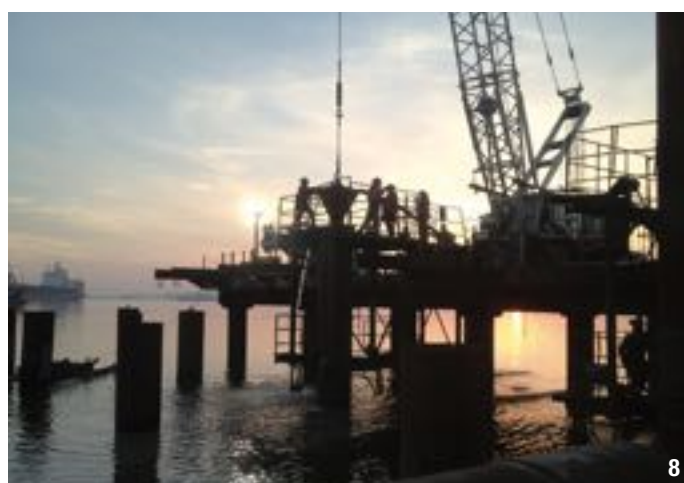
9

© PHOTOTHÈQUE SOLETANCHE BACHY

Avant d'attaquer les travaux de structure du quai, il a fallu, avec l'aide de Cimesa, filiale mexicaine de Soletanche Bachy, concevoir et réaliser un essai de pieu par chargement statique (figure 5). Cet essai permettait, d'une part, de valider le design théorique et, d'autre part, d'ajuster le matériel de perforation et de paramétrer le battage des tubes de pieux en fonction des caractéristiques du terrain. L'ouvrage de 33 m de large repose sur quatre files de pieux forés en béton de diamètre 1 000 mm, soit 256 éléments pouvant atteindre jusqu'à 44 m de profondeur selon les conditions géologiques, avec une profondeur moyenne 35 m. Cette solution technique a été imposée par le client, bien que beaucoup plus lourde et lente que de simples pieux métalliques battus. Il fallait en effet, d'abord mettre en place un tube métallique par vibrofonçage et battage (figure 6) avant de forer à l'intérieur (figure 7), à travers des horizons sableux, puis argileux. Un ancrage de 3 m dans le substratum rocheux était ensuite réalisé avant le bétonnage du pieu (figure 8).

PLATE-FORME DE FORAGE MOBILE

Ce substratum constitué d'une amphibolite décomposée puis fracturée s'étant révélé plus dur que les prévisions fournies dans l'avant-projet, sa perforation a nécessité l'emploi du



8

© PHOTOTHÈQUE SOLETANCHE BACHY

RÉPARTITION DES TÂCHES DANS LE CONSORTIUM

Soletanche Bachy a dépêché sur place un encadrement composé d'expatriés, cadres français, opérateurs et chefs de chantiers venant du Mexique, du Chili, d'Argentine et des Philippines. Le matériel et le personnel de Soletanche Bachy est affecté aux travaux des pieux du quai, d'amélioration de sols, d'encrochements de protection des talus et de démolition d'une digue. Saceem est une société uruguayenne, dont le personnel est exclusivement local, en charge des travaux de génie civil du quai, de réseaux et services, ainsi que des couches supérieures de l'esplanade conteneurs. Les deux entreprises travaillent en consortium intégré. Dredging International Deme, société belge, vient compléter le groupement, ses moyens étant affectés aux tâches de dragage et de refolement pour la réalisation du terre-plein. La définition de l'ensemble du projet a été opérée en direct par Berenguer Ingenieros ; quelques particularités techniques ont été sous-traitées à des bureaux d'études spécialisées : géotechnique, électricité, dragage et designs temporaires.

8- Opération de bétonnage des pieux.

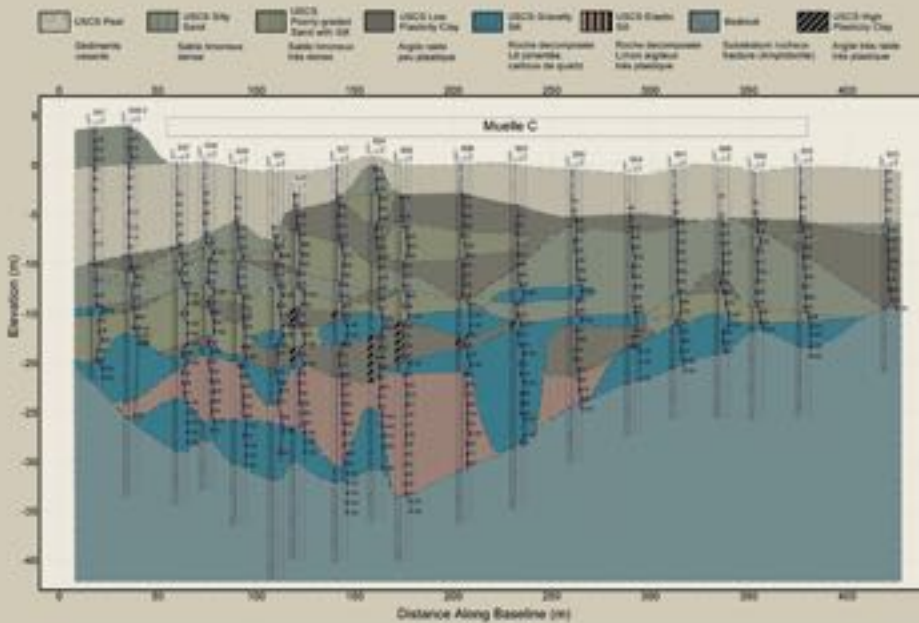
9- Réalisation des pieux d'extrémité depuis un ponton avec, à côté, l'atelier de pieux sur plateforme.

8- Pile concreting operation.

9- Execution of end piles from a pontoon with, alongside, the pile workshop on a platform.

trépan. La mise en œuvre d'un second atelier s'est révélée nécessaire. Or, le choix technique consistait à réaliser les pieux du quai depuis une plateforme métallique mobile, venant prendre appui sur les éléments précédemment exécutés. Cette méthode permet d'éviter les interventions depuis un ponton et, en conséquence, de s'affranchir des contraintes liées aux travaux maritimes, telles que houle, marée, manœuvres. Dans le cas d'espèce, elle s'avère aussi plus économique, le marché des pontons étant relativement fermé

PRÉ-DIMENSIONNEMENT DE LA LONGUEUR DES PIEUX



© PHOTO THÉQUE SOLETANICHE BACHY

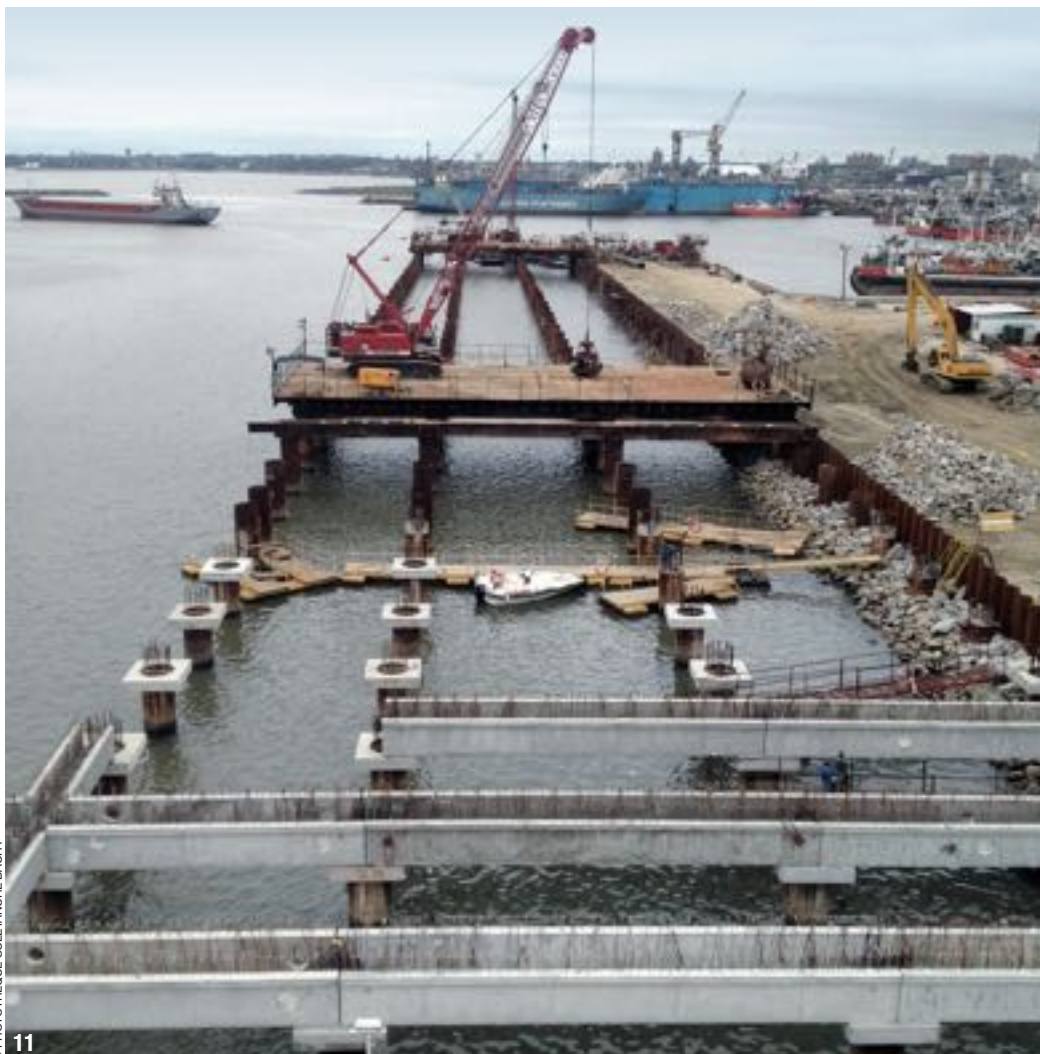
10

10- Pré-dimensionnement de la longueur des pieux.

11- Pose des têtes et des poutres en béton préfabriqué (au loin, l'atelier de pieux).

10- Preliminary sizing of pile length.

11- Placing the precast concrete heads and beams (in the distance, the pile workshop).



© PHOTO THÉQUE SOLETANICHE BACHY

11

en Uruguay et les prix de location peu attractifs. Trois pontons ont néanmoins été employés pour réaliser une partie des pieux dans une zone spécifique où il n'y avait pas d'autre solution (figure 9) ainsi que les travaux d'enrochement et de modification de la digue en mer. En revanche, dans cette configuration, les tubes métalliques ont un rôle structurel, puisqu'ils doivent supporter le poids de la plateforme elle-même, mais aussi celui de la grue qui réalise les pieux suivants. Au contraire, avec une intervention depuis un ponton, les tubes sont simplement vibrofoncés dans les horizons sableux/argileux. Après le vibrofonçage, une opération de battage devait ainsi être réalisée à l'aide d'un marteau hydraulique, avec un critère de réception minimum (profondeur/nombre de coups par mètre). Cette opération est susceptible de provoquer une déformation du pied des tubes métalliques, d'où une équation technico-économique complexe pour choisir l'épaisseur de ceux-ci. Leur prix n'est en effet pas pris en compte par le maître d'ouvrage, puisqu'ils sont considérés comme un simple coffrage perdu sans rôle structurel. Mais, en cas de déformation du tube, l'outillage de perforation ne peut plus passer et la cote d'ancrage dans l'amphibolite fracturée ne peut dès lors être atteinte. C'est le bureau d'étude Cathie Associates, basé à Nanterre, qui a résolu ce casse-tête complexe en s'appuyant sur les paramètres de sol, les contraintes évoquées et l'essai de charge. Les calculs, effectués pieu par pieu, ont assuré un dimensionnement fin (figure 10) qui a ainsi permis de limiter le nombre de tubes endommagés, tout en maintenant les rendements de battage prévus. ▽



12



13

© PHOTO THÉRIE SOLETANCHE BACHY

Les conditions d'intervention, depuis la plateforme, ont par ailleurs requis des adaptations de la machine de forage RT3S. Ces modifications, effectuées en collaboration avec Soilmec, ont porté sur un renforcement des systèmes de montage, l'engin devant forer à une distance de 6 à 7 m de la grue, alors que son périmètre d'intervention classique se situe autour de 2 m. La superstructure du quai est, quant à elle, constituée d'un système de têtes en béton préfabriquées (1,30 x 1,30 m), positionnées au sommet des pieux (figure 11), qui permettent de rattraper les tolérances d'exécution de ces derniers. Les poutres préfabriquées sont alors placées dans leur position théorique (figure 12), puis les prédalles préfabriquées (figure 13). La dalle de compression de 15 à 25 cm d'épaisseur est ensuite coulée en place. Parmi les difficultés particulières du chantier il faut également souligner les grandes

12- Pose des poutres.
13- Pose des prédalles.

12- Placing beams.

13- Placing precast form-work units.

exigences environnementales qui ont obligé à concevoir un radeau flottant capable de récupérer tous les déblais et les résidus de béton en mer. Un important émissaire d'eau pluviale (2,50 x 1,80 m) a, par ailleurs, dû être prolongé de 35 m. Les travaux ont nécessité le bétonnage sous nappe de trois U de calage qui ont ensuite servi d'appuis aux quatre pièces préfabriquées permettant de réaliser l'extension. □

QUANTITÉS PRINCIPALES

MATÉRIAUX DRAGUÉS : 2 810 430 m³

MATÉRIAUX REMBLAYÉS ET VIBROCOMPACTÉS : 250 000 m³

DIGUE (CONCASSÉ 0/50) : 100 000 m³

PIEUX : 7 000 m

BÉTON : 15 000 m³

ENROCHEMENTS : 20 000 m³

ESPLANADE : 36 000 m²

LES INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Administración Nacional de los Puertos de Uruguay (ANP)

SUPERVISION : Consortium CSI (Uruguay) ; Prointec (Espagne) ; Serman (Argentine)

BUREAU D'ÉTUDES PRINCIPAL : Berenguer Ingenieros

ENTREPRISES : Consortium Soletanche Bachy - Saceem (Uruguay) - Dredging International Deme (Belgique)

ABSTRACT

A NEW QUAY IN THE PORT OF MONTEVIDEO

ROMAIN BRIEU, SOLETANCHE BACHY - FLORENT ANDRÉ, SOLETANCHE BACHY

Uruguay's National Port Authority, ANP, awarded the consortium formed by Soletanche Bachy, Saceem and Dredging International Deme a contract for the construction of a new terminal 383 metres long and 33 metres wide in the Port of Montevideo. Its design made use of sophisticated 3D simulations, based on data collected from government departments and universities. It is a Danish type quay, supported on 256 concrete pile foundations, formed of prefabricated elements and a cast-in-situ slab. The piles, of average depth 35 metres, are executed from a mobile platform which moves forward supported by the part already constructed. This method was preferred to execution from a pontoon. The project also provides for the construction of an adjacent 36,000 sq.m esplanade for storing containers. The works required substantial dredging operations, the construction of a 100,000 cu.m riprap breakwater, and the placing of 300,000 cu.m of backfilled and vibrocompacted materials. □

UN NUEVO MUELLE EN EL PUERTO DE MONTEVIDEO

ROMAIN BRIEU, SOLETANCHE BACHY - FLORENT ANDRÉ, SOLETANCHE BACHY

La Administración Nacional de los Puertos Uruguayos ha confiado a la agrupación de empresas Soletanche Bachy y Saceem-Dredging International Deme la construcción de una nueva terminal de 383 m de largo y 33 m de ancho en el puerto de Montevideo. Su diseño ha recurrido a sofisticadas simulaciones 3D a partir de datos recopilados ante servicios públicos y universidades. Es un muelle de tipo danés, que toma apoyo en 256 pilotes de hormigón, compuesto de elementos prefabricados y una losa colada in situ. Los pilotes de 35 m de profundidad media se ejecutan a partir de una plataforma móvil que avanza tomando apoyo en la parte realizada. Se ha preferido este método a la ejecución desde un pontón. El proyecto también prevé la realización de una explanada contigua de 36.000 m², destinada al almacenamiento de contenedores. Además de importantes dragados, el conjunto de las obras habrá requerido la realización de un dique de escollera de 100.000 m³, así como la utilización de 300.000 m³ de materiales terraplenados y vibrocompactados. □



1

© SOLETANCHE BACHY

LA LISTE DES RECORDS À DUBAÏ S'ALLONGE AVEC LE NOUVEAU TERMINAL CONTENEURS T3

AUTEURS : FRANK HUPPERT, CHEF DE PROJET, DIVISION INTERNATIONALE, SOLETANCHE BACHY - SÉBASTIEN FRULEUX, INGÉNIEUR TRAVAUX, DIVISION INTERNATIONALE, SOLETANCHE BACHY

DP WORLD EST SUR LE POINT DE METTRE EN SERVICE LE PLUS GRAND TERMINAL SEMI-AUTOMATIQUE AU MONDE, CAPABLE D'ACCUEILLIR JUSQU'À 4 MILLIONS DE « TEU ». LE TERMINAL CONTENEURS 3 (T3) PERMET AINSI D'ÉLEVER LA CAPACITÉ GLOBALE DU PORT DE JEBEL ALI À 19 MILLIONS DE « TEU », PARTAGÉE ENTRE SES TROIS TERMINAUX. IL DONNERA AUSSI LA POSSIBILITÉ AU PORT DE RECEVOIR À LA FOIS JUSQU'À 10 PORTE-CONTENEURS DE TYPE ULTRA LARGE POST PANAMAX.

INTRODUCTION

Le projet, au sein du port de Jebel Ali, à trente-cinq kilomètres au sud-ouest de Dubaï, est stratégiquement situé au cœur des Émirats Arabes Unis.

Il est entouré par « Jebel Ali Freezone » (Jafza), une zone accueillant plus de 7100 entreprises venant de 125 pays différents. C'est actuellement le plus grand port du Moyen-Orient, avec 67 postes à quai et une surface de 134,68 km².

Afin de répondre aux demandes croissantes du marché, DP World (maître d'ouvrage du projet) a décidé de transformer une de ses zones « cargos » en un terminal conteneurs à la

1- Vue d'ensemble des ateliers de paroi moulée.

1- General view of diaphragm wall equipment.

pointe du progrès. Le nouveau terminal, nommé Terminal Conteneurs 3 (T3) a été construit à l'emplacement de deux quais existants : le quai 10 (Q10) et le quai Ouest (West Wharf - WW), utilisés auparavant par le département

maritime de DP World (figure 2).

Ce terminal est situé en face (direction ouest) du Terminal Conteneurs Jebel Ali T1 déjà en opération. L'objectif du commanditaire était de dimensionner, construire, équiper et mettre en service le nouveau terminal afin d'obtenir une capacité de 4 millions de TEU (Twenty feet Equivalent Unit) par an. Comme les quais existants Q10 et WW sont décalés l'un par rapport à l'autre et ne possèdent pas le tirant d'eau requis pour le nouveau terminal, un nouveau quai de 1862 m est donc construit parallèlement, 33 m devant le quai existant Q10, et 10 m derrière le quai existant WW. Pour cette raison,

une zone de 1150 m de long sur 35 m de large a été préalablement remblayée en face de Q10 avec du sable marin récupéré en mer par une drague auto-porteuse suceuse et projeté sur site.

L'extension du nouveau terminal comprendra, à la fin du chantier, le dragage le long du nouveau quai afin de se raccorder avec le niveau du canal existant, la démolition des bâtiments et des quais existants, la création d'une plateforme de stockage de 78 ha, la construction des nouveaux bâtiments liés à la gestion du terminal, la construction de nouvelles routes et portiques d'accès, ainsi que la connexion du terminal aux réseaux existants (eau, électricité, etc.). ▷

T3 sera équipé de 19 portiques de manutention semi-automatiques (Ship to Shore (STS) cranes). Un certain nombre de portiques ont déjà été livrés. Il arrivent par navire, entièrement assemblés et (figure 3) sont directement déchargés et mis en place sur leurs rails.

La zone de stockage est desservie par 50 portiques sur rails (Rail Mounted Gantry (RMG) cranes) qui sont fournis avec des structures en porte-à-faux de 10 m de part et d'autre qui permettront de charger et décharger les semi-remorques (figure 4).

DPWorld insiste particulièrement sur le contrôle des tassements, ainsi que sur la limitation des tassements différentiels sur l'ensemble du quai et des zones de stockage.

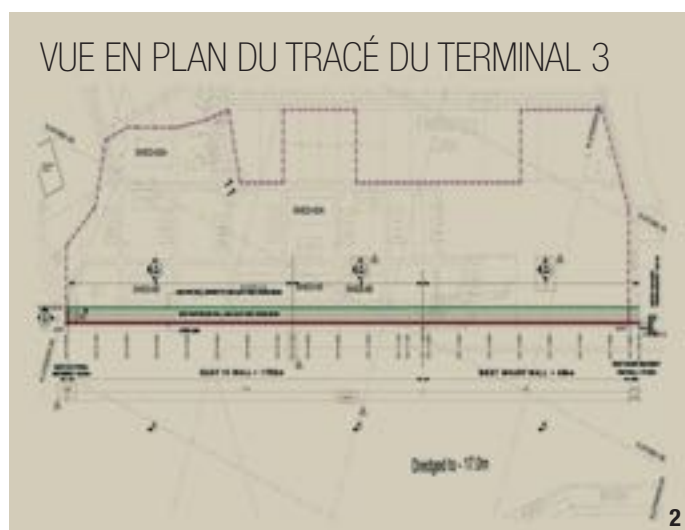
Des tassements différentiels auraient d'importants effets négatifs sur les opérations portuaires, générant en particulier des problèmes d'alignement ou de non planéité des rails des grues.

En mai 2012, le contrat de conception et de construction du terminal T3 a été attribué au groupement composé de TOA Corporation (groupe de construction japonais) et de Soletanche Bachy (filiale de Vinci Construction).

Les principaux domaines d'expertise et de responsabilité de Soletanche Bachy au sein du groupement consistent dans le traitement du sable remblayé en face de Q10 et dans la conception/construction de la structure du quai.

AMÉLIORATION DE SOL

Le terminal T3 est en zone à risques sismiques. Afin de pallier tout risque de stabilité pour le quai, Soletanche Bachy a opté pour une amélioration des sols sur la partie Q10. La qualité de l'amélioration des sols a été contrôlée par SPT, ce qui a permis de démontrer que l'objectif d'amélioration vis-à-vis de la liquéfaction a été atteint. En revanche,



© SOLETANCHE BACHY

la partie WW, présentant un SPT de 20 en moyenne, ne présentait pas de risques de liquéfaction et n'a donc pas nécessité d'amélioration des sols. Afin de garantir que les tassements du quai vont rester dans les tolérances d'utilisation du terminal et afin d'éviter la liquéfaction du sol pendant les séismes, le remblai en face de Q10, sur une zone de 1150 m sur 35 m, a dû être compacté jusqu'à une profondeur de 16 m (niveau de fond existant). Basée sur la longue expérience en vibrocompaction de Soletanche Bachy dans les Émirats Arabes Unis, cette méthode a été choisie pour améliorer les caractéristiques du sol en face de Q10. Menard, entreprise sœur de Soletanche Bachy au sein de Soletanche Freyssinet, a effectué ces travaux de vibrocompaction.

STRUCTURE DU MUR DE QUAI

La conception du mur de quai présente la particularité de combiner les fondations des grues STS et le système d'ancrage du mur de quai en un seul et même ouvrage géotechnique.

2- Vue en plan du tracé du Terminal 3.

3- Livraison de grues type STS.

4- Livraison de grues type RMG (poutre de couronnement au premier plan).

2- Plan view of the Terminal 3 layout.

3- Delivery of STS cranes.

4- Delivery of RMG cranes (capping beam in foreground).

Plusieurs techniques existantes et d'ailleurs expérimentées sur d'autres projets s'appliquent parfaitement à T3. Cependant, le cahier des charges impose une durée de vie de 50 ans pour le mur de quai et son système d'ancrage.

Aussi l'entreprise Soletanche Bachy a-t-elle choisi la technique de la paroi moulée pour le mur de quai. La stabilité du mur est obtenue grâce à un système de tirants passifs connectés à un mur d'ancrage. Cette technique s'impose de plus en plus, dans le monde entier, en considération des durées de vie et des contraintes imposées par les commanditaires.

Soletanche Bachy a retenu la méthode d'excavation de la paroi moulée par Hydrofraise (HF v3.5 et v5 sur T3) en épaisseur 1500 mm, sur une profondeur de 28,50 m (figure 5). Le mur en paroi moulée est retenu par un mur d'ancrage constitué de barrettes de 800 mm d'épaisseur pour une profondeur de 11 m. Les barrettes sont mises en place par des outils d'excavation développés en interne chez Soletanche Bachy, tels que le KS (benne hydraulique). L'ancrage entre la paroi moulée et les barrettes est assuré par des tirants de 35 m de long, composés de 4 éléments chacun, et connectés entre eux par des coupleurs vissés. Les niveaux des tirants varient entre Q10 et WW. Ils sont à 0 m ACD (côté mur de quai) et -2 m ACD (côté mur d'ancrage) pour la partie Q10, alors qu'ils sont à 0 m ACD (côté mur de quai) et -1,615 m ACD (côté mur d'ancrage) pour la partie WW (figure 6).

PHASAGE

Le phasage des travaux de Soletanche Bachy a changé à plusieurs reprises lors du chantier, afin de s'adapter aux contraintes imposées par le client ou par le partenaire.



© SOLETANCHE BACHY

La première étape importante fut l'amenée de sable sur Q10, pour aligner les deux parties (Q10 et WW) sur le même tracé. Le terrain gagné sur la mer a ensuite été soumis à la vibrocompaction comme expliqué auparavant.

Soletanche Bachy a ensuite commencé la construction du mur de quai et du mur d'ancrage en parallèle. Le chantier a tourné 6 jours sur 7, 24 heures sur 24, avec deux hydrofraises pour le mur de quai et une benne hydraulique KS pour le mur d'ancrage. La totalité du projet comprend 268 panneaux de 7,20 m de largeur chacun, et 535 barrettes de 3,60 m de largeur chacune. Il a fallu 12 mois à Soletanche Bachy pour achever l'ensemble des panneaux et des barrettes en bétonnant parfois jusqu'à 12 panneaux par semaine (un panneau correspondant environ à 310 m³ de béton), et 10 barrettes par jour (une barrette correspondant environ à 25 m³ de béton) au plus fort de l'activité (figures 1 & 7).

Afin d'obtenir un rendement respectant le programme de construction, les services techniques internes de Soletanche Bachy ont spécifiquement élaboré une boue de forage adaptée aux conditions géo-mécaniques et minéralogiques complexes des sols rencontrés sur site. Q10 ayant été gagné sur la mer, il restait quelques éléments entre le fond marin existant et le sable soumis à la vibrocompaction. Il est arrivé plus d'une fois aux opérateurs de l'hydrofraise de remonter des objets tels que des pneus, des chaînes d'amarrage, des ancres de bateaux, des bittes d'amarrage. Sur la partie WW, le nouveau tracé passant juste derrière le mur existant constitué



© SOLETANCHE BACHY

5- Excavation de paroi avec Hydrofraise épaisseur 1 500 mm.

6- Coupe du mur de quai et du mur d'ancrage.

5- Wall excavation by hydro-fraise, thickness 1500 mm.

6- Cross section of the quay wall and anchoring wall.

de palplanches ancrées par des tirants passifs qui avaient été préalablement enlevés par le partenaire japonais. Cependant, à plusieurs reprises, les opérateurs ont remonté des éléments de tirants allant jusqu'à 10 m de long, ou encore des morceaux de palplanches. La formule du béton mis en place a été élaborée par le laboratoire de Soletanche Bachy basé à Montereau, afin d'obtenir une résistance à 28 jours de 45 MPa.

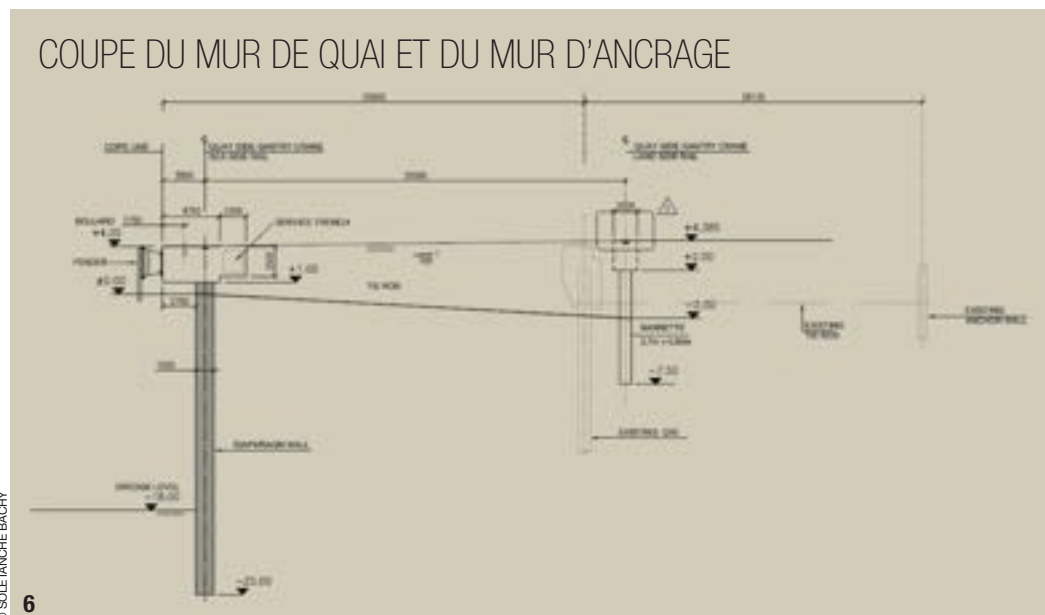
Le contrôle qualité pendant la construction de la paroi et des barrettes a été

directement placé sous la responsabilité de plusieurs expatriés venus de France : centralistes pour le contrôle de la boue, chefs de postes et conducteurs de travaux expérimentés pour le contrôle de l'excavation, de la mise en place des cages et du bétonnage. Enfin, plusieurs ingénieurs travaux avaient en charge le contrôle qualité du béton, des armatures (figure 8) et des différents tests effectués en laboratoire. L'implantation d'un centre de maintenance directement sur le chantier, avec des mécaniciens expérimentés venus de France et un ensemble de pièces de rechange en stock, a largement contribué au succès de ce chantier.

Une fois la boue de forage, le béton et le système qualité sous contrôle, il s'agissait de se pencher sur les quelques points structurels critiques du projet, tels que les liaisons entre la nouvelle paroi et les quais existants au nord et au sud. Le quai existant au sud étant composé de blocs en béton, et celui au nord de palplanches, Soletanche Bachy a décidé de mettre en œuvre de l'injection entre ces anciens ouvrages et la nouvelle paroi moulée. L'injection à la jonction au sud s'est faite avant bétonnage par tube à manchette installé directement dans l'armature du panneau. L'injection au nord de la paroi s'est effectuée après la construction de la paroi, suite à des contraintes de délais.

Une fois la paroi et les barrettes bétonnées, Soletanche Bachy a commencé le terrassement préliminaire à l'installation des tirants (figure 9). Le terrassement, la mise en place des tirants, puis le remblaiement, se sont effectués simultanément aux opérations de forage et de bétonnage. La configuration linéaire du projet a permis une organisation du chantier par postes, sur la base d'un planning de type « chemin de fer ».

Le terrain sur WW étant trop dur pour les pelles classiques de terrassement, il a fallu faire appel à un matériel plus lourd : des bulldozers D8 et des BRH de 50 t qui ont permis de réduire la taille des blocs de grès extraits pendant l'excavation, dont le volume a pu atteindre un mètre cube. Les résidus ont ensuite été passés sur un tamis fabriqué sur place par Soletanche Bachy. Ce tamis, constitué de barres d'acier de diamètre 40 mm, a permis d'éliminer les blocs de dimension supérieure à 250 mm. Une fois l'excavation suffisamment avancée, Soletanche Bachy a lancé l'installation des 1 068 tirants de diamètres 65 mm sur WW et 72 mm sur Q10 (figure 10).



© SOLETANCHE BACHY



7



8



9



10

La méthode de mise en place utilisée était assez simple. Les tirants ont tous été livrés de Thaïlande par bateau et la cadence d'exécution sur chantier a atteint 8 tirants par jour (4 éléments par tirant et donc 32 éléments par jour). Les tirants sont connectés à la paroi et aux barrettes par des inserts qui sont mis en place dans les cages avant leur introduction dans le forage et avant bétonnage.

La conception des tirants a pris en compte une épaisseur sacrificielle pour pallier la corrosion durant leur période de vie. Outre les préconisations imposées par la conception du système, les tirants sont totalement enveloppés avec des bandes protectrices isolantes. Ils sont isolés électriquement des cages d'armatures du mur de quai pour supprimer tout phénomène électrochimique.

L'installation des tirants était simple dans son principe. Elle a tout de même donné lieu à quelques événements inattendus comme la découverte d'un insert hors tolérance, anomalie facilement réparée (1 défaut sur 2136 inserts au total, pour une tolérance de positionnement de 75 mm). Par ailleurs, la jonction entre T3 et le quai existant Sud comportant un angle à 90 degrés sur le cinquième panneau, il a fallu installer deux lits de tirants juxtaposés à 20 cm les uns au-dessus des autres,

dans une boîte de 30 m sur 20 m et 2,20 m de profondeur. Outre le système de rabattement de la nappe par puits, Soletanche Bachy a utilisé des pompes submersibles afin de s'affranchir des marées, la mer étant située à quelques mètres de la fouille (figure 11).

Enfin il a fallu gérer le planning variable des partenaires, parfois à l'encontre du planning chemin de fer de départ. La tour de contrôle existante se trouvant exactement à la jonction entre Q10 et WW, l'obtention des permis de démolition a retardé les travaux sur cette zone (environ 102 tirants). La construction de la paroi n'a cependant pas été affectée par ce retard, car les hydrofraises ont pu travailler en changeant d'angle d'attaque et les barrettes ont pu être construites avant la démolition de la tour (figure 12). En ce qui concerne les 102 tirants restants, une pause de 4 mois s'est révélée nécessaire.

Les travaux effectués par Soletanche Bachy ne se sont pas arrêtés au mur du quai. En effet, DPWorld a demandé à Soletanche Bachy de reprendre une partie des travaux de génie civil, tels que la poutre de couronnement du mur de quai et du mur d'ancrage, d'une longueur totale de 660 m.

La poutre de couronnement n'ayant pas une géométrie classique, elle a été sous-traitée à une entreprise locale supervisée par Soletanche Bachy.

7- Équipe béton pendant le bétonnage d'un panneau de 310 m³.

8- Armatures de paroi moulée (chaque panneau est composé de 4 cages).

9- Installation des tirants après la destruction du combi wall existant.

10- Manutention d'armature de panneau faisant 24 tonnes.

7- Concrete work team during concreting of a 310 cu.m panel.

8- Diaphragm wall reinforcements (each panel comprises 4 reinforcing cages).

9- Installation of tie rods after destruction of the existing combi wall.

10- Handling a panel reinforcement weighing 24 tonnes.

LES QUANTITÉS

AMÉLIORATION DE SOL

VIBROCOMPACTION :

- Surface : 40 250 m²
- Profondeur : 16 m
- Volume : 644 000 m³

MUR DE QUAÏ

PAROI MOULÉE :

- Longueur : 1 926 m
- Épaisseur : 1,50 m
- Profondeur : 28,50 m
- Nombre de panneaux : 268

MUR D'ANCRAGE

BARRETTES :

- Longueur : 1 893 m
- Épaisseur : 0,80 m
- Profondeur : 11 m
- Nombre de barrettes : 535 U

MATÉRIAUX

BÉTON :

- Volume total : 84 000 m³

ACIER :

- Poids total : 7 211 t

TIRANTS :

- Longueur : 35 m
- Diamètre Q10 : 65 mm
- Diamètre WW : 72 mm
- No. de tirants : 1 068 U



11



12

Les difficultés rencontrées ont été d'ordre logistique car ce travail a été effectué en sous-traitance du partenaire TOA Corp. contrairement au reste des travaux effectués en tant que constructeur général et partenaire de TOA Corp.. Il a fallu se soumettre aux contraintes de livraison des matériaux bruts et de leur qualité, notamment pour les aciers et les bétons. De plus, la structure a subi plusieurs changements de dimensionnement en cours de construction impactant les plans de ferrailage et les quantités d'acier. Ceci s'est ajouté à la complexité de l'ouvrage caractérisée par les nombreuses réservations prévues pour les câbles d'alimentation des grues, les prises de terre, l'évacuation des eaux, les échelles d'accès côté mer, les bollards et autres appareils de quai.

CONTRÔLE QUALITÉ

La paroi moulée et les barrettes ont été soumises à un système strict de contrôle qualité. Tout d'abord ont été réalisés des tests usuels sur la boue de forage et le béton. Puis, le béton de 49 panneaux et 56 barrettes a été soumis à auscultation sonique par Soldata. De plus, l'épaisseur d'enrobage des

armatures par le béton a été contrôlée par mesures sur les parties découvertes de la paroi. Tous les résultats de ces essais ont démontré que la structure était conforme aux normes imposées.

11- La proximité de la mer a été un facteur important, notamment pendant la pose des tirants.

12- Travaux de paroi moulée à proximité de la tour de contrôle en attente de démolition.

11- Closeness to the sea was an important factor, especially during placing of the tie rods.

12- Diaphragm wall work near the control tower pending demolition.

MOUVEMENT DU MUR DE QUAI

Suite à la demande du commanditaire, les 500 premiers mètres de quai devaient être terminés pour la livraison et l'installation des premières grues STS et RMG. Aussi, les rails ont-ils été installés sur 500 m avant que le dragage au niveau final soit terminé. Cette demande a nécessité une estimation des mouvements du quai à venir après le dragage au niveau final. L'installation des rails a pris en compte cette estimation. Les mouvements ont été contrôlés par des mesures de déflexion, via des tubes inclinomètres installés par Soldata dans la paroi et par des mesures topographiques réalisées par Soletanche Bachy.

Les mouvements mesurés correspondent aux prévisions de la conception. Ils fournissent une tolérance suffisante pour les mouvements à venir au cours de la vie de la paroi moulée pendant l'utilisation du terminal.

Les travaux de fondation et de génie civil assignés à Soletanche Bachy se sont terminés en juillet 2014.

En conclusion, le chantier T3 qui devait être un chantier à production linéaire a cependant fait l'objet de changements de programme et de méthodes de construction sous l'effet de différentes contraintes. La construction du mur de quai du terminal T3 constitue un réel succès en termes de qualité et de satisfaction client. □

ACTEURS PRINCIPAUX

MAÎTRE D'OUVRAGE : DP World
MAÎTRE D'ŒUVRE : Royal Haskoning
BUREAU D'ÉTUDES INDÉPENDANT : COWI
BUREAU D'ÉTUDE DU GROUPEMENT : AECOM
GROUPEMENT : TOA Corporation - Soletanche Bachy
VIBRO COMPACTION : Menard
MESURES DU MOUVEMENT DU QUAI : Soldata

ABSTRACT

THE LIST OF RECORDS IN DUBAI GROWS LONGER WITH THE NEW T3 CONTAINER TERMINAL

FRANK HUPPERT, SOLETANCHE BACHY - SÉBASTIEN FRULEUX, SOLETANCHE BACHY

DP World is about to put into operation the biggest semi-automatic terminal in the world, capable of receiving up to 4 million TEUs (twenty-foot equivalent units). The T3 container terminal will bring the total capacity of Jebel Ali Port up to 19 million TEUs, divided among its three terminals. It will thus make it possible to receive simultaneously up to 10 container ships of the Ultra-Large-Post-Panamax type. The main works comprise 664,000 cu.m of soil consolidation by vibrocompaction over a height of 16 m, a diaphragm wall 1.50 m thick, 1,926 m long and 28.50 m deep, 535 supporting wall units and 1,068 35-metre tie rods. □

LA LISTA DE RÉCORDS EN DUBAI SE ALARGA CON LA NUEVA TERMINAL PARA CONTENEDORES T3

FRANK HUPPERT, SOLETANCHE BACHY - SÉBASTIEN FRULEUX, SOLETANCHE BACHY

DP World está a punto de poner en servicio la mayor terminal semiautomática del mundo, con capacidad para acoger hasta 4 millones de TEU (Twenty feet Equivalent Unit). La terminal para contenedores T3 permite elevar la capacidad global del puerto de Jebel Ali a 19 millones de TEU, repartida entre sus tres terminales. De este modo, brindará la posibilidad de recibir a la vez hasta 10 portos-contenedores del tipo Ultra-Large-Post-Panamax. Las principales obras consisten en 664.000 m³ de consolidación de suelo por vibrocompactación en una altura de 16 m, una pared moldeada de 1,50 m de grosor, 1.926 m de largo y 28,50 m de profundidad, 535 barras y 1.068 tirantes de 35 m. □



© HDC

CONCEPTION ALTERNATIVE DU PONT HAUBANÉ DE JOBAL EN CORÉE

AUTEURS : HYUNG-KYOON BYUN, DIRECTEUR TECHNIQUE, SYSTRA KOREA - WON-GAP CHOI, CHEF DE PROJET, SYSTRA - ERIC GOGNY, INGÉNIEUR EXPERT MÉTAL, SYSTRA - RONAN CHESNEL, INGÉNIEUR STRUCTURE, SYSTRA - EUI-SUNG KIM, CHEF DE PROJET, HYUNDAI DEVELOPMENT COMPANY (HDC)

SITUÉ DANS LA RÉGION DE JEOLLANAM-DO, À L'EXTRÊME SUD DE LA CORÉE, LE PONT HAUBANÉ DE JOBAL FAIT PARTIE D'UN PROJET DE DÉVELOPPEMENT ROUTIER RELIANT LA RÉGION DE HWAYANG À LA RÉGION DE JOEGGUM PAR L'EXTENSION DE LA ROUTE NATIONALE N° 77. FAISANT PARTI DU VIADUC RELIANT L'ÎLE DE JOBAL À L'ÎLE DE DUNBYUNG), CE PONT HAUBANÉ, À L'ARCHITECTURE ÉLÉGANTE, ÉTAIT À L'ORIGINE UNE STRUCTURE EN BÉTON. UNE VARIANTE, COMPOSÉE D'UN PYLÔNE MÉTALLIQUE ET D'UN TABLIER MIXTE, A ÉTÉ PROPOSÉE ET DÉVELOPPÉE AFIN DE FACILITER LA CONSTRUCTION ET D'AMÉLIORER LA QUALITÉ ET LA DURÉE D'EXÉCUTION.

UNE CONCEPTION ALTERNATIVE

Le pont de Jobal relie l'île de Jobal à l'île de Dunbyeong (figure 1).

Ce pont est constitué du pont haubané de Jobal et de ponts en béton construits par encorbellements successifs à ses deux extrémités.

Sa longueur totale est de 990 m (figure 2).

Le pont est construit d'est en ouest selon le travelage suivant :

95 m + 2x150 m + 200 m + 170 m + 140 m + 85 m.

La structure du pont haubané de Jobal

(figure 3) est à l'origine entièrement en béton (pylône et tablier).

Systra a proposé à l'entrepreneur HDC (Hyundai Development Company) de développer une variante avec un pylône en acier et un tablier mixte afin de :

- Faciliter les travaux sur site et améliorer la sécurité globale de la construction (pylône et tablier sont découpés en tronçons, préfabriqués en atelier et assemblés sur site) ;
- Améliorer la qualité finale de la structure (les travaux sur site sont

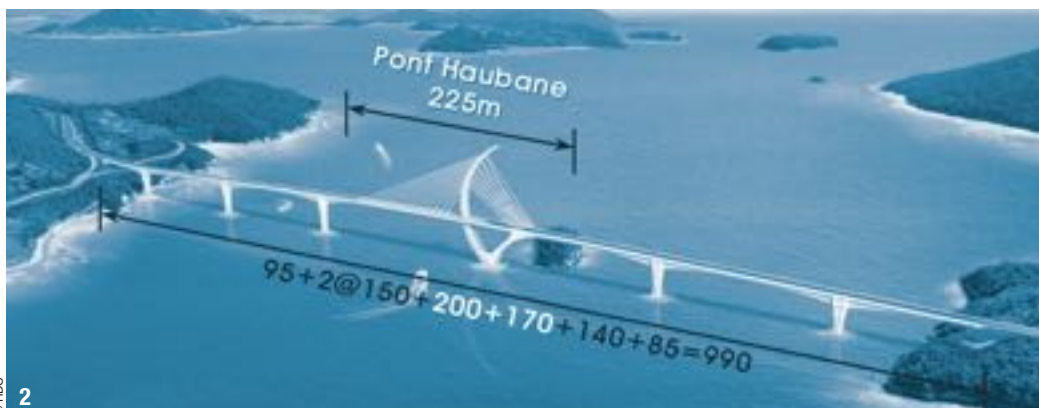


1

- minimisés par la préfabrication du pylône et du tablier) ;
- Proposer une solution économiquement intéressante ;
 - Atténuer l'impact environnemental de la construction (minimisation de l'emploi de structures temporaires et des travaux en mer) ;
 - Réduire les temps de construction.
- Le développement de cette variante devait se faire dans le respect des contraintes suivantes :
- Le travelage n'est pas modifiable ;
 - Les dimensions extérieures du tablier et du pylône ne sont pas modifiables ;
 - L'impact sur les ouvrages béton connectés à ce pont haubané est minimisé.

1- Vue générale du viaduc reliant l'île de Jobal à l'île Dunbyung.
2- Travelage du viaduc reliant l'île de Jobal à l'île Dunbyeong.

1- General view of the viaduct linking Jobal Island to Dunbyung Island.
2- Spans of the viaduct linking Jobal Island to Dunbyung Island.



© HDC
2

L'OUVRAGE

Cette variante est constituée d'un pylône en acier et d'un tablier mixte. La solution originale était constituée d'un pylône en béton et d'un tablier en béton (figure 4).

De chaque côté, le pont haubané est connecté à des ponts en béton construits par encorbellements successifs afin de former 2 travées de longueurs respectives 200 m (75+125) et 170 m (100+70).

Le pylône se compose d'une fondation en béton, d'une base rigide elle-aussi en béton et de jambes métalliques avant et arrière. La hauteur totale du pylône est approximativement de 110 m, 40 m de la fondation au tablier et 70 m du tablier au sommet du pylône. La fondation est une semelle en béton de dimensions 24x21x6 m reposant sur 9 pieux de 3 m de diamètre. La base rigide en béton permet la liaison entre la fondation béton et les jambes du pylône en acier. Le tablier est intégralement encastré au pylône aux connexions avec la jambe arrière et, partiellement, avec la jambe avant. Le pylône est à dimensions variables. La section de la jambe avant varie de 8,5 m (longitudinalement) x 7 m (transversalement) au niveau de la connexion avec la base rigide en béton à 8 m x 3,5 m à la connexion avec le tablier. Cette section est courbe de rayon R=60 m. La section de la jambe avant varie alors de 8 m x 3,5 m à 6 m x 3,5 m de la connexion avec le tablier au sommet du pylône. Cette section est courbe de rayon R=85 m. Pour la jambe avant, l'épaisseur de tôle principale varie de 36 mm au niveau du raccordement avec la base rigide en béton à 20 mm dans la partie supérieure du pylône. La section des jambes arrière varie de 7,9 m x 5,2 m à 3,6 m x 6,1 m avec un rayon de courbure R=125 m. L'épaisseur de la tôle principale varie de 36 mm à 20 mm.

Le pylône est rigidifié par des raidisseurs disposés longitudinalement et transversalement dont l'épaisseur varie entre 30 et 20 mm.

Le tablier est à largeur variable, en raison de la présence du pylône et de la nappe centrale des haubans. La largeur totale du tablier varie entre 12,5 m et 17,2 m (figure 5). Le tablier est de type mixte. La section métallique du tablier est de type bi-caisson depuis la connexion avec l'ouvrage béton construit par encorbellement à l'est à la connexion avec les jambes arrière du pylône. La section du tablier métallique est ensuite de type mono-caisson jusqu'à la connexion avec le pont en béton construit par encorbellement à l'ouest. Le tablier haubané est de hauteur constante dans la travée principale.

Le tablier présente des hourdis en consoles. Il est rigidifié tous les 4 m par un diaphragme. L'épaisseur des tôles principales ainsi que celle des diaphragmes et raidisseurs est de 16 mm. L'éclatement du tablier est de 1/67 à cet endroit, pour un poids moyen de 600 kg/m².

Entre les jambes avant et arrière du pylône, la section métallique du tablier est de type bi-caisson, identique à la section haubanée, mais présente une hauteur variable. La hauteur maximale est de 6 m à la connexion avec les jambes arrière du pylône, afin de résister aux efforts importants générés à l'encastrement. L'épaisseur des tôles principales varie de 24 mm à 16 mm. Les diaphragmes et raidisseurs présentent une épaisseur constante de 16 mm.

La section assurant la liaison entre le pylône et le tablier béton construit par encorbellements successifs à l'ouest est à hauteur variable, de 6 m à la connexion avec les jambes arrière du pylône à 3,5 m à la connexion avec le tablier béton. Les diaphragmes sont espacés tous les 5 m et l'épaisseur des tôles principales du caisson est de 20 mm. Les diaphragmes et raidisseurs présentent une épaisseur de 16 mm.

Les haubans sont de type MTP (multi-torons parallèles) ou MFP (multifils parallèles) dans les études, à la demande de l'entrepreneur.

Pour la solution MTP, la section des câbles varie entre 3900 mm² pour les câbles de travée à 5400 mm² pour les câbles de retenue.

Pour la solution MFP, la section des câbles varie entre 4195 mm² pour les câbles de travée à 5811 mm² pour les câbles de retenue.



Le poids total de haubans d'environ 70 t est relativement similaire pour les deux solutions et présente un ratio par surface de tablier de 35 kg/m².

MAXIMISER LA PRÉFABRICATION ET MINIMISER LES TRAVAUX EN MER

Cette conception alternative permet de réduire au maximum les travaux sur site de construction en maximisant la préfabrication en atelier des tronçons du pylône et du tablier.

Afin de pouvoir procéder à un découpage pragmatique en tronçons du

pylône et du tablier, le premier élément déterminant est la capacité de la grue disponible pour réaliser le levage de ces éléments. Après discussion entre le bureau d'études et l'entrepreneur, le choix fut fait de considérer une grue d'une capacité maximale de levage de 1 000 t (incluant coefficients de sécurité) à une hauteur de 80 m à une distance horizontale de 30 m de la grue (figure 6).

Le pylône est segmenté en 6 tronçons.

Le 1^{er} tronçon assure la connexion des jambes avant et arrière du pylône avec

3- Pont haubané de Jobal - conception originale.

4- Pont haubané de Jobal - conception alternative - élévation et vue en plan.

3- Jobal cable-stayed bridge - original design.

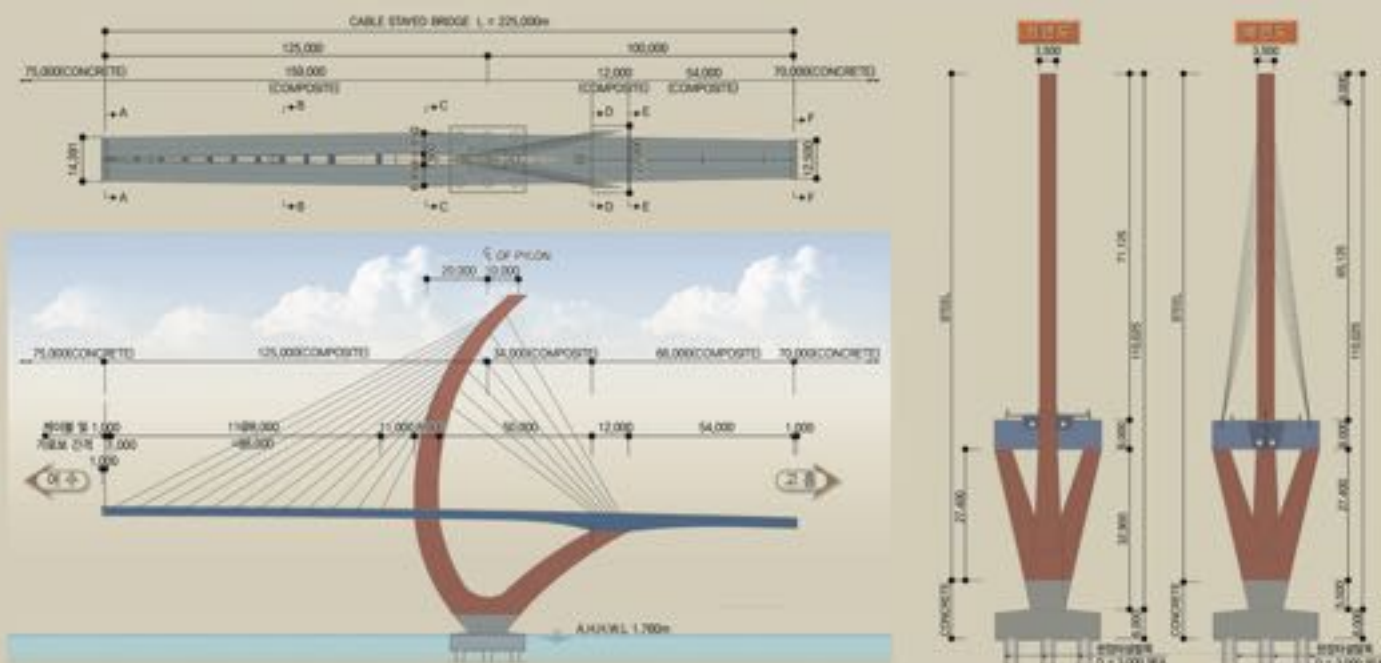
4- Jobal cable-stayed bridge - alternative design - elevation and plan views.

la fondation. Cette section pèse environ 848 t.

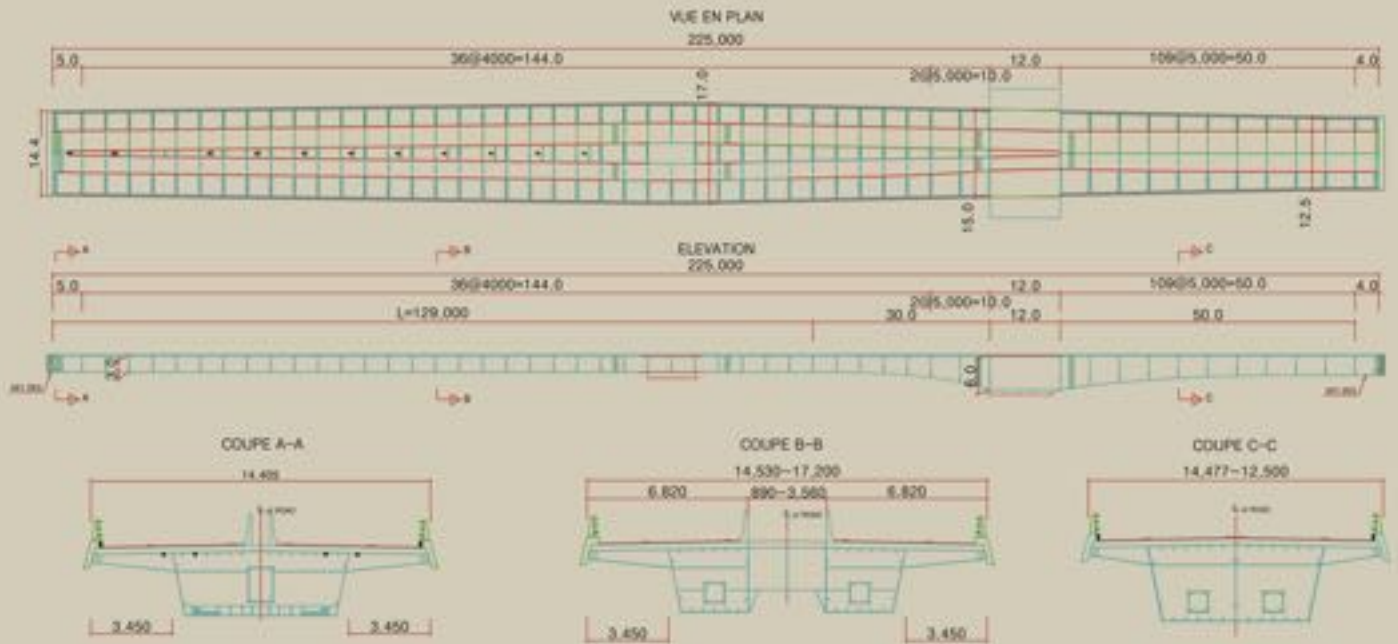
Les tronçons 2, 3 et 4 composent la jambe avant du pylône. Le 2^e tronçon démarre à la connexion avec le 1^{er} tronçon pour s'arrêter sous le tablier.

Le 3^e tronçon assure la connexion avec le tablier. Ce tronçon est préfabriqué en atelier avec la partie du tablier auquel il est connecté. Le 4^e tronçon est connecté au 3^e tronçon et compose la partie du pylône située au-dessus du tablier. Ces sections pèsent respectivement 226 t, 141 t et 676 t. Ce dernier élément est le plus critique de tous

PONT HAUBANÉ DE JOBAL - CONCEPTION ALTERNATIVE - ÉLÉVATION ET VUE EN PLAN



PONT HAUBANÉ DE JOBAL - TABLIER COMPOSITE



5

© SYSTRA

les tronçons (pylône et tablier) à lever, en raison de son poids et de l'altitude à laquelle il doit être érigé.

Les tronçons 5 et 6 sont identiques et correspondent à chacune des 2 jambes arrière du pylône. Chaque section présente un poids de 242 t.

Le tablier est segmenté en 5 tronçons. Le 1^{er} tronçon correspond au tablier supporté par les haubans et se connecte à l'ouvrage béton construit par encorbellements successifs à l'est. Ce tronçon présente une longueur d'environ 100 m pour un poids de 682 t.

Le 2^e tronçon correspond à la connexion du tablier avec la jambe avant du pylône. Il est préfabriqué et intégré directement au pylône avant d'être érigé sur site.

Le 3^e tronçon présente une longueur de 50 m, correspond au segment localisé entre les jambes avant et arrière du pylône et pèse 284 t.

Le 4^e tronçon correspond au segment du tablier connecté aux jambes arrière du pylône et permet l'ancrage des haubans de retenue. Ce tronçon pèse 390 t.

Le 5^e tronçon correspond au segment assurant la connexion entre le 4^e tronçon et l'ouvrage en béton construit par encorbellements successifs à l'ouest. Ce tronçon pèse 562 t.

La dalle béton associée au tablier métallique est également considérée préfabriquée (figure 7). Elle est préfabriquée par panneaux de dimensions 6,5 x 3,7 x 0,25 à 6,5 x 4,7 x 0,25. Le poids de ces panneaux est compris entre 15 et 19 t. Après bétonnage sur site, la connexion avec le tablier métallique est considérée réalisée longitudinalement au niveau des âmes et transver-

5- Pont haubané de Jobal - tablier composite.

6- Vue écorchée de la conception du tablier et du pylône.

5- Jobal cable-stayed bridge - composite deck.

6- Cutaway view of deck and pylon design.

salement au niveau des consoles avec emploi de goujons.

LES CONNEXIONS

Cette conception alternative, permettant de maximiser les travaux en atelier, nécessite des connexions entre les éléments préfabriqués sur site de construction. Les principales connexions à réaliser sont :

- Connexion du pylône à la fondation ;
- Connexion des éléments de pylônes entre eux ;
- Connexion pylône - tablier ;
- Connexion des éléments de tablier entre eux ;
- Connexion tablier en acier - pont béton construit par encorbellement.

La connexion du pylône à la fon-

dation est réalisée avec 34 barres de précontrainte \varnothing 57,5 mm (figure 8).

Les efforts de cisaillement et moments de torsion sont repris par cisaillement des barres de précontrainte.

Les moments de flexion dans les deux directions sont repris par traction/compression des barres de précontrainte.

La connexion des éléments de pylône entre eux se fait via une connexion par boulons précontraints M36 (B10T) situés à l'intérieur du caisson (figure 9). La connexion entre éléments de pylônes est ensuite étanchée sur le périmètre entier de la section afin d'éviter les problèmes de corrosion. La transmission des efforts d'une section de pylône à l'autre est assurée intégralement par les boulons précontraints. Ce type de connexion a été préféré, pour des raisons esthétiques, à une connexion boulonnée par plats de recouvrement mis en place sur l'extérieur du pylône.

La connexion pylône tablier est réalisée à deux endroits, à la connexion avec la jambe avant du pylône et à la connexion avec les jambes arrière du pylône. La connexion avec la jambe avant est une connexion par soudure, directement réalisée en atelier. La connexion avec les jambes arrière du pylône est basée sur le même principe que la connexion des éléments de pylône entre eux. Les deux segments sont assemblés par des boulons précontraints M36 (B10T).

La connexion des éléments de tablier entre eux est de type connexion boulonnée par plats de recouvrement.

La connexion tablier en acier - pont béton construit par encorbellement est réalisée à 2 emplacements, à l'est et à l'ouest.



6

© SYSTRA ERIC GOGNY

La connexion à l'est se fait via deux étapes principales : la mise en œuvre d'une clé métallique de cisaillement intégrée à l'ouvrage en béton, puis la connexion du tablier métallique à cette clé métallique de cisaillement (figure 10).

La mise en œuvre de la clé de cisaillement métallique se fait en plusieurs étapes. Tout d'abord, elle est mise en position à côté du dernier segment béton de l'ouvrage construit par encorbellement. Elle est soutenue par l'équipage mobile de ce dernier. Cette clé de cisaillement métallique est ensuite connectée par le coulage d'un joint en béton et la mise en tension de barres de précontrainte, une fois la résistance suffisante du béton atteinte.

Une fois la clé de cisaillement métallique intégrée à l'ouvrage en béton, la connexion peut être établie avec le tablier métallique par connexion boulonnage de plats de recouvrement. Le tablier métallique est connecté à l'ouvrage en béton avant mise en tension des haubans. La connexion est finalisée par la mise en œuvre de câbles

QUANTITÉS PRINCIPALES

	Béton	Renforcement	Câbles de précontrainte	Barres de précontrainte	Haubans	Acier
Conception originale	12 802 m ³	2 444 t	164 t	40 t	75 t	-
Conception alternative	6 942 m ³	1 441 t	12 t	4 t	67 t	4 517 t

de précontrainte supplémentaires (18x19T15) nécessaires à l'ouvrage en béton afin de résister aux charges en phase de service. Ces câbles de précontrainte sont ancrés dans les tabliers en acier et en béton.

La connexion côté ouest suit plusieurs étapes afin de connecter le tablier métallique à l'ouvrage en béton (figure 11). Tout d'abord, le tablier métallique, levé à la grue, est accosté au tablier en béton.

Des équipements de fixation temporaire sont ensuite mis en œuvre pour liaisonner les 2 tabliers longitudinalement et transversalement. Un effort de compression longitudinale de 700 t est ensuite appliqué par des vérins. Cet effort permet de réduire l'impact de

la modification de conception du pont haubané sur l'ouvrage construit par encorbellements successifs en réduisant les efforts de cisaillement dans les piles et fondations de cet ouvrage ainsi qu'en apportant un effort de compression supplémentaire dans le tablier en béton. Un joint en béton est ensuite coulé, puis la mise en tension de barres de précontrainte est réalisée une fois que le béton a atteint une résistance suffisante. La connexion est finalisée par la mise en œuvre de câbles de précontrainte supplémentaires (22x19T15) nécessaires à l'ouvrage en béton afin de résister aux charges en phase de service. Ces câbles de précontrainte sont ancrés dans les tabliers en acier et en béton.

7- Dalle préfabriquée.

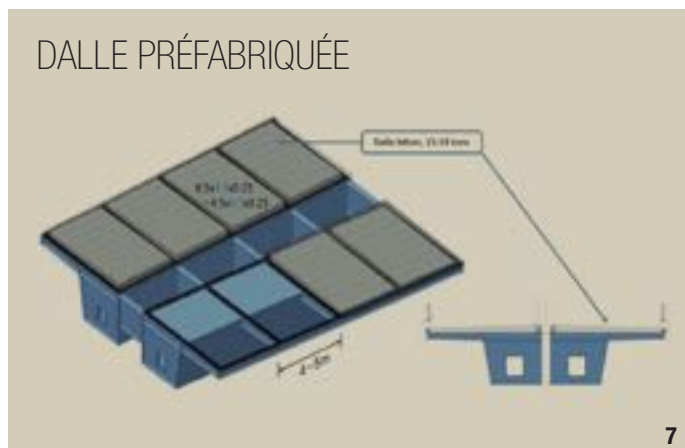
8- Connexion pylône-fondation.

9- Connexion des éléments du pylône entre eux.

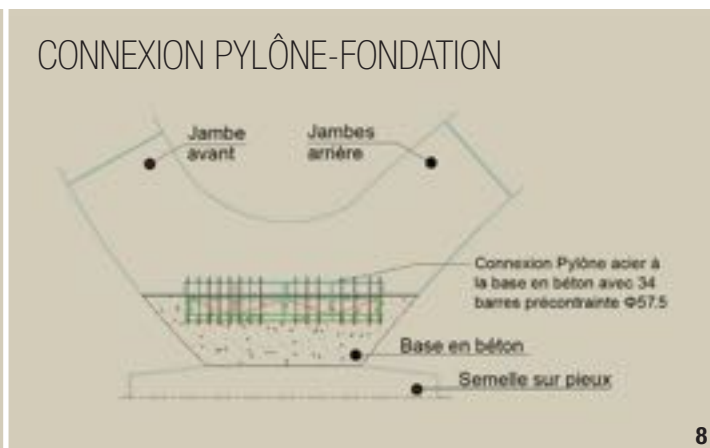
7- Prefabricated slab.

8- Pylon-foundation connection.

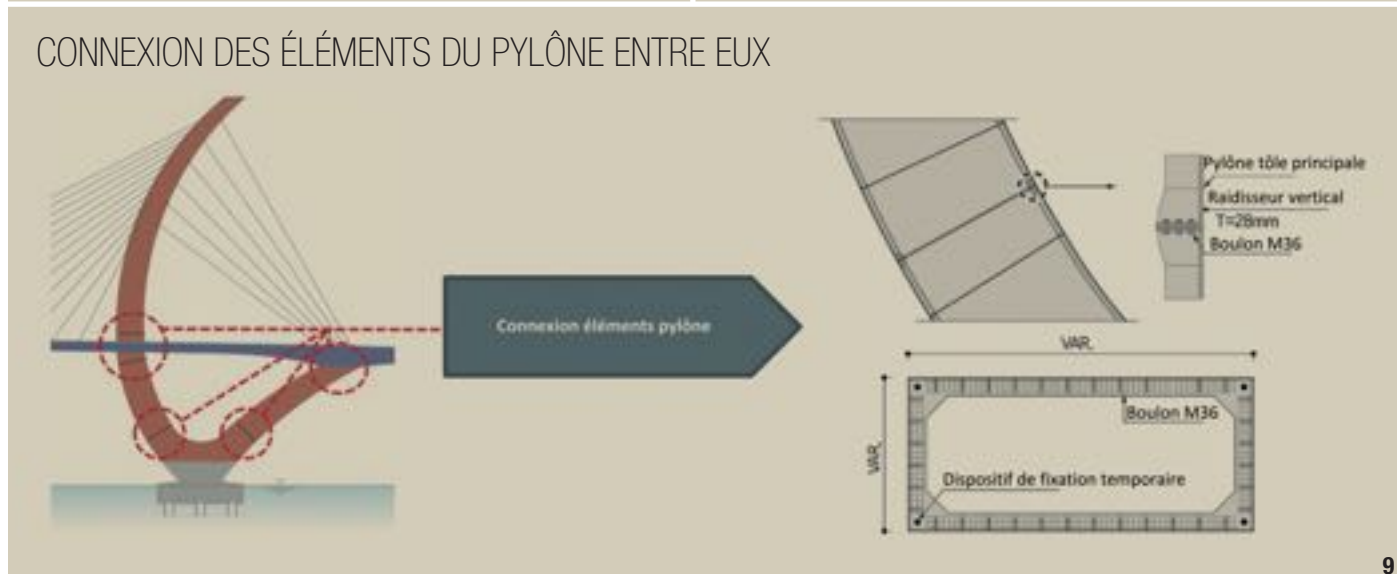
9- Connection of pylon elements with one another.



7

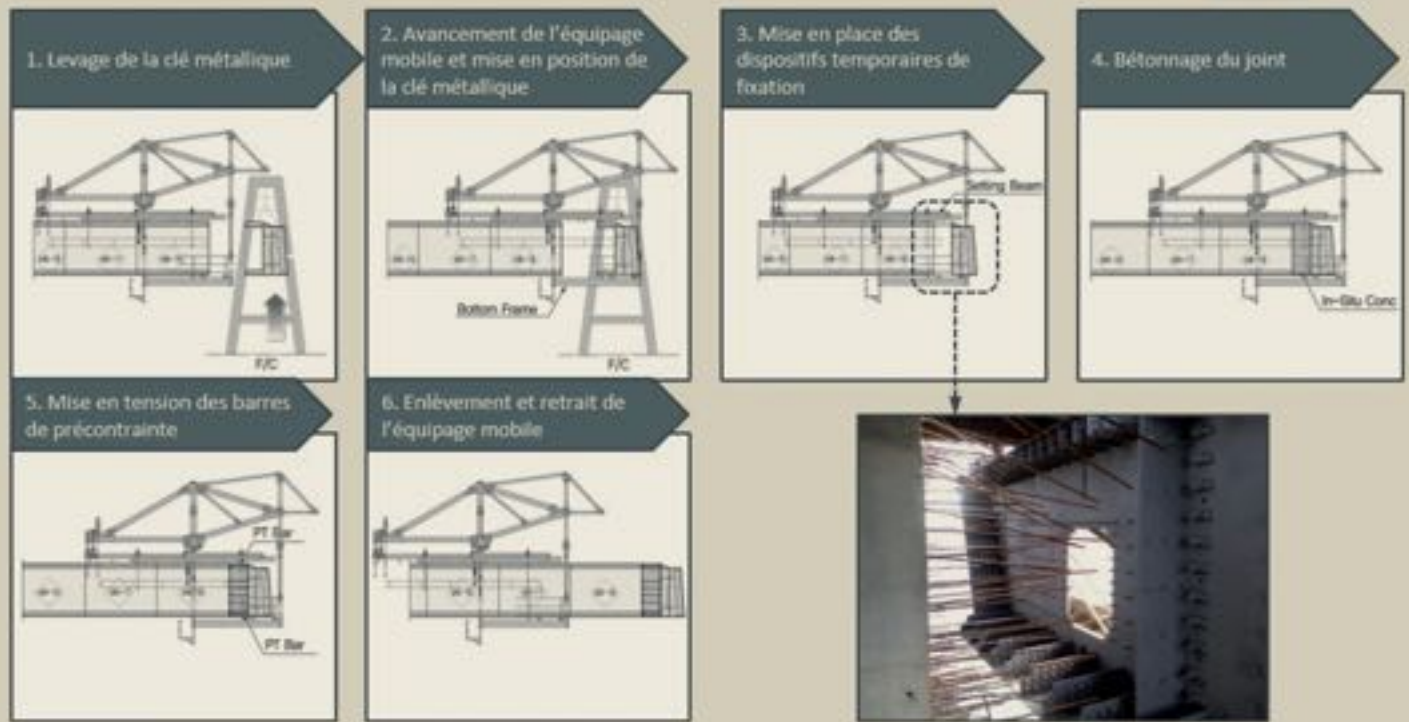


8



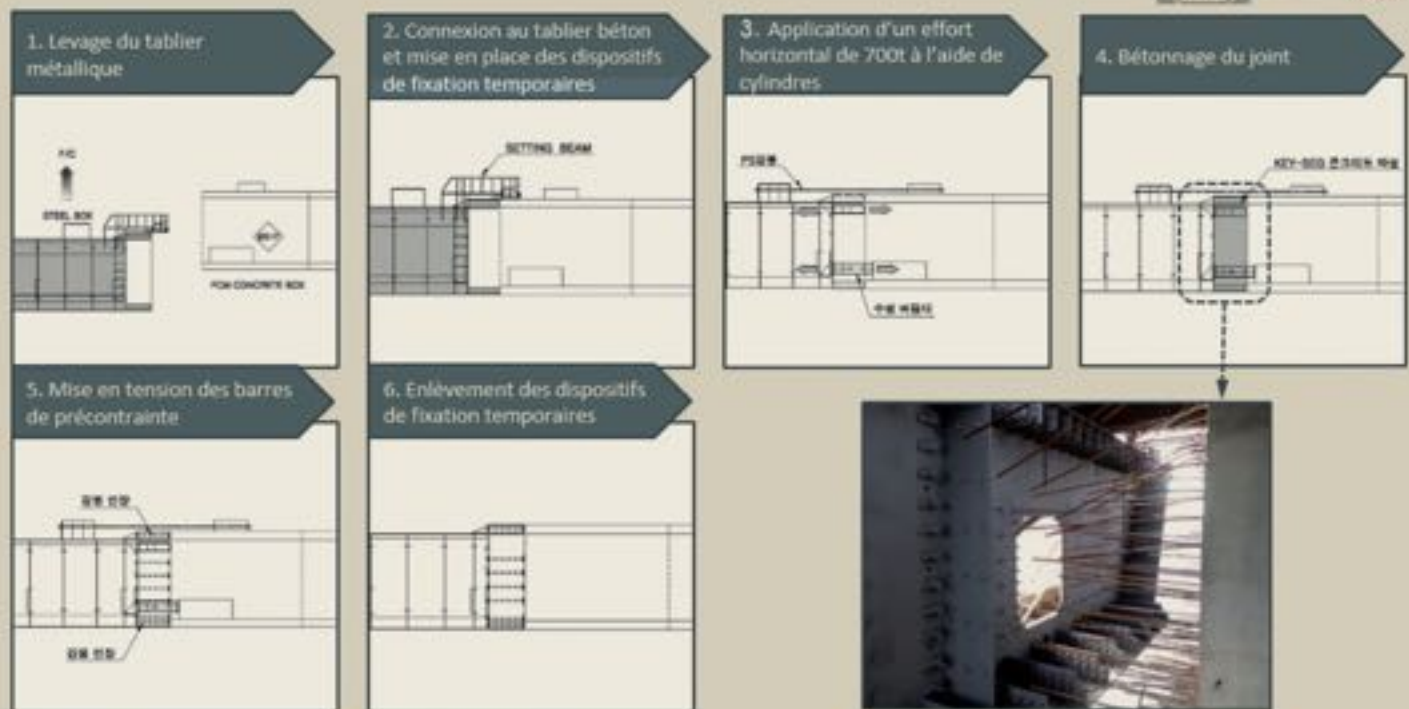
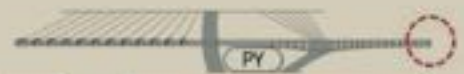
9

CONNEXION TABLIER MÉTALLIQUE - TABLIER BÉTON, PARTIE EST



10

CONNEXION TABLIER MÉTALLIQUE - TABLIER BÉTON, PARTIE OUEST



11

© SYSTRA

SÉQUENCE DE CONSTRUCTION

Cette conception alternative apporte une plus grande souplesse dans la gestion du planning de construction en minimisant les travaux sur site. Les principales étapes de construction de cette solution alternative sont (figure 12) :

- 1- Construction des fondations sur pieux par barge.
- 2- Construction de la semelle de fondations et construction de la base en béton permettant la connexion fondation - pylône en acier.
- 3- Mise en place de la grue de levage

10- Connexion tablier métallique - tablier béton, partie est.

11- Connexion tablier métallique - tablier béton, partie ouest.

10- Connection of steel deck to concrete deck, eastern part.

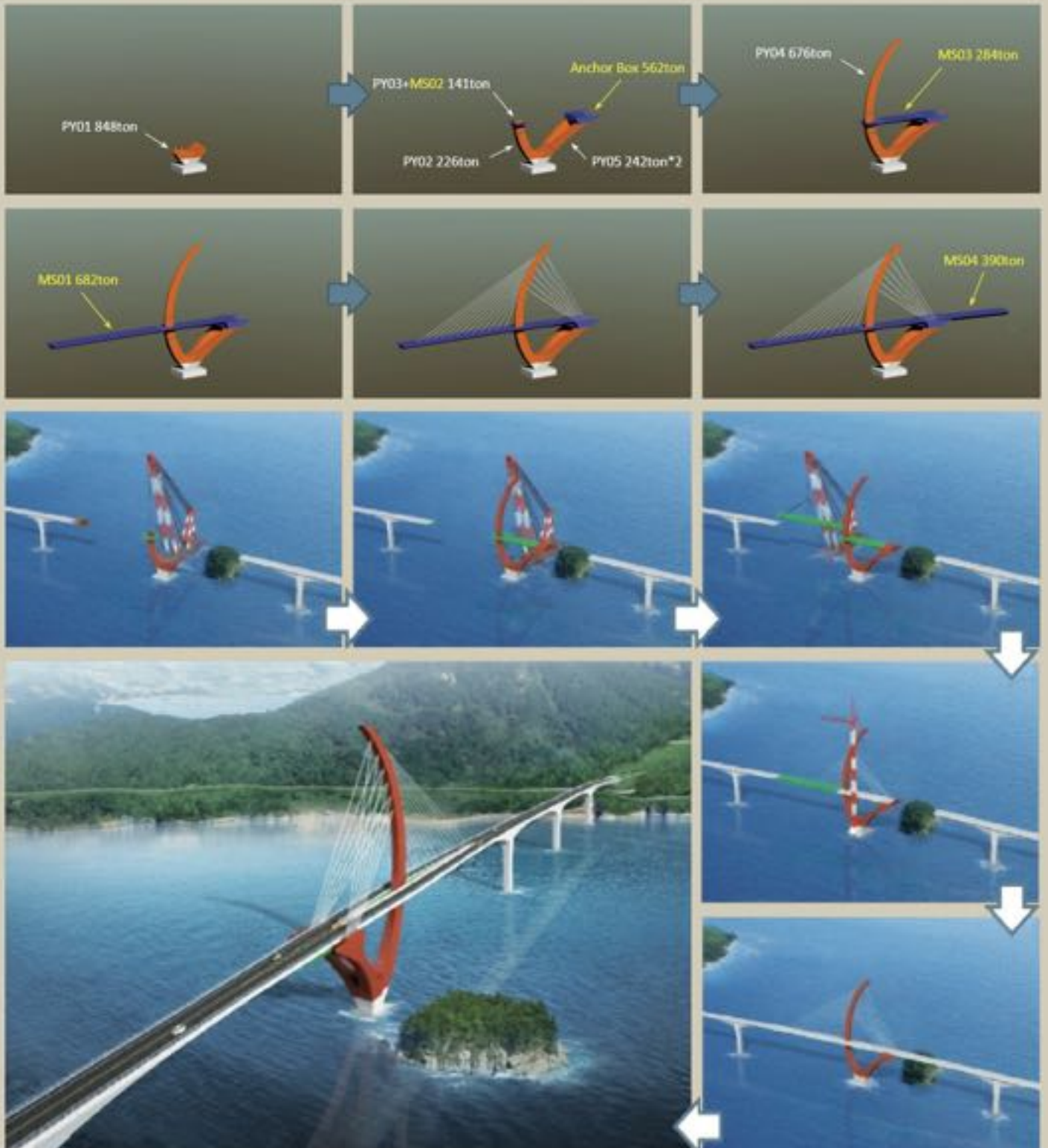
11- Connection of steel deck to concrete deck, western part.

sur site permettant, dans l'ordre, le transport et l'installation :

- a- Du tronçon de pylône reliant les jambes avant et arrière du pylône à la base en béton,
- b- Des tronçons de pylône (jambes avant et arrière) situés sous le tablier,
- c- Des tronçons de pylône connectés au tablier,
- d- Du tronçon de tablier situé entre les jambes avant et arrière du pylône,
- e- Des tronçons de pylône situés au-dessus du tablier,

- f- Du tronçon de tablier supporté par les haubans. Une fois ce tronçon mis en place, la connexion avec l'ouvrage en béton côté est est réalisée. Ensuite, les haubans sont installés et mis en tension,
- g- Du tronçon de tablier restant allant des jambes arrière du pylône à la connexion avec l'ouvrage en béton côté ouest.
- 4- La construction du pont est terminée avec la connexion du tablier à l'ouvrage en béton côté ouest et l'installation des panneaux de dalle en béton préfabriqués.

SÉQUENCE DE CONSTRUCTION



12

© SYSTRA

Minimisant les travaux sur site de construction, cette conception alternative permet de réduire à 6 mois la durée totale de construction, initialement estimée à 18 mois pour la solution béton originelle.

LES PROBLÉMATIQUES D'ÉTUDES

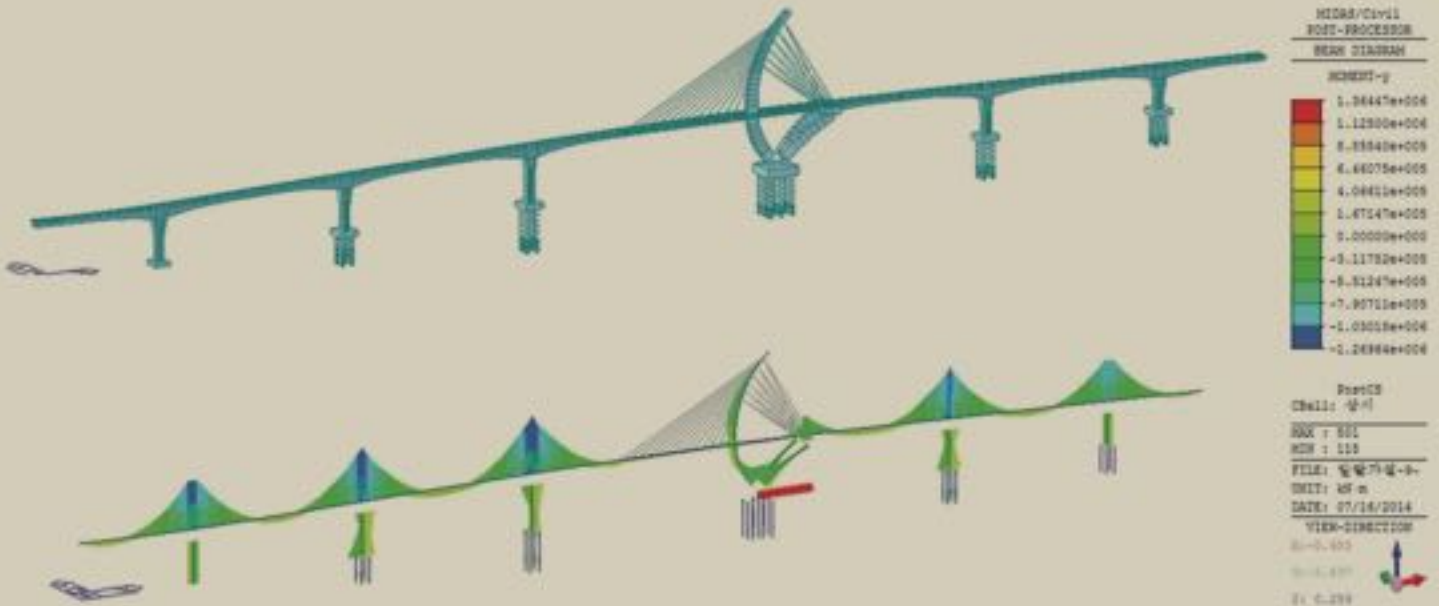
Cette conception alternative a été proposée à l'entrepreneur à un moment où la construction du viaduc de Jobal (comprenant le pont haubané ainsi que les ponts en béton construits par

12- Séquence de construction.

12- Construction sequence.

encorbellements successifs) avait déjà commencé. Par conséquent l'alternative étudiée ne pouvait recevoir une approbation définitive que si l'impact sur les ouvrages en béton à laquelle le pont haubané était connecté était réduit.

MODÉLISATION



13

© SYSTRA

En particulier, les coffrages des ouvrages en béton ne pouvaient pas être modifiés.

Une autre exigence était de garder les mêmes dimensions extérieures pour le pont haubané par rapport à la conception originale en béton.

Par conséquent, les dimensions du pylône et du tablier devaient rester inchangées.

Les études détaillées de cette alternative ont donc été réalisées avec les 3 hypothèses de base suivantes :

- Les dimensions du pylône et du tablier devaient rester inchangées par rapport à la solution originale ;
- L'ouvrage complet (pont haubané et ouvrages construits par encor-

13- Modélisation.

13- Modelling.

bellements successifs) devait être modélisé afin d'évaluer l'impact de cette variante sur les ouvrages béton (figure 13) ;

- L'impact de cette conception alternative sur les ouvrages en béton devait être minimisée et la séquence adaptée en fonction de cette hypothèse.

Les principales difficultés rencontrées lors des études, compte tenu de ces

contraintes, ont été les suivantes :

- Étude de la connexion entre tablier en béton et tablier métallique, en particulier la méthode d'ancrage dans le tablier métallique des câbles de précontrainte nécessaires à la connexion avec le tablier en béton ;

→ Développement d'une séquence de construction optimale minimisant l'impact sur les ouvrages en béton existants ;

- Évaluation de la force de compression longitudinale à appliquer à la connexion tablier métallique - tablier en béton à l'ouest. □

ACTEURS PRINCIPAUX

MAÎTRE D'OUVRAGE : Administration pour la gestion de la construction, région d'Iksan, Ministère du Territoire et des Transports

ENTREPRISE GÉNÉRALE : Hyundai Development Company (HDC)

BUREAU D'ÉTUDES : Systra

ABSTRACT

ALTERNATIVE DESIGN FOR THE CABLE-STAYED BRIDGE OF JOBAL IN KOREA

HYUNG-KYOON BYUN, SYSTRA - WON-GAP CHOI, SYSTRA - ERIC GOGNY, SYSTRA - RONAN CHESNEL, SYSTRA - EUJ-SUNG KIM, HYUNDAI DEVELOPMENT COMPANY (HDC)

The Jobal cable-stayed bridge, which was originally an all-concrete design, forms part of a road infrastructure project in South Korea. Systra proposed to the contractor, HDC, to develop an alternative design consisting of a steel pylon and a composite steel-concrete deck to obtain a shorter construction time and improved end quality of the structure. The bridge is connected to concrete structures built by the balanced cantilever method at both ends, and the challenge faced by this alternative design was to have the same external dimensions as the original design. This alternative design, proposing a solution with minimal work on site and maximum prefabrication of steel elements in the workshop, reduced the construction time at sea from the original 18 months to six months. □

DISEÑO ALTERNATIVO DEL PUENTE ATIRANTADO DE JOBAL EN COREA

HYUNG-KYOON BYUN, SYSTRA - WON-GAP CHOI, SYSTRA - ERIC GOGNY, SYSTRA - RONAN CHESNEL, SYSTRA - EUJ-SUNG KIM, HYUNDAI DEVELOPMENT COMPANY (HDC)

El puente atirantado de Jobal, cuyo diseño original era completamente de hormigón, se encuentra en Corea del Sur y forma parte de un proyecto de infraestructura vial. Systra propuso al empresario, HDC, desarrollar un diseño alternativo compuesto de un pilar de acero y un tablero mixto para poder reducir el tiempo de construcción y mejorar la calidad final de la obra. Puente conectado a estructuras de hormigón formadas por voladizos sucesivos en sus dos extremos, este diseño alternativo tuvo que hacer frente a la exigencia impuesta de presentar las mismas dimensiones exteriores que las del diseño original. Este diseño alternativo, que propone una solución que minimiza las obras en el emplazamiento maximizando la prefabricación de elementos de acero en taller, permite reducir a 6 meses el período de construcción en mar, que originalmente era de 18 meses. □



1
© SYSTRA

PROGRAMME DE RÉHABILITATION DES OUVRAGES D'ART DU TRANS-GABONAIS

AUTEURS : ÉRIC SOYEZ, INGÉNIEUR D'ÉTUDES ET RESPONSABLE D'AFFAIRE, SYSTRA -
URSULE PAMBO MBOUROU, RESPONSABLE INFRASTRUCTURES, SETRAG

LE TRANSGABONAIS, LIGNE FERROVIAIRE MYTHIQUE DE L'AFRIQUE CENTRALE, EST L'OBJET D'UN VASTE PROGRAMME DE RÉHABILITATION DE SES OUVRAGES D'ART DEPUIS 2010. CONSTRUITS ENTRE 1974 ET 1986, LES PONTS FERROVIAIRES ÂGÉS DE PLUS DE TRENTE ANS ONT BESOIN D'ÊTRE RÉPARÉS ET ENTRETENUS AFIN DE POUVOIR CONTINUER À EXPLOITER LA LIGNE DE CHEMIN DE FER DANS DE BONNES CONDITIONS. LES TRAVAUX SONT MULTIPLES : CHANGEMENT D'APPAREILS D'APPUIS, TRAITEMENT DE STRUCTURES TOUCHÉES PAR L'ALCALI-RÉACTION, ENROCHEMENTS, ETC.

LE CONTEXTE

Le Transgabonais est une ligne mythique d'Afrique. Elle a marqué les esprits, tant par la démesure de son chantier que par ses ambitions incroyables. Cette ligne à voie unique mesure 650 km de long, elle traverse le Gabon d'ouest en est, reliant Libreville, la capitale, à Franceville. Elle a pour vocation principale d'acheminer les voyageurs et le minerai de manganèse à travers le

pays et sert également au transport des marchandises. Elle fut construite entre 1974 et 1986. Le chantier a mobilisé plus de 1500 engins de terrassement et en moyenne 3 000 personnes. Au total, 144 millions de mètres cubes ont été terrassés, 52 ouvrages d'art ont été construits et 1999 buses installées. Lorsqu'on parcourt la ligne, on ne peut s'empêcher de penser à la démesure de ce chantier, qualifié

1 - Pont d'Ogooué 6.

1 - Ogooué Bridge 6.

à l'époque d'œuvre « pharaonique ». Aujourd'hui la concession de la ligne a été donnée par l'état gabonais à la SETRAG (Société d'Exploitation du Transgabonais) qui exploite le fret et le transport voyageur alors que le transport du minerai est assuré par la COMILOG (Compagnie Minière de L'Ogooué). La SETRAG est filiale de COMILOG, détenue par le groupe Eramet et l'État gabonais.



2

© SYSTRA

LE CADRE DE L'OPÉRATION

Dans le but de faire un état des lieux de ses ouvrages d'art, la SETRAG a confié la réalisation d'un audit à Systra en 2008. Cet audit a mis en évidence un certain nombre de travaux à réaliser pour la réparation et l'entretien des ouvrages. L'État gabonais et la SETRAG ont donc mis en place un programme de réhabilitation de 17 milliards de francs CFA (26 millions d'euros),

étalé sur trois ans et financé par l'État gabonais. Les travaux sont multiples : changements d'appareils d'appuis, confortement de fondations et de piles, traitement de fissures dues à l'alcali-réaction par injection ou chemisage, réalisations d'enrochements et remises en peinture des ouvrages métalliques. En qualité d'assistant technique, Systra est intervenu et a conseillé l'exploitant ferroviaire gabonais sur une grande

partie des travaux réalisés sur ses OA depuis 2005. Sur le pont Ogooué 1, en 2005, les appuis ont été changés suite à la rupture de l'un d'eux et la pile recevant les appuis fixes a été confortée. En 2010, une pile fortement touchée par la réaction alcali-granulat (RAG) a été chemisée avec du béton projeté. Puis en 2011 le pont de Machoca a été également réparé suite à des problèmes de RAG. Les appareils d'appuis

des ponts Como, Offoué et Abanga 2 ont été changés. Sur ces projets Systra a établi les DCE, fait les visas des études et le suivi des travaux. À la suite de ces missions, la SETRAG a sollicité Systra pour les travaux de changement des appareils d'appuis de 19 ponts et la protection du pont Ogooué 3/4 touché par la réaction alcali-granulat (RAG). D'autres études ont été également confiées à Systra. ▷

2- Nacelles de travail sur le pont de Missanga.

3- Vérinage d'un tablier métallique, deux vérins de 50 t (pont d'Ogooué 6).

4- Mise en place d'un appui néoprène (pont d'Ogooué 6).

5- Mise en place d'un appareil d'appui à pot (pont d'Ogooué 3 et 4).

2- Aerial work platforms on Missanga Bridge.

3- Jacking a steel deck, two 50-tonne jacks (Ogooué Bridge 6).

4- Putting in place a neoprene support (Ogooué Bridge 6).

5- Putting in place a pot bearing system (Ogooué Bridge 3 and 4).



© SYSTRA

3



4



5



CHANGEMENT D'APPAREILS D'APPUIS

En septembre 2012, la mission de maîtrise d'œuvre de Systra a démarré. Cette mission avait pour but, de faire le visa des études et le suivi du chantier du changement des appareils d'appuis sur 19 ouvrages d'art.

Ces ouvrages étaient donc répartis sur les 650 km de la ligne (figure 1). 50 travées ont été traitées. 156 appuis néoprènes et 20 appareils d'appui à pot ont été posés en remplacement de néoprènes, d'appuis à balancier et d'appuis à rouleau. Le chantier était divisé en 5 lots répartis entre 3 entreprises (Colas, Sobeia et Cgte) et il a duré environ un an.

En 2008, le diagnostic concluait que les appareils d'appuis néoprènes étaient arrivés en fin de vie, car ils n'avaient jamais été changés depuis la construction de la ligne et ils avaient donc entre 30 et 35 ans. Certains étaient anormalement déformés, les frettes étaient parfois corrodées et certains avaient été rongés par des animaux. Les appuis à balancier et les appuis à rouleau étaient en partis en butée et ne permettaient donc plus les mouvements normaux du tablier. Le changement de ces appareils était donc nécessaire. Ces appareils devaient être remplacés en garantissant le repositionnement exact des tabliers. Une modification du réglage des appareils d'appuis aurait eu un impact non acceptable sur la voie et donc sur la circulation des trains. La planéité, l'horizontalité et le parallélisme des faces en contact avec les appareils d'appuis devaient être garantis pour leur bon fonctionnement. La planéité est nécessaire pour assurer l'uniformité du chargement, la non-horizontalité et le défaut de parallélisme peuvent entraîner des déformations et des déplacements inacceptables dans le temps.

Les moyens mis en œuvre pour le vérinage des tabliers étaient assez simples en raison des petits espaces de travail. Une équipe réduite composée de quelques techniciens et manœuvres, un matériel limité à un jeu de vérin raccordé à une pompe hydraulique et à des manomètres de contrôle, une série d'outils de mesure, un groupe électrogène, des nacelles d'accès (figure 2) et pour les appareils d'appui à pot un poste à souder, un chalumeau et des tire-fort.

Le processus des opérations était assez simple :

- Obtention de l'intervalle travaux et arrivée sur site.
- Mise en place du matériel et vérifications.
- Prise de mesure suivant les trois axes, relevé d'implantation précis du tablier avant intervention.
- Mise en pression des vérins, jusqu'à la mise en contact du piston avec le tablier et la mise en charge des plaques de calage.
- Monté en pression par paliers progressifs des vérins jusqu'à la pression théorique de levage. Puis, levage doux du tablier de 10 à 15 mm en contrôlant en temps réel les comparateurs (figure 3).
- Dépose des appareils d'appui existant.
- Préparation et nettoyage des surfaces inférieures et supérieures, puis vérification de leur planéité, horizontalité et parallélisme :
 - Pour les néoprènes : nettoyage et brossage des surfaces pour enlever les résidus des anciens appuis. Si les surfaces n'étaient pas satisfaisantes, il était possible de faire un petit calage inférieur avec un mortier auto-plaçant à prise rapide.
 - Pour les appuis à pot : les appuis étaient positionnés sur des plats

6- Dispositif de mesure des déplacements des tabliers vérinés.

7- Appuis néoprène avec dispositif anti-cramponnement (Pont de Mini viaduc).

8- Dispositif de vérinage sur palée provisoire, deux vérins de 250 t (Pont de Kango).

6- Device for measuring the movements of jacked decks.

7- Neoprene supports with creeping prevention system (Mini viaduct).

8- Jacking system on temporary bent, two 250-tonne jacks (Kango Bridge).

métalliques existants, aucun réglage particulier n'a été nécessaire. Seuls quelques éléments ont dû être découpés ou démontés.

- Pour les balanciers remplacés par des néoprènes : création d'un bossage. Compte tenu du temps de prise du béton, les tabliers ont été mis sur appuis provisoires le temps de la prise, pour permettre la reprise du trafic ferroviaire. Les bossages ayant été réalisés avec un béton auto-plaçant, la planéité, l'horizontalité et le parallélisme étaient parfaits.
- Mise en place des nouveaux appuis, et calage de précision (figures 4 et 5).
- Dévérinage après positionnement correct des appareils. Dans un premier temps on dévérinait jusqu'au premier contact entre le tablier et les appuis et le vérinage était stoppé à ce moment. Un contrôle visuel avait lieu pour voir si les deux appareils d'appui étaient en contact simultanément ou avec un décalage acceptable (1 mm) et si tous les côtés de l'appareil d'appui touchaient en même temps.
- Vérification à l'aide des compa-



9

© SYSTRA

rateurs de leurs positionnements en X, Y et Z. Les tabliers devaient retrouver leur position d'origine à plus ou moins un millimètre (figure 6).

→ Vérification du bon chargement pour les néoprènes. Recherche de l'apparition des bourrelets sur les quatre tranches. Les bourrelets devaient avoir une épaisseur inférieure à un tiers de l'épaisseur des feuillettes de néoprènes soit, dans le cas considéré, 4 mm.

→ Réalisation des soudures pour les appuis à pot afin de lier les appuis à la structure. Les brides des appuis étaient ensuite enlevées.

→ Pose des dispositifs anti-cheminement pour certains appuis néoprènes (figure 7).

→ Reprise du trafic.

Un ouvrage de conception différente a nécessité la création de palées provisoires pour loger les vérins (figure 8). Aucun emplacement pour vérinage n'avait été prévu.

Cette structure prenait appuis sur les débords des fondations superficielles des piles et culées et remontait le long de la structure. Les vérins étaient posés sur une poutre de répartition qui coiffait la palée.

TRAVAUX DE RÉPARATION DU PONT OGOOOUÉ 3/4 TOUCHÉ PAR L'ALCALI-RÉACTION (figure 9)

Les travaux de réparation du pont Ogooué 3/4 ont démarré à la saison sèche 2013 et ne sont, à ce jour, toujours pas achevés. Il s'agit d'un pont,

9- Vue générale du chantier d'Ogooué 3 et 4.

10- Vue du batardeau sur le site du chantier d'Ogooué 3 et 4.

9- General view of Ogooué 3 and 4 site.

10- View of the cofferdam on Ogooué 3 and 4 site.

qui comme son nom l'indique est le 3^e franchissement de la ligne du fleuve Ogooué (le fleuve se divise en deux bras à cet endroit d'où Ogooué 3 et 4). Le pont est composé de 4 travées

mixte en charpente en acier auto-patrimoine (travées isostatiques de 31 m) et de 4 travées à poutres latérales en treillis métallique (2 travées isostatiques de 73 m et 2 travées continues de 109 et 89 m).

Le chantier est conditionné par la crue du fleuve. L'Ogooué est un fleuve gigantesque, son débit est estimé en moyenne à 4 700 m³/s et varie entre 2 000 et 11 300 m³/s entre la saison sèche et la saison humide. Son niveau évolue au cours d'une année de façon significative. En 2013 nous avons observé une amplitude d'une petite dizaine de mètres.

Les travaux et l'accès au pied des piles sont donc largement conditionnés par le niveau du fleuve et donc par les saisons. Ils ne se font que durant l'étiage. Les travaux sont réalisés de juillet à mi-septembre. Pour allonger cette période l'entreprise a construit un batardeau

destiné à fermer un des deux bras du fleuve (figure 10). L'amplitude de la crue étant importante et rapide, ce batardeau ne permet que de retarder la fin des travaux de quelques jours, de deux semaines au mieux.

Les appuis et fondations du pont sont touchés par l'alcali-réaction, le problème a été diagnostiqué quelques années après la construction de l'ouvrage. Le but des travaux est donc de rendre la structure étanche à l'eau, car la présence de celle-ci entretient le phénomène. L'eau est un des éléments essentiels au développement de cette réaction acide-base par la diffusion des alcalins et la participation à la formation du gel.

Le projet consiste donc à créer différentes couches d'étanchéité pour freiner l'avancement de la réaction et ainsi prolonger la durée de vie de l'ouvrage:

→ Traitement des fondations :

- Repiquage du béton d'enrobage de façon à mettre à nu les aciers des fondations superficielles (figures 11 et 12).
- Sablage des aciers.
- Passivation des aciers.
- Création d'un sarcophage de 15 centimètre de béton armé tout autour de la fondation avec des scellements dans le béton existant (figure 13).

→ Traitement des piles :

- Repiquage des fissures (figure 14).
- Rebouchage des saignées précédemment ouvertes avec un mortier étanche et pose de pipettes d'injection.

© SYSTRA



10



11- Fissures avant travaux sur une fondation superficielle du pont d'Ogooué 3 et 4.

12- Aciers mis à nus, on peut voir que les aciers se sont sectionnés parce que les rayons de cintrage n'avaient pas été respectés.

13- Bétonnage du chemisage d'une des fondations du pont Ogooué 3 et 4.

14- Repiquage et bouchage des fissures sur une pile du pont Ogooué 3 et 4.

15- Injection des fissures d'une pile du pont Ogooué 3 et 4.

16- Pose de l'enduit d'étanchéité sur une pile du pont Ogooué 3 et 4.

11- Cracks before works on a shallow foundation of Ogooué Bridge 3 and 4.

12- Bared steels; you can see that the steels were severed because the bending radii were not complied with.

13- Concreting the lining of one of the foundations of Ogooué Bridge 3 and 4.

14- Repairing and stopping up the cracks on a pier of Ogooué Bridge 3 and 4.

15- Crack grouting on a pier of Ogooué Bridge 3 and 4.

16- Placing a sealing coating on a pier of Ogooué Bridge 3 and 4.

- Injection des fissures à basse pression avec un coulis en mortier de résine très liquide (figure 15).
- Pose d'un enduit étanche sur toute la hauteur du fût (figure 16).
- Chemisage en béton armé de quinze centimètre d'épaisseur sur toute la hauteur des fûts, avec une fine planche de polystyrène (5 mm) intercalée entre certaines faces du fût et le chemisage (figure 17). Ce polystyrène permet au chemisage d'effectuer son retrait sans être gêné et à la pile de gonfler encore un peu sans fissurer le chemisage.

ÉTUDES COMPLÉMENTAIRES SUITES AUX AFFOUILLEMENTS

Le diagnostic de 2008 mettait en évidence des problèmes d'affouillement de fondations (figure 18) et de stabilité des berges. Systra a donc été missionné pour réaliser un avant projet puis une étude de projet. Sept ouvrages ont été identifiés comme nécessitant des protections. Le but étant dans un premier temps de définir les problèmes à traiter, de proposer des solutions puis de quantifier et chiffrer ces solutions, Systra a donc proposé des solutions de stabilisation des talus avec des

enrochements libres ou des gabions. Les solutions par palplanches ont été écartées à cause des dégagements sous tablier et de la rareté, en Afrique, des outils nécessaires au battage ou fonçage.

Les gabions ont été les plus utilisés car il est beaucoup plus simple d'approvisionner des cailloux plutôt que des blocs rocheux. Dans certains cas, compte tenu des forts courants, les enrochements ont été nécessaires.

ÉTUDE DE STABILITÉ DES PLATEFORMES FERROVIAIRES

Une étude sur la stabilité des plateformes ferroviaires a également été réalisée par Systra. La SETRAG est confrontée à des problèmes de déformation de la voie occasionnés par des mouvements du ballast. Compte tenu de l'urgence de la situation la SETRAG a lancé des travaux et a demandé à Systra d'émettre un avis technique sur les solutions mises en œuvre et les solutions envisagées et de proposer des solutions alternatives.

La grande difficulté est la contrainte d'exploitation de la ligne. La voie ne peut être interrompue régulièrement que pour des courtes durées de quelques heures. Il faut donc prévoir

des travaux réalisables dans des intervalles courts.

L'expertise de Systra mettait en avant un mauvais drainage au niveau des plateformes. Le sol, composé de particules très fines, a tendance à remonter dans le ballast et le pollue.

Le ballast ne peut alors plus assurer correctement le drainage de l'eau. Ce phénomène entraîne un enfoncement du ballast dans la plateforme et provoque ce que l'on appelle un « fond de bateau ». Il a pour conséquence d'emprisonner l'eau dans la plateforme et de la rendre instable. Deux solutions de structures sur pieux ont été proposées par la SETRAG, la première métallique avec l'armement posé directement sur la structure, la seconde avec des longrines en béton et une couche de ballast intermédiaire. Ces solutions posaient des problèmes importants de maintenance.

Une des solutions retenues a consisté à tendre un géotextile sur un lit de pieux à proximité de la frontière entre le ballast et la plateforme. Le géotextile protège de la remontée des fines dans le ballast. Les charges sont renvoyées en partie sur les pieux par l'intermédiaire du géotextile qui les draine et les répartit. Cette solution permet éga-



17
© SYSTRA

18
© SYSTRA

lement au ballast d'assurer sont rôle de maintien de la voie et un entretien classique est possible. La plus grande partie des travaux peut être effectuée sans interruption du trafic en travaillant par annonce des circulations.

Pour les zones plus étendues, Systra a proposé un assainissement lourd, qui consiste à dégarnir la voie dans un premier temps (diminuer l'épaisseur de ballast), puis, lors d'un intervalle, à couper la voie en panneaux et à retirer le ballast et la plateforme au bulldozer. Ensuite on reconstitue la plateforme avec des matériaux appropriés, on tend un géotextile par dessus et on repose la voie sur du ballast sain. Cette solution est également en cours de réalisation.

UNE INGÉNIERIE FRANÇAISE AU SERVICE D'UN RÉSEAU FERRÉ

Aujourd'hui l'État gabonais et la SETRAG font confiance à Systra pour les accompagner dans leur projet de restauration des ouvrages d'art du Transgabonais, aussi bien en assistance à maîtrise d'œuvre qu'en tant que prestataire d'ingénierie ou simplement de conseil. Les différents travaux

d'entretien et de réparation tels que : changements d'appareils d'appuis, protection d'ouvrages touchés par la réaction alcali-granat, réalisations d'enrochements et études de solutions de stabilisation des plateformes, illustrent le savoir-faire technique de

Systra appliqué à des chantiers en Afrique. Systra intervient également auprès de la SETRAG, dans le domaine de la signalisation, du matériel roulant, de l'exploitation, et plus récemment sur des problématiques de passages à niveau. Systra a déjà travaillé, par

le passé, sur des sujets similaires en Afrique. Les réseaux ferrés africains sont vieillissants et ils nécessitent des opérations de maintenance.

Ces opérations doivent être menées et suivies par des professionnels connaissant ce type de contraintes. □

17- Chemisage d'un fût de la pile P4 du pont Ogooué 3 et 4.

18- Fondation décaussée du pont de Loubou où des travaux d'enrochements sont prévus.

17- Lining of a shaft of pier P4 of Ogooué Bridge 3 and 4.

18- Foundation laid bare on Loubou Bridge where rockfill works are planned.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : État Gabonais

MAÎTRE D'ŒUVRE ET EXPLOITANT FERROVIAIRE : SETRAG (Société d'Exploitation du TRAnsGabonais)

ASSISTANT À MAÎTRISE D'ŒUVRE : Systra

TRAVAUX DE CHANGEMENT D'APPAREILS D'APPUI

LOT 1 ET 5 : Colas Gabon

LOT 2 : Sobeja Gabon

LOT 3 ET 4 : Cgte

TRAVAUX DE RÉPARATION DU PONT OGOOUE 3 ET 4

ENTREPRISE : Sobeja Gabon

PROJETS D'ENROCHEMENTS ET DE STABILISATION DE PLATEFORME

BUREAU D'ÉTUDES : Systra

ABSTRACT

PROGRAMME FOR REPAIR OF ENGINEERING STRUCTURES ON THE TRANS-GABONESE RAILWAY

ÉRIC SOYEZ, SYSTRA - URSULE PAMBO MBOUROU, SETRAG

Due to ageing of the engineering structures of the Trans-Gabonese railway line, the Gabonese government and railway operator SETRAG have launched a vast programme for repair and renovation of their engineering structures. Systra, as technical assistant, defined these works, launched the programme in 2010, and then performed work monitoring. The following works were performed: change of support systems for 19 bridges, repair and protection of Ogooué Bridge 3 and 4 affected by alkali-aggregate reaction, and studies for future projects to stabilise undermined bridge foundations and railway track formations. The programme is not yet completed and the works continue. □

PROGRAMA DE REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DEL FERROCARRIL TRANSGABONÉS

ÉRIC SOYEZ, SYSTRA - URSULE PAMBO MBOUROU, SETRAG

Debido al envejecimiento de las estructuras de la línea ferroviaria del Transgabonés, el Estado de Gabón y el operador ferroviario SETRAG han lanzado un amplio programa de rehabilitación y renovación de sus estructuras. Systra, como asistente técnico, definió estas obras y lanzó el programa en 2010, y se encarga de su seguimiento. Se han realizado las siguientes obras: cambio de los dispositivos de apoyo de 19 puentes, renovación y protección del puente Ogooué 3 y 4 afectado por la reacción alcali-agregado, estudios para próximos proyectos de estabilización de cimientos de puente erosionados y de estabilización de la plataforma ferroviaria. Actualmente el programa aún no ha terminado y las obras continúan. □

PREMIÈRE LIGNE DE MÉTRO DE HO-CHI-MINH-VILLE AU VIETNAM

AUTEURS : MATHIEU MULS, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, SYSTRA - PIERRE ESCHARD, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, SYSTRA - GEORGES MAURIS, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, SYSTRA

LA PREMIÈRE LIGNE DE MÉTRO DE HO-CHI-MINH-VILLE RELIE SELON UN AXE EST-OUEST LE MARCHÉ BEN THANH SITUÉ EN CENTRE-VILLE JUSQU'AU PARC D'ATTRACTIONS SUOI TIEN. D'UNE LONGUEUR TOTALE DE 19,7 KM, DONT 17,1 KM EN AÉRIEN, CETTE PREMIÈRE LIGNE DE MÉTRO DOIT ÊTRE MISE EN SERVICE EN 2017.



1
© SCC

PRÉSENTATION DU PROJET

La ligne Ben Thanh - Suoi Tien sera la première ligne de métro d'Ho-Chi-Minh-Ville (anciennement Saigon), ville la plus peuplée du Vietnam avec plus de 8 millions d'habitants, située dans le delta du Mékong et traversée par bon nombre de rivières.

Elle comprend 17,1 km de métro aérien qui relie le nord-est de la ville au centre-ville, incluant 11 stations

aériennes et 5 ouvrages spéciaux, qui permettent de franchir les rivières et les grands axes routiers (figure 2).

UN PROJET DYNAMIQUE DANS UNE MÉTROPOLÉ EN EXPANSION

Construire un métro aérien dans une ville déjà fortement urbanisée et en pleine expansion est une contrainte à ne pas négliger. Car si le métro doit

1- Vue 3D
du viaduc
en U.

1- 3D view
of U-shaped
viaduct.

desservir en priorité les quartiers où le flux de passagers sera élevé, ce sont ces mêmes quartiers qui sont les plus urbanisés avec une densité importante de bâtiments et d'infrastructures routières.

Le défi majeur est alors de définir un alignement qui impacte le moins possible les structures existantes, ce qui peut s'avérer un vrai casse-tête dans la ville la plus peuplée du pays.

Divers projets d'infrastructures routières étant en cours le long de la ligne de métro, il faut éviter d'empiéter sur les futures routes ou échangeurs.

Comme le développement de la ville est devenu critique, tant pour le métro que pour les infrastructures routières, ces projets avancent simultanément et ne souffrent aucun délai.

Dans un tel contexte, figer l'alignement en début de projet est chose impossible, tout comme il serait inenvisageable de retarder la construction du métro. Des adaptations de l'alignement et du travelage des ponts et des viaducs sont donc nécessaires pendant la phase des études détaillées.

L'implantation des piles de pont change au gré des projets de routes nouvelles, tandis que la hauteur des piles et les longueurs de travées varient, nécessitant l'étude d'ouvrages d'art non courants supplémentaires.

Pour prendre en compte le développement futur de la ville, 5 stations supplémentaires ont été prévues le long des 17,1 km de ligne aérienne, en complément des 11 stations aériennes du projet.



2
© SUMITOMO

2- Carte de la ligne 1 du métro de HCMV.

3- Section type du viaduc en U.

4- Pont sur la rivière Saigon.

2- Map of HCMC metro line 1.

3- Typical cross section of U-shaped viaduct.

4- Bridge over Saigon River.

Afin de minimiser le coût et les délais de construction de la première ligne de métro, ces stations ne sont pas incluses dans le projet actuel.

Dans le souci de minimiser les impacts sur la ligne de métro lors de la construction des cinq futures stations, celles-ci seront construites autour du viaduc. Pour cette raison, certains tabliers sont spécialement conçus afin de permettre une intégration des quais, et les charges supplémentaires correspondantes sont prises en compte dès les études du projet.

DIFFÉRENTS TYPES D'OUVRAGES

Le concept choisi pour le tablier est un viaduc en U (figure 1), supportant les 2 voies du métro sur sa dalle inférieure (appelé « grand U »). Ce type de structure a l'avantage de limiter l'impact visuel de la structure dans la ville et de minimiser la distance entre la sous-face du tablier et le niveau du rail. Ce dernier point est particulièrement intéressant car, la ligne de métro devant franchir des ponts routiers en plusieurs endroits, l'utilisation du viaduc en U permet d'abaisser le niveau du rail et ainsi de limiter la hauteur des stations aériennes et des piles de pont (engendrant une économie sur la quantité de matériaux).

VIADUCS COURANTS

Le tablier courant est un viaduc en U en béton précontraint par post-tension constitué de travées isostatiques de 35 m, pouvant aller exceptionnellement jusqu'à 37 m. Les voussoirs de 2,85 m de longueur en béton de type C45/55 (ayant une résistance à la compression à 28 jours de 45 MPa sur cylindre/55 MPa sur cube) sont préfabriqués, amenés sur site et posés à l'aide d'une poutre de lancement, puis précontraints par post-tension pour constituer une travée indépendante. La section fait 2,03 m de haut pour une largeur totale de 11,10 m (figure 3). La dalle inférieure supportant la voie a une épaisseur de 34 cm et les âmes une épaisseur de 45 cm en partie courante. Les travées de 35 m sont précontraintes longitudinalement par 24 câbles 12T15 ancrés dans les âmes et la dalle inférieure aux extrémités. Du fait de la difficulté d'implanter les piles dans un site déjà fortement urbanisé, le viaduc est décliné en une grande variété de longueurs de travée, allant de 15 m à 37 m, en ligne droite et en courbe, le rayon de courbure allant jusqu'à 300 m. Une section unique en partie courante et à proximité des appuis est utilisée pour l'ensemble des viaduc, à l'exception des travées de 37 m et des travées prévues pour être intégrées dans une future station dont les voussoirs d'extrémité sont renforcés. La précontrainte longitudinale est conçue de sorte qu'un unique tracé est utilisé pour l'ensemble des travées. Seule la quantité de précontrainte varie en fonction de la longueur de travée et du rayon de courbure, ainsi que le ferrailage :

→ 2 câbles 12T15 et 6 câbles 9T15 pour les travées droites de 15 m ; ▷

SECTION TYPE DU VIADUC EN U



Section à mi-travée (Viaduc en U)

3



4



5

© SCC

- 26 câbles 12T15 pour les travées courbes de 37 m (jusqu'à 300 m de rayon) ;
- 26 câbles 12T15 pour les travées droites de 35 m à l'endroit des futures stations.

Dans certaines zones des travées de plus de 37 m sont nécessaires, notamment pour franchir les échangeurs routiers. Or c'est précisément dans ces zones qu'il est intéressant de minimiser la distance entre sous-face du tablier et niveau du rail, le métro passant au-dessus de ponts routiers. Un viaduc en U de 3 travées continues (37,5 m + 50 m + 37,5 m) coulé en place permet de franchir ces zones d'échangeurs tout en gardant une unité structurelle et visuelle avec les travées adjacentes. La continuité visuelle est d'autant plus importante que l'un des échangeurs routiers est actuellement en projet. Une structure se démarquant visuellement du reste de la ligne à un endroit qui ne présente aujourd'hui aucun obstacle aurait choqué du point de vue esthétique.

TRAVÉES D'APPROCHE

Certaines stations sont traversées par les voies en leur milieu, ce qui permet de connecter la station au reste de la ligne par des viaducs courants.

Pour les autres stations, les voies se séparent ou se dédoublent à l'approche de la station, des structures plus larges sont alors nécessaires à proximité de la station. Le tablier de ces zones d'approche est composé de dalles nervurées en béton C50/60 de 1,54 m de hauteur pour une largeur variant de 5,19 m à 22,73 m. Le nombre de nervures varie de 1 à 5, en fonction de la largeur du tablier,

du nombre de voies et de la longueur de la travée. Chaque nervure comporte de la précontrainte longitudinale pour aller jusqu'à 7 câbles par nervure : des câbles 12T15, 19T15 et 22T15 sont utilisés.

OUVRAGES SPÉCIAUX

Des ouvrages de type caisson construits par encorbellements successifs, coulés en place, permettent de traverser les rivières Saigon et Rach Chiec (figure 4). Le travelage de ces deux ouvrages est respectivement de 82,5 m + 102,5 m + 82,5 m et 63 m + 105 m + 63 m. L'ouvrage enjambant la rivière Saigon a un balancement inhabituel entre la longueur des travées latérales et celle de la travée centrale, qui entraîne une dissymétrie des fléaux en phase de construction. Afin d'assurer l'équilibre du fléau, les voussoirs des travées latérales sont plus longs et ont une section plus petite que ceux de la travée centrale, réduisant la différence de poids propre du tablier de chaque côté de la pile principale.

La ligne de métro a la particularité de longer l'autoroute principale reliant Ho-Chi-Minh-Ville à Hanoi. La traversée

5- Pont sur l'autoroute de Hanoi.

5- Bridge over Hanoi motorway.

de l'autoroute se fait en deux endroits et avec un biais important. De ce fait, des ouvrages spéciaux, à grande travée, sont nécessaires.

La traversée à proximité du centre-ville a lieu dans une zone d'échangeur routier. À cet endroit, la plateforme autoroutière avec terre-plein central est flanquée de plusieurs voies d'accès, pour aboutir à un total de 11 voies. Le franchissement de ce nœud routier avec un biais de plus de 45° est réalisé à l'aide d'un pont extradossé : le pont Dien Bien Phu détaillé plus loin dans cet article. La traversée de l'autoroute à l'est de la ville est réalisée avec un pont caisson à double courbe (formant un S) et à 3 travées (70 m + 110 m + 70 m), construit par encorbellements successifs (figure 5).

La ligne de métro franchit également le

pont Van Thanh, qui lui-même enjambe une rivière au début du tronçon aérien de la ligne. Ce franchissement nécessite de prévoir un ouvrage de hauteur réduite en partie centrale, permettant au métro de sortir de terre, puis de passer au-dessus de ce pont routier, tout en respectant la pente longitudinale autorisée. Une contrainte supplémentaire est le projet de la future station qui empiète sur l'ouvrage à construire. Ce projet ne permet pas d'utiliser un pont extradossé dont les câbles viendraient gêner le fonctionnement de la station. La solution retenue est un pont-caisson à cornes à 3 travées continues (40 m + 70 m + 40 m), construit par encorbellements successifs, coulé en place. La section à mi-travée est une section en U, proche des viaducs courants. À l'approche des piles principales, la dalle inférieure du U se transforme en caisson à hauteur variable, les âmes du U participant à la résistance de l'ouvrage.

STATIONS AÉRIENNES

La ligne compte 11 stations aériennes toutes conçues sur le même principe :

- Les voies et les quais sont situées en partie supérieure de la station, au 2^e étage, et sont couverts par une toiture avec structure métallique ;
- Le 1^{er} étage ou coursive, sous les quais et voies, regroupe la billetterie, les zones d'accès aux quais ainsi que des locaux techniques ;
- L'accès au 1^{er} étage se fait par des escaliers, escalators et ascenseurs aboutissant sous la station. Pour certaines stations, une passerelle piétonne permet d'accéder directement à la coursive en franchissant la route ;

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DE LA LIGNE 1 DE HO-CHI-MINH-VILLE

LONGUEUR : 19,7 km, dont 17,1 km en aérien

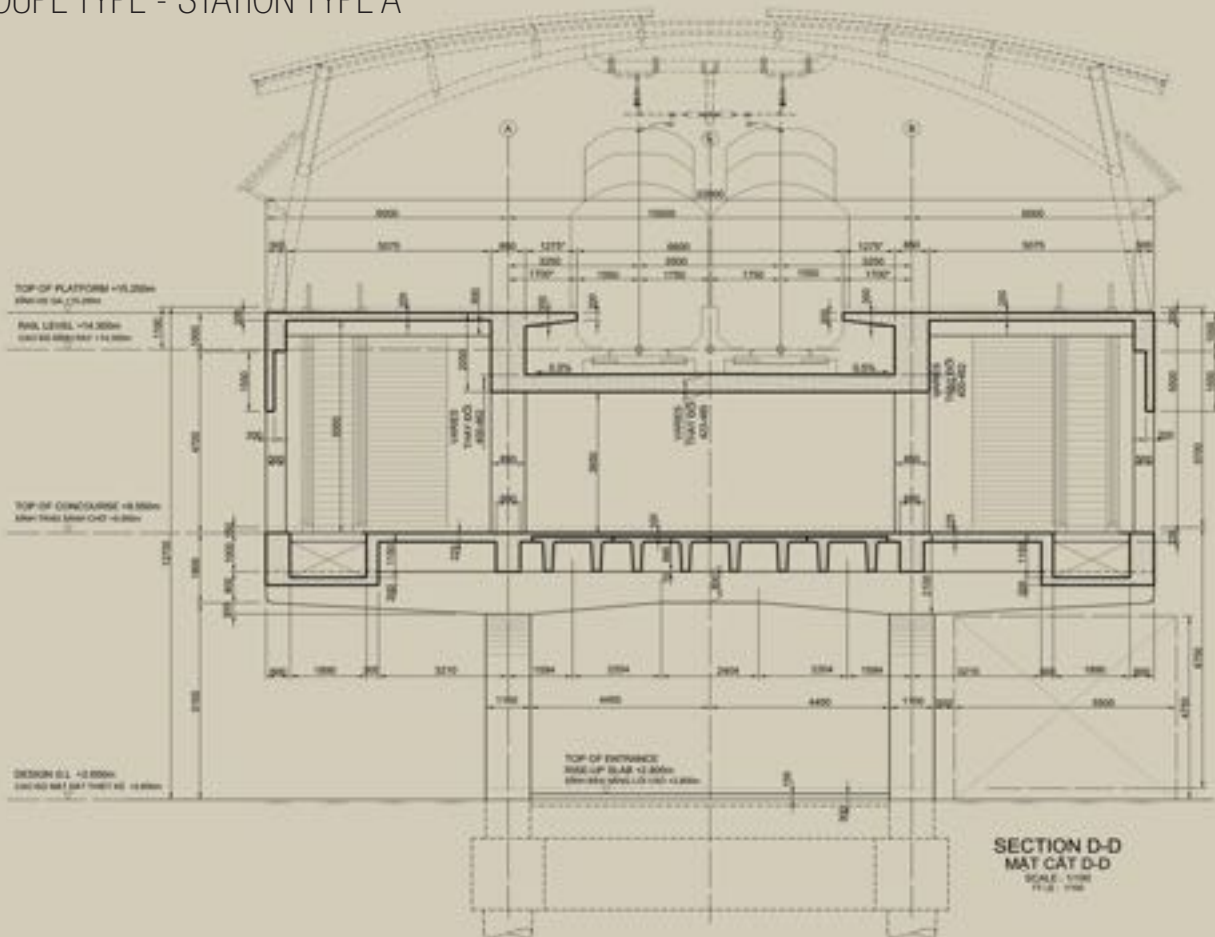
DURÉE DU TRAJET : 30 minutes

GARES : 11 gares aériennes, 3 gares souterraines et 1 dépôt. 5 gares supplémentaires sont prévues.

VITESSE DE CONCEPTION : 110 km/h

CAPACITÉ MATÉRIEL ROULANT : 6 voitures - 120 m de long

COUPE TYPE - STATION TYPE A



© SYSTRA
6

6- Coupe type - station type A.
7- Vue 3D des quais des stations type A.

6- Typical cross section - type A station.
7- 3D view of platforms of type A stations.



© SCC
7

- Les locaux techniques plus encombrants (réservoirs d'eau notamment) sont situés sous la station ;
 - Certaines stations abritent également un parking au rez-de-chaussée, sous la station.
- Les stations sont réparties en 4 types :
- Type A (9 stations) : accueille les 2 voies dans sa partie centrale, les quais étant situés de part et d'autre de la voie (figures 6 et 7). La structure aérienne repose sur

- deux lignes de 12 piles espacées de 12,5 m, les deux lignes étant distantes de 10 m. La station mesure 137,5 m de long pour 22 à 23 m de large (en fonction des stations).
- Type B (1 station) : accueille 4 voies (2 voies centrales bordées d'une voie de chaque côté), un quai séparant la voie centrale de chacune des deux voies extérieures. Cette station est plus large (37,3 m de large pour 137,5 m de long), et repose

- sur 4 lignes de 12 piles espacées de 12,5 m. L'espacement entre les deux lignes centrales reste 10 m tandis que les lignes extérieures sont distantes de 10,5 m (figure 8).
- Type C (1 station) : accueille les 2 voies de part et d'autre de la station, le quai étant situé en partie centrale. La structure aérienne repose sur deux lignes de 12 piles espacées de 12,5 m, les deux lignes étant distantes de 10 m.

- La station mesure 137,5 m de long pour 20,7 m de large.
- Type D (terminus) : accueille également 2 voies de part et d'autre, mais le quai central est plus large et la section de la station est étudiée pour permettre un élargissement futur avec ajout d'une voie et d'un quai supplémentaire. Pour cette raison, la station n'est pas symétrique et elle est supportée par 3 lignes de 12 piles espacées de 12,5 m. ▷

La structure principale de la station est en béton armé de type C35/45 coulé en place, à l'exception des poutres préfabriquées « Double-T » en béton C45/55 précontraint par pré-tension, utilisées pour la coursove.

LES FONDATIONS

Ho-Chi-Minh-Ville étant située dans le delta du Mékong, la ville repose sur un terrain alluvionnaire traversé par de nombreuses rivières ou anciennes rivières. La conséquence directe de sa situation géographique est une couche profonde de sédiments dont les caractéristiques ne sont pas suffisantes pour supporter une ligne de métro. Dans certaines zones, une profondeur de sol de plus de 20 m est propice au phénomène de liquéfaction des sols.

La partie aérienne du métro est fondée dans sa totalité sur des pieux de 1,2 ou 1,5 m de diamètre, dont la profondeur peut atteindre plus de 70 m. La disposition des pieux est :

- 4 à 6 pieux, entre 30 et 80 m de long, sous chaque pile pour les viaducs courants ;
- 8 à 16 pieux, entre 65 et 80 m de long, sous chaque pile pour les ouvrages spéciaux ;
- 2 pieux, entre 30 et 80 m de long, sous chaque pile des stations aériennes.

Les passerelles piétonnes, ainsi que les locaux techniques et les parkings situés au niveau de la chaussée, sont également fondés sur pieux. Les viaducs et les stations reposent sur des pieux en béton C30/40 coulés en place de 1,2 m ou 1,5 m de diamètre, tandis que les passerelles piétonnes reposent sur mono-pieux et les locaux techniques sur des pieux battus en béton précontraint dont la profondeur varie entre 25 et 50 m. Au vu de la diversité du sol le long de la ligne et afin d'optimiser les longueurs et les diamètres de pieux, un grand nombre de sondages a été réalisé pendant la phase d'études d'exécution. Les études sont réalisées, pour chaque pile du tronçon, en fonction des caractéristiques du sol et des efforts provenant des superstructures dépendant de l'alignement.

UN PROJET INTERNATIONAL

La première ligne du métro de Ho-Chi-Minh-Ville est construite pour le compte des autorités vietnamiennes dédiées au transport urbain : Management Authority for Urban Railways (MAUR).

Le projet est financé en grande partie par des prêts de la Japan International Co-Operation Agency (JICA), en



8
© SCC

provenance du Japon. L'assistant au maître d'ouvrage, chargé d'approuver les plans et notes de calculs, est NJPT Association, un groupement d'entreprises internationales dirigé par une entreprise japonaise.

Le constructeur est le groupement d'entreprises Sumitomo - Cienco 6 Consortium (SCC), dirigé par le japonais Sumitomo Mitsui, en collaboration avec la compagnie Civil Engineering Corporation No. 6 (CIENCO 6), détenue par l'État vietnamien.

Systra a été choisi par le constructeur SCC pour réaliser les études détaillées de l'ensemble de la partie aérienne de l'ouvrage, comprenant les viaducs

8- Vue 3D de la station Tan Cang (type B).

9- Vue générale du pont de Dien Bien Phu.

10- Vue 3D du pont de Dien Bien Phu.

8- 3D view of Tan Cang Station (type B).

9- General view of Dien Bien Phu Bridge.

10- 3D view of Dien Bien Phu Bridge.

courants et les ouvrages spéciaux, les stations incluant la toiture et les passerelles piétonnes, ainsi que les dépôts. Si les études des dépôts et des passerelles piétonnes ont été confiées à des sous-traitants locaux, les études des viaducs et stations sont réalisées par le groupe Systra.

Afin de réaliser l'ensemble des études dans les délais impartis, plusieurs filiales du groupe participent activement aux études de la ligne. Ainsi, les études détaillées sont un vrai travail d'équipe à portée internationale faisant intervenir les bureaux de Paris, Séoul (Corée), New Delhi (Inde) et Ho-Chi-Minh-Ville.

ZOOM SUR LE VIADUC EXTRADOSSÉ DE DIEN BIEN PHU

CONCEPTION GÉNÉRALE

Le travelage étant fixé par le client, Systra a proposé un pont extradosé, dont le tablier est le même que le tablier du viaduc courant. Cette solution présentait les avantages suivants :

- Esthétiquement, la continuité de la ligne globale du viaduc est préservée. Le profil en long n'a pas besoin d'être relevé comme c'est souvent le cas pour les ouvrages de métro à hauteur variable du fait du gabarit routier ;



9

© SYSTRA



10

© SYSTRA

LES 5 OUVRAGES PRINCIPAUX

PONT DE DIEN BIEN PHU : Viaduc en U extradossé de $45\text{ m} + 2 \times 70\text{ m} + 45\text{ m} = 230\text{ m}$

PONT DE HANOI HIGHWAY : Pont-caisson à double courbe de $70\text{ m} + 110\text{ m} + 70\text{ m} = 250\text{ m}$

PONT DE SAIGON : Pont-caisson de $82,5\text{ m} + 102,5\text{ m} + 82,5\text{ m} = 267,5\text{ m}$

PONT DE RACH CHIEC : Pont-caisson de $63\text{ m} + 105\text{ m} + 63\text{ m} = 231\text{ m}$

PONT DE VAN THANH : Pont-caisson à cornes de $40\text{ m} + 70\text{ m} + 40\text{ m} = 150\text{ m}$

→ Constructivement, les mêmes cofrages peuvent être utilisés pour la fabrication des voussoirs types moyennant adaptation ;

→ Les pylônes et les câbles extradossés permettent de compléter le catalogue de structures spéciales de cette ligne (après les caissons à corne, longs ponts en encorbellements dissymétriques, courbes...).

La stabilité des fléaux réalisés par encorbellement est assurée par des palées provisoires et un clouage par de la précontrainte verticale bouclée dans les semelles.

Les appareils d'appuis STU (shock transmission units) permettent de répartir les efforts sismiques ainsi que les efforts de freinage sur chacune des piles intermédiaires, tout en libérant les effets à long terme tels que la

variation de température, le retrait et le fluage de l'ouvrage.

Cela permet de garantir des fondations de taille raisonnable en site urbain, tout en minimisant le nombre de pieux par appui. Les conditions géotechniques sont en effet particulièrement mauvaises à Ho Chi Minh Ville et les pieux sont soumis à des efforts de flexion importants sous séisme du fait de la mauvaise qualité des 30 premiers mètres de sol.

11- Sections types du pont de Dien Bien Phu.

11- Typical cross sections of Dien Bien Phu Bridge.

ASPECT GÉOMÉTRIQUES

Le pont Dien Bien Phu ($45\text{ m} + 2 \times 70\text{ m} + 45\text{ m}$) comporte un tablier de section en U, supporté par 2 nappes latérales de 4 câbles extradossés de type 19T15 au niveau de chaque pylône (figures 9 et 10). Les pylônes, encastrés dans le tablier, sont élargis en partie supérieure pour permettre l'ancrage de selles de déviation.

Les voussoirs courants (2,05 m de hauteur) de l'ouvrage ont une hauteur similaire à celle des travées types. À l'approche du voussoir sur pile, le tablier est progressivement épaissi pour atteindre une hauteur de 2,50 m (figure 11). Le câblage de ce type de tablier (U extradossé) est un peu particulier comme cela avait été vu sur l'ouvrage similaire Weh Bridge réalisé par Systra à Bombay :

→ Câbles de fléaux : 11 paires de 12T15 en partie haute + 6 paires de 7T15 en partie basse pour « arroser » le hourdis inférieur et reprendre les moments positifs sur pile. Ces câbles sont ancrés dans la tranche des voussoirs ;

→ Câbles de continuité : 5 paires de 19T15 en partie basse + 2 paires en partie haute. Ces câbles sont ancrés dans des bossages situés le long des âmes.

Le tablier est construit par encorbellements successifs avec des voussoirs coulés en place de longueur variable (maximum 4 m).

Les fondations de chaque pile intermédiaire comptent chacune huit pieux forés d'un diamètre de 1,5 m atteignant une profondeur de 73 m.

ANALYSE

Un modèle à barre a été réalisé pour la flexion longitudinale de l'ouvrage et pour son analyse spectrale. La flexion transversale est réalisée sur un modèle à plaques qui permet notamment d'analyser la flexion transversale du hourdis et des âmes sous l'effet notamment des haubans et des charges roulantes (figure 12). Le modèle permet aussi d'analyser des phénomènes moins évidents comme la flexion d'axe verticale des âmes du fait de l'excentricité des haubans.

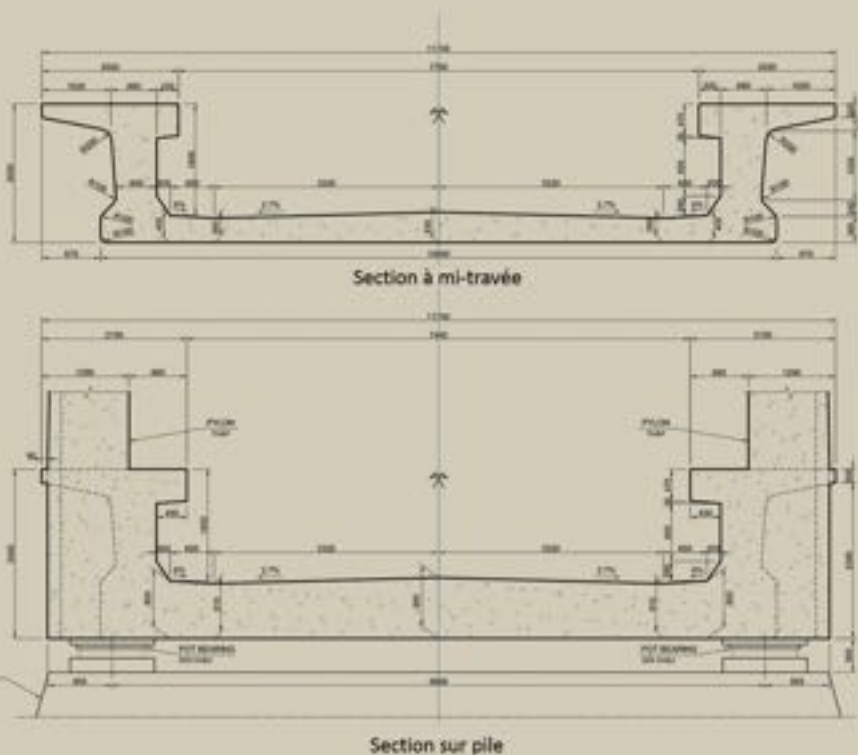
Les vérifications de fatigue des câbles extradossés ont été menées à partir d'extrapolations sur les prévisions de trafic. Ces vérifications menées avec le code japonais DSRSC rejoignent les résultats préliminaires donnés par le critère de Miner : l'ouvrage doit être construit avec des ancrages de haubans et non des ancrages de précontrainte normale.

Les vérifications sont réalisées en fonction du code Vietnamien 22-TCN 272-05, très proche du code routier américain AASHTO LRFD 2007. Les charges roulantes (notamment les charges d'interaction rail-structure) et les nombreuses vérifications complémentaires de déformation et de fatigue, propres aux ponts ferroviaires, suivent la norme japonaise DSRSC qui a le mérite d'être très précise sur le sujet.

CONCLUSION

Le besoin urgent d'une ligne de métro dans cette ville de plus de 8 millions d'habitants a un impact évident sur les délais d'étude et de construction. Les études détaillées de la partie aérienne du métro sont menées selon la méthode dite « fast track », ▷

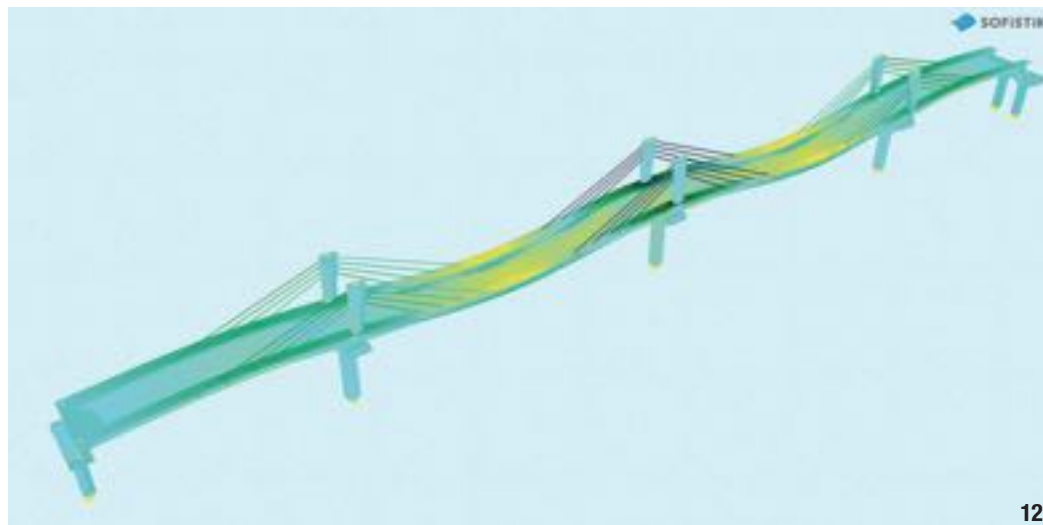
SECTIONS TYPES DU PONT DE DIEN BIEN PHU



où le planning des études est calqué sur le planning de construction.

Les études des fondations et des piles sont réalisées en premier lieu afin de permettre au chantier de démarrer pendant que les études détaillées des superstructures sont en cours. Les plans et notes de calcul du chevron et du tablier (pour les viaducs) et des deux premiers étages des stations sont donc réalisés alors que les fondations sont déjà en cours de construction. Cette méthode requiert néanmoins d'avoir figé les concepts des superstructures au préalable afin de considérer des hypothèses réalistes et fiables dans la conception des fondations.

De même sont étudiés en priorité les ouvrages prévus pour être construits les premiers. De ce fait, les différents types de viaduc courant (en fonction de leur longueur et du rayon de courbure) ne sont pas étudiés en une seule fois. Sont étudiés en premier les viaducs qui sont en première ligne sur le planning de construction (pour les fondations comme pour les appuis et le tablier). De même les stations dont les travaux commenceront en premier doivent être prioritaires sur le planning d'études. Ce mode de planification des études permet d'optimiser les délais en réalisant les études en temps masqué par rapport à la construction, mais il nécessite une coordination très forte avec le constructeur, en particulier en



12

© SYSTRA

cas de changement de planning de construction.

Une difficulté majeure lorsque ce mode de planification des études est retenu est le problème d'acquisition des terrains par le Maître d'Ouvrage. En effet les études débutent avant l'acquisition d'un bon nombre de terrains et, puisque les sondages ne peuvent être réalisés avant cette étape, les données géotechniques nécessaires aux études sont manquantes.

Afin de minimiser les délais, l'entreprise est également obligée d'adapter les méthodes et le phasage de construction en fonction des terrains disponibles,

12- Modélisation éléments finis (Sofistik) du pont de Dien Bien Phu - contraintes sous charges roulantes.

12- Finite element model (Sofistik) of Dien Bien Phu Bridge - stresses due to live loads.

ce qui a un impact sur le planning des études.

Le retard dans l'acquisition de certains terrains a par conséquent obligé le bureau d'études et l'entreprise de construction à modifier leurs plannings respectifs.

Ces difficultés sont amplifiées par le manque de visibilité quant à la date d'acquisition des terrains, qui rend l'anticipation quasi impossible, obligeant l'entreprise et le bureau d'études à être très réactifs. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Management Authority for Urban Railways (MAUR)

MAÎTRE D'ŒUVRE : Management Authority for Urban Railways (MAUR)

AMO : NJPT Association

CONCEPTEUR : Systra

ENTREPRISE : Sumitomo - Cienco 6 Consortium (SCC)

PRINCIPALES QUANTITÉS TRAVÉE TYPE

Viaduc en U - travée isostatique de 35 m entre axes de piles

LONGUEUR : 34,9 m (33,6 m entre appuis)

LARGEUR : 11,1 m

HAUTEUR : 2,03 m

POIDS : 540 t

BÉTON : 213,2 m³

PRÉCONTRAÎNTE (12T15) : 51,7 kg/m³ en moyenne

ARMATURES (FY= 390 MPA) : 223 kg/m³ en moyenne

ABSTRACT

FIRST METRO LINE FOR HO CHI MINH CITY, VIETNAM

MATHIEU MULS, SYSTRA - PIERRE ESCHARD, SYSTRA - GEORGES MAURIS, SYSTRA

The first metro line for Ho Chi Minh City, Vietnam, scheduled to open in 2017, will have a total length of 19.7 km and will link the city centre to the Suoi Tien amusement park. The Management Authority for Urban Railways (MAUR) awarded the contract for construction of the line to the Sumitomo/Cienco 6 consortium, while design of the elevated section is performed by Systra. The elevated section of the line, for which detail design began in 2012, includes 11 elevated stations and five special engineering structures, all different. The flagship structure is Dien Bien Phu Bridge, a curved U-shaped viaduct with four spans, including a 70-metre main span, and of total length 230 m. □

PRIMERA LÍNEA DE METRO DE CIUDAD HO CHI MINH EN VIETNAM

MATHIEU MULS, SYSTRA - PIERRE ESCHARD, SYSTRA - GEORGES MAURIS, SYSTRA

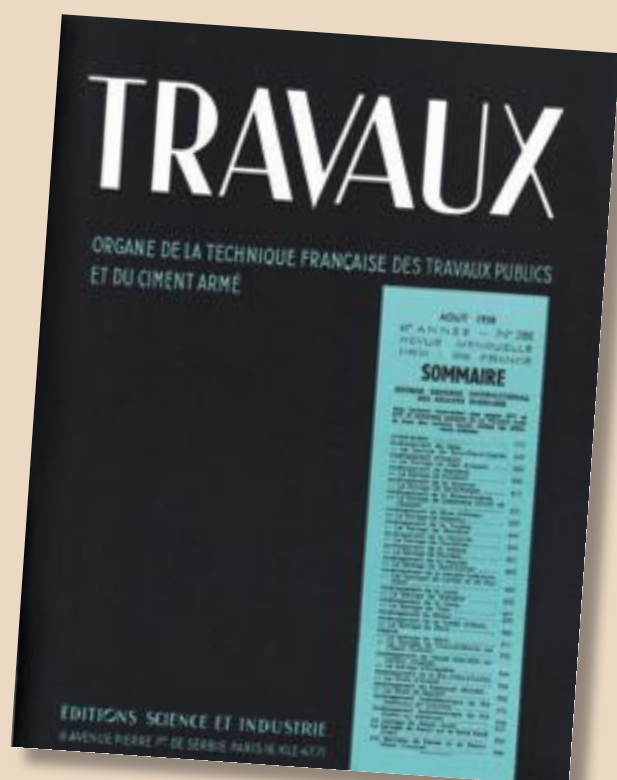
La primera línea del metro de Ciudad Ho Chi Minh en Vietnam, cuya apertura está prevista para 2017, conectará el centro de la ciudad con el parque de atracciones Suoi Tien y tendrá una longitud total de 19,7 km. Las autoridades locales para el transporte urbano (MAUR) han confiado la construcción de la línea a la agrupación Sumitomo - Cienco 6 Consortium, mientras que el diseño de la parte aérea es realizado por Systra. El tramo aéreo de la línea, cuyos estudios detallados comenzaron en 2012, está formado por 11 estaciones aéreas y 5 estructuras especiales, todas diferentes. La obra estrella es el puente de Dien Bien Phu, un viaducto en U extradosado de 4 tramos, con un tramo principal de 70 m y una longitud total de 230 m. □

TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : L'AMÉNAGEMENT HYDROÉLECTRIQUE DU RIO ANCHICAYA EN COLOMBIE ET DU RIO CARONI AU VENEZUELA

PAR A. ALLARY, INGÉNIEUR ECP

TRAVAUX N°286 - AOÛT 1958

RECHERCHE D'ARCHIVES PAR PAUL-HENRI GUILLOT, DOCUMENTALISTE-ARCHIVISTE, FNTF



Les années 50 sont la grande époque des barrages et de l'exportation du savoir-faire français, non seulement dans l'empire colonial francophone mais encore dans le reste du monde. L'entreprise Campenon-Bernard s'illustre dans cette activité. Créée en 1920 par l'ingénieur Edmé Campenon et l'entrepreneur André Bernard, associés plus tard à Eugène Freyssinet pour développer la précontrainte, cette entreprise a marqué l'histoire des travaux publics par nombre de ponts, de barrages et autres aménagements remarquables qu'elle a réalisés, dont le premier d'importance fut le barrage du Chambon. En 1984 elle est passée sous le contrôle de la Compagnie Générale des Eaux, puis en 1988 sous celui de la SGE. Le dernier avatar est son passage sous la bannière de Vinci en 2000. Elle opère aujourd'hui sous l'appellation Dodin Campenon-Bernard, filiale de Vinci Construction. Les deux grands barrages signés

Campenon-Bernard et décrits dans l'article sont la voûte incurvée à crête déversante d'Alto Anchicaya en Colombie (photo ci-dessous), dans une région qui a été plus tard et jusqu'à une époque récente contrôlée par les FARC, et le barrage à contrefort Macagna 1 sur le rio Caroni, à 10 km en amont de sa confluence avec l'Orénoque.



ABSTRACT

TREASURES FROM OUR ARCHIVES: HYDROELECTRIC POWER SCHEMES OF THE RIO ANCHICAYA IN COLOMBIA AND RIO CARONI IN VENEZUELA

TRAVAUX N°286 - AUGUST 1958

A. ALLARY

The 1950s were a grand era for dam construction and the export of French expertise, not only in the French-speaking colonial empire but also in the rest of the world. Campenon-Bernard was a renowned contractor in this activity. Founded in 1920 by the engineer Edmé Campenon and the entrepreneur André Bernard, who later joined forces with Eugène Freyssinet to develop prestressing, this company left a mark on the history of public works due to the number of bridges, dams and other remarkable schemes that it executed, the largest of which was Chambon Dam. In 1984 it came under the control of Compagnie Générale des Eaux, then SGE in 1988. The latest change saw it come under the Vinci banner in 2000. It now operates under the name Dodin Campenon-Bernard, a subsidiary of Vinci Construction. The two large dams constructed by Campenon-Bernard, described in the article, are the curved-arch dam with spillway crest at Alto Anchicaya in Colombia, in a region which was later, and until recently, controlled by the FARC rebels, and the Macagna 1 buttress dam on the Rio Caroni, 10 km upstream of its confluence with the Orinoco. □

TESOROS DE NUESTROS ARCHIVOS: EL APROVECHAMIENTO HIDROELÉCTRICO DEL RÍO ANCHICAYÁ EN COLOMBIA Y DEL RÍO CARONÍ EN VENEZUELA

TRAVAUX N°286 - AGOSTO DE 1958

A. ALLARY

Los años 50 son la época dorada de las presas y de la exportación del saber hacer francés no sólo al imperio colonial francófono, sino también al resto del mundo. La empresa Campenon-Bernard destaca en esta actividad. Creada en 1920 por el ingeniero Edmé Campenon y el empresario André Bernard, asociados más tarde a Eugène Freyssinet para desarrollar el pretensado, esta empresa ha marcado la historia de las obras públicas con numerosos puentes, presas y otros aprovechamientos destacables realizados, siendo el más importante la presa de Chambon. En 1984 se situó bajo el control de la Compagnie Générale des Eaux y más tarde, en 1988, bajo el de la SGE. El último avatar fue su paso bajo el distintivo de Vinci en 2000. Actualmente opera bajo la denominación Dodin Campenon-Bernard, filial de Vinci Construction. Las dos grandes presas obra de Campenon-Bernard que se describen en el artículo son la bóveda curvada en cresta vertiente de Alto Anchicayá en Colombia, en una región que más tarde, y hasta hace poco, fue controlada por las FARC, y la presa de contrafuerte Macagna 1 sobre el río Caroní, a 10 km aguas arriba de su confluencia con el Orinoco. □

ET R A N G E R

Colombie et Venezuela

APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DEL RIO ANCHICAYA EN COLOMBIA APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO DEL RIO CARONI EN VENEZUELA

Los países de América del Sur, cuyo desarrollo económico e industrial se vio frenado por falta de energía, han iniciado un importante programa de instalaciones hidroeléctricas.

— El aprovechamiento hidroeléctrico del río Anchicaya, en Colombia, se decidió para alimentar el valle alto del río Cauca, región muy rica donde las industrias se desarrollan cada vez más, y donde la población de Cali, capital del departamento, ha pasado de 100.000 a 300.000 habitantes. La presa es una obra del tipo gravedad arqueado, de hormigón, con vertedero en salto de esquí; el perfil es triangular con paramento superior, vertical. La altura es de 60 m, alrededor y la longitud total del coronamiento, de 205 m.; el volumen de hormigón es de 105.000 m³. Dos galerías transversales de regularización del nivel del embalse o de desagüe se han instalado en la parte inferior.

Una torre de toma de agua de hormigón armado está unida al paramento superior.

— El aprovechamiento hidroeléctrico del río Caroní, en Venezuela, se decidió por el Gobierno a fin de crear una industria para tratar el mineral de hierro, ya que han sido descubiertos recientemente importantes yacimientos de este mineral en el Estado de Bolívar. La presa de Macagua n° 1 está compuesta, en su parte central, de 6 tomas de agua, cada una de las cuales está formada por cinco elementos independientes. Los pasos han sido equipados de compuertas de sector y protegidos por rejas. La obra se completa en cada orilla por presas de tierra. Una tubería de presión metálica va a continuación de cada toma de agua. La presa no comprende ningún órgano de evacuación de crecidas, debido a que por la extensión que proporciona la gran superficie del embalse, las crecidas máximas pueden evacuarse por un vertedero natural que existe en un brazo muerto del río.

Deux pays d'Amérique du Sud, dont le plein développement économique et industriel fut freiné par le manque d'énergie, ont entrepris un important programme d'aménagement hydroélectrique, à savoir :

L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DU RIO ANCHICAYA EN COLOMBIE

Par A. ALLARY

Ingenieur E. C. P.

Le département du Valle del Cauca, dans le sud-ouest de la Colombie est compris entre les parallèles 3° et 5° Nord. Ses limites naturelles sont la chaîne centrale de la Cordillère des Andes, à l'est et le Pacifique à l'ouest. Il est traversé du nord au sud par la Cordillère occidentale dont le versant maritime est couvert, jusqu'à l'océan, par la forêt tropicale extrêmement dense, l'une des rares zones cultivées étant les abords de Buenaventura, seul port important de cette côte.

Entre les deux Cordillères, dont certains sommets culminent à plus de 5 000 m, se creuse la haute vallée du Río Cauca. C'est une région très riche, surtout agricole jusqu'à ces dernières années mais dans laquelle des industries se développent de plus en plus.

Attirée par ces industries, la population s'est accrue au point qu'en quinze ans celle de Cali, capitale du département, est passée de 100 000 à plus de 300 000 habitants.

Ce développement a entraîné une augmentation des besoins en énergie électrique. Il fut alors décidé de procéder à l'aménagement du Río Anchicaya. Cette rivière prend naissance sur le versant ouest de la Cordillère occidentale près de Cali. Elle coule très sensiblement d'est en ouest et se jette dans le Pacifique au sud de Buenaventura. Son bassin versant, d'une surface de 750 km², situé dans une région à forte pluviométrie

lui assure un débit moyen annuel de 90 m³/s, avec toutefois de fortes crues au printemps et en hiver, pouvant atteindre 5 000 m³/s.

Une société se constitua, la Sociedad Constructora de la Central Hidroeléctrica de Anchicaya avec la participation de l'Etat colombien pour 51 p. 100, celle du département pour 23 p. 100 et celle de la municipalité de Cali pour 26 p. 100.

Sous son impulsion, un projet fut établi et les travaux de génie civil commencèrent en 1944 par l'ouverture de routes d'accès dans une région montagneuse et fortement boisée, l'attaque des fondations dans la zone du barrage et le percement de la galerie de dérivation et du tunnel d'amenée.

En 1948, ils furent arrêtés par manque de crédits et, après un remaniement complet du projet initial par le bureau d'Ingénieurs-conseils Chas T. Main Incorporated, repris en 1951 avec la construction des installations de concassage et de bétonnage, la dérivation de la rivière, la suite des fouilles du barrage et du tunnel d'amenée, les fondations de l'usine et l'établissement de la ligne haute tension Anchicaya-Cali.

Mais c'est surtout à partir de 1953 que les travaux confiés aux Entreprises Camponon Bernard furent rapidement poussés.

En deux ans, la première étape de l'aménagement était



(Photo Campenon Bernard.)

Barrage d'Anchicaya.

achevée avec le bétonnage du barrage, le revêtement du tunnel d'amenée, la construction de la cheminée d'équilibre et de l'usine, les montages mécaniques et électriques et la mise en eau.

Le premier groupe hydroélectrique de 12 000 kW était mis en service en juin 1955, le second en décembre de la même année. De septembre 1955 à novembre 1956 se sont poursuivis les travaux d'agrandissement de l'usine et divers travaux annexes permettant le montage des 2 groupes supplémentaires de 20 000 kW et des installations correspondantes de cette deuxième étape au cours de 1957.

Le barrage.

Le premier projet consistait en un barrage-voûte mais les terrains de la rive droite ne pouvant admettre les noussées de l'arc, les Ingénieurs-conseils arrêtaient leur choix sur un ouvrage poids arqué, en béton non armé, avec déversoir en saut de ski.

Le profil du barrage est de forme triangulaire avec parement aval avec fruit de 0,7. Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

Hauteur maximum entre fondations et couronnement	59,6 m
Hauteur maximum entre fondations et crête déversante	53 m
Largeur maximum à la base	42 m
Longueur totale du couronnement	205 m
Volume de béton	105 000 m ³
Débit maximum évacuable	3 700 m ³ /s

Il est divisé en 16 plots entre lesquels l'étanchéité est réalisée au moyen de feuilles de cuivre en Z.

Deux galeries transversales de régularisation du niveau de la retenue, ou de vidange s'il y a lieu, de 1,83 m x 1,52 m de section, obturées par des vannes à tiroir, ont été prévues à la partie inférieure. Leur capacité totale est de 130 m³/s à pleine charge.

Une tour de prise d'eau en béton armé, accolée au parement amont, sert à deux fins : sa partie inférieure constitue l'entrée des deux galeries de vidange ; sa partie médiane, équipée d'une vanne-wagon et d'un dégrilleur, constitue celle de l'ouvrage de raccordement avec un tunnel d'amenée de 1 363 m rejoignant l'usine.

L'AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DU RIO CARONI AU VENEZUELA

Par A. ALLARY

Ingénieur E. C. P.

Dans l'Etat de Bolivar au Venezuela, d'importants gisements de minerai de fer ont été récemment découverts à proximité du Caroni, affluent rive droite de l'Orénoque.

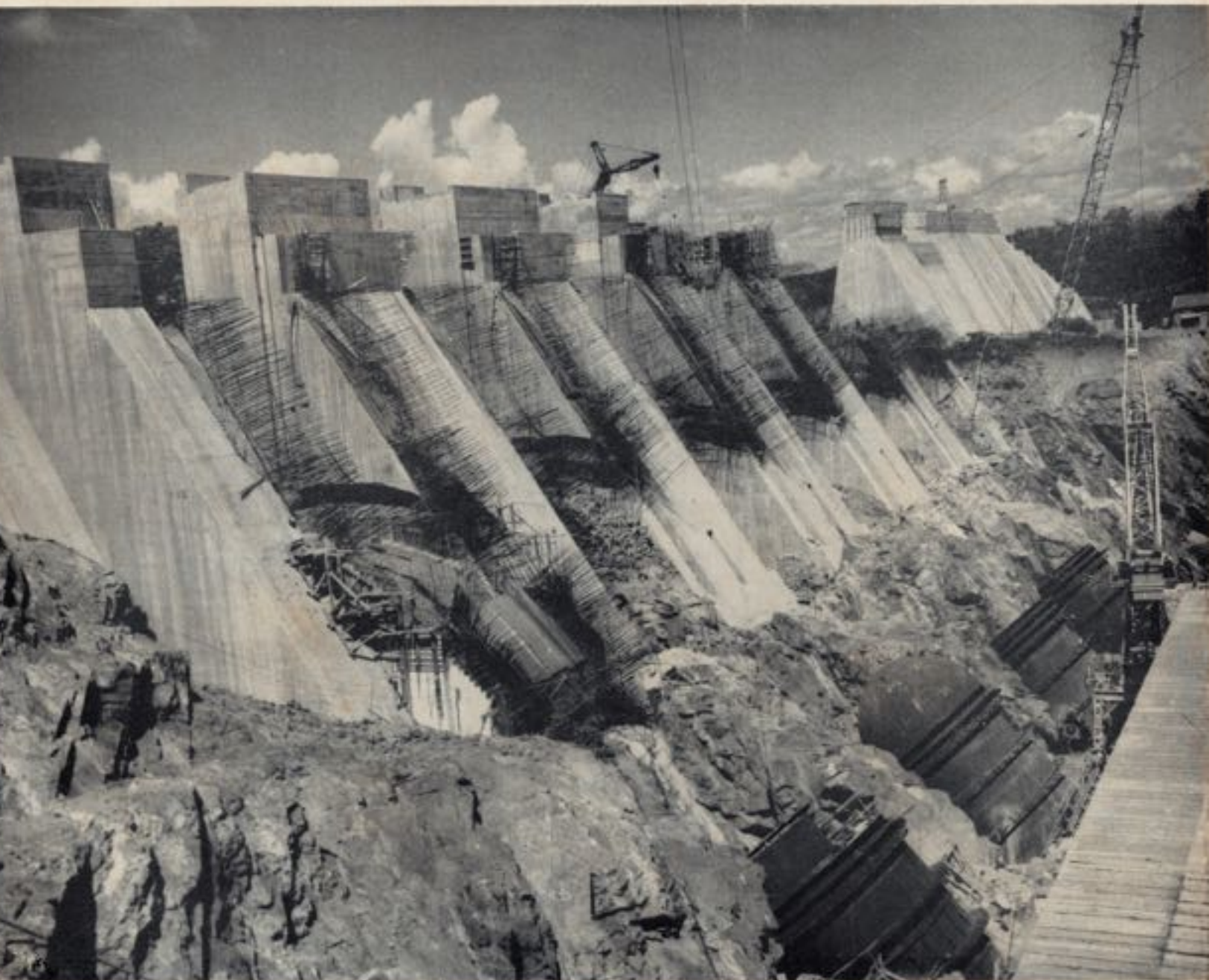
Le tonnage extrait est ainsi passé de 108 052 t en 1950 à plus de 11 millions de t en 1956.

Aucun complexe sidérurgique n'existant encore au Venezuela, le minerai est chargé sur des cargos remontant

l'Orénoque jusqu'aux ports de Puerto-Ordaz et de Palua, aménagés par les Sociétés concessionnaires, et transporté pour traitement aux Etats-Unis.

Désirant créer sa propre industrie, le Gouvernement vénézuélien a décidé de construire une usine près de l'affluent du Caroni et de l'Orénoque, dont la mise en service est prévue pour 1958.

Aménagement du Rio Caroni : contreforts vus d'aval.



La réduction du minerai sera obtenue au moyen de la méthode électrique et la fabrication de l'acier réalisée par le processus Siemens-Martin.

Pour la production de l'énergie électrique nécessaire, un grand programme d'aménagement du Caroni a été étudié.

Sa première étape est la construction d'un barrage et d'une usine (Macagua n° 1) sur le deuxième canal des chutes inférieures de ce fleuve, à environ 9 km à l'amont de Puerto-Ordaz dans le district de Piar.

Le barrage.

Le barrage est composé dans sa partie centrale de 6 prises d'eau, chaque prise étant formée des cinq éléments indépendants suivants :

- contrefort ;
- seuil de la passe ;
- support de la grille ;
- chambre de vanne ;
- pont.

Les passes sont équipées de vannes-secteurs de 10 m x 11 m, commandées par des vérins hydrauliques à dispositif automatique de fermeture en cas d'emballement des turbines et protégées par des grilles. Des batardeaux démontables coulissant dans des rainures permettent d'obturer les passes en cas de réparations des vannes.

Le pont formant couronnement supporte une chaussée routière et la voie d'une grue portique. Vers la rive droite, le barrage est prolongé par un mur de retenue en béton.

À son extrémité nord, un canal de vidange est prévu pour l'évacuation des corps solides charriés par le fleuve.

L'ouvrage est complété sur chaque rive par des digues en terre dont l'une ferme le premier canal du Caroni et l'autre, de 3 300 000 m³, rejoint sur la rive gauche le batardeau amont. Leur construction a été menée à bien dans des temps records par des Entreprises vénézuéliennes.

Chaque prise d'eau est suivie d'une conduite forcée métallique de 7,50 m de diamètre reposant sur le rocher par l'intermédiaire d'une fondation en béton et recouverte d'une couche de protection également en béton.

L'usine, placée au pied du barrage, comprend 6 groupes turbo-alternateurs du type « Francis », à axe vertical, de 50 000 kW, fonctionnant sous 42 m de hauteur de chute.

Le barrage ne comprend aucun organe d'évacuation des crues car, compte tenu de l'étalement à la surface de la retenue, les crues maxima s'évacuent par le déversoir naturel formé par les chutes du Caroni, dont le développement en crête est supérieur à un kilomètre.

En première phase, seule la partie sud de l'ouvrage doit être entièrement exécutée afin de permettre le fonctionnement de 4 prises d'eau et la mise en service de 4 groupes. La partie nord sera partiellement construite et des batardeaux voûtés en béton montés dans les deux passes non équipées en attente des vannes qui seront installées par la suite.

Exécution des travaux.

Après une période préparatoire, utilisée par le maître de l'œuvre à la construction des routes d'accès et des batardeaux et à l'exécution d'une partie des fouilles, les travaux de génie civil de la première phase ont commencé en mai 1956. Leur achèvement est prévu pour septembre 1959.

Les fouilles n'ont pas révélé d'accidents importants du rocher mais le cube prévu de 61 000 m³ a été triplé du fait des approfondissements nécessités par la présence de zones hétérogènes fissurées.

Sous les parafouilles amont du barrage et aval de l'usine, des rideaux d'étanchéité ont été exécutés.

La mise en place des 200 000 m³ de béton est effectuée à l'aide de 3 blondins oscillants, 2 de 3 t et 1 de 6,3 t, et 2 grues « Lima » 2 400. Le béton provenant d'une centrale de bétonnage double de 40 m³/h est amené par chariots automoteurs sous les blondins et par camions aux grues.

Ces installations ont permis des pointes journalières de 600 m³ et des rendements mensuels de 15 000 m³ malgré la complexité des formes de l'ouvrage, les nombreuses granulométries imposées et la densité du ferrailage.

Le projet de Macagua n° 1 a été dressé par les Ingénieurs-conseils anglais, Sir Williams Halcrow and Partners et Kennedy-Donkin, suivant les directives de la Commission d'Études pour l'Électrification du Caroni.

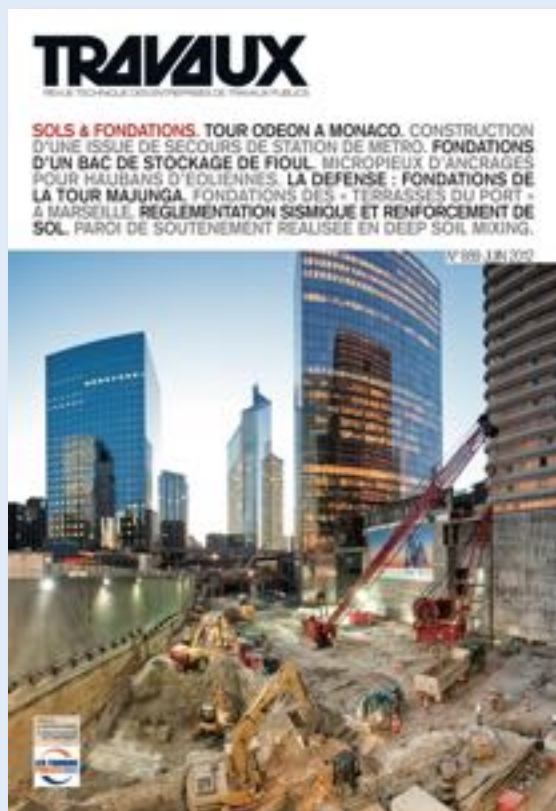
Les travaux de génie civil ont fait l'objet d'un marché confié après adjudication aux Empresas Campenon Bernard de Venezuela qui assument en plus le montage des divers équipements, tels que : vannes, charpentes métalliques, ponts roulants, grues, etc. Elles ont comme sous-traitant pour les sondages et injections, la Société Subsuelos.

A. ALLARY



ABONNEZ-VOUS !

OFFRE SPÉCIALE DÉCOUVERTE **109 €** SEULEMENT, SOIT PLUS DE **20 %** DE RÉDUCTION



Dans la nouvelle formule vous découvrirez...

- Les chantiers en images
- L'actualité de la profession
- Le dossier thématique
- Les interviews des grands décideurs
- La présentation des tendances et innovations du secteur
- Le point de vue des ingénieurs sur les chantiers importants



ABONNEZ-VOUS EN LIGNE SUR WWW.REVUE TRAVAUX.COM OU RENVOYEZ LE BULLETIN D'ABONNEMENT CI-DESSOUS À

Com et Com - Service Abonnement TRAVAUX - Bât. Copernic - 20 av. Édouard Herriot - 92350 Le Plessis-Robinson - Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22 - Fax : +33 (0)1 40 94 22 32 - Email : revue-travaux@cometcom.fr

Oui, je m'abonne à la revue **TRAVAUX**. Je choisis l'offre suivante :

- Offre découverte de 6 mois, 5 numéros pour 109 € au lieu de 138 €, soit plus de 20 % de réduction sur le prix de vente au numéro
- 1 an (9 numéros dont 2 doubles) pour 190 € au lieu de 275 €, soit près de 30 % de réduction sur le prix de vente au numéro
- 1 an Enseignant France : 125 € (certificat attestant votre exercice dans un établissement d'enseignement à joindre à votre règlement)
- 1 an Étudiant France : 50 € (photocopie de la carte d'Étudiant à joindre à votre règlement)
- 1 an International : 240 € (hors France métropolitaine)

Pensez au multi-abonnement !

Offre d'abonnement multiple à prix dégressifs

Abonnement 1 an (9 numéros dont 2 doubles) France métropolitaine

- 2 à 5 abonnements : 170 € l'abonnement au lieu de 190 €
- 6 à 10 abonnements : 160 € l'abonnement au lieu de 190 €
- Plus de 10 abonnements : 150 € l'abonnement au lieu de 190 €

Je choisis _____ abonnements France Métropolitaine

Abonnement 1 an (9 numéros dont 2 doubles) International et Dom-Tom

- 2 à 5 abonnements : 220 € l'abonnement au lieu de 240 €
- 6 à 10 abonnements : 210 € l'abonnement au lieu de 240 €
- Plus de 10 abonnements : 200 € l'abonnement au lieu de 240 €

Je choisis _____ abonnements International et Dom-Tom

+ l'accès privilégié au site www.revue-travaux.com sur lequel vous disposez de plus de 10 ans d'archives de la revue Travaux.

JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom _____ Prénom _____

Entreprise _____ Fonction _____

Adresse _____

Code postal [] [] [] [] [] [] Ville _____

Tél. : _____ Fax : _____

Email : _____ Merci de ne pas communiquer mon adresse mail.

Je joins mon règlement d'un montant de _____ € TTC par Chèque à l'ordre de com'1 évidence

ATTENTION : tous les règlements doivent être libellés exclusivement à l'ordre de com'1 évidence

- Je réglerai à réception de la facture
- Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire

Afin de mieux vous connaître, merci de bien vouloir nous communiquer les renseignements concernant votre activité.

- État / Administration
- Collectivités territoriales
- Établissements publics et parapublics
- Bureaux d'étude et fournisseurs
- Entreprise (précisez)
 - Organisation professionnelle
 - Grands comptes TP
 - Entreprises routières
 - Entreprises indépendantes
- Enseignement
- Presse écrite
- Particuliers

Divers (précisez) _____

Effectif des établissements

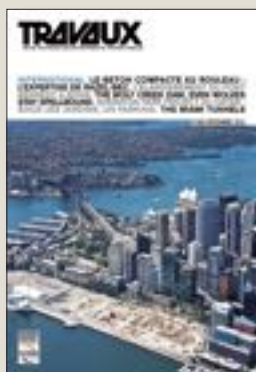
- de 1 à 2 (A) de 50 à 99 (D)
- de 3 à 9 (B) de 100 à 499 (E)
- de 10 à 49 (C) > 500 (F)

Votre fonction (précisez) _____

Offre valable jusqu'au 31/12/14. Conformément à la loi «Informatique et Libertés» du 6/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes extérieurs. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher cette case

COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION DE TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS



893 - INTERNATIONAL



894 - TRAVAUX SOUTERRAINS



895 - TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX



896 - OUVRAGES D'ART



897 - SOLS & FONDATIONS



898 - SPÉCIAL BÉTONS



899 - VILLE DURABLE - ÉNERGIES NON POLLUANTES



900 - INTERNATIONAL



901 - TRANSPORTS, ROUTES ET TERRASSEMENTS



902 - SPÉCIAL STADES



903 - PATRIMOINE & RÉHABILITATION



904 - TRAVAUX SOUTERRAINS



905 - TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX



906 - OUVRAGES D'ART



907 - SOLS & FONDATIONS

BON DE COMMANDE

À renvoyer à : Com et Com - Service Abonnements TRAVAUX - Bât. Copernic - 20 av. Édouard Herriot - 92350 Le Plessis-Robinson
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22 - Fax : +33 (0)1 40 94 22 32 - Email : revue-travaux@cometcom.fr

JE COMMANDE LES NUMÉROS SUIVANTS (cochez les cases de votre choix en indiquant le nombre d'exemplaires) :

- 893 x ___ 894 x ___ 895 x ___
 896 x ___ 897 x ___ 898 x ___
 899 x ___ 900 x ___ 901 x ___
 902 x ___ 903 x ___ 904 x ___
 905 x ___ 906 x ___ 907 x ___

Soit un montant total de :
_____ numéros x 25 € = _____ €

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 25 € à 20 € l'unité. Pour plus de 100 numéros commandés le prix est de 17 € l'unité. Pour les auteurs de la revue le prix est de 15 € l'unité.)

JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom _____ Prénom _____

Entreprise _____ Fonction _____

Adresse _____

Code postal [] [] [] [] [] [] Ville _____

Tél. : _____ Fax : _____

Email : _____ Merci de ne pas communiquer mon adresse mail.

Je joins mon règlement d'un montant de _____ € TTC par Chèque à l'ordre de com'1 évidence

ATTENTION : tous les règlements doivent être libellés exclusivement à l'ordre de com'1 évidence

- Je réglerai à réception de la facture
 Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire



© COLAS - Balint Pornecs



Autoroute M0 en Hongrie,
Colas Hungaria Kft.