

# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**INTERNATIONAL.** CITY RAIL LINK EN NOUVELLE-ZELANDE. AMENAGEMENT HYDROELECTRIQUE DE SINGROBO-AHOUATY EN COTE D'IVOIRE. REMPLACEMENT DE LA SUPERSTRUCTURE DU PONT FERROVIAIRE SPEED RIVER AU CANADA. LE TUNNEL D'UCKA EN CROATIE. VENDA NOVA III AU PORTUGAL. DOUBLEMENT DU TUNNEL MARTYR AHMED HAMDY II SOUS LE CANAL DE SUEZ. CONCEPTION DU PONT EXTRADOSSE SUR LA A1-M1 - ILE MAURICE. DIGUE D'URGENCE AU SENEGAL. LE QUATRIEME PONT D'ABIDJAN

N° 978 JUIN 2022



PONT EXTRADOSSE  
SUR LA A1-M1 -  
ÎLE MAURICE  
© TGBV





# 0 RISQUE ROUTIER



## ON AVANCE !



Dans le BTP, on progresse toujours en prévention. Entretien des véhicules, chargement du matériel, comportements individuels... adoptons les meilleures pratiques ! Du 9 mai au 17 juin 2022, venez tester votre niveau de sécurité et découvrir les solutions simples à mettre en place, les formations dédiées à vos métiers et tous les outils qui vous feront avancer.

[zerorisqueroutierBTP.fr](http://zerorisqueroutierBTP.fr)

© Gettyimages - agenceValetheValette



 **GOVERNEMENT**  
*Justice  
Égalité  
Fraternité*

**SÉCURITÉ  
ROUTIÈRE VIVRE,  
ENSEMBLE**

**OPPBTP**

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@fnfp.fr

Comité de rédaction  
Erica Calatizzo (Systra), Jean-Bernard  
Datry (Setec), Olivier de Vriendt  
(Spie Batignolles), Denis Etienne  
(Bouygues), Philippe Gotteland (Fnfp),  
Florent Imbert (Razel-Bec),  
Nicolas Law de Lauriston (Vinci),  
Romain Léonard (Demathieu Bard),  
Claude Le Quéré (Egis), Véronique  
Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau  
(Soletanche Bachy), Jacques Robert  
(Arcadis), Claude Servant (Eiffage),  
Nastaran Vivan (Artelia),  
Michel Morgenthaler (Fnfp)

Ont collaboré à ce numéro  
Rédaction  
Sophie Le Renard (actualités),  
Marc Montagnon

Service Abonnement et Vente  
TBS GROUP  
Service Abonnement Revue Travaux  
235, avenue le Jour se Lève  
92100 BOULOGNE BILLANCOURT  
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  
10, rue du Progrès - 93100 Montreuil  
Tél. : 01 41 63 10 30  
www.rive-media.fr  
Directeur de clientèle  
Bertrand Cosson -  
b.cosson@rive-media.fr  
L.D. : 01 41 63 10 31

Site internet : [www.revue-travaux.com](http://www.revue-travaux.com)

Édition déléguée  
Com'1 évidence  
2, chemin dit du Pressoir  
Le Plessis  
28350 Dampierre-sur-Avre  
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).

Éditions Science et Industrie SAS  
9, rue de Berri - 75008 Paris  
ISSN 0041-1906

## POURQUOI S'EXPATRIER ?



© DR

On comprend bien pourquoi les entreprises françaises ont tout intérêt à se projeter vers l'international : les articles de la revue *Travaux*, pour ne citer qu'elle, en sont la preuve.

Dès lors, il faut aborder la question suivante : qu'est-ce qui peut pousser quelqu'un, et en particulier quelqu'un de jeune, à s'expatrier hors de France ?

J'avais 25 ans lorsque je suis parti, en famille, au Kenya, au Nigéria, au Québec, puis à Madère, et voilà qu'après 25 ans en France j'y retourne, avec envie, et j'aimerais pouvoir convaincre les jeunes autour de moi de prendre le même chemin.

La première raison est bien sûr la grande satisfaction personnelle que cela procure. On se fait à l'export une quantité incroyable de souvenirs inoubliables, qui font paraître bien pâles les histoires de nos amis restés en France, lorsqu'on les retrouve tous les 4 ou 6 mois. Ce plaisir de la découverte et de l'aventure, bien sûr, les routards qui parcourent le globe le connaissent, mais il y a dans l'export plus que cela.

En effet, l'expatriation est également l'occasion d'apprendre énormément sur soi-même, et sur notre façon d'interagir avec ce qui nous entoure. Cet immense enrichissement personnel nous sera très utile par la suite, quelle qu'elle soit. On n'acquiert pas plus de compétences techniques à l'export qu'en France, mais, en revanche, on y développe beaucoup plus vite de nombreux savoir-faire humains et managériaux, dont je vais citer ici quelques exemples.

À l'export, pas le choix, il faut savoir se confronter à d'autres points de vue : selon les pays et les cultures, on n'approche pas les choses de la même façon, et les discussions n'ont pas les mêmes règles. Je prendrais comme exemple le Québec : ce n'est pas parce qu'on parle la même langue qu'on se comprend toujours.

Il faut aussi, plus qu'ailleurs, savoir s'adapter, se débrouiller : il n'est pas besoin d'être dans la savane africaine pour se retrouver dans des situations compliquées, mais je peux vous assurer que les moments de solitude y sont quand même plus forts, plus longs et plus fréquents.

L'éloignement nous apprend à savoir anticiper : lorsque tout vient par bateau on ne fait pas sa commande au dernier moment. Pour les mêmes raisons, on apprend, parfois à ses dépens qu'il faut savoir arrêter une décision, et s'y tenir. Les modifications de dernière minute n'ont plus leur place.

Il faut également s'astreindre à être concis et clair : sur le chantier de Bonny Island au Nigéria les coordonnées des ouvrages étaient envoyées par telex ! Cet exemple n'est peut-être plus parlant aujourd'hui où les technologies numériques ont tellement évolué, mais qui sait, il doit bien rester des endroits où l'envoi d'un courriel avec ses pièces jointes n'est pas garanti.

Enfin, et c'est peut-être le plus important, l'export est une grande école d'humilité et d'empathie.

Nous sommes souvent nourris, dans nos écoles d'ingénieurs et dans nos sociétés, d'un sentiment de supériorité quant à la technologie française. Mais l'humilité s'impose quand votre ingénieur brésilien vous explique qu'il vient de construire le barrage d'Itaipu, le plus grand barrage du monde à l'époque : vous comprenez que vous aurez du mal à l'impressionner.

Quant à l'empathie, il faut bien se rendre compte que l'on ne sort pas indemne d'une affectation dans un pays pauvre. Un expatrié, contrairement à un touriste, sera confronté au quotidien des ouvriers et à des situations qui exigent de ne pas rester indifférent, et de venir en aide.

**OLIVIER DE VRIENDT**  
SPIE BATIGNOLLES FONDATIONS  
DIRECTEUR DU DÉVELOPPEMENT COMMERCIAL  
INTERNATIONAL

LISTE DES ANNONCEURS : OPPBTP, 2<sup>e</sup> DE COUVERTURE - RINCENT, P.23 - PRO BTP, P.61 - SMA BTP, P.89 - BTP BANQUE, 3<sup>e</sup> DE COUVERTURE - MACCAFERRI, 4<sup>e</sup> DE COUVERTURE





# INTER NATIONAL

DIGUE D'URGENCE DE 2,175 km SUR LA LANGUE DE BARBARIE, SÉNÉGAL © PROJET PPOS







04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



16

**ENTRETIEN AVEC  
AYMEN CHEIKH MHAMED**

SYSTRA -  
UNE SUPRANATIONALE DES INFRA-  
STRUCTURES DE TRANSPORT  
DANS LE MONDE

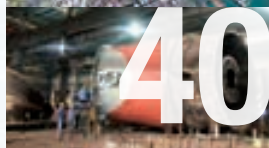
**24 FAYOLLE CANADA INC. -  
LE CANADA COMME TERRE  
DE DÉVELOPPEMENT**



32

**CITY RAIL LINK**

Auckland se dote  
de la première ligne de métro  
en Nouvelle-Zélande



40

**PROJET D'AMÉNAGEMENT  
HYDROÉLECTRIQUE  
DE SINGROBO-AHOUATY  
(PAHSA)**

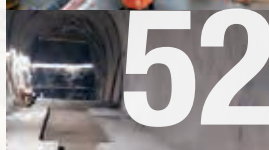
en Côte d'Ivoire



46

**REMPLACEMENT DE  
LA SUPERSTRUCTURE  
DU PONT FERROVIAIRE  
SPEED RIVER**

au Canada



52

**LE TUNNEL D'UČKA  
EN CROATIE**

Un ouvrage de tradition  
innovant



62

**AMÉNAGEMENT  
HYDROÉLECTRIQUE  
DE VENDA NOVA III**

au Portugal



69

**LE DOUBLEMENT  
DU TUNNEL MARTYR  
AHMED HAMDY II**

sous le canal de Suez



76

**CONCEPTION  
DU PONT EXTRADOSSÉ  
SUR LA A1-M1**

Île Maurice



82

**DIGUE D'URGENCE  
DE 2,175 km SUR  
LA LANGUE DE BARBARIE**

au Sénégal



90

**LE QUATRIÈME PONT  
D'ABIDJAN**







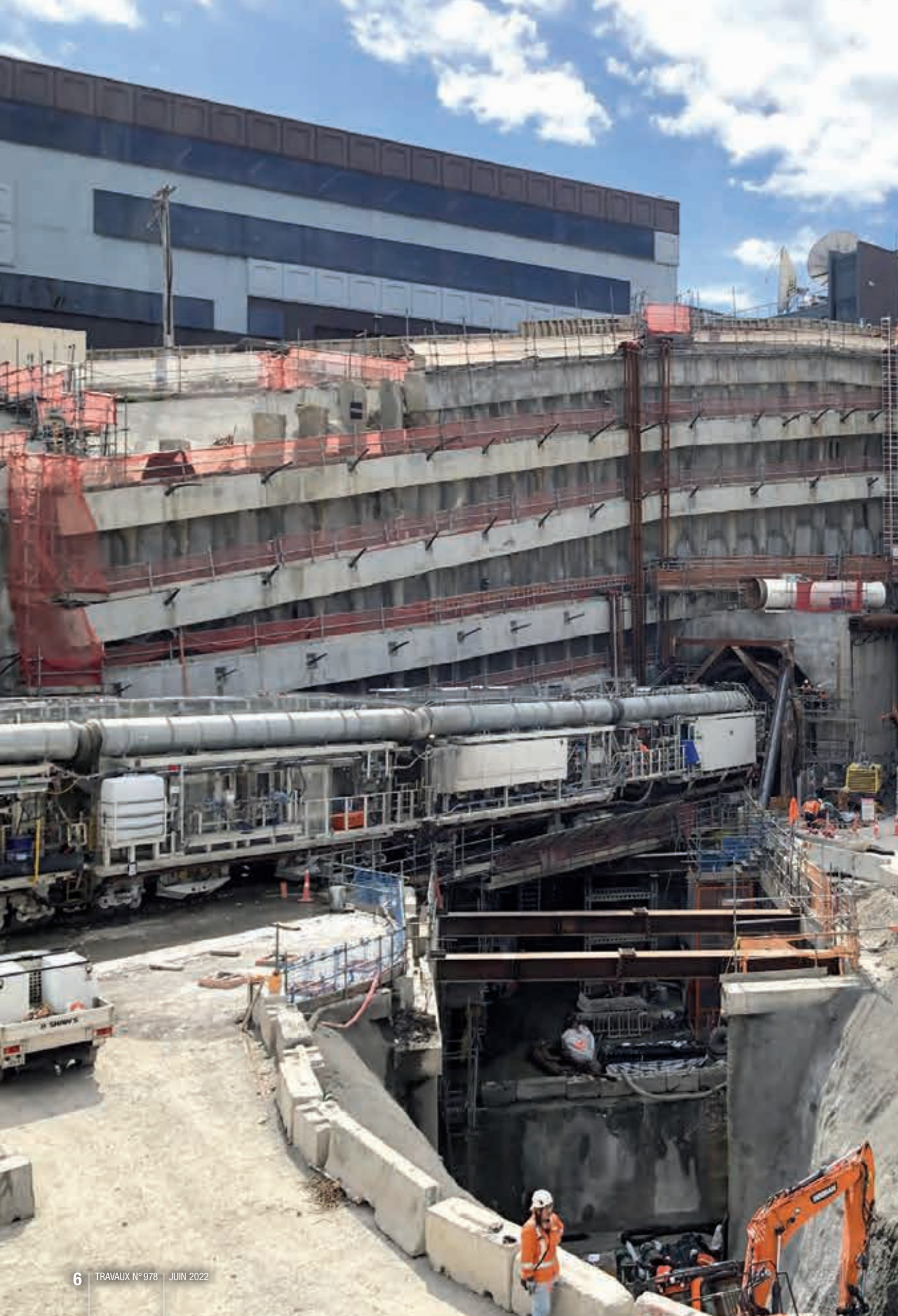
## 4<sup>e</sup> PONT D'ABIDJAN

### L'INGÉNIERIE FRANÇAISE À L'ŒUVRE POUR FRANCHIR LA BAIE DU BANCO

**Setec tpi** en groupement avec Setec Côte d'Ivoire, Setec International, Terrabo ingénieur conseil et Studi International intervient en mission de contrôle et de reprise du projet sur le " 4<sup>e</sup> pont d'Abidjan " dont la conception initiale est signée d'Egis. L'ouvrage, de 7,2 km, franchit la baie du Banco. Le constructeur est une entreprise chinoise. L'opération permet à l'ingénierie française de rayonner sur le continent africain et d'effectuer ainsi un vrai transfert de compétences vers ses filiales africaines dans les domaines du béton précontraint et des fondations profondes. **(Voir article page 90).**









## AOTEA ET KARANGA'HAPE SONT LES NOMS MAORIS DE DEUX NOUVELLES STATIONS DU CITY RAIL LINK D'AUCKLAND

**Vinci Construction Grands Projets** en groupement avec Downer New Zealand et Soletanche Bachy International poursuit la construction du City Rail Link d'Auckland avec, notamment, la construction de deux nouvelles stations souterraines dans l'hypercentre. La capacité de transport sera doublée. C'est le plus gros projet réalisé à ce jour en Nouvelle Zélande. Un partenariat a été établi avec huit tribus maories ayant vécu sur l'emprise du projet, visant à garantir le respect des droits et coutumes maories, dans les règles du Kaitiakitanga qui est le principe du management de l'environnement fondé sur la vision qu'ont les Maoris de l'univers.

(Voir article page 32).





## D'IMPORTANTES MOYENS POUR LE DÉVELOPPEMENT DE L'ÉOLIEN EN MER

**L'éolien en mer est une filière industrielle qui est appelée à se développer. Des moyens sont mobilisés pour structurer cette industrie. Des projets sont en cours de déploiement comme celui de la création d'une ferme de trois éoliennes flottantes, dans le golfe du Lion.**



Éoliennes en mer, une source d'énergie en développement.

L'heure est à la planification pour atteindre la neutralité carbone, renforcer notre indépendance énergétique tout en relocalisant notre industrie. Les énergies renouvelables et en particulier l'éolien en mer au large des côtes françaises, doivent participer à ce vaste chantier, aux enjeux majeurs. Les objectifs sont clairs et ont été annoncés en février dernier par le Président de la République. Une cinquantaine de parcs d'éoliennes offshore d'une puissance totale de 40 GW devra être en état de produire à l'échéance 2050. Pour arriver à ce résultat qui combine politique industrielle et transition énergé-

tique, un "Pacte éolien en mer" a été signé, le 14 mars dernier entre l'État et la filière représentée par le Syndicat des énergies renouvelables, France énergie éolienne et le Comité stratégique de filière des nouveaux systèmes énergétiques.

### → 20 000 emplois directs et indirects

Cette filière compte aujourd'hui 5 000 emplois (Observatoire des énergies de la mer 2021) pour une implantation dans quatre ports : Montoir de Bretagne sur l'estuaire de la Loire, Saint-Nazaire, Cherbourg et Le Havre. Des engagements

chiffrés ont été actés et vont nécessiter de nouveaux appels d'offres. Les signataires de ce pacte visent un volume minimal d'attribution de marchés de 2 GW/an dès 2025 mais aussi la création au moins 20 000 emplois directs et indirects d'ici 2035, pour 40 milliards d'euros d'investissements. Ils promettent des « *projets exemplaires en matière d'intégration à l'environnement, humain comme naturel, dans lesquels ils s'insèrent.* »

En effet, les éoliennes en mer font souvent l'objet de contestations de la part de la population mais aussi des marins pêcheurs. Mais toute implantation est soumise à un débat public, comme celui clos fin 2021, avec 900 avis exprimés, concernant l'emplacement de deux parcs éoliens flottants en Méditerranée.

### → Structurer l'industrie

Les conclusions de cette concertation ont permis au Premier ministre d'alors d'annoncer, les zones retenues, une à 22 km au large de Narbonne (Aude) et une au large du golfe de Fos-sur-Mer (Bouches-du-Rhône). Ces parcs d'une capacité de 250 MW chacun vont occuper une

superficie de 50 km<sup>2</sup> chacun avec de possibles extensions jusqu'à 100 km<sup>2</sup>. Les lauréats des procédures de mise en concurrence seront désignés en 2023 en vue d'une mise en service à l'horizon 2030. Cette production d'électricité correspond à la consommation domestique d'un million d'habitants.

Autre annonce faite par Jean Castex, ce jour de mars à 2022 à Port-la-Nouvelle (Aude), le lancement de deux appels à manifestation d'intérêt. Le premier concerne le développement d'infrastructures portuaires liées aux activités industrielles de l'éolien flottant. Le second va permettre de structurer cette industrie en faisant émerger une filière de production d'équipements, de construction et d'assemblage. Dans le cadre de France 2030, 300 millions d'euros seront dédiés au soutien de cette activité.

L'Observatoire national de l'éolien en mer doté de 50 millions d'euros sur trois ans, doit observer les enjeux de biodiversité liés au déploiement des éoliennes. Les premières études ont été lancées en 2022. ■



Pales d'éoliennes dans le port de Saint Nazaire.

## UNE FERME DE 3 ÉOLIENNES FLOTTANTES EN CONSTRUCTION

Lauréat de l'appel à projets éolien flottant de l'Ademe, le projet Eolmed prend forme pour une mise en service fin 2023. Cette ferme composée de trois éoliennes flottantes de 10 MW sera reliée au Réseau de transport d'électricité (RTE) par un câble sous-marin.

Situées à 16 km au large de Leucate (Aude), dans le golfe du Lion, ces éoliennes capteront le vent du large et pourront couvrir les besoins annuels de 50 000

habitants de ce littoral. Développé par le producteur indépendant d'électricité Qair, avec TotalEnergies et BW Ideol fournisseur de flotteurs en acier, Eolmed a nécessité cinq années d'ingénierie et d'études.

### → Construction automne 2022

Ce projet novateur en France bénéficie d'investissements et de financements à la fois publics (Programme d'Investis-

sements d'Avenir de l'Ademe, l'Agence régionale énergie climat d'Occitanie, la communauté d'agglomération du Grand Narbonne) et privés. La décision finale d'investissement avec tous les acteurs est intervenue le 9 mai 2022 pour une construction des éoliennes, à partir de l'automne. La construction des flotteurs est confiée à une entreprise régionale, Matière, implantée dans le Lot. Eolmed pourra s'appuyer sur l'exten-

sion des infrastructures de Port-la-Nouvelle, qui va devenir "un nouveau hub portuaire" dédié à l'éolien flottant. L'État va accompagner à hauteur de 32 M€ cette opération portée par la Société d'économie mixte à opération unique Port-La-Nouvelle, qui regroupe les partenaires publics et privés chargés d'assurer l'aménagement, l'exploitation, la gestion et le développement de celui-ci. ■



## UNE EXPLOITATION ÉCORESPONSABLE DE LA BIODIVERSITÉ GUYANAISE



© EPFA GUYANE

L'ancien centre d'émission de TDF, friche industrielle de 3 000 m<sup>2</sup> à Montsinéry-Tonnégrande (Guyane), va accueillir une exploitation spécialisée dans les bioressources.

En lisière de la forêt amazonienne à la biodiversité saisissante, baignée par la rivière Montsinéry, à proximité de Kourou, station spatiale, la commune de Montsinéry-Tonnégrande (2 700 habitants), en Guyane, entend bien valoriser ses atouts. Bénéficiant de moyens de l'État dans le cadre de l'Opération d'intérêt nationale (OIN) pilotée par l'EPFA Guyane, la commune va bénéficier d'un écoquartier de 600 logements (en cours de construction) mais aussi d'un pôle d'innovation axé sur les "Greentech", inclus dans le plan de relance.

### → Préservation de la biodiversité et développement économique

« Des laboratoires, des start-ups et une locomotive, l'entreprise BioStratège spécialisée dans les domaines de l'écologie, l'extraction du végétal, le développement d'ingrédients et de produits naturels écoresponsables, vont s'y installer, » détaille Patrick Lecante, maire de Montsinéry-Tonnégrande. Ce pôle qui souhaite rayonner au-delà des frontières de la Guyane, sera déployé sur le site de

l'ancien centre d'émission de TDF, une friche industrielle de 3 000 m<sup>2</sup>, en reconversion.

Le 30 janvier 2022, Barbara Pompili, alors ministre de la Transition et de l'Écologie, a rencontré les élus et acteurs de cette opération et a souligné que ce projet représentait « un des plus beaux exemples du fait qu'il ne faille plus opposer la préservation de la biodiversité et le développement économique d'un territoire avec tout ce que cela peut entraîner : des emplois, des perspectives et puis aussi des productions locales qui rapportent des revenus. »

### → Production industrielle et transformation des bioressources

Le projet représente un investissement industriel de plus de 6,8 millions d'euros qui permettra, dans un premier temps, la création de 23 emplois directs. BioStratège va devenir propriétaire du site guyanais au cours de l'année 2022. Un bâtiment pour les laboratoires mais aussi différents types de jardins et d'espaces, pour la culture et la mutation de plantes

locales, structurent ce lieu à la végétation toute tropicale. « Ce qu'on espère ici, c'est d'installer notre production industrielle, donc tout ce qui est transformation des bioressources guyanaises, » précise Mariana Royer, présidente de cette entreprise déjà implantée au Canada, à proximité de la forêt boréale.

Le site de Montsinéry-Tonnégrande, va aussi accueillir un centre de recherche, AmazonActiv, dédié au contrôle qualité des bioressources locales. Des partenaires agricoles locaux seront appelés à travailler au sein de ce "cluster Green-Tech Guyane".

Un jardin botanique de démonstration, de plantes médicinales et aromatiques, des pépinières de recherche sur les biostimulants et biopesticides, un espace de formations, mais aussi un écolodge et un spa amazonien axé sur l'écotourisme, seront aménagés.

Pôle d'expertise, ce cluster souhaite aussi structurer une offre de formation pour des jeunes diplômés et des entrepreneurs. ■

## 750 MILLIONS D'EUROS CONSACRÉS AUX FRICHES

Quand entre 20 000 et 30 000 hectares sont grignotés chaque année sur la nature et les terres agricoles, l'artificialisation des sols est un enjeu central pour tout projet d'infrastructures et de construction. La loi Climat et Résilience a défini l'objectif d'atteindre l'absence de toute artificialisation nette des sols, en 2050, et de réduire par deux la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers d'ici 2032.

Un décret paru au Journal officiel du 30 avril 2022 donne une définition précise de ce qu'est une surface artificialisée.

### → Reconversion de sites industriels

750 millions d'euros sont mobilisés, dans le cadre du Plan de relance. Un appel à projets piloté par les préfets de région a été lancé pour l'acquisition, la dépollution et la démolition de friches. Un autre porté par l'Ademe concerne des opérations de reconversion d'anciens sites industriels.

21 projets lauréats ont été dévoilés en janvier, bénéficiant de 18 millions d'aides qui vont générer 85 000 m<sup>2</sup> de logements et 250 000 m<sup>2</sup> de surfaces économiques et industrielles. On peut noter la création en bord de Seine d'une plateforme multimodale sur la friche du Val d'Hazey (Eure) ou la requalification de la friche du Pont des gains à Breuillet (Essonne), en logements et activités économiques.



## UNE ÉQUIPE DE FRANCE BTP POUR LES WORLDSKILLS 2024

WorldSkills, compétition qui met en avant les compétences de jeunes talents du monde entier à travers 65 métiers va se tenir à Lyon, en septembre 2024. Pour cette occasion, la Fédération française du bâtiment et la Fédération nationale des travaux publics, en partenariat avec la Société mutuelle du bâtiment et des travaux publics ont créé une équipe de France du BTP afin de valoriser cette filière, les emplois et les formations. Les WorldSkills 2024 se présentent dès cette année avec des sélections de jeunes de moins de 23 ans au niveau régional afin de constituer une équipe nationale. Dans chaque région un réseau de chefs d'entreprises s'est mobilisé pour faire connaître ces "jeux olympiques des métiers". 16 métiers du BTP seront représentés lors de la manifestation lyonnaise qui comptera 1 600 compétiteurs venus de 80 pays.

Ces jeunes talents de la construction seront coachés par Christophe Urios, ancien joueur de rugby et actuel directeur sportif de l'Union Bordeaux Bègles.

## UN PROJET EUROPÉEN POUR CONTRER LES ROUTES DE LA SOIE

La commission européenne a annoncé le "Global Gateway", soit la mobilisation, entre 2021 et 2027, de 300 milliards d'euros d'investissements de fonds publics et privés dans des projets d'infrastructures en dehors de l'Union européenne. À l'image des "routes de la soie" chinoises, Bruxelles souhaite investir dans les Balkans, en Afrique et en Amérique du Sud, dans "le numérique, le climat et l'énergie, les transports, la santé, l'éducation et la recherche".

## L'EAU, UNE RESSOURCE EN DANGER



Affiche réalisée par des élèves de l'école maternelle Ker-Anna à Ploeren (Morbihan) à l'occasion de la Journée mondiale de l'eau.

La journée mondiale de l'eau, le 22 mars fut l'occasion pour les Canaliseurs de s'interroger sur la place de l'eau dans le processus du réchauffement climatique. L'organisation professionnelle qui regroupe 330 entreprises spécialisées (canalisations eaux potables, usées, d'irrigation, de gaz et fluides divers), s'interrogeait à la fois en termes d'urgence et de résilience face à une situation de plus en plus critique qui engendre sécheresse et inondations dévastatrices. Emma Haziza hydrologue, docteure de l'École des Mines de Paris, était invitée pour dresser un tableau précis de la situation. Et son constat est sans appel.

### → Fragilités climatiques

« La menace climatique a un impact sur les ressources en eau. La variabilité naturelle a toujours existé, engendrant des années plus chaudes ou plus pluvieuses. Mais aujourd'hui des paramètres changent. En 2017, une réelle cassure s'est produite, avec des sécheresses jusqu'à la fin du mois de décembre de cette année-là, » décrypte cette pionnière sur les questions de résilience territoriale et d'adaptation au changement climatique.

L'année 2019 marque un nouvel état de sécheresse où des records sont battus avec 42°C à Paris et 46°C dans le Gard. L'année suivante, le manque de pluie et des températures élevées entraînent des incendies dans les champs de Picardie. L'eau dans l'atmosphère permet de réguler le climat. Il y a en effet un lien entre température élevée et pluie abondante. C'est ce que l'on constate en 2021, avec

des chaleurs importantes sur la Scandinavie, un air froid sur la France et des inondations en Allemagne et en Belgique. Les exemples peuvent se multiplier tant ces fragilités climatiques deviennent courantes. Les perspectives de l'année 2022 sont déjà inquiétantes avec un hiver sans précipitation et un printemps chaud entraînant de nombreuses incertitudes en matière de récoltes.

### → Réseaux plus vertueux

Pour Emma Haziza, des pistes existent néanmoins pour atténuer l'effet de cette pente dangereuse. « Il faut conserver l'eau en milieu naturel, recréer des zones humides de tourbières avec des matières organiques dans les sols qui les enrichissent, végétaliser la ville, utiliser des nouveaux matériaux plus perméables, récupérer les eaux intérieures et éviter l'évaporation mais aussi anticiper les risques avec une bonne gestion de l'eau, » déclare-t-elle. La résilience est au cœur de ces processus. L'agriculture, très grande consommatrice d'eau, est un acteur essentiel et peut agir en reconstituant des réservoirs de biodiversité, en plantant arbres et haies.

Concernant les infrastructures et les canalisations, la spécialiste en hydrologie "prône des matériaux plus durables pour se protéger face aux aléas thermiques". Ce que confirme Alain Grizaud, président des Canaliseurs, car les travaux publics comptent pour 3,5% des émissions de carbone en France et 50% si l'on considère les usages des infrastructures : « Nous devons construire des réseaux plus vertueux, recalibrer les ouvrages, collecter les eaux pluviales comme sur la ville de Nîmes qui a subi par le passé de nombreuses inondations meurtrières. » ■



Les Canaliseurs, acteurs d'une gestion durable de l'eau.



## CONSTRUCTION MÉTALLIQUE : UNE ACTIVITÉ SOUTENUE MAIS DES INCERTITUDES



© SCMF/DL OCEAN - GROUPE D'ATELIER CAUMES/AIR MARINE

École de cinéma à Bègles (Gironde). Maître d'œuvre : Hobo Architecture.

Le secteur de la construction métallique en France connaît une situation contrastée. D'un côté, les chiffres sont bons et rassurants. En effet, l'année 2021 s'est conclue par une progression des activités de +8% et un chiffre d'affaires de l'ordre de 4 milliards d'euros, soit 780 000 tonnes d'acier mises en œuvre. Ces données ont été mises en avant lors du bilan annuel de cette filière, représentée par le Syndicat de la construction métallique de France (SMFC). Ce secteur compte 800 entreprises (principalement des PME et ETI familiales) pour 25 000 emplois. Et pour 2022, le SMFC table sur une progression de 2 à 3%. Le marché de la construction métallique de bureaux et de ponts progresse assez nettement, avec des carnets de commande à plus de 6 mois de visibilité.

### → Difficulté de recrutement

Pourtant le ciel s'assombrit pour la construction métallique qui doit faire face à des enjeux importants pour continuer son développement. En effet, cette filière est particulièrement dépendante des cours des matières premières et de l'acier qui connaissent une flambée qui n'est pas encore jugulée. Ainsi entre novembre 2020 et février 2022, le prix de l'acier a connu un bon de +142%. Autre difficulté : le niveau insuffisant de recrutement. En effet, le SCMF estime le besoin de créer 20 000 emplois sur 5 ans. « C'est pourquoi notre profession lance un appel aux conseils régionaux pour leur faire découvrir nos métiers présents sur tout le territoire national, mais aussi leur rappeler que ces emplois

sont délocalisables, » souligne Roger Briand qui préside ce syndicat professionnel.

Les profils recherchés concernent tant le bureau (dessinateur, technicien construction métallique, ingénieur bureau d'études, chargé d'affaires, responsable qualité) que l'atelier (soudeur qualifié, ingénieur soudeur, opérateur à commande numérique pour robots, chaînes d'automatisation, chef d'atelier, peintre) ou encore le chantier (mineur levageur, chef d'équipe, chef de chantier, conducteur de travaux).

### → Réemploi et recyclage

La nouvelle réglementation environnementale, RE2020, nécessite d'améliorer l'empreinte carbone des produits utilisés pour la construction métallique. Mais le syndicat dénonce « un parti pris non justifié en faveur du matériau bois. L'analyse de cycle de vie dynamique retenue par le

ministère de la transition écologique pour évaluer les émissions de carbone apporte au matériau bois un avantage inéquitable et inexplicable scientifiquement et préjudiciable à l'analyse globale. La RE2020 doit nous aider à faire advenir cette économie circulaire et ne pas au contraire nous couper les ailes dans nos démarches actuelles. » martèle Roger Briand qui considère que cette réglementation « freine les solutions de réemploi et de recyclage auxquelles la filière acier est très attachée. »

La gestion des déchets est aussi un enjeu pour cette profession qui va devoir augmenter leur taux de recyclage et de valorisation, même si la profession a un taux de récupération des métaux de 90%. Ainsi la contribution que les entreprises de construction métallique devront verser, à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2023, ne devrait pas être trop élevée. ■



© SCMF/DL OCEAN - GROUPE D'ATELIER CAUMES/AIR MARINE

BBQ restaurant Borem à Pessac (Gironde). Maître d'œuvre : Nicolas Morales Architecture.

## WEBUILD INSTALLE UN VIADUC FERROVIAIRE EN SICILE

Webuild, groupe italien, a achevé l'installation du viaduc de Buttaceto, une imposante structure en métal qui représente une infrastructure importante pour la Sicile. En passant au-dessus d'une rivière, cet ouvrage de 62 mètres de long et 750 tonnes, est un tronçon essentiel pour la ligne ferroviaire Palerme-Catane (nord-ouest/est). La construction de ce viaduc a mobilisé 300 fournisseurs directs et 400 travailleurs. La structure a été assemblée sur place. La manœuvre d'installation a été complexe : grâce à l'utilisation de pistons hydrauliques, le tablier du viaduc a été glissé sur des poutres en béton armé et des supports métalliques.



© WEBUILD

Le viaduc de Buttaceto, au-dessus de la rivière Bicocca-Catenanuova.

## NORDSIGNAL REJOINT LE GROUPE EGIS

Egis, via sa filiale Est Signalisation, a acquis NordSignal, une entreprise familiale, créée en 2021 et implantée à Arras, dans les Hauts de France. Cette jeune société est spécialisée dans le contrôle des travaux de signalisation et la rédaction des dossiers de consultation pour la SNCF. Ses compétences couvrent l'installation, les contrôles et la vérification technique, le raccordement, la maintenance d'installations et d'équipements de signalisation ferroviaire. Par cette acquisition, Egis souhaite renforcer son expertise en matière de signalisation ferroviaire et plus particulièrement en contrôle de travaux et vérifications techniques.



## VINCI CONSTRUCTION REMPORTE DEUX MARCHÉS EN AUSTRALIE

Seymour Whyte, filiale australienne de Vinci Construction, se voit confier deux importants projets d'infrastructures à Sydney et Melbourne, pour un budget total de 338 millions d'euros. À Sydney, les travaux, réalisés en partenariat avec le groupe BMD, comprennent deux volets : l'enceinte côté ville et les zones d'accès au futur aéroport Western Sydney International - Nancy-Bird Walton d'une capacité de 10 millions de voyageurs, qui ouvrira en 2026. L'objectif de ce chantier est d'intégrer la future autoroute qui va relier l'aéroport au réseau autoroutier de Sydney mais aussi de construire deux stations de métro.

À Melbourne, Seymour Whyte a été sélectionnée par Major Road Projects Victoria (MRPV), l'autorité publique des transports de l'État de Victoria pour la rénovation d'axes routiers afin d'améliorer la fluidité du trafic. Des voies existantes vont être doublées sur 5 km, deux ponts seront construits, ainsi qu'une nouvelle voie de 5,5 km pour les piétons et cyclistes.

Vinci vise, pour ces deux projets australiens, l'obtention du label environnemental "Excellent" décerné par l'Infrastructure Sustainability Council.



© VINCI CONSTRUCTION

Le futur aéroport de Sydney ouvrira en 2026.

## L'ENGAGEMENT RESPONSABLE ET ENVIRONNEMENTAL DES INDUSTRIES DE CARRIÈRES ET MATÉRIEAUX DE CONSTRUCTION



© UNICEM

UNICEM entreprises engagées (UEE) représente près de 1400 entreprises, TPE, ETI patrimoniales, groupes d'envergure internationale.

« En 30 ans, nous avons démontré notre capacité à répondre efficacement aux enjeux environnementaux et sociétaux liés à nos activités. Nous l'avons fait progressivement et collectivement, en accueillant au sein de l'association des entreprises toujours unies par cette volonté d'améliorer constamment leurs pratiques, » expliquait en avril 2022 Louis Natter, président Unicem entreprises engagées (UEE) une émanation de l'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction (Unicem) créée en 2017. Il a souhaité revenir sur 3 décennies d'actions, qui ont commencé en 1992 par la création de la charte professionnelle des producteurs de granulats.

Cette organisation qui réunit 1400 entreprises, a mis l'accent, lors de cet anniversaire, sur son engagement en matière de développement durable qui s'est accentué au fil des années. C'était aussi l'occasion d'interpeller les pouvoirs publics pour que les entreprises du secteur labellisées responsabilité sociale des entreprises (RSE) « puissent bénéficier, d'une bonification des aides publiques relatives à l'innovation, la transition écologique et la décarbonation ; de garanties publiques pour limiter les cautions à fournir aux banques et assurances et de taux d'emprunt privilégiés. »

→ 1091 entreprises dotées d'un label RSE

Depuis 2017, l'Unicem a mis en place d'une charte RSE, aujourd'hui label RSE,

à destination de tous ses adhérents. C'est un référentiel qui interpelle les entreprises afin qu'elles s'engagent dans cette démarche plus résiliente qui concerne la gouvernance, le capital humain, l'environnement, les clients, les consommateurs et les fournisseurs. Une évaluation par un organisme tiers indépendant (OTI) est ensuite réalisée. En 2017, 166 entreprises s'engageaient dans cette voie, elles sont aujourd'hui 1091 dotées d'un label RSE. Pour une meilleure maîtrise et réduction

des impacts environnementaux, une valorisation de la biodiversité, une amélioration des sites, le développement de l'économie circulaire, les industries de carrières peuvent aussi s'engager dans la démarche appelée "Cap environnement". 635 sites de carrières ont adhéré à celle-ci, soit 262 entreprises.

Des outils pédagogiques et de communication, une programmation régulière de webinaires, des sessions de formation, un dialogue avec les parties prenantes (collectivités territoriales, associations, riverains, fournisseurs), permettent aux entreprises de la filière de s'investir plus dans ces démarches. « Celles-ci apportent de la crédibilité à l'entreprise tant vis-à-vis de ses salariés, que de ses clients mais aussi vis-à-vis des acteurs du territoire où elle est implantée, » affirme Sandrine Bélier (Humanité et Biodiversité), qui accompagne les entreprises candidates à l'obtention du label RSE. Ce que confirme Pierre-Yves Beaulieu, directeur de l'entreprise marseillaise de carrières et béton Bronzo : « Je reste convaincu qu'à moyen terme cela fera la différence en termes d'embauche, de pérennité des emplois et de regard de nos parties prenantes. Nos relations seront plus sereines et plus durables tout en montrant que notre profession est sincèrement responsable. » ■



© UNICEM

7 000 sites de de carrières sont répartis sur l'ensemble du territoire.



## LA SÉCURISATION D'UN ÉPERON ROCHEUX, SOCLE D'UN CHÂTEAU EN ARDÈCHE



Relevés réalisés par le Cerema pour mettre évidence d'éventuels mouvements millimétriques sur l'éperon rocheux, base d'un château ardéchois.

Depuis le XI<sup>e</sup> siècle, le château de Châteaubourg en Ardèche, construit sur un éperon rocheux haut d'une vingtaine de mètres, domine la Vallée du Rhône. Mais la roche qui constitue le soubassement du château connaît depuis plusieurs années une lente mais importante dégradation, avec des fractures ouvertes et des chutes régulières de pierres et de petits blocs.

Après plusieurs expertises contradictoires, celle du Cerema a abouti, en 2017, à l'adoption d'une stratégie de réduction des risques rocheux et de sécurisation en pied de falaise en plusieurs phases. Deux campagnes de

purge des blocs instables ont été réalisées par l'entreprise grenobloise Hydrokarst spécialisée dans les travaux en accès difficile.

La première phase a permis de débroussailler et purger 12 m<sup>3</sup> sur 1 500 m<sup>2</sup> de déchets végétaux, de pierres et de petits blocs. La seconde a consisté en des purges spécifiques et contrôlées par déroctage soit 9,5 m<sup>3</sup> au niveau de huit compartiments rocheux.

### → Nuage de points 3D

En parallèle, le Cerema a réalisé des relevés réguliers depuis le pied de la falaise au moyen d'un scanner laser de type Trimble SX10. L'objectif était de mettre en

évidence d'éventuels mouvements d'amplitude millimétrique, liée à des variations de température qui pouvaient entraîner fracture et éboulement. Chaque relevé fournit un nuage de points 3D dense et précis. Ces données font ensuite l'objet d'un traitement numérique spécifique. Puis les travaux définitifs ont été mis en œuvre nécessitant la pose de 1 400 m<sup>2</sup> de grillage plaqué-ancré accroché par boulons passifs de gros diamètre sur des compartiments rocheux volumineux et potentiellement instables. Ce chantier de six semaines entre janvier et mars 2022 a été réalisé par l'entreprise Ouest Acro spécialisée dans les travaux en hauteur. ■

## ANTICIPER L'IMPACT DES SÉISMES SUR LES RÉSEAUX ROUTIERS ET LEURS OUVRAGES

Quel impact les tremblements de terre peuvent-ils avoir sur les réseaux routiers en zone urbaine et péri-urbaine ? Pour répondre à cette question, le Cerema a développé la méthode Sismet en partenariat avec les métropoles de Nice, de Nantes ainsi qu'avec le conseil départemental des Alpes-Maritimes. Les expériences passées ont montré le rôle crucial des infrastructures et de leurs ouvrages, aussi bien pour la gestion de crise sismique que pour le retour à une situation normale.

Il s'agit donc d'évaluer la vulnérabilité d'un itinéraire ou d'un tronçon routier et des ouvrages qui s'y trouvent (ponts, murs de soutènement, tunnels et talus routiers).

### → Différents itinéraires envisagés

Les indices de sensibilité sont ainsi définis en fonction des caractéristiques géométriques et typologiques de chaque élément de structure et de leur capacité de réaction en cas de vibration du sol, de chutes de blocs, ou glissements de terrain. Cette stratégie permet alors d'envisager

différents scénarios d'itinéraires pour le passage des véhicules de secours avec des déviations possibles pour un accès rapide aux hôpitaux, gares, aéroports...

Cette méthode s'appuie sur des outils d'évaluation préliminaire du risque sismique développés par le Cerema, baptisés Sismoa, Sismur et Sisroute. Elle s'est vu décerner la médaille d'or dans la catégorie résilience lors de la remise des prix Piarc (Association mondiale de la route) France 2021. ■

## AMÉNAGEMENT HYDROÉLECTRIQUE DE LA SARENNE : LA MOITIÉ DU TUNNEL EST CREUSÉE

L'aménagement hydroélectrique de la Sarenne, en Isère, nécessite le creusement d'une galerie souterraine de 2,3 km et d'un puits incliné de 350 m, puis la mise en place des conduites forcées en acier. Cela va permettre l'acheminement de l'eau entre la prise d'eau située au pied d'une piste de la station de l'Alpe d'Huez (1455 m) jusqu'à l'usine d'exploitation située à Bourg d'Oisans (725 m). Le chantier mené par Spie batignolles génie civil et ses co-traitants, pour le compte de Compagnie Nationale du Rhône, commencé en janvier 2021 pour une durée de 36 mois, avance à bon rythme.

### → Méthodes spécifiques

Le tunnelier à roche dure poursuit son avancée sur une cadence de 202 m par mois malgré la présence d'une roche particulièrement dense et de la découverte de trois failles, qui ont été traitées avec des soutènements spécifiques. Le puits, en cours de creusement, a la particularité d'être sur une pente inclinée à 45°. Cela a nécessité le déploiement de méthodes et d'engins très spécifiques. La technique du "raise-boring" a été employée. Elle consiste à creuser un forage pilote de petit diamètre, du haut vers le bas pour descendre un train de tiges. L'alésage au diamètre final se fait ensuite du bas vers le haut.



Le tunnel hydroélectrique en cours de creusement entre la station de l'Alpe d'Huez et l'usine d'exploitation de Bourg d'Oisans.



## URBANGRAVEL, DES REVÊTEMENTS DRAINANTS PAR L'ENTREPRISE JOUPLAST

La lutte contre l'imperméabilisation des sols est un des enjeux pour contrer les inondations liées au réchauffement climatique. L'entreprise Jouplast a mis au point des revêtements drainants, des plaques alvéolées dénommées "Urbangravel". Celles-ci sont une solution pour aménager des surfaces gravillonnées en milieu urbain. Ces plaques ont pour atout de stabiliser le gravier, de drainer les eaux de pluie de façon naturelle et d'empêcher la dégradation des sols ou l'apparition de trous. Elles ont été installées en 2021 sur un parking de covoiturage, de 20 places sur la commune de Chambéry, en Savoie. Sur ce chantier, les plaques ont été posées après les travaux de terrassement et de mise en place des bordures délimitant la surface.



Plaques favorisant le drainage des eaux de pluies.

## UN LOGICIEL POUR UNE MEILLEUR GESTION DES INFRASTRUCTURES

Le logiciel Infrasim a été développé par l'entreprise Oxand pour une plus grande efficacité dans la gestion des infrastructures, ouvrages d'art ou de chaussées. Il permet aux propriétaires, gestionnaires et concessionnaires de piloter leurs décisions d'investissement, actions de maintenance et travaux. Il est utilisé par le département des Côtes-d'Armor.

« Nous sommes ainsi passés du constat à la prospective. Le logiciel permet anticiper la dégradation des ouvrages le plus tôt possible, » explique Franck Bourdais, directeur infrastructures du département breton.

## LES PROJETS FUTURISTES DE LA FONDATION JACQUES ROUGERIE



Un coup de cœur décerné aux architectes thaïlandais d'une unité d'extraction des ressources sur Mars.

La Fondation Jacques Rougerie - Institut de France a décerné le 1<sup>er</sup> décembre 2021, six prix internationaux d'architecture pour une dotation globale de 30 000 €. Elle récompense des projets d'architecture qui s'inspirent du biomimétisme, c'est-à-dire du vivant, pour créer les habitats du futur sous la mer, dans l'espace ou répondant aux enjeux de la montée du niveau des océans liée au réchauffement climatique.

Ce prix existe depuis 11 ans<sup>(1)</sup>, la Fondation Jacques Rougerie a reçu près de 11 000 candidatures en provenance de 135 pays.

### → Sauver les récifs coralliens

Une structure complexe dont la forme est inspirée d'une diatomée, une division de microalgue unicellulaire, constitue un bâtiment qui se déplace, dans la mer, grâce à l'énergie éolienne et la puissance de

l'eau. Ce projet est mené par une équipe d'architectes internationaux, Suchak Irurii, l'agence Najjar Najjar architectes, Klar Robert, Mihai Spanache, Atanas Zhelev et Nadja Najjar originaires d'Autriche, Liban, Suède, Roumanie et Bulgarie.

Pour sauver les récifs coralliens mais aussi les espèces, Guillaume Nicolle (France) et Monika Nicolle Stokic (Serbie), prévoient de coloniser les fonds sous-marins. L'objectif est ainsi de créer un village d'aquaculture adoptant les règles naturelles des récifs coralliens. Une mention spéciale va à l'architecte roumaine Dariana Nistor qui a dessiné un organisme insulaire auto-croissant où processus synthétiques et naturels s'entremêlent et s'appliquent à l'architecture. Et aussi au projet Sea Nurse, créé par une équipe de concepteurs japonais (Yoshitomo Izumi, Shungo Kusano, Sei

Mabashi, Wataru Maruyama, Yudai Motomura, Yuto Tauchi, Marina Ouchi) pour restaurer une barrière de corail en souffrance. Ce centre d'apprentissage permettrait d'améliorer la biodiversité marine en régénérant le corail blanchi par le réchauffement climatique.

### → Une unité d'extraction des ressources sur Mars

Aux Maldives (Océan indien), la montée de la mer est déjà une réalité. Pluem Pongpisal et Likit Kittisakdinan, deux architectes thaïlandais, ont conçu Naaduvaa 2100, une plateforme flottante respectueuse de l'environnement, pour que les fondamentaux de l'océan puissent cohabiter. Des îlots interconnectés comprenant un habitat et des espaces communs et partagés sont ainsi dessinés, pour une vie plus apaisée. Même architecture flottante mais plus géométrique, pour le projet de Shubbaam Rathi, architecte indien, de maisons reliées les unes aux autres qui s'adaptent au rythme des marées, sur le littoral africain.

Et enfin des projets très impressionnants situés dans l'espace. Deux concepteurs chinois, Zhichao Lin et Yanze He, ont dessiné en 3D une station spatiale en orbite. Teerin Rungsiyaram, Jaifa Heranya et Apichaya Tananukul, architectes thaïlandais ont même pensé une unité d'extraction des ressources sur Mars. Elle pourrait ainsi produire de l'eau, de l'oxygène, de l'hydrogène et des matériaux de construction en exploitant la glace d'eau souterraine. ■

<sup>(1)</sup> Travaux n°949, mars 2019, p. 14 ; n°959, avril-mai 2020, p. 15 et n°970, juillet-août 2021, p. 6.



Grand prix pour le projet Naaduvaa 2100, une plateforme flottante respectueuse de l'environnement.



## AGENDA

### ÉVÉNEMENTS

*Nous invitons les lecteurs à vérifier par internet que les événements annoncés dans cette rubrique sont maintenus, à quelle date et dans quelles conditions (en présentiel et/ou à distance).*

#### • 4 AU 6 JUILLET

**Stratégies de modélisation numérique pour des structures en béton durables**

Lieu : Marseille  
[www.afgc.asso.fr](http://www.afgc.asso.fr)

#### • 4 AU 8 JUILLET

**IS Rivers (recherches et actions fleuves et grandes rivières)**

Lieu : Lyon  
<https://asso.graie.org/isrivers/>

#### • 6 AU 8 JUILLET

**Architecture et structures**

Lieu : Aalborg (Danemark)  
[www.icsa2022.create.aau.dk](http://www.icsa2022.create.aau.dk)

#### • 21 AU 23 SEPTEMBRE

**Ponts et structures : connexion, intégration et harmonisation**

Lieu : Nanjing, nord-ouest de Shanghai (Chine)  
[www.iabse.org](http://www.iabse.org)

#### • 29 SEPTEMBRE

**23<sup>e</sup> colloque Syndicat des énergies renouvelables**

Lieu : Paris (Maison de la chimie)  
[www.ser-evenements.com](http://www.ser-evenements.com)

#### • 4 ET 5 OCTOBRE

**Assises Port du futur**

Lieu : Lorient (Morbihan)  
[www.portdufutur.fr](http://www.portdufutur.fr)

#### • 22 AU 24 NOVEMBRE

**Salon des maires**

Lieu : Paris (Porte de Versailles)  
[www.salondesmaires.com](http://www.salondesmaires.com)

### FORMATIONS

#### • DU 14 OU 16 SEPTEMBRE

**Conception générale des ponts**

Lieu : Paris  
<https://formation-continue.enpc.fr/>

#### • 4 OCTOBRE

**Entraînement à la concertation et la participation du public aux projets d'infrastructures**

Lieu : Paris  
<https://formation-continue.enpc.fr>

#### • SECOND SEMESTRE

**Calcul de la robustesse des structures**

Lieu : Paris  
<https://formation-continue.enpc.fr>

#### • SECOND SEMESTRE

**Alimentation électrique : les spécificités et la mise en œuvre en ferroviaire urbain et en ferroviaire lourd**

Lieu : Paris  
<https://formation-continue.enpc.fr>

#### • SECOND SEMESTRE

**Stratégie et moyens de réduction du bruit des transports terrestres**

Lieu : Paris  
<https://formation-continue.enpc.fr>

### NOMINATIONS

#### UNICEM LA RÉUNION :

**Matthieu Degioannini a été élu à la présidence du Collège Béton prêt à l'emploi (BPE) au sein de l'Unicem de l'Île de la Réunion. Il succède à Xavier Legrand.**



# TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

**Retrouvez l'actualité de la profession, les chantiers en images, les interviews des grands décideurs, le point de vue des ingénieurs.**  
**Pour réserver votre emplacement publicitaire dans Travaux, contactez :**

#### Prochains numéros :

- TRAVAUX n° 979 " Travaux maritimes et fluviaux "
- TRAVAUX n° 980 " Ouvrages d'art "



#### Bertrand COSSON

Tél. 01 41 63 10 31  
[b.cosson@rive-media.fr](mailto:b.cosson@rive-media.fr)



# SYSTRA

# UNE SUPRANATIONALE DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT DANS LE MONDE

Au fil des années et suite à une accélération initiée en juin 2011, le groupe Systra tel qu'il existe aujourd'hui<sup>(1)</sup> s'est imposé dans le monde comme l'un des plus importants bureaux d'ingénierie et de conseil spécialisé dans les transports publics et les solutions de mobilité.

Entretien avec Aymen Cheikh Mhamed, Vice-Président Senior Design and Build du groupe Systra et Arabie Saoudite, qui depuis Dubaï, nous présente dans le détail la vision qui anime Systra au travers de très nombreux projets en cours et à venir. PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



1- Aymen Cheikh Mhamed, Vice-Président Senior Design and Build du groupe Systra et Arabie Saoudite.

## Que recouvre l'activité Design & Build de Systra, menée à partir de Dubaï ?

Systra organise son activité d'abord géographiquement à partir d'une dizaine de pays clés dans lesquels il réalise environ 80 % de son chiffre d'affaires. Ces pays sont définis pour leur potentiel de développement et cela permet notamment de focaliser notre stratégie d'investissement.

À cette organisation géographique se superposent des entités transverses, dont fait partie l'entité Design & Build. Depuis nos locaux de Dubaï, nous accompagnons des entreprises internationales de construction, qu'elles soient françaises, italiennes, turques, chinoises... dans la réalisation de leurs projets partout dans le monde.

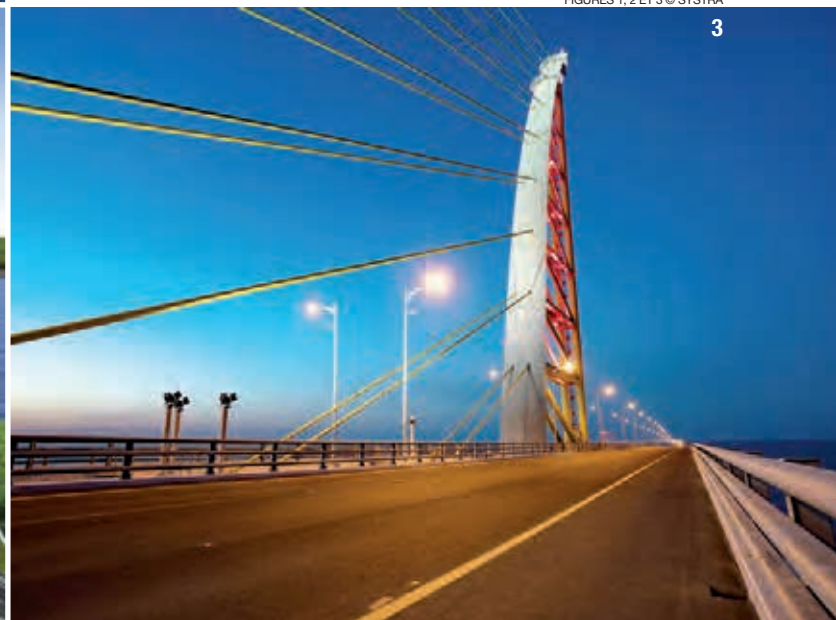
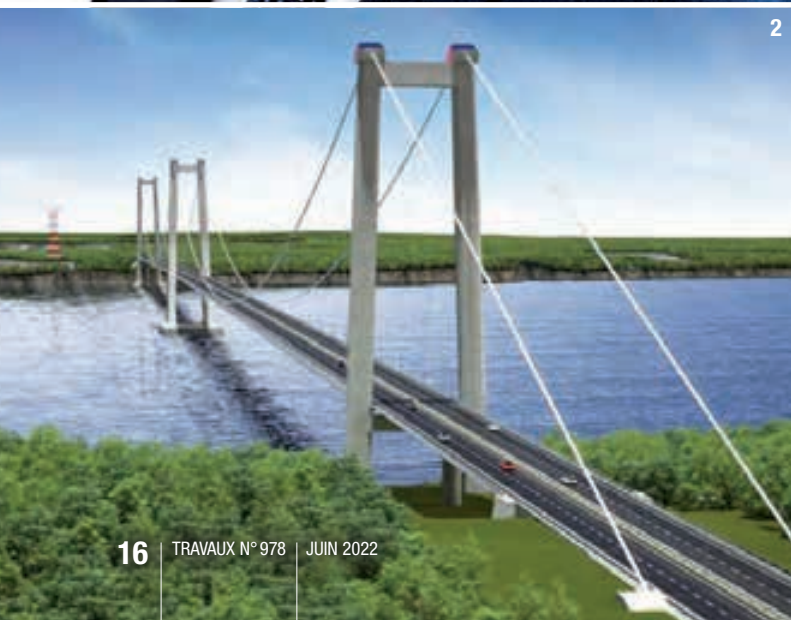
Nous aidons les entreprises à définir et optimiser leurs offres puis à livrer les études d'exécution dans un second temps.

## Quels chantiers de référence illustrent l'activité D&B ?

Je citerai deux exemples principaux, l'un au Chili et l'autre au Moyen-Orient. Nous avons travaillé au Chili sur le pont de Chacao, le pont suspendu le plus long au monde, d'une longueur de 2635 m, qui présente la particularité de comporter trois pylônes dissymétriques et relève d'une prouesse technologique assez particulière.

C'est un pont suspendu avec trois pylônes pour deux travées principales de 940 et 1 100 m de portée pour un coût de 760 millions de dollars.

FIGURES 1, 2 ET 3 © SYSTRA





2- Le pont suspendu de Chacao au Chili, d'une longueur de 2 635 m.

3- Le pont Sheikh Jaber Al-Ahmad Al-Sabah, ou pont de Subiyah, au Koweït, record du monde de la plus longue section offshore.

4- Le pont de Subiyah, au Koweït, transforme les déplacements dans la baie du Koweït avec 34,1 km de route construite au-dessus de la mer.

5- Systra est le concepteur du pont de Grenland pour le compte d'Eiffage en Norvège.

Le pylône central devrait atteindre une hauteur de 260 m.

Le contrat, a été remporté par l'entreprise coréenne Hyundai (HDEC) et Systra, lead designer avec un partenaire norvégien, a fait partie du groupement de construction.

De même, Systra a signé la conception du pont Sheikh Jaber Al-Ahmad Al-Sabah, ou pont de Subiyah, au Koweït. Cet ouvrage transforme les déplacements dans la baie du Koweït et détient le record du monde de la plus longue section offshore, avec 34,1 km de route construite au-dessus de la mer.

Il relie la capitale Kuwait City à la zone de Subiyah avec l'une des liaisons routières maritimes les plus longues au monde. Ce projet d'infrastructure de

## AYMEN CHEIKH MHAMED : PARCOURS

Aymen Cheikh Mhamed est ingénieur de l'École Nationale des Ponts et Chaussées (2007) dans la spécialité Génie Civil et titulaire d'un Executive MBA International Business de l'École Nationale des Ponts et Chaussées (2009).

Pendant un premier stage chez Systra, il est amené à travailler sur un pont haubané en Inde ainsi que sur le monorail de la fameuse "île-palmier" de Dubaï, ce qui lui permet d'intégrer l'équipe d'ouvrages d'art de Systra à Paris.

Après quatre années consacrées essentiellement à des calculs complexes d'ouvrages d'art, il prend part au projet de la Mecque, tant au niveau des transports que de la maintenance, des télécommunications et de la sécurité, un projet unique de par sa nature et les défis à relever.

Il participe à la création du concept et porte la livraison des études d'exécution en pilotant en direct une équipe d'une cinquantaine de personnes basées à Paris.

Après le passage de son MBA, il prend en charge le développement de l'Arabie et l'Irak puis, en 2011, le département ouvrages d'art aériens et souterrains de Systra au siège parisien. Cela correspond à l'époque où Systra fusionne avec Inexia et Xelis (respectivement détenues par la RATP et la SNCF) pour constituer le groupe que l'on connaît aujourd'hui, à l'organisation future duquel il est amené à travailler.

En 2012, suite à l'acquisition en Corée du Sud de BN Tech, il est chargé de son développement et devient jusqu'en 2016, directeur des opérations de Systra Corée ainsi que le directeur du génie civil pour l'Asie.

« Une expérience géniale, précise-t-il, où tout était à faire dans un univers inconnu pour moi. Pendant ces quatre années, la filiale de 10 personnes qui réalisait 1 M€ de chiffre d'affaires en 2012 passe à 12 M€ et emploie 50 personnes ».

À l'issue de ce séjour coréen, il pose ses valises à Dubaï où il est nommé directeur du développement international "Design and Build" en 2016.

Depuis 2020, Aymen Cheikh Mhamed est Senior Vice-President Design and Build Groupe. Il est également SVP en charge de deux pays clés de Systra : l'Arabie Saoudite et l'Italie.

transport est l'un des plus emblématiques du Moyen-Orient et mesure au total 48,5 km, répartis en deux sections (Main Link et Doha Link).

Ce pont unique au monde transforme les déplacements routiers des Koweï-

tiens, avec une traversée de la baie passée de 70 à 20 minutes seulement et, en perspective, le développement de la ville nouvelle de Madinat Al-Hareer. Cette future zone d'activité économique est appelée à constituer un hub

incontournable du Golfe d'ici 2030. De 2013 à 2019, Systra a travaillé en partenariat de conception-réalisation avec le consortium d'entreprises formé par le sud-coréen Hyundai E&C et le koweïtien CGCC. Notre Groupe s'est vu confier l'ensemble des études du pont et des ouvrages associés de la liaison principale, le Main Link.

Cela représente : un pont maritime de 26,4 km de long ; un pont à haubans de 340 m de long avec une travée principale de 177 m ; un pont terrestre d'environ 4,5 km assurant la connexion avec les réseaux routiers de l'échangeur de Ghazali ; deux îles artificielles, deux polders et deux marinas ; 30 bâtiments d'une superficie totale de 16 000 m<sup>2</sup> destinés à faciliter la gestion et la maintenance de l'infrastructure du projet ; une tour d'observation emblématique, ainsi que tous les systèmes électriques et mécaniques.

Systra a réalisé également le contrôle extérieur des études de la liaison Doha Link pour le constructeur sud-coréen GS E&C.

### Comment la collaboration de Systra avec les entreprises est-elle organisée ?

Les premières entreprises accompagnées par Systra étaient coréennes, puis le périmètre de développement s'est élargi et le Groupe s'est doté d'une entité dédiée à cette mission à Dubaï, qui présentait le double avantage d'être au cœur de projets importants et connecté au reste du monde.

Plusieurs offres ont ainsi été réalisées avec succès avec des entreprises turques et italiennes, locale, coréenne notamment en Arabie Saoudite pour la ligne ferroviaire de fret lourd CTW 130 40 km, dans les zones pétrolières du pays qui nécessitaient la construction de ▷

© SYSTRA

4



© SYSTRA

5





nombreux ouvrages d'art pour enjamber les différents pipelines pétroliers.

Il en a été de même pour la ligne souterraine "Green Line" du métro de Doha au Qatar, où nous avons accompagné les entreprises turque Gulermak et italienne Rizzani, ainsi que le premier round de Etihad Rail avec l'italien Salini et le coréen Samsung.

Après une période d'essoufflement pendant la guerre du Yémen au Moyen-Orient, plusieurs projets se sont interrompus mais nos bonnes relations avec des entreprises espagnoles, italiennes et turques, et l'ouverture parallèle des marchés nord-américain et d'Europe de l'Est, nous ont poussé à explorer ces marchés.

Aux États-Unis, les besoins de renouvellement des infrastructures sont très importants mais il est nécessaire, pour y travailler, de disposer d'une implantation locale avec des capacités de conception en infrastructure dont nous ne disposions pas à l'époque. Notre équipe américaine, présente depuis plus de 20 ans, était plus focalisée sur l'ingénierie des systèmes ferroviaires. Pour acquérir cette expertise, Systra a fait l'acquisition en 2018 de International Bridge Technology, fondée d'ailleurs par des élèves de Jean Muller, pour consolider sa présence sur le marché nord-américain et travailler sur des ouvrages "iconiques" en mettant en avant les ouvrages d'art de référence déjà réalisés à l'international. Systra figure d'ailleurs depuis quelques années dans le Top 10 des sociétés d'ingénierie en ouvrages d'art (classement ENR).

International Bridge Technology disposait de bureaux à San Diego, aux États-Unis, à Montréal, au Canada et à Dubaï. Pendant cette période, l'activité a repris au Moyen-Orient avec la volonté des

Émirats Arabes de se doter de plusieurs lignes de chemin de fer, avec le projet Etihad Rail phase 2 couvrant 750 km de lignes. Systra a obtenu aux côtés des constructeurs chinois et indien 4 lots d'infrastructure sur 6 au total, en s'appuyant notamment sur son expertise en optimisation des coûts de construction et sur les bonnes relations existantes avec plusieurs grandes entreprises présentes dans les Émirats. Nous avons obtenu en particulier le lot le plus complexe (le package 2D), qui s'étend de l'est de Dubaï à Fujairah et traverse une zone montagneuse constituant une séquence très intéressante combinant ouvrages d'art et tunnels et traversant plusieurs palmeraies.

Le projet s'est déroulé avec un succès total et a été livré dans les délais requis, en dépit de la crise du Covid-19.

Une prouesse qui a mis en exergue notre valeur de "connected teams". En effet, le projet a été livré avec des équipes Systra basées en France, au Brésil, en Corée, à Dubaï, en Inde et même en Australie.

Le projet de l'Etihad Rail permet la liaison entre tous les Émirats, et garantit des flux de transport améliorés entre les centres industriels et économiques du pays. Cette ligne, d'une longueur actuelle de 264 kilomètres, incarmera la clé de voûte du réseau d'Etihad Rail, qui transportera des passagers à travers tout le pays, depuis les frontières partagées avec l'Arabie Saoudite, aux abords d'Oman. Le train s'arrêtera dans 11 villes et régions des Émirats Arabes Unis.

À son achèvement, Etihad Rail s'étendra sur 1 200 km reliant tous les Émirats, de Ghweifat (à l'ouest d'Abou Dhabi) à Fujairah, sur la côte Est.

Le projet vise, à terme, à faire partie d'un réseau ferroviaire connectant les

six pays du Golfe persique : l'Arabie Saoudite, les Émirats Arabes Unis, le Qatar, le Koweït, Bahreïn et Oman.

Parallèlement, les équipes Systra D&B à Dubaï ont contribué à la réalisation du projet HS2 à Londres en mobilisant une cinquantaine d'experts.

L'une des forces de Systra est de pouvoir mobiliser des ressources réparties dans le monde. Comme pour Etihad Rail, des équipes travaillent depuis Dubaï pour le projet HS2 mais aussi depuis la Grande-Bretagne, les États-Unis, le Brésil, la Corée, la France... Après avoir réalisé HS1, la première ligne à grande vitesse du Royaume-Uni, Systra prend part au projet HS2 (High Speed 2) au sein de deux coentreprises et met en avant ses solutions de conception digitale au service de la robustesse et d'une efficacité au meilleur coût.

Le projet HS2 lancé par le gouvernement britannique a pour objectif de créer un nouveau réseau reliant à grande vitesse Londres, les Midlands et le Nord du pays, desservant 8 des 10 plus grandes agglomérations de Grande Bretagne parmi lesquelles les villes de Londres, Birmingham, Manchester et Leeds. Appelé à transporter 30 millions de personnes, ce réseau viendra renforcer les capacités ferroviaires du Royaume-Uni tout en générant de larges retombées économiques dans les territoires et pour les populations. Nous continuons aujourd'hui, dans notre relation avec les entreprises, à suivre certaines opportunités comme la suite des métros de Dubaï et de Bahreïn.

Depuis deux ans, nous avons consolidé notre position de référence de Design & Build au Moyen-Orient et nous avons identifié deux zones où des investissements importants vont être réalisés dans les infrastructures : l'Europe de l'Est, notamment la Roumanie et la Grèce, mais aussi les pays nordiques et particulièrement la Norvège, où les projets sont beaucoup plus structurés et beaucoup plus emblématiques en raison de la configuration géographique du pays avec la succession de fjords et de montagnes. Cela nous offre de beaux défis techniques à relever, tout en veillant à respecter les enjeux environnementaux.

Systra est ainsi le concepteur du pont de Grenland pour le compte d'Eiffage en Norvège et essaie de se positionner sur plusieurs projets de tunnels dans ce pays, tout en nouant des partenariats avec les entreprises concernées et les ingénieries locales.

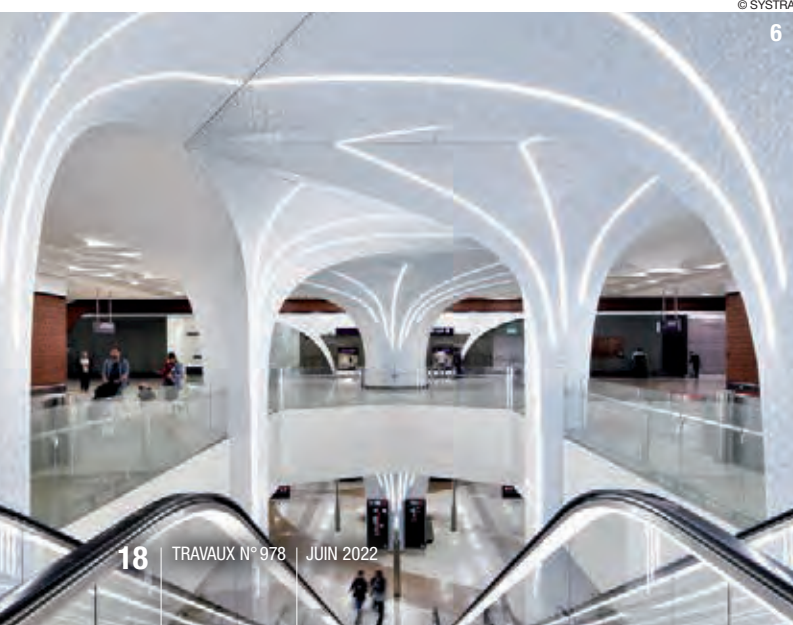
Eiffage, à travers sa filiale Eiffage Génie Civil, a été désigné adjudicataire presenti par Nye Veier, société détenue par

**6- La ligne souterraine "Green Line" du métro de Doha au Qatar.**

**7- Les rames de la "Green Line" du métro de Doha.**

**8- Le projet Etihad Rail phase 2, dans les Émirats Arabes couvre 750 km de lignes.**

**9- Le projet de l'Etihad Rail permet la liaison entre tous les Émirats, et garantit des flux de transport améliorés entre les centres industriels et économiques du pays.**



6



7



le ministère des Transports norvégien, pour le contrat du tronçon d'autoroute E18 qui reliera les villes de Langangen à Rugtvedt.

Ce contrat en conception-construction comprend notamment la réalisation, sur environ 7 km de ce tronçon autoroutier en 2x2 voies, de 4 viaducs totalisant 1,5 km, dont le nouveau pont de Grenland doté d'une travée haubanée de 330 m, de 0,9 km de tunnel à excaver et de 3,3 km de tunnels à équiper.

L'équipe D&B de Systra adopte une approche opportuniste et n'hésite pas, quand elle peut maîtriser les risques, à intervenir hors de son territoire proche, comme elle le fait actuellement pour des études d'exécution tout juste remportées pour la réalisation en Tanzanie, en collaboration avec une entreprise chinoise, de 341 km de voies ferroviaires, reliant le lac Victoria, à Munza, à la ville de Isaka.

Maintenant que Systra est bien présent aux États-Unis et en Australie, deux marchés à fort investissement dans les infrastructures, l'une des missions de l'équipe D&B est d'accompagner ces pays, dont les marchés d'infrastructure sont très spécifiques, pour les aider à approcher les constructeurs.

Dans les territoires proches comme le Moyen-Orient, l'Europe de l'Est et les pays nordiques, Systra D&B peut se projeter directement et déployer la capacité globale du Groupe. Dans les territoires plus lointains nécessitant une présence géographique et où nous disposons désormais de ressources sur place, D&B accompagne les équipes locales dans leurs interactions avec les entreprises pour répondre aux besoins de leur propre marché.

Par ailleurs, pour faire face à la tension qui s'est manifestée depuis quelques années dans le métier du tunnel,

## À PROPOS DE SYSTRA

**Systra est l'un des premiers groupes mondiaux d'ingénierie et de conseil spécialisés dans les transports publics et les solutions de mobilité. Depuis 65 ans, le Groupe s'engage auprès des villes et des régions pour contribuer à leur développement en créant, améliorant et modernisant leurs infrastructures de transport.**

**Fort de ses 8 200 collaborateurs, le Groupe se donne pour mission de fluidifier les déplacements partout dans le monde, afin de rapprocher les populations et de faciliter l'accès des individus à l'emploi, à l'éducation et aux loisirs.**

notamment en raison de la construction du Grand Paris Express qui mobilise une part importante des ressources disponibles pour les travaux souterrains, nous avons pris la décision en 2021 d'accueillir au sein du groupe Systra un spécialiste de renommée internationale respecté et doté d'une réelle expertise dans sa relation avec les entreprises : SWS-Engineering (pour "Soil, Water et Structure", sol, eau et infrastructure), société d'ingénierie italienne spécialisée dans la conception de tunnels et d'ouvrages souterrains.

### Comment peut-on qualifier l'activité de Systra au Moyen-Orient ?

Systra a démarré son histoire aux Émirats Arabes Unis en 2002 avec la première ligne du métro automatique de Dubaï, dont il a également réalisé l'extension. Baptisé "Route 2020" et imaginé pour desservir l'Exposition Universelle organisée par l'Émirat, ce projet lancé en 2014 s'est concrétisé par une inauguration officielle en juillet 2020. Systra a également participé depuis 2009 au développement du tramway dans l'Émirat de Dubaï. Précurseurs de

ce mode de transport dans la région, les émiratis en poursuivent le développement avec un niveau de technologies embarquées unique sur la planète.

Au Qatar, Systra a remporté l'ingénierie de la première ligne du métro de Doha. Selon le projet signé en 2014, le réseau qui comportera 5 lignes devrait atteindre 85 km dont 55 km en tunnel avec quatre lignes dès 2019 en préparation de la Coupe du monde de football de 2022.

Nous sommes également intervenus sur l'ingénierie du réseau de tramway ou "métro léger" de Lusail qui sera bientôt opérationnel dans sa totalité, soit 4 lignes et 25 arrêts sur une distance de 18 km, ainsi que deux correspondances avec le métro automatique, réalisé par Vinci, Alstom et QDVC.

Nous avons travaillé sur la ligne ferroviaire dite "GCC" qui connectera entre eux tous les pays du Golfe (Arabie Saoudite, Émirats Arabes Unis, Koweït, Oman, Qatar). Chacun des pays développe l'infrastructure sur son territoire mais la vision stratégique du projet a été mise en place par Systra qui intervient, lors de la réalisation, dans chacun des pays.

### En quoi l'Arabie Saoudite est-elle un pays clé pour Systra ?

L'Arabie Saoudite est pays clé en raison de sa population - 36 millions d'habitants - et du fait qu'elle représente 60 % du revenu des pays du Golfe mais aussi en raison du tournant culturel et économique qu'elle a pris depuis quelques années à l'initiative du prince héritier Mohammed Ben Salmane (dont l'acronyme couramment utilisé est MBS). En Arabie Saoudite, Systra est présent dans tous les projets ferroviaires, sans exception ou presque. Le projet North-South, avec ses 2 400 km de voie, est un développement majeur en Arabie Saoudite, qui vient tripler la longueur du réseau ferroviaire existant. Le but premier de ce lien ferroviaire est de permettre le transport du phosphate et de la bauxite extraits des mines nouvelles situées à l'intérieur du pays (Al Jalamid et Az Zabirah) vers les installations de Ras al Keir, près de Jubail, sur la côte du Golfe, où ces matières premières sont traitées avant d'être exportées. La voie ferrée sert également au transport de passagers et de fret non minéralier. La ligne présente des embranchements vers la Jordanie et vers Riyadh.

À terme, la voie ferrée Nord-Sud sera connectée au réseau régional du GCC (Conseil de Coopération du Golfe), ainsi qu'au réseau existant de SRO (Saudi Railways Organization) entre Riyadh et Dammam, et au Landbridge (entre Riyadh et la Mer Rouge).

Au sein d'un consortium international, Systra a participé aux activités suivantes d'étude de faisabilité et conception détaillée ainsi qu'à la supervision de la construction pour le compte de Saudi Railway Company (SAR) et du Public Investment Fund (PIF), ministère des Finances d'Arabie Saoudite. ▶

© SYSTRA



© SYSTRA





Systra a conçu et construit la ligne de métro la plus empruntée au monde - celle de La Mecque - avec 92 000 passagers par heure et par direction, 18 km et 9 stations de 300 m de longueur chacune.

La ligne La Mecque est aussi la première ligne de métro de la région mise en exploitation et obéit à des contraintes singulières : dimensionnement lié à une semaine d'affluence dans l'année, séparation radicale des flux pour des raisons de sécurité. Capables d'accueillir 3 000 passagers toutes les 5 minutes, les stations sont disposées sur des plateformes ouvertes, pour éliminer les risques d'incendie. Elles sont accessibles par des rampes d'accès. Le chantier a été mené en seulement 21 mois. L'entreprise CRCC a livré la ligne à l'exploitant, comme prévu, avec 8 trains de 300 m sur un total de 20. Tout s'est passé dans les temps et suivant le planning. Un record mondial pour un projet de cette envergure.

Médine est la seconde ville d'Arabie Saoudite à rassembler chaque année des millions de pèlerins. Le juste dimensionnement et l'architecture de son réseau de transport constituent un facteur clé de la mobilité de la ville. Leader du groupement Madinah Transit Consultants, Systra s'est vu confier les études de faisabilité et les études d'avant-projet du futur réseau, la mission incluant la préparation des appels d'offres pour les contrats de Design and Build.

Nous avons également travaillé à la conception du train à grande vitesse entre Médine et La Mecque : 450 km dans les sables du désert reliant les deux villes saintes de l'Islam en passant par Jeddah par des trains Talgo.

À Riyad, en Arabie Saoudite, Systra a remporté avec le groupement Riyadh

Metro Transit Consultants les contrats de management de projet et de supervision de la construction de trois lignes du futur métro : projet gigantesque de 200 km (70% aérien, 30% souterrain) dont le développement est en cours depuis une dizaine d'années.

Systra a conçu le schéma directeur des transports de la ville de Jeddah. Ce projet est un défi majeur : il s'agit de prendre en compte 6 modes de transports différents, de concevoir un plan de transport intégré entre ces modes, puis d'en réaliser la conception préliminaire de l'ensemble du réseau et de livrer 11 dossiers d'appel d'offres.

Deuxième ville du Royaume d'Arabie Saoudite par son rôle économique et sa population de 3,5 millions d'habitants, Jeddah est aussi la porte d'entrée vers les Lieux Saints pour des millions de pèlerins musulmans. La réorganisation des déplacements dans cette ville entièrement tournée vers l'automobile aujourd'hui apparaît donc nécessaire.

#### Quelles sont les évolutions que vous percevez dans ce pays ?

Depuis plus de deux ans, l'Arabie Saoudite a pris un tournant important tant du point de vue culturel qu'économique.

Le prince héritier Mohammed Ben Salmane se veut à l'origine d'une véritable révolution économique libérale, comprenant notamment la transformation profonde de villes existantes et la création de plusieurs villes nouvelles, dont la plus importante, Neom, qui représente à elle seule un investissement de 500 milliards de dollars.

Le leadership saoudien souhaite développer le tourisme en créant un environnement attirant pour les visi-

teurs notamment sur la côte de la Mer Rouge.

Par ailleurs, MBS a fait du développement de l'industrie non-pétrolière saoudienne l'un de ses principaux chevaux de bataille afin de sortir de

la dépendance du pétrole. De ce fait, il souhaite attirer les investisseurs internationaux en créant de nouvelles infrastructures d'accueil.

Son plan Vision 2030 s'est doté de plusieurs "mégaprojets". Ces derniers, attirant véritablement la lumière sur le pays, se composent tout d'abord par le projet de ville futuriste Neom.

Située au nord-ouest du pays près de l'Égypte, de la Jordanie et d'Israël, cette ville connectée "zéro émission" devrait concentrer laboratoires et innovations. Ce projet pharaonique est un véritable témoin de l'accent mis par le royaume sur les nouvelles technologies.

Neom aurait une superficie de 10 000 km<sup>2</sup> (30 fois New York ou la taille d'un pays comme la Belgique), accueillerait 6 à 9 millions d'habitants et disposerait des technologies les plus avancées pour les transports, les loisirs, les bureaux.

À la ville nouvelle proprement dite de Neom, serait associé Oxyagon, nouvelle ville industrielle d'avant-garde dont Systra vient de remporter le projet de design ainsi que le schéma global de transport.

Le plan 2030 est aussi composé du projet Red Sea (TRSDC -The Red Sea Development Co.) et de la cité des loisirs Qiddiya, qui viennent répondre aux nouvelles aspirations touristiques et culturelles du royaume.

Ce projet prévoit la mise en valeur du site touristique d'Al Ula, au développement duquel Systra est associé, ayant notamment remporté la supervision du design et la construction d'un hôtel très particulier conçu par l'architecte français Jean Nouvel, le Sharaan. Cet hôtel sera édifié à l'intérieur même de la montagne du site archéologique chargé d'histoire que constitue Al Ula.

**10- Systra est intervenue sur l'ingénierie du "métro léger" de Lusail au Qatar.**

**11- Le projet "North-South", avec ses 2400 km de voie, est un développement majeur en Arabie Saoudite.**

**12- Le site archéologique d'Al Ula, en Arabie Saoudite.**

**13 & 14- L'architecte Jean Nouvel souhaite avant tout préserver la beauté naturelle des lieux.**

**15- "Oxyagon", en Arabie Saoudite, nouvelle ville industrielle d'avant-garde dont Systra vient de remporter le projet de design ainsi que le schéma global de transport.**

**16- Systra a remporté avec le groupement Riyadh Metro Transit Consultants les contrats de management de projet et de supervision de la construction de trois lignes du futur métro.**



© SYSTRA

10



© SYSTRA

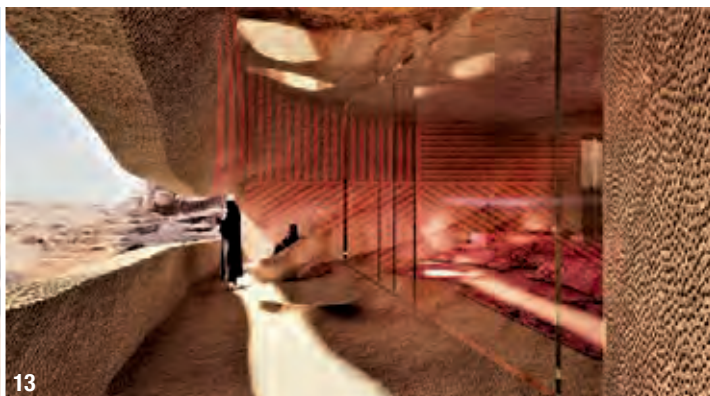
11





© SYSTRA

12



13

© JEAN NOUVEL

## JEAN NOUVEL AU CŒUR DU DÉSERT D'AL ULA

Le projet très audacieux de l'architecte Jean Nouvel, le Sharaan, est situé en plein cœur du désert d'Al-Ula.

Ce nouveau complexe a pour but premier de dynamiser le tourisme dans cette région au riche patrimoine historique et culturel.

Puisant son inspiration des merveilles nabatéennes voisines d'Hégra (premier site reconnu par le patrimoine mondial de l'Unesco en Arabie Saoudite), l'architecte souhaite avant tout préserver la beauté naturelle des lieux. À 220 km de la ville de Médine, le complexe comprendra quarante chambres et trois villas ainsi que de 14 pavillons privés, toutes taillées à même les falaises. Chaque résidence offrira un balcon permettant d'admirer l'immensité du désert d'Al-Uda et de s'y perdre par la pensée.

Cette région est également celle où les premières traces de vie - il y a de cela 200 000 ans - ont été relevées. Développé par la Commission Royale d'enquête pour Al-Ula (RCU), le complexe respectera alors un cahier des charges extrêmement strict pour ne pas dégrader l'empreinte historique des lieux, tout en permettant au plus grand nombre d'en découvrir les beautés.



14

© JEAN NOUVEL

Plusieurs projets ferroviaires potentiels totalisant 1 400 km de lignes sont également en cours pour connecter les villes d'Arabie Saoudite directement avec le littoral de la Mer Rouge et du Golfe. Et Systra y est fortement impliqué.

Une dynamique est vraiment mise en place pour changer l'image du pays et attirer les entreprises et les touristes en Arabie Saoudite dans une éthique respectueuse de l'environnement et une vraie transparence dans l'élaboration des projets.

## L'Italie est identifiée comme un nouveau pays clé pour Systra. Pour quelles raisons ?

Systra est présent en Italie depuis plus de 20 ans et a participé à des projets emblématiques comme le métro de Turin, le tramway de Rome, de Bologne

et bien d'autres. En octobre 2021, Systra a fait l'acquisition de la société SWS-Engineering, un leader italien en conception-réalisation de tunnels et d'ouvrages d'art. L'équipe mondiale d'excellence en ingénierie des ponts et tunnels de Systra ainsi renforcée

© SYSTRA

15



© SYSTRA

16





est capable de mobiliser rapidement d'importantes équipes d'experts aussi bien en local qu'à l'international pour les projets de conception-réalisation. Cette acquisition permet à Systra de renforcer son expertise dans ce domaine, d'accroître sa présence en Italie et d'accéder à de nouveaux marchés en conception-réalisation de tunnels, notamment en Europe. Ce bureau d'études basé à Trente, dans le nord de l'Italie, avec des bureaux à Milan, Rome et Rende, emploie 250 personnes. Leader sur le marché italien, il est déjà très actif en Norvège, en Suède et en Turquie, pays dans lesquels il est également présent physiquement.

Avec l'acquisition de SWS, Systra affirme son ambition de devenir un acteur mondial de référence dans le domaine de l'ingénierie des tunnels et des infrastructures souterraines. Les deux sociétés disposent en effet d'expertises techniques complémentaires : Systra est reconnue mondialement pour ses compétences en matière d'ingénierie dans le domaine ferroviaire et du métro, son cœur de métier, et intervient partout dans le monde sur les plus grands projets de métros et d'infrastructure ferroviaire. Elle est aussi le partenaire d'entreprises de construction sur d'importants projets de ponts routiers ou ferroviaires.

L'expérience de SWS porte davantage sur des projets de conception-réalisation de tunnels et ouvrages souterrains, de grande envergure également.

Cet accord intervient dans un marché européen des infrastructures en pleine croissance. L'Union Européenne investit en effet pour soutenir les États-membres dans leurs projets de renouvellement et de développement des infrastructures, dont les tunnels et les ouvrages souterrains, qui contribuent à



17  
© SYSTRA

la construction d'une Europe sans frontières et de plus en plus interconnectée. Dans cette mouvance, l'Italie bénéficie d'un plan d'investissement ambitieux pour bâtir de nouvelles infrastructures ou rénover les infrastructures existantes.

C'est pour cette raison que, dans la logique de son développement, l'Ita-

lie devient un pays clé pour Systra. SWS est une entité leader sur son marché intérieur et affiche déjà une croissance très intéressante tant en Italie, dans le cadre du renouvellement des infrastructures vieillissantes de ce pays, notamment suite à l'accident du pont de Gênes, mais aussi à l'international en Norvège, en Rou-

manie, au Moyen-Orient, en Turquie. Cette acquisition nous a permis de répondre à trois enjeux : consolider Systra sur le marché des ouvrages souterrains, mieux rayonner à l'international en accompagnant les entreprises travaillant déjà avec SWS, défendre une position sur le marché en forte croissance que constitue celui de l'Italie et l'exporter à l'international avec les entreprises italiennes.

Plusieurs grands projets d'infrastructures de transport sont déjà programmés par l'État italien tels que les nouvelles lignes de métros de Turin, dans le Piémont, et de Catane, en Sicile, ainsi que des lignes ferroviaires à grande vitesse, représentant un investissement de l'ordre de 50 milliards d'euros. □

1- En juin 2011, Systra qui existait depuis 1957 sous le nom de "Société française d'études et de réalisations ferroviaires" a intégré Inexia, filiale d'ingénierie de la SNCF, et Xelis, filiale d'ingénierie de la RATP lancée en 2006. La fusion des trois sociétés Systra, Inexia a été entérinée le 1<sup>er</sup> juillet 2012.

**17- La ligne de métro Al Mashaer Al Mugaddassah dans la ville de La Mecque, en Arabie Saoudite. C'est le deuxième système de métro de la péninsule arabe, après le métro de Dubaï.**

**18 & 19- Le tramway d'Al Safou à Dubaï : le système a été conçu pour faire partie intégrante du réseau de transport de Dubaï.**



18  
© SYSTRA



19  
© SYSTRA





Chargement de pont > Rwanda



Essais dynamiques lourds PDA > Brésil



Détermination non destructive des efforts de tension  
> tirants de barrage - Brésil



Formation aux essais routiers  
> République Démocratique du Congo



Essais HWD sur des chaussées aéroportuaires  
> aéroport - Guyane



Essais de contrôles des pieux  
> métro aérien - Sao Paulo

L'organisation de Rincent Laboratoires permet de répondre à des sollicitations techniques avec l'appui des entités spécialisées qui apportent leur savoir-faire. L'agence locale est partie prenante dans la réalisation des essais et dans le suivi des chantiers. Ce mode de fonctionnement a permis de réaliser les essais de contrôle sur les pistes de nombreux aéroports africains ainsi que sur les 29 plus importants aéroports brésiliens.

Liste non exhaustive des prestations réalisées :

- > Diagnostic de structure d'ouvrages et de bâtiments
- > Sondages pressiométriques, essais de laboratoires
- > Essais statiques et dynamiques
- > Essais sur chaussées routières FWD, IRI, GPR Radar
- > Mesures des résistivités des sols pour pylône de distribution électrique

Rincent Laboratoires est implanté en Afrique, au Brésil et a déjà travaillé dans plus de 65 pays dans le monde.





1  
© CORUN STUDIO

# FAYOLLE CANADA INC. LE CANADA COMME TERRE DE DÉVELOPPEMENT

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

ENTREPRISE GÉNÉRALE DE CONSTRUCTION CRÉÉE EN 1929 PAR RENÉ ET AUGUSTE FAYOLLE, L'ENTREPRISE FAYOLLE EST PRÉSENTE AU CANADA DEPUIS 2006. FAYOLLE CANADA INC. A ÉTÉ CRÉÉE À L'INITIATIVE DE BRUNO FAYOLLE ET HUGUES FASTREL, RESPECTIVEMENT PRÉSIDENT ET CHEF DE LA DIRECTION ET VICE-PRÉSIDENT EXÉCUTIF ET CHEF DE L'EXPLOITATION DE LA FILIALE. AUJOURD'HUI, L'ENTREPRISE DONT LE SIÈGE EST BASÉ À MONTRÉAL, S'EST IMPOSÉE SUR LE MARCHÉ CANADIEN AINSI QU'À L'INTERNATIONAL (AFRIQUE, CARAÏBES, MOYEN ORIENT), DANS TOUS LES DOMAINES DE LA CONSTRUCTION (BÂTIMENT, GÉNIE CIVIL, TRAVAUX PUBLICS, INDUSTRIEL). ELLE A RÉALISÉ EN 2021 UN CHIFFRE D'AFFAIRES DÉPASSANT LES 800 M\$ ET EMPLOIE UNE ÉQUIPE DE PLUS DE 800 PERSONNES. PORTRAIT DE L'ENTREPRISE AVEC HUGUES FASTREL.

Bruno Fayolle et Hugues Fastrel se sont rencontrés en 1988, juste avant d'entreprendre des études d'ingénieur pendant lesquelles ils effectuent l'un et l'autre des stages chez Fayolle dont l'activité se situe à l'époque dans les domaines de la collecte d'ordures et le balayage de chaussées, la construction et la réfection de routes ainsi que l'entretien de la voirie municipale.

À l'issue de ses études, Bruno Fayolle rejoint l'entreprise familiale en 1996 tandis que Hugues Fastrel amorce une carrière d'ingénieur au sein d'un



2  
© BAPANDA DRONE

1 & 2- Le stade de Douala au Cameroun.

major français de la construction. « Au tournant des années 2000, précise Hugues Fastrel, sous l'impulsion de Bruno Fayolle, l'entreprise décide de diversifier ses activités et envisage de se développer hors de France. L'Europe de l'Est et l'Asie étaient hors de question, alors l'Amérique du Nord s'est imposée assez naturellement.



**3- Hugues Fastrel, vice-président exécutif et chef de l'exploitation de Fayolle Canada Inc.**  
**4- La tour Altoria - Air Canada (Magil Construction).**

*Le Canada, et en particulier le Québec, nous semblait être suffisamment proche sur le plan culturel pour envisager de bien nous intégrer, ce que nous n'aurions pas pu faire en Chine, par exemple. »*

Tout commence en 2006, avec l'acquisition du fabricant de portes de garage Portes Isolex, à Beloeil, au Québec. Hugues Fastrel s'installe alors au Canada afin d'observer le marché et déceler les possibilités de nouvelles acquisitions.

Dès 2008, Bruno Fayolle vend la division parisienne de collecte de déchets de Fayolle pour financer l'acquisition de Groupe SCV, de Victoriaville, également au Québec, spécialisée en mécanique et électricité du bâtiment, devenue depuis SCV Enercor. L'entreprise travaille également à l'international en Afrique et au Moyen-Orient.

Entre 2009 et 2013, Fayolle Canada poursuit ses acquisitions : Magil Construction, entreprise générale de bâtiment (2009), Excavation Payette, entreprise spécialisée en décontamination, terrassement et déneigement

© FAYOLLE CANADA



3

## HUGUES FASTREL : PARCOURS

**Hugues Fastrel est ingénieur de l'École Spéciale des Travaux Publics, du bâtiment et de l'industrie (ESTP 1994).**

**Après avoir effectué un stage en tant qu'étudiant chez Fayolle et Fils, il fait ses premières armes chez un major français de la construction pendant une dizaine d'années, en Europe et en Afrique.**

**Il rejoint l'entreprise Fayolle en 2004 pour développer l'activité internationale.**

**La première acquisition est réalisée en 2006 simultanément à la création de Fayolle Canada à Montréal.**

**Hugues Fastrel est vice-président exécutif et chef de l'exploitation et administrateur de Fayolle Canada Inc. depuis 2006.**

(2010), TASK Construction Management, entrepreneur général basé près de Vancouver, en Colombie britannique, McKay-Cocker Construction, entreprise générale de bâtiment à London, en Ontario (2012) et enfin, en 2013, Alta Construction, entreprise de génie civil établie à Montréal.

« À travers Magil, poursuit Hugues Fastrel, nous accédons à la réalisation d'ouvrages de grande dimension. Cette entreprise a déjà construit 25 des 60 gratte-ciels de Montréal. Elle réalise actuellement le projet "Square Phillips", une tour d'habitation de 61 étages (789 studios, appartements et penthouses) qui sera, avec 232,50 m, la plus haute tour résidentielle de Montréal. Dans le but de préserver la ligne d'horizon, le zonage municipal interdit à tout édifice d'atteindre une élévation dépassant celle du mont Royal (234 m). »

« Magil est également à l'origine de plusieurs autres ouvrages de grandes dimensions tels que des hôpitaux, des complexes industriels et commerciaux, des surfaces logistiques pour des sociétés de transport, des usines automobiles, des universités. »

« Avec Magil, Fayolle Canada est présent dans l'ensemble du pays d'est en ouest, du Québec à la Colombie Britannique en passant par l'Ontario. »

Entre 2013 et 2020, d'autres acquisitions de petites entreprises rejoindront ce qui commence à constituer un groupe mais toutes conserveront leur nom et leur personnalité.

## LES VALEURS DES ORIGINES

Le développement et la croissance de la filiale se poursuit ainsi, progressivement et régulièrement sans qu'elle apparaisse une "conquête de l'ouest" par une entreprise française.

Bien au contraire. L'important, pour Bruno Fayolle et Hugues Fastrel, est de s'intégrer à un pays qu'ils commencent à bien connaître, à ses habitudes de travail, ses modes de fonctionnement en s'imposant uniquement par les qualités techniques et humaines de leur équipe, en partageant les mêmes valeurs que les entreprises dont ils faisaient l'acquisition et en soutenant leur croissance organique.

Le groupe s'est bâti ainsi peu à peu en s'appuyant sur les valeurs auxquelles tiennent ses dirigeants : durabilité, entrepreneuriat, intégrité, respect et esprit d'équipe. Et chaque fois qu'une acquisition a été réalisée, les équipes en place devaient déjà adhérer à des valeurs semblables.



4

© FAYOLLE CANADA





5

© FAYOLLE CANADA



6

© FAYOLLE CANADA



7

© FAYOLLE CANADA

« Nous examinons les valeurs de l'entreprise et des gens, souligne Hugues Fastrel. C'est important. L'élément déterminant d'une acquisition, pour nous, consiste à savoir si nous serons capables de travailler à long terme avec les équipes existantes. S'il n'y a pas d'affinités, nous n'irons pas de l'avant, même si les chiffres sont bons. »

### UN MODÈLE DÉCENTRALISÉ

Le chiffre d'affaires de l'entreprise est ainsi multiplié par 400 en une quinzaine d'années pour atteindre en 2021 800 M\$ pour Fayolle Canada Inc. et ses filiales et plus de 1 milliard de dollars de volume d'affaires si l'on prend en compte l'ensemble des travaux réalisés, tandis que les effectifs, essentiellement ETAM et cadres, dépassent les 800 personnes.

L'équilibre et la pérennité du groupe sont réalisés grâce à la diversité de ses domaines d'activité et l'étendue de sa présence sur le vaste territoire que constitue le Canada mais aussi à l'international, notamment en Afrique et dans la zone Caraïbes.

« De plus, le savoir-faire de nos entreprises est complémentaire. Par exemple, au Québec, il s'applique aux immeubles de grande hauteur, aux hôpitaux et aux centres commerciaux, tandis qu'en Ontario, nous possédons un grand savoir-faire dans les usines et dans le génie civil, alors que dans l'Ouest canadien, notre expertise est dans les installations de loisirs et les universités. En regroupant ces expertises au sein d'une seule entité, soit le Groupe Magil Construction, nous pouvons transférer le savoir-faire d'une entreprise dans les projets de l'autre. »

La holding que constitue Fayolle Canada s'appuie sur un modèle décentralisé, ce qui lui confère une grande souplesse.

**5- Vue d'ensemble du complexe sportif d'Olembe.**

**6- Le stade d'Olembe à Yaoundé au Cameroun.**

**7- Le stade d'Olembe peut accueillir jusqu'à 60 000 spectateurs.**

Le rôle des dirigeants consiste essentiellement à appuyer dans leur développement les entreprises que la holding détient.

La finance, les ressources humaines, le légal et les technologies de l'informa-

tion sont centralisés pour que les filiales se concentrent sur leurs clients, sur les projets à exécuter et les opportunités d'affaires.

« Nous sommes toujours à l'affût et réfléchissons aussi à d'autres métiers et à d'autres savoir-faire au gré de nos rencontres avec des gens dont les valeurs correspondent aux nôtres. Pour nous, l'entreprise doit faire rêver. Nous rêvons tous les jours avec nos entreprises. Nous ne nous sommes jamais interdit d'envisager d'être présents dans d'autres domaines que celui de la construction. Nous n'étions pas spécialistes des portes de garage ou des fluides médicaux, mais nous avons développé cette spécialité avec les entreprises que nous avons achetées. »

## FAYOLLE CANADA EN BREF

**SIÈGE DE LA HOLDING :** Montréal (Québec) depuis 2006

**ENTREPRISES :** Portes Isolex, SCV-Enercor, Les Excavations Payette, Groupe Magil Construction.

**FILIALES :** Montréal, Québec et Victoriaville (Québec), London et Toronto (Ontario), Vancouver (Colombie Britannique).

## DES COMPÉTENCES DIVERSIFIÉES

Depuis sa création en 2006, Fayolle Canada réunit des champs de compétences diversifiés. Comportant des entités dont certaines ont été fondées il y a plus de 70 ans, l'entreprise est basée sur de solides valeurs organisationnelles.





8

© FAYOLLE CANADA



9

© FAYOLLE CANADA

Afin d'assurer une meilleure gestion des enjeux de construction, mais également pour optimiser toutes les activités, de la conception à la modélisation en passant par la coordination en chantier, les technologies BIM font désormais partie de toutes ses opérations.

« *L'une de nos spécialités, précise Hugues Fastrel, est la conception et construction virtuelles (VDC) qui comprend notamment la simulation 4D utilisée pour déterminer le séquençage des travaux et leur avancement dans le temps à l'aide du modèle 3D. Nous affinons également notre approche de planification et de logistique de chantier grâce à des logiciels reliant le modèle à notre échéancier. Sur le terrain, nous mettons en œuvre des solutions mobiles et cloud, ainsi que des plateformes CDE (Common Data Environment), permettant un suivi des*

**8- La marquise de l'aéroport Montréal-Trudeau (Magil Construction).**

**9- L'usine Dr Oetker de London dans l'Ontario (Magil Construction).**

**10- Le Rocabella à Montréal (Magil Construction).**

*travaux en temps réel, tant au niveau de la qualité, la santé-sécurité, que la gestion technique et financière du projet. Nous sommes dans une position de leader au Canada où ces technologies sont déjà intégrées depuis la maîtrise d'œuvre jusqu'aux fournisseurs. »*

## UNE PALETTE DE RÉALISATIONS

Les compétences diversifiées de l'entreprise lui ont permis de participer à des réalisations de caractère qui ont largement contribué à établir sa réputation dans l'ensemble du Canada dans les domaines les plus variés des Travaux Publics : équipements sportifs et de loisirs, industrie, hôtels, hôpitaux, énergie, éducation...

## DES ÉQUIPEMENTS SPORTIFS AU CAMEROUN

La profonde réhabilitation du stade de la réunification de Douala au Cameroun (85 M€), inauguré en 1972, l'a placé parmi les quatre stades du championnat d'Afrique des Nations 2020 (CAN 2020). Doté d'infrastructures événementielles et de diffusion de premier plan, il a également accueilli la coupe d'Afrique des Nations de football 2022.

L'objectif était de renouveler le stade, d'en augmenter la capacité et d'en améliorer la performance pour répondre aux intérêts locaux, régionaux et nationaux. Le projet comprend plusieurs étapes : études diagnostics et design conceptuel (incluant le scan et la maquette virtuelle 3D du stade actuel); conception détaillée et construction simultanée du Stade de la Réunification ; travaux connexes, dont la piste d'athlétisme répondant aux normes IAAF, ainsi que de nouvelles installations d'entraînement avec gradins couverts.

En vue de la CAN 2022, Fayolle Canada a achevé les travaux du futur stade d'Olembé à Yaoundé au Cameroun (86 M€). Le stade principal peut accueillir jusqu'à 60 000 spectateurs en plus de ses deux stades d'entraînement de 1 000 places chacun. Point focal du complexe, il a été l'un des stades phares du Cameroun et de l'Afrique centrale durant la coupe d'Afrique des Nations de 2022.

Enfin, Fayolle réalise, toujours au Cameroun, la réhabilitation de la route nationale 3 à l'entrée est de Douala entre la rivière Dibamba à l'Est et le fleuve Wouri à l'Ouest (223 M€). Ce projet implique des travaux à l'entrée Est de la ville, visant à faciliter la traversée de la rivière Dibamba et à améliorer l'infrastructure routière ainsi que l'ajout d'un nouveau pont qui offre aux usagers une voie urbaine rapide à 2x2 voies. La construction de ce deuxième pont, parallèle à l'actuel, comprend son propre accès. Cette deuxième phase de réhabilitation de la RN3 inclut la construction de ponts pour piétons ainsi qu'arrêts de bus, stations de taxis et autres aménagements pour faciliter les transports publics et la sécurité des piétons. Les travaux routiers portent sur un tronçon de la RN3 d'une longueur de 8,9 km situé dans la portion Est de la ville de Douala.



10

© FAYOLLE CANADA



## UNE MARQUISE POUR L'AÉROPORT MONTRÉAL-TRUDEAU

Entrepris dans un contexte d'agrandissement majeur, les travaux sur l'aéroport Montréal-Trudeau requièrent une coordination impeccable pour faciliter la cohabitation de chantiers adjacents. Parmi les ouvrages, la marquise des départs internationaux est devenue l'un des signes distinctifs de l'aéroport.

Devenu le principal, puis l'unique terminal de passagers de Montréal, l'Aéroport International Montréal-Trudeau a fortement investi pour moderniser et agrandir ses installations. Au cours de cette expansion rapide, de nombreux constructeurs ont travaillé simultanément sur des chantiers adjacents. Fayolle Canada a réalisé les trois lots dans le développement de nouveaux secteurs internationaux (55 M\$) : aménagement intérieur de la nouvelle zone de départ transfrontalière, notamment le secteur de la douane américaine ; construction d'une nouvelle marquise, située au débarcadère routier des départs internationaux, composée d'acier structurel et de verre feuilleté ; installation d'un nouveau carrousel à bagages aux arrivées internationales.

Ce projet a été réalisé dans le respect de la continuité des opérations aéroportuaires, en maintenant un niveau de sécurité élevé en tout temps.

## L'USINE DR OETKER À LONDON

La construction de l'usine de fabrication de pizzas Dr Oetker à London (57 M\$), dans l'Ontario, démontre l'expérience approfondie de l'entreprise dans le domaine alimentaire. Après avoir réalisé l'usine originale, Fayolle a effectué un agrandissement adjacent à des installations opérationnelles : construction d'un congélateur à haut rayonnement incluant une aire de transit/d'expédition et un système automatisé.

L'usine originale est demeurée en opération, tout en respectant les normes strictes de qualité et d'hygiène. Le projet initial comprenait la construction de l'usine, y compris les zones de stockage, de production, de stockage à sec, d'expédition/réception, de services administratifs/employés et des utilités centrales ; manutention et installation de l'équipement de l'usine, des plateformes de service, d'allées et d'escaliers, de même que des systèmes mécaniques et des connexions électriques.

## LE ROCCABELLA

Plusieurs projets immobiliers importants à Montréal sont à l'actif de

## FAYOLLE :

« *IL N'EST DE VALEUR QUE D'HOMMES* »

**C'est en 1920 que René et Auguste Fayolle, originaires de la Creuse, rejoignent leur père Jean Fayolle, maçon dans le nord de la France. Ils ne sont alors âgés que de 16 et 14 ans mais, comme beaucoup de maçons creusois, ils quittent leur région à partir du printemps pour y retourner en hiver.**

**À cette époque de reconstruction du Nord – Pas-de-Calais, conséquence de la première guerre mondiale, ils décident de créer leur propre entreprise artisanale à Écoust-Saint-Mein dans cette région.**

**En 1929, ils déplacent l'entreprise et s'installent dans la région parisienne, à Soisy-sous-Montmorency (Val d'Oise). Ils réalisent d'abord des travaux de clôture sous la marque Rafa (René Auguste Fayolle). Puis René décède brutalement en 1933. Auguste continue alors avec l'aide de sa sœur Marcelle et de son père Jean. Commence alors le développement réel de l'entreprise. En 1954, Jean Fayolle, qui a donné son nom à l'entreprise, décède.**

**Auguste ne sera pas longtemps seul à la tête de la société car ses deux fils Francis et Philippe viennent l'aider à partir de 1963. Cette nouvelle génération insuffle de la vigueur. Pendant 15 ans, l'entreprise Fayolle va d'ailleurs connaître un fort développement grâce à la collaboration et à la bonne entente des deux frères : Philippe est en charge du matériel et Francis s'occupe surtout de la recherche de nouveaux travaux et des relations avec l'extérieur. Le décès de Philippe, dans un tragique accident du travail, interrompt leur fructueuse collaboration.**

**Pour Francis Fayolle, resté seul à la tête de l'entreprise, il y aura à nouveau dix années difficiles. Heureusement, le constant soutien de ses collaborateurs et la perspective de l'arrivée de ses propres enfants l'ont conforté dans sa stratégie de développement. Fidèle à ses origines creusaises, l'entreprise a d'ailleurs poursuivi son activité dans cette région.**

**Aujourd'hui, l'entreprise Fayolle, qui demeure une entreprise familiale, aborde l'avenir toujours animée par son esprit entrepreneurial et sa volonté d'indépendance. Elle fait aussi sien, plus que jamais, l'adage selon lequel : « Il n'est de valeur que d'hommes. »**

Fayolle Canada tels le Yul Centre-Ville (220 M\$), le Nordelec (73 M\$), le Crystal de la Montagne (55 M\$), le Myst sur le canal de Lachine (50 M\$). Le Roccabella est peut-être le plus représentatif (210 M\$).

Situé à un angle de rue du centre Bell, ce projet luxueux réunit un podium de commerces et de bureaux de 2 niveaux sur 5 étages de stationnement souterrain, une vaste terrasse urbaine sur le toit du podium et trois tours résidentielles : deux de 40 étages et une de 20 étages.

L'ensemble est enclavé par des voies publiques majeures et un immeuble mitoyen. Le site est transformé en oasis urbaine.

À noter la mise en post-tension de la structure au niveau du podium ainsi que des mesures de contrôle du son, d'étanchéité et de sécurité du public durant la construction. Les édifices se singularisent par la prépondérance de mur rideau, la structure étant en acier et le parement majoritairement en verre et aluminium.

## LA TOUR AIR CANADA-ALTORIA

Un autre immeuble de référence est la tour Altoria-Air Canada (90 M\$). Composé d'un basilaire commercial de

**11- L'usine Toyota Motors de Woodstock dans l'Ontario (Magil Construction).**







12

© FAYOLLE CANADA



13

© FAYOLLE CANADA

10 étages qui supporte une tour résidentielle de 24 étages, l'immeuble à usage mixte est bâti sur 5 étages de stationnement souterrain. La tour est directement reliée au réseau du métro ainsi qu'au "Montréal souterrain" et offre plusieurs jardins extérieurs, des terrasses privées pour les étages de bureaux, ainsi qu'un espace extérieur avec piscine situé au premier niveau résidentiel (11<sup>e</sup> étage).

Conçu selon les normes technologiques les plus exigeantes, l'édifice s'est vu décerner la certification Leed® Or<sup>(1)</sup>. La tour comprend plusieurs particularités de conception, dont un système de géothermie, des toitures vertes, un système de récupération de chaleur, un système de ventilation ultra performant et un système de contrôle de l'éclairage pour les niveaux de bureau.

#### L'USINE TOYOTA DE WOODSTOCK

Les réalisations de Fayolle dans le domaine des sites et des constructions industrielles sont très nombreuses, qu'il s'agisse de silos de gaz naturel liquéfié (Saint John - Nouveau Brunswick), de

**12- Le centre commercial Uptown, en Colombie Britannique : 81 800 m<sup>2</sup> d'espaces commerciaux et 6 niveaux de stationnement.**

**13- Le "CHUM" (Centre Hospitalier de l'Université de Montréal (Magil Construction).**

**14- Le pavillon "K" de l'hôpital général juif de Montréal (Magil Construction).**

**15- L'hôtel "X" de Toronto.**

complexe minier (Arcelormittal - Mont Vermont), de traitement de minerai de fer (Tata Steel - Labrador), d'usines de composants automobiles (Mitsui High-Tec - Brantford), de centrale thermique... L'un des plus récents est l'usine Toyota de Woodstock, dans l'Ontario.

Cette installation occupe environ 400 hectares de terrain et sa production atteint plus de 250 000 véhicules par année.

Dans le cadre d'une coentreprise avec un autre entrepreneur, Fayolle a contribué à la construction de l'usine de 168 000 m<sup>2</sup> en réalisant deux lots de travaux de préparation de site ainsi que des lots de construction de fondations couvrant 82 % du complexe.

Pour le lot des fondations du bâtiment d'assemblage (superficie de 72 000 m<sup>2</sup>), elle a effectué le terrassement, le remblayage, le coffrage, l'approvisionnement et la mise en place du béton, ainsi que l'armature et la mise à la terre.

Dans un mandat subséquent, elle a complété un agrandissement de 4 200 m<sup>2</sup> au bâtiment de soudage, tout en respectant la continuité des opérations et l'horaire de fabrication du client.

#### LE CENTRE COMMERCIAL UPTOWN

À noter la construction d'un complexe de 185 000 m<sup>2</sup> avec plus de 81 800 m<sup>2</sup>

d'espaces commerciaux et 6 niveaux de stationnements en Colombie Britannique sur l'île de Vancouver (297 M\$). Le projet est construit conformément aux normes environnementales LEED niveau Or.

#### LE "CHUM" ET LE PAVILLON "K" DE L'HÔPITAL GÉNÉRAL JUIF

Le secteur hospitalier constitue l'un des domaines privilégiés d'intervention de l'entreprise et, là encore, ses réalisations sont tout aussi nombreuses que représentatives de ses atouts techniques. Il faut citer pour mémoire le centre intégré de cancérologie de Laval, au Québec, l'institut de cardiologie de Montréal, la résidence et établissement de soins de longue durée des Sœurs de Saint-Joseph à London, dans l'Ontario, le village d'Erin Meadows, complexe de soins et logements à Mississauga en Ontario.

Deux d'entre elles méritent un commentaire particulier : le "CHUM" (Centre Hospitalier de l'Université de Montréal - 265 M\$) et le pavillon K de l'hôpital général juif (250 M\$). ▶



14

© FAYOLLE CANADA



15

© FAYOLLE CANADA





© FAYOLLE CANADA

© FAYOLLE CANADA

16

17

Pour le "CHUM", il s'agit de la construction d'un podium de trois étages pour le nouveau pavillon de cet hôpital public, qui supporte une tour de 12 étages et se trouve au-dessus de 5 niveaux souterrains dédiés au stationnement et aux salles mécaniques et électriques.

Il abrite le nouveau service d'urgence, ultramoderne, les soins critiques et les infrastructures, et comprend un tunnel souterrain, une zone d'arrivée des ambulances et un jardin extérieur dont Fayolle a réalisé l'aménagement paysager.

Pour l'hôpital général juif de Montréal, le projet consistait à construire un podium de trois étages pour le nouveau pavillon de cet hôpital public, qui supporte une tour de 12 étages et se trouve au-dessus de 5 niveaux souterrains dédiés au stationnement et aux salles mécaniques et électriques.

Il abrite le nouveau service d'urgence, ultramoderne, les soins critiques et les infrastructures, et comprend un tunnel souterrain, une zone d'arrivée des



© FAYOLLE CANADA

18

ambulances et un jardin extérieur dont l'entreprise a réalisé l'aménagement paysager.

Sur ces deux chantiers, les installations ont été conçues selon les dernières normes pour minimiser la propagation des infections et améliorer l'efficacité des services, tout en préservant la vie privée, la dignité et la sécurité des patients.

#### L'HÔTEL "X" ET LE CRYSTAL DE LA MONTAGNE

Plusieurs réalisations hôtelières sont à l'actif de Fayolle Canada et de ses filiales. L'hôtel "X" de Toronto est l'une des plus originales tant par sa conception que sa destination.

L'hôtel X Toronto est divisé en trois bâtiments : l'hôtel Tower, Ten X Toronto et l'historique Stanley Barracks.

**16- Le complexe "Crystal de la Montagne" à Montréal.**

**17- Le viaduc et le rond-point Charley Fox à London, dans l'Ontario.**

**18- Chantier de terrassement du centre commercial Saint-Laurent (Les Excavations Payette).**

Le concept unique de sport et de divertissement de la propriété, le cadre somptueux du jardin et les vues spectaculaires sur le lac avoisinant créent un environnement incomparable pour les visiteurs et les locaux.

Il offre 404 chambres luxueuses, un stationnement souterrain avec 3 places de chargement pour les véhicules électriques, et 8400 m<sup>2</sup> d'installations



**19- Les "Promenades Cathédrale" sous l'église anglicane "Christ Church".**

**20- Le centre de maintenance de Grand River Transit dans la région de Waterloo, dans l'Ontario (Magil construction).**

sportives et de loisirs, dont plusieurs restaurants, cinémas, terrains de tennis et de squash intérieurs, salles de réunion, une clinique de physiothérapie, et un centre de loisirs pour enfants de 280 m<sup>2</sup>.

L'hôtel vise la certification Leed<sup>®</sup> Or : notamment, la totalité du verre dans le bâtiment est à triple vitrage pour l'isolation et l'insonorisation, avec un revêtement sur mesure pour réduire l'absorption de chaleur.

À signaler également dans les réalisations hôtelières, le Crystal de la Montagne, à Montréal, un complexe unique combinant hôtel-boutiques 5 étoiles avec de luxueux logements privés situé dans un milieu urbain très achalandé.

Avec ses salles de conférence, son hall d'entrée futuriste, sa cascade de 12 m de haut surgissant de la mezzanine, ce projet résidentiel/hôtel haut de gamme fusionne une variété d'usages avec élégance : 4 niveaux de stationnement souterrain, 3 étages d'installations commerciales et 22 étages réservés aux chambres d'hôtel (130) et aux appartements privés (50).

© FAYOLLE CANADA



19

## CONSTRUIRE SOUS UNE CATHÉDRALE

**Sur le site d'une cathédrale patrimoniale, Fayolle Canada a réalisé l'édification d'une tour de 35 étages ainsi que la "suspension" pendant les travaux d'un bâtiment vieux de 150 ans et la construction d'un centre commercial souterrain.**

**Ce projet unit la construction de la tour de bureaux KPMG et du centre commercial souterrain "Les Promenades Cathédrale". Il est exceptionnel en raison de l'exécution unique de travaux de construction sous le presbytère et l'Église anglicane "Christ Church Cathedral" de style néo-gothique. L'église est recensée au répertoire du patrimoine culturel du Québec.**

**Par l'application de stratégies structurales novatrices, l'église a reçu une nouvelle dalle de support, qui agit comme un immense plateau soutenu par des colonnes temporaires permettant un accès au-dessous.**

## LES OUVRAGES D'ART : CHARLEY FOX ET SARNIA ROAD

Pour achever cette présentation de quelques-unes des réalisations les plus remarquables de Fayolle Canada, il faut évidemment citer deux ouvrages routiers entrant dans le domaine des

ouvrages d'art : le viaduc Charley Fox et le pont de Sarnia Road, tous deux à London (Ontario).

Le viaduc et rond-point commémoratif Charley Fox remplace deux intersections routières et élimine un passage à niveau. Construite au-dessus d'un cou-

loir ferroviaire existant à trois voies, la structure a une portée centrale d'environ 22 m, ce qui permettra l'expansion future de l'infrastructure ferroviaire.

Les structures en béton des culées et du pont, qui ont nécessité environ 490 000 m<sup>3</sup> de béton, ont été coulées sur place. Le projet a été complété en maintenant le trafic ferroviaire ininterrompu pendant toute la durée des travaux. Au centre du rond-point, une œuvre rend hommage aux vétérans canadiens dont le héros local Charley Fox<sup>(2)</sup>.

Pour Sarnia Road, sur un passage autrefois occupé par un pont patrimonial à une voie, ce nouveau viaduc répond à l'augmentation du trafic dans ce secteur en expansion et offre un parcours agréable, plus large et entouré de verdure pour les véhicules, les cyclistes et les piétons : après enlèvement du pont existant, construction d'une nouvelle structure surélevée d'une largeur de 15 m et d'une longueur de 95 m. Les travaux comprenaient : les collecteurs d'eaux pluviales, le remplacement et le déplacement d'une conduite d'eau, y compris son passage sous les voies ferroviaires et l'agrandissement d'une partie de Sarnia Road de 2 à 4 voies. Enfin, Fayolle Canada a aussi effectué l'éclairage public, les pistes cyclables, les trottoirs et les écrans antibruit.

L'ancien pont centenaire, rare vestige de l'époque de l'expansion ferroviaire, a été entreposé par la municipalité pour être remis en valeur ultérieurement.

## DES IDÉES POUR L'AVENIR

Ces exemples mettent en évidence ce qui constitue les forces de l'entreprise : expertise en équipements intégrés, approche et systèmes facilitant la collaboration multi-entités, capacité de contribuer à toutes les étapes d'un projet, en incluant les études de conception, la recherche de financement et la maintenance.

« Pour l'avenir, les projets ne manquent pas. Ils pourraient concerner l'implantation aux États-Unis et en Asie, le développement de notre présence sur le continent africain et même l'investissement dans d'autres secteurs d'activités. » □

1- La certification LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) est une certification environnementale d'origine nord-américaine visant à promouvoir la haute qualité environnementale des bâtiments.

2- Charley Fox était l'un des as de l'aviation canadienne de la Seconde Guerre mondiale, à qui l'on attribue en particulier d'avoir sorti de la guerre le général le plus célèbre d'Allemagne, Erwin Rommel.



© FAYOLLE CANADA

20





1  
© LINK ALLIANCE

# CITY RAIL LINK : AUCKLAND SE DOTE DE LA PREMIÈRE LIGNE DE MÉTRO EN NOUVELLE-ZÉLANDE

AUTEURS : FRANÇOIS DUDOIT, DIRECTEUR DE PROJET, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - PHILIPPE BEGOU, DIRECTEUR GÉNIE CIVIL, SOLETANCHE BACHY INTERNATIONAL

DANS LE n°936 NOUS AVIONS PRÉSENTÉ LA PREMIÈRE ÉTAPE DE CE PROJET QUI TRANSFORMERA AUCKLAND, PLUS GRANDE VILLE DE NOUVELLE-ZÉLANDE ET CAPITALE ÉCONOMIQUE. LE PROJET VA DRASTIQUEMENT CHANGER LES TRANSPORTS EN COMMUN DE LA MÉTROPOLE EN AJOUTANT DEUX NOUVELLES STATIONS ENTERRÉES DANS L'HYPER CENTRE MAIS AUSSI EN BOUCLANT LE RÉSEAU FERRÉ EXISTANT ET EN DOUBLANT AINSI LA CAPACITÉ DE TRANSPORT PROPRE VERS OU DEPUIS LE CENTRE-VILLE. AVEC UN BUDGET INITIAL DE 4,4 MILLIARDS DE DOLLARS NZ CE PROJET EST LE PLUS GROS RÉALISÉ À CE JOUR EN NOUVELLE ZÉLANDE.

## LA GENÈSE DU CONTRAT, LINK ALLIANCE ET SON CONTRAT

Le premier appel de candidature a été lancé début 2017 dans le cadre d'un contrat *design & build* pour la partie génie civil seule. Pendant le processus de sélection, divers événements ont poussé le client à modifier son

approche : la consultation a été relancée en juin 2018 sous forme d'une "alliance compétitive". Link Alliance s'est vu attribuer le contrat C3 en juillet 2019, tout en continuant à développer et chiffrer la partie ferroviaire du projet (initialement prévue en 2 contrats : C5 et C7) qui a été intégrée au contrat en septembre 2020. Comme dans toute

**1- Portail de Mount Eden et emplacements des différents tunnels.**

**1- Mount Eden portal and locations of the various tunnels.**

alliance, les participants à l'Alliance partagent une grande partie des risques. Un système de bonus/malus est également mis en place, tant sur le coût objectif du projet que sur les objectifs en termes de sécurité, environnement, programme, etc. Link Alliance comprend en premier lieu le maître d'ouvrage City Rail Link Ltd,





© CITY RAIL LINK LTD  
2

2- Le tracé du City Rail Link au cœur de la ville d'Auckland, avec les trois nouvelles stations : Aotea, Karanga'hape et Mount Eden (du bas vers le haut).

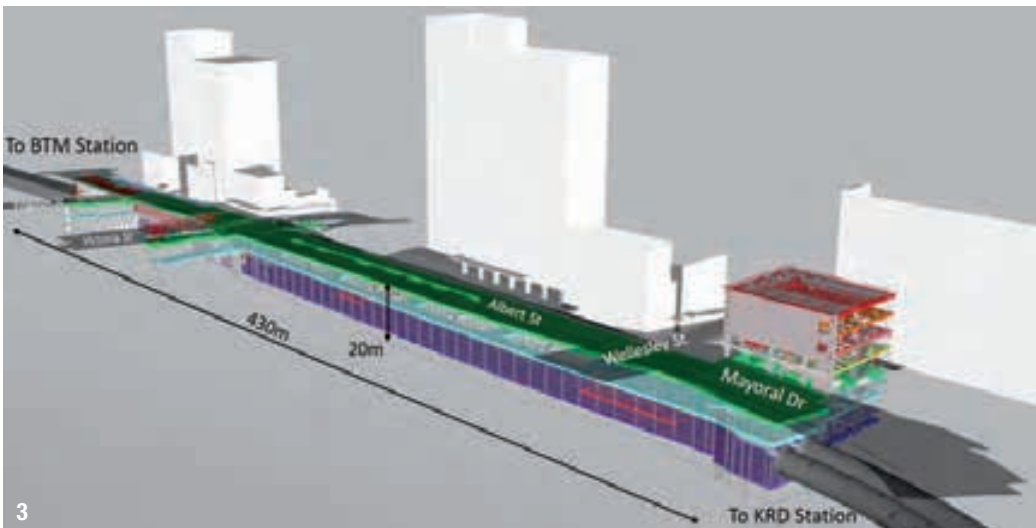
3- Représentation schématique de la station Aotea.

4- Représentation schématique de la station Karanga'hape.

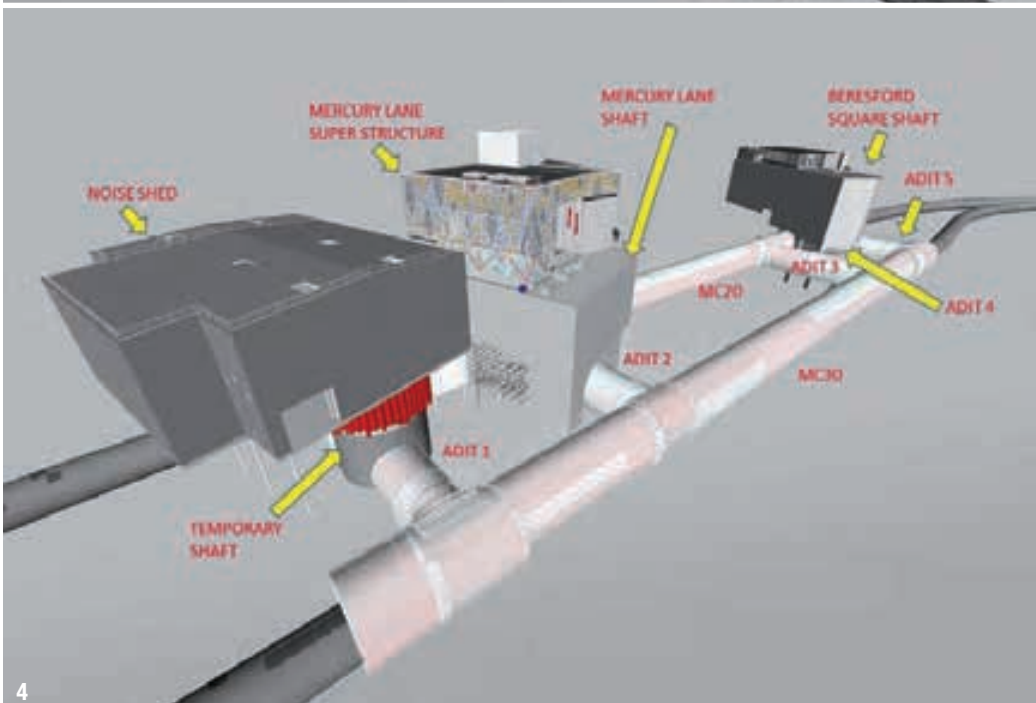
2- Alignment of the City Rail Link in the heart of the city of Auckland, with the three new stations: Aotea, Karanga'hape and Mount Eden (from bottom to top).

3- Schematic representation of Aotea Station.

4- Schematic representation of Karanga'hape Station.



© LINK ALLIANCE  
3



© LINK ALLIANCE  
4

société de projet représentant les deux financeurs du projet (l'État néo-zélandais et la région d'Auckland). Link Alliance comprend trois constructeurs : Vinci Construction Grands Projets, Soletanche Bachy International et Downer NZ. Et trois designers : Aecom, WSP et Tonkin & Taylor.

Le scope comprend de façon synthétique, le design et la construction jusqu'à la livraison clés en mains de :

- Deux nouvelles stations enterrées - "Aotea" et "Karanga'hape" (figures 3 et 4) - et une station à ciel ouvert à cheval sur les nouvelles voies et les voies existantes "Mount Eden" - également point de départ du tunnelier (figures 1 et 5) ;
- Un double tunnel foré sur 1,6 km et 750 m de tunnels et galeries minées pour les plateformes enterrées, les bifurcations souterraines et les cross-passages ;
- Deux ouvrages de raccordement enterrés sur les voies existantes au sud, et la reconstruction au nouveau profil des voies existantes ;
- Le remplacement de passages à niveau par 3 ponts et passerelles piétonnes, ainsi que la création et le remplacement de voiries.



## LE PROGRAMME ET LES IMPACTS DU COVID-19

Les travaux préparatoires de déviation de réseaux et libération d'emprises ont démarré fin 2019, suivis par les premiers pieux début 2020 et les parois moulées mi 2020, après un premier épisode de confinement.

Le tunnelier a démarré en mai 2021 et le premier tir était terminé en décembre 2021. Il redémarrera en avril pour terminer en septembre cette année.

La première phase de raccordement et le basculement des voies existantes a été réalisée en janvier dernier, malgré un deuxième épisode de confinement d'août à fin septembre 2021.

Les travaux étaient initialement prévus livrés fin 2024. La Nouvelle-Zélande a maintenu pendant environ deux ans une politique zéro Covid, au prix de la fermeture des frontières et de nombreux épisodes de confinement. L'impact de la pandémie retardera vraisemblablement cette date de 3 à 4 mois.

## LES TECHNIQUES ET MOYENS MIS EN ŒUVRE DESIGN ET BIM

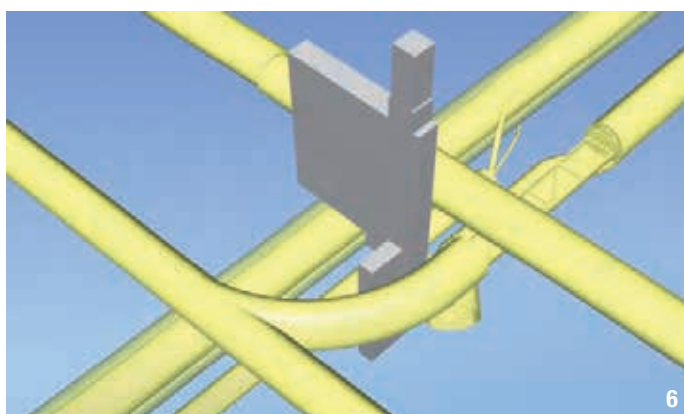
Compte tenu de la dimension exceptionnelle du projet et des techniques utilisées, l'équipe design a mobilisé des équipes à travers le monde pour développer le projet. Si l'avant-projet préparé par le client était bien détaillé, il était basé sur des longueurs de rame de 6 wagons, alors que le contrat a été signé pour des infrastructures accueillant 9 wagons. Pendant la phase d'appel d'offres puis en phase d'exécution, la géométrie et l'aménagement des infrastructures a donc dû être drastiquement repensée, particulièrement pour la station "Karanga'hape". Le traitement architectural s'inspire très fortement de la culture maorie et de sa cosmologie. Des réseaux enterrés et structures jusqu'aux luminaires et signaux ferroviaires, tous les constituant sont modélisés dans le BIM auquel le contrat donne la priorité dans la hiérarchie documentaire. Le modèle contiendra également tous les attributs nécessaires à l'opération et la maintenance de l'infrastructure. Le contexte normatif néo-zélandais n'a pas permis le même niveau d'optimisation des structures qui par ailleurs doivent répondre à des normes sismiques très contraignantes.

## LA GÉOLOGIE

Le sous-sol d'Auckland est principalement constitué de sables argileux grésifiés constituant l'"East Coast Bay Formation" ou ECFB. Le degré de

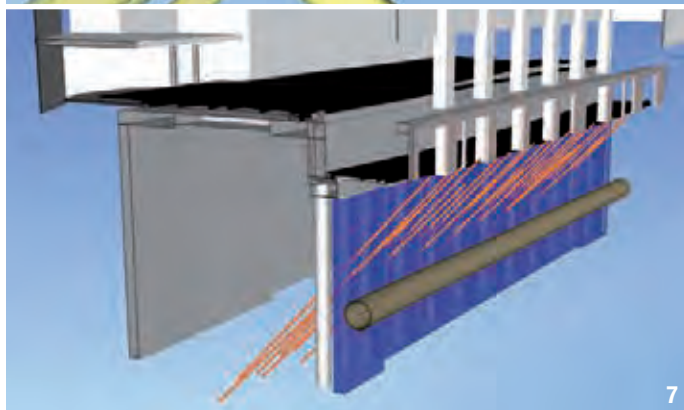


5 © LINK ALLIANCE



6

© LINK ALLIANCE



7

© LINK ALLIANCE



8

© LINK ALLIANCE

5- Une vue aérienne du site de Mount Eden avec les départs des tunnels et la construction de la station.

6- Panneaux de paroi au milieu de réseaux existants.

7- Paroi moulée au travers de tirants et structures existantes.

8- Disques adaptés sur Hydrofraise® pour découpe les tirants.

5- Aerial view of the Mount Eden site with the tunnel starting points and station construction.

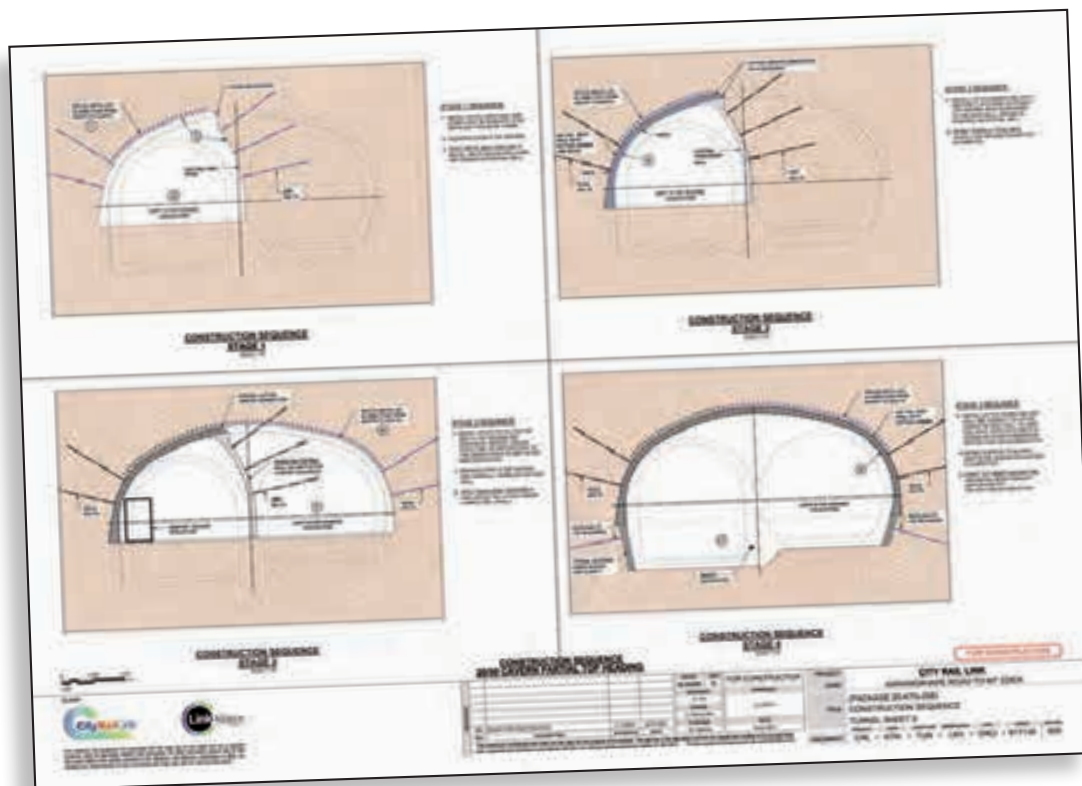
6- Wall panels in the centre of the existing networks.

7- Diaphragm wall through tie anchors and existing structures.

8- Discs adapted to Hydrofraise® for cutting tie anchors.

cimentation de ce matériau est variable, ce qui affecte ses propriétés mécaniques. Sa résistance à la compression simple est généralement comprise entre 2 et 5 MPa, mais des horizons avec une très faible cimentation peuvent être rencontrés ou au contraire des zones très grésifiées (la résistance peut alors dépasser 50 MPa). L'ECFB est connu pour sa faible perméabilité,





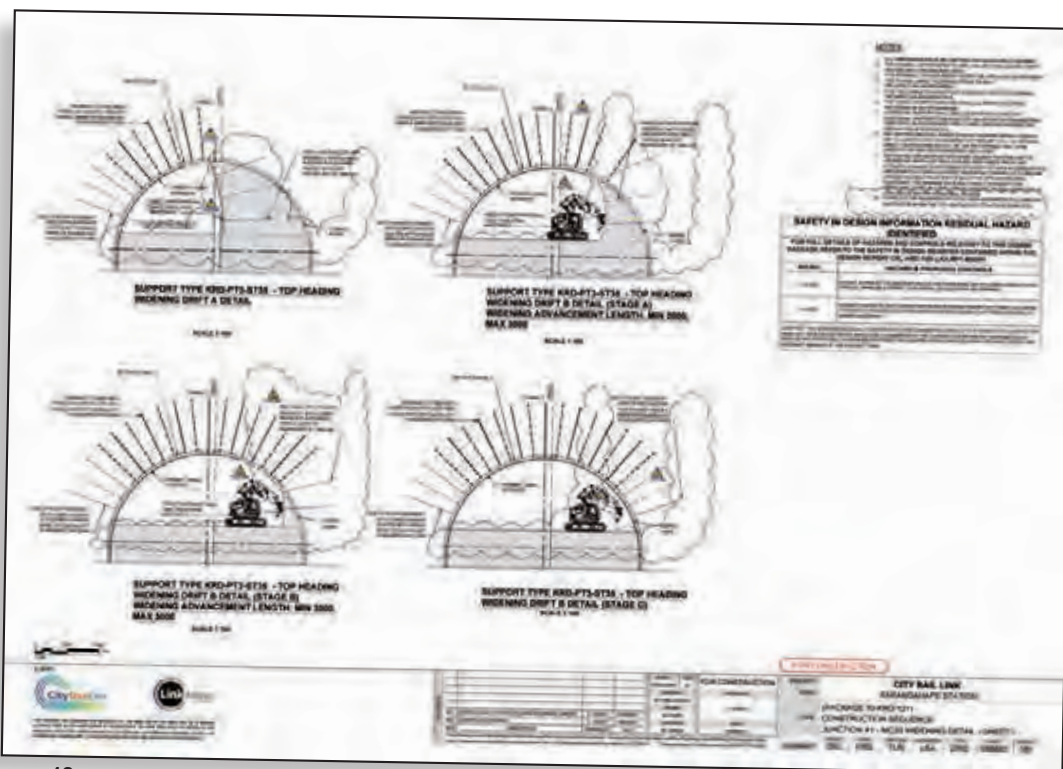
9 © LINK ALLIANCE

9- Séquence de terrassement en section divisée KTN.

10- Séquence de terrassement en section divisée MC21.

9- Partial-face excavation earthworks sequence KTN.

10- Partial-face excavation earthworks sequence MC21.



10 © LINK ALLIANCE

pour avoir une certaine activité, ce qui le rend facilement collant, et pour sa faible abrasivité.

À l'extrémité Sud du projet, située juste en-dessous du volcan éteint de Mount Eden, les tunnels en cut & cover traversent des couches de basalte fracturées à compactes, ainsi que des couches de dépôts de cendres volcaniques très plastiques.

### LES FONDATIONS

Les nouvelles stations se situant au-dessus de la nappe, l'avant-projet prévoyait de réaliser les soutènements par pieux sécants ou contigus. Lors du développement du design une solution de paroi moulée a été préférée pour les 2 stations enterrées. Elle a permis de réduire les nuisances aux riverains pendant les travaux, mais aussi

d'économiser du béton et de gagner de précieux centimètres dans des emprises très réduites. Comme pour la première phase de CRL (article dans Travaux n°936) l'Hydrofraise compacte HCO5 a été utilisée pour répondre aux contraintes de travail en emprises travaux réduites et à la tolérance de verticalité de 1/200. Quelques points particuliers sont à noter :

- La réalisation de panneaux entre des réseaux en service, dont certains très anciens (figure 6). Certains panneaux ont été réalisés entre des fondations existantes, des réseaux en service et au travers de tirants (figure 7) ;
- Pour le passage des tirants, des disques ont été adaptés sur les tambours de l'Hydrofraise, qui ont découpé les tirants sans choc ni vibration (figure 8) ;
- Les panneaux qui seront laissés apparents ont été coulés avec un béton contenant 1,2 kg/m<sup>3</sup> de fibres polypropylène de 6 µm x 18 mm afin d'assurer leur résistance au feu. Le dosage et l'efficacité ont été validés par des essais destructifs (figures 18 et 19) ;
- Sur tout le projet CRL, une instrumentation extensive a été mise en œuvre. Utilisation de 41 stations Cyclops pour suivre les tassements et mouvements de bâtiments, 58 inclinomètres et 2 400 points de visée, sans oublier les piézomètres et les tassomètres dans les parois de soutènement et les capteurs de vibration dans les infrastructures sensibles. Toutes les informations sont traitées et accessibles en temps réel par le système Geoscope mis en œuvre par Sixense.

### LES TUNNELS EN TRADITIONNEL

Plusieurs sections de tunnel ne pouvaient être réalisées au tunnelier : les plateformes de la station "Kara-ga'hape" et les bifurcations en extrémité Sud. Ces dernières se situent dans une zone de grès tendre avec quelques poches de sable peu induré. Les terrassements ont donc été réalisés à la pelle-tunnel en 2 demi-sections. Les zones les moins compactes ont nécessité l'installation de voûtes parapluies avant terrassement et pose de cintres réticulés.



La caverne de jonction des voies MC20 et MC50 a nécessité un terrassement en section divisée : la section a été élargie dans la zone de plus forte ouverture avant de terrasser le stross (figure 9).

Le recours à des sections divisées a aussi été nécessaire dans les galeries de la station "Karanga'hape" : en effet, si le terrain a un comportement rocheux, il comporte aussi des zones très fracturées qui malheureusement sont apparues dans les zones de plus forte ouverture. Cela a été le cas de la section baptisée MC21 qui correspond au raccordement d'une galerie de ventilation sur la galerie de la plateforme Ouest.

La séquence est illustrée dans la figure 10 et les différents soutènements dans la figure 11.

En ce qui concerne les équipements :

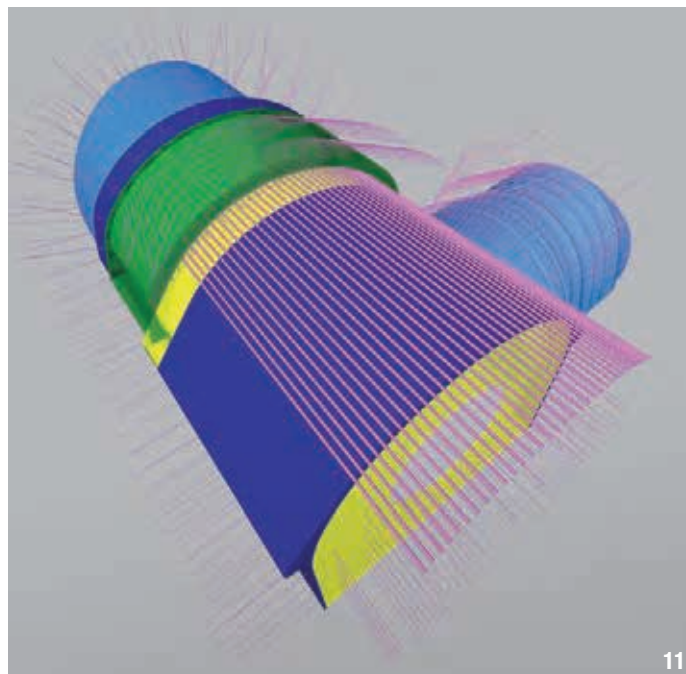
- Le creusement a été réalisé à la pelle-tunnel Liebherr 924 et 950 - équipée de godet ou de fraise - ou, pour les galeries en terrain rocheux, par des machines à attaque ponctuelle Mitsui S220 et S300 ;
- Le boulonnage a été réalisé à l'aide de CTbolts installés par des robdrill 516-531 avec un bras type Feed ACB 14' et un bras pour injection de coulis ;
- Les voûtes parapluie étaient installées par un deuxième robdrill 516-531 avec un bras Feed ACT 14' + DSI Squeezing system ;
- Le béton projeté de soutènement primaire a été réalisé à l'aide de robots Normet 8100.

Les outils coffrants sont en cours d'assemblage. À noter la forme tronconique des galeries des bifurcations Sud et les raccordements des galeries sur les cavernes principales dans la station "Karanga'hape" (figures 12 et 13).

### LES TUNNELS FORÉS

Les tunnels parallèles MC30 et MC20, d'une longueur forée de 1,6 km chacun, sont situés dans la formation géologique dénommée ECBF décrite plus haut.

Dans le passé, plusieurs tunnels avaient été creusés au tunnelier dans l'ECBF : Orakei Main Sewer, Rosedale Outfall et Waterview Connection. Sur la base de ces expériences, un tunnelier à pression de terre fourni par Herrenknecht a été sélectionné avec les caractéristiques suivantes : diamètre maximale de 7,15 m ; une pression maximale de 4 bars ; une roue de coupe équipée de rippers et de molettes pour les bancs durs et avec un pourcentage



11  
© LINK ALLIANCE

**11- Vue éclatée soutènements MC21.**

**12- Cavernes de la bifurcation MC20/50.**

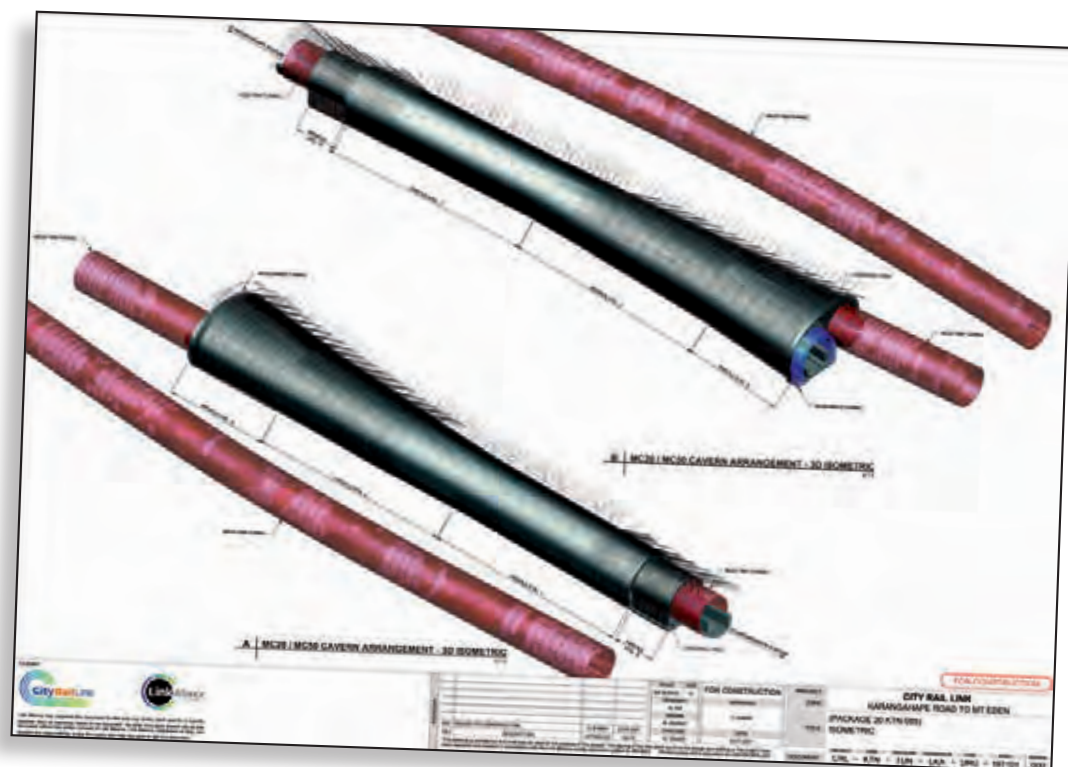
**11- Exploded view of retaining structures MC21.**

**12- MC20/50 branch caverns.**

d'ouverture de 44 % pour pallier les difficultés de marinage liées au collage (figure 14).

Le marinage en tunnel est effectué par une bande transporteuse d'une capacité de 600 t/heure et le transport en tunnel principalement par des véhicules électriques sur pneu.

Le revêtement est constitué d'anneaux de type universel rhomboïdal, d'une épaisseur de 30 cm et renforcés par des fibres métalliques (35 kg/m<sup>3</sup>),



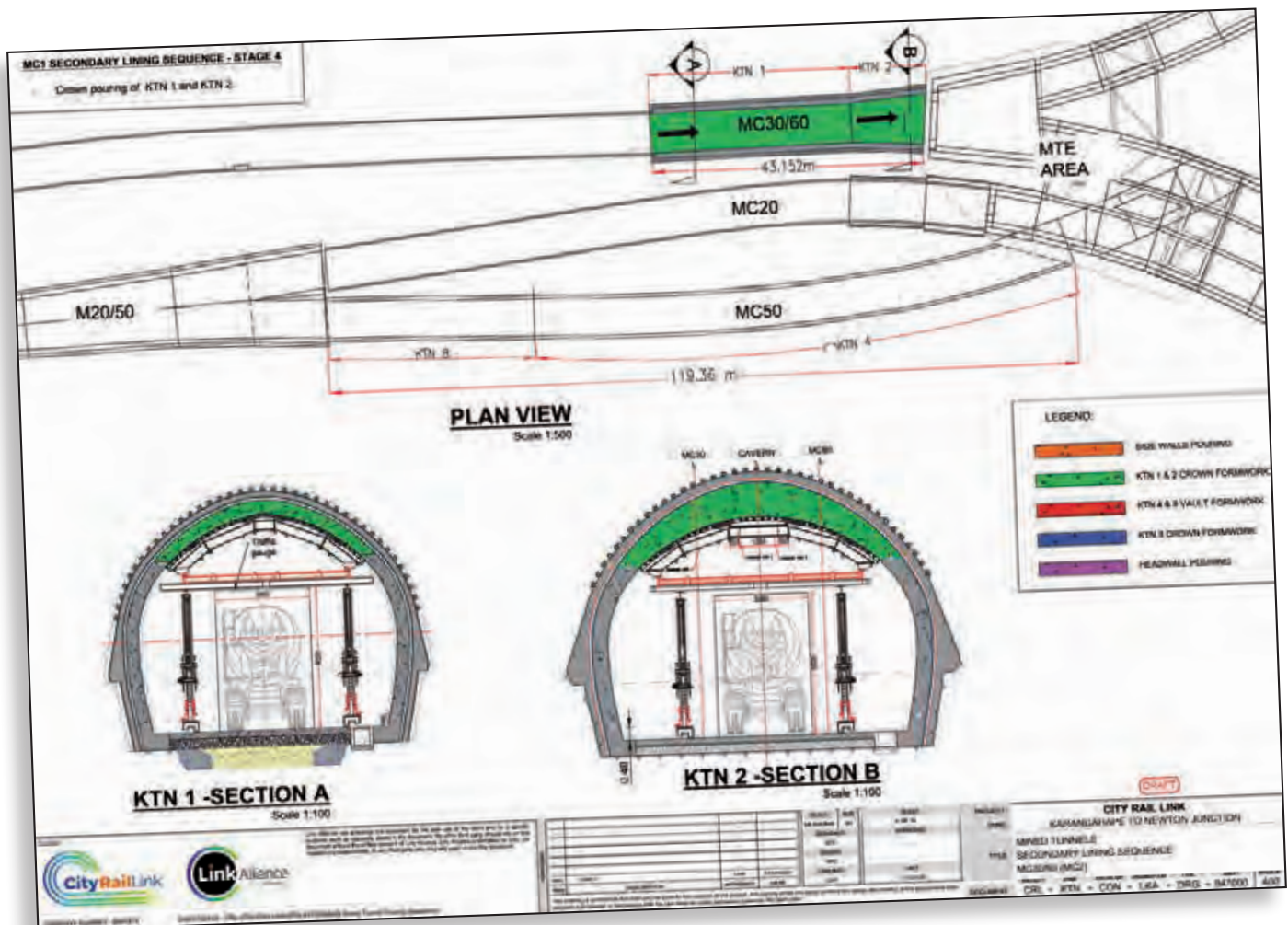
© LINK ALLIANCE 12

à l'exception de zones particulières comme celles des rameaux où des cages d'armature sont employées.

Les principaux défis techniques liés aux tunnels forés sont :

- Le passage des tirants d'ancrage du Aotea Centre. Il y a plusieurs dizaines d'années, ces tirants furent installés lors de la construction du Aotea Centre et laissés dans le sol. Des travaux de reconnaissance ont été nécessaires pour s'assurer du nombre, de leur position, de leur longueur, de leurs caractéristiques techniques (tirants de diamètre 60 mm à 7 brins de 15 mm) et qu'ils n'étaient plus sous tension. Ils ont permis de confirmer que 26 et 16 tirants intersectaient respectivement les tunnels MC30 et MC20 sur une zone de 80 m de long (figure 15). En raison de problèmes d'accès et de déviation de réseaux, il n'était guère envisageable de retirer ces tirants à partir de la surface. La solution restante était donc de se préparer à enlever ces obstructions à partir du tunnelier. Afin de faciliter cette tâche, la roue de coupe a été conçue avec des couteaux et la vis de marinage avec de nombreuses trappes d'accès. Les consignes de fonctionnement du tunnelier ont été adaptées à cette zone et des visites régulières de la chambre d'abattage prévues environ tous





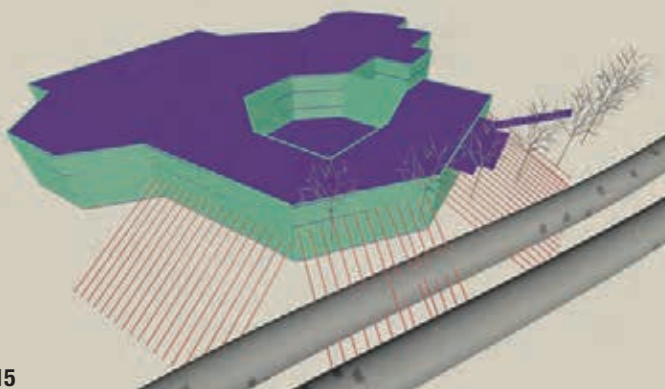
13 © LINK ALLIANCE

## LA TÊTE DE COUPE DU TUNNELIER



14 © LINK ALLIANCE

## LES TIRANTS D'ANCRAGE DU CENTRE AOTEA ET LEURS INTERACTIONS AVEC LES TUNNELS CREUSÉS AU TUNNELIER



15 © LINK ALLIANCE

**13- Coffrages de tunnels de section variable.**

**14- La tête de coupe du tunnelier.**

**15- Les tirants d'ancrage du Centre Aotea et leurs interactions avec les tunnels creusés au tunnelier.**

**13- Variable-section tunnel formwork.**

**14- TBM cutter head.**

**15- Tie anchors of the Aotea Centre and their interactions with the tunnels driven by TBM.**

les 10 m, afin de retirer les morceaux de tirants obstruant la roue de coupe (figure 16). Le passage des 26 tirants du premier tunnel (MC30) s'est réalisé sans longs arrêts et le tunnelier a pu progresser à une cadence moyenne très satisfaisante de 10 m/jour, validant par là-même le choix technique ;  
 → Un alignement avec des rayons de courbure très serrés (140 m), même au démarrage du tunnelier.

Le tunnelier ainsi que les équipements en tunnel ont dû être conçus pour de tels rayons (110 m pour le tunnelier). Concernant le revêtement par voussoirs, des anneaux de 1,6 m de long sont utilisés dans les parties courantes (figure 17). Dans les courbes serrées, la longueur des anneaux est réduite à 1,1 m ;

- Le passage sous le nœud autoroutier le plus important de la ville d'Auckland (un couloir de 200 m de large avec 11 voies de circulation). Dans cette zone, le tunnelier a progressé très rapidement tout en étant en mode fermé. Les tassements ont été limités à 2 mm ;
- Le collage de l'ECBF. De la mousse avec des additifs est utilisée ;
- Des tunnels en pente descendante (3,5%).

La foration du premier tunnel (MC30) s'est achevée en décembre 2021. Après la phase de mise en route, le tunnelier a atteint une cadence moyenne 30% meilleure que les 15 m/jour prévus initialement. Le lancement du tunnelier pour MC20 est planifié en avril 2022.

## TERRASSEMENTS ET STRUCTURES

Les techniques de terrassement et de construction des structures enterrées sont courantes pour ce type de travaux en milieu urbain très dense : ▷



terrassément en *top-down* avec construction des dalles supportées par des poteaux préfondés.

La réglementation du travail néo-zélandaise classe les travaux de tunnel et de puits comme des travaux de minage. Ce qui a imposé des formations spécifiques pour tous les ouvriers qui ont aussi dû porter des respirateurs pour tous les travaux souterrains.

Les chefs de poste ont dû suivre une formation de 3 mois sanctionnée par un examen oral par une commission ad-hoc !

## RAIL

Les travaux ferroviaires sont à réaliser dans deux environnements bien distincts : le premier défini par les ouvrages nouvellement construits ("greenfield") et le second à proximité de voies en circulation de la North Auckland Line (NAL). Le phasage des travaux est alors tributaire des coupures programmées de la circulation ferroviaire et se déroule dans un cadre réglementaire très strict.

Sur les sites, les travaux de génie civil sont maintenant à leur pic d'activité, mais, dans les tous prochains mois, l'installation des lots architecturaux, des équipements électromécaniques et ferroviaires des tunnels et des sta-



16

© LINK ALLIANCE

tions commencera. Cette transition est une phase importante dans la vie du projet et nécessite une grande attention en amont dans les phases de design des lots génie civil et systèmes, d'engineering et de préparation des travaux, afin de s'assurer que l'intégration soit réussie et que le projet progresse comme prévu.

Une autre transition est aussi importante, celle du passage à la phase des tests. La mise en service de CRL est programmée dans moins de trois ans, mais les équipes du système ferroviaire intégrées au projet s'attendent déjà à

**16- Les tirants d'ancrage du Centre Aotea coupés par la tête de coupe du tunnelier.**

**17- Le tunnel MC30.**

**16- Tie anchors of the Aotea Centre cut by the TBM cutter head.**

**17- MC30 tunnel.**

définir les tests, afin de valider le fonctionnement nominal sous-système par sous-système et en interaction avec les autres sous-systèmes.

Bien que situé au futur cœur du réseau ferroviaire d'Auckland et bien qu'il changera fondamentalement la dynamique de ce réseau vers un fonctionnement type métro, CRL doit être considéré techniquement avant tout comme une extension de réseau. En particulier, la technologie des principaux systèmes, comme la signalisation ETCS Niveau 1, est inchangée. Le matériel roulant fourni par Auckland Transport est le même, ce qui limite les risques lors des phases d'essais et de mise en route.

L'établissement du plan d'essais se fait en collaboration avec les futurs propriétaires et exploitants du CRL (deux entités qui participent à l'Alliance) : Auckland Transport pour les stations et Kiwi Rail pour les infrastructures ferroviaires, afin de sécuriser le processus de mise en route et la mise en service commerciale.

## L'INTÉGRATION DU PROJET DANS SON ENVIRONNEMENT

### INTÉGRATION DANS L'ENVIRONNEMENT CULTUREL

Depuis plus de 50 ans, la Nouvelle-Zélande cherche à retrouver ses



17

© LINK ALLIANCE





18  
© LINK ALLIANCE

19  
© LINK ALLIANCE

racines maories à travers tous les aspects de la vie publique. Pour le projet CRL, un partenariat a été établi entre le forum Mana Whenua - constitué de huit tribus maories ayant vécu sur les emprises du projet - afin de garantir que les droits et la culture des Maoris soient respectés et intégrés dans les principes du Kai-tiakitanga ou management de l'environnement fondé sur la vision maorie de l'univers. En particulier, l'architecture des stations a été développée pour illustrer

la cosmologie et plus généralement la culture maorie.

#### LA DÉMARCHÉ ENVIRONNEMENTALE ET DE DÉVELOPPEMENT DURABLE

Bien avant que le monde moderne invente l'écologie, la culture maorie donnait une place prépondérante à la nature. Très naturellement ce projet s'est fixé des objectifs environnementaux très ambitieux en ligne avec les démarches citoyennes de ses designers et constructeurs.

**18 & 19- Test de résistance au feu avec et sans micro-fibres.**

**18 & 19- Fire resistance test with and without microfibrés.**

Réduction des matériaux : comparé à l'avant-projet, une réduction de 17 % des quantités de ciment et aciers a été atteinte notamment par la réduction des ouvrages provisoires et l'utilisation de cendres volantes, diminuant de 25 % l'empreinte carbone du projet.

Recyclage ou réutilisation des matériaux : dès la phase de démolition des bâtis existants, une démarche de valorisation des matériaux a été mise en place. Jusqu'au transport en une pièce d'une villa - pratique courante en Nouvelle-Zélande !

Les bétons ont été concassés et recyclés en granulats. Seuls 3% des déchets de construction rejoignent une décharge, 14% sont réutilisés et le reste est recyclé.

Selon les critères de l'ISCA (Infrastructure Sustainability Council of Australia) le projet visait une note "excellent" mais devrait atteindre la note supérieure de "leader" tant pour le design que pour la construction ! □

### PRINCIPALES QUANTITÉS

- Coût objectif des travaux Link Alliance : 2 541 889 817 NZD
- 3 nouvelles stations enterrées
- 2 x 1 600 m de tunnel foré diam 7,15 m
- 820 m de tunnel traditionnel
- 24 000 m<sup>2</sup> de parois moulées
- 1 600 pieux
- 73 800 m<sup>3</sup> de béton de structure
- 7,5 km de voies et caténaires

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE :** City Rail Link - Société de projet représentant les deux financeurs (état de Nouvelle-Zélande et district d'Auckland)

**GROUPEMENT CONSTRUCTEURS :**

- Vinci Construction Grands Projets - Mandataire
- Downer New Zealand (aussi titulaire d'un contrat de maintenance des futures stations)
- Soletanche Bachy International

**GROUPEMENT DESIGNERS :**

- Aecom New Zealand
- Wsp New Zealand
- Tonkin & Taylor

**MAÎTRE D'OUVRAGE, CONSTRUCTEURS ET DESIGNERS**

**SONT TOUS PARTENAIRES AU SEIN DE :** Link Alliance

**EXPLOITANT RÉSEAU FERROVIAIRE :** KiwiRail Ltd

**EXPLOITANT SERVICE TRAINS PASSAGERS :** Auckland Transport Ltd

#### ABSTRACT

### CITY RAIL LINK: AUCKLAND ACQUIRES THE FIRST UNDERGROUND RAIL LINE IN NEW ZEALAND

FRANÇOIS DUDOUIT, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - PHILIPPE BEGOU, SOLETANCHE BACHY INTERNATIONAL

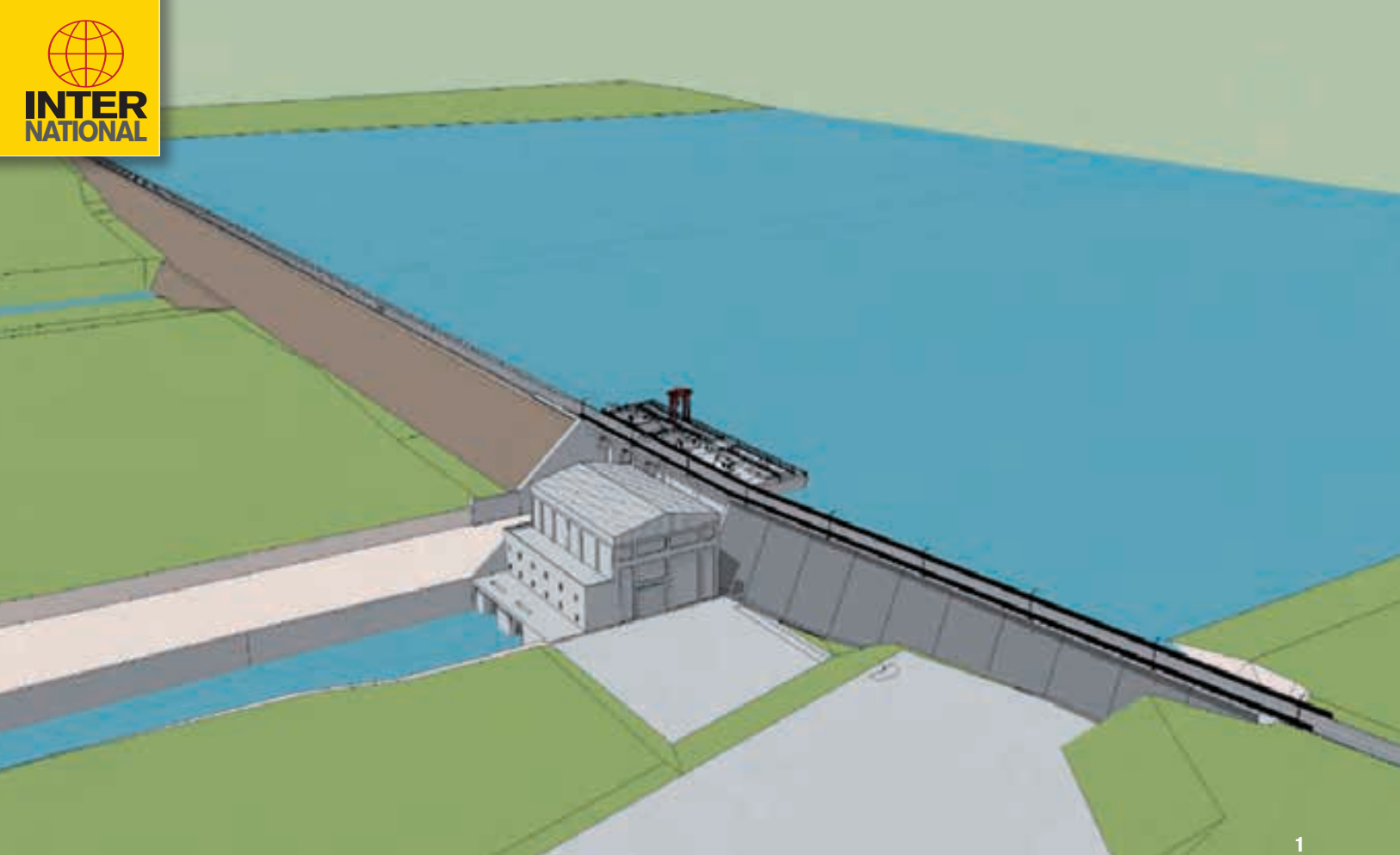
**City Rail Link is a transformational project for New Zealand's largest city, Auckland.** After three preliminary works contracts, the project will be delivered by an alliance working in partnership to perform civil works, station fit-out and rail system installation, integration and commissioning. As the first underground rail infrastructure project and the largest construction project in New Zealand, these works were a challenge even before the Covid pandemic exacerbated the challenges related to international sourcing and transport of supplies. The project is on track to achieve its objectives from scheduling to sustainability. □

### CITY RAIL LINK: AUCKLAND SE DOTA DE LA PRIMERA LÍNEA DE METRO EN NUEVA ZELANDA

FRANÇOIS DUDOUIT, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - PHILIPPE BEGOU, SOLETANCHE BACHY INTERNATIONAL

**City Rail Link es un proyecto transformador de la ciudad de Auckland, la más grande de Nueva Zelanda.** Al término de tres contratos de obras preliminares, el proyecto será ejecutado por un consorcio, responsable de la obra civil, el acondicionamiento de las estaciones y la instalación, integración y puesta en servicio de los sistemas ferroviarios. En tanto que primera infraestructura de metro y mayor proyecto de construcción realizado en Nueva Zelanda, este proyecto suponía un importante desafío, que la pandemia de covid no ha hecho sino agravar en términos de dotación de recursos internacionales y transporte de suministros. El proyecto está en vías de alcanzar sus objetivos, tanto en términos de programa como de sostenibilidad. □





1

© EIFFAGE

# PROJET D'AMÉNAGEMENT HYDROÉLECTRIQUE DE SINGROBO-AHOUATY (PAHSA) EN CÔTE D'IVOIRE

AUTEURS : ALAIN EKOLAN ETTY, PRÉSIDENT DIRECTEUR GÉNÉRAL D'IVOIRE HYDRO ENERGY (IHE) -  
THIERRY MENAY, DIRECTEUR TECHNIQUE POUR PAHSA, EIFFAGE - THIERRY THEODORE, DIRECTEUR DE PROJET POUR PAHSA, EIFFAGE

SUITE À UN APPEL D'OFFRES INTERNATIONAL LANCÉ EN 2016, LE GROUPE EIFFAGE S'EST VU CONFIER EN 2018 LE CONTRAT DE CONCEPTION-CONSTRUCTION DU PROJET D'AMÉNAGEMENT HYDROÉLECTRIQUE DE SINGROBO - AHOUATY (PAHSA) SITUÉ À 140 km AU NORD D'ABIDJAN EN CÔTE D'IVOIRE. PAHSA EST UN ÉQUIPEMENT HYDROÉLECTRIQUE NEUF, CONSTRUIT SUR LE FLEUVE BANDAMA, D'UNE PUISSANCE INSTALLÉE DE 44,4 MW. LES PREMIERS TRAVAUX PRÉPARATOIRES ONT DÉMARRÉ DÉBUT 2020. À AVRIL 2022, LE NIVEAU D'AVANCEMENT DU CHANTIER EST ESTIMÉ À 50 %, PERMETTANT AINSI D'ENVISAGER UN TRANSFERT DE L'INSTALLATION À L'EXPLOITANT COURANT 2023.

## HISTORIQUE ET PHASE DE DÉVELOPPEMENT DU PROJET

Le marché de conception-construction, clés en mains, comprend l'ensemble des ouvrages de terrassement et de génie civil ainsi que l'ensemble des équipements hydromécaniques, électromécaniques et électriques permettant le bon fonctionnement de l'aménagement. Le PAHSA a été conçu au sein du bureau d'études ivoirien Cecotid en

2009-2010 par une équipe pluridisciplinaire dirigé par Ekolan Alain Ety, promoteur principal du projet, qui a été Directeur Général Adjoint de 1999 à 2005 de la Compagnie Ivoirienne d'Electricité (CIE), exploitant du réseau électrique National de la Côte d'Ivoire, où il a passé 26 ans de sa carrière professionnelle déjà longue de 41 ans. En 2012, le promoteur original a créé la société de Projet Ivoire Hydro Energy

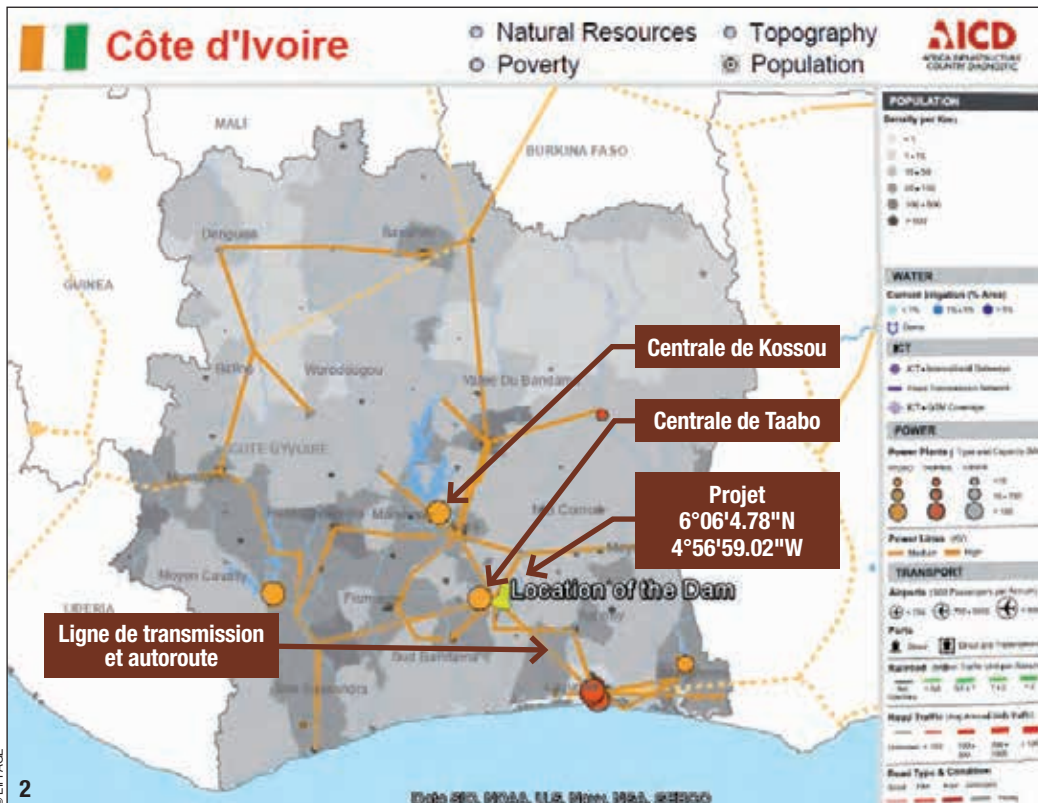
1- Vue 3D d'ensemble.

1- Overall 3D view.

(IHE) SA afin de développer le projet de l'aménagement Hydro électrique de Singrobo-Ahouaty (PAHSA). Un protocole d'accord (MOU) a été signé en avril 2012 avec l'État de Côte d'Ivoire, suivi

en décembre 2013 d'une convention de concession de type BOOT pour une durée de 35 ans, établissant ainsi les fondations juridiques, techniques, environnementales et financières du projet. Le PAHSA consiste en une centrale hydroélectrique de 44 MW et 217 GWh de productible, construit sur le fleuve Bandama en Côte d'Ivoire près des villages de Singrobo (rive gauche) et Ahouaty (rive droite) (figure 2).





© EIFFAGE  
2

L'Actionnariat d'IHE est constitué des trois entités suivantes :

- IHE Holding qui regroupe les sponsors originaux nationaux ;
- Africa Finance Corporation (AFC), banque Nigérienne de Développement qui est l'actionnaire majoritaire ;
- DIPF Singrobo Holdings/Néo Thémis entité appartenant à l'Américain Denham Capital.

### LA CONCEPTION DES OUVRAGES

Le concessionnaire IHE a confié à Eiffage, suite à un appel d'offres international lancé en 2016, les missions de conception et de construction de l'ensemble des ouvrages de l'aménagement hydroélectrique de Singrobo-Ahouaty d'une puissance installée de 44,4 MW ainsi que les infrastructures permettant l'évacuation de l'énergie

électrique produite à travers le réseau national de Côte d'Ivoire (figures 1, 2 et 4).

Sur la base d'un cahier des charges et données d'entrée intégré à l'appel d'offres, les ouvrages et installations définitives et temporaires à concevoir étaient les suivants :

- 2- Emplacement du projet.
- 3- Vue 3D de l'usine.
- 4- Vue 3D des ouvrages amont.

- 2- Project location.
- 3- 3D view of the facility.
- 4- 3D view of the upstream structures.

- Un barrage rive droite d'une longueur de 1 000 m en enrochements 0/600 ;
- Un barrage rive gauche d'une longueur de 200 m : initialement prévu en béton, les conditions géotechniques découvertes à l'occasion de la réalisation de reconnaissances complémentaires ont mis en évidence la nécessité d'adapter le type de cet ouvrage à la nature du rocher de fondation rencontré (métavolcanites altérées). Il a donc été décidé de dupliquer la conception du barrage rive droite en enrochements sur le barrage rive gauche ;
- Une étanchéité par masque amont : la solution d'étanchéité amont par dalle béton armé telle qu'envisagée initialement a laissé la place, principalement pour des raisons de délais de réalisation, à une étanchéité

amont assurée par une membrane PVC Sibellon CNT 4400 (GFRD) posée sur bordure en béton extrudé réalisée à l'avancement du remblai. Cette membrane est fixée dans le couronnement de barrage dans sa partie haute et sur une plinthe en béton dans sa partie basse. Ce dispositif est complété par un voile d'injection amont tri linéaire de 15 m de profondeur intégré à la plinthe amont ;

- Un évacuateur de crues vanné composé de 3 pertuis, dimensionné pour permettre le passage de la crue décennale de 2 745 m<sup>3</sup>/s ;
- Une prise d'eau double (2 conduites d'amenée) équipée de ses grilles et d'un dégrilleur ;
- Une usine réalisée en puits pour abriter les deux turbines et leurs équipements avec des superstructures hors sol permettant les approvisionnements et les phases de manutention des matériels à l'aide du pont roulant muni de 2 crochets de 110 et 20 t. Des locaux techniques abritant la salle de commande, les bureaux, une salle de réunion, les ateliers et magasins viennent compléter ce bâtiment usine ;
- Une conduite de vidange de fond blindée de 2,00 m de diamètre ;
- Une conduite de débit réservé de diamètre 1,00 m noyée dans le bajoyer rive droite de l'évacuateur de crues permettant de ré-irriguer une zone sensible en termes de biodiversité par un passage permanent de 3 des 12 m<sup>3</sup>/s du débit réservé total. Les neuf autres mètres cubes par seconde du débit réservé étant assurés soit par le régime d'évacuation des eaux turbinées, soit par les clapets installés en partie supérieure des vannes de l'évacuateur de crues ;



3  
© EIFFAGE



4  
© EIFFAGE



- Un canal de fuite d'une largeur de 25 m et d'une longueur de 1 400 m : c'est l'ouvrage central du projet car son creusement par minage dans des matériaux rocheux de type métavolcanites et granodiorites, particulièrement abrasifs, assure l'approvisionnement de l'atelier de concassage pour la fabrication des trois classes granulaires (0/5, 5/15 et 15/25) destinées à la confection des bétons sur site, d'une part, et la production des matériaux de remblais en 0/600 issus du brut d'abattage nécessaires à la construction du barrage en enrochements, d'autre part ;
- Un canal d'exhaure permettant d'assurer l'évacuation de la crue décennalléale (2745 m<sup>3</sup>/s). De la même manière que le canal de fuite de l'usine, le minage de ce canal d'exhaure a participé à la fourniture des matériaux rocheux utilisés pour les bétons et le corps du barrage ;
- Une route d'accès empruntant le couronnement du barrage pour relier les villages de Singrobo et d'Ahouaty ;
- Des installations de chantier provisoires avec une autonomie en production d'énergie électrique assurée à 100% par groupes électrogènes ainsi que l'installation de différentes unités de potabilisation de l'eau :
  - Une base vie comprenant des logements et des bureaux pour l'encadrement Eiffage et IHE ;
  - Une base technique comprenant : atelier mécanique, centrale à béton, zone de préfabrication, atelier de façonnage des armatures béton, atelier de concassage, laboratoire, zones de stockage et pré-montage des sous-traitants ;
  - Un dépôt d'explosifs.
- La fourniture et l'installation d'équipements hydromécaniques (figures 5 et 6) :
  - 3 vannes secteurs (11,00 m x 15,70 m) avec clapets déversant (hauteur 3,50 m) pour EVC ;
  - 2 vannes de garde type wagon à galets (5,00 m x 5,00 m) pour prise d'eau ;
  - 1 vanne de vidange de fond type wagon à galets (2,00 m x 2,00 m) ;
  - Batardeaux associés ;
  - Grilles et dégrilleur ;
  - 2 conduites d'amenée diamètre 5,60 m ;
  - 1 conduite de débit réservé diamètre 1,00 m ;
  - 2 portiques de manutentions 25 t et 30 t ;
  - 1 pont roulant 110/20 t.

- La fourniture et l'installation d'équipements électromécaniques (figures 7, 8, 9 et 10) :
  - 2 turbines Kaplan à axe horizontal de 22,5 MW chacune et alternateurs associés ;
  - Aspirateurs métalliques ;
  - Équipements électriques et mécaniques associés ;
  - Contrôle-commande/SCADA ;
- Poste de transformation et évacuation de l'énergie électrique 90/33 kV sur le réseau principal de la Côte d'Ivoire par deux lignes HT de 3 km de longueur ;
- Une Cité des Travailleurs (figure 11), réalisée avec la technique des briques en terre compressées (BTC) et amenée à être réutilisée par le village de Singrobo une fois les travaux terminés permet, en phase de chantier, d'accueillir 260 des 500 ouvriers prévus pour le chantier.

## LA RÉALISATION DES OUVRAGES

C'est dans cet environnement que les études d'exécution et les travaux ont démarré en janvier 2020.

La première partie des travaux a consisté à réaliser la route d'accès de 3,5 km de longueur depuis l'échangeur de l'autoroute Abidjan/Yamoussoukro jusqu'au site du barrage.

Les travaux de défrichage ont alors pu débuter afin de permettre la réalisation du batardeau de phase 1 pour mettre hors d'eau la partie rive gauche de l'aménagement (barrage

rive gauche, usine, ouvrages béton et partiellement le barrage en enrochement rive droite) en basculant le lit rive gauche du fleuve Bandama dans son lit rive droite.

Ce premier ouvrage provisoire, long de près de 650 m et haut de 8 m, a nécessité la mise en œuvre de 260 000 m<sup>3</sup> de matériaux compactés avec revêtement d'enrochements anti-érosion sur le talus exposé au fleuve. Cet ouvrage provisoire a été dimensionné pour résister à une crue Q25 de 1 172 m<sup>3</sup>/s.

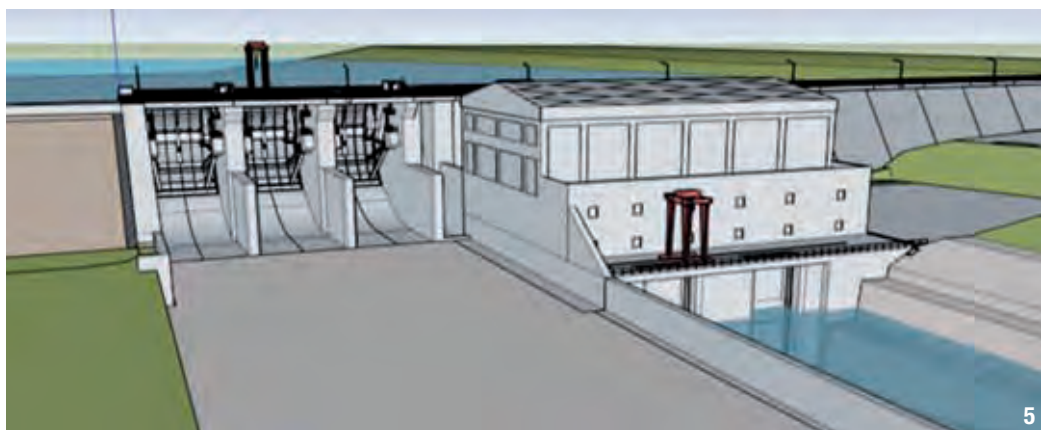
Dans un second temps, les reconnaissances géotechniques et topographiques complémentaires nécessaires à la finalisation du dossier PRO des ouvrages ont pu débuter au mois de juin 2020. Depuis le démarrage de ces premiers travaux préparatoires et jusqu'à ce jour, les enjeux de la construction de cet important projet pour le mix énergétique de la Côte d'Ivoire ont été les suivants :

### 5- Vue 3D aval.

### 6- Plan de l'évacuateur de crue.

### 5- 3D view downstream.

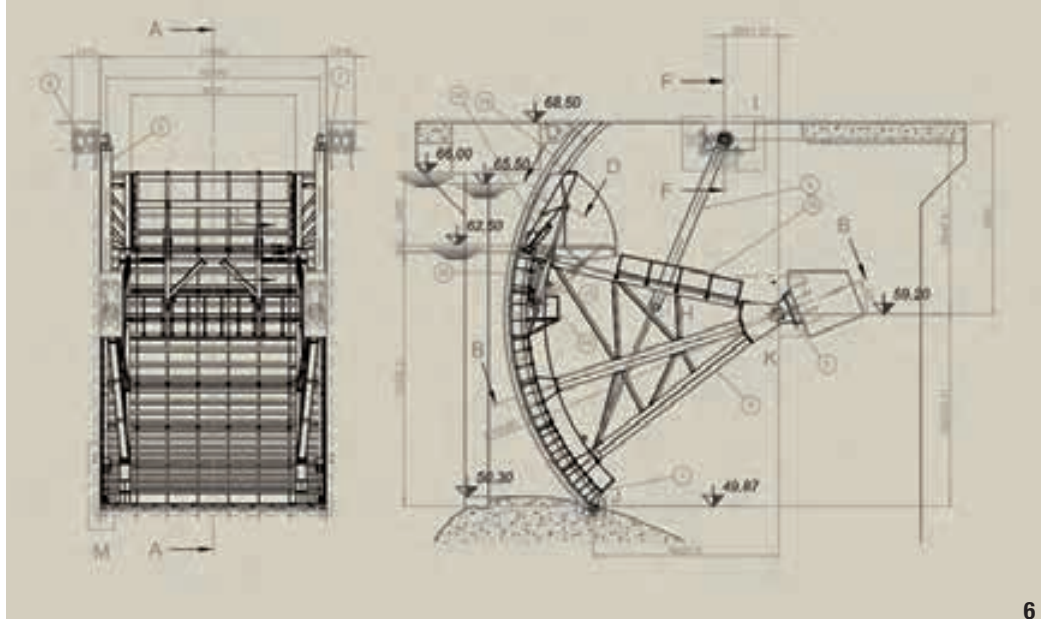
### 6- Layout of the spillway.



5

© EIFFAGE

## PLAN DE L'ÉVACUATEUR DE CRUE

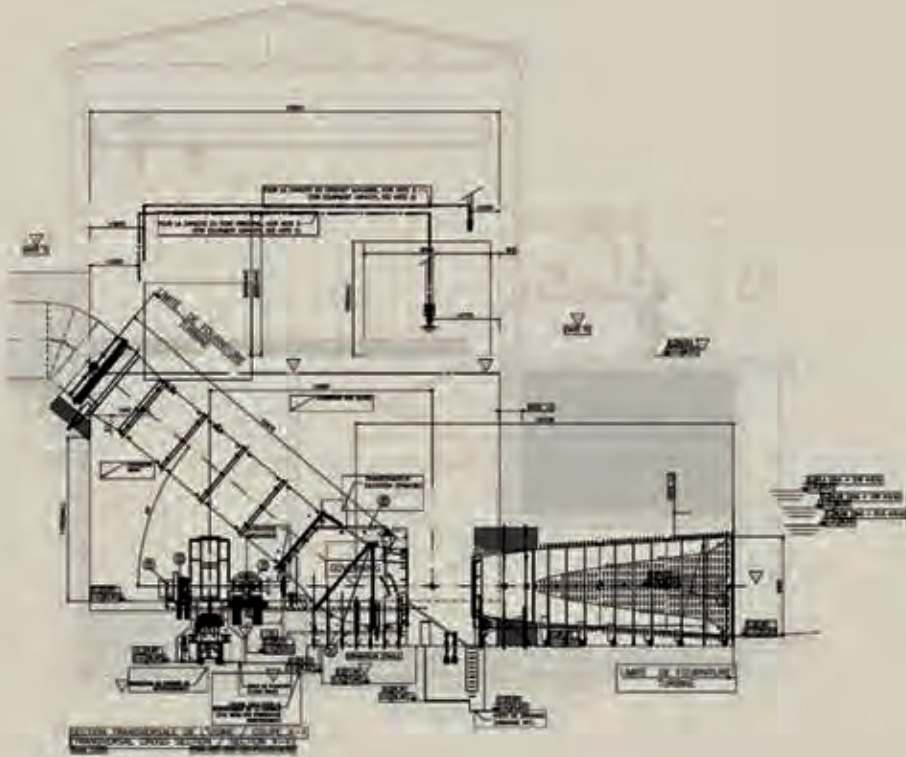


6

© EIFFAGE



## USINE



→ Le projet met en œuvre des standards environnementaux et sociaux très élevés, qui font l'objet d'un plan d'actions mis en œuvre par le concessionnaire et le groupement conception construction, et suivi de façon étroite par des consultants indépendants. Bien qu'aucune population locale n'ait été déplacée du fait de ce projet, 5 villages sont directement impactés et le chantier se doit de prioriser les embauches, à compétences égales, aux populations de ces 5 villages. C'est ainsi que plus de 50% des ressources humaines mobilisées sur le chantier sont ivoiriennes et que des entreprises locales se sont vu confier en sous-traitance d'Eiffage bon nombre des travaux liés aux installations générales de chantier. Sur le plan environnemental, les normes de performance de la SFI, les directives environnementales et sécuritaires de la Banque Mondiale, et les exigences nationales en la matière ont notamment servi de base à la définition d'actions ▷

**7- Usine.**

**8- Stator en cours de fabrication.**

**9- Turbine Kaplan en cours de fabrication.**

**10- Distributeur en cours de fabrication.**

**7- Plant.**

**8- Stator undergoing manufacture.**

**9- Kaplan turbine undergoing manufacture.**

**10- Turbine nozzle undergoing manufacture.**

© EIFFAGE  
7



© EIFFAGE  
8



© EIFFAGE  
9



© EIFFAGE  
10



biodiversité compensatoires réalisées par IHE et auxquelles a collaboré Eiffage :

- Pêche de préservation ;
- Récupération de faux-gavial (espèce locale de crocodile) pour réintroduction à la fin du chantier ;
- Récupération des espèces végétales menacées et mise en culture dans une pépinière dédiée sur site en vue d'une opération de reboisement des berges de la future retenue ;
- Prise en compte de la période de nidification de l'oiseau picatharte ;
- Analyse mensuelle de la qualité des eaux du fleuve et des eaux de rejet pour mesurer l'impact éventuel du projet et de ses travaux de construction sur le milieu ambiant ;
- Mesures mensuelles du bruit et de la poussière aux abords immédiats du village de Singrobo.

→ L'impossibilité de réaliser des reconnaissances géotechniques, topographiques et bathymétriques complémentaires avant l'obtention des autorisations d'entrée sur les terrains directement impactés par le projet a conduit, en phase travaux, à une adaptation permanente des études d'exécution aux conditions effectivement rencontrées sur le terrain. Cette situation, sensible en termes de planning prévisionnel des travaux, nécessite donc une réactivité et une adaptabilité permanente, aussi bien des bureaux d'études que des équipes travaux avec un besoin accru de coordination entre ces deux entités indissociables. L'hétérogénéité des terrains rencontrés a notamment eu pour conséquences :

- L'adoucissement du talus amont (1,55/1) en raison d'un angle de frottement de 43° des matériaux de remblais issus du minage dif-



11

- 11- Cité des Travailleurs.
- 12- Avancement des ouvrages béton.
- 13- Puits de l'usine.
- 14- Remblai du barrage.

- 11- Cité des Travailleurs (worker accommodation).
- 12- Work progress on concrete structures.
- 13- Plant shaft.
- 14- Dam embankment.

fèrent de celui prévu à l'étude de conception (47°) ;

- La découverte de fonds de fouilles très chaotiques contraignant à la définition et la mise en œuvre de

volumes conséquents de béton de reprofilage au droit de la plinthe amont du barrage afin d'assurer un profil en long le plus régulier possible ;

- Un déplacement de 50 m vers la rive droite des ouvrages Usine et Canal de fuite afin de les éloigner des zones de transition granodiorites/métavolcanites et



12



13

© EIFFAGE



14

© EIFFAGE





© EIFFAGE  
15

les repositionner ainsi dans une zone de granodiorites homogènes ;

- De densifier les zones de pré-découpage afin de limiter les hors profils dus aux fracturations multidirectionnelles du rocher en place ;
- Un minage du puits de l'usine largement perturbé par les arrivées d'eau massives au droit des fracturations du massif.

→ Le maintien hors d'eau des ouvrages réalisés en deux grandes phases par la construction et la

**15- Vue depuis la rive droite.**

**15- View from the right bank.**

maintenance de batardeaux dans le Bandama destinés à canaliser le fleuve. Ces ouvrages, représentant près de 500 000 m<sup>3</sup> de matériaux de remblais compactés sont complétés par un ensemble de pompage d'une capacité de près de 700 m<sup>3</sup>/h.

→ L'achèvement des ouvrages de la phase 1 dans les meilleurs délais afin de permettre le basculement du fleuve Bandama dans ces ouvrages et entamer ainsi la

phase 2 du chantier consistant à réaliser le corps de barrage et son étanchéité au droit du lit rive droite du fleuve.

→ L'intégration et la synthèse permanente des études des équipements hydromécaniques et électromécaniques avec celles des ouvrages de génie civil puis la gestion de la co-activité en préservant prioritairement la Sécurité de tous les collaborateurs.

L'avancement des travaux à ce jour permet d'envisager les tests d'achèvement et la livraison des ouvrages à l'exploitant dans le courant de l'année 2023.

L'état de l'avancement du chantier début avril 2022 est illustré par quelques photos (figures 12, 13, 14, et 15). □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**BÉTONS : 95 000 m<sup>3</sup>**

**ACIERS HA : 5 700 t**

**DÉBLAIS MEUBLES : 340 000 m<sup>3</sup>**

**DÉBLAIS ROCHEUX : 961 000 m<sup>3</sup>**

**REMBLAIS (réutilisation des déblais meubles) : 350 000 m<sup>3</sup> (dont 240 000 m<sup>3</sup> en batardeaux)**

**REMBLAIS ROCHEUX : 731 000 m<sup>3</sup> (barrage en enrochements)**

**ANCRAGES : 9 500 m**

**RIDEAU D'INJECTION : 6 550 m**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**AUTORITÉ CONCÉDANTE :**

État de Côte d'Ivoire représenté par CI Energies.

**CONCESSIONNAIRE : Ivoire Hydro Energy (IHE)**

**ATTRIBUTAIRE DU MARCHÉ DE CONCEPTION-CONSTRUCTION :**  
Groupement Eiffage Infrastructures Côte d'Ivoire / Rmt Industrie und Electrotechnik GmbH

**BUREAU D'ÉTUDES GÉNIE CIVIL :** Bureau interne Eiffage Biep

**MISSIONS VISAS :** Bureaux d'étude Isl / Bcn / Wpi

**RECONNAISSANCES GÉOTECHNIQUES :**

Africaine de Géotechnique Technologies et de services (Agts)

**SOUS-TRAITANTS :**

- Équipements hydromécaniques : Stph
- Équipements électromécaniques : groupement Ge Hydro France / General Electric International Operations Côte d'Ivoire
- Armatures béton : Cpam
- Minage : groupement Epc France / Marodyn Côte d'Ivoire
- Membrane d'étanchéité : Carpi Tech SA
- Concassage mobile : Budillon Rabatel Concassage Mobile (Brcm)
- Base vie : Groupement Nutrivoire / Mylestis Services
- Voile d'injection : Ginger Hydrosol Fondations
- Charpente métallique : Ivoire Ingénierie (2I)

## ABSTRACT

### SINGROBO-AHOUATY (PAHSA) HYDROPOWER DEVELOPMENT PROJECT IN IVORY COAST

ALAIN EKOLAN ETTY, IVOIRE HYDRO ENERGY (IHE) - THIERRY MENAY, EIFFAGE - THIERRY THEODORE, EIFFAGE

Following an international invitation to tender issued in 2016, in 2018 the Eiffage group was awarded the contract for the design and construction of the Singrobo-Ahouaty (PAHSA) hydropower development project located 140 km north of Abidjan in Ivory Coast. PAHSA is a new hydropower facility built on the Bandama River, with an installed capacity of 44.4 MW. The first preparatory works began in early 2020. In April 2022, work progress on the site was estimated at 50%, so that transfer of the facility to the operator is planned for 2023. □

### PROYECTO DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE SINGROBO-AHOUATY, EN COSTA DE MARFIL

ALAIN EKOLAN ETTY, IVOIRE HYDRO ENERGY (IHE) - THIERRY MENAY, EIFFAGE - THIERRY THEODORE, EIFFAGE

Tras una licitación internacional lanzada en 2016, el grupo Eiffage obtuvo en 2018 el contrato de diseño-construcción del proyecto de la central hidroeléctrica de Singrobo - Ahouaty (PAHSA, Projet d'Aménagement Hydro-électrique de Singrobo - Ahouaty), situada a 140 km al norte de Abiyán, en Costa de Marfil. PAHSA es una planta hidroeléctrica nueva, construida sobre el río Bandama, con una potencia instalada de 44,4 MW. Las primeras obras preparatorias comenzaron a principios de 2020. Se estima que en abril de 2022 se había ejecutado el 50% de la obra, lo que permite prever una transferencia de la instalación a la empresa operadora a lo largo de 2023. □





1  
© E.S. FOX LTD.

# REEMPLACEMENT DE LA SUPER-STRUCTURE DU PONT FERROVIAIRE SPEED RIVER

AUTEURS : JEAN GOAR, CONDUCTEUR DE TRAVAUX, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC. - MARLEN DINOVTZER, DIRECTEUR DE TRAVAUX, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC. - STEPHAN STEINER, VICE-PRÉSIDENT ONTARIO, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC.

DANS LE CADRE DU PLAN PROVINCIAL "GO EXPANSION PROJECT", METROLINX, AGENCE GOUVERNEMENTALE DES VOIES FERRÉES DE L'ONTARIO, PRÉVOIT LA RÉFECTION DE NOMBREUX OUVRAGES D'ART. PARMIS CEUX-CI, LE PONT SPEED RIVER EST CONFÉ À CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD (CDB) INC. LE REMPLACEMENT DES SEPT TRAVÉES EN ACIER QUI COMPOSENT CE PONT DOIT ÊTRE EFFECTUÉ EN SEPT FINS DE SEMAINE CONSÉCUTIVES. UN DÉFI TECHNIQUE ET LOGISTIQUE AUQUEL SE SONT PRÊTÉES LES ÉQUIPES DE CDB AU COURS DE L'ÉTÉ 2021.

## LE PROJET D'EXPANSION DES VOIES FERRÉES DE L'ONTARIO

Metrolinx ou l'agence gouvernementale des voies ferrées de l'Ontario, à travers un projet d'immense envergure nommé "GO Expansion", prévoit l'agrandissement intensif de son réseau ferroviaire. Ce plan s'inscrit dans la volonté du Canada de procéder à une véritable transition écologique en privilégiant l'utilisation de transports décarbonés. Cette transition vise également à désengorger les autoroutes de la Greater Toronto Area (GTA), région connue comme l'une des

plus encombrées d'Amérique du Nord en 2018, d'après une étude britannique. Cette extension du trafic ferroviaire n'est pas sans impliquer de nombreuses réfections d'ouvrages d'art existants. C'est le cas du pont Speed River situé dans la ville de Guelph sur la ligne Ouest du réseau (figure 1), et dont Metrolinx a confié le remplacement aux équipes de Construction Demathieu & Bard (CDB) Inc., filiale canadienne du groupe Demathieu Bard. Ce projet d'une valeur totale de 8 M€ environ prévoit le remplacement dans son intégralité de la superstructure

## 1- Levage de travée du pont Speed River.

### 1- Lifting the span of the Speed River Bridge.

du pont ferroviaire, qui ne supporte à l'origine qu'une seule voie ferrée. Le nouveau pont est conçu de manière à pouvoir soutenir une deuxième voie ferrée qui sera installée dans le cadre d'un autre projet.

## CHOIX DE CONCEPTION

La structure d'origine est un pont ouvert construit en 1905. Elle surplombe la rivière Speed, deux intersections routières, et possède le style caractéristique des ouvrages des années 1900 de la région.

Les douze piliers en pierre supportent des poutres transversales en acier sur lesquelles reposent les sept travées en acier de longueur variant entre 21 et 24 m.

Les traverses de rails en bois créosoté sont installées directement sur les travées, ce qui facilitait nettement





© METROLINX  
2

l'installation à l'époque, mais qui rend les opérations de maintenance plus délicates. Les traverses étant espacées de 250 mm les unes des autres, les chutes d'objets sont très fréquentes et créent un risque important pour les piétons et automobilistes circulant sous le pont.

Metrolinx décide donc de concevoir un pont capable de supporter deux voies ferrées. Un profil en cuve de ballast (figure 3) est privilégié au pont ouvert existant car il permet un meilleur contrôle du drainage, il sécurise considérablement les opérations de maintenance et possède une moindre

**2- Tracé de la voie ferrée reliant Toronto à London.**

**3- Profils existant et nouveau.**

**2- Alignment of the railway line connecting Toronto with London.**

**3- Existing and new profiles.**

emprise, permettant la mise en place d'une deuxième cuve/voie dans le futur. Des traverses en béton armé sont privilégiées aux traverses en bois afin de diminuer la fréquence des remplacements dans le futur. Ce choix permet également d'éviter l'utilisation de créosote sur les traverses en bois qui le plus souvent sont abandonnées et deviennent un déchet dangereux pour l'environnement.

Le contact direct des traverses avec les poutres du pont existant ne permet aucun changement d'élévation des rails si nécessaire, et c'est pourquoi l'utilisation d'une cuve de ballast est

choisie. Elle permet un ajustement des traverses et donc des rails en cas de changement d'élévation des nouvelles voies.

Enfin, le nouveau concept prévoit une relocalisation des conduits de fibre optique en dehors de l'emprise de la superstructure qui sera installée pour la seconde voie. Les conduits de fibre optiques sont relocalisés jusqu'à 500 m de part et d'autre du pont afin de libérer l'espace alloué à l'installation de la deuxième voie.

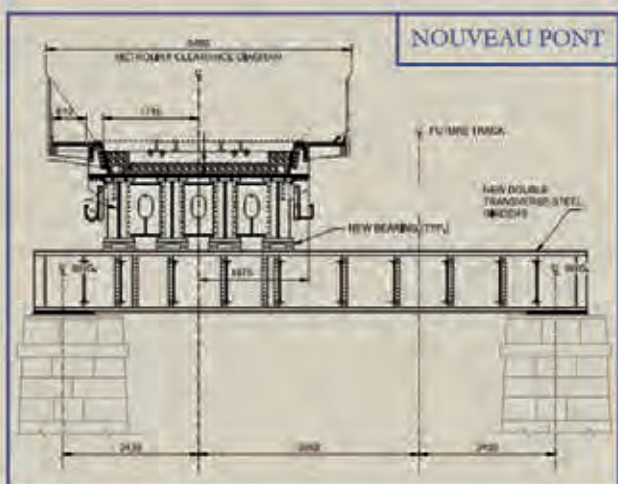
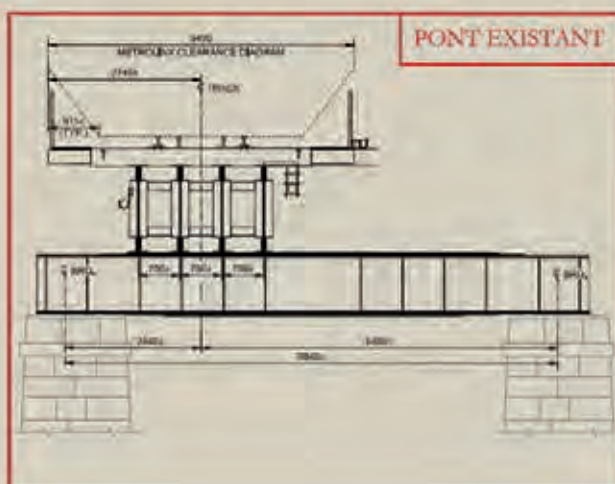
Des travaux de soutènement font également partie de ce contrat, avec le remplacement de murs à proximité des rails et l'installation de systèmes de drainage au niveau des talus des culées.

**ECHÉANCIER DE REMPLACEMENT**

Le pont Speed River supporte la seule voie desservant l'ouest de la GTA. Afin de perturber le trafic ferroviaire au minimum, les dates de remplacement de travées sont négociées par Metrolinx, bien avant la signature du contrat, auprès des différentes entreprises utilisatrices des voies (trains de passagers et de marchandises).

Un total de sept fins de semaine consécutives est alloué au remplacement des sept travées. Dans le cas où l'une des fins de semaines aurait été manquée (à cause d'un quelconque retard), les travaux auraient dû être repoussés jusqu'en 2022. La fréquentation des voies est telle qu'il faut plusieurs mois à Metrolinx pour obtenir l'approbation d'une fermeture totale et continue. ▷

**PROFILS EXISTANT ET NOUVEAU**



© METROLINX  
3





© PHOTOTHÈQUE CDB

© PHOTOTHÈQUE CDB

© PHOTOTHÈQUE CDB

**4- Câble de soutien des conduits de fibre optique.**  
**5- Câble sous tension lors du remplacement de travée.**  
**6- Remorque modulaire autopropulsée à 12 essieux.**

**4- Cable supporting the optical-fibre ducts.**  
**5- Cable under tension during span replacement.**  
**6- 12-axle self-propelled modular trailer.**

Il est également important de souligner que le projet "GO Expansion" implique la réfection de nombreux ouvrages d'art sur cette même voie, dont les travaux nécessitent également des interruptions de trafic ferroviaire. Afin de conserver une partie de la ligne ouverte à la circulation des trains, les fermetures de voie pour les travaux sur différents projets se succèdent sans se chevaucher, rendant la reprogrammation des fermetures encore plus délicate.

#### TRAVAUX PRÉLIMINAIRES

Parmi les travaux préliminaires essentiels au remplacement des travées, figure la relocalisation des conduits de fibre optique s'acheminant de part et d'autre du pont. Afin de libérer l'em-

prise des supports de fibre optique hors des poutres existantes, CDB profite de deux fins de semaine préliminaires lors desquelles quatre ancrages autoportants sont installés directement derrière les culées.

Ces ancrages permettent la mise en tension d'un câble aérien d'une culée à l'autre, permettant de remplacer entièrement les supports de conduits. Un système de poulies placé devant chaque culée permet la mise en tension du câble. La portée du câble sous charge statique est d'environ 25 m, charge sous laquelle l'affaissement maximal atteint 250 mm.

Le câble est supporté localement pas les traverses en bois existantes (figure 4) et ce n'est que quelques

heures avant le remplacement d'une travée que le câble est relâché de part et d'autre de la travée en question. Les deux câbles longitudinaux sont espacés suffisamment (figure 5) pour permettre le levage des anciennes travées et le placement des nouvelles.

#### TRANSPORT ET ASSEMBLAGE DES NOUVELLES TRAVÉES

Les nouvelles travées en acier sont constituées de quatre poutres de 21 à 24 m de long, sur lesquelles repose une plaque de 25 mm d'épaisseur formant la cuve.

Les poutres sont fabriquées dans un atelier situé à une centaine de kilomètres du chantier et sont assemblées deux par deux avant d'être achemi-

nées jusqu'au poste d'assemblage final à proximité du pont. En raison de leur envergure et de leur poids après assemblage complet (90 t pour 4 poutres), les travées ne peuvent être transportées en une seule pièce. Les deux systèmes de deux poutres y sont donc déposés côte à côte sur des chevalets par une grue de 300 t afin d'y être assemblés.

Une fois les quatre poutres boulonnées, la cuve est étanchéisée et les appareils d'appui y sont fixés.

Un maximum de deux travées peut être stocké dans la zone d'assemblage, faute de surface au sol disponible.

La travée est acheminée jusqu'au pont à l'aide d'une remorque modulaire à 12 essieux autopropulsée (figure 6).





© PHOTO THÉÂTRE CDB  
7

## DES TRAVAUX CHRONOMÉTRÉS

Chaque fin de semaine, les équipes de CDB sont disposent d'une fermeture des voies de 06h00 le samedi matin jusqu'à 23h00 le dimanche soir, soit un total de 41 heures pour compléter le remplacement d'une poutre transversale et d'une travée.

Durant ce laps de temps, les équipes doivent réaliser les étapes suivantes :

- 1- Découpage des rails aux deux joints de piliers à l'extrémité de la travée à remplacer ;
- 2- Levage de la travée existante à l'aide d'une grue mobile ;
- 3- Transport de la travée existante par la remorque à 12 essieux de la

7- Ancienne travée dans la zone de stockage.

8- Extrait de plan de levage d'une poutre transversale.

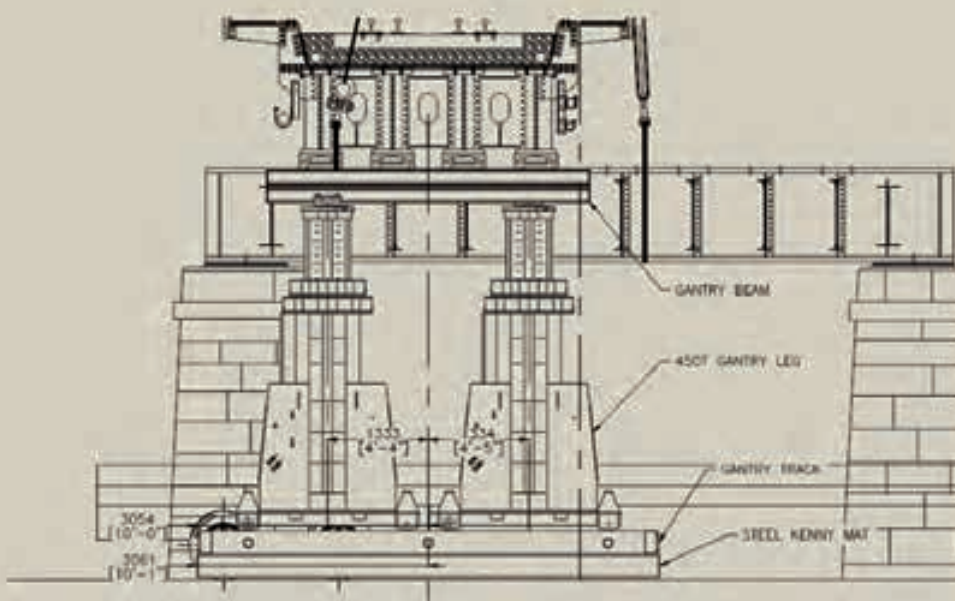
7- Old span in the storage area.

8- Excerpt of the lifting plan for a cross beam.

travée existante à la zone de stockage/assemblage, et chargement de la nouvelle travée sur la remorque. Le chargement est assuré par le placement de la remorque directement sous les chevalets qui supportent la travée dans la zone de stockage. Un système hydraulique permet ensuite de soulever la travée avec les chevalets. Ce processus permet d'éviter l'installation d'une grue dans la zone de stockage et accélère nettement les opérations ; L'ancienne travée est stockée sur le même système de chevalets (figure 7) et sera démantelée par les équipes la semaine suivante ;

- 4- Levage partiel de la travée adjacente (qui reste en place) afin de libérer le contact avec les poutres transversales et permettre leur levage. L'étape est réalisée à l'aide d'une grue *gantry* d'une capacité maximale de 450 t, installée en avance sous la travée adjacente ;
- 5- Levage des poutres transversales. La présence des deux conduits parallèles de fibre optique oblige que cette opération se déroule en deux levages (figure 8). Afin d'éviter les conduits et de pouvoir manipuler les poutres, le placement des élingues est asymétrique, une des élingues étant verticale et l'autre inclinée ;
- 6- Réparation de la surface horizontale des piliers et forage des ancrages pour les nouvelles poutres transversales. Cette étape est l'une des plus délicates car la qualité des pierres des piliers est souvent dégradée et que le levage des poutres existantes peut provoquer des dommages. Les contraintes de temps obligent les équipes à privilégier le forage plutôt que le perçage, car moins destructeur ;
- 7- Installation des cales d'épaisseur à la bonne élévation et coffrage pour injection de mortier ;
- 8- Installation des nouvelles poutres transversales (figure 9). Cette étape doit également être réalisée en deux levages afin de pouvoir contourner les câbles aériens supportant les conduits de fibre optique ;
- 9- Installation de la nouvelle travée et boulonnage des appareils d'appui ;
- 10- Injection de mortier sous les cales d'épaisseur. Un mortier à prise rapide est utilisé afin de pouvoir atteindre une résistance à la compression de 25 MPa avant la réou-

## EXTRAIT DE PLAN DE LEVAGE D'UNE POUTRE TRANSVERSALE



© CDB  
8





© PHOTO THÉO CDB 9

**9- Installation d'une poutre transversale.**  
**10- Planning de remplacement de travée.**  
**11- Grue 750 t.**

**9- Installation of a cross beam.**  
**10- Span replacement schedule.**  
**11- 750-tonne crane.**

PLANNING DE REMPLACEMENT DE TRAVÉE

Samedi													Dimanche																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Découpage des rails aux deux joints de travée de la travée à remplacer																																								
Levage de la travée existante à l'aide d'une grue mobile																																								
Transport de la travée existante jusqu'en zone d'assemblage/stockage																																								
Levage partiel de la travée adjacente (Gantry) et levage des poutres transversales																																								
Réparation de la surface horizontale des piliers et forage des ancrages																																								
Installation des cales d'épaisseur et coffrage pour mortier																																								
Installation des nouvelles poutres transversales																																								
Installation de la nouvelle travée																																								
Injection de mortier sous les cales d'épaisseur																																								
Etanchéité des joints et points de levage																																								
Placement des drains en acier																																								
Ballast, Traverses béton et rails																																								
nombre d'heures par tâche																																								

© CDB 10

verture des voies. C'est l'étape la plus cruciale et tangible de la fermeture car la réouverture des voies dépend de la prise (ou non) du mortier ;

- 11-** Étanchéité des joints et des points de levage. Même si 90% de l'étanchéité sont réalisés à l'avance dans la zone de stockage, les pattes de levages sont déboulonnées après placement de la travée et la surface exposée doit être étanchée ;
- 12-** Installation des drains en acier ;
- 13-** Remblaiement avec le ballast et installation des traverses béton et des rails.

Ce total de 13 étapes est chronométré grâce à différents plannings plus ou moins détaillés. Un échancier par heure (figure 10) s'avère relativement performant et aide les équipes à observer le sens des priorités.



© MAMMOET 11





12

© PHOTOTHÈQUE CDB

## 12- Levage de travée en tandem.

### 12- Tandem lifting of span.

L'installation des nouvelles travées nécessite la mobilisation de grues mobiles dont la capacité varie de 500 t à 750 t. La présence d'une variété d'ouvrages d'art adjacents au pont rend le placement des grues mobiles complexe. Le pont Speed River est construit à côté d'un pont routier, d'un pont piéton, d'un barrage de contrôle hydraulique, d'un ancien tunnel alimentant un ancien bief, d'un barrage et d'un autre pont ferroviaire destiné aux transports

## CHIFFRES CLÉS

**MONTANT DES TRAVAUX :** environ 8 M€

**DURÉE DES TRAVAUX :** 6 mois

**LIVRAISON :** novembre 2021

**ACIER :** 700 t

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRISE D'OUVRAGE :** Metrolinx

**CONCEPTEURS :** Gannett Fleming, Aecom

**MANAGEMENT DE CONSTRUCTION :**

Construction Demathieu & Bard (CDB) Inc.

**PRINCIPAUX SOUS-TRAITANTS :**

Burnco Mfg. Inc. (fabrication des poutres en acier)

de marchandise. Le poids des éléments oblige les équipes à placer les grues et les travées seulement aux emplacements dont les données géotechniques ou structurelles existent et peuvent être vérifiées.

Ainsi la travée située directement au-dessus de la rivière Speed, de par son éloignement des rives et l'impraticabilité du pont routier, nécessite la mobilisation de la grue mobile (figure 11) qui possède la capacité la plus importante d'Amérique du Nord (750 t). Un levage en tandem est réalisé avec une grue de 600 t placée sur l'autre rive (figure 12) et il faudra 2 levages intermédiaires pour pouvoir enfin placer la nouvelle travée dans sa position de levage tandem final. □

## ABSTRACT

### REPLACEMENT OF THE SUPERSTRUCTURE OF THE SPEED RIVER RAIL BRIDGE

JEAN GOAR, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC. -  
MARLEN DINOVIETZ, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC. -  
STEPHAN STEINER, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC.

**Replacement of the superstructure of the Speed River Bridge** in the summer of 2021 was a very complex project due to the stipulated short completion time. In less than two months, i.e. in a total of seven consecutive weekends, the seven spans of this rail bridge and the cross beams were replaced. By going from an open bridge profile with wooden cross-ties to a ballast tank profile, this new superstructure will make it possible to add a new railway line in the coming years. This project corresponds to the Ontario government's policy of increasing the number of railway tracks designed for public transport as part of the country's ecological transition. □

### SUSTITUCIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE FERROVIARIO SPEED RIVER

JEAN GOAR, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC. -  
MARLEN DINOVIETZ, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC. -  
STEPHAN STEINER, CONSTRUCTION DEMATHIEU & BARD INC.

**La sustitución de la superestructura del puente Speed River** durante el verano de 2021 resultó un proyecto complejo a causa de los breves plazos previstos. En menos de dos meses, esto es, en un total de siete fines de semana consecutivos, se sustituyeron las siete luces y las vigas transversales de este puente ferroviario. Pasando de un perfil de puente abierto con traviesas de madera a un perfil de tanque de lastre, esta nueva superestructura permitirá añadir una nueva vía férrea en el futuro. El proyecto refleja la voluntad del gobierno de Ontario de multiplicar el número de vías de ferrocarril destinadas al transporte público, en el marco de la transición ecológica del país. □





1  
© BINA ISTRRA

# LE TUNNEL D'UČKA EN CROATIE : UN OUVRAGE DE TRADITION INNOVANT

AUTEURS : LUC MICHEL DUJMOVIC, DIRECTEUR TRAVAUX, RESPONSABLE DU PROJET, BOUYGUES TP -  
GUILLAUME MOREL, CHEF DE GROUPE MÉTHODES, BOUYGUES TP - HICHEM ZAMMIT, CHEF DE SERVICE ETUDES, BOUYGUES TP

LE PROJET DU TUNNEL D'UČKA CONSISTE À DOUBLER LE TUNNEL EXISTANT SITUÉ DANS LE NORD-EST DE LA CROATIE. CE TRONÇON STRATÉGIQUE S'INSCRIT DANS UNE DES PHASES DU PROJET DE L'AUTOROUTE "Y" D'ISTRIE QUI RELIE LA PÉNINSULE D'ISTRIE À LA PARTIE ORIENTALE DE LA CROATIE ET À ZAGREB. IL S'AGIT D'INTÉGRER DEUX VOIES AUTOROUTIÈRES SUPPLÉMENTAIRES SUR L'AXE PULA-ZAGREB, PROJET COMPRENANT LA CONSTRUCTION DE DIFFÉRENTS TYPES D'OUVRAGES, NOTAMMENT LE NOUVEAU TUNNEL PRINCIPAL, LES INTERTUBES, AINSI QUE LES SYSTÈMES ÉLECTROMÉCANIQUES ASSOCIÉS. LES TRAVAUX, COMMENCÉS EN DÉCEMBRE 2020, ONT UNE DURÉE PRÉVISIONNELLE DE QUARANTE-DEUX MOIS.

## INTRODUCTION

En 1995, Bouygues Construction devient partenaire de la concession exploitant le tunnel d'Učka reliant la région d'Istrie au reste de la Croatie. Cette région est une partie majeure de la péninsule d'Istrie qui se situe au nord de la mer

Adriatique, entre le golfe de Trieste et le golfe de Kvarner, et partagée entre la Croatie, la Slovénie et l'Italie (figure 2). Cette concession de 150 km, confiée à la société Bina-Istria par le ministère des transports de Croatie, représente un projet d'infrastructure ambitieux

1- Attaque Kvarner.

1- Kvarner working face.

d'une autoroute comprenant un réseau desservant tout le territoire de l'Istrie en forme de Y, ce qui donna le nom au projet de l'autoroute Y d'Istrie (figure 3). Il est décomposé en 2 grandes phases dont la première commença en 1997 et s'acheva en 2007. Cette phase



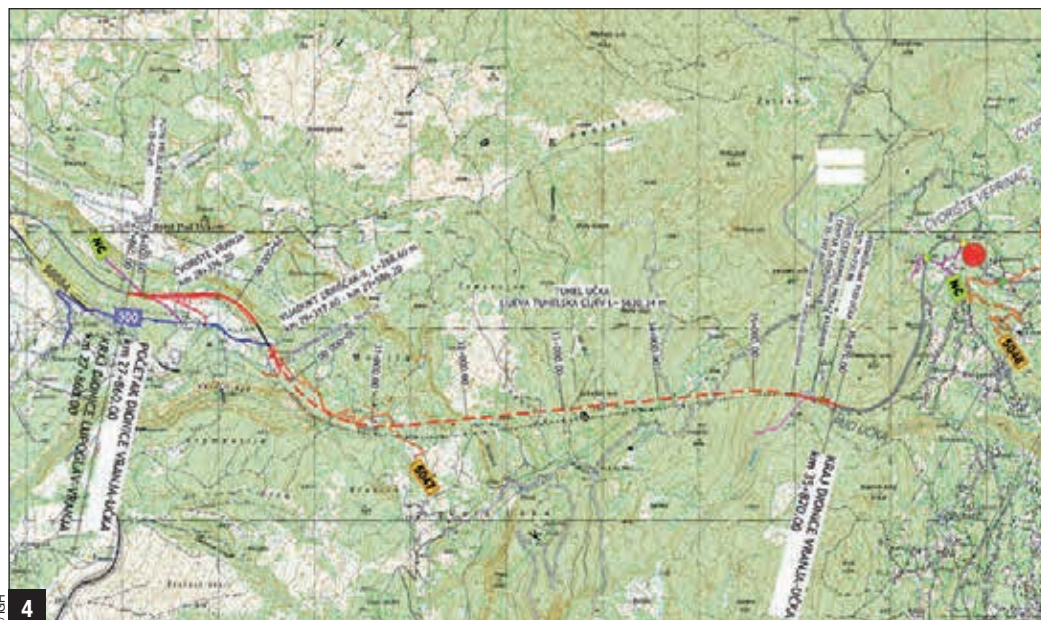
intégrait la construction de 94,5 km de 2x1 voie express, un viaduc de 1376 m, 6 échangeurs et 44 ouvrages divers de génie civil.

La deuxième phase du projet débuta en 2008 avec un développement des travaux jusqu'à nos jours. Cette seconde phase voit la réalisation de 131,6 km de doublement d'autoroute, la construction de 11 viaducs et de 63 ouvrages divers de génie civil pour arriver à cette étape du doublement du tunnel.

En cours de réalisation, celle-ci comprend le doublement du tunnel d'Učka, le doublement d'un viaduc de 268 m de longueur, la finalisation du doublement d'une portion de 1,7 km d'autoroute, la construction d'un échangeur intégrant 3 ponts supérieurs, une aire de repos et 3 péages. Une nouvelle phase est en cours de développement par le concessionnaire comprenant 12 km de doublement d'autoroute, le doublement du viaduc Limska Draga d'une longueur de 552 m avec des piles d'une hauteur de 120 m et également le doublement du viaduc de La Mirna, d'une longueur de 1376 m.

- 2- Péninsule d'Istrie.
- 3- Tracé de l'autoroute en Y.
- 4- Vue en plan du projet.

- 2- Istrian Peninsula.
- 3- Alignment of the Y motorway.
- 4- Plan view of the project.



Outre la connexion des inter-tubes avec le tunnel existant sous circulation, un des défis majeurs de ce chantier, auquel l'équipe projet doit faire face durant la construction du tunnel, est le passage au-dessus d'une caverne située à moins de 30 m sous le tracé. Cette caverne alimente à ce jour en eau potable toute la baie de Kvarner, incluant Rijeka qui est la troisième ville de Croatie (figures 5 et 6).

### OUVRAGES PRINCIPAUX LE TUNNEL PRINCIPAL

Le doublement du tunnel existant, d'une longueur de 5593 m, comporte 2 voies et 24 rameaux d'une longueur cumulée de 1124 m. Cela représente 6717 m de creusement au total. Il comprend également 5 élargissements de 60 m de longueur (figure 4). Le tube principal a une géométrie à rayon allant de 6,60 m pour les murs à 4,85 m pour la voûte, pour une hauteur de 6,85 m (figure 7). Le gabarit routier est de 4,50 m de haut et 7,70 m de large, correspondant à une largeur de voie unique de 3,85 m.

Le tunnel traverse un massif principalement carbonaté (calcaires et marnocalcaires) du Crétacé et Paléogène et de flysch de l'Éocène moyen et supérieur. La mise en place de ces dépôts sédimentaires a été fortement affectée par une activité tectonique intense se traduisant par un plissement anticlinal à l'ouest et des écaillés tectoniques chevauchant et pinçant les formations les plus récentes, dans la moitié Est du tracé. De nombreuses failles, d'épaisseur supérieure à 5 m, à remplissage argileux ou de zones fortement fracturées à broyées, affectent le tracé.

Le tracé est hors nappe et les venues d'eau sont en relation étroite avec la pluviométrie. Elles seront rencontrées dans les calcaires à la faveur des fractures et aux interfaces avec les formations marneuses (marno-calcaires et flysch) qui sont imperméables. Des zones de dissolution karstiques (cavernes et conduits) se développent potentiellement dans les calcaires.

Les essais Rc réalisés dans les marno-calcaires varient de 30 à 97 MPa. Le risque karst est estimé fort à l'interface entre flysch et calcaires.

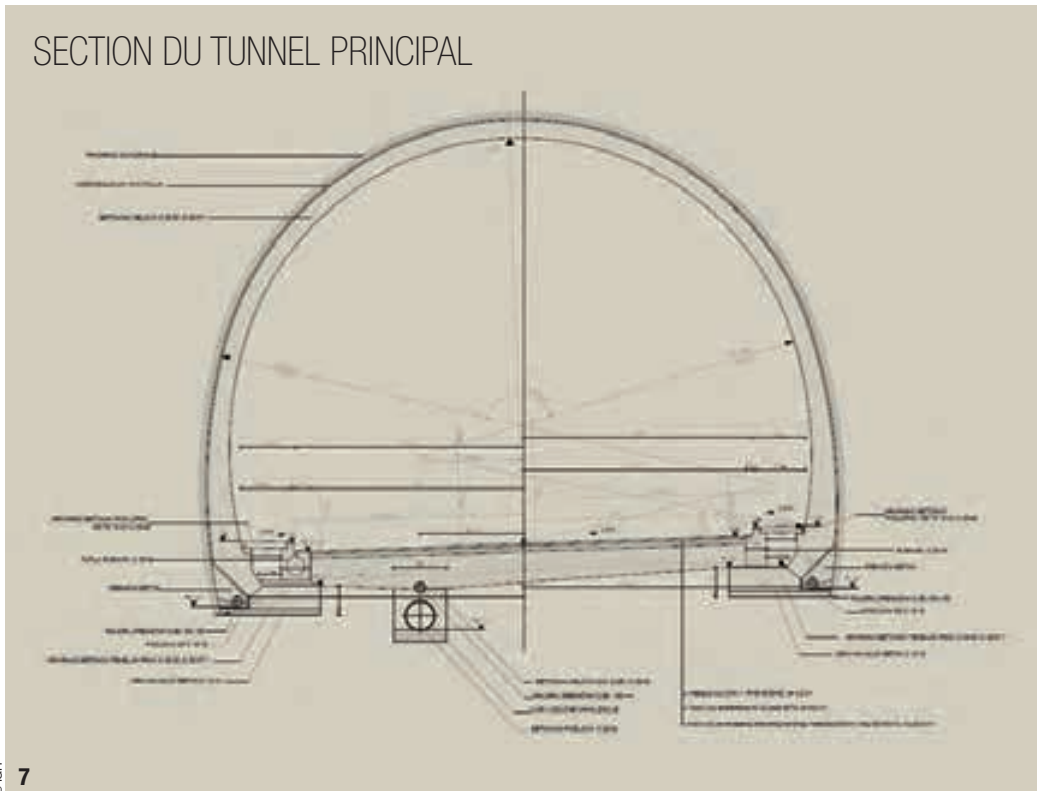
La géologie du terrain implique une méthode d'excavation traditionnelle à l'explosif (N.A.T.M : New Austrian Tunneling Method). Selon la qualité du terrain, deux types d'explosif, encartouché et unité de production mobile d'émulsion, sont utilisés sur le chantier (figure 8).







## SECTION DU TUNNEL PRINCIPAL



© IGH  
7

Le revêtement béton définitif du tunnel a une épaisseur de 300 mm en section courante et de 400 mm pour les élargissements.

Les fondations, l'amorce des piédroits et les revêtements au droit des connexions avec les inter-tubes sont en béton armé. Pour le reste, le revêtement est réalisé en béton non armé. Les bétons utilisés sont de résistance C25/30 pour les parties du revêtement en béton non armé et C30/37 pour celles en béton armé.

Les plots de bétonnage pour le tunnel principal sont majoritairement de lon-

**7- Section du tunnel principal.**  
**8- Premier tir.**  
**9- Attaque Istrie.**

**7- Cross section of main tunnel.**  
**8- First blasting.**  
**9- Istria working face.**

gueur 12 m, pour un total de 452 plots hors élargissements. Les joints entre plots comportent un profilé hydro-expansif installé au milieu de l'épais-

seur du joint afin d'assurer l'étanchéité entre les plots de bétonnage.

50% de ces plots de bétonnage comportent des niches, ce qui représente un total de 285 niches sur le tracé.

Les 4 types de niches sont :

- 43 niches incendie ;
- 35 niches SOS ;
- 19 niches électrique ;
- 188 niches de drainage.

L'étanchéité du tunnel et les bétons sont réalisés par une entreprise croate sous-traitante. Les bétons de voûte sont réalisés utilisant un coffrage tunnel pré-construit français (Cmc Coffrages).

Dans le cadre de la démarche de limitation de l'impact sur l'environnement du projet et de préservation des ressources naturelles, les eaux utilisées sont recyclées, traitées et réemployées afin de créer un cycle fermé (figures 10 et 11). Capable de traiter 30 m<sup>3</sup>/h, le système de traitement des eaux est simple et fiable (décantation/déshuilage/ajustement du pH par CO<sub>2</sub>).

Les matériaux d'excavation sont revalorisés et réutilisés. Pour le côté Istrie, les matériaux sont transportés en carrière pour être traités dans différents ateliers (concassage / criblage / lavage) puis réutilisés dans les bétons à réaliser, y compris les bétons de voûte du tunnel. Pour le côté Kvarner, les matériaux sont réemployés pour la réalisation des remblais d'une future aire de repos de 250 000 m<sup>3</sup>.

Lors du passage au-dessus de la caverne existante, les vibrations causées par les tirs à l'explosif sont réduites à 5 mm/s pour la section courante du tunnel, à comparer à 50 mm/s d'après la norme DIN 4150-3. Ce seuil très contraignant est assuré par un plan de tir adapté à chaque volée. Les volées sont réduites en limitant la charge unitaire d'explosif. L'utilisation de détonateurs électroniques permet d'effectuer une mise à feu minutieuse de chaque mine à un temps distinct les unes des autres.

### RAMEAUX DU TUNNEL

Le tunnel possède 24 inter-tubes, de 3 types différents :

- 12 rameaux type "piétons", d'une section de 20 m<sup>2</sup>, allant de 22 m à 91 m de long, pour une longueur cumulée de 585 m. Le gabarit est de 2,25 m de large par 2,50 m ▷



8

© BINA ISTRIA



9

© BINA ISTRIA





10

© BYTPCB



11

© BYTPCB

de haut. La hauteur de la voûte bétonnée est de 3,20 m (figure 12). Les sections courantes de ces rameaux sont réalisées en béton non armé. L'épaisseur du béton est de 300 mm (figure 13).

→ 7 rameaux type "pompiers", d'une section de 35 m<sup>2</sup>, allant de 38 m à 79 m de long, pour une longueur cumulée de 335 m. Le gabarit est de 3,60 m de large par 3,50 m de haut. La hauteur de la voûte bétonnée est de 4,90 m (figure 14). Ces rameaux sont réalisés en béton non ferraillé. L'épaisseur du béton est de 300 mm. Ils se connectent au tunnel existant et au nouveau tunnel

par une zone de transition de rayon 3300 mm pour respecter le critère de giration.

→ 5 rameaux type "tous véhicules", d'une section de 120 m<sup>2</sup>, d'une longueur de 19 m à 88 m, avec le même profil que les élargissements du tunnel principal. Le gabarit est de 5 m de large par 4,50 m de haut. La hauteur de la voûte culmine à 7,424 m. Ces rameaux sont en béton entièrement ferraillé, avec une épaisseur de 400 mm. Ils se raccordent au tunnel existant et au nouveau tunnel par une zone de transition de rayon 6850 mm pour respecter le critère de giration.

**10- Station de traitement des eaux.**

**11- Station de traitement des eaux.**

**12- Rameau - atelier de béton projeté.**

**10- Water treatment plant.**

**11- Water treatment plant.**

**12- Cross passage - shotcreting plant.**

### TRAVAUX DE CONNEXION AU TUNNEL EXISTANT

Les connexions des rameaux avec le tunnel existant constituent un des points critiques du projet. En effet, le tunnel existant étant le seul accès reliant la péninsule au reste du territoire de la Croatie, et de ce fait devant rester accessible durant les travaux de connexion, la sécurité des usagers représente un défi majeur à relever par l'équipe projet. Ces travaux sont réalisés sans interruption du trafic dans le tunnel existant impliquant un phasage des travaux contraignant en collaboration avec l'opérateur de l'ouvrage Bina Istra Operation et Maintenance.



12

© BYTPCB





13

© BYTPCB



14

© BYTPCB

**13- Rameau - atelier de béton de propreté.**

**14- Rameau pompiers excavé.**

**15- Structure temporaire de l'ouverture rameau avec le tunnel existant.**

**13- Cross passage - blinding concrete plant.**

**14- Excavated fire-fighter cross passage.**

**15- Temporary cross-passage opening structure with the existing tunnel.**

Les travaux nécessitant une intervention dans le tunnel existant sont réalisés de nuit, hors période estivale, car l'opérateur met le tunnel en circulation alternée, libérant une voie pour les travaux. La méthodologie mise en place permet une réalisation de ces connexions depuis l'emprise chantier du nouveau tunnel. Des protections métalliques sont installées avant commencement



15

© BYTPCB

des travaux pour protéger les usagers ainsi que les collaborateurs du chantier. La ventilation du tunnel existant est également conservée et ininterrompue. Les travaux incluent l'installation de soutènements provisoires dans le tunnel existant. Les différentes classes de soutènement provisoires sont déterminées selon les types de terrains rencontrés et le type de rameaux concerné.

La conception des travaux de connexion est basée sur la méthode observationnelle. À ce titre, un système rigoureux d'auscultation et de plan d'action associé a été mis en place en collaboration avec l'équipe conception de Bouygues TP (figure 15).

### CHOIX DE LA CLASSE DE SOUTÈNEMENTS PROVISOIRES DURANT L'EXCAVATION

Les études de soutènement provisoires ont été menées par un bureau d'études local qui a proposé six classes de soutènements provisoires, combinant béton projeté ordinaire armé avec des treillis soudés et des boulons Swellex/Ibo, à appliquer suivant la nature et le comportement du terrain rencontré. ▷



16- Fiche de relevé géologique.

16- Geological survey sheet.

Ainsi, des zones à comportement homogènes ont été identifiées le long du profil géologique (figure 17) sur la base des systèmes de classifications de Barton (Q-System) et de Bieniawski (RMR).

La caractérisation des terrains, leur classification, leur comportement et les classes de support associées ont été proposées avec des prévisions de quantités se basant sur le retour d'expérience des travaux du tunnel existant. Pour chaque classe de soutènement provisoire, un cycle d'excavation a été établi et ajusté dans le but de pouvoir atteindre les objectifs de performances prévues par le chantier.

Les durées des cycles d'excavation ainsi que les longueurs de volée dépendent des classes de support prévues et varient entre 10h et 16h respectivement pour les classes de support extrêmes (le plus léger et le plus lourd). Pour chaque cycle, après la sécurisation de l'excavation à la suite du tir d'excavation, le géologue effectue le relevé du front (figure 16), documente la géologie rencontrée, détermine la classe de terrain (Q et RMR) ainsi que son comportement, pour enfin proposer la classe de soutènement à appliquer pour la travée suivante.

PRODUCTION ET INNOVATION

Les excavations s'effectuent en parallèle, utilisant deux méthodes différentes de marinage.

L'attaque Istrie, majoritairement composé de terrain calcaire, a pour objectif de creuser environ 3500 m à une cadence minimum de 350 t/h afin de respecter le planning. De ce fait, l'équipe projet a décidé d'industrialiser cet atelier.

La méthode choisie consiste à installer un concasseur avec un convoyeur et d'effectuer le marinage avec des engins miniers "charge-roule", permettant de fiabiliser le rendement quelle que soit la distance (figure 18). Ce choix est justifié d'un point de vue sécurité car, le planning imposant la réalisation des bétons de voûte 1000 m derrière le front, cette méthode permet de s'affranchir d'avoir des dumpers passant sous le coffrage de tunnel. C'est la première

Projekt: ISTARSKI IPSEON - A8, Faza 2b  
Dionica: VRANJA-TUNEL UČKA-PORTAL KVARNER

Građevina: CESTOVNI TUNEL "UČKA"  
Sjeverna (lijeva) tunelska osovina

Datum: 25.04.2022.  
Portal: kvarnerski  
Stacionaža: 34+831,50  
Azimut čela: 274°

**Opća stijenska masa:**  
Čelo iskopa u potpunosti zauzima stiva, nepropusna, slablo nestrošana do nestrošana vapnenačka stijenska masa (V, K1).  
Vjeće nestrošana stijenska masa i glinovita pukotinska ispunja = 5 mm likovno se pojavljuje na donjoj desnoj polovini čela iskopa (gledano u smjeru iskopa) uz vertikalni pukotinski sustav 160-180/70-75 (pružanje približno paralelno s tunelskom osi, vrlo nepovoljno orijentacije). Ne utječe na stabilnost čela iskopa.  
Dulj. st. 34+833,50 iskop se izvodi u 10 Mtg. stijenske mase.  
Visina nadmožja oko 207 m.  
(Izvod kategorizacije stijenske mase ocjenjuje se kvalitativni parametri najvažnijih sustava diskontinuiteta koji bi mogli utjecati na stabilnost čela iskopa - posebno u slučaju narušenosti čela iskopa)

**RAZMAK** diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
> 2 m	30				
60 cm - 2 m	15		X		
20 - 60 cm	10	X	X	X	
5 - 20 cm	5				
< 5 cm	3				
<b>BODOVI:</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	

**KOREKCIJA** zbog orijentacije diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
vrlo povoljno	0				X
povoljno	-2		X		
dobro	-8				
nepovoljno	-10				
vrlo nepovoljno	-12	X	X		
<b>BODOVI:</b>	<b>-12</b>	<b>-12</b>	<b>-2</b>	<b>0</b>	

**ČVRSTOĆA (MPa)** Jedinica: MPa

	1	2	3	4	5
> 250	13				
100 - 250	12				
50 - 100	7	X			
25 - 50	4				
< 25	0-2				
<b>BODOVI:</b>	<b>7</b>				

**RQD (%)**

	1	2	3	4	5
90 - 100	20				
75 - 90	17	X			
50 - 75	13				
25 - 50	8				
< 25	3				
<b>BODOVI:</b>	<b>17</b>				

**ČIJEV (mm)** diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
izvorenje	5				
< 0,1	3				
0,1 - 1	4		X	X	
1 - 5	1	X	X		
> 5	0				

**VODA** pritisak (MPa) stanje

	1	2	3	4	5
nizak	15	X			
< 10	13				
10 - 25	7				
25 - 125	4				
> 125	0				
<b>BODOVI:</b>	<b>15</b>				

**HRAPAVOST** diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
vrlo hrapavo	5				
hrapavo	3		X	X	
neznatno hrapavo	3	X	X		
glatko	1				
slabiko	0				

**ISPUNA** diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
bez	5				
hrvta < 5mm	4		X	X	
hrvta > 5mm	2				
meka < 5mm	3	X	X		
meka > 5mm	0				

**DULJINA (m)** diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
< 1	0				
1 - 3	4				
3 - 10	2				
10 - 20	1			X	
> 20	5	X	X	X	

**RASTROŠENOST** stijene diskontinuiteta

	1	2	3	4	5
nestrošana	5		X	X	
neznatno	3				
umjereno	3	X	X		
jako	1				
potpuno	0				

**STANJE DISKONTINUITETA**

	1	2	3	4	5
<b>BODOVI:</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	

**UKUPAN ZBROJ BODOVA:**

RMR	46	46	71	69	
GSI	53	53	68	64	

**BODOVI**      **KATEGORIJA**

81 - 100      I

61 - 80      II

41 - 60      III

21 - 40      IV

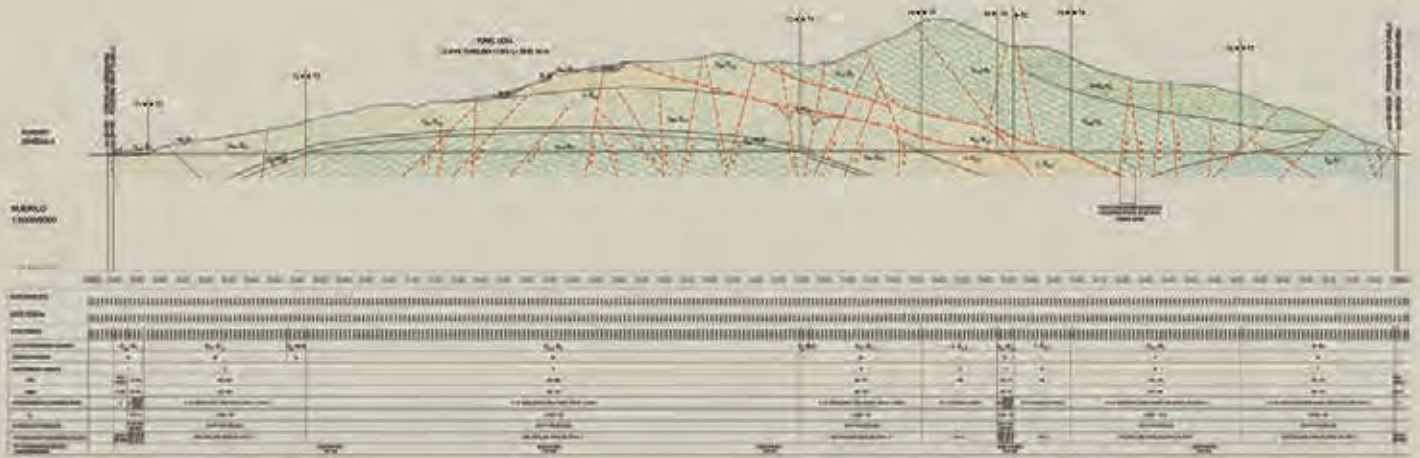
0 - 20      V

14.02 BYC TUN \*\*\* GEOL \*\*\* RP 3B2 100 214 \*\*0

Geomehanika klasifikacija stijenske mase (Bieniawski, 1989)      izradio: Nikola Poljak, dipl. ing. geol.



## PROFIL GÉOLOGIQUE



17

© IGH

fois que cette méthode est utilisée en Croatie. La granulométrie des matériaux concassé en sortie est de 0 à 200 mm. Le convoyeur a une largeur de bande de 1 m et est muni d'une réserve de bande horizontale d'une capacité de 500 m (figure 19).

Le chantier a mis en cadence l'extension de la bande en tunnel afin de l'intégrer dans un cycle d'excavation. Quotidiennement l'atelier concasseur et convoyeur avance vers le front se situant à une distance comprise entre 100 m et 150 m.

Le marinage de l'attaque Kvarner, quant à lui, s'effectue traditionnellement avec

**17- Profil géologique.**

**18- Concasseur + charge-roule.**

**19- Réserve de bande horizontale et jetée de mise en stock.**

**17- Geological profile.**

**18- Crusher + wheeled loader.**

**19- Horizontal strip storeroom and stockpiling jetty.**

un chargeur et des tombereaux articulés de 25 t.

La Croatie est un pays au relief montagneux où le savoir-faire en matière de tunnels existe depuis des dizaines d'années avec une méthode de construction traditionnelle bien rodée. Sur ce chantier, Bouygues TP a mis en place de multiples innovations afin d'optimiser les cycles d'excavation, en introduisant des retours d'expérience de pratiques internationales. Ainsi, le chantier a conduit des études sur le béton fibré afin de proposer au client son utilisation en remplacement des treillis soudés. Des tests de convenance ont été effec-

tués pour démontrer la performance du béton projeté notamment en termes d'énergie d'absorption minimale de 700 J. Il en a été de même concernant la mise en place de boulons type "Swellex", encore jamais utilisés dans le pays.

L'industrialisation de l'atelier de marinage est également une des innovations majeures employée en Croatie. De la même manière, l'utilisation d'unité mobile de production d'explosif sous forme d'émulsion fut un défi afin d'obtenir toutes les autorisations réglementaires, cela n'ayant jamais été utilisé dans le pays. ▷



18

© BYTPCB



19

© BYTPCB





20

© BYTPCB

Le choix de l'outil de coffrage à précontrainte pour la réalisation de la voûte du tunnel principal afin de respecter le planning est une nouvelle technologie pour les collaborateurs croates habitués à utiliser un coffrage de voûte classique.

Un système de ventilation nouveau dans le pays a été mis en application, afin d'éviter d'avoir 2 gaines dans le tunnel. Le chantier s'est ainsi doté d'un chariot de ventilation avec une gaine unique. La ventilation du tunnel se fait en soufflant de l'air frais à l'aide d'un ventilateur situé à l'extérieur (T2.160.2x160 kW). L'aspiration des gaz après tirs se fait par un ventilateur situé sur le chariot de ventilation (T2.125.45 kW) par la même gaine. Un ventilateur additionnel (T2.125.30 kW) se trouve sur le chariot en soufflant afin de créer une dépression pour conserver les gaz au

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**MATÉRIAUX EXCAVÉS DU TUNNEL : 515 000 m<sup>3</sup>**  
**QUANTITÉ D'EXPLOSIFS : 550 000 kg**  
**CADENCE DE MARINAGE : 350 t/h**  
**VOLUME DE BÉTON PROJETÉ : 30 000 m<sup>3</sup>**  
**BÉTONS DE VOÛTE : 55 500 m<sup>3</sup>**  
**TRAITEMENT DES EAUX DE CHANTIERS EN RECYCLAGE : 30 m<sup>3</sup>/h par site**  
**QUANTITÉ D'ARMATURES : 2 320 t**  
**QUANTITÉ D'ÉTANCHÉITÉ : 135 000 m<sup>2</sup>**  
**HORS PROFIL MOYEN CIBLÉ : < 250 mm**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : Bina Istra**  
**MAÎTRE D'ŒUVRE : Učka Konzalting**  
**ENTREPRISE (CONSTRUCTION) : Bouygues Travaux Publics Croatia Branch**

**20- Chariot de ventilation.**

**20- Ventilation trolley.**

front (figure 20). Un système de clapet est piloté depuis l'extérieur du tunnel pour passer du mode standard au mode aspirant après tir. Le chariot de ventilation est placé devant le concasseur, à environ 70 m du front de taille, son déplacement étant lui aussi intégré dans les cycles d'excavation. L'extension de la gaine de ventilation s'effectue à l'aide d'une cassette de ventilation se situant à l'arrière du chariot. Cette cassette possède une réserve de gaine d'environ 100 m. La gaine de ventilation est de diamètre 2 400 mm. □

### ABSTRACT

#### THE UČKA TUNNEL IN CROATIA: AN INNOVATIVE TRADITIONAL STRUCTURE

LUC MICHEL DUJMOVIC, BOUYGUES TP - GUILLAUME MOREL, BOUYGUES TP - HICHEM ZAMMIT, BOUYGUES TP

The Učka Tunnel is one of the longest in Croatia and the only tunnel on the Istrian Y motorway concession. It required close cooperation with the concession owner due to its numerous constraints, all this in a protected natural environment. This challenge will require numerous innovations for Croatia. The project is now regarded as a benchmark structure for the country in the field of tunnels. The major challenges faced by the project team are: compliance with the schedule faced with unknown geological and geotechnical impacts, management of karstic voids on the ground encountered, validation of new technologies for Croatia, such as fibre-reinforced concrete and "Swellex" type temporary support bolts, optimisation of safety with concurrent work by various sets of equipment in the tunnel, and constant maintenance of traffic in the existing tunnel during cross-passage connection works. □

#### EL TÚNEL DE UČKA, EN CROACIA: UNA OBRA DE TRADICIÓN INNOVADORA

LUC MICHEL DUJMOVIC, BOUYGUES TP - GUILLAUME MOREL, BOUYGUES TP - HICHEM ZAMMIT, BOUYGUES TP

El túnel de Učka es uno de los más largos de Croacia y el único túnel de la concesión Y de Istria. Ha precisado una estrecha coordinación con la empresa concesionaria debido a sus múltiples condicionantes, en un entorno natural protegido. Este desafío ha exigido numerosas innovaciones en Croacia. Actualmente, el proyecto constituye una obra de referencia para el país en el ámbito de los túneles. Los principales retos a los que ha tenido que hacer frente el equipo del proyecto son: el respeto de la planificación frente a impactos geológicos y geotécnicos imprevistos, la gestión de las cavidades cársticas del terreno hallado, la validación de nuevas tecnologías para Croacia (por ejemplo, el hormigón fibrado o los pernos de soporte temporal de tipo Swellex), la optimización de la seguridad con una coactividad de los distintos talleres dentro del túnel, el mantenimiento permanente del tráfico en el túnel existente durante las obras de conexión de los ramales. □



# NOUS AVANÇONS SUR LA MÊME ROUTE QUE LES TRAVAUX PUBLICS

Nous connaissons bien votre métier et tous ses risques.  
Nous les couvrons avec des garanties adaptées pour mieux vous protéger, mieux vous assurer et vous soutenir en cas de besoin.  
Et comme nous faisons aussi partie de la famille du BTP,  
nous ferons toujours route commune.



**PRO BTP**  
GROUPE

[www.probtp.com](http://www.probtp.com)







1  
© SPIE BATIGNOLLES

# AMÉNAGEMENT HYDROÉLECTRIQUE DE VENDA NOVA III AU PORTUGAL

AUTEURS : ANTÓNIO SILVA, DIRECTEUR DE TRAVAUX, SPIE BATIGNOLLES INTERNATIONAL - PEDRO FONSECA, DIRECTEUR OPÉRATIONNEL INTERNATIONAL, SPIE BATIGNOLLES GÉNIE CIVIL

**LE COMPLEXE DE VENDA NOVA III SE SITUE DANS LE NORD DU PORTUGAL À 110 km AU NORD DE PORTO. C'EST UN PROJET HYDROÉLECTRIQUE RELIANT DEUX BASSINS ARTIFICIELS QUI PRÉSENTENT ENTRE EUX UN DÉNIVELÉ DE 420 m. CETTE CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE DE 751 MW VIENT COMPLÉTER DEUX CENTRALES PRÉCÉDEMMENT CONSTRUITES EN 1960 ET EN 2005 : ELLE PERMET AU SITE D'ATTEINDRE UNE PUISSANCE TOTALE DE 1 000 MW. LES TRAVAUX SONT ESSENTIELLEMENT SOUTERRAINS.**

L'aménagement hydroélectrique de Venda Nova, au Portugal (figure 2), comprenait déjà deux centrales : la centrale de Frades du barrage de Venda Nova, construite entre 1950 et 1960, et la centrale de Frades II, mise en service en 2005.

En 2010, le maître d'ouvrage EDP (Électricité du Portugal) a lancé la construction d'une troisième centrale de 2x375 MW, portant la puissance totale du site à 1 000 MW. Il s'agissait du plus grand projet hydroélectrique en Europe, comparable en puissance à une tranche de centrale nucléaire. La maîtrise d'œuvre était constituée des entreprises Fase et Gibb.

Les travaux se sont déroulés de 2010 à 2017 et ont été confiés au groupement "Reforço de Potência da Barragem da Venda Nova III ACE" fondé par les sociétés Msf, Somague, Mota-Engil et Spie Batignolles Europe.

## DESCRIPTION DU PROJET

L'ouvrage s'articule autour d'une centrale souterraine qui produit de l'énergie grâce à l'eau provenant du bassin de Venda Nova, en amont. Cette eau est restituée en aval dans le bassin de Salamonde. Trois grands tunnels se connectent à la centrale : le tunnel d'amenée, le tunnel de restitution et le tunnel de sortie, destiné au câblage

## 1- Ouvrage de restitution.

## 1- Outlet works.

électrique et aux dispositifs techniques. Le creusement des galeries a traversé principalement le granite de la région du Gerês, un granite grossier, assez fracturé (3 à 4 familles de discontinuités principales) et peu altéré, ainsi que, plus ponctuellement, des migmatites, cornéennes et métagrauwagues. Le suivi géologique et géotechnique

en phase de construction a confirmé la bonne qualité du massif rocheux, où environ 75 % des tunnels hydrauliques ont été excavés.

Les différentes parties du projet sont communes aux projets hydroélectriques souterrains (figure 3), à savoir :

- Le circuit hydraulique d'amenée d'eau, avec la prise d'eau, le tunnel d'amenée, la cheminée d'équilibre supérieure, le tunnel déssableur (piège à cailloux), la conduite forcée et les rameaux de jonction aux turbines de la centrale ;
- La centrale hydraulique, avec la chambre des turbines, la salle d'exploitation, la chambre des transfor-





© EDP 2

mateurs, la galerie de ventilation et la galerie d'accès au tunnel de sortie et d'énergie ;

→ Le circuit hydraulique de restitution d'eau, avec les rameaux de jonction au tunnel de restitution, la cheminée d'équilibre inférieure, le tunnel de restitution et la structure de restitution.

→ Le tunnel de sortie d'énergie ;  
 → Les locaux extérieurs techniques et le poste de transformation ;  
 → Les voies de communication et des accès aux tunnels.

L'ouvrage de prise d'eau (figure 4) est constitué d'un ouvrage d'entrée, d'une galerie de transition où sont installés un batardeau de fermeture et un de secours, et d'une tour de manutention avec portique et équipements nécessaires à la manutention des batardeaux. L'ensemble a été construit à l'abri d'un batardeau provisoire en béton.

**2- Localisation des projets Venda Nova 1, 2 et 3.**  
**3- Vue d'ensemble.**

**2- Location of the Venda Nova 1, 2 and 3 projects.**  
**3- General view.**

Le tunnel d'aménée (figure 5) a une longueur de 2840 m et un diamètre de 12 m, avec une pente de 13,8%. Son revêtement n'a pas été nécessaire, sauf dans une zone située avant le piège à cailloux. Le creusement du tunnel d'aménée a été réalisé à partir d'une galerie d'accès et a pu se dérouler en même temps que la construction de la prise d'eau.

La cheminée d'équilibre supérieure est constituée, de haut en bas, d'une chambre d'expansion de forme oblongue de 31 m de long par 15 m de large, en surface, de la cheminée d'équilibre proprement dite de 13 m de diamètre et de 78 m de haut, d'une galerie de liaison de 6,80 m de large pour 26,80 m de long, et de deux puits verticaux de 5,40 m de diamètre et de 360 m de haut assurant la liaison avec la galerie d'aménée en charge (figure 6). Les puits verticaux ont d'abord été excavés selon la méthode du raise-boring, avec 3,60 m de diamètre, avant d'être élargis à l'explosif, les déblais étant alors jetés dans les avant-puits avant d'être récupérés dans la galerie d'accès. Les opérations de manutention pendant les travaux d'agrandissement sont assurées par une grue à tour installée sur le radier de la chambre d'expansion. La chemi-

née est revêtue de béton armé, mis en place avec un coffrage glissant.

Le tronçon juste en amont de la centrale est composé d'une chambre de piège à cailloux, d'un puits blindé, et de 2 rameaux en charge. Le piège à cailloux est une chambre de 20 m de diamètre fini et de 40 m de long, revêtue d'une coque en béton armé de 1,20 m d'épaisseur. Entre le tunnel en charge et le piège à cailloux, on trouve un tunnel de transition de 60 m de long, également revêtu d'une coque en béton armé, d'un diamètre fini variant de 20 m à 8,50 m. Le puits blindé de 32 m de long est incliné à 45°. Le diamètre excavé est de 7,90 m pour un diamètre intérieur fini de 5,90 m. Le creusement a aussi été réalisé par la méthode du raise-boring avec alésage à l'explosif. Les 2 rameaux en charge, qui alimentent les 2 turbines, ont été excavés à partir de la centrale. ▶

VUE D'ENSEMBLE



© EDP 3





4

© EDP

La centrale, de dimensions imposantes, se trouve à une profondeur de 400 m ! Elle comprend deux cavernes juxtaposées : la caverne des groupes, et la caverne des transformateurs. Ses dimensions globales sont les suivantes : 55 m de haut, 101,50 m de long, et 22 m de large (figure 7). L'excavation de la caverne a commencé par la partie supérieure, à partir de la galerie de désenfumage. Après le bétonnage des poutres du pont roulant et la mise en tension des ancrages, l'excavation s'est poursuivie par abattage vertical jusqu'au niveau fini de terrassement (figure 8).

Après la centrale, on trouve 2 rameaux (figure 9) reliés à la cheminée d'équilibre inférieure, prolongés par le tunnel de restitution. La cheminée d'équilibre inférieure fait 84 m de haut, son diamètre intérieur fini (après bétonnage) étant de 13 m. Elle a également été excavée par raise-boring avec élargissement à l'explosif. Ces travaux ont nécessité un tunnel d'accès à la tête de la cheminée.

Le tunnel de restitution (figure 10) a une longueur de 1375 m. Il est sub-horizontale sauf dans sa partie finale qui a une pente ascendante de 15%. Son diamètre est de 12 m. Il a été creusé à partir de la plateforme de l'ouvrage de restitution (figure 1), plateforme

elle-même protégée par un batardeau en béton.

Le projet inclut également la construction des bâtiments techniques, des postes de transformateurs (figure 11) et transformateurs auxiliaires, d'un bâtiment de groupe électrogène de secours (pour alimenter les portiques

**4- Prise d'eau.**  
**5- Excavation du tunnel d'amenée.**

**4- Water intake.**  
**5- Excavation of the intake tunnel.**

de levage des batardeaux en cas de coupure), ainsi qu'une multitude de voies de communication et d'accès aux tunnels. C'est un vrai labyrinthe : rameau d'accès à la centrale de Venda Nova II, tunnel pour le cheminement des câbles d'énergie, tunnel d'accès à la centrale Venda Nova III, tunnel d'at-

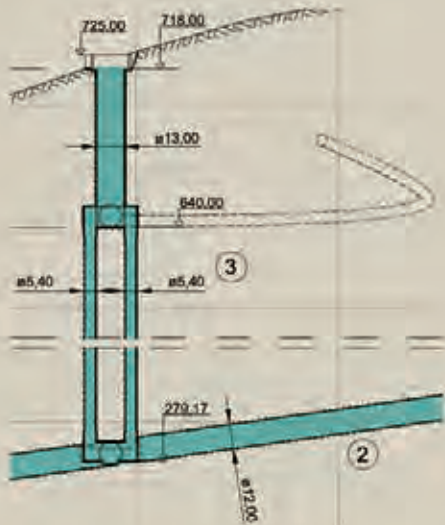


5

© SPIE BATHIGNOLLES



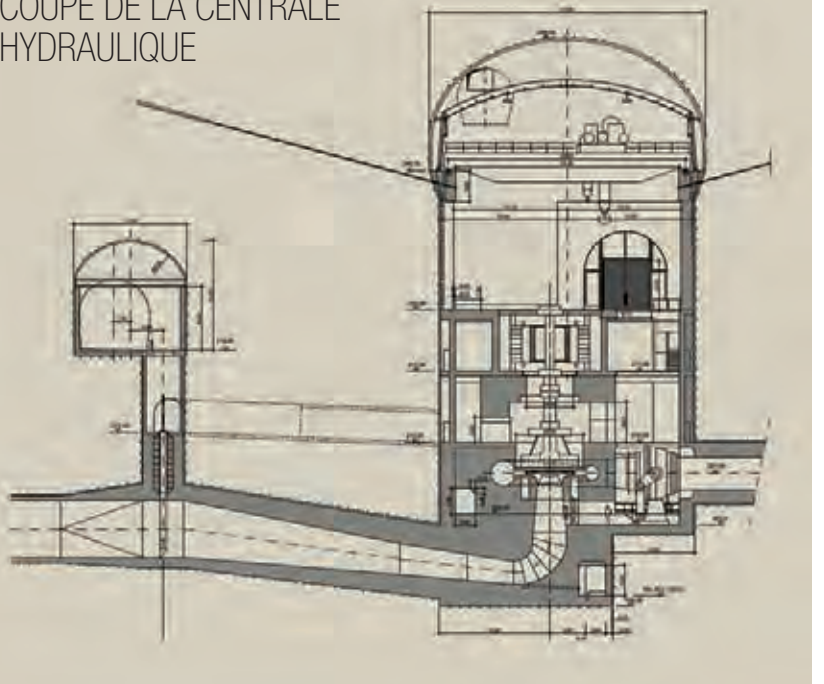
## COUPE DE LA CHEMINÉE D'ÉQUILIBRE SUPÉRIEURE



6

© EDP

## COUPE DE LA CENTRALE HYDRAULIQUE



7

© EDP

taque de la zone de la prise d'eau et du tunnel d'amenée, et tunnel d'attaque de la cheminée d'équilibre supérieure. Les installations de chantier, quant à elles, comprennent une installation principale, avec les bureaux du groupement, les cantonnements et les dortoirs, et 3 zones d'installations industrielles : une 1<sup>re</sup> zone pour les ateliers bois et armatures, une 2<sup>e</sup> zone pour la centrale à béton et le stockage des agrégats, et enfin une dernière zone pour les ateliers de mécanique, le laboratoire et le magasin.

Les déblais du chantier sont triés et transportés jusqu'à la centrale de con-

**6- Coupe de la cheminée d'équilibre supérieure.**

**7- Coupe de la centrale hydraulique.**

**8- Caverne de la centrale hydraulique.**

**6- Cross section of the upper surge tank.**

**7- Cross section of the hydropower plant.**

**8- Cavern of the hydropower plant.**

cassage située à une dizaine de kilomètres du chantier pour y être valorisés. La principale caractéristique du projet réside donc dans sa grande ampleur, ce qui lui a d'ailleurs permis d'être finaliste lors de l'édition "ITA Tunneling Award" de 2016 à Singapour.

D'un point de vue technique, plusieurs faits marquants se sont détachés, et trois d'entre eux sont détaillés dans ce qui suit.

### EXCAVATION EN SECTION COMPLÈTE

Les tunnels d'amenée et de restitution excavés à l'explosif, selon la méthode

NMT (Méthode Norvégienne de Tunnel), l'ont été en section complète (figures 5 et 10). Cette décision a été prise en fonction de l'analyse géotechnique de la zone, qui a montré que la consistance de la roche et le compartimentage de son fractionnement en bloc étaient favorables, de la bonne maîtrise de la chaîne de l'explosif, l'usine de fabrication étant à proximité du site, et de la mobilisation d'un jumbo, engin de perforation à haute performance. Ces sont des volées de 5,00 à 5,50 m de longueur qui ont été effectuées sur l'ensemble de la section des tunnels de 12 m de diamètre, soient 115 m<sup>2</sup>. ▷



8

© SPIE BATHONNOLLES





9

© SPIE BATIGNOLLES

Cela a bien sûr permis de simplifier les travaux d'excavation et d'accélérer les rendements, puisque chaque tronçon ne nécessitait plus qu'une seule opération de marinage, de curage et de mise en place du soutènement primaire à l'avancement.

On peut noter que les excavations ont été l'occasion d'une grande première au Portugal, à savoir l'utilisation d'explosif sous forme d'émulsion (équivalent du M.O.R.S.E.) en tunnel.

du massif rocheux. Les déblais tombent au fond du puits dans la caverne puis sont chargés et évacués vers l'extérieur. Après 50,0 m d'excavation du puits, à la remontée, une faille géologique oblique a été rencontrée et il a fallu changer de méthode pour la suite des travaux sur ce secteur :

- Arrêt du raise-boring et démontage des machines ;
- Creusement d'un nouveau tunnel, le tunnel by-pass (figure 12), d'une

**9- Tunnels de jonction à l'aval des turbines.**

**10- Excavation du tunnel de restitution.**

**9- Connecting tunnels downstream of the turbines.**

**10- Excavation of the outlet tunnel.**

longueur de près de 300 m et de section 45 m<sup>2</sup> pour intercepter la partie haute de la faille dans la section du puits au-dessus de la faille ;

- Reprise des opérations de raise-boring à partir du tunnel by-pass pour élargir le trou pilote dans la zone de faille (diam. 2,44 m sur 30 m maxi) ;
- Transfert des équipements en tête de puits pour achever le creusement au diamètre 5,50 m ;

## INTERCEPTION D'UNE FAILLE GÉOLOGIQUE

Le deuxième événement marquant du chantier a été l'interception d'une faille géologique oblique lors du creusement des puits de la cheminée d'équilibre supérieure. Cet imprévu a marqué l'avancement du projet et a conduit à mettre en place des changements importants de méthodologie.

La méthode employée pour l'excavation des cheminées d'équilibre était celle du raise-boring : il s'agit d'un forage vertical ascendant mécanique, évitant le recours aux explosifs.

Dans cette méthode, on commence par forer, à la descente, un trou pilote de 40 cm environ de diamètre sur 380 m de hauteur, jusqu'à une caverne ouverte excavée au préalable. Ensuite, la tête de forage du trou pilote est démontée pour être remplacée par un disque métallique du diamètre définitif de l'ouvrage, soit 5,50 m. L'engin de coupe (figure 13) est alors actionné en sens inverse, à la remontée, et la giration du disque permet l'excavation



10

© SPIE BATIGNOLLES

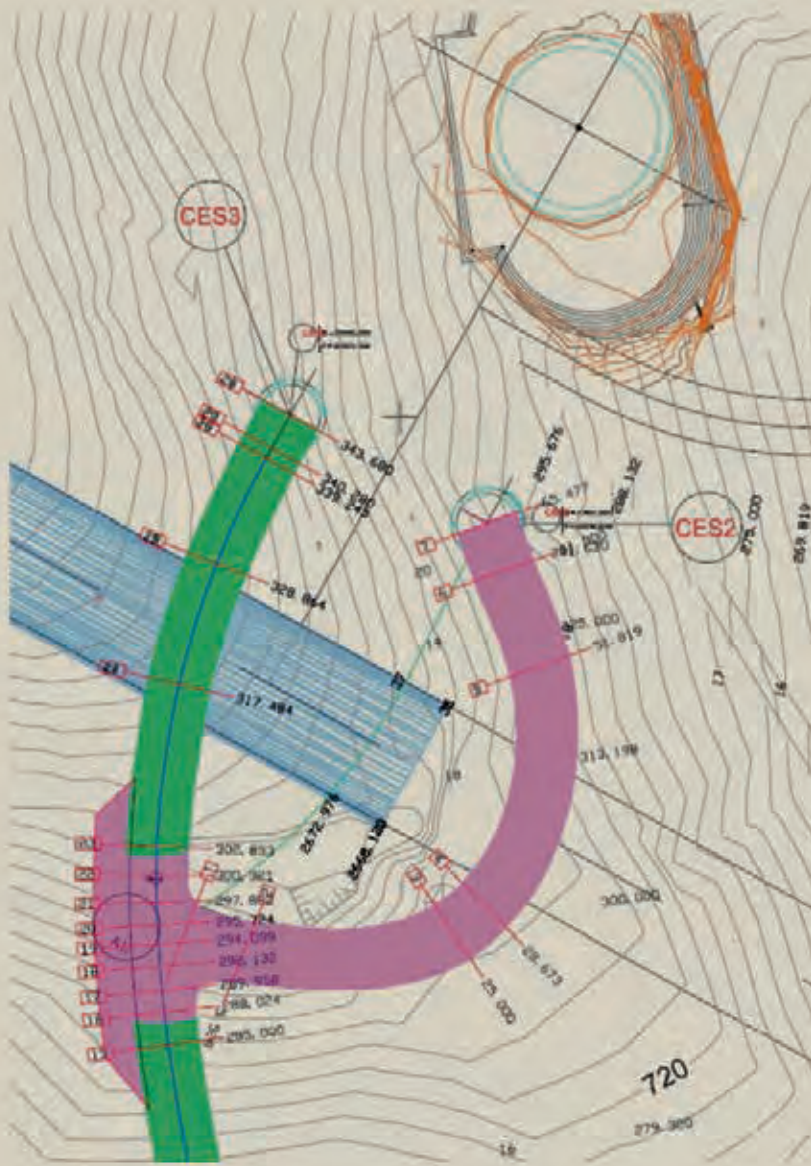




© SPIE BATIGNOLLES

11

## VUE EN PLAN DES TUNNELS BY-PASS



© EDP

12

**11- Poste des transformateurs.**  
**12- Vue en plan des tunnels by-pass.**

**11- Transformer substation.**  
**12- Plan view of bypass tunnels.**

- Ouverture des bouchons en traditionnel (portique et plateforme élévatrice) ;
- Soutènement (ancrages expansifs et injectés de 12 m, treillis soudé et béton projeté) ;
- Revêtement définitif en béton armé avec coffrage auto-grimpant dans la zone affectée.

L'ouvrage étant isolé, il a été possible de sortir les travaux du chemin critique du planning et de réaliser les nouvelles interventions sans impacter le délai global du projet.

### FOCUS SUR LES BATARDEAUX

L'ouvrage Venda Nova III s'insère dans un dispositif déjà existant de production hydroélectrique. De ce fait, un des objectifs consistait à construire cet ouvrage avec le moindre impact possible sur la gestion des niveaux d'eau des bassins.

Aux abords des futurs ouvrages de prise d'eau à l'amont et de restitution à l'aval, des batardeaux de protection ont été construits au préalable, sur chacune des deux zones. Cette préconisation permettait de réaliser ensuite les ouvrages tout en maintenant ▷





13

© SPIE BATIGNOLLES



14

© SPIE BATIGNOLLES

l'exploitation des flux d'eau entre les deux bassins via les deux systèmes existants (VNI et VNII). Le phasage de ces travaux se résumait donc en six étapes :

- Baisse du niveau d'eau du bassin ;
- Construction du batardeau ;
- Remplissage du bassin ;
- Construction de la prise d'eau ;
- Baisse du niveau d'eau du bassin ;
- Déconstruction du batardeau.

Dans le cas du batardeau de la prise d'eau, sa construction s'est déroulée durant les mois de mai et juin 2011. Il s'agit d'un barrage voûte d'arc horizontal en béton, sans armatures. Ses assises de fondation mesurent 8,00 m par 3,50 m dans sa zone centrale et il présente un développement total de 136,90 m. La hauteur en son centre est de 20,50 m, pour une épaisseur (au joint 5) variant de 4,30 m à la base à 1,60 m en partie haute. Le batardeau est composé de quatre blocs centraux et cinq blocs de culée (3+2). Ces blocs sont reliés entre eux par des joints étanches du type "water stop".

Avant la fin des travaux, et une fois la prise d'eau exécutée (entre juillet et

avril 2012) il a fallu détruire le batardeau afin de permettre la mise en service du circuit hydraulique. Il s'agissait de démolir les blocs centraux du barrage ainsi qu'une partie des culées latérales.

Pour réaliser cette déconstruction, le processus sélectionné a été l'explosif, essentiellement pour des questions de délais.

**13- Outil de coupe de raise-boring.**

**14- Démolition à l'explosif du batardeau.**

**13- Raise-boring cutting tool.**

**14- Demolition of the cofferdam by explosive.**

L'objectif de cette opération consistait à faire basculer le corps du batardeau vers l'extérieur et à faire en sorte qu'il se fractionne en blocs dans sa chute. La méthode de travail prévoyait trois phases principales : fragilisation de la structure (phase 1), chute de la structure (phase 2) et démolition des culées latérales (phase 3). C'est au cours de la phase 2 qu'il était prévu de faire tomber l'arche du barrage en provoquant un mouvement de basculement.

Un plan de tir a été défini et adapté pour chaque phase, la charge explosive étant à chaque fois minutieusement calculée et répartie.

En termes quantitatifs le volume à démolir pour l'arche du batardeau de la prise d'eau était de 6 300 m<sup>3</sup> de béton. La quantité d'explosif utilisée a été d'environ 3 000 kg (en comparaison, 1 000 kg ont été utilisés pour les culées), avec l'emploi de 500 détonateurs et de 100 connecteurs (technologie Nonel). En termes de ratio explosifs/béton, on retiendra que la charge spécifique de 0,5 kg par m<sup>3</sup> de béton (non armé) a permis de faire basculer un batardeau de 20 m de hauteur (figure 14). □

## PRINCIPALES QUANTITÉS

**EFFECTIF SUR LE CHANTIER : 400 personnes**

**EXCAVATION SOUTERRAINE : 925 000 m<sup>3</sup>**

**EXCAVATION EN EXTÉRIEUR : 149 000 m<sup>3</sup>**

**BÉTON ET BÉTON PROJETÉ : 150 000 m<sup>3</sup>**

**BOULONS DE SOUTÈNEMENT : 500 000 m**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE : EDP**

**MAÎTRISE D'ŒUVRE : Fase et Gibb**

**ENTREPRISE : groupement Msf, Somague, Mota-Engil et Spie Batignolles Europe**

## ABSTRACT

### VENDA NOVA III HYDROPOWER PROJECT IN PORTUGAL

ANTÓNIO SILVA, SPIE BATIGNOLLES INTERNATIONAL -  
PEDRO FONSECA, SPIE BATIGNOLLES GÉNIE CIVIL

**In the context of a focus on the environment, Energias de Portugal intensified its campaign of renovation and new construction of hydroelectric power schemes over the period 2000/2020. Venda Nova III is the largest structure built between 2010 and 2017. It is a response to the challenge of using renewable energies for power generation and has made it possible to exploit to a maximum geographic features (420-metre difference in altitude) and the latest technological breakthroughs (variable-speed turbines of production capacity close to 400 MW). □**

### LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE VENDA NOVA III, EN PORTUGAL

ANTÓNIO SILVA, SPIE BATIGNOLLES INTERNATIONAL -  
PEDRO FONSECA, SPIE BATIGNOLLES GÉNIE CIVIL

**En un contexto marcado por el medio ambiente, Electricidade de Portugal ha intensificado su campaña de renovación y nueva construcción de plantas hidroeléctricas durante el período 2000/2020. Venda Nova III, la obra más grande realizada entre 2010 y 2017, responde al desafío de recurrir a las energías renovables para generar energía y ha permitido aprovechar al máximo las características geográficas (desnivel de 420 m) y los últimos avances tecnológicos (turbinas de velocidad variable con una capacidad de producción cercana a los 400 MW). □**





© ARCADIS

# LE DOUBLEMENT DU TUNNEL MARTYR AHMED HAMDII SOUS LE CANAL DE SUEZ

AUTEURS : OLIVIER GIVET, RESPONSABLE TECHNIQUE, ARCADIS - JOËLLE CHAUBEAU, DIRECTEUR DE PROJET, ARCADIS - SEBASTIEN JANSSENS, PROJECT LEADER, ARCADIS - EVERT SONKE, GLOBAL TUNNELS LEAD, ARCADIS

LE NOUVEAU TUNNEL ROUTIER MARTYR AHMED HAMDII FAIT PARTIE, AVEC LE TUNNEL D'ISMAILIA ET LE TUNNEL DE PORT SAÏD, D'UN GRAND PROJET ÉGYPTIEN DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUE ET INDUSTRIEL DE LA RÉGION DU CANAL DE SUEZ ACCOMPAGNANT L'AUGMENTATION RÉCENTE DE LA CAPACITÉ DU CANAL. IL DOUBLE LE TUNNEL EXISTANT DATANT DU DÉBUT DES ANNÉES 1980. CET OUVRAGE, QUI FRANCHIT LE CANAL À PLUS DE 50 m DE PROFONDEUR, A ÉTÉ RÉALISÉ DANS LE CADRE D'UN CONTRAT DE CONCEPTION-CONSTRUCTION EN SUIVANT UN CALENDRIER TRÈS SERRÉ.

## CONTEXTE GÉNÉRAL

Le nouveau tunnel de Suez - Tunnel Martyr Ahmed Hamdi II - est un monotube creusé au tunnelier de 3140 m franchissant le canal de Suez au nord de la ville de Suez (figure 2). Il fait partie d'un projet de développement de la zone du canal prioritaire pour l'Égypte, visant à dynamiser la croissance économique de la région. D'autres tunnels ont

**1- Lancement du tunnelier en tête Ouest.**

**1- TBM launching at the West portal.**

récemment été construits à Port-Saïd et à Ismailia. Cet ensemble d'ouvrages permettra de relier la péninsule du Sinaï plus étroitement au pays en améliorant les connexions routières jusqu'à présent assurées par l'unique tunnel Ahmed Hamdi et quelques traversiers. Cet article aborde les principaux aspects de la conception et de la réalisation de cet ouvrage.

## LE PREMIER TUNNEL

Le premier tunnel Ahmed Hamdi a constitué la première traversée permanente du canal, à 16 km au nord de Suez, à l'aube des années 1980. C'est un tunnel routier à deux voies de 1640 m de longueur. Son profil a été conçu pour un approfondissement futur du canal à 27 m (18 m au moment de la construction et 23,5 m actuellement) ▷





et son tracé en S minimise la longueur totale (figures 2 et 3). Le terrain encaissant comprend essentiellement des argiles dures. Les tranchées d'accès aux têtes s'insèrent dans des sables sous nappe. Le bouclier de 11,8 m de diamètre était équipé de 3 bras d'abattage équipés d'un godet. Pour assurer la stabilisation du front, des volets pouvaient être rabattus contre celui-ci à partir de 3 plateformes de travail.

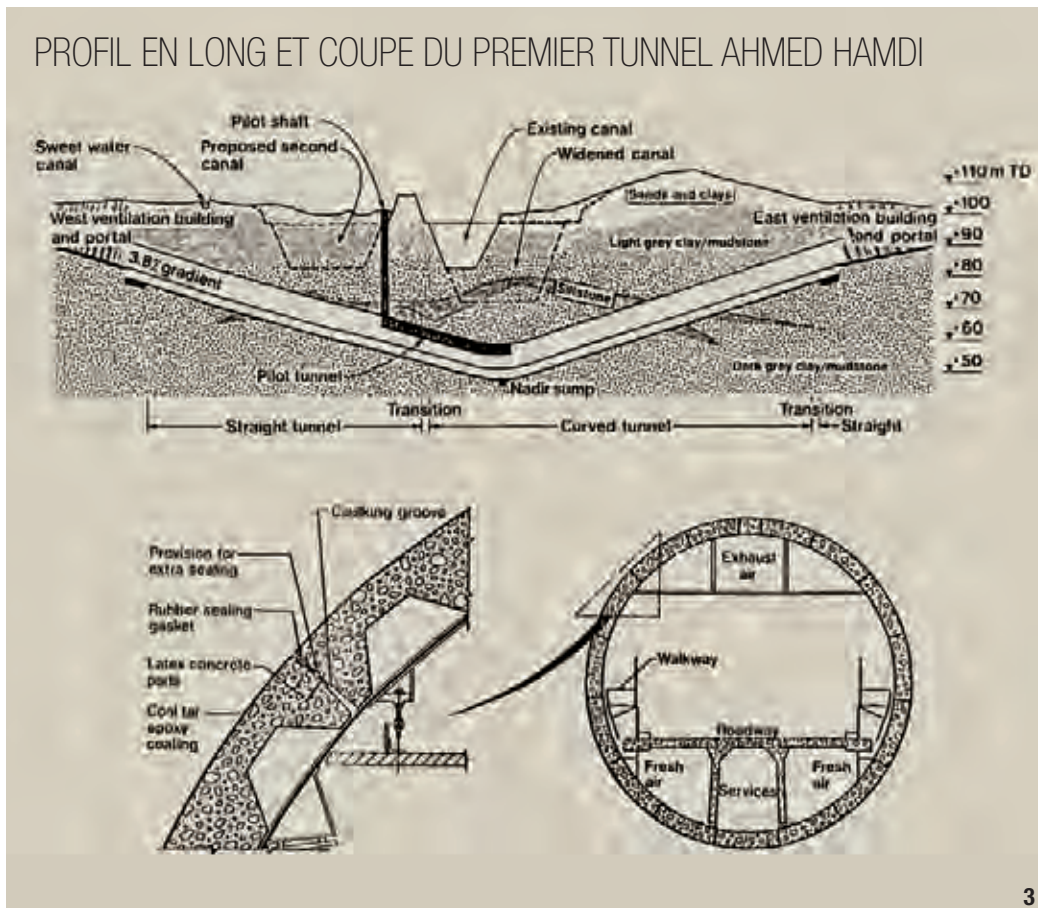
Une caractéristique intéressante du tunnelier pour l'époque est la construction de la plateforme supportant la chaussée, constituée de 3 éléments en béton préfabriqués, à l'avancement du creusement et à une quarantaine de mètres en arrière du front de taille. Cette plateforme a été utilisée pour toutes les circulations du chantier de construction du tunnel. L'excavation du tunnel s'est échelonnée sur une quinzaine de mois (110 m/mois en

**2- Localisation du projet.**  
**3- Profil en long et coupe du premier tunnel Ahmed Hamdi.**

**2- Project location.**  
**3- Longitudinal profile and cross section of the first Ahmed Hamdi tunnel.**

moyenne ; meilleur avancement à 160 m/mois). Le revêtement de 10,80 m de diamètre intérieur est constitué d'anneaux d'une quinzaine de voussoirs en béton armé de 1,20 m de longueur et 0,60 m d'épaisseur. Une géométrie des joints et un système d'étanchéité assez complexe devaient permettre de résister à la forte charge d'eau (40 m) et en même temps s'adapter à la forte ovalisation qui était anticipée au moment de l'approfondissement du canal. Le calage au terrain était assuré par gravette soufflée à travers les voussoirs puis injectée au ciment.

### PROFIL EN LONG ET COUPE DU PREMIER TUNNEL AHMED HAMDI

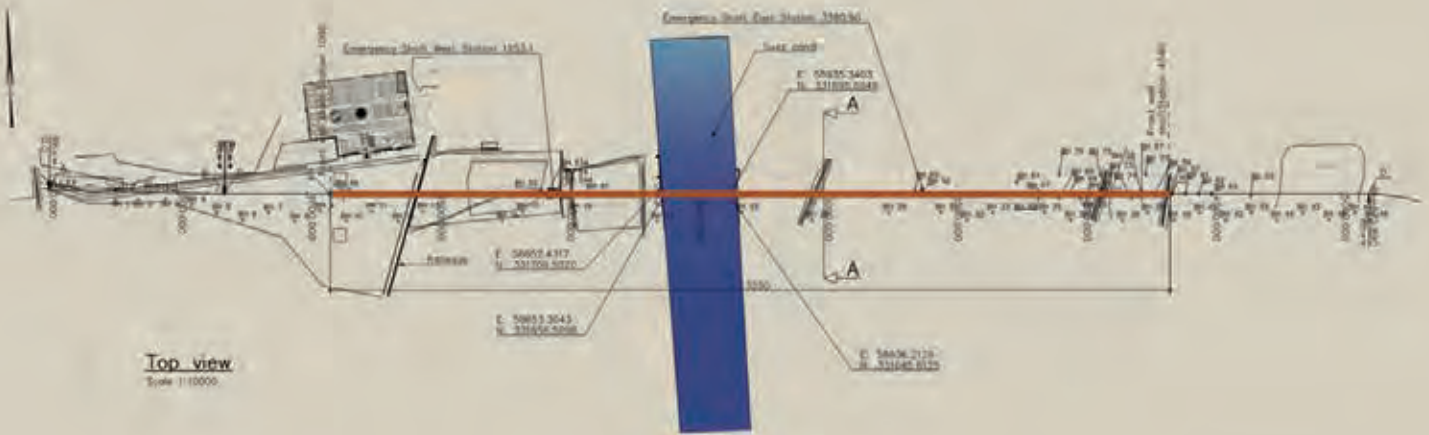


3

© THE HIGHWAY ENGINEER

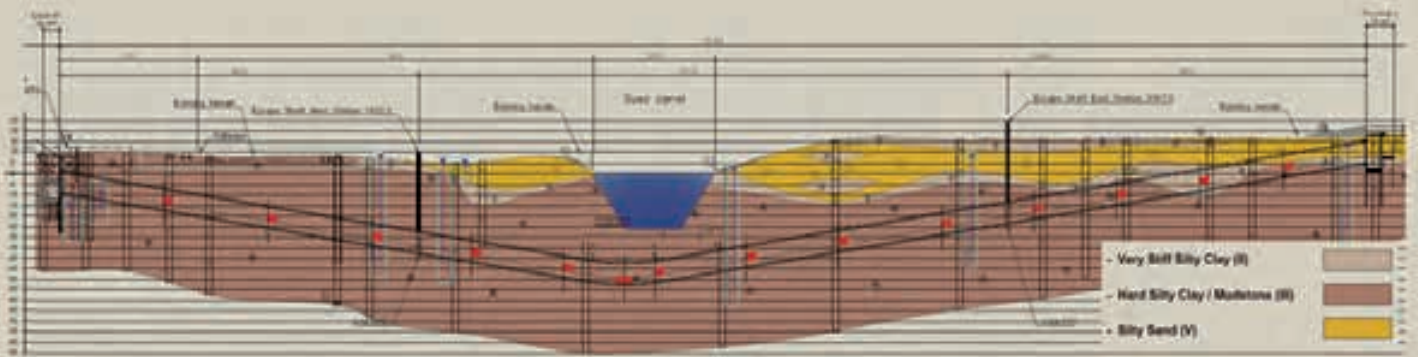


## TRACÉ DU NOUVEAU TUNNEL



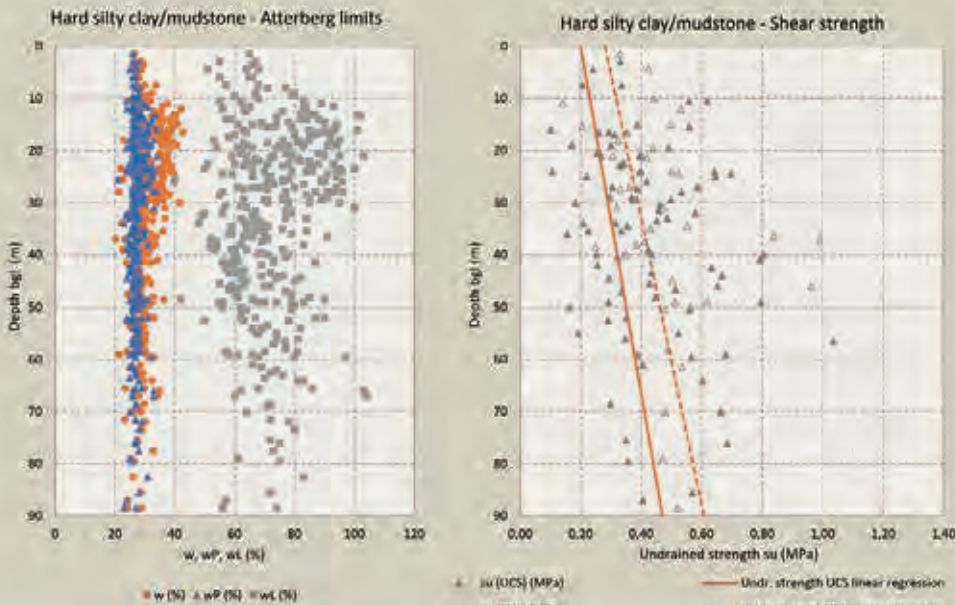
4

## PROFIL EN LONG GÉOLOGIQUE



5

## PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES DES ARGILES RAIDES



4- Tracé du nouveau tunnel.  
5- Profil en long géologique.  
6- Principales caractéristiques géotechniques des argiles raides.

4- Alignment of the new tunnel.  
5- Longitudinal geological profile.  
6- Main geotechnical properties of stiff clays.

### GÉOLOGIE

Le profil en long géologique est caractérisé par la présence continue d'argiles raides à dures fissurées, horizons dans lesquels s'inscrit le tunnel. Au-dessus de ces argiles on trouve des dépôts sableux régnant jusqu'à la surface. Dans ces sables, omniprésents côté Est, peuvent s'intercaler des lentilles d'argile raide plastique (figures 5 et 6). ▷

6



La nappe baignant les sables est relativement peu profonde. Elle est sub-affleurante côté Est (5 m au-dessus du niveau du canal) et à 5-10 m de profondeur côté Ouest (15 m au-dessus du niveau du canal au droit de la tête distante de 1 500 m).

La salinité de l'eau est proche de celle de l'eau de mer : 28 g/l contre 37 g/l pour l'eau de mer.

### SECTION TRANSVERSALE

Elle est héritée du tunnel d'Ismaïlia (voir Travaux n°947). Le diamètre intérieur du tunnel est de 11,4 m et le diamètre excavé de 13,02 m (figure 7). La section transversale du tunnel se compose d'un plan de roulement à deux voies de circulation limité par des barrières en béton coulées contre le revêtement. Il n'y a pas de trottoir surélevé par rapport à la chaussée.

La galerie située en partie inférieure de la section sous le plan de roulement a une double fonction de galerie technique abritant tous les réseaux nécessaires au fonctionnement du tunnel et de galerie de sécurité. On y accède depuis l'espace de circulation par des escaliers précédés d'un sas et disposés tous les 250 m (figure 8).

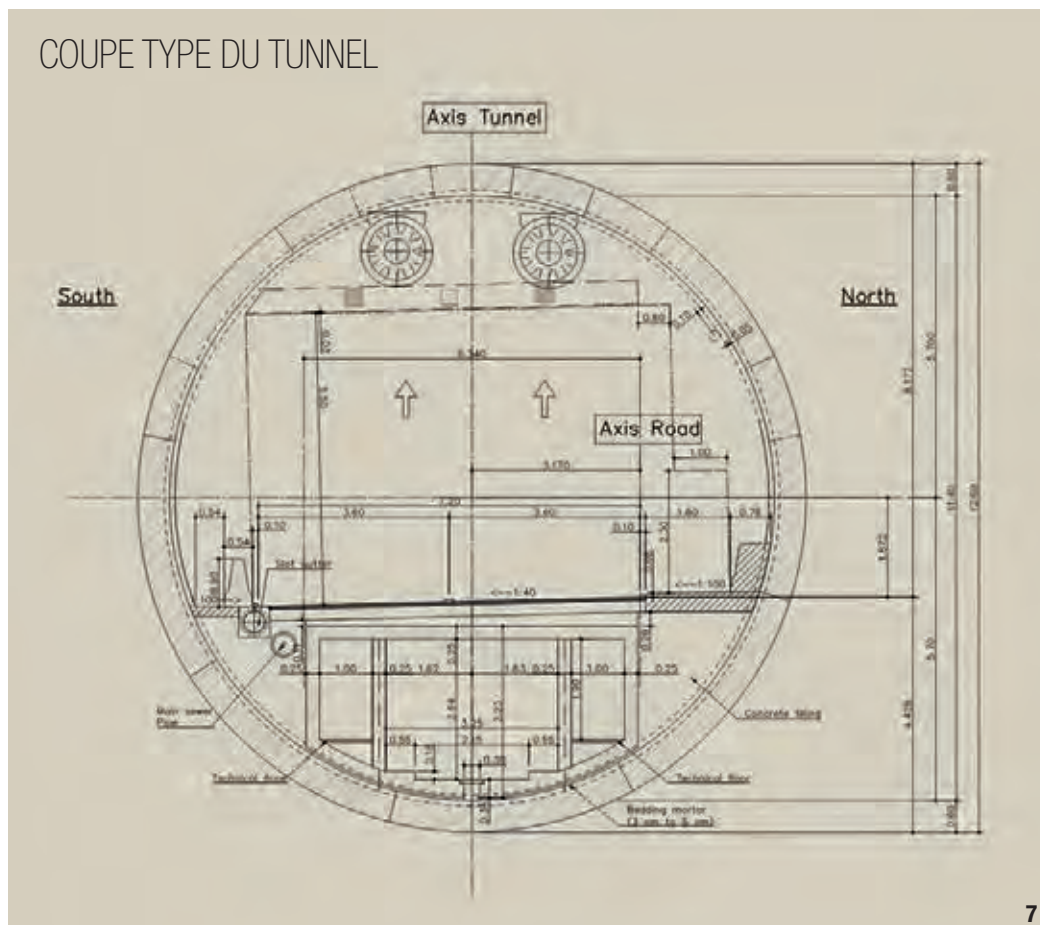
Des bassins de récupération des eaux de drainage du tunnel, des liquides accidentellement répandus sur la chaussée et des eaux d'extinction d'incendie et les chambres de pompage associées sont disposés au point bas à côté de la galerie.

### LE TUNNELIER

L'un des deux tunneliers Herrenknecht à pression de boue ayant construit le tunnel d'Ismaïlia a été utilisé. Il a démarré son creusement en tête Ouest en juin 2019 et le percement a eu lieu en avril 2020. L'avancement moyen a été de 11 m/jour ou 335 m/mois (ces avancements incluent les arrêts pour pose des éléments préfabriqués de la galerie). Avancement maximal sur 1 jour : 26 m ; avancement maximal sur 1 mois : 550 m.

### OUVRAGE DE LANCEMENT DU TUNNELIER

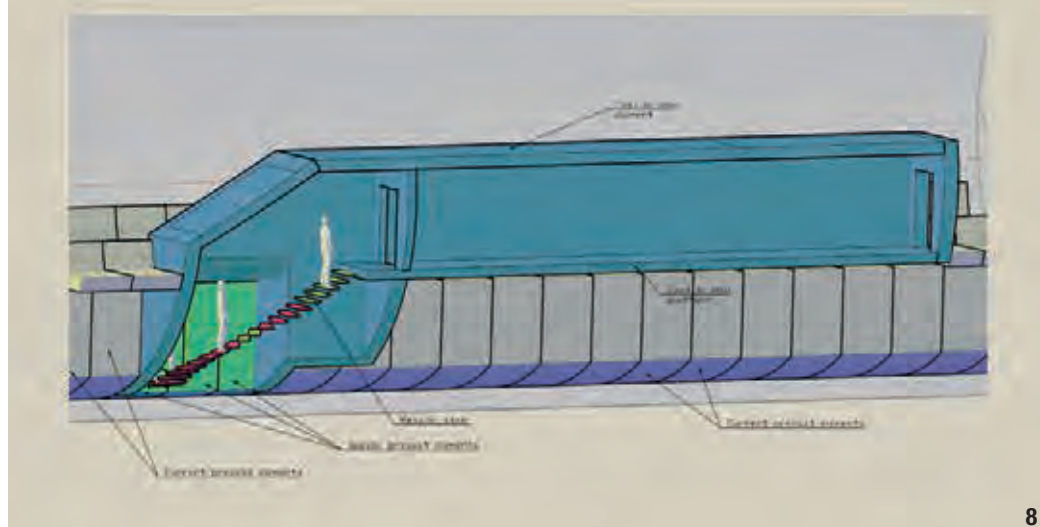
Le groupement d'entreprises a souhaité que de larges plateformes soient disponibles de part et d'autre de la rampe de lancement du tunnelier pour en faciliter l'installation et l'exploitation. L'aire de lancement est donc située au fond d'une large tranchée talutée sur les côtés et terminée par un mur vertical en paroi moulée au niveau du tympan d'entrée en terre (figures 1 et 9).



7

© ARCADIS

### ISSUES DE SECOURS



8

© ARCADIS

7- Coupe type du tunnel.

8- Issues de secours.

7- Typical section of the tunnel.

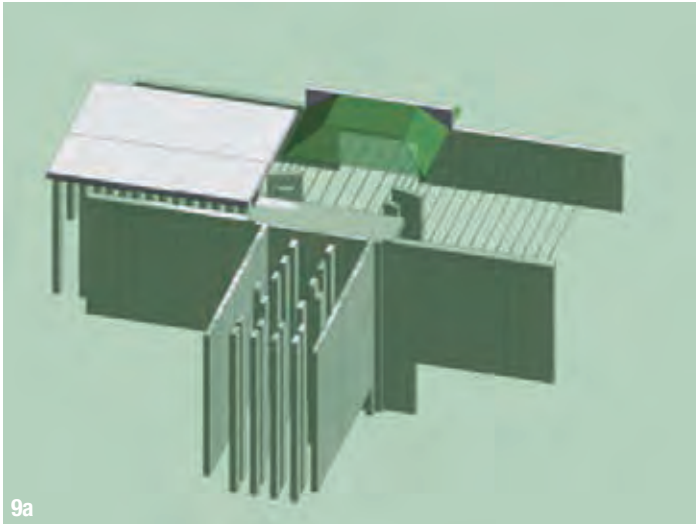
8- Emergency exits.

La hauteur de terre soutenue par ce mur est de l'ordre d'une quinzaine de mètres et la paroi moulée, d'épaisseur 1,20 m, est simplement maintenue en tête par des tirants horizontaux ancrés à un contre-rideau.

Au niveau de l'entrée en terre du tunnelier la paroi fait place à un massif en béton de faible résistance ( $5 \text{ MPa} < f_c < 10 \text{ MPa}$ ) réalisé par

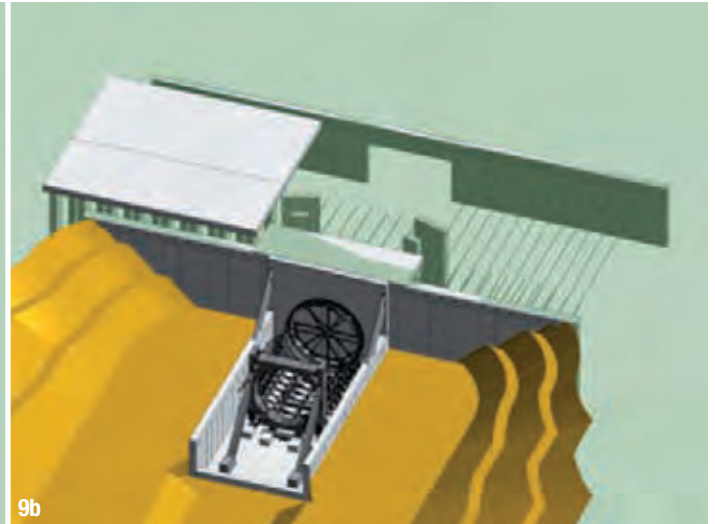
assemblage avec interpénétration de panneaux primaires et secondaires excavés avec l'outil utilisé pour les parois (trench cutter). La largeur de ce massif est de 2 fois le diamètre du tunnelier, sa profondeur (perpendiculairement au tympan) est de 9 m et sa hauteur est de l'ordre de 20 m, non compris la hauteur d'ancrage variable de 5 à 10 m sous le fond de fouille.





9a

© ARCADIS



9b

© ARCADIS

Ce massif est également maintenu en tête par des tirants horizontaux ancrés au contre-rideau.

À l'avant de ce massif, le tunnelier et son bâti de réaction reposent sur une dalle en béton armé de 2 m d'épaisseur, 20 m de largeur et 40 m de longueur assise sur 18 barrettes assurant la résistance horizontale à la poussée au démarrage.

La hauteur de couverture au-dessus de la voûte du tunnel est de 6 m (1/2 diamètre). L'étanchéité autour du bouclier est assurée par une virole de démarrage comportant 3 joints caoutchouc et un joint Bullflex®.

#### OUVRAGE D'ARRIVÉE

Avant de déboucher dans le puits d'arrivée, le tunnelier traverse une enceinte

étanche en paroi au coulis de ciment ancrée dans le substratum argileux vers 10 m de profondeur. Le puits est noyé avec un niveau d'eau correspondant au niveau de la nappe ce qui permet le percement (figure 10).

#### LES PUIXS DE SECOURS

Deux puits de secours sont implantés au tiers et aux deux tiers environ de

la longueur du tunnel. Ils présentent une typologie particulière dictée par des considérations de disponibilité de matériels de parois moulées et de phénomènes d'instabilité récurrents des parois du terrain au-delà d'une vingtaine de mètres de profondeur (figures 11 et 12).

Le puits Ouest, profond de 45 m environ, comporte donc en partie supérieure un soutènement de 24 m de diamètre et 25 m de profondeur en paroi moulée d'épaisseur 1,20 m et en partie inférieure un soutènement de 12 m de diamètre et 20 m de profondeur - coaxial au premier - en pieux tangents de diamètre 1,00 m et béton projeté assurant la rigidité circonférentielle.

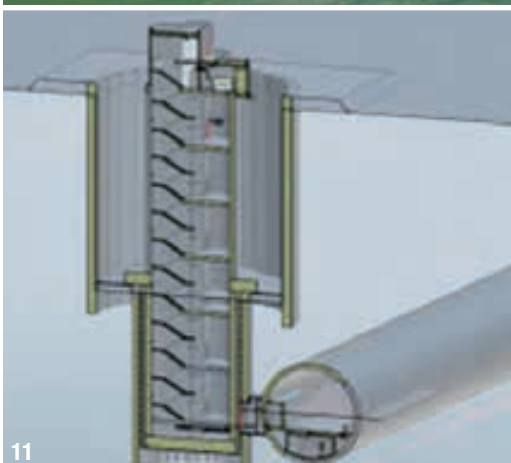
Le revêtement définitif du puits en béton armé est au diamètre du puits inférieur, l'espace annulaire supérieur étant remblayé au fur et la mesure de l'élévation des voiles.

Le puits Est est de conception analogue. ▽



10

© EEF



11

© ARCADIS



12

© ARCADIS

9- Ouvrage de lancement du tunnelier.

10- Arrivée du tunnelier.

11- Puits de secours Ouest.

12- Puits de secours Ouest en travaux.

9- TBM launching structure.

10- Arrival of the TBM.

11- West escape shaft.

12- West escape shaft during works.





13

© CONCORD



14

© CONCORD

### LE REVÊTEMENT DU TUNNEL

Il est identique au revêtement du tunnel d'Ismailia (voir *Travaux* n°947) et ses principales caractéristiques sont les suivantes.

Le revêtement du tunnel est constitué d'anneaux droite-gauche à 9 voussoirs pleins (6 voussoirs courants, deux voussoirs de contre-clé et un voussoir de clé).

La longueur des anneaux est de 2 m. Le diamètre intérieur est de 11,40 m et l'épaisseur est de 0,60 m. L'assemblage des voussoirs entre eux est assuré par des tirefonds traversant chacune des 4 faces, des barres de guidage aux joints longitudinaux et des cônes de cisaillement aux joints circonconférentiels. L'étanchéité est assurée par des joints simples EPDM de 44 mm de largeur collés en fond de gorge côté extradors.

Une solution classique de renforcement du béton par cages d'armatures en acier a été retenue. La composition du béton a été mise au

point pour satisfaire aux exigences de durabilité et de résistance au feu. La résistance à la pénétration des ions chlorures sur la durée de vie de 120 ans est obtenue grâce à un béton de classe C40/50 élaboré avec un ciment CEM III-A à 60% de laitier (470 kg/m<sup>3</sup>) et de la fumée de silice (40 kg/m<sup>3</sup>), l'enrobage des aciers à l'extrados étant de 60 mm.

Pour satisfaire aux exigences de résistance au feu d'un incendie et limiter l'écaillage sous la sollicitation de référence de la courbe RWS pendant deux 2h, le béton contient 2 kg/m<sup>3</sup> de fibres de polypropylène (18 µm/6 mm).

La résistance au feu de ce mix béton a été validée par plusieurs essais conduits sur voussoir simple (1 essai) et sur des couples de demi-voussoirs permettant de tester la résistance des joints longitudinaux (4 essais). Ces essais ont été conduits sous contrainte mécanique de 16 MPa et sollicitation thermique RWS 2h dans le four Vulcain du CSTB à Marne-la-Vallée.

**13- Issue de secours vers la galerie de sécurité.**

**14- Percement d'un rameau de secours.**

**15- Rampe d'accès Ouest.**

**13- Emergency exit to the safety gallery.**

**14- Drilling an emergency cross passage.**

**15- West access ramp.**

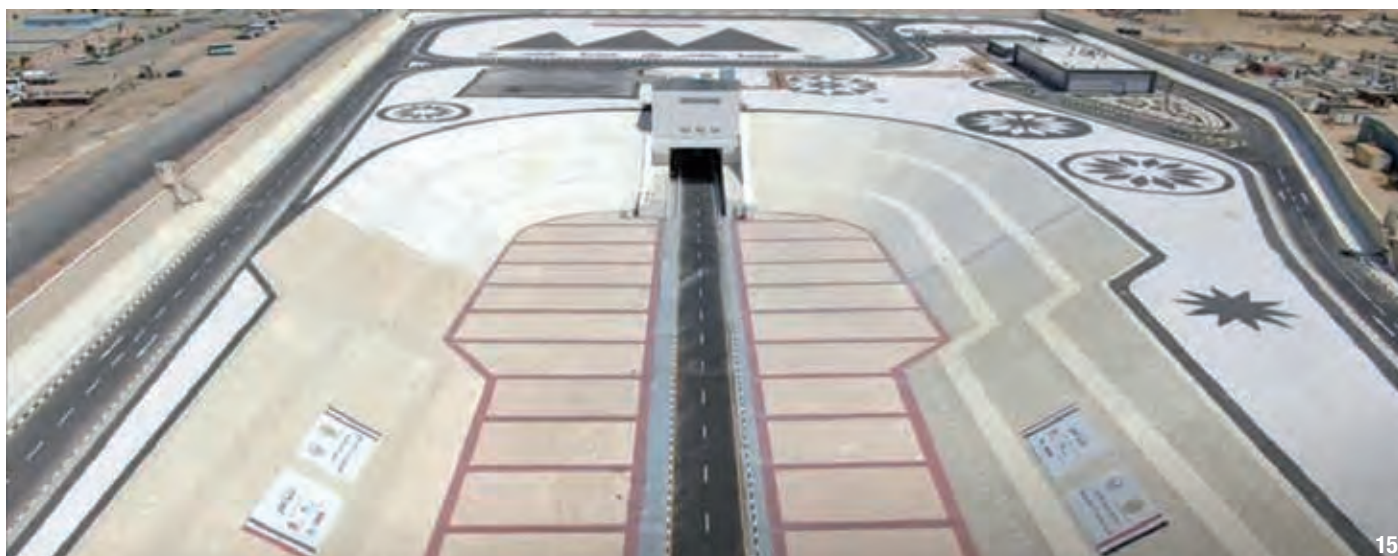
### STRUCTURES INTÉRIEURES

Elles comprennent la galerie technique et de sécurité, les 13 accès à cette galerie depuis l'espace de circulation (figure 13) et les bassins de récupération des eaux de drainage et d'incendie au point bas du tunnel implantés sur le côté de la galerie. Ces ouvrages ont été construits en parallèle au creusement.

### RAMEAUX DE CONNEXION PUIITS-TUNNEL

L'implantation des puits de secours par rapport au tunnel est choisie de façon à avoir des rameaux de connexion les plus courts possibles (figure 11), laissant une épaisseur de terrain entre le soutènement des puits et le revêtement du tunnel de l'ordre du mètre. De même les dimensions des ouvertures pratiquées dans le revêtement du tunnel ont été optimisées et axées sur un joint circonconférentiel pour ne découper aucun anneau complet et affecter le moins possible la résistance structurelle du revêtement en voussoirs (figure 14).

Les voussoirs sont produits dans l'usine de préfabrication du tunnel d'Ismailia distante d'une centaine de kilomètres du chantier en tête Ouest (préfabrication à postes fixes).



15

© CONCORD





© CONCORD  
16

### 16- Rampe d'accès Est.

### 16- East access ramp.

#### LES RAMPES D'ACCÈS

Côté Ouest, la rampe est inscrite dans la large tranchée talutée dans les argiles dures peu aquifères (tranchée réalisée pour la phase de travaux). Les pentes de talus sont munies de risbermes et protégées par un parement maçonné habillé d'un pavage (figure 15). Côté Est le contexte est caractérisé par la présence de sables sous nappe. La rampe d'accès est donc protégée par des structures. Pour la section la plus profonde ces structures sont constituées de cadres en béton armé coulés entre parois moulées de soutènement provisoire ancrées dans le substratum argileux raide. Dès que l'enfouissement est suffisamment faible pour que la stabilité aux sous-pression d'eau soit assurée, la rampe est installée dans

#### PRINCIPALES QUANTITÉS

**TUNNEL** : monotube unidirectionnel de 3250 m ; Ø excavé 13,02 m ; Ø intrados 11,40 m ; anneaux D-G 1+2+6 de 2 m de longueur et de 0,60 m d'épaisseur ; 12 issues de secours vers la galerie de service et de sécurité sous la chaussée.

**OUVRAGES D'ACCÈS** : tranchée ouverte talutée de 350 m côté W ; tranchée ouverte puis couverte en parois moulées de 250 m côté E.

**PUITS DE SECOURS W** : Ø intérieur 10 m ; prof. 43 m ; soutènement en paroi moulée ép. 1,20 m en partie supérieure (Ø 24 m) et pieux Ø 1,00 m + béton projeté en partie inférieure (Ø 12 m) ; revêtement définitif ép. 0,60 à 1,00 m et remblaiement de l'espace annulaire.

**PUITS DE SECOURS E** : Ø intérieur 10 m ; prof. 43 m ; soutènement en paroi moulée ép. 1,20 m (Ø 18 m) ; revêtement définitif ép. 0,80 m et remblaiement de l'espace annulaire.

#### PRINCIPAUX INTERVENANTS

##### MAÎTRE D'OUVRAGE :

Ministry of Defense - Engineering Authority of Armed Forces

**CONSTRUCTEUR** : Consortium Concord - Petrojet

**TUNNELIER** : Herrenknecht

**CONTRÔLEUR** : Groupement CDM Smith - Arab Consulting Engineers

**INGÉNIERIE** : Arcadis

une structure ouverte en U construite après terrassement des sables sous la protection d'une enceinte périphérique étanche en paroi de bentonite-ciment (figure 16).

#### CONCLUSION

Lancement des études de conception : juin 2018 ; démarrage du creusement : juin 2019 ; fin du creusement : avril 2020 ; mise en service : septembre 2021. À peine plus de trois ans se sont écoulés entre les premières esquisses du projet et l'ouverture du tunnel à la circulation. Mener à bien la réalisation dans ces délais n'était possible que grâce à une étroite collaboration entre le client, les constructeurs, le contrôleur et le concepteur, permettant des prises de décision efficaces. Une part importante des travaux (ouvrages de lancement et de réception des tunneliers notamment) a été réalisée alors que le projet de l'ouvrage final continuait d'être élaboré. Des solutions techniques robustes ont été choisies, peu susceptibles de causer des retards. □

#### ABSTRACT

### DOUBLING THE MARTYR AHMED HAMDI II TUNNEL UNDER THE SUEZ CANAL

OLIVIER GIVET, ARCADIS - JOËLLE CHAUBEAU, ARCADIS - SEBASTIEN JANSSENS, ARCADIS - EVERT SONKE, ARCADIS

The new Suez road tunnel (Martyr Ahmed Hamdi Tunnel II) is a single-tube tunnel passing under the Suez Canal about fifteen kilometres from the eponymous town and doubling the existing tunnel built in the 1980s. It is part of a canal area development project of highest priority for Egypt, aiming to stimulate the region's economic growth. The other engineering structures in this development plan include the Port Said and Ismailia tunnels. The construction work re-used many materials from the Ismailia tunnel: same TBM, and the same segments and interior structures. The structure was delivered to the client in accordance with a tight schedule, which was possible only thanks to close cooperation between the designer, the inspector, the constructor and the client. □

### LA DUPLICACIÓN DEL TÚNEL MARTYR AHMED HAMDI II BAJO EL CANAL DE SUEZ

OLIVIER GIVET, ARCADIS - JOËLLE CHAUBEAU, ARCADIS - SEBASTIEN JANSSENS, ARCADIS - EVERT SONKE, ARCADIS

El nuevo túnel vial de Suez (Martyr Ahmed Hamdi Tunnel II) es un túnel monotubo que cruza el Canal de Suez a una quincena de kilómetros de la ciudad homónima y que duplica el túnel existente construido en los años 1980. Forma parte de un proyecto de desarrollo de la zona del canal prioritaria para Egipto, que pretende dinamizar el crecimiento económico de la región. Las demás obras que prevé este plan de desarrollo incluyen los túneles de Puerto Said e Ismailia. La construcción ha reutilizado numerosos elementos del túnel de Ismailia: misma tuneladora, mismas dovelas y estructuras interiores. La obra se ha entregado al cliente con arreglo a un ajustado calendario, lo que solo ha sido posible gracias a una estrecha colaboración entre el diseñador, el supervisor, el constructor y el cliente. □





1  
© TGBV

# CONCEPTION DU PONT EXTRADOSSÉ SUR LA A1-M1 (ÎLE MAURICE)

AUTEURS : PAUL-EMILE DURAND, DIRECTEUR DES OPÉRATIONS DUBAÏ UAE, SYSTRA INTERNATIONAL BRIDGE TECHNOLOGIES - SANAD SHAMSAN, DIRECTEUR TECHNIQUE DUBAÏ UAE, SYSTRA INTERNATIONAL BRIDGE TECHNOLOGIES - XAVIER LOYE, PROJECT MANAGER ÎLE MAURICE, BOUYGUES CONSTRUCTION

**LE PONT BR5, ACTUELLEMENT EN CONSTRUCTION À L'ÎLE MAURICE, EST UN PONT À PRÉCONTRAINTE EXTRADOSSÉE, COMPLEXE PAR SES DIMENSIONS, REQUÉRANT DES MÉTHODES DE CONSTRUCTION AVANCÉES, ET DONT LA CONCEPTION A EXIGÉ UNE ATTENTION PARTICULIÈRE AUX EFFETS DU VENT, TANT EN PHASE DE CONSTRUCTION QU'EN SERVICE. L'ÎLE ÉTANT EXPOSÉE PÉRIODIQUEMENT À DES CYCLONES DE HAUTE INTENSITÉ, LA CONSIDÉRATION DES EFFETS CLIMATIQUES EXTRÊMES A DONC ÉTÉ AU CENTRE DU TRAVAIL DES INGÉNIEURS EN CHARGE DES CALCULS POUR ASSURER LA PÉRENNITÉ DE L'OUVRAGE SUR LES 100 ANS DE DURÉE DE VIE REQUISE PAR LES AUTORITÉS MAURICIENNES.**

## INTRODUCTION PRÉSENTATION DU PROJET

Le projet A1-M1 Link Road est un projet de construction de voie rapide à l'île Maurice, d'environ 1 km, et devant connecter deux axes routiers majeurs de l'île, la A1 et la M1. Le 11 avril 2018, l'autorité routière de l'île, le "Road Development Authority" (RDA), a lancé la construction de ce projet qui s'inscrit dans le programme national de décongestion du trafic routier, récemment lancé par le RDA.

La nouvelle route doit connecter la A1 et la M1 à la hauteur de Chebel et de Sorèze. Elle a pour but d'apporter un accès alternatif au trafic venant de Rose Hill, Beau Bassin, Chebel, Chapman Hill et Upper Coromandel, en direction de la ville de Port-Louis. Une vue d'ensemble

du projet peut être appréciée sur la vue d'artiste de la figure 2.

Le projet inclut plusieurs ouvrages dont l'ouvrage en béton à précontrainte extradossée de 330 m de long, qui enjambe la Grand River North West Valley. Cet article présente certains aspects particuliers concernant la conception (figure 3).

Dans un premier temps, la construction du pont a été attribuée à la Joint-Venture TGBV (Transinvest, GCC, Bouygues Travaux Publics, et VSL) suivant un format Construct-Only et sur la base d'un design existant. Plus tard, des questions d'instabilité géotechnique des falaises de chaque côté de la vallée ont été identifiées et jugées trop critiques pour l'intégrité des piles de pont pendant les phases de construction et en service.

**1- Vue d'ensemble du chantier, pylônes P1 et P2.**

**1- General view of the project, pylons P1 and P2.**

Il a donc été décidé de réarranger les travées de l'ouvrage afin de déplacer les piles vers le centre de la vallée, hors d'atteinte de possibles éboulements ou glissements de terrain jugés trop préjudiciables pour l'ouvrage et pour la sécurité du chantier. La conception de cette nouvelle option a été confiée à l'entité Systra-IBT de Dubaï (Groupe Systra). À cette occasion, les ingé-

nieurs ont procédé à des optimisations du concept existant lorsque ceci était possible, comme, par exemple, par l'adoption d'une section transversale en caisson unique.

## PRINCIPAUX DÉFIS POUR LA CONCEPTION

Les trois contraintes principales prises en compte pour la conception de la variante de pont extradossé sont les suivantes :

→ Une vallée profonde à franchir, d'approximativement 90 m de profondeur et 300 m de long. Dans un souci d'intrusion minimale dans la vallée, puis pour offrir un ouvrage iconique, le maître d'ouvrage a opté pour un ouvrage avec seulement 2 piles dans la vallée ;





© FDA  
2

- Des falaises de chaque côté de la vallée, présentant des risques d'éboulement, ont donc dicté un choix d'arrangement de travées non optimisé d'un point de vue structurel comme il sera expliqué plus en détails ci-après (figure 4) ;
- L'exposition de l'île aux cyclones et conditions de vent extrême qui, considérant l'élancement et la taille de l'ouvrage, ont constitué la contrainte principale en termes de cas de charges à considérer pour les calculs.

- 2- **Vue d'artiste du projet A1M1.**
- 3- **Vue d'artiste du pont extradossé.**
- 4- **Vue schématique des risques d'éboulements.**

- 2- **Artist's view of the A1M1 project.**
- 3- **Artist's view of the extradosed bridge.**
- 4- **Schematic view of rock slide risks.**

## PRÉSENTATION DE L'OUVRAGE EXTRADOSSÉ

La variante proposée présente une distribution de travées de 100 m, 130 m, et 100 m (figure 5). Le tracé routier du design originel a été conservé et ne présentait pas de difficulté particulière (0,5% de gradient longitudinal pour un tracé en plan rectiligne). Les pylônes sont en béton armé pour une hauteur de 28 m au-dessus du tablier. Les deux piles sont rectangulaires creuses, en béton armé, avec respectivement 86,7 m et 79,4 m de hauteur des

fondations jusqu'à l'intrados du tablier et supportées chacune par un groupe de 40 pieux forés de 1 m de diamètre. La section transversale du tablier est inspirée par celle du pont de Brotonne avec un caisson monocellulaire, précontraint et, compte-tenu de la largeur transversale de 24,7 m, des bracons transversaux en acier à haute limite d'élasticité ont été définis en conjonction de câbles de précontrainte transversale permettant une optimisation de la section totale de béton (figure 6). La construction se fait par encorbellements successifs de voussoirs coulés en place et, par souci de simplification et d'optimisation de l'équipage mobile, la hauteur de section de l'ouvrage a été maintenue constante à 4 m tout le long de l'ouvrage.

## CRITÈRES DE CONCEPTION

Les calculs du pont ont été menés aux Eurocodes, avec annexe nationale britannique.

## CRITÈRES DE CALCUL AUX VENTS ET MÉTHODOLOGIE

L'île Maurice étant régulièrement exposée à des vents cycloniques et extrêmes, le traitement des données météorologiques disponibles ainsi que leur prise en compte dans les calculs, constituaient un point crucial pour la conduite des études de structure.

Au moment de la conception, aucune norme nationale pour la prise en compte des effets de vent sur les ouvrages d'infrastructure de cette nature n'était disponible. Par conséquent, des études spécifiques de site, des tests en soufflerie, ainsi que des calculs de charges de vent turbulent ont été nécessaires. Systra-IBT a engagé pour ces études spécifiques le bureau d'études danois Svend Ole Hansen ApS (SOH).

SOH a conduit des études probabilistes sur la base des données météorologiques disponibles à 2 stations météorologiques de l'île. Une modélisation d'envergure d'un quart de l'île, capturant sa topographie globale et, en particulier, le relief spécifique du site de l'ouvrage, a été nécessaire pour permettre de définir les caractéristiques de vent cyclonique et non cyclonique dans le voisinage direct du pont. Les vitesses moyennes caractéristiques calculées sur 10 minutes en condition cyclonique sont de 192 km/h (période de retour de 100 ans) pour dériver les efforts statiques équivalents de vent turbulent et de 300 km/h (période de retour de 10000 ans) pour la vérification des risques d'instabilité aérodynamique. ▢



© FDA  
3



© AFQ  
4



Des tests en soufflerie ont été conduits pour vérifier la stabilité aéroélastique de l'ouvrage et pour mesurer les propriétés aérodynamiques de la section transversale (figures 7 et 8).

Les combinaisons d'actions maximisant les effets de vent ont été identifiées comme étant les combinaisons critiques à considérer pour le calcul structural d'éléments clef tels que les fondations, les piles et les pylônes, que ce soit en construction ou en service. Pour les phases de construction, les conditions cycloniques ont été considérées avec une période de retour de 50 ans, en procédant à des combinaisons de charges en situations de projet accidentelles.

Les coefficients partiels utilisés sur les matériaux ont été par conséquent les coefficients plus favorables prévus à cet effet par les Eurocodes. Pour les phases de service, ces mêmes conditions cycloniques ont été prises en compte par des combinaisons d'actions pour situations de projet transitoires (fondamentales) pour un calcul typique aux états limites ultimes.

### EXIGENCES PARTICULIÈRES POUR LA CONCEPTION

La contrainte dictée par le risque géotechnique des 2 côtés de la vallée a requis un arrangement de travées plutôt non-optimisé, avec un ratio travée de rive sur travée centrale de  $100/130=0,77$ .

Le phasage de construction suivant a été adopté :

- Les 13 premières paires de voussoirs sont coulées par encorbellements successifs symétriquement ;
- Après réalisation des fléaux à chaque pile, la travée centrale est clavée par un voussoir de clef ;
- Une extension des pylônes en béton armé est ensuite construite pour permettre l'utilisation de haubans provisoires ;
- Quatre haubans provisoires de 91 torons sont nécessaires pour la construction en encorbellement des travées de rive ;
- Ces quatre haubans provisoires sont équilibrés par huit haubans provisoires de 43 torons, du côté de la travée centrale, et ancrés dans la tête de pile de la pile opposée ;
- Une étude 3D des haubans provisoires a été nécessaire pour vérifier que les deux travées de rive pouvaient progresser en parallèle sans qu'il n'existe de conflits entre les haubans temporaires au niveau de la travée centrale ;

→ Les têtes de pile ont nécessité un aménagement complexe des cages d'armatures pour permettre le transfert des efforts entre le tablier, les pylônes et la pile en situation de service et pour pouvoir loger les haubans temporaires en phase de construction ;

→ Une fois les travées de rive terminées et les voussoirs sur culée en place, les haubans temporaires peuvent être désinstallés et les superstructures du pont mises en place. L'activité sismique à l'Île Maurice étant minimale, le cas de charge sismique ne présentait pas de difficulté particulière pour la conception de l'ouvrage.

### FORCE MAXIMALE DANS LES HAUBANS

Parmi d'autres critères de dimensionnement spécifiques, les ponts extradossés présentent une rigidité relative tablier-pylône supérieure aux ponts haubanés. Les haubans étant soumis à des variations de contrainte sous charges variables inférieures, le risque de rupture par fatigue est d'autant réduit. De ce fait, par souci d'optimisa-

tion, les recommandations du guide du Setra pour le calcul aux états limites de service furent suivies. La contrainte limite aux ELS a été calculée avec la formule suivante :

$$F_{SLS} \leq \text{Min} \left\{ 0,46 \times \left( \frac{\Delta F_{\text{Freq}}}{140} \right)^{-0,25} \times F_{UTS}, 0,60 \times F_{UTS} \right\}$$

avec  $F_{SLS}$ , la contrainte maximale autorisée dans chaque câble sous combinaisons caractéristiques, et  $\Delta F_{\text{Freq}}$ , la variation maximale de contrainte calculée sous combinaison fréquente.

Aux états limites ultimes, la contrainte maximale dans les haubans a été limitée à  $0,75 F_{UTS}$ .

#### 5- Élévation du pont.

#### 6- Section transversale du pont.

#### 5- Elevation view of the bridge.

#### 6- Cross section of the bridge.

## SOLUTIONS TECHNIQUES RETENUES

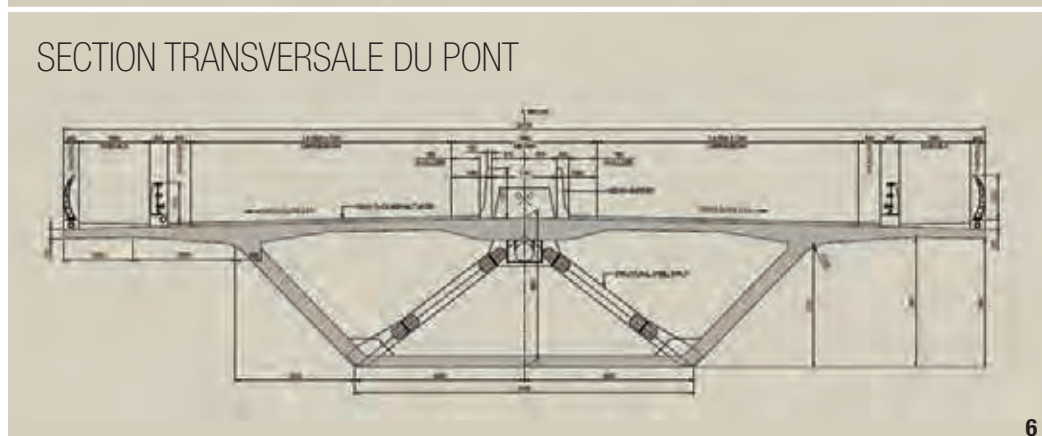
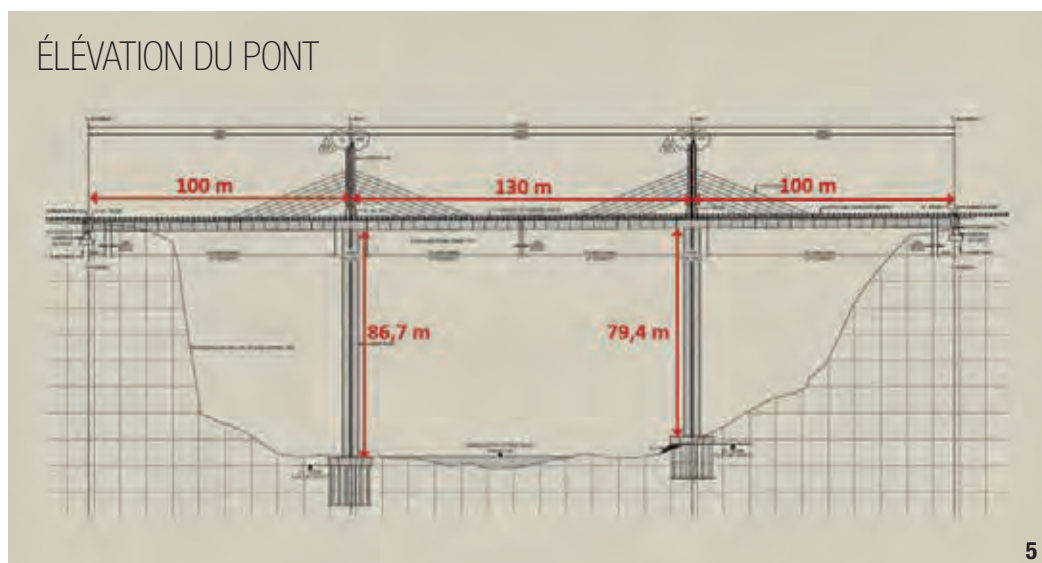
### FONDATIONS

Chaque pile est supportée par un groupe de 40 pieux forés de 1 m de diamètre et d'approximativement 17 m de long, dimensionnés principalement par les cas de charge de construction en situation de vent extrême (avec période de retour réduite en accord avec les prescriptions de l'Eurocode 1991-1-6).

### LEVÉE DE BÉTONNAGE AUX PILES

Les 2 piles sont rectangulaires et bicellulaires, de dimension 9 m par 6 m. De concert avec l'équipe de chantier, les levées de coffrages grimpants ont été limitées à 4,5 m de manière à maintenir le poids des modules de cages d'acier en dessous d'un seuil défini par le chantier.

Ces modules ont été divisés en âmes primaires et secondaires, et l'arrangement des aciers transversaux a été adapté avec les recouvrements adéquats pour permettre un placement modulaire de la cage dans le coffrage.







7

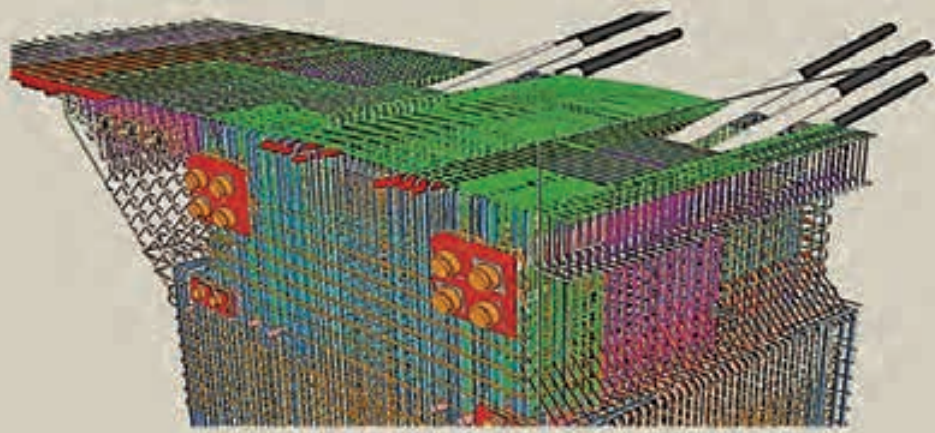
© SYSTRA-IBT



8

© SYSTRA-IBT

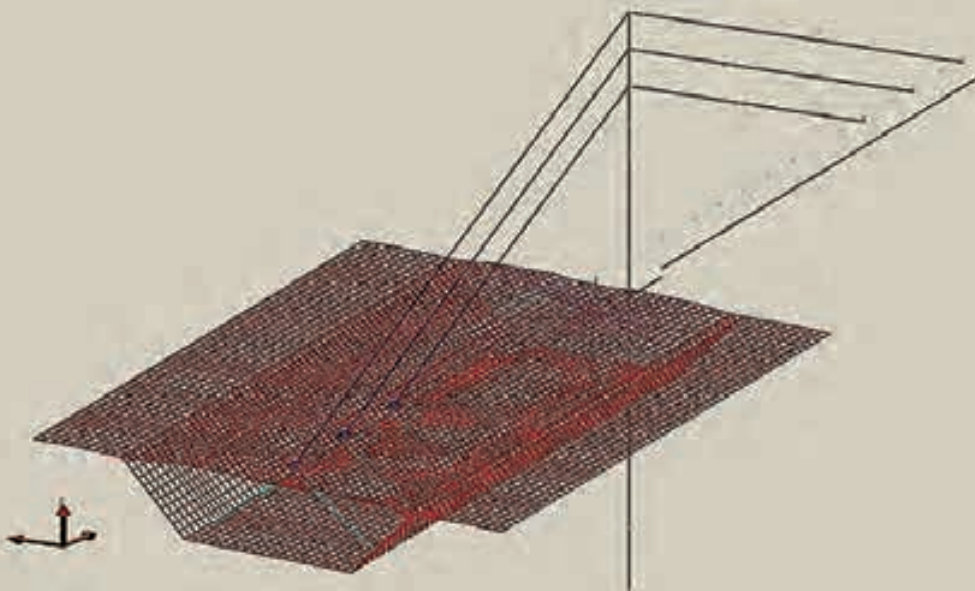
### MODÈLE TEKLA DU VOUSOIR SUR PILE



9

© SYSTRA-IBT

### MODÈLE ÉLÉMENTS FINIS PLAQUES LARSA 4D



10

© SYSTRA-IBT

7- Essais en soufflerie, close-up sur le modèle.

8- Essais en soufflerie, essai avec charges routières.

9- Modèle Tekla du voussoir sur pile.

10- Modèle éléments finis plaques Larsa 4D.

7- Tests in wind tunnel, close-up view of the model.

8- Tests in wind tunnel, test with road loading.

9- Tekla model of segment on pier.

10- Larsa 4D plate finite element model.

### PYLÔNES

Les pylônes ont une section variable à la base et ont été définis avec une hauteur de 20 m, pour 4 levées de coffrage de 5 m. Les 7 haubans permanents sont déviés à l'aide de selle VSL SSI saddle system. La friction maximale considérée a été celle donnée par le fabricant VSL, de 0,25 aux états limites ultimes. Les haubans provisoires sont ancrés dos à dos par le biais d'ancrages de précontrainte externe.

### VOUSOIRS SUR PILE

Les voussoirs sur pile sont longs de 12 m et comprennent une portion solide de 6 m permettant de transmettre les efforts du tablier et du pylône à la pile et pour ancrer les ancrages de précontrainte et les haubans provisoires. ▷



À cet effet, des trémies à refermer après les phases de construction ont été prévues afin de permettre aux haubans temporaires de venir s'ancrer au dos du diaphragme à l'intérieur du caisson (figure 9).

Des calculs sophistiqués de modèles bielles-tirants ont été menés, ainsi que des modèles éléments finis de type "briques", pour valider les champs de force définis pour les dits bielles et tirants.

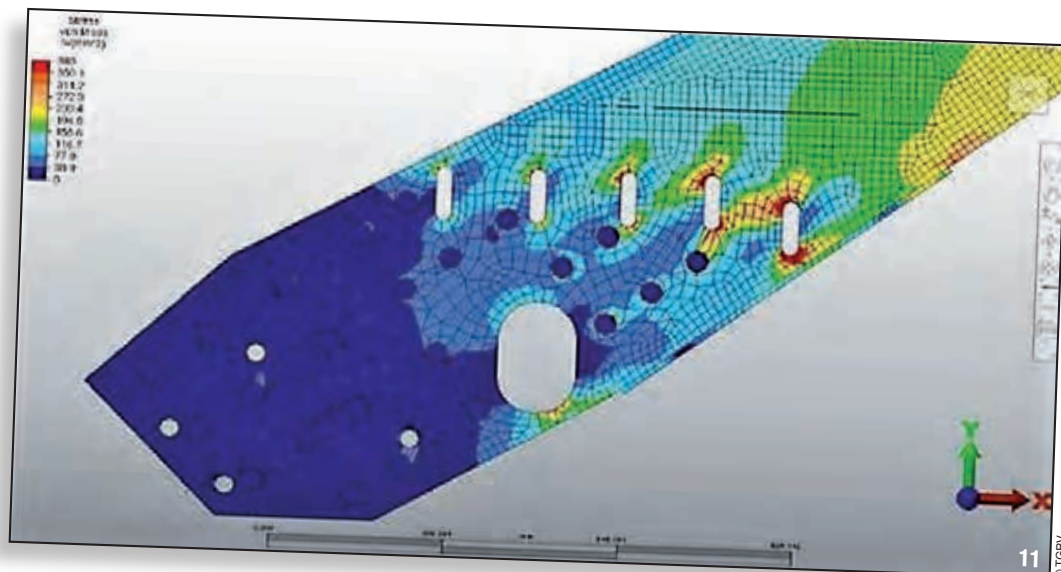
### CONCEPTION DU TABLIER

Plusieurs modèles ont été nécessaires pour calculer et justifier les câbles de précontrainte, les haubans ainsi que les armatures passives. Le logiciel Larsa 4D a été le principal outil de calcul de l'ouvrage. Entre autres, un modèle prenant en compte le phasage détaillé afin de capturer précisément les effets dus au fluage, la relaxation de la précontrainte et de manière générale tous les effets dépendants du temps, a été élaboré. Des modèles de type éléments finis plaques ont été élaborés pour étudier la flexion transversale du tablier, et tenir compte de manière adéquate de l'influence des haubans et des bracons (figure 10). Les forces et moments dus aux différents cas de charges ont été extraits des différents modèles puis combinés suivant les règles de l'Eurocode 1990 pour calculer les contraintes et la capacité à chaque section ainsi que la force maximum dans les haubans permanents et provisoires.

La précontrainte est constituée de 4 familles : des câbles multi-torons de fléau internes et logés dans le hourdis supérieur, des barres de précontrainte dans les encorbellements (pour reprise d'une partie des effets de trainage de cisaillement), de câbles multi-torons éclisses internes puis des câbles multi-torons externes de continuité.

Les bracons en acier à l'intérieur du caisson ont pour fonction de remonter l'effort tranchant dans les haubans pour les voussoirs à haubans, et de reprendre la flexion transversale du hourdis supérieur pour les voussoirs sans haubans. Leur présence permet également un raidissement de la section vis-à-vis des effets de torsion.

L'inclinaison des câbles de précontrainte externe au droit des culées permet de soulager l'effort tranchant important et prévisible au regard de la longueur relative importante des travées de rive. L'utilisation de barres de précontrainte verticale dans les âmes a été envisagée puis jugée non-nécessaire.



**11- Modèle éléments finis des bracons.**

**12- Levée de l'équipage mobile.**

**11- Finite element model of struts.**

**12- Lifting the mobile rig.**

Les demandes d'acier en torsion et tranchant ont été cumulées aux demandes d'acier pour reprendre la flexion transversale suivant la méthode de Podolny et Muller. Celle-ci consiste à apporter la quantité d'armatures correspondant à la valeur maximale donnée pour chaque face du caisson par les 3 combinaisons ci-après :

- 1,0 Tranchant/Torsion + 0,5 Flexion Transversale ;
- 0,5 Tranchant/Torsion + 1,0 Flexion Transversale ;
- 0,7 Tranchant/Torsion + 0,7 Flexion Transversale.

Pour optimiser les quantités d'armatures passives et de béton de la section, des câbles de précontrainte transversale de 4 torons sont disposés tous les 75 cm. Pour le calcul de la précontrainte transversale et pour les quantités d'acier nécessaires en flexion transversale, une portion significative du modèle longitudinal a été remplacé par des éléments plaques, permettant de capturer les efforts de flexion transversale.

Un cas accidentel de perte de hauban aléatoire, ainsi qu'un cas de remplacement de haubans également aléatoire, ont été pris en compte dans les calculs de comportement longitudinal et transversal du tablier. Pour la perte





13

© TGBV

accidentelle de hauban, un coefficient dynamique de 1,50 a été utilisé pour simuler la nature dynamique du phénomène. Le calcul des bracons a pris en compte ce phénomène et les bracons concernés ont donc été calculés pour une situation de tension (avant rupture ou remplacement du câble) et pour une situation de compression (après rupture ou remplacement du câble).

Pendant les phases de construction, les bracons connectés à un ancrage de hauban provisoire ont été calculés à la tension, puis à la compression pour les situations de service, une

fois les haubans provisoires déposés. Le détail au niveau de l'ancrage des bracons aux nœuds entre les âmes et le hourdis inférieure a dû faire l'objet d'aménagements particuliers et

**13- Vue d'ensemble du chantier, pylônes P1 et P2.**

**13- General view of the project, pylons P1 and P2.**

des réservations ont été prévues afin d'accueillir les goujons de connexions avec le béton, le passage d'aciers passifs pour le monolithisme des bossages et pour permettre la déviation des câbles de précontrainte externe. Un modèle aux éléments finis a été développé pour vérifier les plaques d'acier vis à vis des contraintes admissibles de Von Mises (figure 11).

La figure 12 montre l'opération de levage de l'équipage mobile à la pile P2 alors que les figures 1 et 13 montrent des vues d'ensemble du chantier au deuxième trimestre 2022.

### APPUIS À POT

Des appuis à pot avec les capacités aux états limites ultimes suivants ont été disposés au niveau des voussoirs sur culée : 19500 kN en charge verticale, 500 kN de soulèvement, 370 mm de déplacement.

### PROTECTION Foudre

Le bureau d'études français Seftim a été engagé pour mener une étude permettant de définir la protection contre la foudre adéquate qu'il convenait de mettre en œuvre pour la sûreté de l'ouvrage. □

## CHIFFRES CLÉS

**LONGUEUR : 330 m**

**LARGEUR : 24,7 m**

**SURFACE DE TABLIER : 8 150 m<sup>2</sup>**

**BÉTON : 14 750 m<sup>3</sup>**

**ARMATURES PASSIVES : 2 860 t (194 kg/m<sup>3</sup>)**

**HAUBANS : 87,7 t**

**PRÉCONTRAINTÉ LONGITUDINALE : 318 t**

**PRÉCONTRAINTÉ TRANSVERSAL : 44,5 t**

**BARRES DE PRÉCONTRAINTÉ : 10,5 t**

**ACIER STRUCTUREL : 327 t**

**APPUIS À POT DE 2 000 t : 4 u**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

### MAÎTRISE D'OUVRAGE :

Road Development Authority (RDA)

### ENTREPRISES DE GÉNIE CIVIL :

Transinvest, Gcc, Bouygues Travaux Publics & Vsl (TGBV)

**FOURNISSEUR DES COFFRAGES GRIMPANTS : Doka**

**FOURNISSEUR DES ÉQUIPAGES MOBILES : Rubrica**

**BUREAU D'ÉTUDES SPÉCIALISTE OUVRAGES D'ART : Systra International Bridge Technologies**

**BUREAU D'ÉTUDES SPÉCIALISTE VENT : Svend Ole Hansen ApS**

**BUREAU D'ÉTUDES SPÉCIALISTE GÉOTECHNIQUE : Arq**

**BUREAU D'ÉTUDES SPÉCIALISTE PROTECTION Foudre : Seftim**

## ABSTRACT

### DESIGN OF THE EXTRADOSSED BRIDGE ON THE A1-M1 (ISLAND OF MAURITIUS)

PAUL-EMILE DURAND, SYSTRA INTERNATIONAL BRIDGE TECHNOLOGIES - SANAD SHAMSAN, SYSTRA INTERNATIONAL BRIDGE TECHNOLOGIES - XAVIER LOYE, BOUYGUES CONSTRUCTION

The extradosed bridge on the A1-M1 is an iconic bridge undergoing construction on the Island of Mauritius. The deck is a single-cell concrete box girder with steel struts, built by cantilevering. Temporary stay cables were used for construction of the relatively long end spans needed in order to position the pylons sufficiently far from the cliffs, on which there is a risk of rock slides. Given the tropical environment in which the bridge is located, extreme wind conditions were factored into its design. □

### DISEÑO DEL PUENTE EXTRADOSADO SOBRE LA A1-M1 (ISLA MAURICIO)

PAUL-EMILE DURAND, SYSTRA INTERNATIONAL BRIDGE TECHNOLOGIES - SANAD SHAMSAN, SYSTRA INTERNATIONAL BRIDGE TECHNOLOGIES - XAVIER LOYE, BOUYGUES CONSTRUCTION

El puente extradosado de la A1-M1 es un puente icónico en construcción en Isla Mauricio. El tablero es un cajón monocelular de hormigón con puntales metálicos, construido por ménsulas. Se han utilizado atirantados provisionales para permitir la construcción de los tramos extremos, relativamente largos, necesarios para posicionar los pilonos suficientemente lejos de los acantilados, que presentan riesgos de corrimiento de tierras. Dada la localización tropical de la obra, el diseño prevé unas condiciones de viento extremo. □





1  
© PROJET PPCS

# DIGUE D'URGENCE DE 2,175 km SUR LA LANGUE DE BARBARIE, SÉNÉGAL

AUTEUR : ELHADJI NDIEGUENE, RESPONSABLE INFRASTRUCTURES ZONE NORD, EIFFAGE SÉNÉGAL

**LA LANGUE DE BARBARIE SUBIT UNE ÉROSION SÉVÈRE SUR SA FRANGE MARITIME EXPOSÉE À L'OCÉAN ATLANTIQUE. BEAUCOUP DE CONSTRUCTIONS EN FAÇADE MARITIME SONT DETRUITES. EN 2021, POUR CONTRER LE RECU DE LA CÔTE, L'AGENCE DE DÉVELOPPEMENT MUNICIPAL DU SÉNÉGAL A CONFIE AU GROUPEMENT D'ENTREPRISES EIFFAGE SÉNÉGAL / CSE LA RÉALISATION D'UNE DIGUE FRONTALE SUR 2,175 km SERVANT À UNE SOLUTION D'URGENCE DE PROTECTION DES QUARTIERS URBANISÉS DE LA LANGUE DE BARBARIE.**

Trois aléas côtiers naturels affectent les quartiers de la commune de Saint-Louis situés sur la Langue de Barbarie à savoir : l'érosion entraînant le recul du trait de côte, l'inondation fluviale et la submersion marine. L'ouverture d'une brèche (pour faciliter l'évacuation de la crue du fleuve Sénégal vers la mer) au niveau de la Langue de Barbarie à 7 km en aval de Saint-Louis suite aux inondations intervenues en fin 2003, a provoqué

un processus d'érosion intense. La largeur de la brèche, qui était initialement de 4 m a atteint aujourd'hui plus de 6 km (figure 2).

Au niveau de la partie Nord de la Langue de Barbarie, ce phénomène d'érosion côtière y est plus accentué, surtout dans la zone urbanisée, notamment les quartiers de Ndar Toute, de Guet Ndar et de Goxu Mbathe.

Une extrême précarité caractérise la situation des populations de ces

**1- Travaux de finition.**

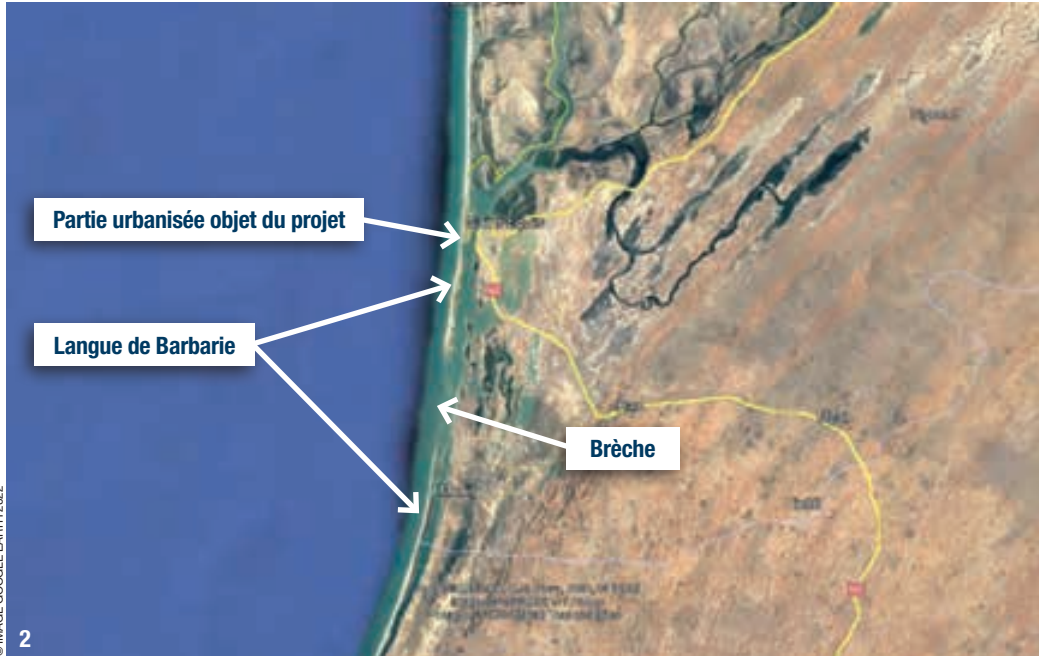
**1- Finishing works.**

quartiers où toutes les habitations en bordure de plage sont détruites, ou bien directement menacées par l'érosion côtière et la submersion marine (figure 3).

Répondant à une demande du maire de Saint-Louis formulée lors du sommet "One Planet Summit", l'Agence Française de Développement (AFD) a fait réaliser une étude de faisabilité d'un projet visant à lutter contre l'avancée de la mer à Saint-Louis ayant abouti à un appel d'offres.

Le groupement d'entreprises Eiffage Sénégal – Compagnie Sahélienne d'Entreprise est sélectionné pour réaliser cette protection d'urgence (figure 5)





**2- Brèche sur la Langue de Barbarie.**  
**3- Déferlement de vagues et destruction des habitations en façade maritime.**

**2- Breach on the Langue de Barbarie.**  
**3- Breaking waves and destruction of houses on the sea front.**



l'AFD ; ceci de par la sensibilité de la zone d'implantation de l'ouvrage (le littoral) et de la nature des travaux ciblés. Approbation des matériaux :

Pour s'assurer en continu de la qualité des matériaux utilisés sur le chantier, les essais suivants (figure 9) sur les matériaux sont réalisés tout au long du projet en respectant les spécifications de la Norme Européenne avec des fréquences indiquées :

- Granulométrie ;
- Masse moyenne de la blocométrie ;
- Éclatement ;
- Pourcentage de surface cassée ;
- Masse volumique ;
- Absorption d'eau ;
- Résistance à la fragmentation ;
- Intégrité des enrochements ;
- Résistance à l'usure (essai micro Deval) ;
- Impureté ;
- Résistance au "coup de soleil".

Pour la blocométrie, les essais du cinquième trimestre sur les enrochements de 1 à 2 t sont effectués le 29 mars 2022 (figure 7) et ceux sur les enrochements de 100 à 200 kg sont effectués le 19 mars 2022 (figure 8). Ils sont effectués à la carrière avant livraison pour s'assurer des bonnes dimensions avant acheminement sur site par les camions qui parcourent les 200 km séparant la carrière au chantier. Pour que la digue puisse jouer efficacement son rôle de fixation du trait de côte, le respect des dimensions des blocs est nécessaire.

Concernant le volet QHSE (Qualité Hygiène, Sécurité et Environnement) ; les objectifs (avec indicateurs) du projet sont en cohérences avec ceux définies dans la politique Qualité Sécurité Environnement et sont :

- Qualité : Satisfaction client (respect des délais, qualité des travaux...) > 9 ;

pour un montant de 13,4 millions d'euros après avenants pour 18 mois de délai initial hors études de mise au point du dossier d'appel d'offre (figure 6).

Pour la répartition des tâches entre membres du groupement, voir le tableau A.

La fixation du trait de côte est la principale fonction visée par l'ouvrage projeté (figure 4). Il contribuera à éviter que d'autres habitations ne soient détruites, ceci en attendant qu'une solution de protection plus durable du littoral soit définie et mise en œuvre.

La longueur initiale de la digue est de 2150 m et démarre à la jonction de l'ouvrage de 2017 et se termine au sud (quai de poissons de Guet Ndar) à la fin de la zone urbaine ; 25 m y sont ajoutés par la suite pour terminer l'ouvrage

au-delà du rayon d'influence de la tour de contrôle, faisant un linéaire final de 2175 m.

Le projet a fait l'objet d'une Étude d'Impact Environnemental et Social (EIES), conformément aux dispositions de la

Loi N°2001-01 du 15 janvier 2001 portant Code de l'Environnement du Sénégal et de son décret d'application n°2001-282 du 12 avril 2001. Il a aussi pris en compte les exigences environnementales et sociales de

**TABLEAU A : RÉPARTITION DES TÂCHES ENTRE MEMBRE DU GROUPEMENT**

Désignation	Tâches prévues
<b>Eiffage Sénégal</b>	<b>Le mandataire Eiffage Sénégal aura la charge de piloter le projet en réalisant les travaux conformément au marché. Eiffage aura en charge toute l'organisation et le suivi du projet.</b>
<b>Compagnie Sahélienne d'Entreprise (CSE)</b>	<b>L'entreprise CSE assure la production, la fourniture, la livraison, le stockage des blocs de basalte pendant toute la durée des travaux. Ces blocs proviennent de la carrière de CSE situé à Diack dans la région de Thiès à 200 km de Saint-Louis.</b>





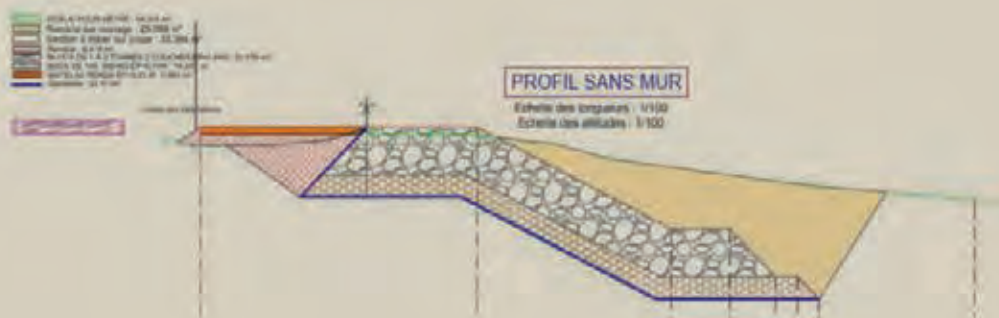
4 © PROJET PPCS

- Sécurité :
    - Taux de fréquence des accidents du travail  $\leq 3,28$ ,
    - Taux de gravité des accidents du travail  $\leq 0,03$  ;
  - Environnement : Critère de maîtrise environnementale  $> 8,7$  avec attestation environnementale.
- Pour l'atteinte de ces objectifs plusieurs actions suivantes seront mises en œuvre :
- Suivi de la mise en œuvre du PAQ (Plan d'assurance Qualité) ;
  - Suivi du PGES (Plan de Gestion Environnementale et Sociale) ;
  - ¼ d'heure sécurité hebdomadaire ;
- Respect du port des EPI (Équipements de protection individuelle) ;
  - Formation ;
  - Signalisation du chantier ;
  - Traiter les mécontentements client (courriers, PV réunion, etc.) et les fiches de non-conformités déclarées par le client.

4- Fixation du trait de côte ; partie de digue finie avec gain de plage.  
 5- Profil en travers de la digue zone sans mur.  
 6- Planning d'exécution validé.

4- Fixing the coastline; part of the finished dyke with reclaimed beach.  
 5- Cross section of the dyke in the area with no wall.  
 6- Validated work schedule.

### PROFIL EN TRAVERS DE LA DIGUE ZONE SANS MUR



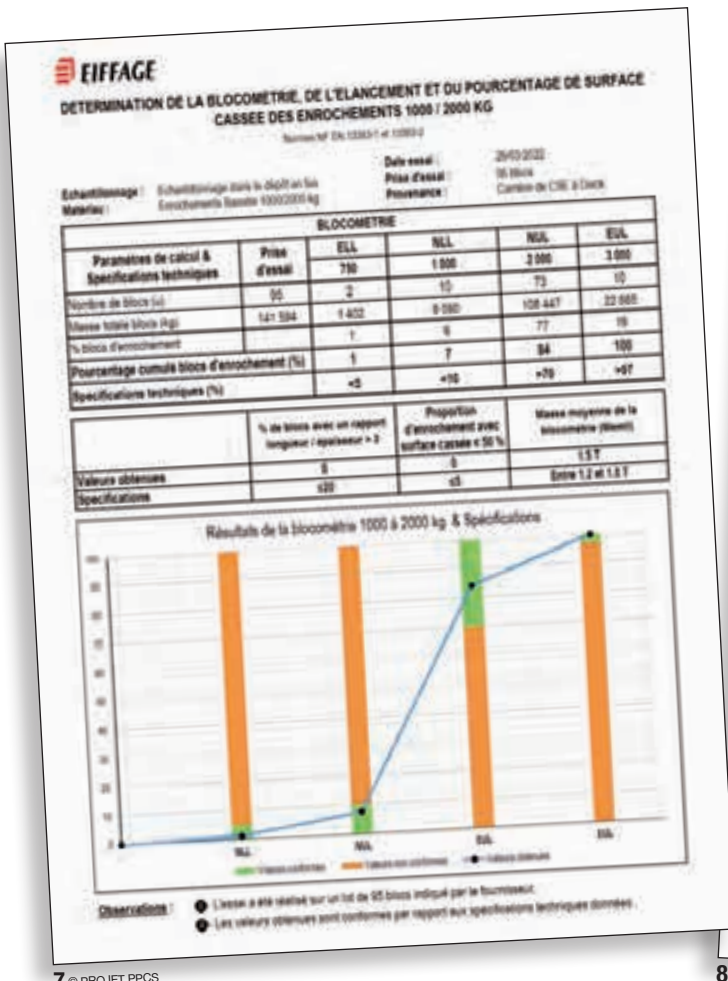
5 © PROJET PPCS

### PLANNING D'EXÉCUTION VALIDÉ

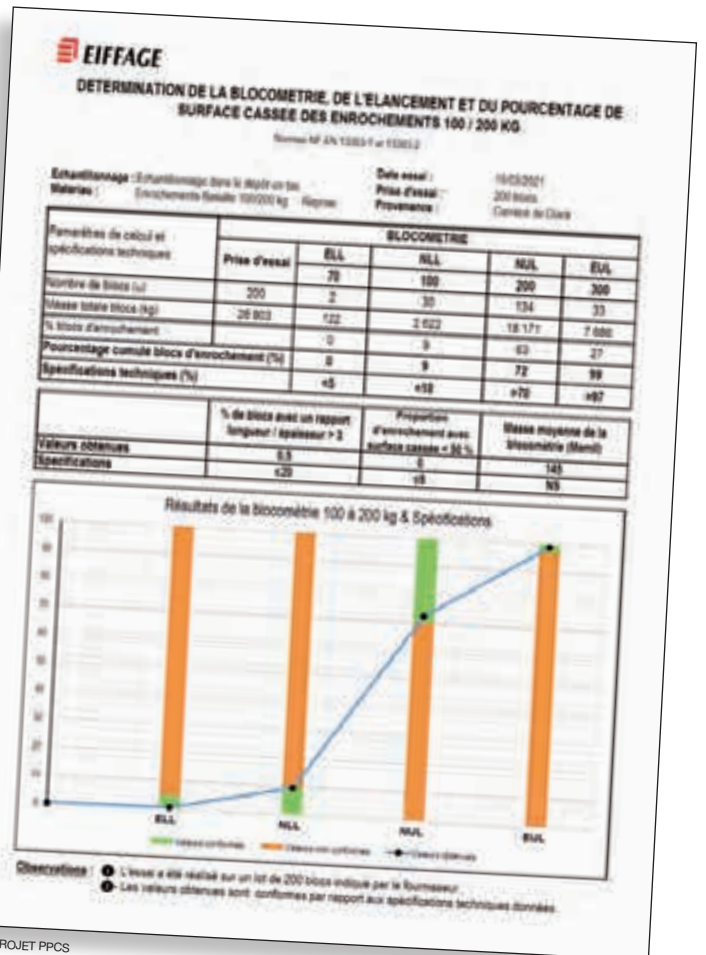
Planning d'exécution des Travaux																										
2020							2021												2022							
6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6		
Mise au point des études d'exécution																										
							Approvisionnement, stocks tampon																			
							Exécution des travaux de la digue (Terrassements, pose géotextile, couche filtre, carapace et remblais sur ouvrage)																			
																			Gabionnage							

6 © PROJET PPCS





7 © PROJET PPCS



8 © PROJET PPCS

ESSAIS	NORME	FREQUENCE	SPECIFICATIONS CPT
Granulométrie	EN 13383-2	En début de chantier et tous les trois mois ensuite	LMB 100 / 200 kg HMA 1000 / 2000 kg
Masse moyenne de la blocométrie	EN 13383-2	En début de chantier et tous les trois mois ensuite	
Elancement	EN 13383-2	En début de chantier et tous les trois mois ensuite	≤ 20% pour "petit enrochement" et "enrochement moyen" ≤ 5% pour "gros enrochement"
Pourcentage de surface cassée	EN 13383-2	En début de chantier et tous les trois mois ensuite	≤ 5 %
Masse volumique	EN 13383-2	En début de chantier et tous les trois mois ensuite	≥ 2,8 t/m <sup>3</sup>
Absorption d'eau	EN 13383-2	En début de chantier et tous les trois mois ensuite	≤ 0,5 %
Résistance à la fragmentation	EN 1926	En début de chantier et tous les trois mois ensuite	≥ 60 MPa
Intégrité des enrochements		Contrôlée visuellement lors des livraisons (ou à l'aide de l'indice de continuité ou si demandé par le MOUV ou le MOE de l'essai de chute en carrière)	
Résistance à la fissure (essai micro deval)	EN 1097-1	En début de chantier et tous les trois mois ensuite	≤ 20
Impureté		Contrôlée visuellement à chaque livraison	
Résistance au "coup de soleil"	EN 13383-2	En début de chantier et tous les trois mois ensuite	Au plus un des morceaux d'enrochement testés présente des signes de «coup de soleil» et aucun des morceaux testés en complément

9 © PROJET PPCS

Une fiche d'appréciation du client est envoyée lors de la réception provisoire du chantier.

## LA TOPOGRAPHIE COLLECTE DE DONNÉES

Les données géodésiques, cartographiques, cadastrales, géométriques, bathymétriques et topographiques de base nécessaires sont collectées et nous permettent d'abord d'identifier la polygonale, de procéder à sa vérification, à sa densification et ensuite aux levés de détails.

Cette polygonale a été faite contradictoirement avec le client et son représentant.

Nous utilisons le point d'appui RRS06 (X=342.308,276 ; Y=1.772.529,693 ; Z ellipsoïdale=32,529 exprimées en

7- Résultats essais blocométrie sur enrochements 1 à 2 t du 29 mars 2022.

8- Résultats essais blocométrie sur enrochements 100 à 200 kg du 19 mars 2021.

9- Liste des essais sur enrochements.

7- Results of block size distribution tests on rocks of 1 to 2 tonnes on 29 March 2022.

8- Results of block size distribution tests on rocks of 100 to 200 kg on 19 March 2021.

9- List of tests on rockfill.

UTM Fuseau 28 Nord) suivant les observations des points géodésiques du 1<sup>er</sup> ordre du réseau de référence du Sénégal (RRS) (figure 1).

## CHOIX DU MATÉRIEL TOPOGRAPHIQUE

Le matériel topographique est choisi en fonction des prescriptions définies dans le CCTP, concernant les ouvrages à réaliser :

- Tolérances d'implantation +/- 100 mm en planimétrie ;
- Tolérances d'implantation +/- 50 mm en altimétrie.

## BORNES DE LA POLYGONALE

Les bornes seront placées sur un parcours le plus tendu possible et équidistantes d'environ 150 à 200 m.

Les bornes principales ont une géométrie de forme pyramidale avec les dimensions suivantes :

- Base de la borne sera rectangulaire 0,27 x 0,27 m ;
- Sommet de la borne sera rectangulaire 0,14 x 0,14 m ;
- Hauteur de la borne 0,40 m.

## CHEMINEMENT POLYGONAL

Le cheminement est de type fermé ou encadré, ce qui garantit une haute précision.

Le cheminement planimétrique est fait à l'aide de la station totale TC 703 de Leica par la méthode "double retournement avec centrage forcé".

Le nivellement des bornes de la polygonale est de type direct avec un niveau automatique NAK2 de Leica.





10 © PROJET PFC

**RATTACHEMENTS PLANIMÉTRIQUES DES POLYGONALES AU RÉSEAU GÉODÉSIQUE NATIONAL (RRS)**

Les polygonales de base sont rattachées au réseau géodésique national (RRS) dont le système de coordonnées est UTM 28 Nord.

**RATTACHEMENTS ALTIMÉTRIQUES AU NIVELLEMENT GÉNÉRAL DU SÉNÉGAL (NGS)**

Les rattachements altimétriques des polygonales de base sont effectués par un niveau automatique Leica NAK2 à

partir des bornes ou macarons du réseau de Nivellement Général du Sénégal NGS.

Le cheminement altimétrique est de type direct en double station.

**TOLÉRANCES DES IMPLANTATIONS**

Les implantations sont faites avec les tolérances suivantes en altimétrie et en planimétrie :

- Tolérances d'implantation +/- 100 mm en planimétrie ;
- Tolérances d'implantation +/- 50 mm en altimétrie.

- 10- Exécution du terrassement.
- 11- Pose géotextile.

- 10- Execution of earthworks.
- 11- Laying geotextile.

**EXÉCUTION TRAVAUX**

Après l'implantation des ouvrages, les phases suivantes sont suivies pour l'exécution des travaux :

- Terrassements et constitution du noyau en sable ;

- Pose du géotextile servant à maintenir le noyau en place ;
  - Mise en œuvre de la couche filtre (enrochements de 100 à 200 kg) ;
  - Mise en œuvre de la carapace (enrochements de 1 à 2 t) ;
  - Remblais sur ouvrages ;
  - Démolitions de bâtiments en ruines en arrière de la protection sur l'emprise du projet et des ouvrages béton de haut de plage ;
  - Remblais derrière l'ouvrage ;
  - Mise en œuvre du matelas Reno.
- Ils incluent notamment les opérations ci-après :



11 © PROJET PFC





**12- Exécution de la couche filtre de 100 à 200 Kg.**  
**13- Exécution de la carapace de 1 à 2 t.**

**12- Execution of the 100 to 200 kg filter layer.**  
**13- Execution of the 1- to 2-tonne shell.**

marée affouille le noyau et déstabilise la couche de filtre (figure 12).

### EXÉCUTION DE LA CARAPACE

Après la mise en œuvre de la couche filtre sur toute la section, les enrochements de 1 à 2 t sont approvisionnés à la fin de la section en cours de sorte qu'ils soient accessibles aux pelles. Un gabarit est installé. Les pelles hydrauliques bras long se chargent de la mise en place des enrochements de 1 à 2 t (figure 13). Cette mise en œuvre se fait de sorte à éviter de circuler sur la sous-couche déjà achevée. Ceci permet aussi de ne pas endommager le géotextile. Vérification avec le niveau des cotes finies sur les différentes sections au fur et à mesure de l'exécution. Les corrections sont faites pour rester à la limite des tolérances.

### EXÉCUTION DES REMBLAIS

Levè TN actuel de la zone à remblayer afin de maîtriser l'état des lieux pour les MNT. Lors de la mise en forme du noyau sur les sections dont l'arrière de l'ouvrage est à remblayer, le produit du terrassement est directement utilisé pour le remblai. ▷

- Les études et plans d'exécution sur les bases actualisées du levé topobathymétriques réalisé contradictoirement en début de chantier ;
- La réalisation des pistes d'accès ;
- Le pompage de rabattement de nappe.

### EXÉCUTION TERRASSEMENT

Implantation des limites de la zone à terrasser avec déports et repérage des axes principaux.  
 Sondage des niveaux avant le démarrage des fouilles.

La mise en œuvre est calée suivant les périodes de marée basse (nocturne et diurne). Excavation à l'aide de deux pelles hydrauliques disposées l'une en haut de talus et l'autre en bas. Le reprofilage du fond de fouille est fait ainsi que la mise en forme de la section du noyau (figure 10).

### POSE GÉOTEXTILE

Déroulement et mis en place du géotextile à l'aide de 2 plongeurs avec l'assistance de la pelle longue flèche (figure 11).

### EXÉCUTION DE LA COUCHE FILTRE

Le matériau du filtre (100-200) kg est transporté de la zone de stockage principal vers la zone de travail. Des tombereaux articulés longent la plage pour déverser directement les blocs à la fin de la section en cours à la portée des pelles sur chenilles bras long qui se chargeront de la mise en place.

La section achevée est immédiatement protégée avec les blocs d'enrochements de carapace sur sa partie exposée (butée). Ce pour éviter que la haute



© PROJET PFC

© PROJET PFC





14

© PROJET PPCS

La pelle hydraulique met en œuvre et étale le matériau avec l'appui du chargeur, jusqu'à la cote finie (figure 1). Sur les sections nécessitant un remblaiement, le dumper se charge d'approvisionner avec le matériau issu du terrassement des zones décaissées et mis en dépôt au niveau des zones de stockage temporaire. Le matériau est disposé en tas et le chargeur ou la pelle sur chenille procède à l'étalage à la cote finie.

#### POSE DU MATELAS RENO

Une fois les remblais réceptionnés, la pose du matelas Reno prévu se fait de la façon suivante :

- Implantation de l'alignement et des niveaux finis du matelas Reno ;
- Approvisionnement des cailloux de remplissage 60 à 120 mm (à l'arrière de l'ouvrage) sur la bande de remblai ;
- Pose des matelas Reno déjà façonné ;
- Réglage de l'alignement et assemblage des différents matelas avec le fil de ligature ;

#### CHIFFRES CLES

**ENROCHEMENTS DE 1 À 2 t : 54 400 m<sup>3</sup>**  
**ENROCHEMENTS DE 100 À 200 kg : 29 200 m<sup>3</sup>**  
**GÉOTEXTILES : 45 000 m<sup>2</sup>**  
**TERRASSEMENTS : 112 000 m<sup>3</sup>**  
**MATELAS RENO : 860 m<sup>3</sup>**  
**REMBLAIS TECHNIQUES : 46 000 m<sup>3</sup>**

#### DATES

**DÉMARRAGE DES TRAVAUX : janvier 2021**  
**FIN PRÉVUE : juin 2022**

#### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**GROUPEMENT : Eiffage Sénégal (mandataire) - Compagnie Sahélienne d'Entreprise**  
**FINANCEMENT : Agence Française de Développement - État du Sénégal**  
**MAÎTRE D'OUVRAGE : Agence de Développement Municipal du Sénégal**  
**MAÎTRE D'ŒUVRE : Groupement Artelia France - Scet Tunisie**

#### FOURNISSEURS

**GÉOTEXTILES ET GABIONS : France Maccaferri**  
**ENROCHEMENTS : Compagnies Sahélienne d'Entreprise**  
**MATÉRIEL : Centre de la mer / Entreprise Moussa Gueye / Diaw et Frères / Eiffage Sénégal**

**14- Les vagues des tempêtes déferlent désormais sur l'ouvrage.**

**14- Storm waves now break over the structure.**

- Remplissage des matelas Reno avec la pelle mécanique ;
  - Réglage et rangement manuel des blocs par les équipes constituées d'un chef d'équipe et des manœuvres ;
  - Après le remplissage des matelas, les équipes procèdent à la pose des couvertures et à la ligature ;
  - Respect des exigences du CCTP.
- Les résultats après exécution de la digue montrent le bon fonctionnement de celle-ci qui joue pleinement son rôle de fixation du trait de côte ; les vagues des tempêtes déferlent désormais sur l'ouvrage et non sur les habitations (figure 14). □

#### ABSTRACT

### 2.175 KM EMERGENCY BREAKWATER ON THE LANGUE DE BARBARIE, SENEGAL

ELHADJI NDIEGUENE, EIFFAGE SENEGAL

**The Langue de Barbarie peninsula is subjected to severe erosion on its maritime fringe exposed to the Atlantic Ocean; many buildings on the sea front are being destroyed. In 2020, to combat the retraction of the coastline, the Senegal Municipal Development Agency awarded the Eiffage Sénégal/CSE consortium a contract for the construction of a front breakwater serving as an emergency solution to protect the urbanised districts of the Langue de Barbarie. The works are being carried out over 2.175 km and pass through the most heavily populated district in Africa, Guet Ndar, which has the highest population density in Africa and fifth highest in the world. This district has more than 25,206 inhabitants, with a density of 1,491 inhabitants/ha according to the regional statistics office. □**

### DIQUE DE EMERGENCIA DE 2,175 KM SOBRE LA LENGUA DE BARBARIE, SENEGAL

ELHADJI NDIEGUENE, EIFFAGE SENEGAL

**La Lengua de Barbarie sufre una severa erosión en su franja marítima expuesta al océano Atlántico; muchas construcciones en primera línea de mar han quedado destruidas. En 2020, para frenar el retroceso de la línea de costa, La Agencia de Desarrollo Municipal de Senegal ha encargado al consorcio de empresas Eiffage Sénégal/CSE la realización de un dique frontal que ofrezca una solución de emergencia para la protección de los distritos urbanizados de la Lengua de Barbarie. Las obras se desarrollan a lo largo de 2,175 km y atraviesan el distrito más poblado de África, Guet Ndar, que presenta la mayor densidad de población del continente y la 5ª del mundo. Según el departamento regional de estadística, este distrito cuenta con 25206 habitantes, con una densidad de 1491 habitantes/ha. □**



Digitalisation des activités

Travail collaboratif

Partage des données



**Bienvenue  
dans un monde  
qui se construit autrement.**

L'univers de la construction se transforme. SMABTP adapte ses solutions d'assurance pour mieux vous accompagner. Avançons ensemble.

**Notre métier : assurer le vôtre.**

[www.groupe-sma.fr](http://www.groupe-sma.fr)

SMABTP - Société mutuelle d'assurance du bâtiment et des travaux publics.  
Société d'assurance mutuelle à cotisations variables, entreprise régie par le Code des assurances.  
RCS PARIS 775 684 764 - 8 rue Louis Armand - CS 71201 - 75738 PARIS CEDEX 15



**SMABTP**  
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

**1<sup>er</sup> assureur  
de la construction**





1  
© SETEC TPI

# LE QUATRIÈME PONT D'ABIDJAN

AUTEURS : JEAN-BERNARD DATRY, CONSULTANT, SETEC TPI - AYMERIC PERRET DU CRAY, INGÉNIEUR EN CHEF, SETEC TPI - ÉRIC MARTINET, DIRECTEUR DE TRAVAUX, SETEC TPI - JEAN DRIVET, DIRECTEUR, SETEC TERRASOL - SIMON GRENERY, INGÉNIEUR, SETEC TERRASOL

L'OBJECTIF GÉNÉRAL DU PROJET DÉNOMMÉ "4<sup>e</sup> PONT D'ABIDJAN" EST D'ACCROÎTRE LA MOBILITÉ DANS LA VILLE D'ABIDJAN. SA MISE EN ŒUVRE COMPREND LA CONSTRUCTION D'UNE VOIE EXPRESS RELIANT LES COMMUNES DE YOPOUGON, D'ATTÉCOUBÉ, D'ADJAMÉ ET DU PLATEAU SUR UNE LONGUEUR TOTALE DE 7,2 km. IL PERMETTRA DE DÉSENCLAVER LA COMMUNE RÉSIDENTIELLE DE YOPOUGON (2 MILLIONS D'HABITANTS) EN LA RELIANT AU PLATEAU PAR UN SECOND AXE EST-OUEST DOUBLANT L'AUTOROUTE DU NORD QUI CONTOURNE ACTUELLEMENT LA BAIE DU BANCO. 3,2 km DE TABLIERS EN BÉTON PRÉCONTRAIT ASSURENT LE FRANCHISSEMENT DE CETTE BAIE.

## CONTEXTE

Depuis 2011, le gouvernement ivoirien a entamé de grands chantiers de construction de routes et d'ouvrages sur toute l'étendue du territoire afin de désenclaver les villages, de raccorder les régions et/ou départements, d'améliorer les conditions de circulation dans

les villes et en particulier de fluidifier le trafic dans Abidjan, la capitale économique du pays.

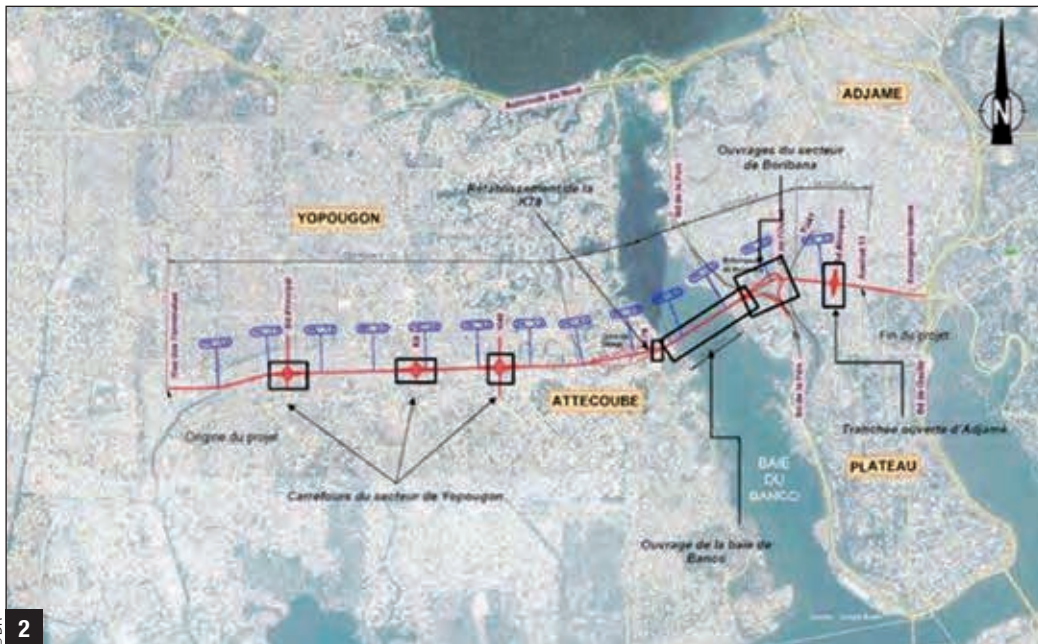
Ainsi, des projets majeurs comme le 3<sup>e</sup> pont Henri Konan Bédié, l'échangeur Valérie Giscard d'Estaing et le boulevard de France ont été réalisés et offrent de nouvelles alternatives

**1- Tablier Sud du pont du Banco.**

**1- South deck of Banco Bridge.**

aux usagers. Beaucoup reste encore à faire compte tenu de la fréquence des embouteillages et des accidents de la circulation sur certaines artères de la ville d'Abidjan. Ces besoins sont par ailleurs exacerbés par la croissance démographique et celle du parc automobile ivoirien.





© DR 2

Dans la dynamique d'amélioration continue des conditions de vie de l'ensemble de la population vivant en Côte d'Ivoire, le gouvernement a inscrit au Plan National de Développement la construction d'un ensemble d'ouvrages reliant la commune de Yopougon au Plateau, et dénommé "4<sup>e</sup> Pont d'Abidjan".

### LE PROJET ROUTIER

L'objectif général du projet est de contribuer au renforcement et au développement des infrastructures afin d'accroître la mobilité dans la ville d'Abidjan.

Sa mise en œuvre comprend la construction d'une voie express reliant les communes de Yopougon, d'Attécoubé,

d'Adjamé et du Plateau sur une longueur totale de 7,2 km. Le projet permettra de désenclaver la commune résidentielle de Yopougon (2 millions d'habitants) en la reliant au Plateau par un second axe Est-Ouest doublant l'autoroute du Nord qui contourne actuellement la baie

- 2- Plan de situation.
- 3- Repérage des ouvrages.

- 2- Location drawing.
- 3- Identification of the structures.

du Banco (figure 2). Il traverse les quartiers de Mamie Faitai, Yaosséhi, Doukouré, Nouveau Quartier Extension, les quartiers et le village de Fromager, Jean Paul II en Haut, Santé 3, communément appelé Mossikro, Abidjan Santé, Boribana, et les quartiers et le village de Dallas, du boulevard Nangui Abrogoua, du quartier Rouge, et d'Adjamé village. Les emprises nécessaires à l'aménagement des viaducs, des voies d'accès et des accotements ont fait l'objet d'une déclaration d'utilité publique. À l'occasion de cette opération d'aménagement, 11 500 familles vivant dans 6 970 habitations précaires sont relogées dans les communes traversées par le projet. Le projet est financé par la Banque

Africaine de Développement (BAD) et l'État de Côte d'Ivoire. Il est réalisé par la China State Construction Engineering Corporation (Cscec). La maîtrise d'ouvrage est assurée par l'Ageroute et la maîtrise d'œuvre des travaux par le groupement Setec tpi / Setec Côte d'Ivoire / Setec International / Terrabo ingénieur conseil / Studi International.

### LE FRANCHISSEMENT ET SON ÉLARGISSEMENT

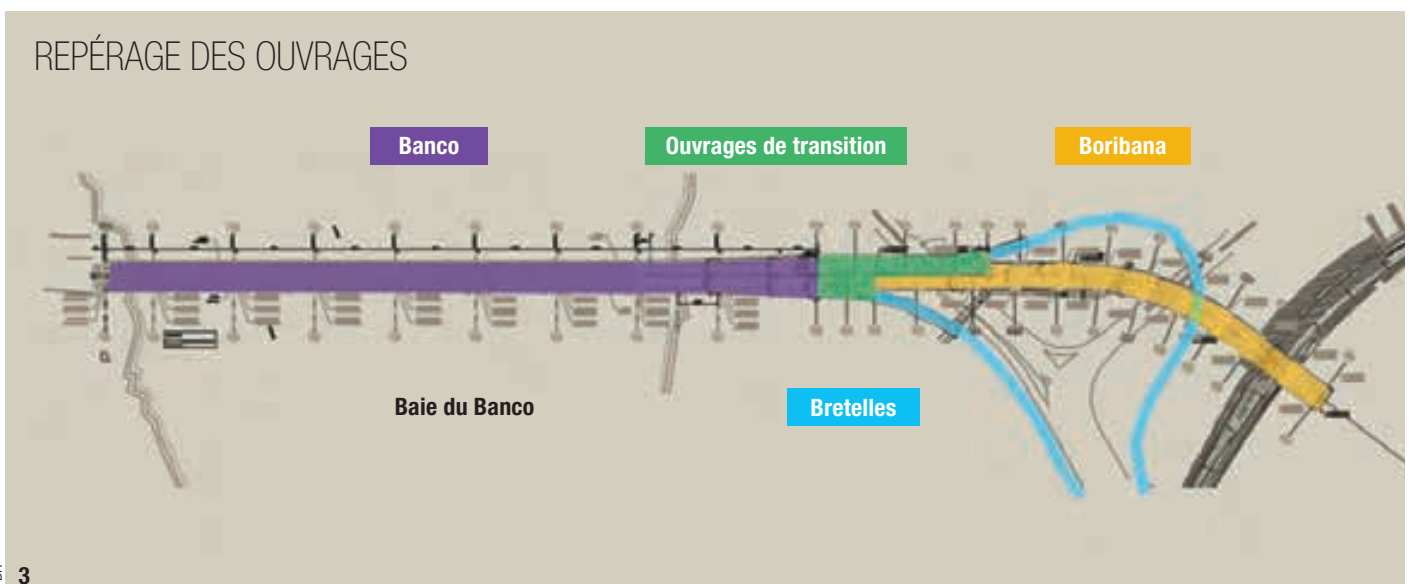
Ce projet routier comprend le franchissement de la baie du Banco, un échangeur routier sur la berge Est de la lagune et le pont de Boribana acheminant le trafic jusqu'au Plateau. Cet ensemble, dénommé "4<sup>e</sup> pont d'Abidjan" représente 3,2 km de tabliers en béton précontraint (figure 3).

En décembre 2019, alors que les études et les premiers travaux sont engagés, l'Ageroute décide d'adapter le projet pour qu'il puisse accueillir un bus en site propre (BRT = Bus Rapide Transit) en ajoutant deux voies de circulation au viaduc de Boribana. Afin de ne pas retarder les travaux en cours, l'Ageroute confie cette étude à Setec tpi, membre du groupement de maîtrise d'œuvre, qui produit dans un délai de trois mois les adaptations nécessaires : élargissement des tabliers des viaducs, création de deux ouvrages de transition, et modification de la géométrie routière des bretelles Nord et Sud.

### LE CONTEXTE SANITAIRE

L'entreprise Cscec, travaille déjà depuis un an sur le projet quand débute la crise sanitaire. Les études sont en cours lorsque les états déclarent l'état d'urgence. ▷

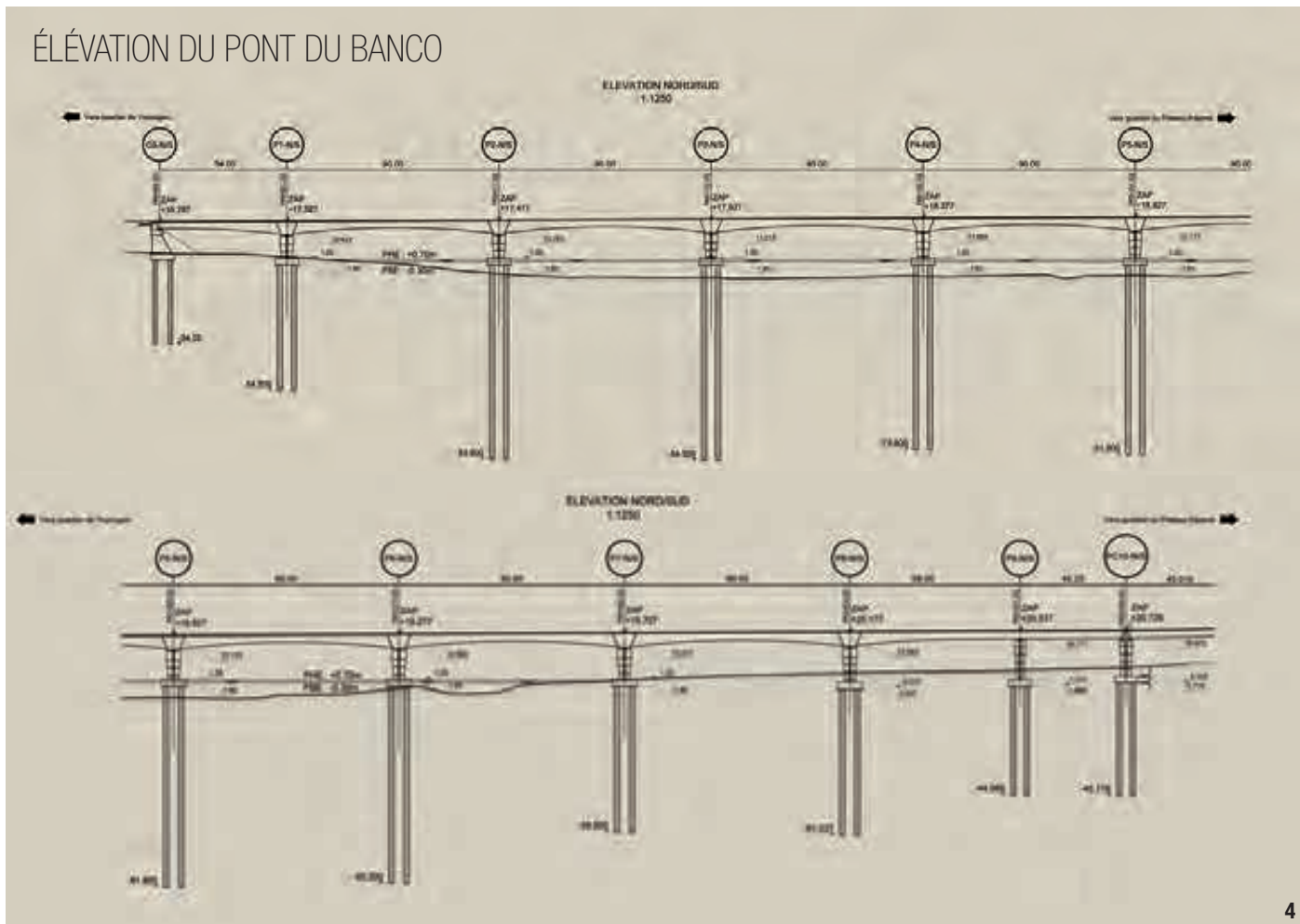
## REPÉRAGE DES OUVRAGES



© DR 3



## ÉLÉVATION DU PONT DU BANCO



4

4- Élévation du pont du Banco.  
5- Pont du Banco vu depuis la culée C0.

4- Elevation view of Banco Bridge.  
5- Banco Bridge viewed from abutment C0.

Cscec, en raison de l'épidémie de coronavirus, a mis la quasi-totalité de son personnel local en arrêt à compter du 25 mars 2020. Les travaux se sont néanmoins poursuivis, à un rythme moindre dans un premier temps, avec pour seul personnel les expatriés chinois. Courant mai 2020, l'entreprise a commencé à réintégrer une partie de son personnel local. Pour ce faire, elle a mené une campagne de tests afin de s'assurer de la non-contagion du personnel réintégré : les personnes testées négatives au coronavirus ont été confinées dans des locaux aménagés par l'entreprise dans l'enceinte du chantier. Un premier local a été bâti avec une

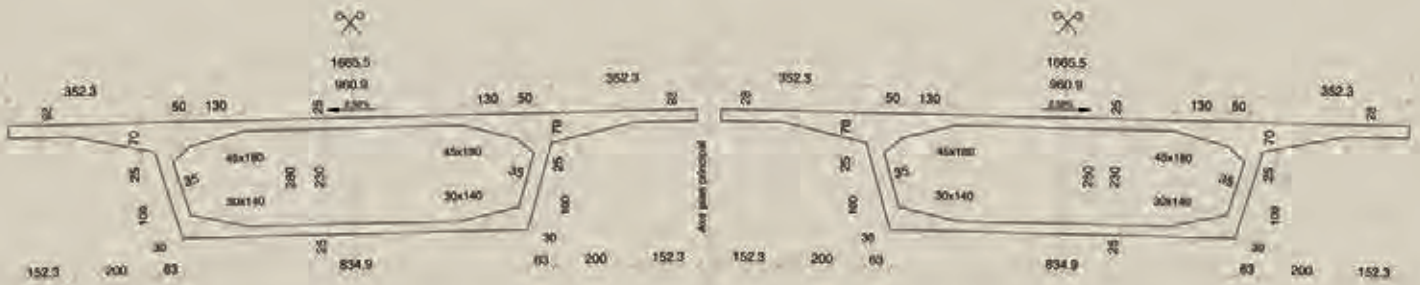


5

© SETEC TPI

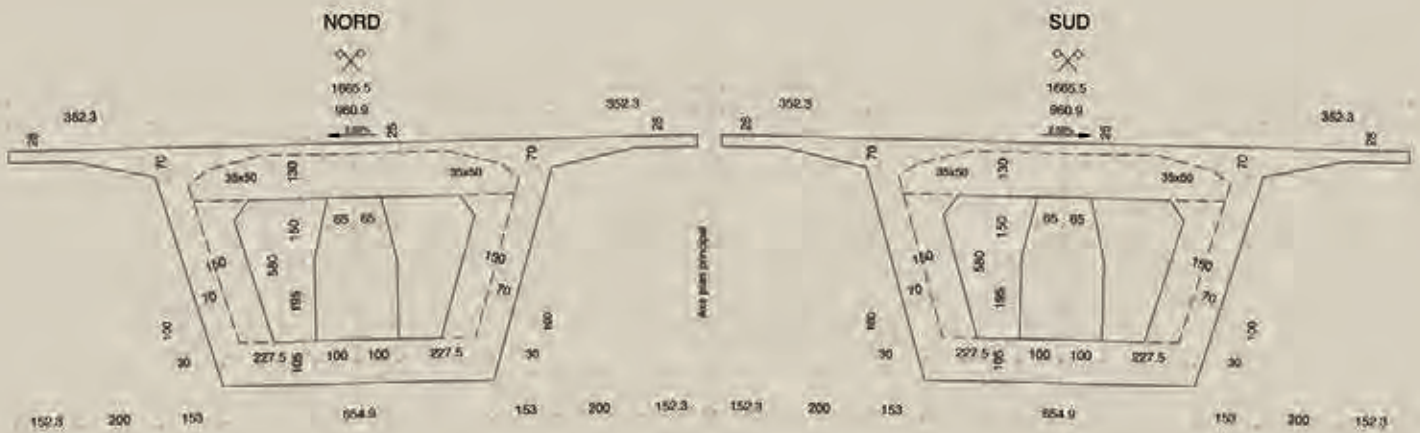


## COUPE TRANSVERSALE À MI-TRAVÉE - PONT DU BANCO



6

## COUPE TRANSVERSALE SUR APPUI - PONT DU BANCO



7

© DR



8

6- Coupe transversale à mi-travée - Pont du Banco.

7- Coupe transversale sur appui - Pont du Banco.

8- Voussoir sur pile en cours de réalisation, pont du Banco.

6- Cross section at mid-span - Banco Bridge.

7- Cross section on support - Banco Bridge.

8- Segment on pier undergoing construction, Banco Bridge.

capacité d'accueil de 60 personnes. Un second local pouvant accueillir 12 personnes a ensuite été mis en place. Enfin, un troisième bâtiment portant la capacité d'hébergement à 150 personnes au total, a été réalisé sur un autre site du chantier. ▶





9

© SETEC TPI

Ces mesures ont permis une reprise très progressive des activités de chantier. Il faut toutefois reconnaître que la productivité n'a pas retrouvé en 2021 le niveau d'avant covid. Ceci notamment à cause du fait que les approvisionnements, et particulièrement ceux en provenance de Chine, ont été perturbés.

La crise sanitaire n'a pas eu d'incidence directe sur l'activité des équipes de la mission de contrôle. Tout le personnel de celle-ci est resté sur le chantier et a travaillé normalement, nonobstant les dispositions de protection en vigueur.

#### LE CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Abidjan a été bâtie sur une multitude de lagunes reliées par de nombreux canaux, ce qui en fait un vaste bassin sédimentaire dominé par de hauts plateaux.

L'origine de ces lagunes côtières est récente et liée aux variations du niveau de la mer ponctuées par les périodes de glaciation. L'abaissement du niveau marin lors de la dernière glaciation a favorisé le creusement de vallées côtières au sein des plateaux sédimentaires. Ces vallées ont ensuite été envahies par la mer lors de la remontée du niveau marin et partiellement comblées par des sédiments fluviaux récents. La construction du pont du Banco franchissant la baie du même nom pour rallier les hauts plateaux du Yopougon et Adjamé, doit donc faire face à une importante couche de matériaux compressibles aux caractéristiques médiocres. Les formations fluvio-lagu-

naires récentes sont présentes sur près de 45 m d'épaisseur au centre de l'ouvrage, ce qui implique la réalisation de fondations profondes de type pieux ancrés dans les couches de sables argileux denses (formations du Quaternaire ancien).

Les fondations de chacun des appuis de l'ouvrage sont constituées de 6 pieux de 2,1 m de diamètre. Leur longueur varie de 36 m pour la culée C0 à 80 m pour les piles centrales. Afin d'assurer la tenue des formations vasardes et des sables-argileux lâches

**9- Équipage mobile, tablier Nord du pont du Banco.**

**10- Estacade provisoire - Pont du Banco.**

**9- Mobile rig, northern deck of Banco Bridge.**

**10- Temporary jetty - Banco Bridge.**

en tête, un tube perdu en acier a été vibrofoncé jusqu'à 50 m de profondeur. Le reste du forage a été réalisé sous boue bentonitique.

#### LE VIADUC DE LA BAIE DU BANCO

Le viaduc de la baie du Banco, en béton précontraint, comporte deux tabliers de 794 m de long (10 travées) et de hauteur variable (5,80 m sur appui et 2,80 m à la clef) (figures 6 et 7).

Les fléaux courants mesurent 90 m et sont construits par encorbellements successifs (figure 4).



10

© SETEC TPI



## COUPE TRANSVERSALE À MI-TRAVÉE - PONT DE BORIBANA



11  
© DR

Côté Youpougon (CO), les tabliers mesurent 16,65 m de large et accueillent chacun trois voies de circulation et un trottoir de 3 m de large. Ils s'élargissent progressivement sur les trois dernières travées du viaduc pour atteindre jusqu'à 22,48 m de large. Le hourdis supérieur est alors épaissi à 0,35 m et précontraint transversalement (jusqu'à 4T15 espacés de 0,60 m).

Comme il est d'usage, le tablier comprend trois types de précontrainte : une précontrainte de fléau activée au fur et à mesure de la réalisation des voussoirs, une précontrainte intérieure de continuité à mi-travée, une précontrainte externe de continuité constituée de torons gainés graissés dans une gaine injectée au coulis de ciment.

**11- Coupe transversale à mi-travée - Pont de Boribana.**  
**12- Piles du pont de Boribana.**

**11- Cross section at mid-span - Boribana Bridge.**  
**12- Piers of Boribana Bridge.**

Les voussoirs mesurent entre 3 et 4 m de long (2 m pour le voussoir de clavage) et sont coulés en place à l'aide d'équipages mobiles de 70 t (figure 8). L'entreprise Cscec a déployé pas moins

de 7 paires d'équipages mobiles pour réaliser le tablier (figure 9). Un certain nombre de pénuries de matériaux et de difficultés d'approvisionnement ont affecté la réalisation des voussoirs. On notera qu'un cycle a pris 12 jours en moyenne (7 jours pour les plus rapides). Deux estacades provisoires (figure 10) ont permis d'accéder aux piles en rivière pendant les travaux. Les pieux et l'ajustement des équipages mobiles ont notamment été réalisés depuis celles-ci. Compte tenu de la grande souplesse de l'ensemble pile-fondations, les trois appuis centraux des tabliers sont fixes longitudinalement. Cette disposition permet de répartir avantageusement les efforts horizontaux induits par l'allongement ou le raccourcissement du tablier.

### LE VIADUC DE BORIBANA

Setec tpi a choisi d'intercaler des ouvrages de transition entre le pont du Banco et le pont de Boribana. De largeur variable, ils assurent le raccordement entre le pont du Banco, le pont de Boribana et les bretelles d'accès/sorties depuis le boulevard de la Paix. Les tabliers des ouvrages de transition, très larges, sont constitués de caissons précontraints de hauteur constante (2,80 m) à trois âmes.

Cette conception simplifie le projet et évite la présence de joints longitudinaux entre les bretelles et le pont de Boribana dont l'expérience montre qu'ils vieillissent mal et qu'ils peuvent nuire à la sécurité des usagers, en particulier les 2 roues. ▶



© SETECTPI

12



Les effets à long terme (fluage, retrait, tassements) tendent en effet à créer des déformations incompatibles entre les ouvrages, qui provoquent une marche dangereuse entre ceux-ci.

Le viaduc de Boribana monte ensuite avec une pente de 5% jusqu'au Plateau en franchissant le boulevard de la Paix, le boulevard de l'Ouest et les voies du SITARAIL. Il est constitué de deux tabliers de 15 m de large (figure 11). Les tabliers Nord et Sud comportent respectivement 9 et 11 travées et mesurent respectivement 413 m et 529 m de long. Ils supportent chacun trois voies de circulation de 3,5 m de large (dont une dédiée au BRT) et une bande d'arrêt d'urgence de 2,5 m de large. La plus grande travée (62 m) correspond au franchissement du boulevard de la Paix par le tablier Sud. Les travées courantes mesurent 48 m de long.

Les tabliers, des caissons en béton précontraint de 2,8 m de hauteur, sont construits sur cintre par travée entière. L'entreprise a proposé cette variante de construction au moment de la passation de son marché. La méthode a ensuite été conservée lors des études d'élargissement des ouvrages.

Le sol des berges de la lagune est constitué de sables lâches de plus en plus compacts à mesure que la profondeur augmente. Ils sont recouverts d'une couche superficielle mal définie de 3 à 4 m d'épaisseur. Des lentilles argileuses de quelques mètres d'épaisseur et quelques dizaines de mètres de diamètre sont observées par endroits. Le terrain présente un pendage de l'est-nord-est vers l'ouest-sud-ouest. Les piles du pont de Boribana sont fondées sur 6 pieux ( $\varnothing = 1,8$  m) ancrés dans des sables compacts entre 30 et 40 m de profondeur (figure 12).

## LES BRETelles D'ÉCHANGE

Les bretelles d'échange permettent l'entrée et la sortie sur le 4<sup>e</sup> pont depuis le boulevard de la Paix. Elles supportent une voie de circulation, une bande dérasée et un trottoir pour une largeur totale de 11,55 m.

Les deux tabliers de 4 travées de la bretelle Nord franchissent un canal (évacuant les eaux pluviales du Pla-

teau vers la lagune) et le boulevard de l'Ouest. Le tablier de la bretelle Sud, à 4 travées également, ne franchit que le canal.

Ces ouvrages sont construits sur cintres par moitiés (deux travées par deux travées). Ils ne comportent que des câbles intérieurs : les câbles tendus à l'avancement et les câbles de continuité tendus une fois le tablier achevé.

Le rayon de courbure en plan du deuxième tablier de la bretelle Nord est relativement faible (95 m). La torsion induite par cette courbure a conduit à augmenter l'entre-axe des appareils d'appui afin d'éviter leur soulèvement à l'état limite ultime. La précontrainte dans l'âme extérieure a également été renforcée afin de limiter les contraintes de cisaillement induites par la torsion.

## PRINCIPALES QUANTITÉS

### PONT DE LA BAIE DE BANCO

- **BÉTON POUR TABLIER : 24 400 m<sup>3</sup>**
- **PRÉCONTRAITE : 860 t**
- **LINÉAIRE DE PIEUX FORÉS : 8 280 m**

### PONT DE BORIBANA (Y.C. OAT)

- **BÉTON POUR TABLIER : 17 000 m<sup>3</sup>**
- **BÉTON POUR APPUIS : 37 800 m<sup>3</sup>**
- **PRÉCONTRAITE : 460 t**
- **ACIERS PASSIFS : 7 000 t**
- **LINÉAIRE DE PIEUX FORÉS : 5 400 m**

### BRETelles D'ACCÈS

- **BÉTON POUR TABLIER : 3 800 m<sup>3</sup>**
- **BÉTON POUR APPUIS : 6 450 m<sup>3</sup>**
- **PRÉCONTRAITE : 120 t**
- **ACIERS PASSIFS : 1 340 t**
- **LINÉAIRE DE PIEUX FORÉS : 2 230 m**

## PRINCIPAUX INTERVENANTS

**CLIENT : État de Côte d'Ivoire**

**CONDUCTEUR D'OPÉRATION : Ageroute**

**CONCEPTION INITIALE : Egis**

**MISSION DE CONTRÔLE ET REPRISE DU PROJET :**

**groupement Setec tpi / Setec Côte d'Ivoire / Setec International / Terrabo ingénieur conseil / Studi International**

**ENTREPRISE : Cscec (Chine)**

## L'INSERTION DANS LA VILLE, LE PONT-DALLE

Arrivé sur le plateau, le 4<sup>e</sup> pont est prolongé par un large pont de plus d'un kilomètre de long traversant la commune d'Adjamé puis survolant le boulevard Rebol pour se connecter au carrefour de l'Indenié.

Outre le trafic du 4<sup>e</sup> pont (2x2 voies), ce pont supporte les voies du BRT et deux de ses stations : la station Délégation, en connexion avec le futur métro d'Abidjan, et la station Adjamé entre le boulevard Cadre et le boulevard de la République.

Ce mille-pattes urbain de 34 000 m<sup>2</sup> est découpé en 17 ouvrages distincts dont les portées courantes sont comprises entre 19 et 21 m. Les tabliers sont constitués de dalles précontraintes de 0,80 m d'épaisseur construites à l'avancement, par travées entières coulées sur cintre.

## VERS UNE CIRCULATION PLUS FLUIDE

Ces ponts s'inscrivent dans un projet urbain ambitieux permettant de désengorger le nord d'Abidjan, peuplé de 5 millions d'habitants et en proie à des embouteillages permanents. Ils devraient être empruntés par 70 000 véhicules par jour et soulager l'auto-route, seul grand axe Nord d'Abidjan. □

## ABSTRACT

### THE FOURTH BRIDGE IN ABIDJAN

JEAN-BERNARD DATRY, SETEC TPI - AYMERIC PERRET DU CRAY, SETEC TPI - ÉRIC MARTINET, SETEC TPI - JEAN DRIVET, SETEC TERRASOL - SIMON GRENERY, SETEC TERRASOL

**Abidjan's fourth bridge, funded by the African Development Bank, is undoubtedly the biggest urban development project underway in Ivory Coast. The fourth Abidjan bridge project will improve access to the residential district of Yopougon (2 million inhabitants) by linking it to the Plateau via a second East-West artery duplicating the northern motorway which currently goes around Banco Bay. The bridges over Banco Bay represent 3.2 km of prestressed concrete decks. They will be extended by a slab bridge more than one kilometre long and with a deck surface area of 34,000 m<sup>2</sup>. With project management performed by Setec, this project enhances the French engineering firm's footprint on the African continent and produces a real transfer of skills to its African subsidiaries in the fields of prestressed concrete and deep foundations. □**

### EL CUARTO PUENTE DE ABIYÁN

JEAN-BERNARD DATRY, SETEC TPI - AYMERIC PERRET DU CRAY, SETEC TPI - ÉRIC MARTINET, SETEC TPI - JEAN DRIVET, SETEC TERRASOL - SIMON GRENERY, SETEC TERRASOL

**Financiado por el Banco Africano de Desarrollo, el cuarto puente de Abiyán es sin duda la mayor operación de urbanismo en curso en Costa de Marfil. El proyecto de este cuarto puente permitirá sacar del aislamiento el municipio residencial de Yopougon (2 millones de habitantes), enlazándolo con el distrito de Plateau por un segundo eje este-oeste que duplica la autopista del norte que actualmente bordea la bahía del Banco. Las obras de cruce de la bahía del Banco suponen 3,2 km de tablero de hormigón pretensado. Se prologarán mediante un puente de losa de más de un kilómetro de longitud y 34 000 m<sup>2</sup> de superficie de tablero. Bajo la dirección de Setec, esta operación supone un excelente escaparate para la ingeniería francesa en el continente africano, al tiempo que permite una transferencia efectiva de competencias hacia sus filiales africanas en los ámbitos del hormigón pretensado y los cimientos profundos. □**





**BTP BANQUE**

GROUPE CREDIT COOPERATIF

# C'est le métier qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

[www.btp-banque.fr](http://www.btp-banque.fr)



# Engineering a Better Solution

Depuis plus de 140 ans, le Groupe Maccaferri apporte à ses partenaires sa capacité d'innovation dans la réalisation d'ouvrages de haute technicité et d'une exceptionnelle longévité, sous la devise «Engineering a Better Solution».

Ses solutions sont pensées autour d'une double préoccupation : répondre à la dimension écologique et financière de chacun de vos projets, grâce à son expérience et son expertise acquises au fil des années.

## MACCAFERRI



Rétablissement de la liaison  
routière Ain-Octor-Korbous, Tunisie  
Sécurisation contre les  
chutes de blocs

Ecrans pare-blocs RB3000, EPFM5000,  
RB100 UAF, Filets de câbles, ancrages,  
SteelGrid HR PVC