

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

SPECIAL HONG KONG. LIAISON HONG KONG / ZHUHAI / MACAO : CONTRAT HY2011/09/METHODES. TUEN MUN - CHEK LAP KOK LINK : TUNNEL SOUS-MARIN / RAMPE NORD / PAROIS TERRAIN COMPRESSIBLE. ELARGISSEMENT TUNNEL PRINCESS HILL. MTR SHATIN TO CENTRAL LINK : OBSTRUCTIONS REMOVAL / CHOIX TUNNELIERS / PAROIS HAUTEUR LIMITEE. HOTEL CITY OF DREAMS A MACAO. GROUND TREATMENT BY GEOMIX®. WEST KOWLOON CULTURAL DISTRICT M+ MUSEUM. VENTILATION DU TUNNEL DE LUNG SHAN

N° 925 JUILLET / AOÛT 2016



PROJET SCL1128
À HONG KONG
© DRAGAGES HONG KONG





PRÉSERVONS L'AVENIR



Sécurisation du bassin versant instable des Bouisses.

Dans un contexte sensible, marqué par des phénomènes d'inondations fréquentes et de forte intensité, Maccaferri apporte son expérience et sa capacité d'innovation dans l'aménagement d'ouvrages hydrauliques de haute technicité. Ses solutions sont pensées pour protéger les populations et les infrastructures autour d'une double préoccupation : s'intégrer au cadre naturel et réduire l'impact carbone du site. Une réponse adaptée à la dimension financière et écologique de chaque projet.

MACCAFERRI

Peillon, Alpes-Maritimes
Gabions double torsion : 1500m³
Matelas Reno® : 3700m²

www.maccaferri.com/fr



Directeur de la publication
Bruno Cavagné

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

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

Ont collaboré à ce numéro
Rédaction
Monique Trancart, Marc Montagnon

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

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

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

Directeurs de clientèle
Bertrand Cosson - LD 01 42 21 89 04
b.cosson@rive-media.fr
Carine Reininger - LD 01 42 21 89 05
c.reininger@rive-media.fr

Site internet : www.revue-travaux.com

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

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

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

Editions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0218 T 80259
ISSN 0041-1906

HONG KONG - UN TERRITOIRE FERTILE POUR LES ENTREPRISES FRANÇAISES



© DFR

Mais que se passe-t-il avec la communauté française de Hong Kong ? C'est la question récurrente des autorités locales face à l'afflux ininterrompu de nos compatriotes sur ce petit territoire au cours de ces dix dernières années. Les chiffres parlent d'eux même : première communauté française en Asie avec plus de 20 000 ressortissants, plus de 700 entreprises françaises implantées, un excédent commercial pour la France de tout premier plan.

L'explication est finalement toute simple : les hongkongais sont friands de produits et d'expertises qui sont les domaines d'excellence de nos entreprises nationales. Et les domaines sont variés : les produits de luxe, les services financiers, l'environnement, la gastronomie et la construction sont les piliers de la présence française dans ce territoire rétrocédé à la Chine depuis bientôt vingt ans.

La construction et les infrastructures représentent un secteur clé de l'économie et la présence française dans ce domaine remonte au milieu des années 50 à l'époque où Dragages et Travaux Publics remporte le contrat pour la réalisation en mer de la piste de l'aéroport de Kai Tak, une première mondiale à cette date.

La success story ne s'est jamais interrompue depuis lors et l'ensemble des acteurs nationaux ont progressivement pris pied dans la ville avec, notamment, l'arrivée des ingénieurs français spécialistes des fondations de Bachy et de Soletanche depuis la fin des années 50 et qui ont participé, dès 1973, à la construction des premières lignes de métro.

Les secrets de la réussite ?

Tout d'abord une géographie diverse et accidentée où la mer est présente partout. On ne peut guère parcourir plus de 5 kilomètres dans la ville sans traverser une montagne, franchir plusieurs ponts ou emprunter un tunnel sous la mer. Cette concentration de reliefs aux géologies variées est probablement unique au monde et représente un terrain de jeux propice pour les ingénieurs formés dans l'Hexagone.

Un environnement des affaires transparent où les règles du droit sont appliquées et où le règlement des litiges à l'amiable est facilité pour autant que l'on se conforme à la règle d'or locale : ne jamais baisser les bras et se battre jusqu'au bout pour respecter les délais.

Une économie florissante où les excédents budgétaires sont légion, ce qui permet au Gouvernement de financer des projets de grande ampleur.

Une présence pérenne qui fait de nos entreprises françaises des acteurs à part entière de la communauté hongkongaise et des employeurs de plusieurs milliers d'ingénieurs et d'ouvriers locaux hautement qualifiés, motivés et très productifs.

Ces dix dernières années, la ville a vécu une explosion des projets d'infrastructure dont l'objectif était notamment de soutenir une économie mise à mal dans les années 2000 par l'épidémie du SRAS et la crise financière mondiale. Les années à venir s'annoncent un peu plus calmes dans le domaine des infrastructures de transport - à l'exception notable du gigantesque projet d'extension de l'aéroport - mais les projets dans les domaines de la santé et de l'environnement sont déjà en lice pour reprendre le flambeau. À Hong Kong le business ne s'arrête jamais.

NICOLAS BORIT

PRÉSIDENT DE LA CHAMBRE DE COMMERCE
ET D'INDUSTRIE FRANÇAISE DE HONG KONG

LISTE DES ANNONCEURS : MACCAFERRI, 2^e DE COUVERTURE - HERRENKNECHT, P.19 - PRO BTP, 3^e DE COUVERTURE - SMABTP, 4^e DE COUVERTURE



SPÉCIAL HONG KONG

GRAND TUNNEL DE L'APPROCHE NORD, © INTÉRIEUR 15,60 M © DRAGAGES - BOUYGUES.TV





04 ALBUM



06 ENTRETIEN AVEC MICHEL BONNET
DRAGAGES HONG KONG -
IMAGINER, CONSTRUIRE ET VIVRE AVEC LA VILLE



10 ENTRETIEN AVEC ALISTAIR SIM
BACHY SOLETANCHE GROUP,
A 40 YEARS SUCCESS STORY



16 ENTRETIEN AVEC OLIVIER FLURY
EGIS ÉLARGIT SES DOMAINES D'INTERVENTION
EN ASIE DU SUD-EST

20 LA LIAISON HONG KONG/ZHUHAI/MACAO
CONTRAT HY2011/09



**26 LE PONT DE HONG KONG À MACAO
PAR ZHUHAI**
LES MÉTHODES DE POSE DU TABLIER
DE PONT



33 TMCLK
LES TUNNELS SOUS-MARINS



38 LIANTANG - CONTRAT 2
ÉLARGISSEMENT DU TUNNEL
PRINCESS HILL



**42 MTR SHATIN TO CENTRAL LINK -
CONTRACT 1128 -**
OBSTRUCTIONS REMOVAL



48 PROJET SCL1128 À HONG KONG
CHOIX DES TYPES DE TUNNELIER PRESSION
DE BOUE/DENSITÉ VARIABLE



52 SHATIN TO CENTRAL LINK
CONSTRUCTION DE PAROIS MOULÉES
SOUS HAUTEUR LIMITÉE



57 HÔTEL CITY OF DREAMS
À MACAO



62 TMCLK
LES DÉFIS DE LA RAMPE NORD

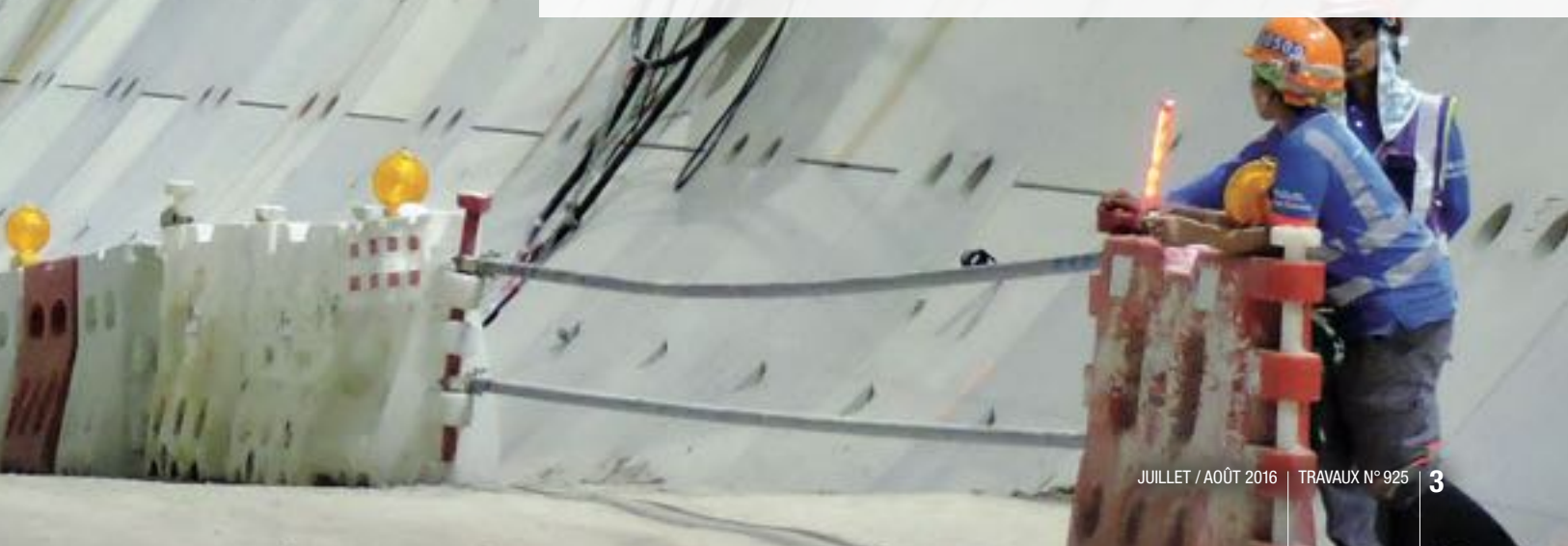


69 TMCLK
CONSTRUCTION DE PAROIS MOULÉES
EN TERRAIN COMPRESSIBLE

**74 GROUND TREATMENT BY GEOMIX®
(BY CUTTER SOIL MIXING - CSM)**
AND ITS APPLICATION AT TUEN MUN - CHEK
LAP KOK

80 M+ MUSEUM
DEEP FOUNDATION WORKS FOR THE WEST
KOWLOON CULTURAL DISTRICT AUTHORITY

86 VENTILATION DU TUNNEL DE LUNG SHAN





MACAO À 45 MINUTES DE HONG KONG EN FRANCHISSANT LE DELTA DE LA RIVIÈRE DES PERLES

HONG KONG Highways Department, avec Arup Hong Kong comme maître d'œuvre, a confié à Dragages Hong Kong Ltd en joint venture avec China Harbour Ltd et Vsl International, la construction du pont hors normes de 9,4 km de long de la liaison Hong Kong - Zuhai - Macao. Les contraintes environnementales et archéologiques, le maintien des couloirs navigables, la proximité de l'aéroport, donnent lieu au déploiement d'une grande diversité de techniques et de moyens, dont des grues flottantes de 1 000 t. Avec ce pont, Bouygues Construction détient le record du monde de portée pour des voussoirs préfabriqués.

(voir articles pages 20 et 26).



DRAGAGES HONG KONG IMAGINER, CONSTRUIRE ET VIVRE AVEC LA VILLE

C'EST PRATIQUEMENT D'UNE « LOVE STORY » AVEC LA VILLE QUE L'ON PEUT PARLER LORSQU'ON ÉVOQUE L'HISTOIRE DE DRAGAGES À HONG KONG, TANT ELLE EST LIÉE À CETTE VILLE ET QU'ELLE LUI EST INDISSOCIABLE, AU POINT D'AVOIR PARTICIPÉ À SON DÉVELOPPEMENT ET CÔTOYÉ SON ÉVOLUTION DEPUIS MAINTENANT PLUS DE 60 ANS. **ENTRETIEN AVEC MICHEL BONNET, DIRECTEUR DES OPÉRATIONS GÉNIE CIVIL DE DRAGAGES HONG KONG.**

PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



© DRAGAGES HONG KONG

EN RÉALISANT DES OUVRAGES DONT LE POUVOIR ÉMOTIONNEL ET LA FORCE ÉVOCATRICE FONT DÉSORMAIS PARTIE INTÉGRANTE DE LA MÉGALOPOLE ASIATIQUE, DE L'AÉROPORT DE KAI TAK CONSTRUIT SUR L'EAU EN 1955 AU COMPLEXE CITY OF DREAMS, DONT L'ARCHITECTURE FERA DATE ET AU CHANTIER TITANESQUE DU PONT RELIANT HONG KONG À MACAO ET ZHUHAI, TOUS DEUX EN COURS DE RÉALISATION. ON PEUT ÊTRE PRIS DE VERTIGE EN ENTENDANT MICHEL BONNET, DIRECTEUR DES OPÉRATIONS GÉNIE CIVIL DE DRAGAGES HONG KONG, PRÉSENTER LES 5 GRANDS PROJETS EN COURS DE L'ENTREPRISE : ILS S'ÉLÈVENT À PLUS DE 5 MILLIARDS D'EUROS !

Quelles sont les origines de l'entreprise ?

Avant de démarrer en 1955 à Hong Kong, Dragages est né en Asie en 1901, en l'occurrence en Indochine, avec pour ambition de draguer le fleuve Mékong pour le rendre navigable, d'où le nom qu'elle a conservé depuis.

De 1901 à 1955, cette société a grandi et s'est développée en Indochine et dans les pays limitrophes : Cambodge, Laos, Vietnam. À l'origine asiatique, elle est ensuite devenue française et a démarré des activités en France et dans les ex-colonies françaises d'Afrique.



© DRAGAGES HONG KONG

2



© DRAGAGES HONG KONG

3

L'arrivée de Dragages à Hong Kong est liée à l'Histoire. À la suite du retrait de la France du Vietnam, l'entreprise a cessé ses activités dans ce pays et a rejoint Hong Kong après avoir remporté le concours pour la construction de la piste de l'aéroport de Kai Tak, ce qui constituait à l'époque une réalisation très innovante puisqu'il s'agissait de construire en mer une piste ayant les caractéristiques de celle d'un aéroport international.

Dragages est présent à Hong Kong sans discontinuité depuis 1955 et a d'ailleurs célébré en 2015 les 60 ans de cette présence. Ses activités ont suivi les phases de développement et d'évolution politique et économique de cette ville.

À la fin des années 50, l'un des grands problèmes de Hong Kong était celui de l'eau : la ville n'étant pas encore rétrocédée à la Chine, il n'y avait pas de connexion avec ce pays et il a donc fallu construire des réservoirs pour garantir l'approvisionnement en eau. Dragages a été la première entreprise à construire à Hong Kong des grands réservoirs d'eau potable, en particulier celui de Shek Pik, de 24 millions de m³, entre 1959 et 1963.

Les années 60 à 75 seront celles du développement des grands moyens de communication avec la réalisation de plusieurs tunnels routiers, dont ceux du Lion Rock, assurant la liaison entre Kowloon et les Nouveaux Territoires. Les années 70 voient la construction des premières lignes de métro pour faire face à l'accroissement de la population et au développement industriel. Elles correspondent également à l'avènement du transport maritime par containers et Dragages construit le premier terminal de Kwai Chung entre 1971 et 1973.

Il en sera de même dans les années suivantes et jusqu'à aujourd'hui et cela reflète bien toute la beauté de

notre implantation à Hong Kong. Nous sommes, certes, une entreprise dont l'actionnariat est français puisque Dragages Hong Kong est la propriété du groupe Bouygues, mais elle est aussi fondamentalement locale. Elle est l'une des trois plus anciennes entreprises de construction de Hong Kong.

Dans ce pays, nous sommes intervenus dans tous les domaines concernés par la construction - aéroport, route, métro, immeubles - en accompagnement de toutes les phases de développement de la ville. L'histoire de Dragages Hong Kong est totalement imbriquée dans celle de la ville.

Comment pourriez-vous définir Dragages Hong Kong telle qu'elle est aujourd'hui ?

Nous sommes une entreprise très complète en ce qui concerne le panel de ses activités : les Travaux Publics, la construction de bâtiments, les travaux électriques et mécaniques (climatisation notamment), par le biais de notre

1- Michel Bonnet, directeur des opérations génie civil de Dragages Hong Kong.

2- 1955 : après 20 mois de travaux intensifs, l'aéroport de Kai Tak émerge de la mer.

3- 1990 : L'extension du Hong Kong Convention and Exhibition Center.

4- Le viaduc East Tsing Yi (2004-2008).

5- Le chantier du pont reliant Hong Kong - à Zhuhai et Macao.

filiale BYME, les concessions dont celle du centre d'exposition AsiaWorld-Expo, en partenariat avec le gouvernement pour une durée de 25 ans.

Nous sommes investisseurs immobiliers dans certains projets : c'est le cas de l'hôtel SkyCity Marriott à l'aéroport, une unité de 658 chambres réalisée en 2006/2008, connecté directement à l'AsiaWorld Expo.

Pour vous donner quelques chiffres, Dragages Hong Kong et ses filiales totalisent actuellement 3000 personnes et nous allons réaliser en 2016 plus de 1 milliard d'euros de chiffre d'affaires.

À l'échelle des filiales de Bouygues Construction à l'international, Dragages Hong Kong représente l'une des plus grosses entités.

L'une de nos particularités est que nous ne réalisons pas beaucoup de projets en nombre mais ceux qui nous sont confiés sont tous très importants : les 5 projets que nous avons en cours représentent un chiffre d'affaires qui devrait dépasser 1,1 milliard d'euros en 2017. Le plus petit est de 400 millions d'euros, le plus gros avoisine les 2 milliards d'euros. Il s'agit de projets de longue durée qui ont démarré en 2012, 2013 et 2014 et s'achèveront entre 2018 et 2020.

Ces dernières années, nous avons beaucoup grossi. Quelques chiffres permettent de situer ce développement : 480 millions d'euros de chiffre d'affaires en 2013, 720 millions en 2014, 800 millions en 2015 alors qu'en 2008, première année de reprise des chantiers d'infrastructures à Hong Kong, après une décennie très atone, nous réalisons 150 millions d'euros de chiffre d'affaires.

Nous avons connu une grande période de croissance depuis 7 ans, portés en cela par les grands projets d'infrastructures que le gouvernement de Hong Kong a lancés.

En 2017, nous avons en cours un grand projet de bâtiment, City of Dreams à Macao et, si je les prends dans l'ordre d'attribution des marchés, quatre grands projets de génie civil : le pont Hong Kong - Zhuhai - Macao, le tunnel sous-marin de Tuen Mun - Chek Lap Kok Link, le tunnel routier de Liantang et une nouvelle ligne de métro dans le centre-ville.

Quelles grandes caractéristiques peuvent-elles être mises en évidence pour le pont reliant Hong Kong et Macao à Zhuhai ?

Ce projet de 1,3 milliards d'euros a démarré mi 2012 et sera achevé fin 2017. Il s'agit d'un ouvrage de plus de 40 km de long reliant Hong Kong, Macao et Zhuhai, sur le continent, en traversant le delta de la Rivière des Perles, de manière à en connecter les rives Est et Ouest, sans avoir à faire le tour de l'ensemble du delta.

Nous réalisons la partie située dans les eaux territoriales de Hong Kong, d'une longueur de 10 km. L'ouvrage est constitué d'un double viaduc dont chaque tablier supporte trois voies de circulation.

Un projet d'une telle ampleur - nous allons mettre en œuvre 750 000 m³ de béton - est un vrai défi technologique car nous sommes confrontés à un très grand nombre de contraintes : la majorité des travaux est réalisée en mer, au milieu d'un trafic maritime intense, à proximité immédiate des pistes d'un aéroport également très actif, sans parler de la résistance du pont à des cyclones et des typhons qui balayent la région chaque année.

Tout ceci dans une nature géologique très singulière qui a nécessité des dispositions particulières au niveau des fondations : les caractéristiques du sous-sol imposent de réaliser 750 pieux de 2,80 m de diamètre jusqu'à 110 mètres de profondeur. ▷

© DRAGAGES HONG KONG

4



© DRAGAGES HONG KONG

5



L'impact de ce pont titanesque sera majeur et il va bénéficier à toute une région riche et immense autour du delta de la Rivière des Perles. Il va encore accélérer le développement économique et commercial de toute la Chine du sud-ouest.

Concrètement, aujourd'hui, il faut plus de quatre heures en voiture pour contourner l'embouchure de la rivière pour se rendre dans la zone économique de Zhuhai, moins développée que celle de Shenzhen.

En utilisant le pont, il ne faudra plus que 45 minutes pour relier Hong Kong à Macao et on prévoit qu'en 2018, de 10 000 à 14 000 véhicules prendront le pont chaque jour. Il est prêt à absorber de 35 à 50 000 voitures et camions par jour en 2035 avec ses 2 x 3 voies.

Pour continuer dans l'ordre d'attribution des marchés, autre grand projet en cours : le tunnel sous-marin.

Quels commentaires à son sujet ?
Ce tunnel sous-marin qui relie l'île de l'aéroport de Chek Lap Kok à la ville de Tuen Mun sur les Nouveaux Territoires⁽¹⁾ s'intègre dans le même programme d'infrastructures engagé par la ville que celui du pont. C'est un projet de 2 milliards d'euros dont les travaux ont commencé mi 2013 et s'achèveront fin 2018.

Ce projet est spectaculaire car il s'agit de réaliser, au tunnelier, deux tunnels de 4,5 km de longueur et de 14 m de diamètre, à grande profondeur, jusqu'à 60 m sous la mer, avec, à l'entrée comme à la sortie des ouvrages, au niveau des rampes d'accès, une difficulté particulière du fait d'un élargissement faisant passer la chaussée de deux à trois voies.

Cette configuration nous contraints à utiliser dans ces deux zones un tunnelier Herrenknecht de 17,60 m de

diamètre, ce qui constitue un record du monde.

L'opération est réalisée au niveau de l'attaque Nord, avant de plonger sous la mer par le remplacement de la tête de 17,60 m par une tête de 14 m. Il en sera de même à l'autre extrémité pour la sortie Sud.

Le changement de tête n'est pas une opération aisée. En effet, il nécessite le creusement préalable, à l'entrée comme à la sortie, d'un puits d'accès de 40 m de profondeur et de 60 m de diamètre.

Autres particularités : l'ouvrage est équipé tous les 100 m de passages transversaux de sécurité - *cross passages* - reliant les tubes principaux entre eux. Pour la première fois, ces *cross passages* d'une quinzaine de mètres de longueur seront creusés à l'aide de deux petits tunneliers de 3 m de diamètre développés spécialement pour le chantier.

Le projet comporte de nombreuses innovations techniques tout particulièrement en ce qui concerne l'organisation des interventions de maintenance à l'avant des têtes des tunneliers.

Compte tenu de la forte pression régnant à une profondeur de 60 m, nous faisons appel à des plongeurs entraînés à travailler à de telles profondeurs avec toutes les contraintes physiques et temporelles de compression/ décompression que cela implique.

Pour gérer ces contraintes, nous avons établi une base-vie en surface dans laquelle ces hommes en charge de la maintenance des têtes de coupe des tunneliers vivent dans un habitat constitué de caissons hyperbares pressurisés à environ 4 bars en permanence.

Le matin, pour transporter les équipes sur le chantier, une navette également pressurisée à environ 4 bars, est connectée à la base-vie pour les accueillir, acheminée dans le tunnel

jusqu'à un sas à la tête du tunnelier sur laquelle elle est à nouveau connectée pour amener les plongeurs à une pression pouvant atteindre 6 bars.

Les travaux sont alors effectués sous cette pression. Puis les équipes rejoignent le sas pour décompresser de 6 à 4 bars et font le trajet en sens inverse pour rejoindre la base-vie.

L'intérêt d'une telle organisation est double : elle diminue considérablement le temps de décompression tout en réduisant très significativement les contraintes physiques engendrées par une telle opération.

Là encore, l'organisation à cette échelle de ces interventions constitue une première mondiale.

À son achèvement, il est vraisemblable que le projet de Tuen Mun alignera cinq ou six premières mondiales tant en ce qui concerne le diamètre des tunneliers que les *cross passages* et les interventions hyperbares sur les têtes de coupe.

Le troisième projet que vous évoquiez est celui d'un autre tunnel routier.

Il s'agit là d'un projet de 1,1 milliard d'euros consistant à réaliser un tunnel routier de 4,5 km de long entre Liantang et Heung Yuen Wai Boundary Control Point, dans les Nouveaux Territoires. Hong Kong est une habituée des projets d'infrastructures gigantesques et celui-ci ne fait pas exception : construire une route à deux fois deux voies de 5,4 km, dans le cadre de la réalisation d'un poste frontalier, qui traverse tout le territoire pour rejoindre, au nord, le corridor de Shenzhen Est et la partie orientale du Guangdong.

L'une des particularités du projet est qu'il fait appel à plusieurs techniques de creusement : tunnelier à pression de terre NFM de 14 m de diamètre et excavation en traditionnel à l'explosif. Plusieurs zones de failles sismiques ayant été identifiées dans la partie Nord, nous avons fait le choix d'utiliser un tunnelier à pression de terre capable de s'adapter aux différentes conditions géologiques le long du parcours.

Le tunnelier est arrivé sur le chantier équipé de deux innovations issues de la R&D de Bouygues Travaux Publics : Mobydic et Telemach' qui permettent une cartographie en temps réel des parois rocheuses, ainsi que la détection et le remplacement mécanisé des disques de coupe endommagés, réduisant le besoin de surveillance manuelle devant la tête de coupe. Ces technologies, qui permettent d'améliorer l'efficacité du chantier, optimisent fortement la sécurité et les conditions de travail des compagnons. Afin de minimiser les perturbations pour la population, le fonctionnement du TBM a également été optimisé et le passage d'un tunnel à l'autre se fera en sous-sol à l'intérieur d'une caverne de 21 m de haut et 23 m de large. Les travaux ont démarré fin 2013 et s'achèveront fin 2018.

6- L'un des ouvrages de départ du chantier du tunnel sous-marin de Tuen Mun-Chek Lap Kok Link.

7- Le tunnel de 4,5 km de long entre Liantang et Heung Yuen Wai Boundary Control Point.

8- Le chantier de la nouvelle ligne de métro entre Shatin et Central.

9- City of Dreams, le projet de l'architecte Zaha Hadid, à Macao.

© DRAGAGES HONG KONG

6



© DRAGAGES HONG KONG

7



DE 1955 À 2015 : DES PROJETS QUI FONT L'HISTOIRE DE LA VILLE

- 1955-1958 : Kai Tak Airport Runway**
- 1959-1963 : Shek Pik Reservoir (24 000 000 m³)**
- 1961/64-1973/75 : Lion Rock Tunnels (2 800 m)**
- 1975-1985 : 8 stations du Mass Transit Railway (métro) ainsi qu'un nombre important de tunnels**
- 1977-1981 : Aberdeen Tunnel (1 870 m)**
- 1988-1992 : Hong Kong Park**
- 1989-1991 : Kwun Tong Bypass Bridge (3 700 m)**
- 1990-1992 : Cityplaza phases III & IV (2 tours de 79 m)**
- 1992-1994 : Hong Kong Stadium Redevelopment (40 000 places)**
- 1993-1997 : Central Reclamation (terminal à ferries)**
- 1993-1996 : Rambler Channel Bridge (1 960 m)**
- 1995-1997 : Hong Kong Convention and Exhibition Centre Extension**
- 1995-1997 : Rambler Channel Rail Bridge (1 100 m)**
- 1995-1993 : Route 3 - Country Park Section (1 850 m de tunnel)**
- 1998-2003 : Kwai Tsing Tunnels (3 600 m) et Tai Lam Tunnel (2 950 m)**
- 2004-2008 : East Tsing Yi Viaduct (1 100 m)**
- 2005-2009 : Castle Peak Cable Tunnel (4 500 m)**
- 2007-2012 : Hong Kong West Drainage Tunnel (11 000 m)**
- 2009-2014 : MTR West Island Line Tunnels (Westbound tunnel : 490 m ; Eastbound tunnel : 770 m)**
- 2010-2013 : Kai Tak Cruise Terminal Building (avec un jardin sur le toit de 23 000 m²)**
- 2010-2015 : MTR Express Rail Link (Northbound tunnel : 3 553 m ; Southbound tunnel : 3 559 m, un tunnel à deux voies : 2 950 m ; deux tunnels à voie unique : de 660 m chacun)**

Auxquels s'ajoutent une multitude de constructions de toutes natures (immeubles d'habitation, tours de bureaux, sièges sociaux, école, hôtels, ateliers...) ainsi que les très grands chantiers en cours en 2016.

Quant au quatrième grand chantier en cours, il s'agit d'une nouvelle ligne de métro qui s'ajoute ainsi aux nombreuses réalisations de Dragages Hong Kong dans ce domaine.

D'un montant de 500 millions d'euros, ce projet fait partie de l'extension d'une nouvelle ligne de métro de 6 km qui va relier deux quartiers : les sites touristiques de Shatin et le quartier des affaires de Central.

Nous exécutons au tunnelier l'un des lots de cette ligne qui comporte 2x2 tunnels de 7 m de diamètre et 500 et 700 m de longueur chacun, de part et d'autre de la station Exhibition.

Le projet est très compliqué techniquement car il se développe en plein centre-ville sous des zones très urbanisées avec des fondations d'immeubles, d'ouvrages d'art et des réseaux multiples nécessitant des travaux préparatoires importants pour permettre le creusement des tunnels à une profondeur variant de 20 à 30 m.

Pour faire face aux conditions géologiques complexes, deux types de tunneliers sont utilisés : un tunnelier à pression de boue et un tunnelier mixte boue/terre, encore une première à Hong Kong.

Le chantier a démarré mi 2014 et se terminera en 2020.

Il vous reste encore à dire quelques mots, peut-être plus, de City of Dreams à Macao, dont il n'est pas interdit de penser, à en voir les images de synthèse, qu'il deviendra l'un des symboles architecturaux de la ville.

Nous réalisons un hôtel qui s'inscrit dans le complexe de divertissement City of Dreams de Macao, pour le compte de Melco Crown Entertainment Limited, propriétaire et développeur de casinos, de complexes de loisirs et de divertissement.

City of Dreams est un lieu de divertissement unique qui propose des spectacles et des animations, dont le plus grand show aquatique du monde, un vaste espace contemporain dédié aux jeux, des boutiques tendance, de nombreux hébergements et restaurants et le plus prestigieux night-club de Macao. Cet hôtel 6 étoiles deviendra le nouvel emblème de ce complexe unique.

La conception architecturale de l'hôtel, qui est l'œuvre de l'architecte Zaha Hadid⁽²⁾, prix Pritzker d'architecture en

2004, fera date dans le paysage de Hong Kong mais rend sa construction particulièrement complexe.

Le projet comprend la conception et la réalisation, sur une superficie de près de 151 000 m² sur 39 étages, de 780 chambres dont 10 villas, un casino, des restaurants, des salles de conférence et une piscine sur le toit. Dragages Macao est responsable de la construction du clos-couvert, y compris la structure en béton armé qui repose sur un exosquelette à ossature métallique, la façade et le revêtement en

aluminium des structures métalliques. Les travaux ont débuté en 2014 et s'achèveront mi 2017. Ils mobilisent plus de 1 000 collaborateurs en période de pointe.

Après avoir fait ses presque premiers pas à Hong Kong, Dragages continue à en écrire l'Histoire. Quelle conclusion ?

Après avoir souffert de la récession de la fin des années 1990, Hong Kong est entré depuis le troisième millénaire dans de grands défis.

Depuis 2010, Dragages Hong Kong a ouvert un nouveau chapitre de son développement. Si sa mission est plus que jamais de bâtir une vie meilleure en réalisant des infrastructures toujours plus complexes qui relient les habitants et la ville, la taille de ses projets change considérablement.

Grâce à des solutions innovantes et à forte valeur ajoutée, la filiale construit désormais des infrastructures pulvérisant tous les records, tels que le pont autoroutier Hong Kong - Zhuhai - Macao (le plus long du monde avec 42 km) et le tunnel Tuen Mun-Chek Lap Kok (le plus grand tunnelier du monde). Des projets qui, chacun, contribuent au rayonnement et au statut mondial de Hong Kong et au bien-être des Hongkongais. □

1- **Les Nouveaux Territoires** sont un secteur de la région administrative spéciale (RAS) de Hong Kong. Avec une superficie de 952 km², ils constituent 80 % du territoire hongkongais et comprennent les territoires entourant l'île de Hong Kong et la péninsule de Kowloon, jusqu'à la rivière Shenzhen, qui délimite la frontière entre l'ancienne colonie britannique et la Chine continentale. La plupart des îles périphériques de Hong Kong en font partie.

2- **Zaha Hadid**, née en Irak en 1950, a d'abord choisi d'étudier les mathématiques à l'université américaine de Beyrouth, avant d'opter pour l'architecture et d'ouvrir son cabinet à Londres 1979. Elle deviendra la première et unique femme à avoir obtenu, en 2004, le prix Pritzker, l'équivalent du Nobel chez les architectes. Elle a également été la première femme à remporter la prestigieuse Médaille d'Or Royale pour l'architecture, en 2016, après Jean Nouvel, Frank Gehry et Oscar Niemeyer. Elle est brusquement décédée le 31 mars dernier à l'âge de 65 ans.

© DRAGAGES HONG KONG

8



© DRAGAGES HONG KONG

9



BACHY SOLETANCHE GROUP, A 40 YEARS SUCCESS STORY

法國地基, 一個40年成功的故事

AFTER SCOURING THE WORLD SEPARATELY FOR A LONG TIME, SOLETANCHE AND BACHY, WHOSE RELATIONS WITH ONE ANOTHER HAD LONG RESEMBLED THE AGGRESSIVE RELATIONS BETWEEN SPARTA AND ATHENS, TOOK THE WISE DECISION IN 1973 TO JOIN THEIR FORCES IN SOUTH-EAST ASIA ON THE EDGE OF THE PEARL RIVER, IN HONG KONG. INTERVIEW BY MICHEL MORGENTHALER



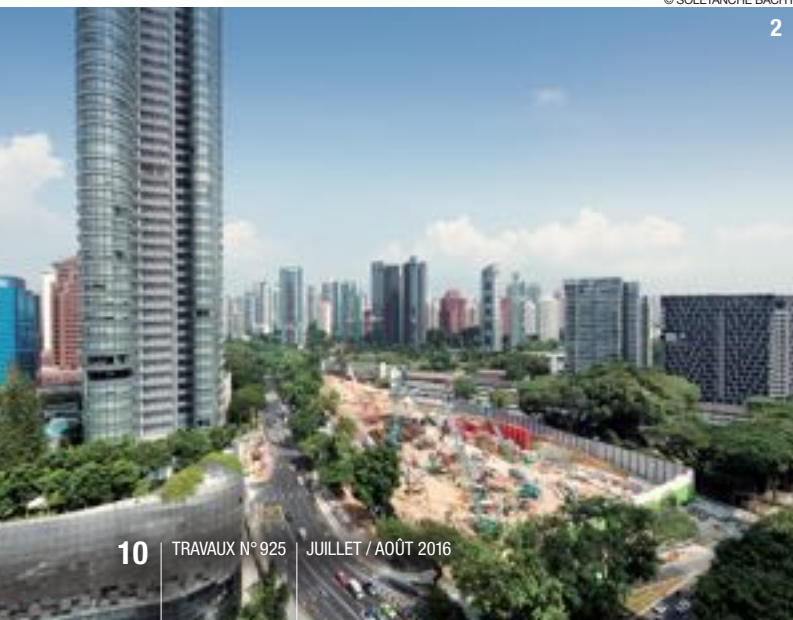
1- Alistair Sim,
Regional Director
Asia-Pacific,
Soletanche Bachy.

1
© DR

ALISTAIR SIM IS CURRENTLY RESPONSIBLE FOR THE ACTIVITIES OF SOLETANCHE BACHY IN ASIA PACIFIC, WHICH HAS NINE PERMANENT OFFICES IN THE REGION. THIS STAUNCH SCOTSMAN IS VERY PROUD ABOUT HIS ORIGINS AND THAT SCOTLAND PLAYED A SIGNIFICANT ROLE IN THE HISTORY OF HONG KONG. THE ROMANTIC ADVENTURES OF THE TWO GREAT REPENTANT OPIUM SMUGGLERS WHO IN 1832 FOUNDED A COMMERCIAL AND FINANCIAL SERVICES EMPIRE, WILLIAM JARDINE AND JAMES MATHESON, ARE VERY FAMOUS. MORE RESPECTABLE AND EQUALLY DRIVEN BY A GREAT ENTREPRENEURIAL SPIRIT, IN 1865 THOMAS SUTHERLAND FOUNDED THE HONGKONG AND SHANGHAI BANKING CORPORATION, BETTER KNOWN NOWADAYS UNDER THE ACRONYM HSBC.

© SOLETANCHE BACHY

2



© SOLETANCHE BACHY

3



Bachy Soletanche Group Limited was registered in Hong Kong in 1973. This group was born of the implausible union between Bachy and Solétanche, industry rivals at that time, who vied for the leading global positions in the special foundations business. How did this occur?

Before the two companies joined together as a permanent Joint Venture in 1973, both Bachy and Soletanche had carried out projects separately: Bachy on Plover Cove Dam in the New Territories and Soletanche for Shek Pik Dam on Lantau, both in the 1950's. Given the strengths of both companies it was a pragmatic decision to join forces. Especially since the geology in Hong Kong exacerbates the technical risks, and when working in a commercial environment time is always of the essence. So, by joining forces, the world's two foremost geotechnical contractors pooled their combined experience and resources for the benefit of our clients.

This formula was replicated around Asia (particularly in Indonesia, Malaysia, Singapore and Vietnam) and was also a model in other regions of the world such as South America, and later at the level of the parent companies, which merged to form Soletanche Bachy in 1997.

Why was the Hong Kong company called Bachy-Soletanche and not the reverse? Why was the name Bachy-Soletanche kept when the product of the parent companies' merger was called Soletanche Bachy?

A great question! We like to say that the company is known as Bachy Soletanche when we drive on the left and

**ALISTAIR SIM,
REGIONAL DIRECTOR ASIA-PACIFIC,
SOLETANCHE BACHY**

Based in Singapore, Alistair is the Regional Director for Soletanche Bachy in Asia Pacific. He has been with the company since 1988. In Asia since 1993, Alistair has held various operational and development roles in the region, working from both Hong Kong and Singapore. Over the years he has worked on a variety of major underground engineering projects including the Channel Tunnel, Jubilee Line Extension, Chek Lap Kok Airport, the Lantau and Airport Railway and several MRT Lines in Singapore. Alistair has supervised activities across the Asia-Pacific region since 2009.

2- Singapore (2015), MRT Contract T219 Orchard Station & Tunnels, Main Contractor JV Penta Ocean Bachy Soletanche.

3- Malaysia (2014), Kuala Lumpur, IKEA/MyTown Commercial Development, Turnkey Basement package.

4- Hong Kong (2013), MTR Contract C1112 Hung Hom Station, low headroom diaphragm wall with the HC05.

5- Hong Kong (2010), XRL Contracts C803A and C803D, retaining walls and foundations for XRL(High Speed Rail line from China) Station in Kowloon.

Soletanche Bachy when we drive on the right! But joking apart, when the companies merged they were the number one and number two specialist geotechnical contractors in the world, and keeping both names visible as Soletanche Bachy was appropriate given our dominant market position. In Asia, Bachy Soletanche had already become a household name and we saw little point in changing the name to that of our parent.

Prior to the merger, Bachy had been the joint venture leader in most countries in Asia, which is why the name was Bachy Soletanche. There were a couple of exceptions, Indonesia and Thailand, where Soletanche was leader, and in those countries we operated as Soletanche Bachy. After 1997, we changed the name throughout the region to Bachy Soletanche for sake of consistency and because we meet the same clients and consulting engineers across South-East Asia.

In Hong Kong, Bachy Soletanche, is also known locally as Fa Kok Dei Kei in Cantonese, which can be translated as 'French Foundations'.

The list of major works carried out in Hong Kong over the decades by Bachy-Soletanche Group, commonly called BSG, is very prestigious. What are its most outstanding achievements? What are the special features of projects in Hong Kong?

That is a very difficult question, as there are honestly so many projects which mark the history of Bachy Soletanche in Hong Kong. Looking at Hong Kong's iconic skyline, many of those buildings are standing on foundations signed by BSG. We have been involved in much of the infrastructure, starting from water with the dam cut offs to reclamation projects such as soil improvement for the airport platform at Chek Lap Kok or Disneyland, and dozens of MRT and railway stations produced by our teams over the years.

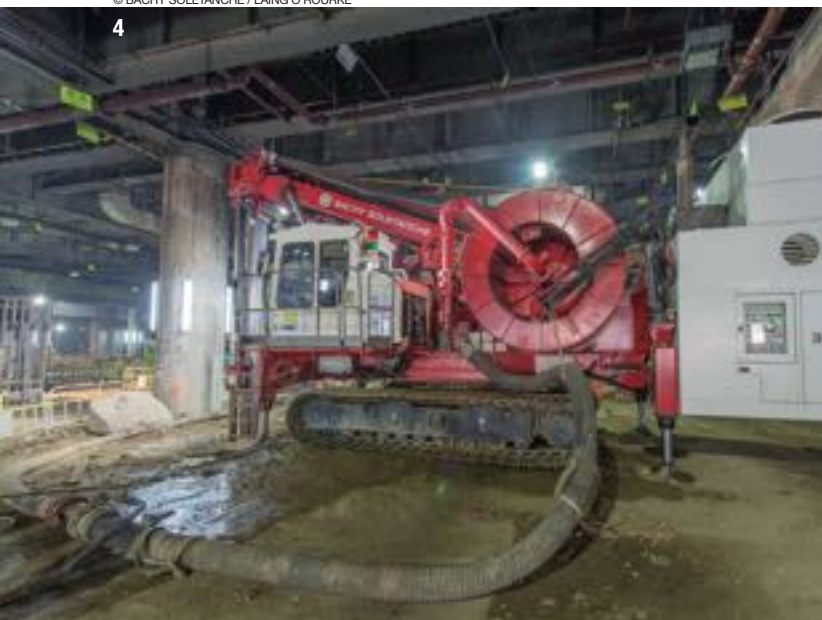
More recently we have made inroads into the bored tunnelling market, working closely with our sister company, Bessac.

Projects which have allowed us to introduce innovations are particularly satisfying. Our design office has long been at the forefront of cutting-edge solutions, and our ability to work with international and local consultants to develop, design and construct basements and foundations has led us to be involved in the most technically challenging projects - such as the International Commerce Centre and Two International Finance Centre.

Innovation in procedures and technology has also kept us ahead of our competition. The revolutionary Tunnel Demolition Machine developed by our sister company Bessac for the C703 Island Line Extension project is a good illustration of our Group synergies in action. ▶

© BACHY SOLETANCHE / LAING O'ROURKE

4



© SOLETANCHE BACHY

5



The highly flexible and powerful mini hydrofraise HC05, used at SCL 1112, and the Geomix CSM successfully introduced to Hong Kong on the TM-CLK Tunnel project, illustrate our continued investment in research and development.

I believe that a large part of our success in Hong Kong is due to the fact that we have not been obsessed by our past achievements, however successful. We have built a long-lasting trust with all our clients and have never rested on our laurels. We are always striving to create 'Smart Value' by putting our engineering capabilities to the fore at the earliest stages of a project, developing intelligent solutions with stakeholders and subsequently working with the highest productivity and safety standards in all our operations.

But all the South-East Asia business must be integrated, where BSG is the hub, characterised by very efficient synergies. What are the countries in the region, the history of their development, and the most significant achievements?

It is true that Hong Kong has been the pivotal business unit in the Asia region and remains a regional hub in particular for plant and equipment. However, the relative weight of Hong Kong compared with the other regional businesses varies, and Singapore, Malaysia and Vietnam are all businesses which are self-sustainable.

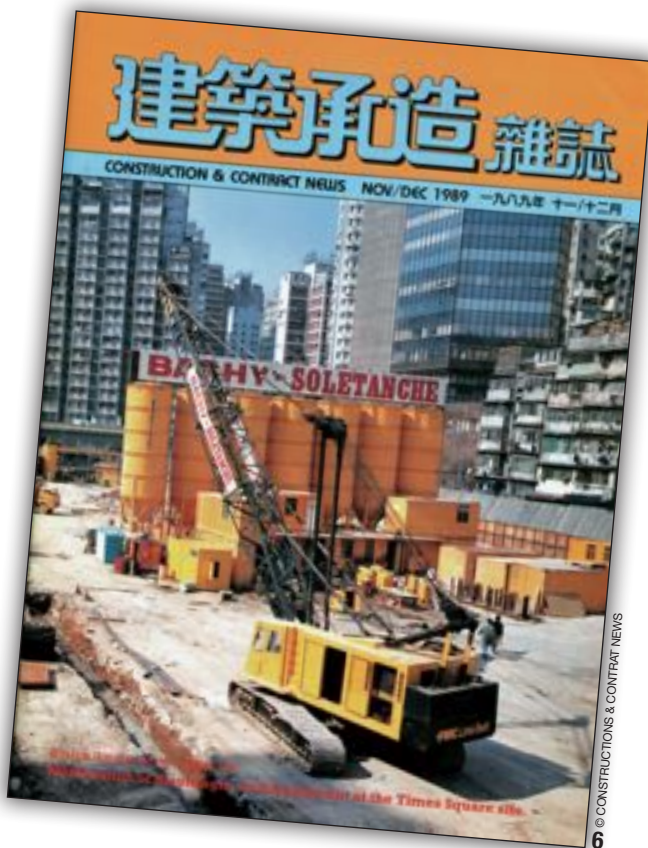
Our first foray into South-East Asia was back in the 1930's in Vietnam. I understand this was for site investigation work on the railways, but in general the first projects in most countries were working on dams, the speciality of both Bachy and Soletanche at that time.

In Singapore, as with Hong Kong, water security was a major concern in the 60's and 70's. Our entry into that market in the 70's was through the specialist cut-off walls for dams such as Upper Pierce and McRitchie.

From these modest roots, we have grown our businesses to include the whole panoply of geotechnical techniques and in recent years have tackled some of the largest underground projects in the region. In Hong Kong, major works such as the foundations and retaining walls for the High Speed Rail Terminus Station and the C811A tunnels for the same project show our continued capacity to handle the most complex and challenging jobs. These skills are reflected across the region. In Singapore, this is illustrated by major MRT contracts such as the recently completed Bugis Station and Tunnels and the current T219 Orchard Station and Tunnels, which is a very compli-

cated project with an underground interchange station and bored tunnels. Singapore's skyline is also dotted with buildings on our solid foundations, such as The Sail@Marina Bay or the iconic Marina Bay Sands hotels. We established our presence in Malaysia in the mid 70's and were well placed throughout the 1980's to take advantage of that country's huge growth. The success of the basement and foundations for the KLCC

6- Hong Kong (1989), Times Square, diaphragm wall works. Cover page of "Constructions and Contract News", nov/dec 1989 issue.



Twin Towers was a testament to the power of having firm local roots with the backing of an international group. At 125m deep, the shaft grouted barrette foundations for the two towers remain the deepest using this technique. More recently, Bachy Soletanche has completed the turnkey substructure for the enormous Ikea/MyTown project in central Kuala Lumpur and is again at the fore in infrastructure development by completing the retaining wall and doing civil works for the new Bukit Bintang Station for the MRT Line 1. Since our earliest foray into Asia, Vietnam has now developed into one of our strongest and most local business units in the region. Again, our expertise working on dams featured heavily in the early days, but the company is now solidly anchored in commercial and infrastructure work throughout the country. Our recently completed works for the new mass transit line in Ho Chi Minh City, along with the current works on the foundations and basement for the huge Golden River complex adjacent to the Saigon River, will provide a boost for a country with enormous potential.

The resources and weight of BSG in Hong Kong have always been key to the Group's ability to tackle projects of all sizes across Asia. Hong Kong has been and remains an excellent training ground for young engineers and operatives from across the region. The skills of many of our Hong Kong staff are valued internationally, not only in the Asia-Pacific region, but as far afield as the Middle East and the Americas, but admittedly this is true for staff across the region. A couple of years ago we had specialist operators from Hong Kong and Singapore working high in the Chilean Andes!



All the parent companies' techniques, both traditional and innovative, have been deployed by BSG. But the specific conditions faced locally have often led BSG to develop original customised solutions from which the whole Soletanche Bachy Group then profited. What is the range of these solutions?

From the earliest days of Bachy and Soletanche in Hong Kong we have brought innovative techniques to the service of clients.

Due to the very specific geology of Hong Kong, we had to adapt our equipment and procedures accordingly, and this led to improved productivity in some of the most severe conditions. We have thus been able to maintain a lead over our competitors, with the added bonus of being able to export this experience to other business units around the world. Many innovations first developed in Hong Kong are now routinely used around the world on diaphragm walling or barrette projects. Similarly, our experience with the very specific technique of RCD piling, where we regularly execute 3m diameter bored piles and go to depths in excess of 100m, has allowed us to export these skills around the world.

The innovation process is never-ending and we are excited by some new techniques currently being developed which will have specific applications in the Hong Kong market. But our goal is not just to use the most technologically advanced equipment, but also to operate it most productively, and we employ some of the most experienced plant operatives and worksite personnel in the industry.

Innovation is an important factor, but what is often overlooked by our com-

BACHY SOLETANCHE IN ASIA PACIFIC

- In Asia Pacific since 1938.
- 9 Subsidiaries.
- Permanent offices in 7 countries: Australia, China, India, Malaysia, New Zealand, Singapore, Vietnam.
- Total Employees: 1,400.
- Regional turnover: €280m.



7- Hong Kong (2012), Central Wanchai Bypass Contract 15, Causeway Bay Typhoon Shelter, diaphragm walls.

8- Hong Kong (2011), MTR Contract C703, factory testing of the Tunnel Demolition Machine before shipment to site.

9- Hong Kong (2016), Western Court commercial project for Henderson Land, retaining walls and foundations.

10- Hong Kong (2014), MTR Contract C1103, Diaphragm Wall shafts for tunneling. Subcontractor to Vinci Construction Grands Projets.

petitors is our flexibility in applying conventional and modern techniques together on projects. There are many examples where the latest technology is inappropriate for a specific situation. We are able to call on an enormous variety of sometimes unique equipment to tackle almost any project.

Safety is a major concern at BSG, which has always been reflected by results which are among the best at Soletanche Bachy as a whole. BSG often wins the safety trophy. What is the secret of this success?

Safety is the utmost priority of the whole Group and Hong Kong is no exception.

There is no secret to keeping our workforce safe. It starts at the top. There must be 150% commitment of the management and it needs to be visible. The safety culture we have developed over the years is due to the hard work of the senior management in all of our businesses across the region and a focus on safety which starts from the

tender stage and continues through to the delivery of a project. It is applied in the offices and at our workshops

Of course we take pride in our numerous safety awards, but most of all we take pride in having created the right culture and being proactive in implementing safe practices at all times. We reward success and encourage any measure that helps improve our safety. We are always on the lookout for innovative approaches to safety, and we encourage everyone, including subcontractors and front-line operatives, to engage in safety. The programme started four years ago to encourage reporting of risky situations has been a great success and we have seen a measurable improvement in our safety standards and statistics.

There is very active communication between all our business in the region sharing information on all aspects of health and safety.

The standards we have set ourselves have produced great results everywhere, including at Bachy Soletanche Vietnam which is the acknowledged safety leader for the whole industry in Vietnam.

Although we believe that BSG has some of the best safety standards in Hong Kong, we know that we will never be satisfied with our current statistics and continue to focus on improvement, to be even better in the future.

What is the human resources policy practised?

Our human resources policy is the same the world over - we look to recruit, train and retain the very best personnel in our industry and it is with some pride that we have, I believe, been able to maintain our business at the very top for so long because of this. ▷

© SOLETANCHE BACHY

9



© VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS

10



Our businesses across the region are run by local staff who serve at the most senior levels of management.

The number of expatriates in our business units and on site has progressively decreased, as they have been replaced by highly trained and competent local staff.

In fact, our Asian staff are sought after around the world! BSG in Hong Kong is not only able to service its own business but is occasionally called on to support projects around the region or further afield. This is also true of all our regional businesses, with an almost constant flow of staff and operatives supporting projects and offices elsewhere.

But we are well aware that Asia provides an excellent training ground for our young engineers from around the world. Not only because of the challenging technical work but also because of the unique multicultural environment which broadens minds and develops respect for the massive knowledge and experience acquired by our local staff.

Is equipment pooled?

Although each business owns its own resources, these are managed centrally from Hong Kong, which facilitates the optimisation of our fleet of specialist equipment. A number of our companies have specific equipment for their own needs, such as the RCD's in Hong Kong and hydraulic piling rigs in Singapore and Malaysia, but this equipment is also available across the region.

Our strong logistical base allows us to move equipment to where it is needed, and because we manufacture our own specialist plant we are able to design it so that it can be transported easily and economically by container. The new HCO5 hydrofraise is a prime example of this.

We are also one of the few specialist contractors to offer the full range of geotechnical techniques, which means we can put the right machine on the right job without compromising production or safety.

By regularly renewing equipment and through constant improvement, our machines achieve greater productivity and cost savings. Our innovation culture and a formalised system for experience feedback from projects not only in the region but worldwide allows us to tweak the performance of our equipment. This, together with the extensive in-house training provided for our plant operators, allows us to maintain our competitive edge.



11



12



13



14

© SOLETANCHE BACHY

11- Hong Kong (2005), China Light & Power Cable Tunnel.

12- Hong Kong (2016), Vehicle Clearance Plaza for the Hong Kong - Macau - Zuhai bridge.

13- Hong Kong (2014), Tun Mun / CLK Tunnel, Geomix Ground Treatment block.

14- Hong Kong (2015), West Kowloon Cultural District, M+ Foundation Contract.

innovation in design, techniques and equipment gives us this edge.

We have also developed a capacity for working as a main contractor on projects where there are significant and/or high-risk geotechnical aspects. Usually we will partner a general contractor, but we have the necessary experience to go it alone when required. This flexibility of approach has really kept us at the forefront of the industry, allowing us to move up the value chain and deliver value directly to the Client. But this is just one of the tools we have to remain competitive.

Are there good growth prospects in the region?

Development across the region is now more varied and challenging.

In Hong Kong, there has clearly been a slowdown, and competition has increased. However, there are new challenges as this mature urban environment continues to expand, weaving new underground infrastructure around existing operational infrastructure. Similarly, buildings are being demolished and rebuilt taller and to higher standards, to make full use of the limited land space.

We are also seeing an increased environmental awareness of populations no longer prepared to put up with the disruption, noise or air pollution caused by construction, and of course an emphasis on safety and workers' rights meeting the most stringent standards. The construction and environmental challenges posed by these diverse projects and constraints are very stimulating for us, driving us to keep on innovating in our passion for the construction of complex underground works. □

What is your view of the competition in the special foundations sector, in Hong Kong and in South-East Asia?

We face competition on several fronts. As well as local, regional and international specialist contractors, there are also main contractors equipped with spe-

cialist plant or having in-house departments doing specialist geotechnical work. It is certainly extremely competitive in Hong Kong. This is why our focus is on technical innovation, sound project management and safety. It is important to differentiate ourselves from our competition and I think that our continued

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

INTERNATIONAL 909

VILLES ET TRANSPORTS 910

PATRIMOINE ET RÉHABILITATION 911

SPÉCIAL LGV 912

TRAVAUX SOUTERRAINS 913

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX 914

OUVRAGES D'ART 915

SOLS ET FONDATIONS 916

SPÉCIAL BIM 917

INTERNATIONAL 918

VILLES, TRANSPORTS ET PATRIMOINE 919

SPÉCIAL BFUP 920

TRAVAUX SOUTERRAINS 921

TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX 922

OUVRAGES D'ART 923

*Offre valable jusqu'au 31/12/17 - COMETCOM - MAI 2016



BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

À renvoyer à : Com et Com - Service Abonnements TRAVAUX - Bât. Copernic - 20 av. Édouard Herriot - 92350 Le Plessis-Robinson
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22 - Fax : +33 (0)1 40 94 22 32 - Email : revue-travaux@cometcom.fr

JE COMMANDE LES NUMÉROS SUIVANTS (cochez les cases de votre choix en indiquant le nombre d'exemplaires) :

- | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 909 x | <input type="checkbox"/> 914 x | <input type="checkbox"/> 919 x |
| <input type="checkbox"/> 910 x | <input type="checkbox"/> 915 x | <input type="checkbox"/> 920 x |
| <input type="checkbox"/> 911 x | <input type="checkbox"/> 916 x | <input type="checkbox"/> 921 x |
| <input type="checkbox"/> 912 x | <input type="checkbox"/> 917 x | <input type="checkbox"/> 922 x |
| <input type="checkbox"/> 913 x | <input type="checkbox"/> 918 x | <input type="checkbox"/> 923 x |

Soit un montant total de :
_____ numéros x 15 € = _____ €

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 15 € à 13 € l'unité)
*Offre valable jusqu'au 31/12/17 et hors frais postaux : 4,80€ d'envoi France, 9,00€ d'envoi Europe et 11,00€ d'envoi étranger hors Europe. Conformément à la Loi Informatique et des Libertés du 06/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes extérieurs. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher cette case

JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom _____ Prénom _____
 Entreprise _____ Fonction _____
 Adresse _____
 Code postal [] [] [] [] [] Ville _____
 Tél. : _____ Fax : _____
 Email : _____ Merci de ne pas communiquer mon adresse mail

Je joins mon règlement d'un montant de _____ € TTC par Chèque à l'ordre de **COM'1 ÉVIDENCE**

ATTENTION : tous les règlements doivent être libellés exclusivement à l'ordre de COM'1 ÉVIDENCE

- Je réglerai à réception de la facture
 Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire

EGIS ÉLARGIT SES DOMAINES D'INTERVENTION EN ASIE DU SUD-EST

EGIS A RÉALISÉ 60% DE SON CHIFFRE D'AFFAIRES DE 937 MILLIONS D'EUROS (2015) À L'INTERNATIONAL, 8% EN ASIE (75 MILLIONS). LE GROUPE EMPLOIE ENVIRON 250 PERSONNES EN INGÉNIERIE EN ASIE-PACIFIQUE DONT CELLE DU SUD-EST : UNE QUARANTAINE D'EXPERTS INTERNATIONAUX, DES INGÉNIEURS RÉGIONAUX, DU PERSONNEL LOCAL ADMINISTRATIF AUQUEL IL FAUT AJOUTER UN IMPORTANT EFFECTIF D'EXPLOITATION ET MAINTENANCE. IL APPORTE SON EXPERTISE SUR DES PROJETS ROUTIERS, DES OUVRAGES D'ART ET, DE PLUS EN PLUS, DU TRANSPORT COLLECTIF, AINSI QUE SUR L'AÉRIEN, L'EAU ET LE NUCLÉAIRE. **ENTRETIEN AVEC OLIVIER FLURY, DIRECTEUR ASIE-PACIFIQUE D'EGIS.** PROPOS RECUEILLIS PAR MONIQUE TRANCART



1
© EGIS

EGIS CONSOLIDE SA PRÉSENCE EN ASIE DU SUD-EST AVEC L'OUVERTURE EN JUILLET 2015, D'UNE BASE RÉGIONALE À BANGKOK, CAPITALE DE LA THAÏLANDE BIEN RELIÉE AUX PAYS VOISINS PAR AVION. OLIVIER FLURY, RESPONSABLE DE CETTE RÉGION, NOUS FAIT PART DES PARTICULARITÉS COMMUNES À CET ENSEMBLE DE PAYS ET DE CELLES QUI LES DIFFÉRENCIENT. EN ILLUSTRATIONS : DES CHANTIERS OÙ EGIS EST INTERVENU.

La Thaïlande est confirmée comme tête de pont d'Egis en Asie du Sud-Est.

Egis est présent en Thaïlande depuis vingt-cinq ans. Le groupe dispose d'une filiale en Thaïlande depuis 1989 à travers l'implantation de Jean Muller

International qui, depuis, est devenue JMI Pacific. C'est très positif pour nous de disposer d'une base régionale plutôt que de travailler à partir de Paris. Nous sommes plus proches du marché potentiel, nous pouvons étoffer nos réseaux de relations. Le groupe perçoit



© JMI PICTURE

2



© JMI PICTURE

3

l'Asie du Sud-Est comme une zone de développement futur, un gros marché à forte croissance, où il y a énormément de projets. Egis a l'ambition de se développer dans les transports urbains, l'aéroportuaire et le trafic aérien, les routes, les investissements en exploitation d'infrastructures, l'eau et l'aménagement urbain.

Qu'entendez-vous par Asie du Sud-Est ?

La région couvre la plupart des pays de l'Asean, l'Association of Southeast Asian Nations⁽¹⁾. Elle s'étend du Myanmar au nord-ouest à l'Indonésie au sud, et aux Philippines, au nord-est. À cela, il faut ajouter, pour le groupe Egis, le Sri Lanka, Taïwan, Macau⁽²⁾, la Chine et la Mongolie. La zone que je dirige, l'Asie-Pacifique, inclut également le Japon, l'Australie, la Nouvelle-Zélande, des îles du Pacifique et la Corée du Sud. L'Inde est dotée d'une filiale autonome, Egis India, à laquelle sont rattachés le Bangladesh, le Bhoutan et le Népal.

Depuis quand le groupe est-il présent sur la région ?

Nous y sommes de façon continue depuis une trentaine d'années mais nous avons participé à des projets plus anciens, liés à des financements internationaux pour des infrastructures, par exemple au Cambodge. Les implantations les plus récentes sont celles au Vietnam en 2004 et au Sri Lanka en 2008. Nous avons des filiales aux Philippines, en Indonésie, au Myanmar, à Singapour, en Chine et Mongolie, et une agence au Cambodge. Les marchés matures comme ceux de Singapour et de Hong Kong sont moins accessibles. La concurrence y est très forte. Nous avons remporté plusieurs contrats d'expertise dans le domaine du rail depuis trois ans à Singapour et nous nous intéressons aussi à ce domaine à Hong Kong.

OLIVIER FLURY L'ASIE APRÈS L'AFRIQUE

Olivier Flury, 43 ans, a un parcours international. Ingénieur en génie civil, il a un double diplôme : celui de l'École nationale des travaux publics de l'État et un Master of Transport Planning de l'Université de Westminster (Londres). Puis, il passe plus d'un an en Espagne dans le transport routier avant de rejoindre le ministère de l'Équipement français en supervision de travaux.

Il entre chez Egis début 2007. Pendant six ans, il gère des projets de grands axes routiers en Afrique de l'Ouest et Centrale, principalement en République du Congo - route nationale 1 entre le port de Pointe Noire et Brazzaville, la capitale, et pont de 2 km sur le fleuve Congo entre Brazzaville et Kinshasa -, au Cameroun et au Niger.

Depuis juillet 2012, il dirige l'activité d'Egis en Asie-Pacifique, grande région qui inclut celle d'Asie du Sud-Est.

1- Olivier Flury, directeur Asie-Pacifique d'Egis.

2- Construction de la Si Rat Expressway, autoroute aérienne à Bangkok (Thaïlande).

3- Ligne de métro Green Line à Bangkok (Thaïlande) : construction d'une station sans interruption du trafic.

4- Excavation récente pour l'Eastern Indonesia National Roads Improvement Project, en Indonésie.

5- Routes de l'Eastern Indonesia National Roads Improvement Project (Indonésie, 2015).

Observez-vous des similitudes entre ces pays ?

Certains pays ou régions sont très développés comme Hong Kong et Singapour, d'autres sont beaucoup moins avancés comme le Cambodge et le Laos. Entre-deux, on trouve la Thaïlande, la Malaisie, les Philippines, l'Indonésie et le Vietnam qui sont des économies émergentes.

Le Myanmar s'ouvre tout juste. L'ensemble se présente comme un marché à la fois ouvert et fermé. Il est très ouvert à la concurrence et aux idées. Il y a de la concurrence y compris dans les financements entre bailleurs internationaux. Les fonds sont attribués selon les alliances politiques entre pays et avec les pays voisins - Japon, Corée du Sud, Chine, Australie - ou plus éloignés comme avec les États-Unis. Le marché apparaît fermé parce que chaque pays est assez nationaliste, avec des barrières à l'entrée plus ou moins officielles. Ce peut être des licences ou l'obligation pour des étrangers d'entrer dans le capital d'une

société locale comme par exemple, aux Philippines, en Thaïlande et en Indonésie. De plus, il faut employer des ingénieurs locaux, ce qui n'est pas un inconvénient, vu leur niveau la plupart du temps. Les Philippines fournissent beaucoup de bons ingénieurs, bien formés, qui parlent anglais, sont très mobiles. Certains sont déjà partis en Afrique ou au Moyen-Orient.

Le personnel local est nécessaire aussi parce que l'anglais n'est pas partout parlé couramment. En Thaïlande, il faut parler thaï, au Vietnam, vietnamien, etc. Les projets ont tendance à ne pas se dérouler de façon linéaire, ce qui est un peu déroutant pour nous. Il peut être difficile de savoir où en est un projet. La presse sert parfois d'intermédiaire entre les grands groupes privés et les gouvernements, avec des annonces puis des démentis.

Les règles techniques diffèrent d'un pays à l'autre. Certains reconnaissent les standards américains ou des dérivés comme les Philippines ou la Thaïlande. Le Vietnam s'inspire d'un panel de normes pour ses routes. Le Myanmar est encore largement basé sur des standards anglais. Le ferroviaire en Mongolie est régi par des normes inspirées des russes, etc.

Quels sont les domaines porteurs ?

Le grand sujet en Asie du Sud-Est, c'est le développement urbain, phénomène déjà important et qui va s'amplifier. Il faut des transports en commun de qualité pour faire fonctionner les villes étendues. Des projets de métro et de tramway vont apparaître en Thaïlande et aux Philippines. En Indonésie, cela se fera mais sur le plus long terme. L'Asie du Sud-Est se prête moins à des lignes ferroviaires internationales pour des raisons géographiques. Souvent des chaînes de montagnes font frontière. ▷

© EGIS

4



© EGIS

5



Certains pays ont une forme tout en longueur comme le Vietnam ou la Thaïlande, avec des distances très grandes. D'autres sont des archipels, comme la Malaisie et l'Indonésie. Chaque pays développe son réseau mais la connexion entre eux reste à faire. Quelques grands projets transfrontaliers retiennent toutefois l'intérêt d'Egis, tels que la ligne à grande vitesse Kuala Lumpur (Malaisie)-Singapour ou bien Bangkok-Vientiane (Laos) où le groupe est déjà impliqué en phase amont.

Les liaisons aériennes sont nombreuses. L'aérien est un secteur où Egis investit car il y a énormément à faire. Il propose du conseil en gestion et sécurité du trafic aérien, de l'ingénierie aéroportuaire et des services d'exploitation d'aéroports. Il a signé un premier contrat en Thaïlande portant sur le management de la transition entre un ancien système de gestion du trafic et un nouveau.

Autre domaine important : la gestion de la ressource en eau. Nous étudions la faisabilité d'un projet de barrage pour alimenter Manille (Philippines) en eau potable. Au Cambodge ou encore en Indonésie, nous étudions et contrôlons la réalisation de périmètres irrigués et d'aménagements de lutte contre les inondations, et nous faisons de l'assistance au partage de la ressource en eau.

Par ailleurs, la lutte contre le changement climatique, la montée des eaux et les inondations génèrent de plus en plus de projets avec des financements internationaux. Les infrastructures doivent être moins vulnérables aux événements et plus faciles à remettre en état. Toujours au Cambodge, le "Flood Damage Emergency Reconstruction Project" a été créé pour remédier aux lourds dégâts liés à la crue du Mekong[®], deux typhons et de fortes pluies qui ont eu lieu d'août à octobre



6 © OLIVIER RIVALTA/EGIS RAIL

2011. Il porte sur plusieurs volets dont des travaux routiers, des ponts et des digues à reconstruire. L'Asie du Sud-Est est également exposée aux tremblements de terre et aux tsunamis.

En dehors des grands projets internationaux, comment les pays financent-ils leurs infrastructures ?

Le financement privé ou mixte public/privé est fréquent dans la région parce que les pays n'ont pas forcément la capacité à financer leurs infrastructures sur leur budget. Ils essaient de recourir à ces partenariats. Les Philippines le font depuis longtemps. Egis est présent depuis vingt-deux ans là-bas à travers une activité d'investissement, d'exploitation et maintenance d'autoroutes ainsi que de services à la mobilité routière avec sa filiale Easytrip (gestion d'abonnés, télépéage, carte multi-paiement).

Les grands groupes philippins d'investissement essaient de développer de l'ingénierie. En 2015, Egis a remporté, en partenariat avec une société d'ingénierie espagnole et des ingénieries

6- Egis est chargé des études et assiste la maîtrise d'ouvrage de la réalisation du métro de Macau.

7- Supervision de travaux sur le projet de route entre Dili et Ainaro au Timor oriental, au nord de l'Indonésie.

8- Construction d'un mur en maçonnerie sur la route Dili-Ainaro au Timor Oriental.

9- Transport d'une travée d'un viaduc d'une ligne de train à grande vitesse dans le centre de la Chine.

10- Pose du dôme d'une des deux centrales de Taishan (Chine), à réacteur EPR, dont Egis a réalisé les calculs de génie civil.

locales, l'assistance technique au concédant d'une ligne de métro qui fait l'objet d'une reprise d'exploitation, d'une réhabilitation et d'un prolongement par un concessionnaire. Il s'agit de certifier la qualité des études, des travaux et des systèmes, et leur conformité aux engagements, pour le compte du ministère des Transports.

En Indonésie, pays qui a le plus gros programme d'infrastructures de toute la région, c'est différent.

Le gouvernement arrivé en 2014 montre une volonté d'investir et fait des efforts pour accélérer les programmes. Il confie les projets à des entreprises d'État et cherche peu d'investissements étrangers pour l'instant. Egis intervient à travers sa filiale. Elle répond à des offres avec des ingénieurs indonésiens.

Quels sont les principaux domaines d'intervention d'Egis en Asie du Sud-Est ?

En Thaïlande où notre filiale est centrée sur les ouvrages d'art, nous avons développé le concept et réalisé les études d'exécution des deux premières



7 © EGIS



8 © EGIS

Gigantesque

Le plus grand tunnelier du monde (Ø 17,63m) réalisé par Herrenknecht renforce le réseau de transport de Hong Kong en participant à la construction d'un tunnel routier desservant l'aéroport international.

Entrepreneurs (joint-venture) :
 > Dragages Hong Kong Limited
 > Bouygues Travaux Publics

Pioneering Underground Technologies

www.herrenknecht.com

lignes de métro aérien de Bangkok, en voissors préfabriqués précontraints. Nous avons déjà remporté plusieurs contrats sur les études d'exécution des différentes phases d'extension. Avec les entreprises locales, nous avons développé depuis vingt-cinq ans des méthodes de construction fondées sur la préfabrication d'éléments précontraints. Grâce à des innovations et des optimisations successives, nous sommes restés à la pointe du marché. Nous avons également conçu et réalisé le premier "U-channel bridge" [NDLR, tablier en forme de U] en Thaïlande et avons participé au plus grand ouvrage

haubané de la région. Depuis trois ans, nous développons aussi le transport aérien et le rail.

Au Vietnam, les routes restent un domaine traditionnel du groupe. Nous y avons réalisé récemment les études pour 600 km de routes, aux standards vietnamiens, sur des sols instables, altérés, récents, qu'il est nécessaire de renforcer. Nous sommes présents également dans ce domaine au Sri Lanka, en Indonésie et au Cambodge. Nous avons supervisé les travaux de vingt sections routières sur différentes provinces de l'Est de l'Indonésie, achevées en 2015.

Que faites-vous en Chine ?

Nous supervisons les travaux de deux tronçons de la ligne de train à grande vitesse, dans le centre de la Chine. L'un des tronçons entre Zhengzhou et Xuzhou est en viaduc sur 50 km pour franchir routes et canaux dans une grande plaine. Le ferroviaire est un domaine important pour Egis.

Toujours en Chine, dans le sud près de Hong Kong, à Taishan, nous avons fait les études de conception, les calculs et les plans de construction des charpentes et des parties béton de deux centrales à réacteur EPR, d'une technologie développée pour ce marché.

Le chantier se termine. Les centrales nucléaires sont un domaine d'excellence d'Egis qui entend être présent sur ce marché en Asie du Sud-Est. La Chine développe un grand programme nucléaire et d'autres pays de la région y pensent. □

- 1- **Asean** : Brunei, Cambodge, Indonésie, Laos, Malaisie, Myanmar, Philippines, Singapour, Thaïlande, Vietnam.
- 2- **Macau** : région chinoise à statut spécial comme Hong Kong.
- 3- **Le Mekong** - 4 500 km environ - prend sa source en Chine et rejoint la mer au Vietnam après avoir traversé ou côtoyé le Laos, le Myanmar, la Thaïlande et le Cambodge. Sur le projet, voir le site internet <http://gdb.mef.gov.kh/fderp/about/>.

© EGIS

9



© LAURENT MALET/EGIS

10





1

© DRAGAGES-CHINA HARBOUR-VSL JV

LA LIAISON HONG KONG / ZHUHAI / MACAO - CONTRAT HY2011/09

AUTEURS : YVES RIALLAND, DIRECTEUR TECHNIQUE ÉTUDES, BOUYGUES TP - VALÉRY PREMAUD, CHEF DE GROUPE ÉTUDES, BOUYGUES TP

LE PROJET, D'UNE LONGUEUR TOTALE DE 42 KM, RELIE DE PART ET D'AUTRE DE LA RIVIÈRE DES PERLES, HONG KONG AUX VILLES DE ZHUHAI ET MACAO. LE CONTRAT 09 EST UN PONT ROUTIER DE 9,4 KM DE LONG. LES DEUX CAISSONS, POUR UNE LARGEUR TOTALE DE 34,50 M, PORTENT DEUX FOIS TROIS VOIES ET DÉGAGENT EN MER DEUX PASSES NAVIGABLES DE 100 M DE LARGE POUR 42,5 M DE HAUT. LES TRAVÉES DE 180 M SUR LE CHENAL LE LONG DE L'AÉROPORT INTERNATIONAL DE CHEK LAP KOK, CONSTITUENT À CE JOUR UN RECORD DU MONDE DE PORTÉE POUR DES VOUSOIRS PRÉFABRIQUÉS.

Le Contrat de Conception/Réalisation a été attribué en mai 2012 pour un montant de 1,25 milliard d'euros au groupement comprenant Dragages Hong Kong et VSL, filiales de Bouygues Construction, et l'entrepreneur hongkongais China Harbour. Le marché des fondations a été sous-traité aux entreprises spécialisées Bauer, le Coréen Sambo et Bachy Soletanche Ltd. La préfabrication est effectuée en Chine à Zhongshan, par les entreprises China Construction Company 2 (CCCC2) pour les voussoirs du tablier et Mbec pour les piles.

1- Grandes travées dans le chenal.
2- Viaducs en mer.

1- Large spans in the channel.
2- Viaducts at sea.



2

© DRAGAGES-CHINA HARBOUR-VSL JV



3- Viaducs à terre.
4- Tablier courant en mer.

3- Viaducs on land.
4- Standard deck at sea.

Les coques préfabriquées des semelles sont, quant à elles, fabriquées à Canton par Fortress.

Le maître d'ouvrage Hong Kong Highways Department délègue la maîtrise d'œuvre à Ove Arup & Partners. Les études ont été menées conjointement avec le bureau d'études singapourien Ywl Engineering, Mott Macdonald ainsi que le bureau d'études de Bouygues Tp.

L'architecte du groupement est le cabinet Alain Spielmann.

LE PROJET DU PONT DE HONG KONG - MACAO

Les 115 travées constituant le projet peuvent être classées en trois différents types. Ils sont fondamentalement différents, même si un soin particulier a été porté pour garder une cohérence dans les coffrages en assurant ainsi l'unité architecturale entre les viaducs au nombre de 19, tout en optimisant les outils coffrants. Ces viaducs routiers portent deux fois trois voies, les véhicules roulant à droite à une vitesse limitée à 100 km/h.

Le retournement de la circulation se fait au-delà des limites du projet sur le BCF (Boundary Crossing Facilities), de façon à rouler à gauche en arrivant à Hong Kong.

Les viaducs courants en mer, constitués de 8 travées égales, commencent à P00 en région administrative spéciale de Hong Kong (HKSAR), dix mètres au-delà de la frontière, avec ML01 et ML02 (figure 2).



© DRAGAGES-CHINA HARBOUR-VSL JV

© DRAGAGES-CHINA HARBOUR-VSL JV



5

© DRAGAGES-CHINA HARBOUR-VSL JV

Une zone de raccordement est réalisée sur les premiers mètres du projet pour se reprendre sur le tablier côté chinois, un peu plus large et moins épais.

Entre les piles P16 et P21, en vue de dégager les deux passes navigables en mer, MLO3 est le premier grand viaduc à hauteur variable avec 5 travées (109 m + 3*150 m + 109 m = 668 m). Au-delà, vers Hong Kong, se déclinent les viaducs ML04 à ML09 et le premier grand viaduc ML10 qui enjambe l'avancée en mer entre Shek Wan et Sha Lo Wan à compter de P67.

Entre les piles P67 et P84, on trouve les grands viaducs à hauteur variable du chenal de l'aéroport :

- Viaduc ML10 : 3 travées = 115 m + 180 m + 115 m = 410 m ;
- Viaduc ML11 : 4 travées = 109 m + 2*165 m + 109 m = 548 m ;
- Viaduc ML12 : 4 travées = 109 m + 2*165 m + 109 m = 548 m ;
- Viaduc ML13 : 3 travées = 115 m + 180 m + 115 m = 410 m ;

→ Viaduc ML14 : 3 travées = 115 m + 180 m + 100 m = 395 m.

Enfin, de P84 à P115 sur environ 1,75 km, les viaducs à terre longent l'aéroport en parallèle d'une route, en prenant appui sur une jetée en encochement (figure 3). Le nombre de travées par viaduc varie de 4 à 8 en fonction des contraintes au sol telles que les routes et les réseaux. Les travées principales varient entre 55 m et 65 m et sont équilibrées avec les longueurs des rives.

LES OUVRAGES EN MER, OU ENCORE

« WESTERN WATERS VIADUCTS »

Les travées de viaducs courants en mer ont sensiblement 75 m de long. La chaussée a une largeur de 14,80 m pour chacune des deux directions de circulation et comprend un séparateur central de 1,30 m (figure 4). Bien que le balancement des travées ne soit pas optimum sur les rives, cette répartition régulière est requise pour satisfaire une

5- Ouvrage de retournement.

6- Voussoirs sur pile des grandes travées.

7- Clavage des O1.

5- Overturning structure.

6- Segments on piers for the large spans.

7- O1 keying.

2,30 m. Les galeries techniques sur les rives des caissons constituent une particularité dans la mesure où elles sont préfabriquées avec les voussoirs. Les fléaux des travées en mer sont constitués de 2 x 10 voussoirs, plus 2 demi-voussoirs sur piles. La construction se fait par encorbellements successifs, soit à la chèvre de levage, soit à la poutre de lancement. Les voussoirs sur piles sont montés à la grue.

L'OUVRAGE DE RETOURNEMENT

Les rampes d'accès, de part et d'autre de la traversée du tablier principal, participent assez largement à la complexité du projet sur les viaducs depuis ML07 à ML09 (figure 5).

L'élargissement progressif du tablier principal se fait successivement :

- Sur la travée P49/P50 pour descendre vers le tablier en venant de Hong Kong ;
- Sur la travée P50/P51 pour monter vers la traversée en venant de Macao ;

spécification architecturale fixée par le marché.

Le tablier, constitué des deux caissons de 4 m d'épaisseur (voussoirs type « A ») dont les axes sont distants de 2 x 8,75 m, est porté par deux colonnes séparées reposant sur deux semelles de forme triangulaire qui reprennent chacune trois pieux de diamètre



6



7

© DRAGAGES-CHINA HARBOUR-VSL JV

→ Sur la travée P61/P62 pour monter vers le la traversée en venant de Hong Kong ;

→ Sur la travée P62/P63 pour descendre vers le tablier en venant de Macao.

Ces travées, dites de transition, sont constituées sur les demis fléaux P49, P50, P62 et P63, de voussoirs qui passent progressivement de deux âmes à trois âmes (voussoirs type « DT »). Les voussoirs restent ensuite élargis (voussoirs type « D ») jusqu'aux entretoises couléées en place en P52 et P60. Les travées P52/P53 et P59/P60 sont ensuite constituées de quatre caissons, deux de type « A » pour les voies principales et deux de type « B » pour les voies d'accès, le tout clavé transversalement par des joints coulés en place.

Les rampes aboutissent à un tablier qui traverse l'ouvrage principal, permettant aux véhicules de service ou de secours de faire un demi-tour.

Les fléaux des rampes ont 2 x 9 voussoirs plus un voussoir sur pile.

LES VIADUCS À GRANDES TRAVÉES

Que cela soit ML03 pour les grandes travées en mer de 150 m, sur le chenal de l'aéroport avec ML11 ou ML12 pour les grandes travées de 165 m, ou encore avec ML10, ML13 et ML14 pour les grandes travées de 180 m, le type de voussoirs constituant les fléaux reste le même, avec une hauteur à la clé de 4 m :

→ **Fléaux pour les travées de 150 m :** voussoirs CH07 (hauteur côté appui 7,936 m) à CH25 ;

→ **Fléaux pour les travées de 165 m :** voussoirs CH04 (hauteur côté appui 8,954 m) à CH25 ;

→ **Fléaux pour les travées de 180 m :** voussoirs CH01 (hauteur sur appui 10,00 m) à CH25.



8

© DRAGAGES-CHINA HARBOUR-VSL JV

8- Colonnes préfabriquées.
9- Butées parasismiques.
10- Colonnes à terre.

8- Prefabricated columns.
9- Earthquake-resistant thrust stops.
10- Columns on land.

Dans les zones à forte courbure (depuis les fléaux P77 jusqu'à la pile culée P84), les voussoirs sont élargis de façon à produire une largeur de tablier majorée jusqu'à 4,20 m, et satisfaire ainsi aux critères de visibilité.

Les colonnes supportant les fléaux sont des bilames, et l'ensemble de trois voussoirs de 3,0 m forment le « Voussoir sur Pile » (figure 6).

Tous ces fléaux sont construits sur le même concept, dérivant du viaduc ML10 ayant servi de modèle.

LES OUVRAGES À TERRE

Exception faite de la zone à voussoirs élargis (voussoirs type « EV »), depuis P84 jusqu'à P88 où le tablier a une hauteur de 4,00 m comme sur les travées en mer, la hauteur du tablier est de 3,20 m (Voussoir type « E »).

Sur les rives des viaducs, ces entretoises reposent sur des appareils d'appui, alors qu'elles sont encastrées sur les colonnes pour les travées courantes. Transversalement, comme sur le reste du projet, la section transversale est constituée de deux caissons, hormis le dernier viaduc à l'approche du tunnel du Contrat O3, où la section transversale est constituée de trois caissons. Sur pile, des entretoises couléées en place reposant sur deux colonnes, constituent un portique sur lequel viennent se claver les voussoirs 01 (figure 7).

Le calepinage des viaducs est le suivant :

→ **Viaduc ML15 :** 8 travées = 43 m + 6 x 65 m + 37 m = 470 m ;

→ **Viaduc ML16 :** 7 travées = 37 m + 5 x 65 m + 43 m = 405 m ;

→ **Viaduc ML17 :** 5 travées = 43 m + 3 x 65 m + 48 m = 286 m ;

→ **Viaduc ML18 :** 7 travées = 48 m + 53 m + 4 x 55 m + 35 m = 56 m ;

→ **Viaduc ML19 :** 4 travées = 40 m + 2 x 65 m + 38,8 m = 209 m.

Les travées de rive sont posées selon les cas, en fonction du nombre de voussoirs et de l'équilibrage des fléaux, soit en faux fléaux, soit en suspendant les voussoirs au lanceur ou encore en s'appuyant sur des tours.

LES PILES EN MER

Hormis les piles courtes de P45 à P67 couléées en place, les piles sont préfabriquées et creuses pour les autres colonnes des viaducs courants en mer. L'intérieur du caisson reste dans tous les cas inaccessible (figure 8). ▷



9



10

Les voussoirs des colonnes préfabriquées sont à joints conjugués, donc justifiés suivant les mêmes critères que les voussoirs préfabriqués du tablier, ce qui implique des clouages permanents qui s'ancrent soit dans la semelle, soit dans la première levée de pile coulée en place. En tête, ces câbles s'ancrent dans la tête de pile préfabriquée, les ancrages en service étant noyés dans le remplissage béton coulé en place. On distinguera deux types de colonnes, celles dites fixes sur lesquelles le tablier est encastré, et les glissantes munies d'appareils d'appuis (Mageba).

Les têtes de piles sont élargies par rapport au fût pour permettre la reprise des efforts du tablier. La transition se fait sur les 4,50 derniers mètres, transversalement de 5,00 à 7,50 m et longitudinalement de 3,20 à 4,80 m pour les piles glissantes, avec pour les piles fixes une tête réduite à 6,90 x 4,20 m s'appuyant sur un fût dont les dimensions restent les mêmes que pour les piles glissantes. Vis-à-vis du séisme, les appareils d'appuis spéciaux sont munis d'un dispositif fusible, de telle façon que, sous les sollicitations extrêmes, des butées parasismiques reprennent les efforts horizontaux transversaux (figure 9).

LES PILES DES GRANDES TRAVÉES

Elles sont toutes coulées en place. Le tablier est encastré sur les piles centrales en bilames et repose sur des appareils d'appuis glissant longitudinalement sur les piles-culées avec blocage transversal (figure 10).

Les conséquences de ce choix structurel sont :

- Une forte interaction entre les tabliers, les piles et les fondations ;
- Un fonctionnement en portique dans le sens longitudinal ;
- Une grande sensibilité des sollicitations/déformations à la raideur des fondations.

L'encastrement sur des doublets de piles est une disposition appropriée avec des piles hautes, en particulier sur MLO3, car l'encastrement est bien réalisé, mais préserve une souplesse longitudinale par rapport aux déformations linéaires et au séisme longitudinal.

Les variations linéaires (contraction/dilatation thermique et retrait + fluage) sont en partie compensées par le véringage des fléaux avant le clavage.

LES PILES À TERRE

Les piles de section carrée 3,20 x 3,20 m sont directement montées sur un pieu bétonné à l'intérieur d'une chemise métallique provisoire de 3 m de diamètre et de 32 mm d'épaisseur foncée jusqu'au rocher. La section utile d'encastrement dans le rocher présente un diamètre de 2,78 m (figure 11).

Une fois l'excavation achevée, une gaine permanente de 20 mm d'épaisseur est installée entre le niveau final et les alluvions, celle-ci assurant une protection contre la corrosion. Après que la cage de ferrailage est installée, le pieu est bétonné au tube plongeur. La gaine temporaire est retirée avant prise du béton. Une injection au coulis de ciment comble les vides.

Cette alternative au concept de référence pour lequel le tablier reposait sur des piles marteaux, présente le grand avantage d'éviter des batardeaux sur la digue pour la réalisation de semelles en tête des pieux.

11- Colonnes des grandes travées.

11- Columns of the large spans.

LES FONDATIONS

Pour ce qui est des grandes travées, le diamètre des pieux est soit 2,50 m, soit 2,80 m.

Les pieux en mer (P00 à P68) sont soit forés à la boue soit au kelly, soit à la tarière pour les pieux tubés (méthode Reverse Circulation Drilling). La méthode kelly est utilisée de P16 à P49, ainsi que sur P00.

Le diamètre extérieur est de 2376 mm, et la longueur peut aller jusqu'à 100 m pour la méthode kelly. Le tubage s'encastre dans les alluvions et permet éventuellement la mise en œuvre de tubes à manchettes dans les sables pour les cas atypiques où le rocher ne peut pas être atteint, obligeant à mobiliser le frottement latéral. La règle reste néanmoins que seuls la pointe et le frottement dans le rocher sont mobilisables.

Le diamètre extérieur est de 2456 mm et la longueur peut aller jusqu'à 90 m pour la méthode RCD. Le tubage s'encastre de façon provisoire dans le rocher sain et il est ensuite remonté, après bétonnage, jusqu'à l'horizon des alluvions.

Dans les deux cas, l'épaisseur du tube de 18 mm évite le contact direct du





pieu avec les eaux de mer et protège ainsi les pieux de la corrosion, même après les 120 ans de durée de vie de l'ouvrage et prise en compte d'une corrosion estimée à 0,08 mm par an. Dans tous les cas, le forage des pieux dans le rocher se fait sur 2,30 m de diamètre, avec un encastrement minimal de 0,50 m.

Les pieux font de 80 à 400 m³ par unité. Les plateformes de travail sont des structures métalliques mobiles reposant sur des tubes métalliques battus de 1,20 m de diamètre.

12- Coques préfabriquées des semelles.

12- Prefabricated shells for footings.

LES SEMELLES

Bien qu'agissant comme coffrage perdu pour les semelles (figure 12), les coques préfabriquées sont considérées

comme des structures permanentes et doivent satisfaire aux critères de durabilité des bétons spécifiés dans le contrat. Leur poids varie de 230 t pour les semelles courantes à trois pieux à 450 t pour les semelles à 6 pieux du viaduc ML8. Réalisées dans la région de Canton, elles sont acheminées sur leur lieu de pose par barge.

LES OUTILS DE POSE

Les 5694 voussoirs préfabriqués du tablier sont érigés par encorbellements successifs :

- Avec le lanceur LG2 pour les travées courantes en mer jusqu'au fléau P48 ;
- Avec le lanceur LG1 pour les travées à terre ;
- Avec des chèvres de levage d'une façon générale sur les grandes travées et les viaducs en mer à proximité de l'aéroport.

Pour des raisons environnementales et la préservation des arbres sur l'avancée en mer de ML10, un autre moyen de pose est en cours d'études sur ML10.

LE CONTRÔLE GÉOMÉTRIQUE À LA PRÉFABRICATION ET LE SUIVI À LA POSE PAR DATUMS

À la préfabrication, le traitement des redondances et la vérification des fermetures fiabilisent la géométrie réalisée estimée sur la base des relevés introduits et produit donc des instructions de réglage pertinentes.

À la pose, le suivi géométrique fait partie intégrante du système Datums. Les sorties graphiques du réalisé et l'analyse des écarts permettent le réglage des voussoirs sur pile de façon à réduire, autant faire se peut, les marches aux clavages en travée.

Cette méthodologie a été mise en œuvre également pour les piles préfabriquées où l'assemblage jusqu'à 6 éléments impose un suivi précis. □

CHIFFRES CLÉS

BÉTON : 720 000 m³

ARMATURES (Y COMPRIS INOXYDABLES) : 212 000 t

ARMATURES DE PRÉCONTRAINTÉ : 20 000 t

VOUSSOIRS : 5 714 unités préfabriquées, plus 6 coulées en place

RATIO MOYEN D'ARMATURES DANS LE TABLIER : 240 kg/m³

PIEUX : 725 pieux Ø 2,3 m, 2,5 m et 2,8 m sur une longueur de 7 à 107 m

MONTANT DU MARCHÉ : 1,50 milliard d'euros

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Highways Department, HKSAR Government

MAÎTRE D'ŒUVRE : Ove Arup & Partners Hong Kong Ltd

ENTREPRISE GÉNÉRALE : Dragages - China Harbour - Vsl Joint Venture

SOUS-TRAITANTS :

- Bauer, Sambo, Bachy Soletanche : fondations profondes
- Cccc2 : préfabrication des voussoirs du tablier
- Mbec : préfabrication des éléments de piles
- Fortress : préfabrication des coques des semelles en mer

ABSTRACT

THE HONG KONG / ZHUHAI / MACAO LINK - CONTRACT HY2011/09

YVES RIALLAND, BOUYGUES TP - VALÉRY PREMAUD, BOUYGUES TP

The Hong Kong Link Road 09 contract forms part of the planned link between Hong Kong and Macao. It represents a total length of 9.4 km of deck in prestressed prefabricated segments, and carries a three-lane dual-carriageway road. The whole structure represents 115 spans, or 19 independent viaducts, on which the longest spans measure 180 m. Installation is performed by the balanced cantilever method, either using launchers or tripod derricks. In general, prefabrication was the preferred choice, especially for piers, partly to meet environmental specifications and partly in response to logistic constraints (see article in TRAVAUX review No. 915 of June 2015). □

EN ENLACE HONG KONG / ZHUHAI / MACAO - CONTRATO HY2011/09

YVES RIALLAND, BOUYGUES TP - VALÉRY PREMAUD, BOUYGUES TP

El contrato Hong Kong Link Road 09 se inscribe en el proyecto de enlace entre Hong Kong y Macao. Representa una longitud total de 9,4 km de tablero en dovelas prefabricadas pretensadas que soporta tres carriles en cada sentido. El conjunto consta de 115 vanos (19 viaductos independientes), los más largos de los cuales tienen una longitud de 180 m. La colocación se realiza por voladizos sucesivos por medio de lanzadores o tripodes elevadores. Se ha hecho especial hincapié en la prefabricación, en particular para los pilares, para respetar las especificaciones medioambientales, por una parte, y para responder a las exigencias logísticas, por otra (véase el artículo de la revista TRAVAUX n° 915 de junio de 2015). □



1

© DRAGAGES-CHINA HARBOUR-VSL JV

LE PONT DE HONG KONG À MACAO PAR ZHUHAI - LES MÉTHODES DE POSE DU TABLIER DE PONT

AUTEURS : DOMINIQUE DRONIOU, DIRECTEUR DE PRODUCTION, BOUYGUES TP - NICOLAS DESCAMPS, DIRECTEUR TECHNIQUE, BOUYGUES TP - LUDOVIC VERGNE, RESPONSABLE DES TRAVAUX DU TABLIER, BOUYGUES TP

SUR 9,4 KM, LE LONG DE L'ÎLE ARTIFICIELLE DE L'AÉROPORT, PUIS AU-DESSUS DES EAUX JUSQU'À LA LIMITE TERRITORIALE SÉPARANT LA RÉGION ADMINISTRATIVE DE HONG KONG DE CELLE DE MACAO ET DE LA CHINE CONTINENTALE, LES ÉQUIPES DE BOUYGUES CONSTRUCTIONS, COMPOSÉES DES ÉQUIPES DE BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS À TRAVERS DRAGAGES HK LTD ET VSL INTERNATIONAL, EN GROUPEMENT AVEC CHINA HARBOUR, RÉPONDENT AU DÉFI EN MAÎTRISANT LES CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES LIÉES AU DOMAINE MARITIME, AU MAINTIEN DES COULOIRS DE NAVIGATIONS, À LA PROXIMITÉ DE L'AÉROPORT OU AUTRE ZONE ARCHÉOLOGIQUE. LES CHOIX TECHNIQUES DE DESIGN QUE DE MÉTHODES SONT TRÈS LIÉS À CES CONTRAINTES.

DESRIPTIF DU PROJET

La liaison Hong Kong - Zhuhai - Macao (HKZM) est un projet d'infrastructure routière stratégique traversant les mers et les frontières, inscrit dans le « National High Speed Road Network Planning » (Développement du réseau national des routes à grande vitesse).

La « Hong Kong Link Road » (Route de liaison de Hong Kong - HKLR), contrat HY/2011/09 signé avec « Highway Department » (Département des autoroutes de Hong Kong), est la partie Est du Pont Principal du HKZM, sur le territoire de la zone administrative de Hong Kong (figure 2).

**1- Vue aérienne
côté Ouest.**

**1- Aerial view
of the West side.**

Le marché comprend la conception et la réalisation de 9,4 km de pont supportant une chaussée de deux-fois-trois voies, limitée à 100 km/h, pour un montant de 12,9 milliards d'HK\$ (soit 1,5 milliards d'euros).

Le pont est constitué par la succession de 19 viaducs (Main Lines - ML) pour

VUE EN PLAN DU PROJET



2

© DRAGAGES-CHINA HARBOUR-VSL JV

un total de 115 travées allant de 37 à 180 m de portée, elles-mêmes constituées d'un total de 5 714 voussoirs préfabriqués et 6 voussoirs coulés en place (figures 1 et 3). Il peut être divisé en trois différentes zones, d'ouest en est :

→ Dans les Eaux Occidentales (Western Waters - WW), sur 5,3 km de ML1 à ML9, le pont est principalement constitué de travées régulières et typiques de 75 m. ML3 permet cependant le passage de deux voies de navigation maritime de 150 m de portée. ML8 est quant à lui surplombé par un passage supérieur et ses bretelles d'accès, permettant ainsi aux véhicules de maintenance et autres services de secours, de

2- Vue en plan du projet.

3- Vue aérienne côté est.

2- Plan view of the project.

3- Aerial view of the East side.

retourner rapidement vers le territoire de Hong Kong ou vers Zhuhai et Macao.

→ Sur 2,3 km de ML10 à ML14, les viaducs longent et traversent le chenal entre l'île artificielle de l'aéroport

et l'île de Lantau (Airport Channel). Ces 5 viaducs sont composés de 3 à 4 travées chacun, longues de 100 à 180 m, et suivent un tracé sinueux en double S pour traverser le chenal de l'aéroport.

→ À l'est, sur 1,8 km de ML15 à ML19, les viaducs prennent pied le long de la côte sud de l'île artificielle de l'aéroport (Land Viaducs). Les travées qui le composent sont de longueur variable, de 37 à 65 m, principalement en fonction de la présence de réseaux, routiers et surtout fluides qui alimentent l'aéroport (routes d'accès, électricité, eaux chaudes et froides, usées, canaux d'eaux de mer pour la climatisation, accès pompiers, etc.).

CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES CONSTRUCTION DES VIADUCS DANS LE DOMAINE MARITIME

Il faut bien sûr contrôler l'impact sûr l'écosystème marin, et en particulier sur les dauphins blancs de Chine (Chinese White Dolphins - CWD). Les viaducs interfèrent directement avec un couloir actif de migration de CWD. Le bruit provenant du chantier et l'altération de la qualité de l'eau lors de la réalisation des pieux forés et de la construction des piles du pont sont d'autant plus à minimiser. Entre autre, une zone d'exclusion des dauphins ainsi qu'un plan de surveillance adaptés sont établis pour minimiser les impacts de la construction sur ces derniers et tous les travaux d'excavation de roche sont réalisés en dehors de la saison de reproduction qui va de mai à juin.

CONSTRUCTION DES VIADUCS ET MAINTIEN DES COULOIRS DE NAVIGATION MARITIME

Les accès maritimes sont soumis à des restrictions autour de l'aéroport international de Hong Kong (AIHK). Les routes d'accès maritime doivent être libres sauf accord formel préalablement obtenu auprès du Directeur de la Marine. À l'est du chenal, l'accès n'est possible que pour les bateaux de transport de personnel en passant sous le pont de Tung Chung dont le tirant d'air est de 10 m. Tous les autres équipements maritimes nécessaires à la construction des viaducs contournent donc l'île artificielle de l'aéroport pour rentrer dans le chenal depuis l'ouest. ▷



© DRAGAGES-CHINA HARBOUR-VSL JV

3



4

© DRAGAGES-CHINA HARBOR-VSL JV

Une équipe de liaison et logistique ainsi qu'un système de gestion en temps réel de la flotte du chantier sont en place pour permettre le déploiement de cette dernière et pour coordonner les déviations temporaires nécessaires du trafic maritime. Toutes les zones de travaux maritimes sont balisées jour et nuit.

CONSTRUCTION DES VIADUCS ET ZONE ARCHÉOLOGIQUE

Le tracé du pont passe au-dessus d'un promontoire entre San Shek Wan et Sha Lo Wan, lieu où est situé le site archéologique Ouest de Sha Lo Wan. Cette section particulière de viaduc est conçue avec une configuration de travée de 115 m + 180 m + 115 m, ce qui permet le franchissement de part et d'autre du promontoire sans qu'aucune structure n'y soit construite. Dans ces eaux peu profondes et où aucun accès

sur le promontoire n'est autorisé, les voussoirs préfabriqués composant le tablier du pont seront livrés et installés à l'aide d'un équipement de pose spécifique.

CONSTRUCTION DES VIADUCS ET ZONE AÉROPORTUAIRE

À proximité de l'aéroport international de Hong Kong sont mises en place des Restrictions de Hauteur en zone Aéroportuaire (RHA) imposant des limites d'altitudes maximales. Pour l'intégralité de l'alignement du pont, la hauteur minimale entre le tablier et la limite des RHA est de 10 m. Les méthodes de construction doivent respecter ces RHA. En cas de dépassement des RHA pour une phase de construction spécifique, une dérogation doit être sollicitée et obtenue auprès du Département de l'Aviation Civile. Un « Système de détection de la hauteur des équipements »

4- Installation de pile préfabriquée.

5- Voussoir sur pile, travée standard.

6- Voussoir sur pile, longue travée.

4- Installation of a prefabricated pier.

5- Segment on pier, standard span.

6- Segment on pier, long span.

est installé pour vérifier en temps réel chaque position de chacun des équipements qui émet un signal visuel et sonore en cas de non-respect des RHA. Toutes les barges et équipements de pose en sont équipés.

LES APPUIS FONDATIONS PROFONDES

L'ensemble des piles de l'ouvrage est fondé sur des pieux dont le diamètre varie entre 2,3 et 2,8 m, la profondeur moyenne étant de 40 à 60 m, plus de 100 m pour quelques piles. Différentes méthodes de réalisation classiques ont été utilisées, pour le forage et le bétonnage, en portant une attention particulière aux périodes de travaux (pas en mai ni en juin), en insonorisant les équipements et en empêchant tout rejet de fluides en mer.

SEMELLES DES APPUIS POUR LES VIADUCS DES EAUX OCCIDENTALES (WESTERN WATERS)

Différentes options de méthode de réalisation des semelles furent examinées. L'idée de mettre en place des coques préfabriquées en béton fut retenue, car



5



6

© DRAGAGES-CHINA HARBOR-VSL JV

elle élimine les risques d'entrée d'eau sous certaines conditions de mer tout en améliorant la sécurité et l'efficacité des activités à l'intérieur, les coques fournissant elles-mêmes l'espace de travail sécurisé essentiel au recépage des têtes de pieux, à la pose du ferrailage et au bétonnage ultérieur des semelles. Un bouchon de 4 m d'épaisseur fut préféré dans le but de minimiser la quantité de ferrailage au sein de ce dernier et de faciliter sa construction. Au total, 15 types de coques différents ont été préfabriqués. Le poids total de chacune varie entre 220 t et 610 t. Elles sont soulevées et insérées sur les pieux forés à l'aide de grues flottantes de capacité de levage allant de 300 t à 1 000 t. Des joints en caoutchouc sont préinstallés sur les supports en acier des pieux forés pour stopper toute infiltration d'eau. L'imperméabilité est complète par bétonnage autour des pieux.

SEMELLES DES APPUIS POUR LES VIADUCS À GRANDES TRAVÉES DU CHENAL DE L'AÉROPORT

Le chenal est traversé par des courants importants qui transportent donc des sédiments. Afin de minimiser l'impact des appuis sur ces courants et donc sur la sédimentation, il faut prévoir des semelles sous les niveaux du fond marin, en accord avec les exigences environnementales contractuelles. Ces semelles sont donc réalisées en mettant en œuvre des batardeaux en palplanches.

PILES

Les piles sont rectangulaires à bord arrondis, simples et creuses pour les travées courantes, double et pleines pour les longues travées.

Le planning le permettant, la moitié des piles des travées courantes sont préfabriquées par éléments de 3 et 6 m. Une première levée sur semelle est coulée en place à la bonne cote pour atteindre le niveau final de la tête de pile. La préfabrication est faite par conjugaison des éléments qui sont ensuite stressés ensemble depuis la tête de pile (elle-même préfabriquée) jusqu'à la semelle. Cette méthode exige un contrôle géométrique lors de la préfabrication mais aussi la pose des éléments compte tenu de la géométrie exacte de la première levée in situ (assurance de la verticalité). Elle aura permis de réduire les temps d'élévation de piles et donc le trafic maritime et les bétonnages en mer associés. La préfabrication a lieu en Chine continentale et le poids des éléments ne dépasse pas 160 t (figure 4).

Les autres piles, et en particulier celles des longues travées du chenal en mer (croisant ML3) et du chenal de l'aéroport, sont coulées en place à l'aide

de coffrages grimpants classiques par volées courantes de 6 m. Le bétonnage in situ évite l'utilisation de moyens de levage importants dont les dimensions impacteraient les RHA près de l'aéroport, c'est-à-dire partout dans le chenal.

LES TABLIERS

Le choix de tabliers entièrement préfabriqués est lié à la longueur du projet, la rapidité d'exécution et, bien entendu, la durabilité et la qualité. Cette préfabrication est réalisée en Chine continentale, où une aire comprenant 43 coffrages a été installée pour produire les 5 714 voussoirs qui, une fois installés, formeront les tabliers. L'ensemble des tabliers, y compris les voussoirs sur piles, est conçu pour des unités préfabriquées posées par encorbellements successifs.

La conception inclut un procédé mixte de précontrainte (interne et externe) ce qui permet de réduire le poids propre de chaque voussoir et d'accélérer leur cycle de pose. Les tendons internes sont ainsi suffisants pour supporter les poids des éléments durant la réalisation des fléaux et sont donc installés au fur et à mesure de la pose. Alors que les tendons externes qui sont, eux, présents pour supporter les charges additionnelles et les charges d'exploitation, sont installés et tendus à un stade ultérieur.

La normalisation est la clé pour construire un ouvrage à éléments préfabriqués. Le nombre de types de voussoir

est minimisé. La segmentation du tablier est principalement conditionnée par les caractéristiques et les capacités des équipements de pose.

Si les portées standard ont une hauteur constante égale à 4,00 m en mer et 3,20 m sur terre (portées moindres), les longues travées ont une hauteur variant de 10,00 m à 4,00 m.

POSE DES VOUSOIRS SUR PILES (VSP)

→ Pour les viaducs en mer de travées standards (< 75 m, ML1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9), les VSP sont constitués de deux voussoirs de 238 t maximum :

- Les VSP séparant 2 viaducs sont sur appuis multidirectionnels et rotules, les deux voussoirs les constituants sont indépendants et provisoirement brêlés entre eux à l'aide de barres de précontrainte et de cales de 200 mm, largeur des futurs joints de chaussée entre les différents viaducs, sur les têtes de piles.
- Les VSP adjacents sont posés sur appuis glissants uniquement, les deux voussoirs les constituants sont conjugués lors de la préfabrication et sont donc assemblés l'un à l'autre sur les têtes de piles.
- Tous les autres VSP sont préfabriqués conjugués également et encastrés sur les têtes de piles, aucun mouvement n'est possible.
- Un cycle de 2 à 3 semaines est nécessaire pour poser un VSP, qu'il soit encastré ou sur appuis respectivement (figure 5).

7- Lanceur LG2.

7- LG2 launcher.





8

© DRAGAGES-CHINA HARBOUR-VSL JV

→ Pour les viaducs de longues travées (ML3, 10, 11, 12, 13, 14), les VSP sont constitués de trois voussoirs conjugués de 233 t maximum :

- Les trois voussoirs constituant le VSP sont préfabriqués évidés afin de limiter leur poids. Ils sont ensuite posés en têtes de piles sur des poutres métalliques et plateformes temporaires puis brêlés ensemble. Le positionnement du VSP est ensuite ajusté, puis 3 phases de bétonnage sont effectuées, avec ajout de précontrainte transversale, permettant de finaliser la construction d'un VSP.

Cette méthode permet de limiter des travaux encombrants, bruyants et potentiellement polluants en mer. Elle est rendue indispensable compte tenu de l'inertie variable et nécessaire des longues portées, qui induisent la hauteur de 10 m des VSP.

Les VSP ainsi constitués ont un poids maximum de l'ordre de 1 200 t.

Un cycle de 6 semaines est nécessaire pour poser et finaliser un VSP (figure 6).

→ Pour les viaducs sur terre (ML15 à 19), il n'y a pas de VSP mais des portiques.

L'ensemble des VSP est posé à la grue maritime.

Quatre grues flottantes de 200 t à 450 t de capacité sont réparties sur le projet au gré des besoins et permettent, entre autre, les levages.

POSE DES VOUSOIRS DE TRAVÉES

Toutes les travées sont mises en place par cantilever, c'est-à-dire par moitiés s'équilibrant de part et d'autre des appuis.

→ Pour les viaducs en mer de portée standard, 3 différents équipements de pose sont utilisés :

8- Chèvre de levage type 3.
9- Poutre de pose.

8- Type 3 tripod derrick.
9- Installation beam.



9

© DRAGAGES-CHINA HARBOUR-VSL JV

- Depuis la pile P48 vers la pile P21, puis de la pile P16 vers la pile P1. Le poids des voussoirs est de 130 t maximum. Une poutre de lancement nommée LG2 (Launching Gantry 2) est mise en œuvre, les treuils permettant la pose des voussoirs ont une capacité de levage suffisante mais leur longueur de levage est limitée. Les premières travées posées, de P48 à P37, permettent un levage direct depuis les barges de livraison. Pour les travées suivantes, l'utilisation d'un portique mis en place au droit de la pile P47 permet de stocker les voussoirs directement sur le tablier construit. Les voussoirs sont transportés par des fardiers directement à l'arrière de LG2.

La pose est effectuée simultanément sur les deux tabliers parallèles à l'aide d'une poutre métallique permettant un déplacement transversal. Le passage de P21 à P16 est prévu en passant sur le viaduc à longues portées ML3.

Un cycle type d'une semaine est effectué, pour la pose des 40 voussoirs constituant 4 demi-fléaux, y compris clavages aux fléaux précédents et lancement. Les clavages types de 200 mm n'ont pas d'acier et permettent l'utilisation de béton à prise rapide.

LG2 a été préassemblé et mis en place à l'aide de grue flottante, ce qui a permis de minimiser les impacts en mer (travaux en mer

et navigation). Il est prévu la même méthode pour de la démobilité de cet équipement (figure 7).

- Entre P49 et P67, de ML7 à ML9, les travées sont élargies sur 3 travées en amont et en aval du viaduc central ML8, permettant les amorces des rampes d'accès à l'ouvrage surélevé de retournement positionné à P56. Ces voussoirs ont trois âmes, pèsent jusqu'à 170 t et sont excentrés par rapport à l'axe longitudinal du pont. L'utilisation de chèvres de levages type 3, (Lifting Frames 3 - LF3) étant préférable, celles-ci posent les voussoirs en encorbellement. Trois types de LF3 sont utilisés, chacune pesant entre 137 t et 155 t. Deux types sont prévus pour des voussoirs à largeur constante et un type pour les voussoirs à largeur variable. Le principe d'utilisation est un levage direct depuis les barges de livraison, à l'aide de treuils fixés sur la chèvre. Ces treuils sont connectés aux voussoirs en deux points de levages. La séquence type de pose consiste à installer une chèvre sur un VSP, cette chèvre est équipée de deux treuils, de part et d'autres dans son sens longitudinal, donc de chaque côté du VSP, permettant le levage et la pose en encorbellement. Cette méthode est utilisée pour les 3 premières paires de voussoirs. Ensuite la seconde chèvre est installée, un des treuils est transféré



10 © DRAGAGES-CHINA HARBOUR-VSL JV

10- Chèvre de levage type 1.
11- Lanceur LG1.

10- Type 1 tripod derrick.
11- LG1 launcher.

depuis la première chèvre vers la seconde. Chaque chèvre travaille ainsi en pose par encorbellement de part et d'autre du VSP.

Les LF3 permettent notamment de poser deux demi fléaux à partir d'une pile indépendamment des demi-fléaux parallèles. Les chèvres de levage ont été conçues pour être levées et installées en une seule fois afin de réduire les temps de transfert d'une pile à l'autre.

Le cycle type de pose est d'une paire de voussoirs par jour (figure 8).

- Pour les portiques P52 et P60 l'utilisation de poutres métalliques de levage a été adoptée, permettant la pose hors chemin critique des 3 premiers voussoirs et permettant d'avoir un tablier en tête de pile suffisamment long pour l'installation des chèvres de levage.

→ Pour les viaducs de longues portées (ML3, 10, 11, 12, 13, 14), 3 différents équipements de pose sont également nécessaires :

- Les 2 premiers voussoirs de part et d'autres des VSP, sont posés en utilisant des poutres de pose. Ces poutres permettent de recevoir un voussoir directement installé avec une grue flottante. Cette activité est en dehors du chemin critique,

et permet l'installation d'une paire complète de chèvre (figure 9).

- Les fléaux des viaducs de longue portée sont posés à l'aide de chèvres de levage (dites Lifting Frames 1 - LF1).

Les LF1 sont conçues différemment des LF3 : elles fonctionnent par paires depuis une pile (et non 2 paires indépendantes) en reposant sur les deux tabliers parallèles. Ainsi, les fléaux droits et gauches ne peuvent pas être posés indépendamment l'un de l'autre. Une LF1 n'a qu'un seul treuil de levage auquel est suspendu un palonnier pour lever les voussoirs en 4 points, depuis les barges de livraison.

Ainsi, si les LF3 ne peuvent saisir les voussoirs que depuis l'extrémité des fléaux en cours de pose, les LF1 peuvent, quant à elles, les saisir depuis n'importe quel endroit entre les VSP et l'extrémité des fléaux en cours de pose, leurs treuils positionnés au-dessus de l'espace qui sépare les deux fléaux parallèles sur lesquels elles reposent. Le palonnier est sous cet espace et la LF1 peut saisir un voussoir par exemple près des piles pour ensuite se déplacer sur les fléaux en cours de pose jusqu'à leurs extrémités et ainsi lever le voussoir face aux fléaux pour permettre sa pose.

Ce concept permet d'avoir des points de levage fixes depuis les barges de livraison, en général près des piles, de manière à ne pas perturber la navigation. Le chenal de l'aéroport n'est pas profond sur ses bords.

Les LF1 sont au nombre de quatre, pour deux paires sur deux fronts de pose. Elles ont une capacité de levage de 220 t pour les voussoirs les plus lourds. Elles sont relocalisées d'une pile à l'autre en une semaine. Leur conception permettant une mise en place décomposée en 5 levages (figure 10).

- Le cas de ML10, qui franchit un promontoire à l'entrée du chenal de l'aéroport, est particulier. C'est une zone archéologique, aucun accès n'est permis pendant la construction. Il est prévu un équipement de pose spécifique permettant d'approvisionner les voussoirs depuis les piles par-dessus les fléaux en cours de pose.

→ Pour les viaducs sur terre (de ML15 à ML19), un équipement de pose est nécessaire, une poutre de lancement dite LG1 (Launching Gantry 1) :



11 © DRAGAGES-CHINA HARBOUR-VSL JV

- Les viaducs à terre ont été conçus avec des longueurs de travée variables allant de 36 m à 65 m, en prenant en compte les contraintes existantes du site tel qu'un déversoir, des conduites d'eau de mer, des quais de livraison et des réseaux enterrés. Leur tracé suit la bordure sud de l'île de l'aéroport, un des deux tabliers est situé au-dessus des routes du Périmètre Sud (South Perimeter Road) et de Chek Lap Kok Sud (Chek Lap Kok South Road), l'autre surplombant la jetée inclinée qui borde le chenal.

Les travaux d'infrastructure des piles portiques coulées en place ont été réalisés en avance du tablier. Ces portiques ont l'empreinte des voussoirs permettant de faire un clavage avec le premier voussoir préfabriqué. Pour chaque pose d'un fléau avec LG1, il est d'abord



12
© DRAGAGES-CHINA HARBOUR-VSL JV

nécessaire de poser les voussoirs S1 du fléau N+1. Ces voussoirs sont suspendus au portique, par des poutres supports et ensuite clavés hors l'utilisation de LG1. L'emploi de LG1 facilite la pose du tablier au-dessus des structures et routes existantes sans perturber le

trafic pédestre et routier ou toute zone au sol occupée. Ainsi, LG1 n'optimise pas seulement le cycle de construction, mais minimise également les risques d'incidents, d'interférences et donc les temps d'arrêts éventuels des travaux. Un cycle complet pour poser un

12- Poutre de déchargement.

12- Unloading beam.

fléau sur les deux tabliers, varie entre 5 à 8 jours, incluant le clavage et le lancement (figure 11).

- Une poutre de déchargement des voussoirs (Segment Unloading Frame - SUF) pour les viaducs à terre, est installée aux abords du Quai Sud-Est de l'île de l'aéroport. Elle permet de soulever directement les voussoirs depuis les barges de transport jusqu'au niveau du tablier mais peut aussi décharger n'importe quel colis dont le poids est inférieur à 130 t sur le quai (figure 12). □

PRINCIPALES QUANTITÉS

	Quantité	Béton (m³)	Ferrailage (t)
Pieux	725	195 600	46 600
Semelle coulée en place	182	83 400	27 700
Semelle préfabriquée	148	15 250	2 400
Pile coulée en place [levée]	582	53 500	18 800
Pile préfabriquée [élément]	293	17 100	2 600
Voussoir préfabriqué	5 714	282 500	67 800
Parapet préfabriqué	6 762	8 300	1 100
Tablier coulée en place		60 710	13 500
Acier inox			5 200
Total		716 360	185 700
Précontrainte			20 300

INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Hong Kong Highways Department
MAÎTRE D'ŒUVRE : Arup Hong Kong
GROUPEMENT D'ENTREPRISE GÉNÉRALE :
 Dragages Hong Kong, China Harbour Ltd, Vsl Joint Venture

DESIGNERS

- Mott MacDonald Hong Kong
- Ywl Engineering Pte
- Bouygues Travaux Publics

BUREAU DE CONTRÔLE

- Aecom Asie

CONSULTANTS

ENVIRONNEMENT : Cinotech
GÉOTECHNIQUE : Golder Associates
TRAFIC MARITIME : Bmt Asia Pacific
ÉQUIPEMENTS SPÉCIFIQUES : Vsl Technical Center Asia

ABSTRACT

THE BRIDGE FROM HONG KONG TO MACAO VIA ZHUHAI - BRIDGE DECK LAYING METHODS

DOMINIQUE DRONIOU, BOUYGUES TP - NICOLAS DESCAMPS, BOUYGUES TP - LUDOVIC VERGNE, BOUYGUES TP

For the Hong Kong - Zhuhai - Macao (HKZM) link project which forms part of the National High Speed Road Network Planning programme, the various environmental constraints related to the maritime domain and maintaining navigation corridors, near the airport and the archaeological zone of Sha Lo Wan, required a great diversity of support execution techniques and segment installation equipment, as well as large-capacity lifting equipment. These various construction methods and major lifting equipment such as floating cranes with a lifting capacity of up to 1,000 tonnes for pier shells, for example, illustrate all the complexity of this exceptional project. □

EL PUENTE HONG KONG A MACAO POR ZHUHAI - MÉTODOS DE COLOCACIÓN DEL TABLERO DE PUENTE

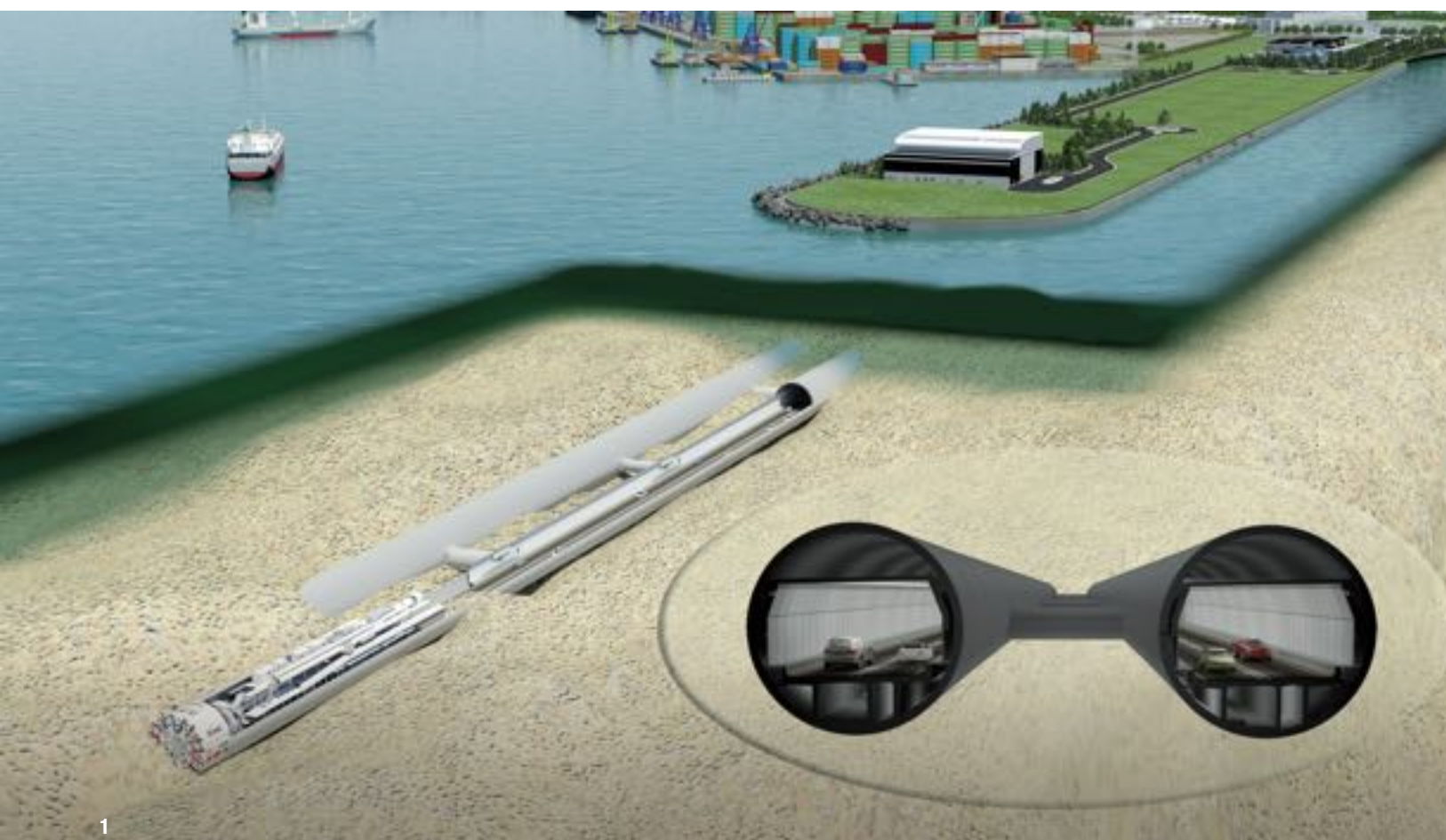
DOMINIQUE DRONIOU, BOUYGUES TP - NICOLAS DESCAMPS, BOUYGUES TP - LUDOVIC VERGNE, BOUYGUES TP

Para el proyecto de enlace Hong Kong - Zhuhai - Macao (HKZM), que se inscribe en el National High Speed Road Network Planning, las distintas exigencias medioambientales relacionadas con el entorno marítimo, el respeto de los corredores de navegación, la proximidad del aeropuerto o la zona arqueológica de Sha Lo Wan han requerido una gran diversidad de técnicas de realización de los apoyos y de equipos de colocación de las dovelas, así como medios de elevación de gran capacidad. Estos diferentes métodos de construcción y potentes medios de elevación, como por ejemplo las grúas flotantes con una capacidad de elevación de hasta 1.000 t para las cajas de pilares, revelan toda la complejidad de este excepcional proyecto. □

TMCLK - LES TUNNELS SOUS-MARINS

AUTEURS : ANTOINE SCHWOB, DESIGN MANAGER, BOUYGUES TP - ESTELLE CAGNAT, METHODS ENGINEER, BOUYGUES TP

PLUS PROFOND, PLUS LONG ET PLUS LARGE OUVRAGE SOUS-TERRAIN JAMAIS RÉALISÉ À HONG KONG, LE TUNNEL ROUTIER DE TUEN MUN - CHEK LAP KOK EST ÉGALEMENT LE PLUS COÛTEUX, REFLET DE L'AMPLEUR ET DE LA COMPLEXITÉ DU PROJET. DEUX TUNNELIERS À PRESSION DE BOUE ÉVOLUENT SIMULTANÉMENT À UNE PROFONDEUR AVOISINANT LES 50 MÈTRES SOUS LE NIVEAU DE LA MER. FACILITER LA MAINTENANCE DES MACHINES DANS UN ENVIRONNEMENT HYPERBARE ASSORTI D'UNE GÉOLOGIE COMPLEXE ET PERMETTRE LA CONSTRUCTION DES 52 INTER-TUBES COMPTENT CERTAINEMENT PARMIS LES DÉFIS MAJEURS DE CE PROJET HORS-NORMES.



1
© DRAGAGES - BOUYGUES JV

LE CONTEXTE

En juillet 2013, Dragages Hong Kong et Bouygues Travaux Publics ont remporté le plus important contrat en conception-construction jamais attribué à Hong Kong : la réalisation du tunnel routier sous-marin de Tuen Mun - Chek Lap Kok (figures 1 et 2). L'ouvrage sous-marin est composé

1- Le tunnel sous-marin.

1- The under-sea tunnel.

de deux tubes logeant chacun deux voies de circulation. La longueur de la section sous-marine est de 4,25 km. Au point le plus bas de l'alignement, les tunnels se situent à plus de 50 m sous le niveau de la mer.

Tous les 100 m, des inter-tubes connectent les deux tunnels ce qui permettra d'assurer, en cas d'accident

dans l'un des tubes, l'arrivée rapide des secours et l'évacuation des usagers vers l'autre tube.

Une campagne géotechnique détaillée a été réalisée immédiatement après l'attribution du projet afin d'acquies une connaissance précise de la géologie, point de départ pour la conception de l'ouvrage et des équipements. ▷

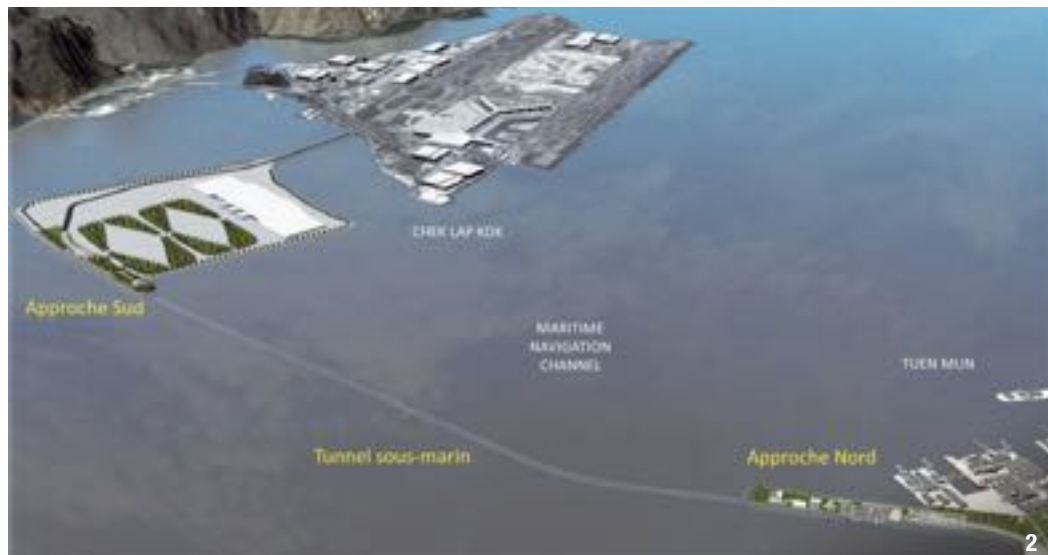
Le sous-sol de cette région de Hong Kong est très perturbé et présente une grande variabilité. De nombreux types de sols coexistent le long de l'alignement (figure 3) : le bon rocher du nord fait place à du granite décomposé en allant plus au sud. La deuxième moitié de l'alignement est uniquement dans un environnement alluvionnaire avec des nuances sableuses et argileuses. Le fond marin est composé d'une couche épaisse de dépôts argileux, très mous et de densité faible. L'alignement ne les traverse que dans les approches nord et sud - Voir l'article « TM-CLK - Les défis de la Rampe Nord » dans ce numéro.

LE CREUSEMENT DES TUNNELS PRINCIPAUX

C'est dans cette géologie complexe qu'évoluent en parallèle les deux tunneliers spécialement conçus pour le projet par le fabricant allemand Herrenknecht. D'un diamètre extérieur de 14 m (figure 4), le front est maintenu par un système de confinement à pression de boue permettant d'atteindre une pression de confinement de 5,5 bars au plus profond de l'alignement.

Afin de pouvoir livrer le projet, comme prévu, en fin d'année 2018, à peine plus d'une année est allouée au creusement des deux fois 4,25 km de tunnels sous-marins. Les tunneliers doivent donc avancer à un rythme soutenu afin de permettre aux ateliers d'installation des structures internes et de creusement des inter-tubes d'évoluer, à l'arrière. Les cadences de pose requises pour les tunneliers sont très exigeantes et nécessitent une logistique parfaitement rodée. Dans le dernier tiers de l'alignement, alors que les tunneliers évolueront dans des sols alluvionnaires, chaque machine devra poser 7 anneaux de voussoirs préfabriqués chaque jour. Pas moins de 30 m de tunnel au total seront construits quotidiennement (figures 5 et 6).

On comprend alors tout l'enjeu d'assurer une maintenance efficace des tunneliers afin d'éviter les pannes et de maintenir le rythme de pose. La géologie de la première partie de l'alignement est particulièrement exigeante pour les machines : les molettes métalliques qui équipent les têtes de coupe s'usent rapidement dans le rocher et doivent être régulièrement remplacées. Il faut donc intervenir chaque jour, sous air comprimé, dans la chambre située à l'avant du tunnelier qui permet l'accès aux molettes de la tête. Chacune d'entre elles pèse



© DRAGAGES - BOUYGUES JV

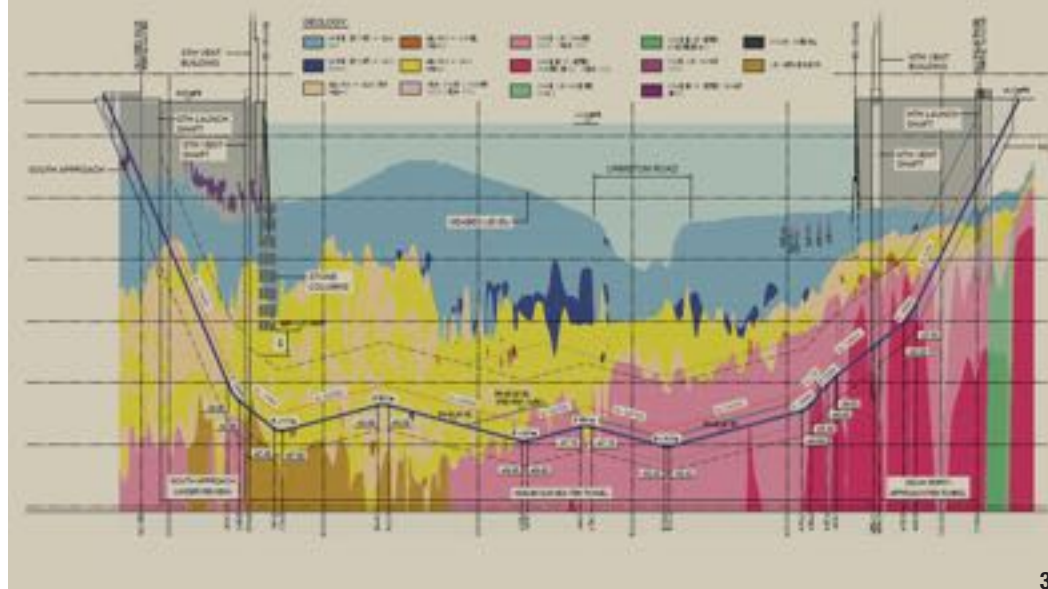
150 kg. Travailler dans un environnement hyperbare atteignant une pression supérieure à 5 bars est certainement le défi majeur auquel sont confrontées les équipes de Bouygues Construction. Afin d'éviter d'exposer les collaborateurs aux risques liés à des cycles quotidiens de compression/décompression, la technique de la saturation a été développée et mise en place pour la première fois à une telle échelle sur un projet d'ouvrage sous-terrain. Il s'agit d'allonger les cycles en maintenant dans un environnement pressurisé des équipes composées de 4 collaborateurs spécialistes de travaux hyperbares. La durée des cycles s'élève à 28 jours. Une base-vie a été construite en sur-

2- Le projet Tuen Mun - Chek Lap Kok.
3- Le profil géologique du projet.

2- The Tuen Mun - Chek Lap Kok project.
3- Geological profile of the project.

face. Elle comprend, entre autres, les caissons principaux dans lesquels vivent les équipes, des caissons de compression/décompression et des caissons médicaux équipés du matériel nécessaire afin de dispenser des soins (figure 7). Pour assurer le bon fonctionnement de l'installation, de nombreux paramètres doivent être constamment contrôlés : la pression des caissons mais aussi la température, l'humidité ainsi que le mélange d'air composé notamment d'hélium que respirent les collaborateurs. C'est depuis une véritable salle de commande 24h/24 le bon fonctionnement de l'installation. Un médecin est également constam-

LE PROFIL GÉOLOGIQUE DU PROJET



3

© DRAGAGES - BOUYGUES JV



© DRAGAGES - BOUYGUES JV
4



© DRAGAGES - BOUYGUES JV
5

ment disponible pour intervenir en cas de besoin.

Chaque jour pendant 8 heures, les équipes sont transférées via une navette pressurisée de la base-vie vers le tunnelier. Cette navette est alors connectée directement à la chambre d'abattage. Le remplacement des molettes peut alors démarrer.

Afin d'optimiser le temps de chacune des opérations de maintenance, il est capital d'avoir une idée précise de l'état dans lequel se situe la tête de coupe pour connaître, à l'avance, les zones prioritaires d'intervention. Pour cette raison, les têtes de coupe des tunneliers ont été équipées de technologies novatrices développées par Bouygues Travaux Publics :

4- Livraison du premier tunnelier de 14 m de diamètre.

5- Le tunnel en cours d'excavation.

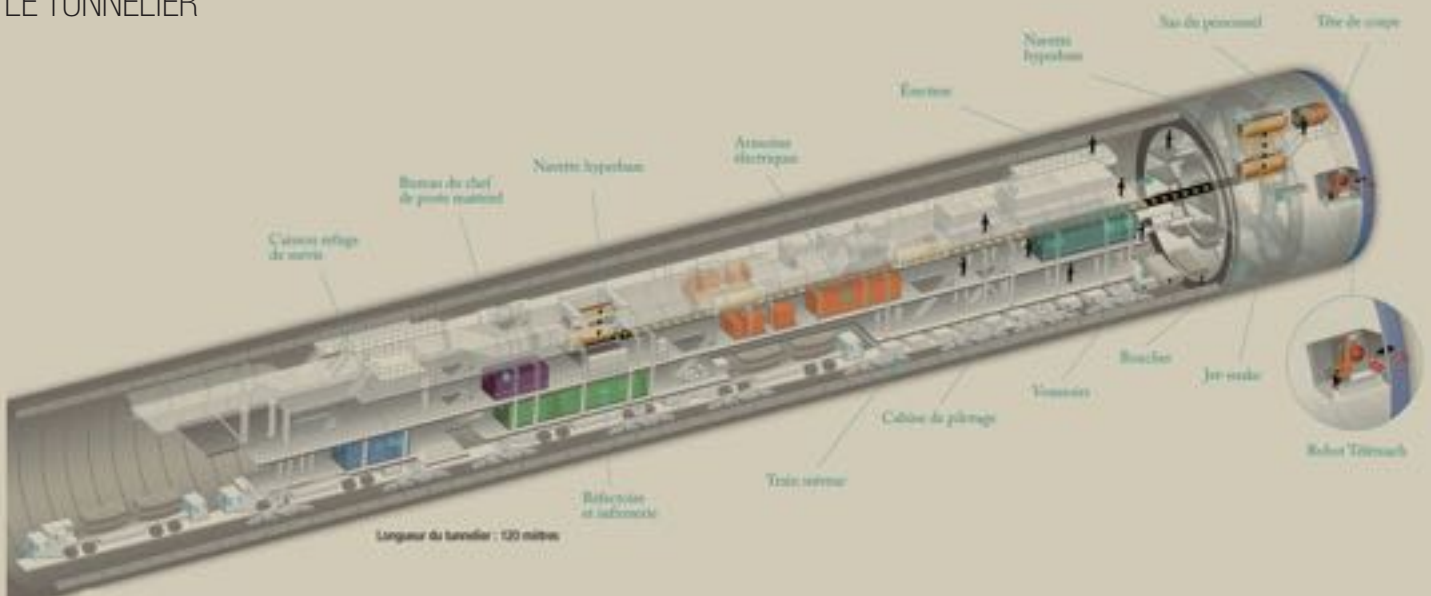
6- Le tunnelier.

4- Delivery of the first TBM 14 m in diameter.

5- The tunnel undergoing excavation.

6- The TBM.

LE TUNNELIER

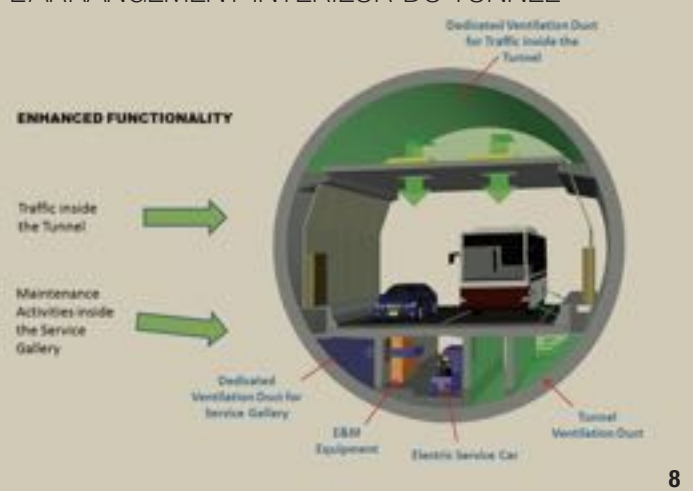


6
© BOUYGUES CONSTRUCTION



7

L'ARRANGEMENT INTÉRIEUR DU TUNNEL



8

→ Le système Mobydic réalise une cartographie en temps réel de la tête de coupe. Chaque molette est identifiée et son état d'usure est signalé. Mobydic permet également d'indiquer la nature du terrain rencontré en fonction des efforts exercés sur les molettes ce qui permet d'avoir une vision très précise de l'environnement dans lequel évolue le tunnelier.

→ Le système Snake est un bras d'exploration poly-articulé et télécommandé, équipé d'une caméra et d'un jet haute pression permettant le nettoyage de la tête de coupe et la réalisation de son inspection.

Ces systèmes sont d'une aide cruciale pour assurer le fonctionnement optimal des tunneliers tout en minimisant les interventions humaines. Ils équipent désormais la plupart des tunneliers de l'entreprise.

galerie de service située sous la route. Cette galerie s'accompagne d'une gaine de ventilation dédiée assurant l'alimentation en air frais ainsi que l'évacuation des fumées en cas d'incendie. Les équipements du tunnel seront donc accessibles à tout moment pour le personnel exploitant, qui pourra assurer la maintenance nécessaire au fonctionnement du tunnel sans perturber le trafic routier. Un véhicule électrique pourra circuler tout au long de la galerie, facilitant ainsi le cheminement des personnels. Cette solution, nouvelle à Hong Kong, a été particulièrement bien reçue par le client. Elle permet, d'une part, de réduire les risques de construction des inter-tubes et, d'autre part, d'offrir un service supplémentaire à l'exploitant.

Avec cette galerie de service, sa gaine de ventilation dédiée et une autre gaine

7- Les caissons hyperbare de la base-vie.

8- L'arrangement intérieur du tunnel.

9- Stockage des éléments préfabriqués (voussoirs et galerie) en Chine.

7- The hyperbaric caissons of the accommodation facilities.

8- The interior arrangement of the tunnel.

9- Storage of the prefabricated elements (segments and gallery) in China.

pour l'alimentation en air frais de l'espace routier, le volume situé sous la route est pleinement occupé (figure 8). Afin d'optimiser les cycles de construction sans perturber la logistique des tunneliers, il a été choisi de préfabriquer par tronçons de 2,2 m de longueur l'intégralité de la structure inférieure composée de la dalle routière et de 3 voiles délimitant les différentes cellules (figure 9). Ces pièces d'un poids de 28 t aux allures de voussoirs de pont sont posées au fond du tunnel puis liaisonnées entre elles et au revêtement du tunnel par des joints coulés en place.

LES INTER-TUBES

Une fois la structure inférieure installée, c'est au tour des ateliers de construction des inter-tubes de prendre le relais. Au nombre conséquent de 52, les inter-

LA GALERIE DE SERVICE

Immédiatement à l'arrière des tunneliers, l'ouvrage doit être habillé afin d'accueillir la structure routière, les gaines de ventilation et les équipements.

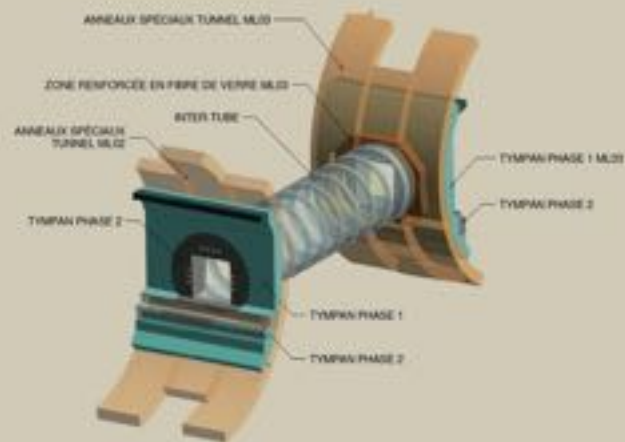
Dans le projet initial, tous les équipements électromécaniques nécessaires à l'exploitation du tunnel (cabinets électriques, système de télécommunication, système anti-feu...) étaient logés dans les inter-tubes. Dès-lors, leur diamètre devenait conséquent (6 m), générant des risques importants pour leur construction dans un environnement atteignant des pressions supérieures à 5 bars.

Il a donc été proposé au client et aux différentes autorités hongkongaises de relocaliser ces équipements dans une



9

LES STRUCTURES DES INTER-TUBES



© DRAGAGES - BOUYGUES JV

10

tubes ont motivé l'étude de solutions innovantes pour leur réalisation. Pour répondre au programme exigeant du projet, les inter-tubes, situés tous les 100 m, doivent être construits pendant que les tunneliers principaux sont toujours en activité. Une des contraintes principales pour déterminer leur méthode de réalisation est donc de maintenir en permanence un passage pour la logistique de ces tunneliers. L'enjeu est également d'assurer l'intégrité structurelle et l'étanchéité des tunnels principaux pendant et après leur creusement. Certains inter-tubes pour les tunnels d'approche situés sous les remblais dans les zones de faible couverture ont pu être réalisés après traitement du terrain depuis la surface selon des techniques d'excavation traditionnelles. Pour les autres, plusieurs méthodes ont été étudiées. La méthode initiale envisagée était la congélation du terrain. Elle consiste à installer des tubes congélateurs au moyen de forages exécutés depuis l'un

10- Les structures des inter-tubes.

10- Intertube structures.

des tunnels et de faire circuler de la saumure à -35°C en circuit fermé. Le délai de formation de l'anneau de glace dépend de nombreux paramètres : nature du terrain, circulation d'eau, température, nombre et disposition des congélateurs. Elle implique des installations de chantier conséquentes : équipement de forage, groupes de froid, réservoirs d'eau, tour de refroidissement et réseaux. Cette méthode se révèle donc particulièrement compliquée et risquée en termes de programme et de logistique et fortement dépendante

des conditions géologiques. Une campagne de sondages fut menée lors de l'attribution du contrat et donna des résultats bien plus défavorables que ceux fournis lors de l'étude préliminaire. Afin de suivre le programme imposé, le nombre de fronts simultanés devenait irréalisable sans compter les incertitudes liées à la durée de formation de l'anneau de glace pour chaque inter-tube. Cette méthode fut donc abandonnée au profit du développement de la solution tunnelier pousse-tubes considérée moins risquée bien que très innovante et plus chère. Si la méthode pousse-tubes est éprouvée pour la réalisation de tunnels de diamètres inférieurs à 4,20 m avec des démarrages et arrivées en fond

de puits, l'excavation depuis un tunnel vers un autre sous une pression maximale de 5,5 bars est une première. Elle a nécessité deux ans de développement avec les bureaux d'étude de Bouygues Travaux Publics et d'Arup ainsi qu'avec Herrenknecht, fabricant des deux tunneliers pousse-tubes et de leurs équipements. La problématique principale est d'assurer le maintien de l'intégrité structurelle des tunnels principaux ainsi que leur étanchéité temporaire et permanente tout en résistant aux efforts de poussée des tunneliers. Pour cela, les structures du tunnel ont été adaptées : voussoirs spéciaux, tympans et tuyaux (figure 10) Le premier inter-tube a été réalisé avec succès en mars 2016. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

MONTANT DU CONTRAT DE CONCEPTION-CONSTRUCTION :
18,15 milliards de HK\$

LONGUEUR DU TUNNEL SOUS-MARIN : 4,25 km

DIAMÈTRE DE LA TÊTE DE COUPE DES TUNNELIERS PRINCIPAUX :
14 m

DIAMÈTRE INTÉRIEUR DES TUNNELS : 12,4 m

NOMBRE D'INTER-TUBES : 52 u

LONGUEUR DE CHAQUE INTER-TUBE : 12 m

DIAMÈTRE DE LA TÊTE DE COUPE DES TUNNELIERS POUSSE-TUBE :
3,665 m

PRINCIPAUX INTERVENANTS

CLIENT : Highways Department

MAÎTRE D'ŒUVRE : Aecom

GROUPEMENT EN CHARGE DE LA CONCEPTION-CONSTRUCTION :
Bouygues Travaux-Publics – Dragages HK

BUREAU D'ÉTUDES EN CHARGE DE LA CONCEPTION : Arup

FABRICANT DES TUNNELIERS PRINCIPAUX

ET DU SYSTÈME DE TUNNELIERS POUSSE TUBES : Herrenknecht

ABSTRACT

TMCLK - UNDERSEA TUNNELS

ANTOINE SCHWOB, BOUYGUES TP - ESTELLE CAGNAT, BOUYGUES TP

On the TMCLK undersea tunnel project in Hong Kong, the two tunnel boring machines of diameter 14 m progress at a depth of 50 m below sea level. For cutting head maintenance operations it is necessary to work in an environment in which the pressure exceeds 5 bar. Teams ready to intervene at all times stay in hyperbaric accommodation facilities for 28-day cycles. This organisation makes it possible to prevent excessively frequent decompression operations. Innovations coming from Bouygues TP's R&D are also employed. The project includes 52 intertubes built, in the great majority of cases, using pipe jacking tunnel boring machines moving from one tunnel to another. This novel construction method improves the security of a very tight programme and limits risks. □

TMCLK - LOS TÚNELES SUBMARINOS

ANTOINE SCHWOB, BOUYGUES TP - ESTELLE CAGNAT, BOUYGUES TP

En la obra del túnel submarino de TMCLK en Hong Kong, las dos tuneladoras de 14 m de diámetro trabajan a 50 m bajo el nivel del mar. Las operaciones de mantenimiento de los cabezales de corte exigen trabajar en un ambiente donde la presión supera los 5 bares. Los equipos de intervención, disponibles en todo momento, conviven en un campamento hiperbárico por ciclos de 28 días. Esta organización permite evitar descompresiones demasiado frecuentes. También se aplican innovaciones fruto del trabajo de I+D de Bouygues TP. El proyecto consta de 52 inter-tubos construidos en su gran mayoría mediante tuneladoras empuja-tubos que van de un túnel a otro. Esta modalidad de construcción inédita garantiza la seguridad y limita los riesgos de este proyecto tan extenso. □

LIANTANG - CONTRAT 2 - ÉLARGISSEMENT DU TUNNEL PRINCESS HILL

AUTEURS : SAMUEL LECOMTE, RESPONSABLE PRODUCTION, DHK - VINCENT TRICOT, RESPONSABLE MÉTHODE, DHK - ROGER STORRY, RESPONSABLE TECHNIQUE, DHK - DANIER ALTIER, DIRECTEUR PROJET, DHK

CET OUVRAGE S'INCRIT DANS LE CADRE D'UN PROJET AUTOROUTIER SITUÉ DANS LE NORD-EST DES NOUVEAUX TERRITOIRES DE HONG KONG. LE BUT EST DE RELIER LA SECTION EST DE GUANDONG AFIN D'EN FACILITER SON FUTUR DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL ET DE DÉSENGORGER LE TRAFIC PAR LA CRÉATION D'UN NOUVEAU POINT DE CONTRÔLE FRONTALIER. LE CONTRAT 2 COMPREND LA RÉALISATION DE 5,4 KM D'AUTOROUTE DE 2x2 VOIES COMPRENANT 2x4,8 KM DE TUNNEL AINSI QUE LES BÂTIMENTS ET ÉQUIPEMENTS ASSOCIÉS.

GÉNÉRALITÉS

Les 4,8 km des tunnels de Lung Shan du Contrat 2 sont à creuser dans diverses conditions géotechniques qui impliquent l'utilisation de différentes techniques d'excavation telles que l'abattage mécanique ou à l'explosif mais également l'emploi d'un tunnelier à pression de terre de 14,1 m de diamètre. Du fait des contraintes foncières, l'alignement des 520 derniers mètres de la section Nord (Princess Hill) conduit à un virage serré (rayon de 354 m) nécessitant d'élargir le diamètre des tunnels qui passe ainsi de 12,6 m en section courante droite à 15,4 m dans cette zone finale afin de ne pas affecter la visibilité de l'automobiliste côté intérieur de la courbe (figure 1).

La séquence de travaux du contrat prévoyait d'achever les excavations du tunnel Princess Hill (section élargie) puis de lancer le TBM à partir du tunnel réalisé ; l'analyse du délai de construction pour la réalisation complète du projet (51 mois) a conduit à reconsidérer cette séquence car elle n'aurait pas permis d'achever le projet dans les délais. En phase d'appel d'offres, il a été proposé de réaliser les 205 premiers mètres du tunnel Sud (520 m), puis de lancer le TBM et enfin d'excaver les 315 derniers mètres restants en alésant par abattage le tunnel foré au TBM dont la section correspond à la section courante droite.

Cette solution consistant à augmenter la longueur d'excavation au TBM permet de sécuriser le risque délai laissant



© DHK

toutefois un défi technique et logistique intéressant lié à l'élargissement du tunnel Princess Hill.

CONDITIONS GÉOTECHNIQUES

La section Princess Hill a été majoritairement influencée par les failles locales de Sha Tau Kok et Tai Lam ; des zones au métamorphisme dynamique incluant des roches à la structure cataclastique, bréchifiée, monolithique, schisteuse et foliée.

Le creusement du tunnel est réalisé par conséquent dans un terrain hétérogène allant de roches volcaniques complètement décomposées à modérément décomposées jusqu'à des zones de rochers pas ou peu fracturés.

Princess Hill réunit par conséquent les conditions géologiques et géo-

1- Vue aérienne de la section Princess Hill.

1- Aerial view of the Princess Hill section.

techniques les plus variées du projet (figure 2) ; elles impliquent pour une grande partie de creuser par la méthode traditionnelle.

TECHNIQUES D'EXCAVATION - PLEINE SECTION

Le tunnel Princess Hill est composé de 2 tubes (Nord et Sud) dont la largeur d'excavation varie de 16,60 m en section drainée à 22,8 m en section

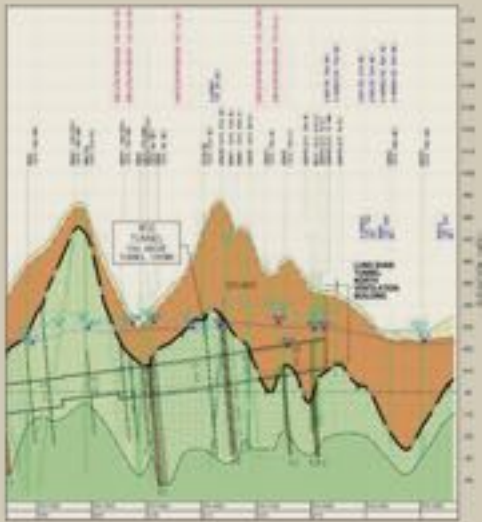
non drainée pour une hauteur pouvant atteindre jusqu'à 16,4 m.

De telles dimensions (section de 250 m²) impliquent de réaliser le creusement par demi-section (supérieure et inférieure). En fonction des conditions géotechniques, le soutènement mis en œuvre varie de la manière suivante :

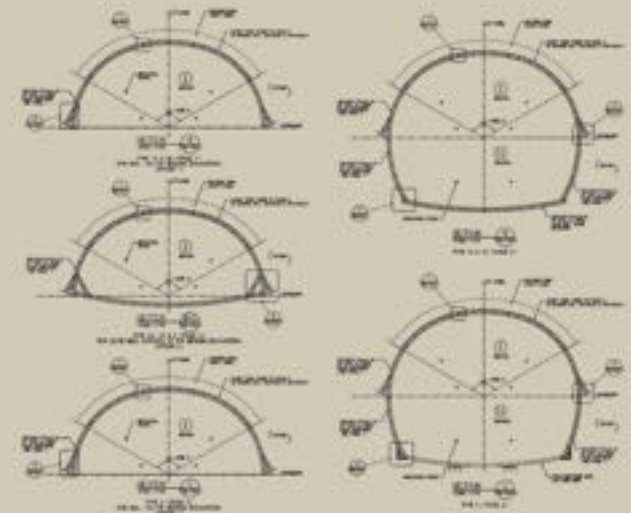
→ En zone de terrain meuble, un soutènement lourd est employé avec la pose de cintres métalliques de type HEB350 remplis de béton projeté (figure 3). Couplée à un boulonnage du front de taille avec des boulons de fibres, une voûte parapluie composée de 37 tubes de diamètre 114,7 mm pour 15 m de long est forée préalablement au creusement (figure 4) ; l'excavation et la pose de cintres est ensuite réalisée par phase de 1 m. Au total, 12 cintres sont mis en place par voûte parapluie.

→ En zone de rocher fracturé à faible couverture rocheuse, un soutènement lourd est employé en section supérieure avec la pose de cintres réticulés remplis de béton projeté fibré et de boulonnage et béton projeté fibré en partie inférieure. En calotte et avant tout creusement, une voûte parapluie du même type que celle définie précédemment est réalisée. La pose de cintres s'effectue par pas de 1,20 m ; 10 cintres réticulés sont ainsi installés par voûte parapluie. Pour le stross et du fait du caractère fracturé du terrain, le choix s'est porté sur des boulons autoforeurs scellés au mortier.

COUPE GÉOLOGIQUE



PRINCIPE DE SOUTÈNEMENT LOURD PAR CINTRE



© DHK

2

3

→ En terrain rocheux et pour les 2 sections, un soutènement par boulonnage (boulons à friction de type swellex) et béton projeté fibré est mis en œuvre.

PRINCIPE D'ÉLARGISSEMENT DU TUNNEL PRINCESS HILL

Les études des travaux d'élargissement du tunnel (figure 5) ont pris en compte les contraintes majeures liées aux activités de tunnelier et de tunnel à réaliser par méthode traditionnelle. Il a été tout d'abord considéré que l'élargissement de la première section de tunnel située en zone de terrain meuble (135 m) n'était pas réalisable du fait de la nécessité de fermer le revêtement temporaire par une contre-voûte cintrée en cas de convergence et/ou de tassement. Le principe général est donc de monter une galerie technique temporaire à l'intérieur du tunnel réalisé par le tunnelier;

2- Coupe géologique.

3- Principe de soutènement lourd par cintre.

4- Réalisation d'une voûte parapluie.

5- Principe d'élargissement.

2- Geological cross section.

3- Schematic of heavy retaining structure using centring.

4- Execution of an umbrella arch.

5- Enlargement technique.

galerie qui permet à la fois d'assurer l'accès à la zone d'élargissement en section supérieure et de maintenir l'accès pour la logistique du TBM en partie basse.

Au-delà des accès, les servitudes (eau, air et électricité) ainsi que la ventilation des différents postes de travail doivent pouvoir être maintenues de manière ininterrompue.

La galerie technique est installée à l'avancement du tunnelier. La longueur totale de la galerie est d'environ 395 m ; 315 m sont montés dans la section à élargir et les 80 m restants constituent la rampe d'accès au poste de travail d'élargissement de la demie-supérieure. Pendant cette phase, le convoyeur, les servitudes et la ventilation du TBM sont positionnés dans la galerie technique en pied de section. Le montage de la galerie se termine lorsque le tunnelier a atteint une lon-

gueur permettant le basculement des réseaux précédemment cités dans la galerie technique et que le train suiveur a libéré la zone d'élargissement.

Les travaux dans le tunnel Princess Hill se déroulent alors en 3 phases :

→ **Phase 1** : la rampe d'accès à la section supérieure réalisée ; un portique de protection translactable est alors monté pour protéger la galerie technique de l'impact des morceaux de voussoirs et des matériaux d'excavation. L'élargissement du tunnel s'effectue sur un pas équivalent à la largeur d'un voussoir (1,60 m) et sur la longueur totale (315 m).

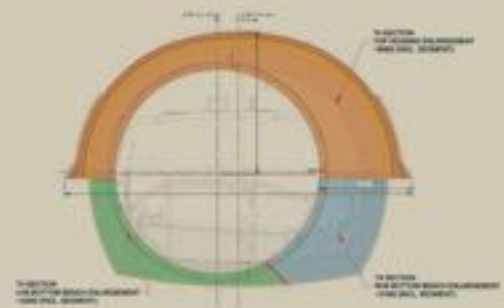
→ **Phase 2** : la section supérieure élargie, la ventilation et le convoyeur sont relocalisés en position haute. Les travaux d'élargissement sont alors concentrés sur la section inférieure droite; ils incluent le démontage partiel de la galerie technique. ▷



© DHK

4

PRINCIPE D'ÉLARGISSEMENT



5

→ **Phase 3** : la circulation des véhicules pour le TBM est basculée côté droit. La section inférieure gauche comprend le démontage des membres principaux de la galerie ainsi que des derniers éléments de servitude.

CONCEPTION GÉNÉRALE DE LA GALERIE TECHNIQUE

Nous avons choisi de positionner la rampe d'accès à la partie supérieure de la galerie technique dans l'axe de la première section de tunnel réalisée (figure 6) afin d'assurer, d'une part, côté gauche, un accès piétons pour les équipes d'excavation traditionnelle et, d'autre part, côté droit, le maintien de la circulation des véhicules utiles à la logistique du TBM (principalement les MSV transportant les voussoirs). La rampe d'accès est une structure métallique de type poteau-poutre (profilé HEB 350) ; elle est suivie d'un franchissement en portique permettant le passage inférieur des MSV (véhicule le plus encombrant) et enfin d'une plateforme utile au montage du portique de protection.

Pour déterminer la portée du portique, essentielle à la giration des MSV sous la galerie, un essai en plein air sur site a été mené pour confirmer le rayon de braquage maximum.

La galerie technique d'élargissement en section courante est une structure métallique composée de cadres installés tous les 3,2 m entretoisés entre eux.

Le cadre métallique type est constitué en partie inférieure de profilés (scellés dans les voussoirs) épousant la forme du tube ; les poteaux sont liaisonnés en tête avec des poutres, cet ensemble est également connecté sur le profilé inférieur par le biais de poutres de liaison.

Le platelage de circulation est composé de palplanches jointives sur lesquelles un remblai est réalisé à partir des matériaux d'excavation du tunnelier (traités au ciment -> CTB).

Les ouvertures créées de part et d'autre de la zone de circulation permettent d'un côté de positionner les servitudes et le convoyeur et de l'autre la ventilation.

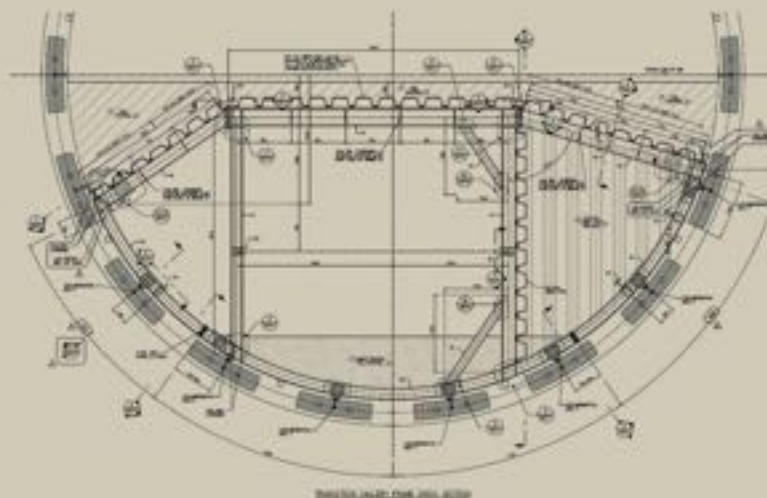
Le dimensionnement de la galerie a pris en compte de nombreux cas de charge relatifs aux travaux d'élargissement tels que la répartition des efforts transmis par le portique de protection et le marinage (utilisation de tombeaux de 40 t couplés à un chargeur de 30 t).



6

© DHK

COUPE SUR LA GALERIE TECHNIQUE



7

© DHK

PORTIQUE DE PROTECTION



8

© DHK

CONCEPTION GÉNÉRALE DU PORTIQUE DE PROTECTION

Les travaux de démolition et d'excavation engendrent un risque important du fait de la hauteur de chute des matériaux sur la galerie technique. L'analyse dynamique a montré que ces travaux ne pouvaient pas être menés sans la mise en place d'une protection.

Il est donc nécessaire de concevoir un portique (figure 8) permettant d'éviter qu'un voussoir ne puisse tomber d'un seul bloc, de contrôler la taille des blocs de matériaux qui tombent et de transmettre au mieux les efforts dynamiques sur la galerie principalement dus aux travaux d'excavation.

Le portique est constitué de 2 parties interconnectées :

→ Une plateforme de réception dont le but est d'amortir la chute des

6- Accès à la section supérieure d'élargissement.

7- Coupe sur la galerie technique.

8- Portique de protection.

6- Access to the upper enlargement section.

7- Cross section of the main services duct.

8- Protection portal.

matériaux et transmettre les efforts sur les poteaux de la galerie. Elle est constituée d'un platelage formé de poutres métalliques jointives en appui sur des poutres longitudinales (faisant également office de patin) axées sur les poteaux de la galerie. Un néoprène de 10 cm est mis en place à la connexion entre platelage et patins.

→ La partie arrière est une structure métallique qui épous la forme du tunnel. Elle est composée d'un système permettant de brider le portique en amont et en aval par l'intermédiaire de vis Magot. La partie frontale est constituée de poutres espacées d'un mètre positionnées sous le voussoir à démolir et permettant d'éviter la chute d'un voussoir entier.

PRINCIPE DE SONDAGE VERTICAL



TECHNIQUES D'EXCAVATION - SECTION ÉLARGIE

Préalablement à tous travaux d'élargissement et bien que les relevés géologiques faits au cours de l'avancement du tunnelier donnent des informations sur les terrains rencontrés, une campagne d'investigations géotechniques complémentaires est menée afin d'anticiper le type de soutènement à mettre en œuvre.

Par conséquent, lorsque le montage de la galerie technique est achevé, la première opération consiste à monter le roboforeur et à réaliser les sondages.

Ces derniers sont espacés tous les 10 m et forés verticalement afin de déterminer le type de couverture (figure 9).

Le principe général de la séquence d'excavation est alors comme suit (figure 10) :

- Excavation et démolition de la section supérieure sur la largeur d'un voussoir ;
- Réalisation du béton projeté de sécurité ;
- Déplacement du portique sous le voussoir suivant ;
- Mise en place du soutènement.

9- Principe de sondage vertical.

10- Séquence de démolition.

9- Vertical boring technique.

10- Demolition sequence.

De manière à faciliter la démolition des voussoirs, ces derniers ont été réalisés en béton fibré sur la section d'élargissement ; nous nous affranchissons par ce biais du recyclage acier-béton. Les travaux d'excavation sont effectués sur un pas de 1,60 m équivalent à la longueur d'un voussoir ; un pré-perçage des voussoirs (trou de 64 mm) sur une profondeur de 450 mm (épaisseur des voussoirs = 500 mm) et suivant un maillage de 350 x 800 mm est opéré afin de contrôler la taille des blocs qui tombent sur la plateforme de réception du portique.

La démolition est réalisée à l'aide d'un brise-roche hydraulique (2,5 t) monté sur un excavateur de 30 t ; cette opération suit une séquence précise et

est conduite en limitant l'épaisseur d'excavation à 500 mm. Une hauteur maximale de 2 m de marouflage sur la plateforme est autorisée.

Le déplacement du portique est réalisé par l'intermédiaire d'un excavateur (pelle de 48 t) à l'aide d'un jeu de chaînes accrochées aux patins du portique. Des tire-forts sont également

utilisés en cas de blocage transversal. Lorsque l'élargissement en partie supérieure est terminé, le portique de protection est démonté et la section inférieure est réalisée en 2 étapes. Le cycle d'excavation de ces 2 dernières parties intègre le démontage de la galerie technique (partiel à droite, complet à gauche). □

QUANTITÉS

MONTANT DU MARCHÉ : 1,16 milliards d'euros

PRINCIPAUX TRAVAUX

TUNNEL : 2 x 4,8 km - 49 galeries transversales

TERRASSEMENT : 750 000 m³

BÂTIMENT : 3 bâtiments de ventilation et 1 bâtiment administratif

ÉQUIPEMENT : 44 ventilateurs, 1 240 km de câble BT/HT, 100 km de fibre optique

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Civil Engineering and Development Department

MAÎTRE D'ŒUVRE : Aecom

ENTREPRISE : Dragages Hong Kong Ltd

BUREAU D'ÉTUDES : Atkins

ABSTRACT

LIANTANG - CONTRACT 2 - ENLARGEMENT OF THE PRINCESS HILL TUNNEL

S. LECOMTE, DHK - V. TRICOT, DHK - R. STORRY, DHK - D. ALTIER, DHK

The Princess Hill Tunnel represents a portion of 2 x 500 m of tunnel out of the 2 x 4.8 km involved in the Liantang - Contract 2 project for a motorway extension toward the northeastern part of the New Territories of Hong Kong. Of maximum width 22 m for a height of 16 m, this large-section tunnel (250 m²) is executed by half-sections in heterogeneous ground; heavy retaining structures consisting of centring coupled with an umbrella arch are mostly used. Although the enlargement technique represents a technical and logistic challenge, it makes it possible to overcome the completion time risk. □

LIANTANG - CONTRATO 2 - ENSANCHAMIENTO DEL TÚNEL PRINCESS HILL

S. LECOMTE, DHK - V. TRICOT, DHK - R. STORRY, DHK - D. ALTIER, DHK

El túnel Princess Hill constituye un tramo de 2x500 m del proyecto Liantang - Contrato 2, de 2 x 4,8 km de longitud, en el marco de una ampliación de la autopista hacia el noreste de los territorios de Hong Kong. Con una anchura máxima de 22 m y una altura de 16 m, este túnel de gran sección (250 m²) ha sido realizado por semi-secciones en terreno homogéneo. Se han utilizado principalmente entibaciones pesadas formadas por cimbras acopladas a una bóveda paraguas. Pese a sus dificultades técnicas y logísticas, esta técnica de ensanchamiento permite evitar el riesgo de incumplimiento de plazos. □



MTR SHATIN TO CENTRAL LINK - CONTRACT 1128 - OBSTRUCTIONS REMOVAL

AUTHOR: KEN KWOK, TECHNICAL MANAGER, DRAGAGES HK

THE SHATIN CENTRAL LINK (SCL) IS A STRATEGIC RAILWAY LINE THAT STRETCHES FROM TAI WAI TO ADMIRALTY, CONNECTING SEVERAL EXISTING RAILWAY LINES AND PASSING THROUGH NUMEROUS DISTRICTS OF HONG KONG. AS THE PROPOSED TUNNELS WILL RUN UNDERNEATH URBAN AREAS WITH HEAVILY TRAFFICKED CARRIAGEWAYS AND NEARBY STRUCTURES, ONE CRITICAL TASK OF THIS SCL PROJECT IS TO REMOVE ALL THESE UNDERGROUND OBSTRUCTIONS BEFORE UNDERTAKING TUNNELLING WORKS IN THESE AREAS.

OVERVIEW

The section from South Ventilation Building to Admiralty Tunnels is one of Hong Kong's most technically challenging tunnels. The main scope and challenge of the project is to construct the Eastern (540m) and Western (450m) tunnels by Tunnel Boring Machine (TBM), as both tunnels go through the city's busiest districts. Meticulous project planning is essential to help the TBMs navigate through a large volume of pile obstructions and utilities with zero interruption of services to citizens. The extent of the SCL 1128 Project is shown in (figure 1).

OBSTRUCTION REMOVAL WORKS

There are a number of underground obstructions including abandoned piles or existing piles that support existing structures, elevated roads, footbridges, piers and culverts, which have been identified and may potentially clash with the proposed SCL tunnels shown in (figure 2). The tunnelling works are planned to be carried out within two years (from April 2016 to April 2018). Time is limited. Overcoming steel H-piles or reinforced concrete foundation obstructions by tunnel boring machines (TBM) is very difficult, time-

1- Extent of SCL 1128 Project.

1- Étendue du projet SCL 1128.

consuming and risky. The project team must remove all of these underground obstructions before undertaking tunnelling works in these areas. As the proposed tunnels will run underneath an urban area with heavily trafficked

carriageways and nearby structures, the project team had to tackle many constraints by properly planning work sequences during the surface removal works.

LOCATIONS OF PILE OBSTRUCTIONS

The locations of the piles obstructing the tunnelling are shown in the table A.

METHODOLOGY

There are various methods of pile removal in the construction industry. Of these, the "Rotary All Casing Method"

TABLE A: LOCATIONS OF PILE OBSTRUCTIONS

Location	Obstruction to be removed	Site Constraints
Percival Street Footbridge	9 dia. 600mm bored piles with 8mm casing	Limited space Underground utilities
Canal Road Box Culvert	21 18" square driven concrete prestressed piles	Limited space Underground utilities Limited dry season
Canal Road Flyover	6 18" square driven concrete prestressed piles (raking)	Limited space Nearby highway structures Height restriction
Wan Shing Street Footbridge	1 dia. 600mm in-situ concrete bored piles (abandoned)	Limited space Underground utilities
Wan Chai West Treatment Plant	24 driven steel H-piles	Limited space
Fleet Arcade	3 dia. 500mm driven concrete piles with casing 19mm thick	Limited space Underground utilities

has the advantage of high torque and minimal disturbance to the environment. The "Hydrostatic Jacking Method" has the advantage of no casing driving.

ROTARY ALL CASING METHOD

The Rotary All Casing Method was introduced to Hong Kong by Dragages for the removal of piles in the XRL Contract 820. Our successful recent experience has demonstrated the suitability of this method for the removal

of prestressed concrete piles, H-piles, barrettes and bored piles. This is a fast-track method with high pile remo-

2- Obstruction Location Plan.

2- Plan de situation des obstructions.

val rates. It gives scheduling benefits and certainty to a project. Based on our successful XRL 820 experience, we successfully apply this Rotary All Casing Method in our SCL 1128 project as shown in (figure 3).

The details of the method for vertical piles, as shown in (figure 4), are described below:

→ Use a hydraulic rotator or oscillator to drive steel casing from the ground.

→ The cutting ring of dia. 1.5m or 2m steel casing will cut the pile into pieces.

→ Excavate the soil around the pile with the grab.

→ Lower a wedge-type chisel down into the casing between the pile and the inner casing wall.

→ Rotate the casing with the wedge to twist the pile using the rotator or oscillator.

→ Twist the pile using the rotator or oscillator until it breaks.

→ Remove the cut pile by grab.

→ Repeat above steps to remove the pile until the pile toe is reached, or down to 1m below the tunnel level.

→ If the pile is socketed in rock, deploy a down-the-hole hammer to break the rock around the pile and remove the pile by chisel and grab.

→ Backfill the hole with lean concrete (10MPa) and extract the temporary casing.

The details of the method for raking piles, as shown in (figure 5), are described below:

→ Use a hydraulic rotator or oscillator to drive steel casing from the ground.

OBSTRUCTION LOCATION PLAN



- The cutting ring of dia. 1.5m or 2m steel casing will cut the pile into pieces.
- Excavate the soil around the pile with the grab.
- Cut the pile with the cutter of the steel casing wall.
- Excavate the broken part of the raking pile.
- Backfill the hole with lean concrete (10MPa) and extract the temporary casing.
- Repeat above steps on another part of the raking pile to be removed until all part of the pile have been removed.

HYDROSTATIC JACKING METHOD

This pile removal method is similar in principle to the sheet pile removal method from ground level. This method can be used to remove steel H-piles which have adequate tensile strength to withstand the pulling force. In the SCL 1128 project, a trial pile removal by jacking method was carried out to examine the ground movement effect



3 © DRAGAGES HK

3- Rotary All Casing Method in pile removal works.

4- Removal of obstructing piles (vertical precast concrete piles): Rotary All Casing Method.

3- Méthode rotative "Rotary All Casing" pour travaux d'élimination de pieux.

4- Élimination de pieux faisant obstacle (pieux verticaux en béton préfabriqué) : méthode "Rotary All Casing".

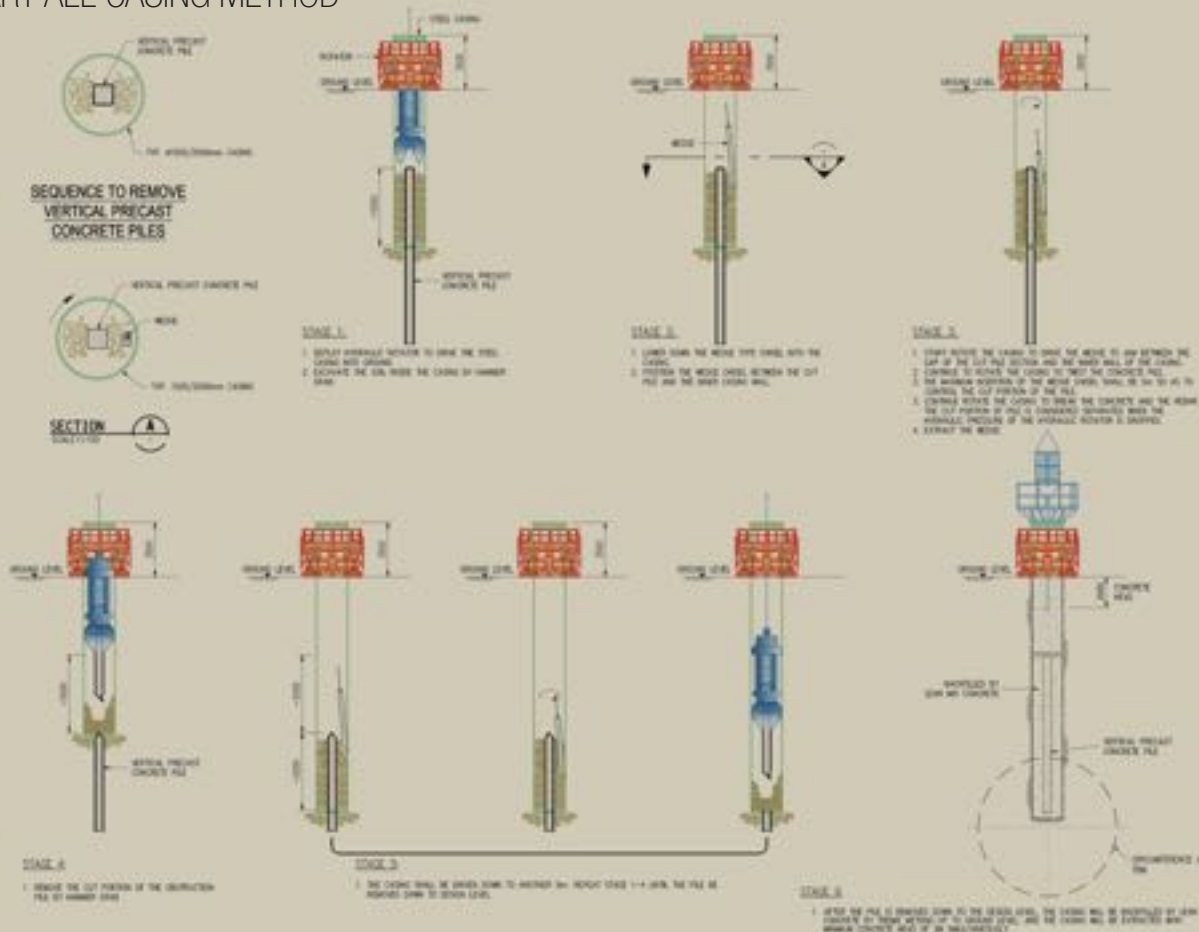
due to pile removal works by this jacking method. The successful trial experience demonstrated the suitability of this method for the removal of steel H-piles. The Hydrostatic Jacking Method is successfully implemented in the SCL 1128 project. The details of the

hydrostatic jacking method, as shown in (figure 6), are described below:

- Drill four relief holes around each H-pile down to the pile toe to detach the pile from the surrounding soil.
- Backfill the relief holes with sand prior to casing extraction.

- Extend the steel H-pile to 4m above the ground with full penetration butt welds.
- Cast temporary concrete slab or place a steel plate as a platform for the hydraulic jack.
- Set-up the four hydraulic jacks.

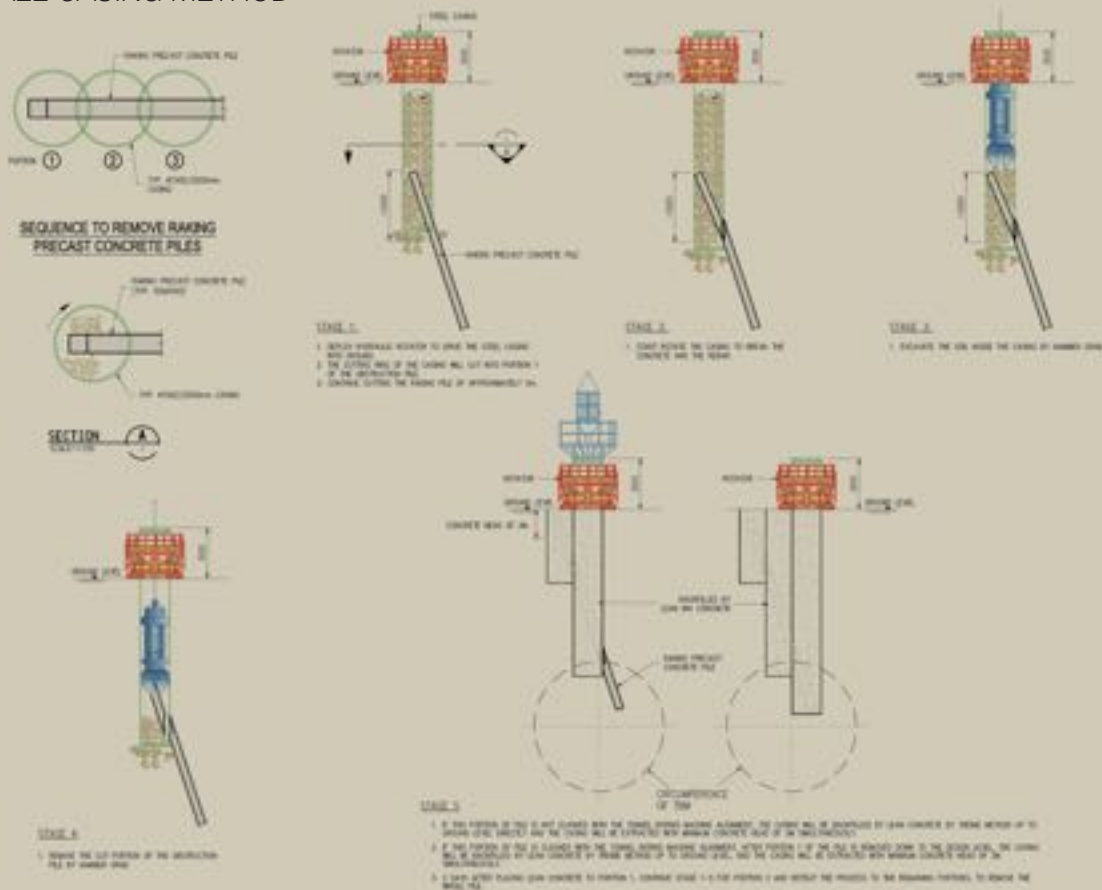
REMOVAL OF OBSTRUCTING PILES (VERTICAL PRECAST CONCRETE PILES): ROTARY ALL CASING METHOD



4

© DRAGAGES HK

REMOVAL OF OBSTRUCTING PILES (RANKING PRECAST CONCRETE PILES): ROTARY ALL CASING METHOD



© DRAGAGES HK

5

- Apply jack-up force gradually until the pile has been successfully moved.
- Connect the pile head by lifting wire for subsequent cutting and removal process.
- Flame-cut and remove the surplus H-pile section above the clamping head.

- Repeat the above process until the whole H-pile section has been extracted and removed from the ground.
- Backfill the void after H-pile extraction with sand fill, which would subsequently be strengthened by bentonite/cement grout.

SITE CONSTRAINTS OF SCL 1128 PILE REMOVAL WORKS

To carry out tunnelling works for this SCL 1128 project in this high-density urban area, many constraints must be overcome. A large volume of pile obstructions must be removed before the tunnelling works can begin.

The pile obstruction works will be constrained by:

- Severely limited space for construction;
- Very close proximity to existing Highway Department (HyD) structures;
- Or very close proximity to existing underground utilities.

5- Removal of obstructing piles (raking precast concrete piles): Rotary All Casing Method.

6- Hydrostatic Jacking Method in pile removal works.

5- Élimination de pieux faisant obstacle (pieux inclinés en béton préfabriqué) : Méthode "Rotary All Casing".

6- Méthode Hydrostatic Jacking (vérinage hydrostatique) pour travaux d'élimination de pieux.



© DRAGAGES HK

6

LIMITED SPACE AND CLOSE PROXIMITY TO EXISTING HYD STRUCTURES

Most of the pile removal work areas cover live existing traffic lanes or the land underneath the existing fly-over.

The normal working area is the distance between the consecutive concrete column grid lines (e.g. 12m in width, 12m x 12m = 144m² in the work area underneath the flyover) or the distance between the two nearby bridge structures (e.g. 6m in width, 6m x 18m = 120m² in the work area). Special care must be taken when moving plant and equipment to the work area and during the construction works to prevent damage to the existing HyD structures.

The size of plant and equipment used should be limited and checked before moving it.

UNDERPINNING WORKS TO PROTECT THE SURROUNDS OF EXISTING HYD STRUCTURES

The Canal Road Flyover is a Red Route distributor of traffic from the Cross Harbour Tunnel to the Aberdeen Tunnel and Gloucester Road. To minimise the effect of tunnelling works on the existing structure, an underpinning scheme for the flyover is proposed to facilitate the tunnel construction works.

The planned construction sequence requires building at grids 19&20 a new steel-socketed H-pile foundation adjacent to the existing foundation, which is used to support a temporary jacking frame from which the existing crosshead is underpinned by a jacking system (8 vertical, 4 longitudinal and 2 transverse jacking points at each grid). After the crosshead load is gradually transferred to the jacking frame and the new foundation, the existing columns are disconnected by sawcut



7 © DRAGAGES HK

7- Underpinning arrangements at Grids 19 & 20 of Canal Road Flyover.

8- Headroom restrictions under Canal Road Flyover.

7- Dispositifs de reprise en sous-œuvre aux points 19 & 20 du saut de mouton "Canal Road Flyover".

8- Contraintes de hauteur sous le SDM "Canal Road Flyover".

method at a designed level above the existing pile caps during non-peak traffic hours as shown in (figure 7). Obstruction removal starts straight after the successful underpinning of the two grids of crosshead of the flyover, and shall be completed well before the arrival of TBM.

After each crossing of TBM, crossheads of the flyover are adjusted to an acceptable position with the help of a jacking system. At the end, loadings are transferred from temporary jacking system to the permanent foundation by reinforced concrete reconnection between the pilecaps and the existing columns.

HEADROOM RESTRICTION

Because of the low headroom under the flyover, roughly 4m, the site formation level is lowered with a sheet pile cofferdam to provide a sufficient 6.5m headroom for the proposed pile removal works.



8 © DRAGAGES HK



© DRAGAGES HK 9

A special low-height plant setup will be arranged to overcome the low headroom restriction as shown in (figure 8).

UNDERGROUND UTILITIES RESTRICTION

Based on the proposed SCL alignment, the TBMs will pass underneath the existing Canal Road Box Culvert. This existing Canal Road Box Culvert is a twin-cell box culvert (2 x 3m(H) x 6m (W)) supported by piles. These

9- Temporary flow diversions at Canal Road box culvert for pile removal works.

9- Dérivations provisoires de circulation au dalot de Canal Road pour travaux d'élimination de pieux.

piles will obstruct the tunnelling works. To allow tunneling works, two temporary channels (eastern channel and western channel) are constructed to divert the flow temporarily. The diversion works to minimise the water flow capacity of this box culvert can only be carried out in the dry season (from November to March of next year). After diverting the water flow temporarily to two eastern and western by-pass channels as shown in (figure 9), a temporary working platform is formed for pile remo-

val works with sufficient working space. The first TBM crossed successfully the Highway Bridges and the Box Culvert in May and June 2016, with no interruption of service to public. Thanks to the surface teams, all the obstruction removals were completed in April 2016. A new big challenge is coming at the last quarter of 2016, with the Variable Density TBM in shallow ground which needs a lot of preparation works and precise adjustment to Highway Bridges. □

ABSTRACT

MTR SHATIN À CENTRAL LINK - CONTRAT 1128 - ÉLIMINATION DES OBSTACLES

KEN KWOK, DHK

La section de tunnels SCL 1128 comprend les tunnels Est (540 m) et Ouest (450 m) entre le bâtiment South Ventilation Building et les tunnels d'Admiralty. Le percement de ces tunnels est susceptible de rencontrer un certain nombre d'obstacles tels que des pieux abandonnés et des pieux existants qui soutiennent les ouvrages existants, routes surélevées, passerelles, piles et ouvrages hydrauliques. Beaucoup de ces obstacles doivent être éliminés afin de permettre les travaux de percement. Il existe, dans l'industrie de la construction, diverses méthodes d'élimination de pieux. Parmi celles-ci, la méthode rotative "Rotary All Casing", qui a pour atouts un couple de travail élevé et des dégâts minimes à l'environnement. L'atout de la méthode Hydrostatic Jacking (vérinage hydrostatique) est l'absence de fonçage de tube. Les deux méthodes ont été employées avec succès par Dragages Hongkong sur des projets précédents. □

MTR SHATIN TO CENTRAL LINK - CONTRATO 1128 - RETIRADA DE OBSTÁCULOS

KEN KWOK, DHK

La sección del túnel SCL 1128 incluye los túneles este (540 m) y oeste (450 m) que van del edificio de ventilación sur a los túneles del Almirantazgo. Las trayectorias de estos túneles posiblemente toparán con varios obstáculos subterráneos, como pilotes abandonados y pilotes de apoyo de las estructuras existentes, carreteras elevadas, pasarelas, pilares y alcantarillas. Muchos de estos obstáculos deberán retirarse para permitir los trabajos de tunelación. Existen varios métodos de retirada de pilotes en el sector de la construcción. Entre ellos, el método de la perforación rotativa presenta la ventaja de un alto par y de una perturbación mínima del entorno. El método de la elevación hidrostática tiene la ventaja de que evita el golpeo por tubería. Ambos métodos han sido utilizados con éxito por Dragages Hongkong en varios proyectos. □

PROJET SCL1128 À HONG KONG. CHOIX DES TYPES DE TUNNELIER PRESSION DE BOUE/DENSITÉ VARIABLE

AUTEURS : BRUNO COMBE, DIRECTEUR TECHNIQUE PÔLE TUNNEL, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - ALAIN HERVIO, DIRECTEUR DU PROJET SCL1128, DRAGAGE HONG KONG - DIDIER JACQUES, RESPONSABLE CONSTRUCTION DU PROJET SCL1128, DRAGAGE HONG KONG

LE PROJET SCL1128 À HONG KONG EST UN DES LOTS DE LA FUTURE LIGNE SOUTERRAINE DU MÉTRO FAISANT LE LIEN ENTRE SHATIN, SITUÉ SUR LES NOUVEAUX TERRITOIRES, ET CENTRAL SUR L'ÎLE DE HONG KONG. CETTE SECTION EST SITUÉE PLUS PARTICULIÈREMENT ENTRE ADMIRALTY ET CAUSEWAY BAY, ZONES TRÈS DENSÉMENT URBANISÉES, COMPORTANT DES ACTIVITÉS COMMERCIALES MULTIPLES ET DES AXES ROUTIERS MAJEURS. LE PROJET CONSISTE À RÉALISER 4 SECTIONS DE TUNNEL POUR UNE LONGUEUR TOTALE CREUSÉE DE 2200 M DANS DES HORIZONS GÉOLOGIQUES COMPLEXES ET TRÈS HÉTÉROGÈNES. LE GROUPEMENT A PROPOSÉ UN TUNNELIER SPÉCIFIQUE POUR EXCAVER L'UN DES TUNNELS.

GÉNÉRALITÉS

C'est en 2014 que la Société d'exploitation du Métro de Hong Kong, MTRC (Mass Transit Railway Corporation), a confié au groupement des entreprises Bouygues Travaux Publics et Dragage Hong Kong (filiale de Bouygues Construction), la réalisation des travaux de construction du lot 1128 de la future ligne de métro reliant, du nord vers de sud, sur près de 17 km, la zone dite de Shatin à l'île de Hong Kong (figure 1). Le Lot SCL1128 est situé à l'extrémité de l'extension Sud de la ligne, en grande partie le long de la côte Nord de l'île de Hong Kong entre Admiralty et Causeway Bay, zone qui a été gagnée sur la mer par de gros travaux de remblaiement effectués à la fin des années 1960 et le début des années 1970.

Les principaux travaux du Projet SCL1128 consistent à réaliser 2 puits d'accès W1-SOV et FPP qui serviront de base logistique en phase travaux, et l'excavation de deux tunnels bi-tubes chacun ayant pour diamètre intérieur 6,50 m (figure 2).

La section Est du tunnel partant du puits W1 en direction de l'Exhibition Center est principalement constituée de 2 tunnels superposés de longueur 680 m, le tunnel supérieur étant localement situé à moins d'un diamètre de couverture. Pour ce qui concerne la section Ouest du tunnel, partant

SITUATION



1- Situation.

1- Location.

du puits FPP vers la station Admiralty, la longueur à excaver est de 510 m. S'ajoutent à ces travaux principaux de nombreux travaux préparatoires comme les déviations des réseaux, les traitements de terrain et surtout l'enlèvement et/ou le traitement des obstacles (pieux, digues, anciens murs de quais...) positionnés sur le tracé du tunnel. En revanche, la station, située sous l'Exhibition Center, ne fait pas partie de ce même contrat de travaux.

CONDITIONS ET DIFFICULTÉS PRINCIPALES

Les terrains auxquels vont devoir faire face les tunneliers sont de nature très hétérogène, non seulement en raison des transformations liées à l'activité humaine et des extensions successives de la zone gagnée sur la mer, mais aussi en raison de plusieurs failles, dont celles de Wan Shai Gap et Wong Nao Chung Gap Faults.

On trouve dans cette zone différentes strates constituées, en partant de la surface, d'une couche de remblais d'une dizaine de mètres présentant localement une très forte porosité,

1

© MTRC HONG KONG



2
© DRAGAGES HONG KONG

au-dessous de laquelle il y a un niveau de 2 à 4 m d'épaisseur de dépôts marins pouvant être très perturbés, avec de faibles caractéristiques mécaniques. En continuant en profondeur, on rencontre une couche d'épaisseur variable de 10 à 15 m d'alluvions pouvant être sableuses ou silteuses, avec présence de lentilles argileuses. Vient ensuite une couche de 4 à 6 m d'épaisseur de granite altéré qui, en fonction des degrés d'altération, peut être sableuse à silteuse et à l'intérieur de laquelle il y a une forte présence de boulders et de blocs rocheux de dimension pluri-métrique. Enfin, le panorama des formations rencontrées se termine, en partie inférieure, par la présence de granite plus ou moins fracturé du fait de l'influence des failles, mais pouvant localement être très dur et de bonne qualité. À titre d'exemple, on trouve sur la figure 3 une coupe caractéristique des conditions géologiques rencontrées.

Aux spécificités des conditions de géologie décrites ci-dessus, il faut aussi préciser que dans la couche de remblais gagnée sur la mer et au travers de laquelle l'un des tunneliers va devoir excaver, il y a de fort risques de rencontrer des obstacles exogènes comme d'anciens pieux ou bien d'anciens murs de quai et digues reposant sur des remblais rocheux de stabilisation. Également, dans les zones très urbani-

2- Vue du projet.

3- Coupe type de la géologie rencontrée.

2- View of the project.

3- Typical section of the geology faced.

sées, les tunneliers vont aussi creuser à proximité immédiates de fondations d'ouvrages et bâtiments existant, avec une forte limitation des tassements admissibles.

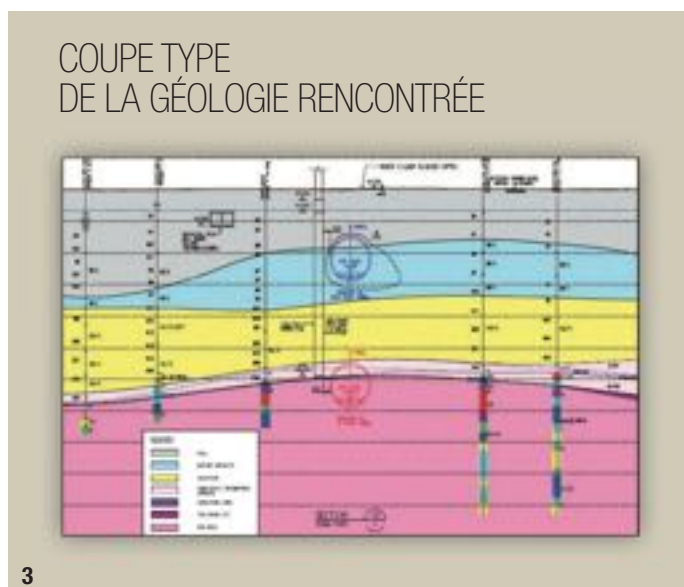
MÉTHODOLOGIE DE CREUSEMENT AU TUNNELIER

Pour faire face à de telles conditions de géologie et dans un environnement aussi contraint, seuls les tunneliers à confinement peuvent positivement répondre aux enjeux.

MAIS QUEL TYPE DE TUNNELIER CHOISIR ?

Sur les quatre sections de tunnel à excaver, trois d'entre elles, qui sont celles les plus profondes, évitent les remblais et traversent des horizons constitués des dépôts marins, des alluvions, des granites et granites décomposés.

Fort de ses nombreuses expériences sur des projets de tunnels à Hong Kong, notamment sur les projets de XRL820 et de MTR703 récemment livrés au même client MTRC, et devant faire face à des conditions géologiques assez similaires, le groupement a rapidement confirmé le choix d'engager un tunnelier à confinement par pression de boue pour réaliser ces trois sections de tunnel les plus profondes. Ce mode de fonctionnement permet, en effet, de garantir une très grande qualité et précision de confinement, avec par conséquent, une très bonne maîtrise des tassements sur les avoisinants. Avec ce type de machine, il est possible d'organiser de manière sécurisée les interventions de maintenance de tête d'abat-tage, en hyperbarie, notamment lorsque les faciès mixtes constitués de roches dures (granite) et de terrain tendres (granite décomposé), très dommageables pour les molettes d'abat-tage, nécessitent une à deux interventions quotidiennes pour le remplacement de certaines d'entre elles.



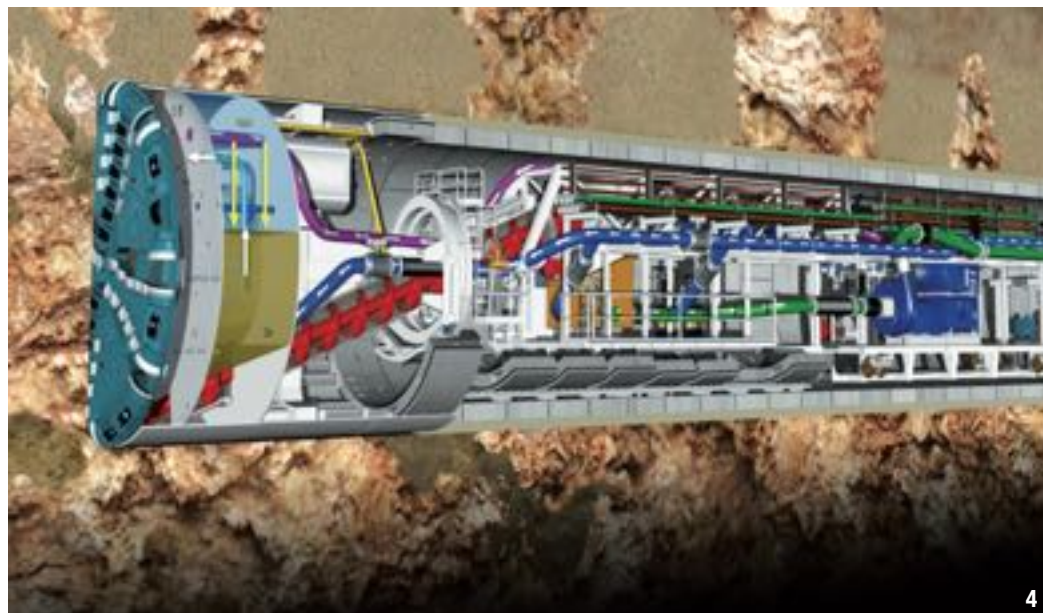
3
© DRAGAGES HONG KONG

Enfin, le traitement des déblais dans la station de séparation des boues permet de maîtriser la qualité des déblais évacués, en particulier leur taux d'humidité ; dans le cas des projets à Hong Kong où l'évacuation se fait par voie maritime avec des contraintes de houle non négligeables, c'est un vrai plus, notamment pour éviter les problèmes de gîte intempestive des bateaux liés à la carène liquide.

MAIS QU'EN EST-IL DU TUNNEL RÉALISÉ SOUS FAIBLE COUVERTURE ?

Pour la section supérieure du tunnel Est, démarré du puits W1 en direction de la station d'Exhibition Center, le choix du type de machine à engager est bien moins évident.

La traversée des remblais qui, rappelons-le, peuvent être localement très poreux, sous une faible couverture et alors même que les limitations de tassement nécessitent la maîtrise par le tunnelier de la pression de confinement, sont des contraintes fortes. Rapidement, la solution de tunnelier à confinement par pression de boue a été écartée, en raison des risques de pertes de boue dans les terrains à forte porosité. Dans une telle situation, les conséquences sont à la fois, la perte de la nécessaire pression de confinement, ce qui peut entraîner une instabilité de la face d'excavation, et aussi, les possibles remontées ou fuites par capillarité de la boue de marinage vers la surface, pouvant créer de fortes perturbations. L'alternative naturelle au tunnelier à pression de boue est, bien sûr, le tunnelier à mode de confinement par pression de terre. Pour maîtriser le confinement par la pression de terre, il convient de créer dans la chambre d'abattage une pâte homogène en mélangeant les matériaux d'excavation avec, le plus souvent, des additifs chimiques (mousses et polymères) ; cela permet à la fois de transmettre la pression à la face d'excavation et aussi, de créer un bouchon dans la vis d'extraction pour pouvoir y assurer la chute de pression et l'évacuation par convoyeur à bande. Encore faut-il que les matériaux rencontrés présentent un fuseau granulométrique homogène avec suffisamment de fines pour pouvoir créer cette pâte ! Notre analyse des données disponibles nous a amenés à penser que les conditions ne sont pas réunies pour permettre d'engager en toute sécurité un simple tunnelier à pression de terre dans les horizons rencontrés ici.



4 © HERRENKNECHT

Sans être le type de tunnelier par défaut, le tunnelier « à densité variable » (figure 4) est bien le type de machine qui peut répondre à la problématique de réalisation de ce tunnel. C'est, en effet, ce qui a été retenu.

Le matériau d'excavation est évacué de la chambre d'abattage pressurisée au moyen de la vis d'extraction, comme sur un tunnelier à pression de terre classique.

En sortie de la vis d'extraction, au lieu d'être déversés sur le convoyeur à bande, les matériaux sont acheminés dans une boîte dite *slurry firebox* (figure 5) permettant de les mélanger à de la boue en circulation, pour être évacués vers la station de séparation de surface par moyen hydraulique. Ce mode de fonctionnement a été mis au point sur le projet du tunnel du Port

4- Tunnelier à densité variable (source Herrenknecht).

5- Détail de la boîte de mélange - *slurry firebox* (source Herrenknecht).

4- Variable-density TBM (source: Herrenknecht).

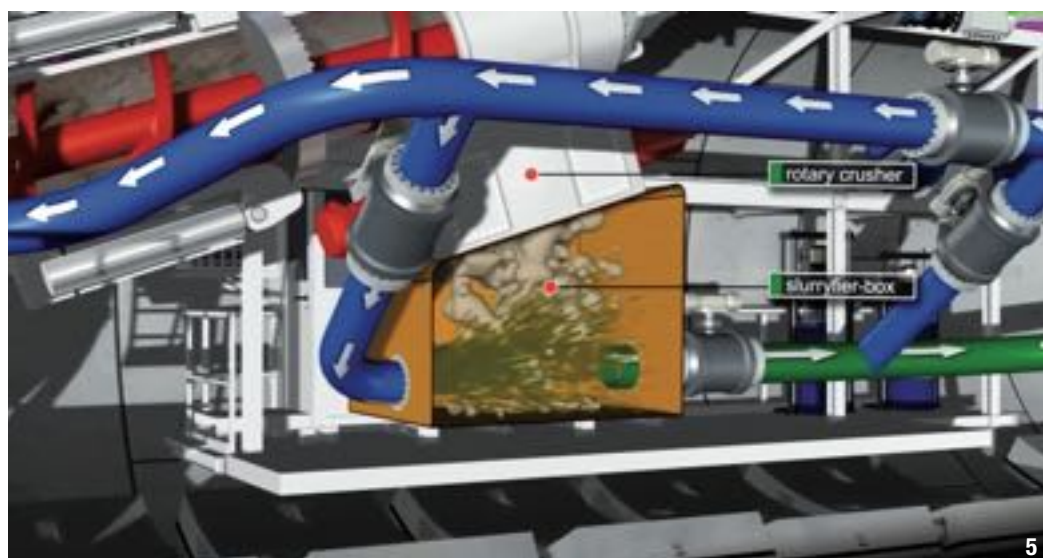
5- Detail of the slurry firebox (source: Herrenknecht).

de Miami (USA) réalisé par Bouygues Travaux Publics entre 2009 et 2012, avec l'aide du constructeur Herrenknecht. Lorsque la qualité des matériaux rencontrés le permet, la pression

de confinement dans la chambre d'abattage peut être maintenue classiquement grâce à un bouchon réalisé dans la vis convoyeur.

En sortie de vis, la pression est alors celle du circuit de marinage hydraulique. Il est aussi possible de maîtriser la pression par régulation dans la bulle d'air située dans le bouclier et qui est en communication avec la chambre d'abattage, comme sur un tunnelier à pression de boue.

Enfin, et grâce à l'ajout de boue de haute densité préparée en surface et acheminée sur le tunnelier via la conduite dédiée représentée sur la figure 4, il devient possible d'homogénéiser les matériaux dans la chambre d'abattage et d'en maintenir la densité et la viscosité à un niveau très proche de ce qui est recherché en mode



5 © HERRENKNECHT



avantage par rapport à un tunnelier à confinement par pression de terre classique, pour lequel, il est nécessaire de progresser en creusant pour remplir la chambre d'abattage, lorsqu'elle a été vidée pour une intervention. En surface, en complément des installations classiques nécessaires au fonctionnement d'un tunnelier à mode de confinement par pression de boue, c'est-à-dire, la station de séparation et de traitement des boues de marinage, il convient d'ajouter une installation de préparation de boue de forte densité (entre 1,5 et 1,6) dont la formulation à base de bentonite, d'argile non active et de filler (...), peut être adaptée en fonction des ressources disponibles à proximité du site. Cette installation est complétée d'une installation de pompage de cette boue vers le tunnelier (figure 6). □

pression de terre et en tout cas, bien plus élevé qu'en mode par pression de boue. Cela limite fortement le risque de perte de matériau dans les zones poreuses, et empêche l'éventuelle percolation de boue vers la surface.

6- Installation de surface (source Herrenknecht).

6- Surface installation (source: Herrenknecht).

ET VIS-À-VIS DU RISQUE D'OBSTRUCTIONS IMPRÉVUES ?

Pour faire face au risque d'obstacles exogènes le long du tracé du tunnel, le tunnelier est équipé du dispositif d'instrumentation des molettes d'abattage Mobydic, développé par le service R&D de Bouygues Travaux Publics, qui, en mesurant en temps réel et en continu les efforts appliqués sur les molettes d'abattage, permet de détecter les discontinuités, les variations de géologie et les éventuels obstacles. Grâce au tunnelier à densité variable, il est

ensuite plus facile et sécurisant de réaliser des opérations hyperbares dans la chambre d'abattage pour intervenir sur les obstructions. En effet, comme pour un tunnelier à pression de boue, on peut efficacement contrôler la qualité de boue pour constituer une membrane étanche sur la face d'excavation et éviter les pertes d'air lors de l'intervention, et, en cas de nécessité (instabilité...), rapidement remplir la chambre d'abattage, grâce à l'apport de boue de haute densité. C'est un net

PRINCIPALES QUANTITÉS

- MONTANT DU CONTRAT DE CONCEPTION-CONSTRUCTION : 600 millions d'euros environ**
- LONGUEUR TOTALE DES 4 TUNNELS : 2 200 m**
- DIAMÈTRE DE LA TÊTE DE COUPE DES TUNNELIERS : 7,45 m**
- DIAMÈTRE INTÉRIEUR DES TUNNELS : 6,50 m**
- PUITS DE DÉMARRAGE DES TUNNELIERS : 2 u**

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- CLIENT : Mass Transit Railway Corporation**
- GROUPEMENT EN CHARGE DE LA CONCEPTION-CONSTRUCTION : Bouygues Travaux-Publics - Dragages HK**
- BUREAU D'ÉTUDES EN CHARGE DE LA CONCEPTION : Aecom**
- FABRICANT DES TUNNELIERS : Herrenknecht**
- FABRICANT DES STATIONS DE TRAITEMENT DES DÉBLAIS : Ms**
- TRAVAUX SPÉCIAUX : Intrafor**

ABSTRACT

SCL1128 PROJECT IN HONG KONG. CHOICE OF TBM TYPES: SLURRY SUPPORT VS VARIABLE DENSITY

BRUNO COMBE, BOUYGUES TP - ALAIN HERVIO, DRAGAGE HONG KONG - DIDIER JACQUES, DRAGAGE HONG KONG

On the SCL1128 project in Hong Kong, where four tunnels are being constructed with a total excavated length of about 2,200 m, two types of TBMs are being used to cope with the very constraining work conditions. A slurry shield TBM is used for drilling the three tunnels at depths ranging between 20 and 30 metres. For the tunnel of a depth ranging between 8 and 15 metres, faced with extremely difficult conditions and very porous ground, it is a hybrid variable-density-slurry TBM which is used, combined with the instrumentation system for disc cutters developed by Bouygues Travaux Publics, for obstacle detection. This is a first in Hong Kong for this type of TBM, which enhances the reliability of tunnel construction. □

PROYECTO SCL1128 EN HONG KONG. SELECCIÓN DE LOS TIPOS DE TUNELADORA: PRESIÓN DEL LODO FRENTE A DENSIDAD VARIABLE

BRUNO COMBE, BOUYGUES TP - ALAIN HERVIO, DRAGAGE HONG KONG - DIDIER JACQUES, DRAGAGE HONG KONG

En el proyecto SCL1128 de Hong Kong, donde se están realizando cuatro túneles con una longitud lineal perforada de unos 2.200 m, se utilizan dos tipos de tuneladoras para hacer frente a unas condiciones muy exigentes de realización: una tuneladora de confinamiento por presión del lodo para los tres túneles a una profundidad de entre 20 y 30 m, y, para el túnel con una profundidad comprendida entre 8 y 15 m, sujeto a condiciones especialmente difíciles y en terrenos muy porosos, se emplea una tuneladora híbrida con control del confinamiento por densidad variable, combinada con un sistema de instrumentación de las moletas de corte desarrollado por Bouygues Travaux Publics que permite detectar obstáculos. Este tipo de tuneladora, que fiabiliza la construcción del túnel, es una primicia en Hong Kong. □



© DEREK M. ALLAN / INTRAFOR

SHATIN TO CENTRAL LINK - CONSTRUCTION DE PAROIS MOULÉES SOUS HAUTEUR LIMITÉE

AUTEURS : OLIVIER HAYE, DIRECTEUR TECHNIQUE, INTRAFOR - ALEXANDRE LACORE, INGÉNIEUR TRAVAUX, INTRAFOR

DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION D'UNE NOUVELLE LIGNE DE MÉTRO À HONG-KONG, DÉNOMMÉE SHATIN TO CENTRAL LINK, INTRAFOR A EFFECTUÉ D'IMPORTANTS TRAVAUX DE FONDATIONS EN SOUS-CŒUVRE. POUR POUVOIR TRAVAILLER EN HAUTEUR RÉDUITE, L'ENTREPRISE A UTILISÉ DES CUTTERS LOW HEADROOM ET DÉVELOPPÉ DE NOUVEAUX ÉQUIPEMENTS TELS QUE DES GRUES À FLÈCHE COURTE ÉQUIPÉES DE BENNES PRENEUSES COURTES AINSI QU'UN PORTIQUE MOBILE DE LEVAGE POUR L'INSTALLATION DES CAGES D'ARMATURES. L'ORGANISATION DU CHANTIER A ELLE AUSSI ÉTÉ MISE AU POINT DANS UN SOUCI D'OPTIMISATION DU TEMPS ET DE L'ESPACE.

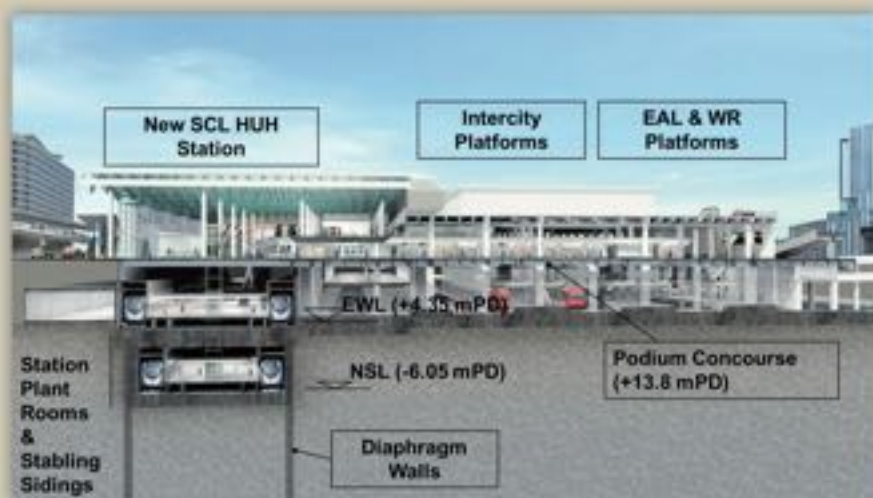
Shatin to Central Link (SCL) est un projet d'infrastructure majeur qui s'inscrit dans le développement du réseau des transports en commun de Hong Kong. Financé par le Gouvernement hongkongais, le SCL comporte l'extension de deux lignes de métro entre Tai Wai, dans les Nouveaux Territoires, et Central, l'un de plus importants quartiers d'affaires de la ville. Cette extension assurera ainsi une connexion stratégique et directe entre le centre de l'île de Hong Kong

et les stations de métro situées dans le nord des Nouveaux Territoires, à la frontière avec la Chine continentale. Le SCL traversera plusieurs secteurs de la ville, notamment dans l'est du district de Kowloon. Actuellement en plein essor, aussi bien du point de vue commercial que résidentiel, cette zone n'est aujourd'hui que partiellement desservie par le métro. Le SCL, long de 17 km, se composera de 10 stations ; il devrait permettre aux utilisateurs de se déplacer plus confortablement dans Hong Kong, en réduisant les temps de trajet sur les axes nord-sud et est-ouest et le nombre de correspondances à effectuer ; il devrait également désengorger les transports en commun, souvent saturés aux heures de pointe. De plus, il devrait favoriser l'utilisation du métro, alimenté électriquement, au détriment du réseau routier, en apportant des bénéfices aux riverains en termes de réduction du bruit et des émissions polluantes. D'après les estimations, en 2021,

1- Construction d'un panneau sous hauteur réduite.

1- Panel construction in a low-headroom area.

RENDU DE LA STATION DE HUNG HOM



© D.R. 2

1 million de voyages par jour devraient être effectués au bord du SCL.

Le planning et le design du Shatin to Central Link ont été confiés à MTR Corporation, l'entreprise, partiellement privée, qui est en charge de la gestion du métro de Hong Kong.

Le projet a été divisé en deux tronçons dont l'intersection névralgique est représentée par Hung Hom, une station située dans le sud de Kowloon, au niveau du Victoria Harbour et où se trouvent, aujourd'hui, les terminus sud de deux autres lignes de métro,

2- Rendu de la station de Hung Hom.

3- Le cutter "low-headroom".

2- Rendering of Hung Hom Station.

3- The low-headroom cutter.

la West Rail Line et la East Rail Line. Le premier tronçon du SCL implique l'agrandissement de la ligne Ma On Shan, traversant le nord-est des Nouveaux Territoires, de Tai Wai à Hung Hom ; le deuxième comporte l'extension de la East Rail Line de Hung Hom à Admiralty, une station qui se trouve de l'autre côté du Victoria Harbour, à proximité de Central. Cette dernière section du SCL consistera essentiellement en un tunnel sous-marin qui traversera le port et en une nouvelle station à proximité du Centre des Expositions.

Chacun des deux tronçons a été divisé en plusieurs lots ; l'un des plus gros, le SCL 1112, a été confié à Leighton Contractors Asia Limited. Ce projet prévoit des travaux permanents et temporaires à Hung Hom, à savoir : la construction en sous-œuvre d'une nouvelle station, sous la station existante, la construction des voies de garage et d'évitement, ainsi que des tunnels d'approche Nord et Sud, des modifications, y compris le soutènement provisoire du plancher de la station existante, la déviation des réseaux souterrains et la remise en service du viaduc de Cheong Wan Road (figure 2). Intrafor a été choisie par l'entreprise générale pour l'exécution d'une partie importante des travaux de fondations dans le cadre de la construction de la nouvelle station. Le projet comprenait la réalisation de :

→ 939 m de paroi moulée, correspondant à 252 panneaux de 1 200 mm d'épaisseur et comportant près de 29 500 m² d'excavation, allant de 17 m jusqu'à près de 70 m de profondeur.

→ 29 barrettes de 1 200 mm d'épaisseur, représentant plus de 3 860 m² d'excavation et atteignant une profondeur moyenne de 30 m.

→ Près de 150 m de parois au coulis pour la réalisation des essais de pompage, soit plus de 3 500 m² d'excavation d'une profondeur moyenne de près de 25 m.

Le projet comprenait également l'exécution de tous les travaux de finition, à savoir la construction des micropieux de reprise d'effort tranchant en pied de paroi, la réalisation des injections de l'interface et de la roche en pied de paroi ainsi que des forages pour les tests de pompage. Intrafor était aussi en charge de tous les travaux de contrôle qualité, à savoir le contrôle de la verticalité des panneaux (tests Koden), de la qualité du béton (tests soniques), de la qualité de l'interface béton-rocher (carottage d'interface) et des panneaux dans leur intégralité (carottage toute hauteur dans la paroi). La construction des parois moulées, des barrettes et des parois au coulis s'est déroulée de juillet 2013 à juin 2015. Elle a comporté l'utilisation de plus de 35 770 m³ de béton et de près de 8 600 t d'acier.

Le design, y compris le niveau de fondation d'un minimum de 300 mm d'ancrage dans le rocher, ainsi que l'agencement des différents ouvrages, ont été réalisés par Atkins, bureau d'études et maître d'œuvre.



© D.R. / INTRAFOR 3



4



5

UN CHANTIER SOUS HAUTEUR LIMITÉE

L'un des défis majeurs liés à la réalisation de ce projet était la localisation du chantier, car les travaux devaient être exécutés dans un environnement caractérisé par la présence de nombreuses structures sensibles. En effet, la construction des parois moulées devait se dérouler en dessous du hall de la station de Hung Hom - sans que les trains ni le transit des passagers ne soient perturbés pendant les travaux - ainsi que d'une salle de spectacle, dont la fermeture n'était également pas prévue. En conséquence, la hauteur de travail était réduite jusqu'à 5,5 m (figure 1), avec très peu d'espace pour manœuvrer les équipements et installer les armatures en acier pour le renforcement des parois moulées.

L'espace disponible au sol était également très limité, notamment à cause de la présence de nombreuses colonnes soutenant les structures existantes. De plus, l'excavation devait être effectuée à proximité des fondations de ces structures, y compris de pieux Franki - particulièrement sensibles aux mouvements du sol - ce qui aurait pu représenter un risque pour la stabilité des tranchées. La présence de canalisations, d'autres réseaux souterrains,

4- Une grue équipée d'une benne preneuse courte.

5- Grue à flèche courte.

6- Installation d'une cage sous hauteur réduite.

4- A crane equipped with a short clamshell grab.

5- Short-boom crane.

6- Installation of a cage in a low-headroom area.

de la salle de spectacle et d'autres bâtiments autour de la station de Hung Hom rajoutaient des restrictions en termes de bruit et de vibration.

Dans ce contexte contraignant, le défi a été de maintenir une productivité élevée, tout en optimisant l'espace et l'équipement disponible et sans faire de compromis avec la sécurité des collaborateurs.

Pour faire face à ces défis, Intrafor a développé des solutions spécifiques en



6



7

© D.R. / INTRAFOR

termes d'organisation du chantier ainsi que d'équipement.

D'abord, vu l'ampleur des tâches à effectuer, la taille du projet dans sa globalité et l'espace réduit, Intrafor a décidé d'installer ses stations de dessablage, mixeurs, traitement et stockage de boue dans une partie du chantier qui était disponible pour toute la durée des travaux, afin d'éviter de consacrer du temps à leur réaménagement au détriment du planning. La même solution a été adoptée pour l'installation de l'ate-

7- Le portique.

8- Installation d'une cage à l'aide du portique.

7- The gantry crane.

8- Installing a cage with the gantry crane.

lier de construction des cages d'acier. Ensuite les mouvements des machines, contraintes de travailler dans un environnement très encombré, ont été réduits au minimum, afin de maximiser la productivité et de minimiser les interférences avec les activités de l'entreprise générale.

Les machines ont également dû être modifiées pour pouvoir travailler sous hauteur réduite. Pour l'excavation des tranchées, le service matériel d'Intrafor a mis à disposition du chantier un

cutter hydraulique capable de travailler sous une hauteur minimale de 5,3 m et d'atteindre jusqu'à 80 m de profondeur (figure 3). Ce cutter, modèle Bauer CBC25 « Low Headroom », dispose d'un système de verticalité embarqué ; grâce aux inclinomètres et au jeu des vérins d'orientation sur la tête de forage, l'opérateur est capable de contrôler et gérer la verticalité du forage en temps réel ; sa tête courte peut être facilement manœuvrée et orientée à des angles différents par rapport au corps de la machine, ce qui permet de pouvoir travailler dans différentes positions, optimiser l'espace de travail ainsi que d'assurer un bon rendement. Sur ce projet, Intrafor a également utilisé des grues à flèche courte. Ces machines ont été équipées avec des éléments spécialement mis au point pour exécuter les travaux en hauteur limitée, à savoir des bennes preneuses courtes (figure 4). En effet, le corps des bennes habituellement utilisées sur chantier a été réduit en hauteur afin de pouvoir travailler en sous-œuvre, en respectant la limite de hauteur entre le point haut de la tête de flèche et la plateforme de travail. Certaines grues ont également été équipées de chevalets courts, permettant d'optimiser l'angle de travail dans les zones de plus basse hauteur du projet.

Même si les flèches courtes permettent de travailler plus efficacement sous hauteur réduite, leur utilisation nécessite des précautions spécifiques (figure 5).



8

© D.R. / INTRAFOR

En effet, la faible longueur des flèches oblige la grue à travailler à moins de deux mètres de la tranchée lors de l'excavation ; en conséquence le poids de la grue (environ 100 t) peut créer un affaissement de plateforme, notamment en présence de panneaux profonds et larges. Il faut donc que la stabilité de la plateforme soit vérifiée soigneusement. Dans la pratique, des panneaux de longueur jusqu'à 6,40 m ont été réalisés sans problème particulier.

INSTALLATION DES CAGES : UNE TECHNIQUE INNOVANTE

Un autre point techniquement critique était l'installation des cages d'armatures pour le renforcement des parois moulées (figure 6). La trop faible hauteur de travail (entre 5,5 m et 7 m) ne permettant pas d'envisager la méthode traditionnelle de recouvrement des cages, toutes les cages en sous-œuvre ont été préfabriquées, puis connectées les unes aux autres en utilisant des coupleurs. Pour les sections les plus denses (jusqu'à trois couches de barres de 50 mm en diamètre), les cages ont été couplées et construites directement sur la tranchée, la connexion par coupleurs d'éléments préfabriqués aussi denses n'étant pas viable. Dans tous les cas, les cages ont été installées en employant des grues à flèche courte et des camions bras, ces derniers n'étant pas sujets à l'interférence entre la cage et la flèche due à l'angle de levage. À cause du peu d'espace disponible en hauteur, les sections de cages ne pouvaient pas être très longues, si bien que le nombre de sections à coupler ainsi que la consommation de coupleurs étaient très importantes.

Pour pouvoir augmenter de 25% la hauteur des cages, réduisant ainsi le



© DEREK M. ALLAN / INTRAFOR

temps d'installation, Intrafor a testé sur un panneau une autre technique, impliquant l'utilisation d'un portique conçu sur mesure pour cette opération (figure 7).

Ce portique est ajustable en hauteur, de façon à être utilisable de manière optimale dans la plupart des zones du chantier. Il permet l'installation de cages qui peuvent aller jusqu'à 7 m de long et a une capacité de levage de 64 t (contre 45 t pour les grues traditionnelles qui ne peuvent installer des cages qui ne font que jusqu'à 5 m de

long à cause de l'angle de levage) ; il se compose d'un cadre à hauteur réglable, monté sur roues, ainsi que de quatre treuils mobiles montés sur deux poutres également mobiles qui permettent de déplacer les cages sur plusieurs axes (figure 8). L'utilisation de ce portique a rendu possible l'installation de cages plus longues, permettant de réduire le nombre de cages à coupler ainsi que la consommation de coupleurs (figure 9). Cette technique s'est avérée non seulement efficace en termes de temps et d'économies budgétaires, mais aussi plus écologique par rapport aux méthodes d'installation traditionnelles ; en effet, ce portique est électrique et hydraulique, ce qui permet de réduire le bruit et la pollution et de travailler plus aisément en sous-œuvre.

Des changements majeurs de design et de planning voulus par l'entreprise générale, notamment au niveau de la réalisation des travaux de blocs de couronnement de pieux adjacents à la paroi, n'ont pas permis l'utilisation du portique de manière extensive sur le chantier, car sa mise en place n'aurait pas pu être effectuée dans des conditions de sécurité. Néanmoins, quand son utilisation a été possible, le portique s'est avéré une ressource efficace pour l'installation des cages en sous-œuvre. □

9- L'utilisation du portique a permis de réduire la consommation de coupleurs.

9- The use of the gantry crane reduced the consumption of couplers.

PRINCIPALES QUANTITÉS

BÉTON : 35 773 m³

ACIER : 8 629 t

PAROIS MOULÉES : 29 477 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : MTR Corporation Limited

MAÎTRE D'ŒUVRE ET BUREAU D'ÉTUDES : Atkins

ENTREPRISE : Leighton Contractors Asia Limited

SOUS-TRAITANT : Intrafor Hong Kong Ltd.

ABSTRACT

SHATIN TO CENTRAL LINK - CONSTRUCTION OF DIAPHRAGM WALLS WITH A LIMITED HEADROOM

OLIVIER HAYE, INTRAFOR - ALEXANDRE LACORE, INTRAFOR

Intrafor performed numerous foundation works under Hung Hom Station as part of the Shatin to Central Link project, for enlargement of the Hong Kong metro system. In particular, the contractor was in charge of the construction of 252 diaphragm wall panels and 29 barrettes. These works were to be carried out in a space that is very limited laterally and vertically. To meet the project's needs, Intrafor has developed equipment making it possible to work in a headroom reduced to 5.5 m, including a low-headroom cutter and short clamshell grabs mounted on short-boom cranes. A mobile gantry crane was also used to install the steel cages reinforcing the wall panels. □

SHATIN TO CENTRAL LINK - CONSTRUCCIÓN DE LAS PANTALLAS CONTINUAS BAJO ALTURA LIMITADA

OLIVIER HAYE, INTRAFOR - ALEXANDRE LACORE, INTRAFOR

Intrafor ha realizado numerosos trabajos de cimentación debajo de la estación de Hung Hom en el marco del proyecto Shatin to Central Link, que se inscribe en la ampliación del metro de Hong Kong. Entre otras cosas, la empresa se encargó de la construcción de 252 paneles de pantallas continuas y de 29 pilotes flotantes. Estas obras debían llevarse a cabo en un espacio muy limitado lateral y verticalmente. Para responder a las exigencias del proyecto, Intrafor desarrolló equipos capaces de trabajar a una altura reducida de 5,5 m, formados por un cutter low headroom y cucharas bivalva cortas montadas en grúas de flecha corta. Asimismo, utilizó un pórtico móvil para instalar jaulas de acero para reforzar los paneles de pantallas. □



1
© DRAGAGES MACAO LIMITED

HÔTEL CITY OF DREAMS À MACAO

AUTEURS : DENIS AVERLAN, DIRECTEUR D'EXPLOITATION BÂTIMENT, DRAGAGES HONG KONG LIMITED - ÉTIENNE FAYETTE, RESPONSABLE TECHNIQUE, DRAGAGES MACAO LIMITED - CYRILLE ROMAIN, RESPONSABLE FAÇADE, DRAGAGES MACAO LIMITED - ARNAUD GEORGENTHUM, RESPONSABLE CHARPENTE MÉTALLIQUE, DRAGAGES MACAO LIMITED

LE DERNIER HÔTEL DE CITY OF DREAMS, DESTINÉ À DEVENIR LA NOUVELLE VITRINE DES CASINOS DE MACAO, A NÉCESSITÉ LA MISE EN PLACE DE PROCÉDÉS DE FABRICATION ET D'INSTALLATION INNOVANTS AFIN DE FAIRE FACE À LA COMPLEXITÉ DE SON ARCHITECTURE ATYPIQUE. SA PARTICULARITÉ LIÉE A L'EXOSQUELETTE PORTEUR, FORMANT 3 VIDES EN SON CENTRE, AINSI QU'AUX PIÈCES DE FAÇADE UNIQUES, REPRÉSENTE UN NOUVEAU CHALLENGE POUR LES COLLABORATEURS TRAVAILLANT SUR LE CHANTIER.

Dragages Macao a signé en 2013 avec Melco Crown Developments, un contrat de 352 602 K€ pour la construction en clos couvert du 5^e hôtel du complexe City of Dreams, à Macao (figure 1). L'hôtel a été conçu par l'architecte Zaha Hadid, qui a reçu le prix Pritzker⁽¹⁾ en 2004. Il fait partie de la 3^e phase de développement du complexe City of Dreams

1- Vue chantier et complexe City of Dreams.

1- View of construction site and City of Dreams complex.

comprenant hôtels, casinos, divertissements, restaurants et galerie commerciale. Cet établissement 6 étoiles, constitué d'un niveau de parking en sous-sol et de 42 étages en superstructure, consiste en 2 noyaux principaux construits autour d'une série de vides sculptés par son centre. Il comprendra à terme 778 chambres, suites et villas avec piscine principale, un atrium, un spa, une

piscine principale, un casino ainsi que des restaurants. Le site, qui avait été développé précédemment pour un projet alternatif, a été abandonné. Il a été demandé au préalable la démolition du bâtiment existant ainsi que des modifications importantes au niveau des fondations. Le chantier est enclavé sur 3 côtés entre les bâtiments existants du complexe City Of Dreams.

Il est bordé en façade Nord par une double voie dont la circulation ne peut être interrompue, ne laissant ainsi qu'un espace restreint pour les livraisons. Il n'offre aucune possibilité de stockage pour les éléments de construction de grande taille.

Cette contrainte, combinée à un nombre limité de moyens de levage et à un planning d'exécution très court, a fait de la logistique un des éléments clés de la réussite du chantier.

Les équipes de Dragages ont collaboré avec les sous-traitants pour coordonner les livraisons, préparer les moyens d'accès, planifier et décomposer chaque phase de montage tâche par tâche, afin d'assurer un enchaînement fluide des activités et une productivité optimale.

Afin de faire face aux courbures spécifiques du projet, celui-ci a été découpé en 2 parties distinctes :

- Les zones « planes » (verticales) autour des noyaux ;
- La partie centrale appelée *Free Form*, constituée de membrures courbes aux formes géométriques complexes et fluides, formant les 3 vides superposés en son centre (figure 2).

MÉTHODES

Pour poser les 26 742 t de charpente métallique, trois grues à tour à flèches relevables de forte capacité ont été installées. Ces grues ont une capacité de levage maximale de 40 t et peuvent porter jusqu'à 17 t en bout de flèche. Deux d'entre-elles sont situées dans les noyaux en béton et se hissent d'elles-mêmes en suivant la progression des noyaux. La 3^e est située à l'extérieur du bâtiment et est ancrée à la structure béton tous les 5 étages avec des bracons d'une longueur pouvant atteindre 28 m.

Afin de donner la priorité à la pose de la charpente métallique porteuse, la construction des 2 noyaux béton qui abriteront les ascenseurs ainsi que les cages d'escaliers du bâtiment est réalisée de manière totalement indépendante et en avance par rapport au cycle de construction des planchers, grâce à l'utilisation de coffrages auto-grimpants pouvant se hisser à l'aide de vérins hydrauliques après chaque levée sans l'utilisation des grues à tour.

Le bétonnage des noyaux réalisé à l'aide de mâts de bétonnage permet une fois encore de ne pas utiliser les grues à tour.

Enfin, un portique de levage d'une capacité de 2,5 t a été installé sur

chaque coffrage auto-grimpant afin d'assurer la pose sans grue à tour de la charpente métallique et des planchers des halls d'accès aux ascenseurs située dans les noyaux.

INGÉNIERIE

La conception du projet est assurée par des consultants externes incluant principalement Zaha Hadid Architects et Leigh and Orange Limited pour l'architecture, Buro Happold pour la structure et la façade.

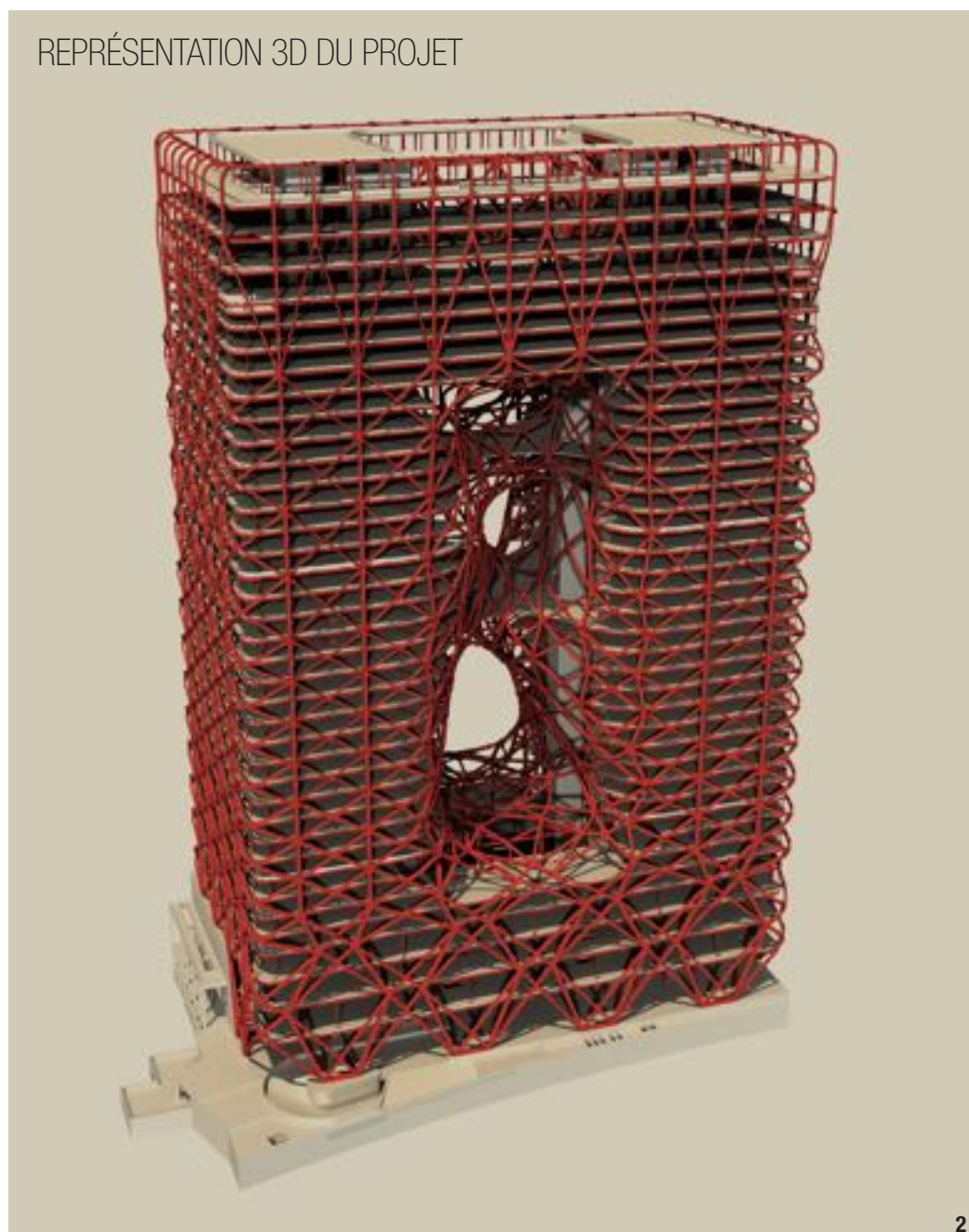
Dragages assure la coordination et la synthèse des documents de conception, sous la forme de rapports et de plans, mais aussi de nombreux modèles 3D. La complexité géométrique du projet

a rendu nécessaire l'usage du logiciel Rhinoceros, capable de manipuler les formes libres issues de la conception architecturale et structurelle. En complément, un modèle BIM a été composé à l'aide du logiciel Revit, afin de coordonner la structure béton, la charpente métallique, les façades ainsi que les lots adjacents, en dehors du périmètre contractuel de Dragages.

2- Représentation 3D du projet.

2- 3D representation of the project.

L'un des points sensibles de la coordination de la conception a été la gestion de la contreflèche du bâtiment et de son impact sur les façades. En effet, les 42 étages de charpente métallique tassent sous l'effet des charges permanentes de structure, avec des effets complexes et non-uniformes du fait de la géométrie de la partie centrale du bâtiment. Ce tassement a été anticipé pour que la charpente métallique soit fabriquée et installée plus haut que prévu, afin de conserver une forme acceptable lors de son tassement. Cette correction géométrique, de l'ordre de 80 mm au sommet du bâtiment, a été coordonnée avec les sous-traitants en charge des façades afin de garantir



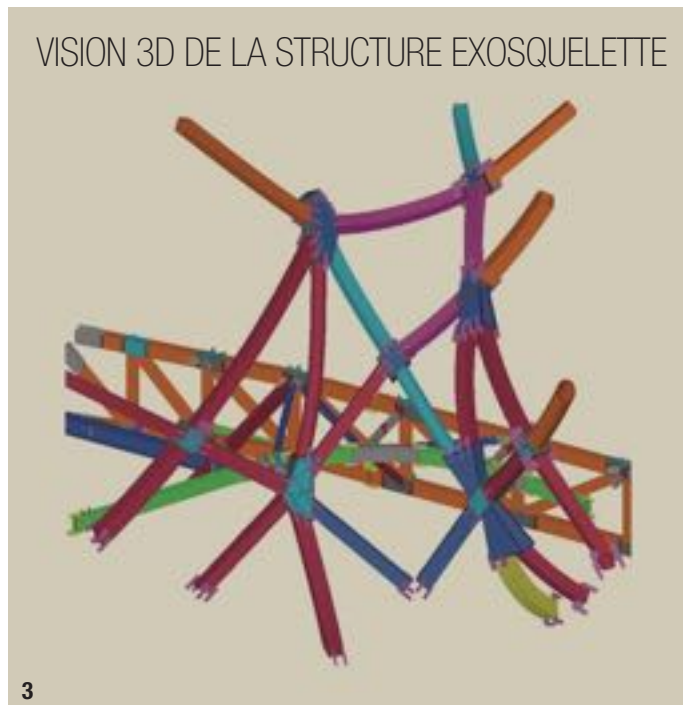
des ajustements et des joints stratégiquement conçus, que ce soit pour les parties vitrées de grande dimension ou pour les panneaux de bardage de forme complexe.

Dragages a aussi assuré la conception des ouvrages temporaires utilisés pour supporter la partie centrale de la charpente métallique *Free-Form* au cours de son montage. Ces ouvrages temporaires consistent en 3 tours de 40 étages qui supportent l'exosquelette à chacun de ses nœuds au cours du montage, ainsi que plusieurs poutres-treillis de grande dimension. La conception, assurée par le consultant Tony Gee and Partners, a été coordonnée avec les concepteurs de la structure permanente (Buro Happold), afin de garantir une distribution acceptable des efforts entre les structures. Ces ouvrages temporaires ont aussi été coordonnés avec le monteur de la charpente (San Hung Yip) afin d'assurer que le calcul est en accord avec les séquences de supportage et de déverinage de chaque nœud, chaque passerelle, plate-forme et méga-treillis, telles que suivies sur chantier.

STRUCTURE MÉTALLIQUE

La charpente métallique du projet est constituée :

→ D'une structure poutres-poteaux avec planchers mixtes en béton sur bacs collaborants, appuyée en partie intérieure sur les 2 noyaux béton et, en partie extérieure, sur un exosquelette.



3
© DRAGAGES MACAU LIMITED

3- Vision 3D de la structure exosquelette.

4- Exosquelette *Free-Form*.

3- 3D view of the exoskeleton structure.

4- *Free-Form* exoskeleton.

→ D'un exosquelette (figures 3 et 4) supportant les planchers en façade, réalisé à partir de tubes rectangulaires pour les membrures et de tôles de forte épaisseur soudées pour les nœuds.

L'exosquelette repose en partie basse sur des pièces d'assise noyées dans la structure en béton des murs périphériques.

Après la réalisation des étages du podium (jusqu'au niveau 6), le chantier a été divisé en 2 fronts :

→ Les structures typiques des parties verticales autour des noyaux qui sont répétitives et peuvent progresser indépendamment ;

→ La partie centrale *Free-Form*, plus complexe et impliquant la mise en œuvre de 3 500 t de supports temporaires nécessaires à sa stabilité en cours de montage et d'assemblage. Le montage de la partie centrale s'articule jusqu'au niveau 36 autour de la constitution des 3 vides centraux et de l'installation de 2 ponts de liaison, aux niveaux 21 et 30, entre les noyaux Est et Ouest. La construction suit un phasage précis, avec des étapes de transfert de charges devant être réalisées à des états d'avancement prédéfinis de la structure.

Au-dessus du niveau 36, les 2 tours sont connectées par des méga-poutres treillis (40 m de portée sur 20 m de haut) reprenant les charges des planchers et de la piscine principale située au niveau 40.

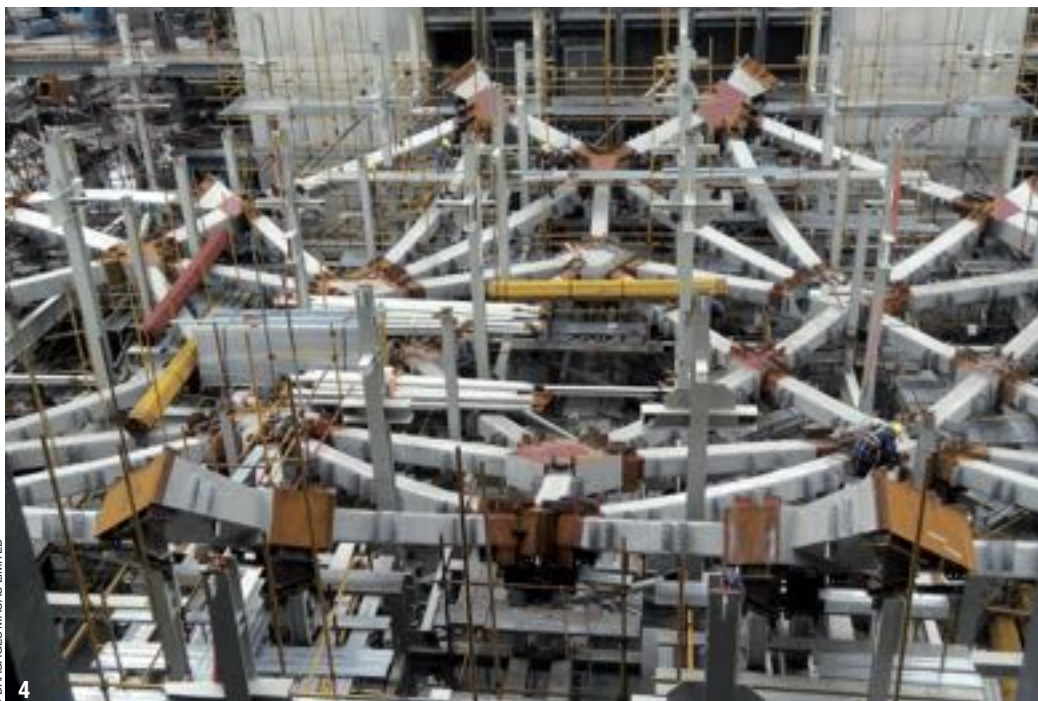
Le cycle de pose des parties répétitives autour des noyaux a été décomposé par sous-activité et fait l'objet d'études d'optimisation afin de tendre au maximum vers un cycle de 7 jours par niveau, correspondant au rythme de progression des coffrages auto-grimpants.

Dragages a pu être impliqué en amont du projet et ainsi participer à l'élaboration des séquences de construction, en particulier pour le montage de la zone centrale *Free-Form*.

Au total, 27 phases intermédiaires ont été définies, chacune caractérisée par les états d'avancement relatifs des noyaux béton, des structures métalliques des planchers, des dalles béton et de la partie centrale.

La fabrication de la charpente a été confiée à l'entreprise chinoise Fonkwang Development Limited qui a utilisé des moyens de fabrication répartis sur 3 usines situées dans la province du Guandong (sud de la Chine).

Le rythme de production hebdomadaire moyen s'est établi à 450 t, engageant jusqu'à 200 ouvriers spécialisés dans les usines. La complexité de la géométrie avec très peu de répétitivité, des poutres à double courbure et des nœuds pouvant recevoir jusqu'à 8 membrures avec des angles variables, a nécessité la mise en œuvre de méthodes de calculs, de modélisation et de fabrication exceptionnelles, utilisant les derniers outils informatiques tridimensionnels disponibles et sans lesquels il aurait été impossible d'envisager la réalisation de cet ouvrage. ▷



4
© DRAGAGES MACAU LIMITED

Le développement progressif d'un modèle global, à partir de la géométrie définie par l'architecte, progressivement complété avec les détails des façades et des habillages en aluminium de l'exosquelette, les sections définitives des membrures et des connexions, ont permis d'assurer la continuité et le partage de l'information jusqu'à la réalisation des plans de fabrication et ainsi garantir le respect scrupuleux des exigences de l'architecte.

Un des autres challenges majeurs du projet est le respect des tolérances géométriques afin de garantir un assemblage rapide des éléments sur chantier et d'éviter au maximum les modifications aux points critiques d'interface avec les façades.

Les dimensions des éléments ne permettant pas un pré-assemblage physique en usine, le fabricant a utilisé une méthode de pré-assemblage virtuel, qui à partir d'une image tridimensionnelle de la pièce terminée (obtenue avec un scanner 3D) permet de vérifier, d'une part, que celle-ci est dans les tolérances de fabrication et que, d'autre part, elle pourra se connecter sans difficulté aux autres éléments de la structure une fois sur chantier. Les attaches des structures des planchers et des parties planes de l'exosquelette sont majoritairement boulonnées ce qui permet de réduire les temps d'assemblage. Seuls les connexions de la partie centrale *Free-Form* sont soudées sur chantier afin de conserver davantage de possibilités de réglage au moment de la pose. À partir des séquences de montage établies par Dragages, le consultant Buro Happold a défini une géométrie de fabrication qui permet de compenser les déformations sous charges verticales permanentes ainsi que des coordonnées de montage phase par phase pour garantir la géométrie finale définie par l'architecte et utilisée comme référence par les autres corps d'état. La géométrie de l'ouvrage et les déformations phase par phase sont contrôlées par Dragages et comparées avec les valeurs prévues par le concepteur afin d'apporter les corrections nécessaires en cours de montage.

FAÇADES

Les 47 525 m² de parois vitrées du bâtiment se décomposent en 9 systèmes constructifs différents, que l'on peut regrouper en 2 catégories :

- Les Façades Planes sur les 4 élévations conçues en panneaux cadres aluminium plans ou à simple courbure ;



© DRAGAGES MACAU LIMITED

- La zone centrale *Free-Form* percée et déstructurée du bâtiment, conçue en structures trapézoïdales métalliques courbes vitrées par des panneaux verriers triangulaires plans.

À ces parois de verre suspendues à l'exosquelette structurel s'ajoutent 54 542 m² de bardage en aluminium de 4 mm à simple ou double courbure qui habillent et soulignent la structure métallique extérieure porteuse du projet. Les façades ne sont composées d'aucune pièce standard du marché.

Les systèmes font l'objet d'une conception spécifique et unique qui répond non seulement aux exigences architecturales inhabituelles mais qui garantit également les performances techniques de l'habillage du bâtiment : étanchéité à l'eau, étanchéité à l'air, isolation thermique et acoustique.

Si la mise en œuvre des panneaux cadres aluminium des Façades Planes suit des procédés de fabrication et d'installation couramment utilisés dans le métier, certaines contraintes spécifiques ont dû être prises en compte :

- Hauts critères de calculs de résistance au vent imposés par les normes locales ; de 6,5 à 10 Mpa de pression test (soit plus que 2,5 à 4 fois les pression tests exigées en

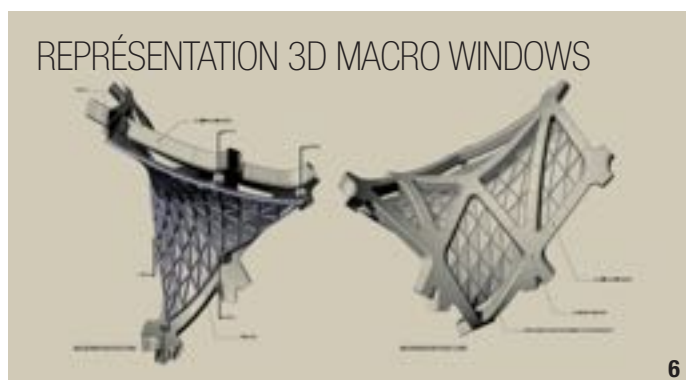
5- Fabrication de cadre trapézoïdal métallique.

6- Représentation 3D Macro Windows.

5- Manufacture of a trapezoidal metal frame.

6- Windows Macro 3D representation.

- Europe). Les façades sont dimensionnées pour les plus forts typhons enregistrés dans la région sur les 200 dernières années ;
- Multiples interfaces avec la charpente métallique structurelle de l'exosquelette qui pénètre les façades, augmentant les risques de fuite et nécessitant la mise en œuvre de systèmes d'étanchéité spécifiques adaptés au projet et testés à 100 % sur site ;
- Mise en œuvre de 1 860 panneaux cadres plans trapézoïdaux, inclinés, tous différents, dans les zones de transition avec la partie centrale du bâtiment *Free-Form*.



© DRAGAGES MACAU LIMITED

FREE-FORM FAÇADE

La *Free-Form* façade ferme la zone centrale multiforme percée du bâtiment et constitue à elle-seule un prototype. Trois usines sont mobilisées en Chine pour fabriquer les structures composantes des 242 Macro-Windows (modules trapézoïdaux) (figure 5) qui forment la *Free-Form* façade. Chaque cadre trapézoïdal métallique qui la compose est subdivisé en triangles non-homogènes qui forment les aires planes des 8 000 panneaux vitrés triangulaires (figure 6). Six séquences de pose sont définies pour installer cette façade :

- 3 en phase montante du niveau L09 au niveau L36 pour anticiper et assurer un maximum de pose en temps masqué malgré la présence des ouvrages temporaires qui impactent significativement l'installation des Macro-Windows ;
- 3 en phase descendante, du 3^e vide de façade (L36-L30) vers le 1^{er} vide (L20-L08), qui suivent la phase de démontage des ouvrages temporaires.

Au-delà des contraintes spécifiques déjà appliquées à la mise en œuvre des Façades Planes, la conception et la réalisation de la *Free-Form* façade prennent également en compte :

- Les doubles courbures multidirectionnelles et non-homogènes du modèle 3D dessiné par l'architecte ;
- Des tolérances de fabrication et de pose limitées intégrant notamment les tassements différentiels de la charpente structurelle du bâtiment et les contraintes de dilatation thermique multidirectionnelle des deux structures métalliques indépendantes (l'exosquelette et les Macro-Windows) ;
- Le mode de fixation de la façade suspendue à la charpente structurelle de l'exosquelette qui ne transmet aucune charge directe aux structures béton des superstructures ;
- Les contraintes de chargement et d'esthétique additionnelles imposés par les 4 500 points d'ancrage nécessaires aux systèmes d'entretien de la façade par des alpinistes ;
- Un planning de pose restreint qui, pour être respecté, nécessite la préparation de méthodes et de séquences de pose minutées, privilégiant non seulement les interfaces avec les activités de pose de la charpente structurelle, mais également la sécurité du personnel et l'ordonnement des tâches afin de limiter les risques d'accident.

BARDAGE ALUMINIUM DE L'EXOSQUELETTE

L'exosquelette exposé du bâtiment renforce le dynamisme du design souhaité par l'architecte.

Son habillage en panneaux d'aluminium, tous différents, permet de couvrir la structure conçue et mise en œuvre à partir de membrures métalliques massives et solides (figure 7).

Les panneaux d'habillage des 500 nœuds droits et des 130 nœuds d'angle courbes de l'exosquelette situés devant les façades planes ont des dimensions et des formes variables. L'habillage aluminium de l'exosquelette situé dans la zone centrale *Free-Form* est plus complexe et n'offre aucune possibilité de standardisation ni de rationalisation.

Chaque panneau couvrant les 330 nœuds et les 870 membrures de cette partie d'ouvrage est un prototype à lui seul.

Seule la modélisation 3D et l'utilisation de techniques de cintrage à double courbure permettent la fabrication millimétrique des panneaux. La préfabrication en modules couvrant tout ou partie des membres ou des nœuds est



7
© DRAGAGES MACAU LIMITED

7- Témoin de la façade *Free-Form*.

7- *Free-Form* facade model.

exclue. Les panneaux sont installés et réglés sur site pièce par pièce.

Les tolérances de pose millimétriques associées ici encore aux tassements différentiels de l'exosquelette et aux contraintes de dilatation thermiques des structures acier et aluminium liées aux panneaux accentuent les difficultés de conception et de fabrication des pièces. Les panneaux de parement aluminium intègrent également 2400 points

lumineux qui éclairent et soulignent la structure de nuit et 940 point d'ancrage garantissant l'accès aux spécialistes alpinistes pour l'entretien des façades du bâtiment.

SÉCURITÉ

Au-delà de la technique et de l'avancement du chantier, la sécurité doit rester la priorité du chantier. Avec près de 800 ouvriers, travaillant jour et nuit et la quasi-totalité des travaux réalisés en hauteur, la mise en place et le respect de règles de sécurité strictes, conformes aux standards de Bouygues Construction, a mobilisé l'énergie de tous les intervenants et une vigilance de tous les instants. Au final, si les acteurs locaux (Chine - Macao) ne sont pas toujours formés ou habitués à ce niveau d'exigence, le retour aura été presque toujours positif, avec des conditions de travail plus agréables pour le monteur, une valorisation de son travail et un rendement amélioré, notamment grâce à une meilleure préparation des tâches. □

1- **Prix Pritzker** : récompense internationale d'architecture.

PRINCIPALES QUANTITÉS

SURFACE : 150 500 m²

HAUTEUR DU BÂTIMENT : 156 m

QUANTITÉ DE BÉTON : 81 605 m³

QUANTITÉ D'ACIER : 20 569 t

QUANTITÉ DE LA STRUCTURE MÉTALLIQUE : 26 742 t

QUANTITÉ DU PLANCHER MÉTALLIQUE : 106,475 t

QUANTITÉ DU MUR RIDEAU : 47 525 m²

QUANTITÉ DE BARDAGE FAÇADE : 54 542 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Melco Crown Developments Limited

ARCHITECTE : Zaha Hadid Architects

INGÉNIEUR STRUCTURE ET FAÇADE : Buro Happold

INGÉNIEUR OUVRAGE TEMPORAIRE : Tony Gee and Partners

SOUS-TRAITANT INSTALLATION BÉTON :

San Fong Seng Construction & Engineering Company Limited

SOUS-TRAITANT STRUCTURE MÉTALLIQUE :

Fonkwang Development Limited

SOUS-TRAITANTS FAÇADES : Jangho Curtain Wall Macao Ltd,

Hacely Macau Company Ltd, Kyotec Hong Kong Ltd

ABSTRACT

CITY OF DREAMS HOTEL IN MACAU

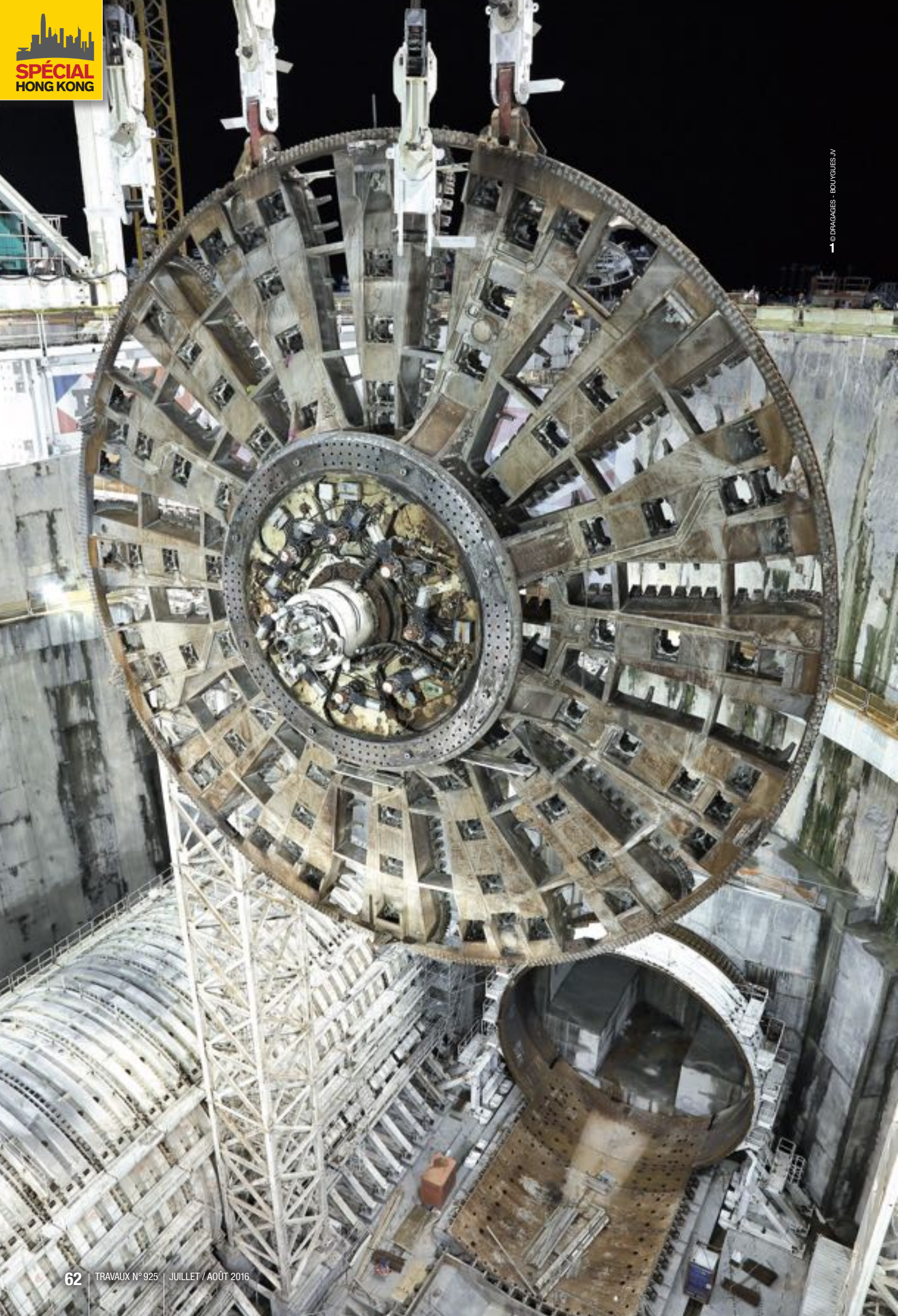
D. AVERLAN, DRAGAGES HONG KONG LIMITED - É. FAYETTE, DRAGAGES MACAU LIMITED - C. ROMAIN, DRAGAGES MACAU LIMITED - A. GEORGENTHUM, DRAGAGES MACAU LIMITED

The project, located in Macau's City of Dreams complex, designed by architect Zaha Hadid, is a 6-star hotel. It has two main areas, one formed of standard levels around two main cores and the other, located in the centre of the building, formed of curved members with complex and fluid geometric shapes, forming three voids one above the other. The building is constructed with a steel frame consisting of a beam-and-column structure with composite steel-concrete floors and an exoskeleton, completely covered with a cladding on all its sides, supporting the floors on the outside. The facade, developed to resist typhoons, is formed of straight glazing and a deconstructed central part consisting of curved metallic trapezoidal structures, glazed with triangular flat glass panels. □

HOTEL CITY OF DREAMS DE MACAO

D. AVERLAN, DRAGAGES HONG KONG LIMITED - É. FAYETTE, DRAGAGES MACAU LIMITED - C. ROMAIN, DRAGAGES MACAU LIMITED - A. GEORGENTHUM, DRAGAGES MACAU LIMITED

El proyecto situado en el complejo City of Dreams de Macao, diseñado por el arquitecto Zaha Hadid, es un hotel de 6 estrellas. Consta de dos zonas principales: una formada de niveles típicos alrededor de dos núcleos centrales y otra situada en el centro del edificio, compuesta de largueros curvados con formas geométricas complejas y fluidas que forman 3 huecos superpuestos. El edificio está construido a partir de un armazón metálico que incluye una estructura de vigas y postes con suelos mixtos de hormigón, y un exoesqueleto totalmente recubierto con un revestimiento en todas sus caras que soporta los suelos en la fachada. Ésta, desarrollada para resistir tifones, está formada por un acristalamiento recto y una parte central desestructurada compuesta de estructuras trapezoidales metálicas curvadas cubiertas por paneles acristalados triangulares planos. □



© DRAGAGES - BOUYGUES.V

TMCLK - LES DÉFIS DE LA RAMPE NORD

AUTEURS : STÉPHANE POLYCARPE, ENGINEERING MANAGER, BOUYGUES TP - ANTOINE SCHWOB, DESIGN MANAGER, BOUYGUES TP

C'EST DEPUIS TUEN MUN QUE DEUX TUNNELIERS ONT DÉBUTÉ LEUR PÉRIPLÉ SOUS LA MER VERS CHEK LAP KOK, SITE DE L'AÉROPORT INTERNATIONAL DE HONG KONG. ALORS QU'EN FIN D'ANNÉE 2013, SEULES QUELQUES BARGES AU LARGE DE TUEN MUN LAISSAIENT IMAGINER CE QUI ALLAIT DÉBUTER, LA MER A DÉSORMAIS FAIT PLACE À UN CHANTIER PHARAONIQUE. UNE EXTENSION EN MER DE PLUS D'UN KILOMÈTRE DE LONGUEUR ABRITE DEUX GIGANTESQUES PUIITS QUE RELIENT DÉSORMAIS LES TUNNELS DE L'APPROCHE NORD, CONSTRUITS NOTAMMENT AVEC LE PLUS GRAND TUNNELIER JAMAIS UTILISÉ AU MONDE. RETOUR SUR LA COURSE CONTRE LA MONTRE QU'À CONSTITUÉE LA RAMPE NORD DU PROJET TMCLK.

LE CONTEXTE

En juillet 2013, Dragages Hong Kong et Bouygues Travaux Publics ont remporté le plus important contrat en conception-construction jamais attribué à Hong Kong : la réalisation du tunnel routier sous-marin de Tuen Mun - Chek Lap Kok.

Ce projet vient réaliser un lien essentiel qui faisait défaut dans le réseau routier de l'ancienne colonie britannique (figure 2). Il permet tout d'abord de fournir un accès alternatif à l'aéroport international de Hong Kong situé sur l'île de Chek Lap Kok qui, jusqu'ici, n'est accessible que via le pont suspendu de Tsing Ma. Mais le tunnel TMCLK s'inscrit avant tout dans un projet plus large, transfrontalier, visant à relier la mégapole de Shenzhen, située au nord de Hong Kong et porte d'en-

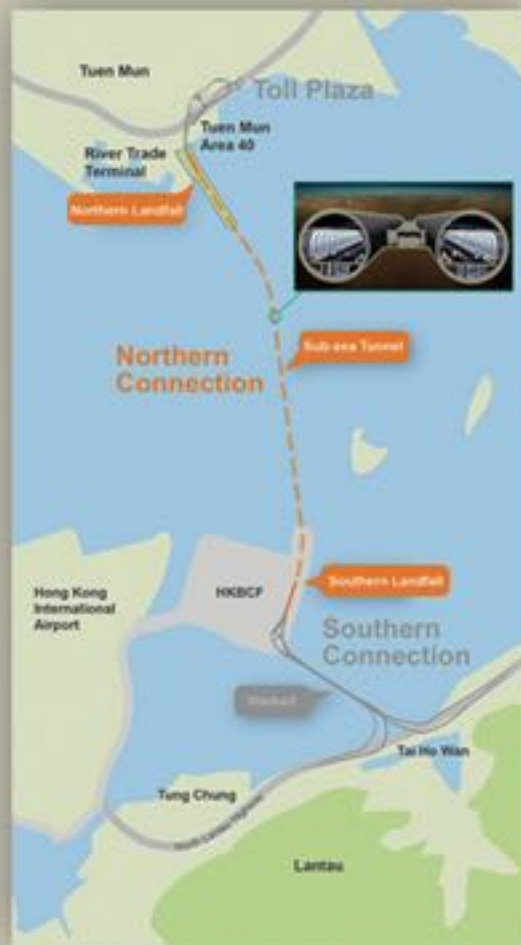
1- Changement de diamètre du tunnelier dans le puits de ventilation.

2- Situation du projet de Tuen Mun - Chek Lap Kok.

1- Change of TBM diameter in the ventilation shaft.

2- Tuen Mun - Chek Lap Kok project location.

SITUATION DU PROJET DE TUEN MUN - CHEK LAP KOK



© DRAGAGES - BOUYGUES JV

2

trée de la Chine continentale, à Zuhai et Macao via le nouveau pont HKZMB. L'île artificielle de HK-BCF (Hong Kong Boundary Crossing Facility) sur laquelle le tunnel débouche sera le point d'origine de cette nouvelle liaison.

La section sous-marine, longue de 4,25 km, est composée de deux tubes construits à l'aide de deux tunneliers de 14 m de diamètre (voir article « TMCLK - Les tunnels sous-marins »). De part et d'autre, les tunnels des approches Nord (630 m) et Sud (670 m) doivent être construits dans des terrains fraîchement remblayés (figure 3). Alors que la construction de l'île artificielle de HK-BCF fait partie d'un contrat séparé, la réalisation du remblai Nord en un temps record a été le premier défi à relever par les équipes de Bouygues Construction.

Après moins d'un an de travail acharné, de jour comme de nuit, l'extension en mer d'une superficie d'environ 16,5 ha a émergé (figures 4). Elle mesure au total 1,2 km de long pour 140 m de large et permet aux tunnels de s'approfondir avec une pente de 5% pour passer sous le fond de la mer en son extrémité à environ 45 m sous le niveau de l'eau. Elle a été construite sans accès terrestre afin de préserver l'activité portuaire existante dans la zone où elle se raccordera à la terre ferme. Le côté Est est un quai vertical formé de blocs en béton préfabriqués de 16 t permettant l'accostage des bateaux. Le rivage Ouest est protégé de l'érosion des marées et de la houle par un brise-lames composé d'enrochements de différents calibres. ▶

Le puits de lancement, de forme multicellulaire, est situé à l'extrémité Nord. Relativement peu profond (20 m) mais de grandes dimensions (80 m de longueur, 40 m de largeur), sa fonction principale est d'y assembler les deux tunneliers servant à construire les tunnels de l'approche Nord. Il sera également le siège du portail d'entrée du tunnel et abritera une courte section de tranchée couverte.

Le puits de ventilation, circulaire de 56 m de diamètre, est situé à l'autre extrémité du remblai. Bien plus profond (45 m), il sert de transition entre les tunnels de l'approche Nord et les tunnels sous-marins. Il permet notamment de réceptionner et reconfigurer les tunneliers. En phase permanente, il sera le siège du bâtiment de ventilation Nord et de nombreuses gaines de ventilation connectant le bâtiment aux tunnels. Entre les deux puits, les tunnels de l'approche Nord ont été construits à l'aide de deux tunneliers à pression de boue, ce qui a imposé des contraintes supplémentaires pour la réalisation du remblai.

L'EXTENSION EN MER

Les considérations écologiques sont aujourd'hui très importantes à Hong Kong et le projet prête une attention particulière au respect de l'environnement marin. Avant le démarrage des travaux, un inventaire de la vie marine



© DRAGAGES - BOUYGUES JV

a été effectué et les pousses de corail identifiées ont été transplantées sur des petites îles situées un peu plus au sud. Pour réduire les effets du dragage sur la qualité de l'eau et sur l'environnement marin, l'enlèvement des dépôts argileux s'est limité aux contours du remblai. Pour contrôler la diffusion des substances en suspension, les digues ont été construites en gardant toujours au moins 200 m d'avance sur le remblai principal.

La zone côtière du sud de la Chine a vécu des changements majeurs du niveau de la mer au cours des 240 000 dernières années. Ceux-ci se

3- Vue aérienne du projet TMCLK depuis Tuen Mun - juin 2016.

4- Vue générale de l'extension en mer - décembre 2015.

3- Aerial view of the TMCLK project from Tuen Mun - June 2016.

4- General view of the offshore extension - December 2015.

sont accompagnés de phases d'érosion et de sédimentation successives. Le remblai a été construit à une profondeur de 6 à 12 m sur une couche de dépôts marins argileux d'épaisseur comprise entre 2 et 6 m, placée elle-même sur une alternance d'alluvions sableux, silteux ou argileux. Ces différentes couches se sont déposées sur un socle granitique qui présente aujourd'hui différents degrés de fracturation et d'altération.

Le principe de construction de l'extension en mer retenu est l'une des deux méthodes couramment utilisées à Hong Kong. C'est la méthode drainée



© DRAGAGES - BOUYGUES JV



Feb 2014



June 2014



Oct 2014



Dec 2014

par opposition à la méthode draguée. Elle laisse les dépôts marins en place et la consolidation des couches argileuses est accélérée par le fonçage de drains plastiques verticaux et l'installation d'une surcharge. Le poids du remblai appliqué sur le fond de la mer provoque une augmentation de la pression interstitielle dans les terrains compressibles. Cet excès de pression va se dissiper graduellement en chassant l'eau et la charge va se répartir petit à petit sur la structure solide du sol en causant des tassements. La vitesse de dissipation de cette pression interstitielle dépend de l'épaisseur des couches, de la perméabilité et de la charge appliquée. Les drains permettent de raccourcir le chemin préférentiel de dissipation de la pression d'eau et ce phénomène naturel, qui prendrait plusieurs dizaines d'années, peut s'effectuer en moins de 6 mois. Une campagne géotechnique

5- Avancement des travaux de l'extension en mer.

6- Le grand tunnel à l'approche Nord (diamètre intérieur 15,6 m).

7- Le tunnelier S880 de 17,63 m de diamètre.

5- Work progress on the offshore extension.

6- The large tunnel at the North approach (inner diameter 15.6 m).

7- The S880 TBM of diameter 17.63 m.

approfondie de CPT (Cone Penetration Test), entre autres, a permis de définir avec précision la nature, l'épaisseur, la cohésion et les paramètres de consolidation des terrains en place. La connaissance de ces données géotechniques est essentielle pour déterminer les traitements nécessaires au passage des tunneliers sous le remblai Nord et éviter les déformations des tunnels dans le temps. Parmi ces traitements, le maillage et la profondeur des drains ainsi que les hauteurs de surcharge sont des éléments fondamentaux. En effet, l'objectif du pré-chargement est d'induire dans les terrains drainés des tassements plus importants que ceux prévus sous les contraintes de construction des tunnels et les charges d'exploitation pendant la durée de vie de l'ouvrage. La séquence de construction suit le phasage suivant :

- Application d'un géotextile sur le fond de la mer pour bien séparer les dépôts marins du remblai et empêcher la migration des fines. Le géotextile augmente aussi la stabilité des couches argileuses lorsqu'elles sont surchargées.
- Installation d'une couche de sable drainant de 2 m d'épaisseur dans laquelle les drains sont plantés depuis une barge par vibro-fonçage en suivant une maille triangulaire de 1,5 à 1,2 m. Cette couche sert d'exutoire à l'eau issue de la consolidation.
- L'intérieur du périmètre formé par les digues est ensuite rempli par couches régulières de matériaux recyclés provenant des débris de l'industrie de la construction à Hong Kong (figure 5).
- Depuis le niveau final, une surcharge de 6 à 12 m d'épaisseur est placée et compactée. Pendant son maintien, durant 6 mois, le fond de la mer tasse d'environ 2 m par rapport à son niveau d'origine.

Sur le tracé des tunneliers, la zone du remblai a suivi quelques mesures d'amélioration pour satisfaire une bonne répartition des efforts autour des tunnels et limiter les tassements résiduels et différentiels. Cela permet d'assurer la durabilité de l'ouvrage en limitant les déformations qui pourraient venir de la faible couverture, de la consolidation secondaire, du fluage des matériaux et des charges appliquées en surface. En suivant le sens de construction du nord vers le sud, les tunnels sortent du puits de lancement avec une couverture de 3 m insuffisante pour créer un effet de voûte. Le tunnel est ici bloqué par un massif de terrain traité au CSM (Cutter Soil Mixing) sur les 15 premiers mètres de profondeur et se terminant en partie inférieure par des colonnes de jet grouting. ▷



6



7



8

© DRAGAGES - BOUYGUES JV

Ce massif a aussi permis le démarrage des tunneliers dans un terrain stable et étanche. Il s'étend sur 40 m et, à son extrémité, la couverture des tunnels atteint 5 m. À la sortie du massif traité, l'étréinte des tunnels est assurée par un sable vibro-compacté. Pour cette raison, les matériaux de remblais recyclés ont été remplacés par du sable dont le degré de compaction a été défini pour accepter plus tard le chargement asymétrique de containers pouvant être stockés au dessus des tunnels et amenant une charge de 100 kPa.

La zone de sable s'étend sur 250 m jusqu'au point où la voûte des tunnels passe sous la couche étanche des dépôts marins.

La consolidation des terrains en place le long des tunnels a également été améliorée par le resserrement de la maille des drains à 1,2 m et par l'augmentation de la hauteur de surcharge pouvant atteindre 12 m.

Par ailleurs, lorsque l'espacement des tunnels est réduit à moins de 8 m, à l'approche des puits, une paroi discontinue faite de barrettes de paroi moulée a été construite.

L'exploitation des mesures de tassements pour contrôler le comportement du remblai a été réalisée à l'aide de la méthode d'analyse graphique d'Asaoka qui utilise les résultats de mesures effectuées à intervalles de temps réguliers. Cette méthode permet de déterminer, séparément, les valeurs du tassement final et du coefficient de consolidation du sol. Ces résultats ont été vérifiés par une deuxième campagne de CPT. Ces deux méthodes ont mis en évidence plusieurs zones qui n'avaient pas atteint les critères définis pour le passage des tunneliers. Dans ces zones, des colonnes de jet grouting ont été formées pour renforcer localement les poches de terrains sous-consolidés.

LES TUNNELS

Le projet d'origine prévoyait la construction des tunnels d'approche en tranchée couverte. La réalisation d'un tel ouvrage (630 m de longueur, 45 m de profondeur et 40 m de largeur) dans un remblai récent constituait une des difficultés majeures du projet.

Les équipes de Bouygues Travaux Publics ont donc proposé de remplacer cette tranchée couverte par des tunnels forés par des tunneliers à pression de boue afin de diminuer les risques en phase de construction, minimiser les mouvements de terre et sécuriser le programme. Cette solution a l'avantage de simplifier le projet en limitant

8- Les tunnels de l'approche Nord, depuis le puits de lancement.

9- La mise en eau du puits avant le percement du tunnelier S880.

8- The tunnels of the North approach, from the launching shaft.

9- First filling of the shaft with water before break-in by the S880 TBM.



9

© DRAGAGES - BOUYGUES JV

les méthodes de construction. Elle a reçu un accueil favorable du client car elle satisfaisait toutes les fonctionnalités de l'ouvrage définies au contrat.

En partant de la surface à l'extrémité Nord de l'extension en mer et afin d'atteindre une couverture suffisante sous le fond de la mer d'environ 10 m à l'extrémité Sud, les tunnels doivent suivre une pente de 5%. Les règles de circulation à Hong Kong imposent le passage à 3 voies de la rampe montante. Pour loger cette troisième voie ainsi que les surfaces de ventilation nécessaires, un tunnel de diamètre intérieur de 15,6 m est requis (figure 6) conduisant à l'utilisation du plus grand tunnelier jamais utilisé au monde d'un diamètre de 17,63 m (figure 7).

La transition de 2 à 3 voies s'effectue au puits de ventilation. L'autre tunnel, la rampe descendante, reste identique à la partie sous marine avec un diamètre d'excavation de 14 m et un diamètre intérieur de 12,4 m (figure 8).

La grande variabilité des terrains traversés par les tunneliers en partant du sable jusqu'au granite le plus dur, en passant par les argiles, a été prise en compte dans les spécifications des machines. Les ingénieurs du chantier ont privilégié la puissance et la robustesse de la tête de coupe et imposé au fournisseur Herrenknecht un grand nombre de molettes pour pouvoir traverser le rocher sans encombre.

Ce choix judicieux a permis de terminer les tunnels sous le remblai Nord et les ouvrages associés avec quelques semaines d'avance sur le programme initial après 30 mois de travaux intensifs.

Après avoir parcouru 630 m sous le remblai Nord, le tunnelier S880 est arrivé dans le puits de ventilation.

Afin de sécuriser l'arrivée de cette mégamachine, le puits a été noyé pour équilibrer la pression hydrostatique avec les terrains forés (figure 9).

À l'intérieur du puits, une fois l'eau pompée, le tunnelier S880 a été modifié pour devenir le S881 (figure 1). Son diamètre devait être réduit à 14 m pour creuser la section sous-marine à 2 voies. Cette modification a été préparée minutieusement pour conserver un maximum de pièces nobles et ne changer que la tête de coupe et l'enveloppe du bouclier. Ce changement de diamètre a nécessité l'utilisation d'un portique de manutention de 600 t de capacité qui avait servi au montage des tunneliers dans le puits de lancement 8 mois plus tôt.

10- Le puits de lancement multicellulaire.

11- Fonctionnement du puits de lancement multicellulaire.

10- The multi-stage launching shaft.

11- Operation of the multi-stage launching shaft.

Le deuxième tunnelier a traversé le puits de ventilation sans interruption du cycle de production. Pour cela, une cloche métallique d'un poids de 1 500 t, remplie de béton, a été installée au fond du puits. Cette cloche a permis de minimiser l'impact de la seconde machine traversant le puits sur la première qui était en cours de reconfiguration. Cette technique a aussi permis d'éliminer tout traitement de terrain à l'entrée et à la sortie du puits car le confinement du tunnelier a été maintenu pendant toute la durée de la traversée. Mais le plus gros avantage de la cloche s'est

traduit par un gain de temps car la deuxième machine n'a pas été ralentie par les opérations de percement et de lancement qui sont traditionnellement très lourdes et très longues pour une machine de cette taille.

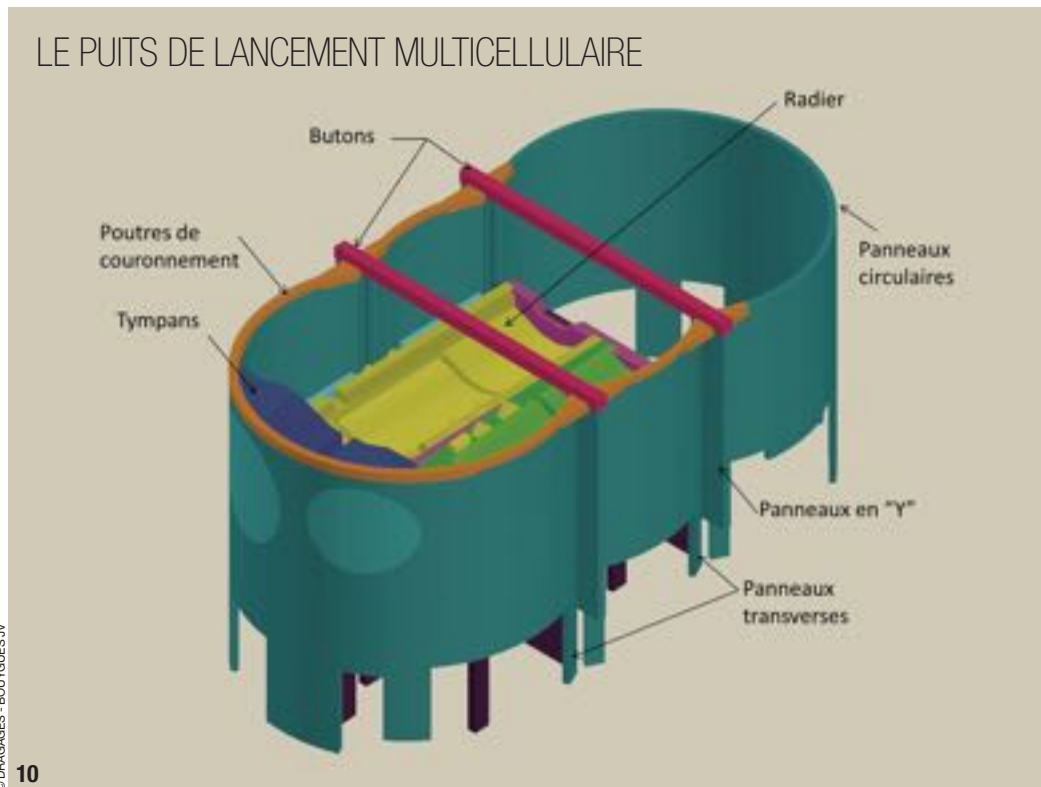
LE Puits DE LANCEMENT

Le puits de lancement, situé à l'extrémité Nord du remblai est le premier ouvrage qui a été construit alors que le remblai n'était pas achevé. Directement sur le chemin critique du projet, le puits de lancement a trois fonctions principales. Il doit tout d'abord permettre l'assemblage et le lancement des deux tunneliers. Il est également le point d'entrée pour toute la logistique nécessaire à la construction des tunnels, des structures internes et des inter-tubes (voir article « TMCLK - Les tunnels sous-marins »). Enfin, le puits de lancement servira de support temporaire pour la construction de la section de tranchée couverte connectant les tunnels forés au portail d'entrée. Du fait du diamètre important des tunneliers (14 m et 17,63 m), il est donc nécessaire de disposer à l'intérieur du puits de lancement d'un volume important sans obstacle : 20 m de hauteur, 40 m de largeur et 80 m de longueur afin de pouvoir loger les 2 premières remorques des tunneliers indispensables au démarrage. C'est donc une véritable cathédrale sous-terrainne qu'il faut concevoir et construire sans butons intermédiaires.

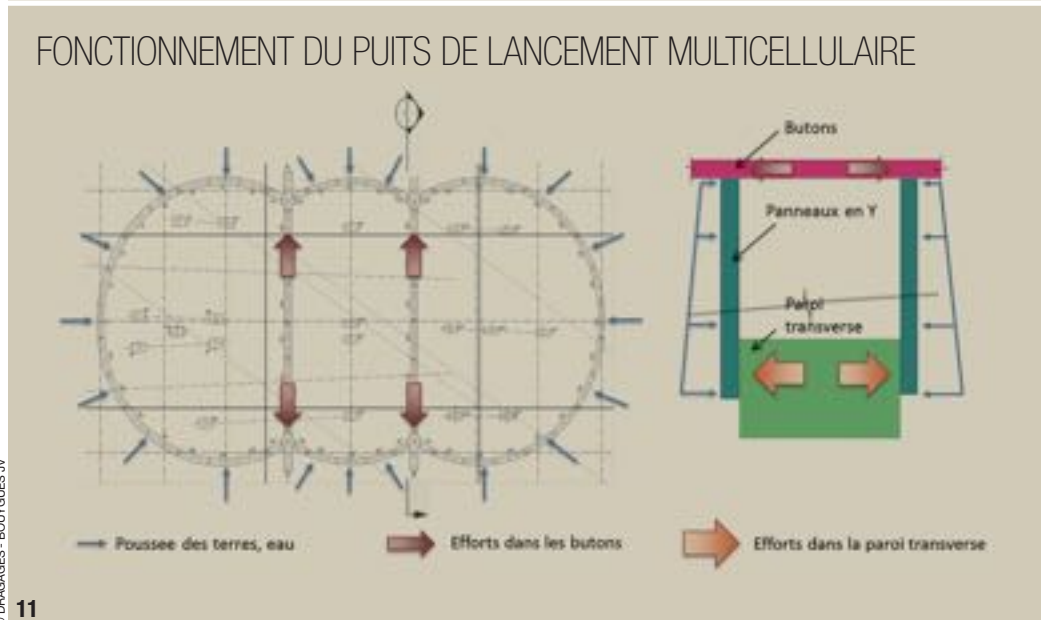
La solution classique de boîte rectangulaire a rapidement été éliminée : l'épaisseur des parois moulées et les quantités de ferrailage requises pour assurer une portée verticale de 20 m sans butons la rendait irréalisable.

C'est donc vers une solution de puits circulaire que les bureaux d'études se sont orientés : les structures circulaires sont en effet particulièrement efficaces et économiques car les parois sont autostables et ne nécessitent pas de butonnage. Un effort de compression se développe dans les parois sous l'effet de la pression du terrain et de l'eau situés à l'extérieur du puits. Les parois travaillent donc essentiellement en compression ce qui permet de réduire sensiblement le ferrailage requis et de réduire la profondeur, la stabilité de fiche n'étant plus un problème.

Une solution purement circulaire a été adoptée pour le puits de ventilation, mais n'était pas applicable en l'état pour le puits de lancement du fait de la longueur de 80 m requise pour l'assemblage des tunneliers.



10



11

© DRAGAGES - BOUYGUES JV

© DRAGAGES - BOUYGUES JV

Il fallait allonger la structure. C'est donc une solution multi-cellulaire qui a été retenue.

Extension directe du concept du puits circulaire, le puits de lancement est composé de trois cellules circulaires se chevauchant. Chaque cellule fonctionne de façon analogue à un puits circulaire et bénéficie donc des mêmes avantages. Toute la difficulté de la structure réside à l'intersection des cellules.

Les arcs étant interrompus, les efforts de compression s'étant développés dans les parois circulaires des deux cellules se rejoignant convergent et doivent être repris. Une paroi moulée rectiligne transversale est prévue à cet effet. Elle sert à butonner la structure sous le niveau d'excavation. En surface, un buton en béton armé complète le dispositif (figure 10).

Les panneaux de parois moulées situés à la jonction entre deux arcs sont les points clés de la structure : ces panneaux en « Y » fonctionnent comme des poutres verticales en flexion d'une portée de 20 m du buton en surface à la paroi transversale sous le niveau d'excavation (figure 11).

La vitesse d'excavation d'une telle structure est également un des gros avantages. En effet, contrairement à



© DRAGAGES - BOUYGUES JV 12

un puits classique, l'excavation peut ici se dérouler en une seule fois sans être interrompue pour installer des lits de butons. Il faut toutefois prendre garde à ne pas déséquilibrer la structure avec des niveaux d'excavation trop différents d'une cellule à l'autre qui créeraient des efforts parasites au niveau des panneaux en « Y ».

L'assemblage des tunneliers a pu débuter en fond de puits en janvier 2015

12- Portique de levage au dessus du puits de lancement.

12- Lifting gantry crane above the launching shaft.

grâce au portique de 600 t circulant depuis le mur de quai du remblai sur lequel sont livrés les éléments de tunneliers jusqu'au-dessus de la cellule centrale du puits. Les deux butons du puits servent donc également de chemin de roulement pour le portique (figures 12). □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

CLIENT : Highways Department

MAÎTRE D'ŒUVRE : Aecom

GROUPEMENT EN CHARGE DE LA CONCEPTION-CONSTRUCTION : Bouygues Travaux-Publics - Dragages HK

BUREAU D'ÉTUDES EN CHARGE DE LA CONCEPTION : Arup

FABRICANT DES TUNNELIERS : Herrenknecht

SOUS-TRAITANT EN CHARGE DE LA CONSTRUCTION DES Puits de Lancement et de Ventilation et de Traitements de Terrains dans le Remblai Nord : Intrafor

SOUS-TRAITANT EN CHARGE DE LA RÉALISATION DU REMBLAI NORD : Houtai

PRINCIPALES QUANTITÉS

MONTANT DU CONTRAT DE CONCEPTION-CONSTRUCTION : 18,15 milliards de HK\$

SURFACE DE L'EXTENSION EN MER RÉALISÉE AU NORD DU PROJET : 16,5 ha

LONGUEUR DE CHACUN DES DEUX TUNNELS DE L'APPROCHE NORD : 630 m

LONGUEUR TOTALE DE CHACUN DES DEUX TUNNELS DU PROJET : 5 500 m

DIAMÈTRE DE LA TÊTE DE COUPE DU TUNNELIER S880 (RAMPE MONTANTE) : 17,63 m

DIAMÈTRE INTÉRIEUR DU TUNNEL DE LA RAMPE MONTANTE : 15,60 m

DIAMÈTRE DE LA TÊTE DE COUPE DU TUNNELIER S882 (RAMPE DESCENDANTE) : 14 m

DIAMÈTRE INTÉRIEUR DU TUNNEL DE LA RAMPE DESCENDANTE : 12,4 m

ABSTRACT

TMCLK - THE CHALLENGES OF THE NORTH RAMP

STÉPHANE POLYCARPE, BOUYGUES TP - ANTOINE SCHWOB, BOUYGUES TP

The construction of the offshore extension of the TMCLK project in Hong Kong and the structures occupying it was completed in record time, allowing the two tunnel boring machines to start digging the undersea tunnels ahead of the initial schedule. The tunnels of the North approach are revolutionary due to their design and the means employed, in particular the ascending ramp, of unmatched diameter, starting under very thin covers and passing through highly variable and freshly consolidated ground. They lay the foundations for the latest developments in the area of underground works, pushing back the limits of feasibility of the techniques employed. □

TMCLK - LOS DESAFÍOS DE LA RAMPA NORTE

STÉPHANE POLYCARPE, BOUYGUES TP - ANTOINE SCHWOB, BOUYGUES TP

La construcción de la ampliación a través del mar del proyecto TMCLK en Hong Kong y de las construcciones que lo ocupan ha podido finalizarse en un tiempo récord. Así, las dos tuneladoras pudieron iniciar la perforación de los túneles submarinos con antelación respecto al programa inicial. Los túneles del sector Norte son revolucionarios por su diseño y por los medios utilizados, en especial la rampa montante, de un diámetro sin precedentes, que comienza bajo unas coberturas muy débiles y discurre a través de terrenos muy variables recientemente consolidados. Estos túneles sientan las bases de las últimas evoluciones en materia de obras subterráneas y amplían los límites de viabilidad de las técnicas empleadas. □



1

© DRAGAGES HONG KONG

TMCLK - CONSTRUCTION DE PAROIS MOULÉES EN TERRAIN COMPRESSIBLE

AUTEURS : OLIVIER HAYE, DIRECTEUR TECHNIQUE, INTRAFOR - SANDRO GOMES, PROJECT MANAGER, INTRAFOR - LAURE CABASSE, INGÉNIEUR TRAVAUX, INTRAFOR

INTRAFOR, LA FILIALE DE VSL SPÉCIALISÉE DANS L'INGÉNIERIE DU SOL, A ÉTÉ CHOISIE POUR EFFECTUER LA CONSTRUCTION DE PLUSIEURS PUIITS EN PAROIS MOULÉES SUR LE PROJET DES TUNNELS DE TUEN MUN-CHEK LAP KOK, À HONG-KONG. EN RAISON DU PROFIL GÉOLOGIQUE DU CHANTIER, SITUÉ SUR DES ÉTENDUES ARTIFICIELLES REMBLAYÉES PEU AVANT LE DÉMARRAGE DES TRAVAUX DE FONDATIONS, INTRAFOR A DÛ ÉTUDIER DES SOLUTIONS TECHNIQUES CIBLÉES POUR PERMETTRE LA RÉALISATION DES PAROIS MOULÉES EN CONDITIONS DE SÉCURITÉ ET EN ASSURER LA STABILITÉ.

La section Nord (Northern Connection) du projet Tuen Mun - Chek Lap Kok (TMCLK) (figure 1), est l'un des plus gros contrats en conception-réalisation jamais attribués à Hong-Kong. Ce marché, né à l'initiative du Highways Department - le département rattaché au Gouvernement de Hong-Kong qui est en charge du développement et de la maintenance du réseau routier de la ville - a été remporté en 2013 par Dragages Hong Kong en partenariat avec Bouygues Travaux Publics. L'entreprise générale a confié à Intrafor tous les travaux de fondations à

1- Vue d'artiste du projet.

1- Artist's view of the project.

effectuer dans le cadre de ce projet d'envergure.

TMCLK Northern Connection comporte la construction de deux tunnels sous-marins à deux voies longs de 5 km. Ces deux structures jumelles relieront Tuen Mun, dans l'ouest des Nouveaux Territoires - à savoir la plus

grande région de Hong-Kong, s'étendant jusqu'à la frontière avec la Chine continentale - à une île artificielle située à proximité de l'aéroport international de Chek Lap Kok. L'île accueillera des structures destinées au contrôle de l'immigration et aux douanes, connues sous le nom de Hong Kong Boundary Crossing Facilities (HKBCF).

La section Sud (Southern Connection) du projet TMCLK reliera HKBCF à l'île de Lantau par le biais d'un viaduc routier. Tuen Mun et HKBCF seront ainsi intégrés dans le complexe réseau d'infrastructures transfrontalier, actuellement en cours de réalisation,

qui connectera Hong-Kong à Macao et Zhuhai, en Chine continentale, en favorisant les échanges et le développement économique de la dynamique région du Delta de la Rivière des Perles. Le projet Tuen Mun - Chek Lap Kok Northern Connection est remarquable non seulement en raison de ses enjeux stratégiques et de sa taille, mais aussi de sa complexité. En effet, les tunnels seront creusés 50 m au-dessous de la mer en utilisant trois tunneliers de grandes dimensions. L'un des tunneliers est le plus gros du monde par son diamètre de 17,6 m. Les deux autres tunneliers ont un diamètre de 14 m. ▶

De plus, aussi bien sur la partie septentrionale (Tuen Mun) que sur la partie méridionale (HKBCF) du projet, les chantiers se situent sur des étendues artificielles, à savoir une péninsule et une île qui ont été remblayées peu de temps avant le début des travaux (figure 2).

Par conséquent, Intrafor a dû étudier des solutions ciblées pour pouvoir exécuter les travaux de fondations en terrain compressible. À Tuen Mun, ces travaux comprenaient la construction du puits de lancement des tunneliers, ainsi que d'un puits de ventilation servant également à changer le diamètre de la tête de coupe de l'un des tunneliers avant de forer la section sous-marine. Sur HKBCF, en revanche, Intrafor va réaliser deux puits de ventilation et un plot de parking permettant aux tunneliers de rester en attente sous terre avant d'effectuer leur breakout dans les puits.

Toutes ces structures sont construites en parois moulées. Sur HKBCF, en raison de la présence d'argiles très molles et sous-consolidées et du fait des contraintes de planning - imposant la réalisation des parois immédiatement après le placement du remblai et de la surcharge - des traitements de sols par jet grouting et par Cutter Soil Mixing (CSM) sont aussi utilisés. Le jet grouting vise à augmenter la résistance et la raideur des alluvions jusqu'à une profondeur de 65 m en vue du passage des tunneliers, alors que le CSM est indispensable pour assurer la stabilité de la tranchée lors de la construction des parois moulées des puits.

LES TRAVAUX DE TUEN MUN

Les tunneliers ont commencé l'excavation des tunnels du côté de Tuen Mun sur une étendue artificielle d'environ 165 000 m². Cette *reclamation* a été effectuée en sable et en matériaux de remblai triés, sur une couche de dépôts marins drainés. Sur cette partie du chantier, Intrafor a réalisé, en plus de la construction des parois moulées, des travaux de vibrocompaction pour consolider le terrain remblayé ainsi que du jet grouting et des injections de coulis, afin de permettre l'excavation, dans des conditions de sécurité, des passages qui connecteront les deux tunnels.

Le premier puits réalisé par Intrafor, entre juin et septembre 2014, a été celui destiné au lancement des tunneliers. Cette structure en parois moulées se compose de trois cellules qui lui



2

© D.R. / DRAGAGES HONG KONG

confèrent une forme de « cacahouète » (figure 3) ; ce design, qui n'avait jamais été utilisé à Hong-Kong auparavant, a été choisi pour permettre la construction d'un puits très large tout en maîtrisant les efforts exercés par le terrain sur la paroi sans avoir à utiliser de butonnage en acier - encombrant, coûteux et long à mettre en place lors de l'excavation.

Le mode de fonctionnement d'une telle structure étant le travail en voûtes horizontales, les moments de flexion et les

2- L'étendue artificielle du côté nord en décembre 2014.
3- Le puits de lancement.

2- The artificial area on the northern side in December 2014.
3- The launching shaft.

efforts tranchants sont minimaux, permettant ainsi de réduire l'épaisseur des parois et le ferrailage nécessaire, tout en assurant un espace de travail maximal à l'intérieur du puits, espace requis dans tous les cas pour mettre en place et monter deux tunneliers de 17,6 m et 14 m de diamètre. La stabilité de l'ensemble est assurée par seulement deux poutres horizontales en béton armé reliant les clés de voûte en tête des parois, laissant un espace complètement libre sur 20 m en-dessous.



3

© D.R. / DRAGAGES HONG KONG



© DEREK M. ALLAN / INTRAFOR
4

4- Assemblage du tunnelier dans le puits de lancement à l'aide d'une grue de levage lourd.
5- Trench cutter.

4- TBM assembly in the launching shaft using a heavy lifting crane.
5- Trench cutter.

Ces poutres ont permis également l'installation des rails des grues de levage lourd servant à placer les éléments des tunneliers dans le puits (figure 4).

Le puits de lancement est constitué de 104 panneaux, faisant entre 1 m et 1,20 m d'épaisseur ; 4 panneaux, ceux qui se situent à la jonction entre les cellules imbriquées de la cacahouète, sont en forme de T ; c'est en s'appuyant sur ces panneaux que l'entreprise générale a pu construire les deux poutres en béton armé faisant office de butons. Le puits se compose également de 24 barrettes ; 19 d'entre elles ont été construites sous radier et font entre 1 m et 1,5 m d'épaisseur ; 5 autres barrettes faisant 1 m d'épaisseur ont été construites pour fonder les rails des grues de levage lourd.

Initialement, les panneaux du puits de lancement auraient dû faire 6,4 m de



5
© DEREK M. ALLAN / INTRAFOR

long - des dimensions standard dans le cadre de la construction de parois moulées - et être ouverts en trois passes successives (deux passes écartées de 60 cm, puis une passe pour excaver le merlon central). Néanmoins, les conditions du sol ne permettaient pas d'excaver des tranchées aussi larges ; en effet, en raison des contraintes de planning, le démarrage du chantier était prévu juste après le remblayage de l'étendue artificielle et le terrain n'était pas complètement consolidé. En conséquence, les panneaux auraient pu s'effondrer pendant la réalisation des travaux.

Un changement de design s'est donc imposé à l'équipe du projet qui a opté pour la construction de petits panneaux mesurant entre 2,8 m et 3,2 m de long, à ouvrir en une seule passe (figure 5). Cette méthode a été utilisée pour tous les panneaux du puits de lancement, sauf pour ceux en forme de T qui devaient être coulés en une seule fois et faisaient donc 6,2 m de long, plus le 2,8 m de la barre perpendiculaire. Pour permettre l'excavation de ces panneaux, un prétraitement des remblais par injections de coulis de ciment a été effectué, afin de consolider le terrain avant l'excavation de la paroi, et les murettes-guides ont été rehaussées de 60 cm au-dessus du niveau du sol pour élever le niveau de la bentonite dans la tranchée.

La méthode d'excavation de petits panneaux a été employée pour la construction - entre novembre 2014 et avril 2015 - du puits de ventilation (figure 6), une structure de forme circulaire située au sud du puits de lancement.

Ce puits en parois moulées a 56 m de diamètre ; les 72 panneaux et 7 barrettes qui le composent atteignent 68 m de profondeur et sont ancrés 50 cm dans le rocher.

Le puits devant être excavé jusqu'à une profondeur de 48 m, les contraintes en termes de tolérance verticale étaient très strictes. La valeur obtenue par Intrafor en termes de verticalité - 1/400 - a permis l'excavation du puits en toute sécurité. De plus, le morde entre les différents panneaux découlant de la forme circulaire du puits a permis d'éviter l'utilisation de joints d'étanchéité, figure 7.

Le puits de ventilation a été utilisé pour permettre le changement de la tête de coupe de l'un des tunneliers pendant l'excavation (changement de diamètre avant la section sous-marine) ; une fois le tunnel achevé, il fera partie des fondations du bâtiment de ventilation. ▽



Intrafor a également construit 15 panneaux de séparation, toujours en parois moulées, entre les deux tunnels, rendus nécessaires par le rapprochement des alignements horizontaux des deux tunnels à l'approche du puits de ventilation (figure 8).

LES TRAVAUX DE HKBCF

Sur le chantier de HKBCF, les conditions du terrain se sont avérées encore plus problématiques qu'à Tuen Mun. En effet, les argiles molles sur lesquelles cette île artificielle d'environ 150 ha (1 500 000 m²) a été acquise par remblaiement n'ont pas été draguées. Cette méthodologie a été choisie en raison de son impact réduit sur l'environnement ; en effet, elle permet de limiter la dispersion des sédiments marins dans la mer lors de leur dragage et la pollution qui découle de cette dispersion et qui pourrait porter préjudice à l'écosystème marin. En outre, elle permet de contrer le manque de sites disponibles pour recevoir les déblais.

Néanmoins, cela signifie que les 32 500 m² de parois moulées qui formeront les deux puits de ventilation ainsi que le plot de parking pour les tunneliers devront être construits au travers de 20 m d'épaisseur de dépôts marins ayant une très faible cohésion, allant de quasiment 0 kPa en tête jusqu'à 25 ou 30 kPa en bas de la couche.

De plus, les contraintes de planning imposent la réalisation de puits en parois moulées quasi immédiatement après le remblai et la mise en place de la première phase de surcharge. Les drains verticaux effectués n'ont donc pas le temps de produire leur effet de

dissipation des surpressions interstitielles ; c'est donc dans une argile molle très sous-consolidée que les tranchées de paroi doivent être excavées.

Dans un terrain aussi compressible, la solution de construire de petits panneaux comme sur l'exemple de Tuen Mun n'aurait pas suffi à assurer la tenue des parois moulées. Les risques majeurs étaient représentés par l'intrusion des dépôts marins dans les panneaux et l'effondrement de la tranchée qui en résulterait pendant l'excavation, ou le blocage de l'outillage sous la couche, dû à l'intrusion de ces argiles dans la tranchée. En conséquence Intrafor et l'entreprise générale, qui travaillent en partenariat sur le chantier

6- Le puits de ventilation.

7- Détail des panneaux du puits de ventilation.

8- Le chantier de Tuen Mun en décembre 2015.

6- The ventilation shaft.

7- Detail of ventilation shaft panels.

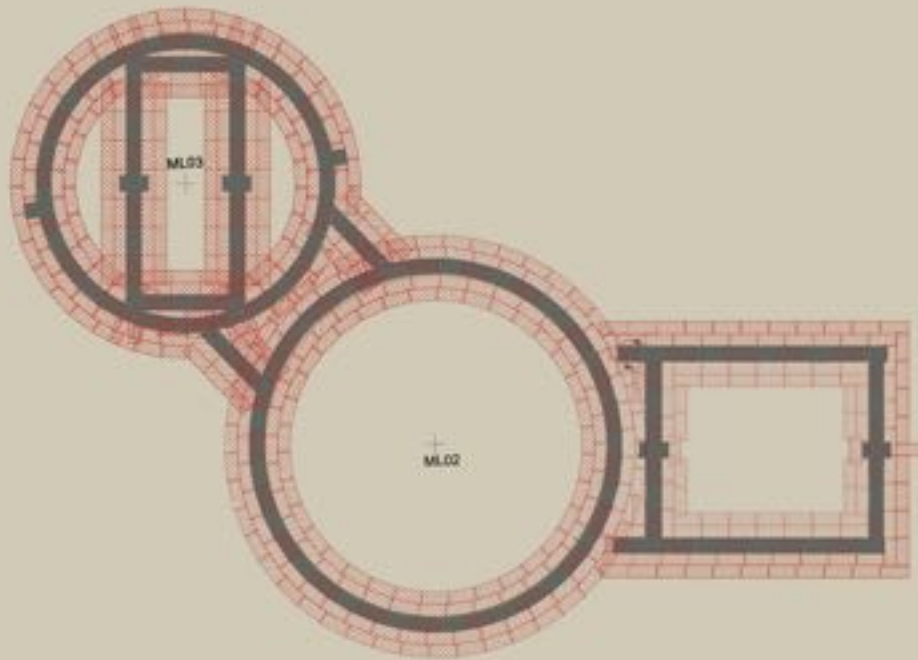
8- The Tuen Mun construction site in December 2015.

de HKBCF, ont décidé de recourir au Cutter Soil Mixing (CSM) pour rendre le matériau cohésif sur une épaisseur suffisante autour de la tranchée.

Le CSM est un mélange en place de coulis de ciment et de sol. Les deux machines utilisées dans le cadre de cette opération sont des dérivés du cutter (figure 10) ; elles excavent grâce à deux roues similaires à celles d'un cutter, tout en injectant du coulis de ciment dans le sol.

Depuis janvier 2016, Intrafor et l'entreprise générale construisent deux rangées de panneaux de CSM de part et d'autre et le long de l'alignement des parois moulées (soit 4 rangées en tout) ainsi qu'à l'intérieur des





© INTRAFOR 9

- 9- Design du traitement CSM.
- 10- L'équipement utilisé pour les travaux de CSM.
- 11- Construction d'un panneau de CSM.

- 9- CSM treatment design.
- 10- Equipment used for CSM works.
- 11- Construction of a CSM panel.



© INTRAFOR 10



© THOMAS VOHS / BAUER 11

panneaux de fermeture (figure 9). Les panneaux de CSM, qui atteignent une profondeur de 36 m, feront office de murette guide profonde pour les parois moulées ; en augmentant la résistance du terrain jusqu'à un seuil minimal de 1 MPa, ils rendront le sol plus stable et empêcheront l'écroulement des tranchées. En outre, le CSM devrait améliorer l'étanchéité du terrain, en permettant d'éviter l'installation de joints étanches entre les panneaux de parois moulées, installation complexe à une telle profondeur. Les joints seront donc réalisés par grattage du béton des panneaux primaires lors de l'excavation des panneaux de fermeture (figure 11). Les panneaux constituant les deux puits de ventilation de HKBCF atteindront 85 m de profondeur. Le premier puits se composera de 42 panneaux de parois moulées faisant 1,50 m d'épaisseur et 2,8 m de long. Le puits aura un diamètre de 33 m et sera excavé jusqu'à 63 m de profondeur. 172 panneaux de CSM assureront la stabilité des tranchées lors de la construction de cette structure.

Les 78 panneaux du deuxième puits de ventilation ont les mêmes dimensions que ceux du premier et atteindront la même profondeur. Le puits sera excavé jusqu'à 59 m de profondeur, mais l'excavation aura lieu après le passage des tunneliers ; en conséquence, des *cross-walls* seront construits à l'intérieur du puits, qui fera 26,3 m de diamètre, afin de le butonner et l'aider à supporter le passage du tunnelier. Pour assurer la stabilité de tranchée de ces *cross-walls* et du puits, 195 panneaux de CSM seront construits en tout.

Les 34 panneaux du plot de parking (1,5 m d'épaisseur pour 2,8 m de long) arriveront jusqu'à 69 m de profondeur. 129 panneaux de CSM supporteront l'excavation de cette structure. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- BÉTON : 87 400 m³
- ACIER : 8 500 t
- CSM : 63 500 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE : Highways Department, Gouvernement de Hong Kong
- MAÎTRE D'ŒUVRE : Ove Arup & Partners Hong Kong Ltd.
- INGÉNIEUR : Aecom
- ENTREPRISE : Dragages Hong Kong - Bouygues Travaux Publics (DBJV)
- SOUS-TRAITANT : Intrafor Hong Kong Ltd.

ABSTRACT

TMCLK - DIAPHRAGM WALL CONSTRUCTION IN COMPRESSIBLE GROUND

OLIVIER HAYE, INTRAFOR - SANDRO GOMES, INTRAFOR - LAURE CABASSE, INTRAFOR

The Tuen Mun - Chek Lap Kok Northern Connection project includes the construction of two undersea tunnels 5 km long. Intrafor was chosen by the main contractor, a joint venture between Dragages Hong Kong and Bouygues Travaux Publics (DBJV), to execute all the foundation works required for excavation of the tunnels. Intrafor has to construct five diaphragm wall shafts with panels going down to depths of up to 85 m. The works are carried out on artificial areas recently backfilled and not completely consolidated, which required numerous adaptations regarding the design, methods and schedule, including for execution of the diaphragm walls and soil improvements. □

TMCLK - CONSTRUCCIÓN DE LAS PANTALLAS CONTINUAS EN TERRENO COMPRESIBLE

OLIVIER HAYE, INTRAFOR - SANDRO GOMES, INTRAFOR - LAURE CABASSE, INTRAFOR

El proyecto Tuen Mun - Chek Lap Kok Northern Connection prevé la construcción de dos túneles submarinos de 5 km de longitud. Intrafor ha sido seleccionado por la empresa general, una joint-venture entre Dragages Hong Kong y Bouygues Travaux Publics (DBJV), para realizar todas las obras de cimentación necesarias para la excavación de los túneles. Intrafor debe realizar cinco pozos con pantallas continuas, cuyos paneles alcanzan hasta 85 m de profundidad. Las obras se llevan a cabo en extensiones artificiales recientemente terraplenadas y no completamente consolidadas, lo cual ha exigido numerosas adaptaciones en el diseño, los métodos y la planificación, e incluso en la ejecución de las pantallas continuas y los tratamientos de los suelos. □



© SOLETANCHE BACHY

GROUND TREATMENT BY GEOMIX® (BY CUTTER SOIL MIXING - CSM) AND ITS APPLICATION AT TUEN MUN - CHEK LAP KOK LINK NORTHERN CONNECTION SUB-SEA TUNNEL SECTION

AUTHORS: RAYMOND WONG, BUSINESS DEVELOPMENT DIRECTOR, BACHY SOLETANCHE GROUP LIMITED, HONG KONG - DEREK YUNG, SENIOR PROJECT MANAGER, BACHY SOLETANCHE GROUP LIMITED, HONG KONG - ALEX CHAN, DESIGN MANAGER, BACHY SOLETANCHE GROUP LIMITED, HONG KONG - RICKY PANG, SENIOR DESIGN ENGINEER, BACHY SOLETANCHE GROUP LIMITED, HONG KONG

GROUND IMPROVEMENT WORKS HAVE BEEN WIDELY USED IN HONG KONG RECLAMATION AND INFRASTRUCTURE PROJECTS, BUT THE GEOMIX® TECHNIQUE USING THE CUTTER SOIL MIXING (CSM) METHOD WAS FIRST INTRODUCED AND USED FOR ONE OF THE TOP TEN MEGA INFRASTRUCTURE DEVELOPMENT PROJECTS, HONG KONG - ZHUHAI - MACAO BRIDGE (HZMB) SUB-SECTION TUEN MUN - CHEK LAP KOK LINK (TM-CLKL). IN THE NEXT FEW YEARS WE CAN EXPECT A NUMBER OF NEW MEGA-RECLAMATION PROJECTS AND IT IS TIME FOR ENGINEERS TO BECOME BETTER ACQUAINTED WITH THE STATE-OF-THE-ART DESIGN AND CONSTRUCTION APPROACHES CURRENTLY IN PRACTICE.

INTRODUCTION

Soil mixing uses a wide range of techniques to inject binder agents for mixing with the soil and form columns, e.g. to reinforce the ground for subsequent construction. The type and amount of binder will determine the soil's hydraulic and mechanical properties. Soil mixing generally comprises three stages: soil premixing, injection of the binding agent and incorporation of the soil/binder mix. The inclusions produce no, or very little, spoil. The structures produced by soil mixing can be columns, or panels or continuous trenches. The technique works with all types of loose soil which are free of coarse elements.

Geomix® is a soil mixing process which uses the Hydrofraise technology.

The basics of this process are shown in figure 2: During downward excavation under the action of two counter-rotating cutting wheels, natural soil is bulked, mixed/premixed with a specific injected fluid and then displaced towards the top of the cutting head.

As the machine is withdrawn upward again, the wheel's rotation is reversed to displace the mix from above the cutting head to below it.

During this phase, a binding agent is injected and mixed with the soil. Depending on soil conditions and the type of construction, the excavation fluid and

1- Site Project Team.

1- Équipe du chantier.

binding agent can be similar or different^[2].

Specific instructions for treatment such as injected volumes and mixing factors are adapted according to natural soil characteristics (e.g. type of soil, sieve analysis, permeability, water table level, water content). These instructions are controlled and recorded through a moni-

toring system installed on the machine. Geomix® has been used worldwide in various geotechnical applications such as retaining walls, cut-off walls, anti-liquefaction^[2] and soil improvements. This paper describes its first use in Hong Kong as the soil improvement technique to form the TBM break-in plug in newly reclaimed land.

PROJECT BACKGROUND

The proposed Hong Kong - Zhuhai - Macao Bridge (HZMB) is a large sea crossing linking the Hong Kong Special Administrative Region (HKSAR), Zhuhai City of Guangdong Province and Macao Special Administrative Region.

GEOMIX® PROCESS BY CUTTER SOIL MIXING METHOD



Mix down process



Mix up process

2

GENERAL LAYOUT PLAN OF THE PROPOSED HONG KONG - ZHUHAI - MACAO BRIDGE



3

LOCATION AND ALIGNMENT OF TUEN MUN CHEK LAP KOK LINK



4

2- Geomix® process by cutter soil mixing method.

3- General layout plan of the proposed Hong Kong - Zhuhai - Macao Bridge.

4- Location and alignment of Tuen Mun Chek Lap Kok Link.

2- Procédé Geomix® réalisé par la méthode "Cutter Soil Mixing".

3- Plan d'ensemble du projet de pont Hong Kong - Zhuhai - Macao.

4- Situation et tracé de la liaison Tuen Mun - Chek Lap Kok.

It consists of a main bridge in mainland waters together with the boundary crossing facilities and link roads in the three locations. Upon completion of HZMB, it will provide a new land transport link for land transport of passengers and freight between Hong Kong, the Pearl River West region on the mainland and Macao (figure 3).

PROJECT INFORMATION

The whole project has been divided into several contract packages, and Contract HY/2012/08, the Tuen Mun - Chek Lap Kok Link (TM-CLKL) Sub-sea Tunnel Section is one of the packages that involves the design and construction of a two-lane dual-carriageway sub-sea tunnel approximately 5km long between Tuen Mun Area and the future Hong Kong Boundary Crossing Facilities (HKBCF) on Lantau Island. Tunnel construction is to be executed by two Tunnel Boring Machines of diameter about 14m, drilling more than 60m below the existing sea level. The location and alignment of the Tuen Mun Chek Lap Kok Link is shown in figure 4. In order to facilitate TBM break-in, DBJV had designed the break-in plug using a soil improvement technique at the location ahead of the launching shaft, and employed Bachy Soletanche Group Ltd. (BSGL) to carry out the works. The minimum plug strength requirement (UCS) was 3MPa in the reclaimed sand and 1.5MPa in marine deposit and alluvium layers. The required permeability of the treated ground was 1×10^{-6} m/s. BSGL had proposed an innovative Geomix® technique for soil treatment.

PROJECT SITE CONFIGURATION

The break-in plug is located immediately outside the diaphragm wall launching shaft, and consists of three main elements:

- Geomix® treatment (plan area about 32m x 45m) from ground level to 4m below TBM;
- 2.0m diameter jet-grouted column as supports for Geomix® on bearing soil stratum;
- A row of 1.6m diameter overlapped jet-grouted columns sealing the interface between the Geomix® and the diaphragm wall. The bird's-eye view of the project site is shown in figure 5 and the schematic plug arrangements in figure 6.

ASPECTS OF DESIGN

As a ground improvement process, design covers two different aspects^[3]:

- The main contractor's designer executed the functional design which described how the treated soil and the untreated soil interact to produce the required overall behaviour;
- The specialist subcontractor performed process design which described how the required performance characteristics are obtained from the treated soil by selecting and modifying the process control parameters.

The DBJV's designer specified the treatment zone, location, dimensions, and depths.

The required uniaxial compressive strength (UCS) at 28 days for the cored samples shall be at least 3MPa in reclaimed sand and 1.5MPa in marine deposit and alluvium layers.

The required permeability of the treated ground was 1×10^{-6} m/s.

BSGL selected Geomix® as the soil mixing technique, and used the designer's requirement and the site conditions as a basis to determine the initial working parameters. It executed trial panels and trial jet grout columns and verified and/or adjusted the initial working parameters to be the final production parameters.

SOIL MIXING PROCESS

Based on the functional (permeability and structural) requirements of the two parts of the break-in plug, the Geomix® panel layout was designed as shown

5- Bird's-eye view of the project site.

6- Schematic arrangement of the TBM break-in plug.

7- Geomix® panel layout and the panel sequence principle.

5- Vue d'ensemble du chantier.

6- Disposition schématique du bouchon de percement d'entrée du tunnelier.

7- Disposition des panneaux Geomix® et principe de succession des panneaux.

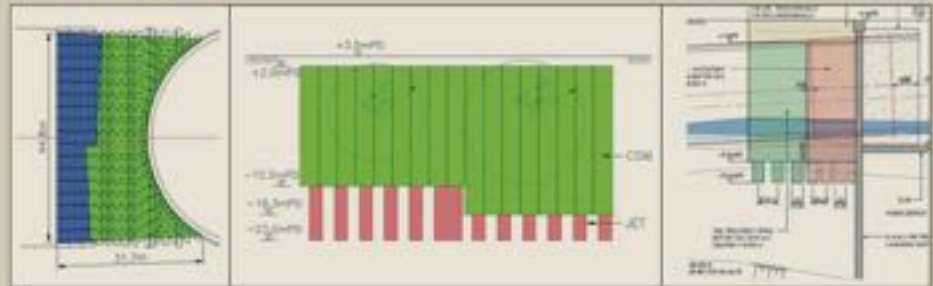
BIRD'S-EYE VIEW OF THE PROJECT SITE



5

© SOLETANCHE BACHY

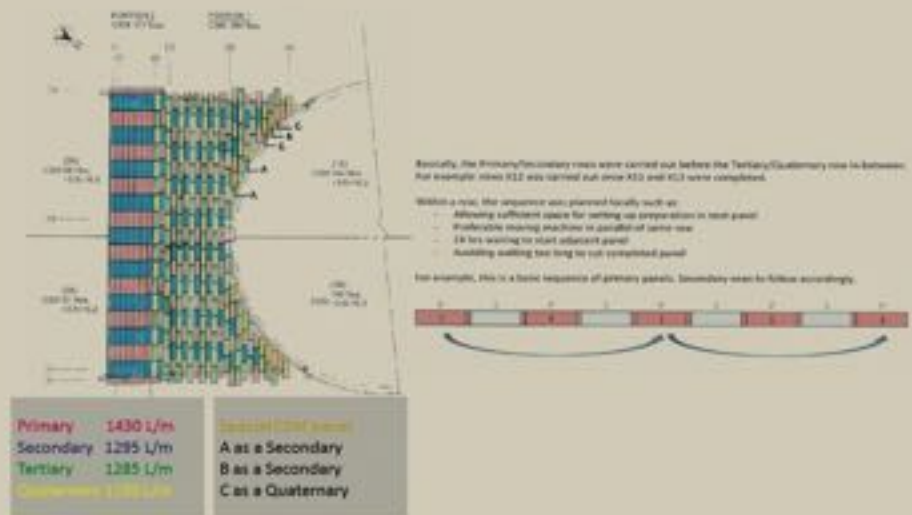
SCHEMATIC ARRANGEMENT OF THE TBM BREAK-IN PLUG



6

© SOLETANCHE BACHY

GEOMIX® PANEL LAYOUT AND THE PANEL SEQUENCE PRINCIPLE



7

© SOLETANCHE BACHY



© SOLETANCHE BACHY
8

HARD ROCKS BLOCKED AT CUTTER PLATES FOUND IN TRIAL PANELS



© SOLETANCHE BACHY
9

in figure 7. In the first part, there were 284 panels overlapping by 150mm longitudinally and 50mm transversely. In the second part, there were 117 panels overlapping by 150mm only in the longitudinal direction.

For efficient excavation without deviation problems, it is important to enable the cutting head to work in ground of balanced soil stiffness. Therefore, the panel construction sequence was planned as a four-cycle pattern, namely primary, secondary, tertiary and quaternary panels (figure 7).

The basic machine for Geomix® is assembled by a counter-rotating cutter head system equipped with two HT7500 motors, the 25m Kelly bar and the Liebherr LRB 255 carrier with 30m long mast (figure 8). Real-time monitoring of the actual parameters (e.g. depth, rate, motor torques, flow rate, injected fluid volume, deviation in both directions, ground and compensation pressure, etc.) was used and displayed on the cabinet during the operation.

OBSTRUCTIONS FOUND IN TRIAL PANELS AND MODIFIED DESIGN

The expected ground condition for the Geomix® was a layer of reclaimed sand overlaying the marine deposits and followed by alluvium and CDG. However, a layer of hard rock in the reclaimed depth was found in predrilling performed just before commencement of the trial panels. During trial panel execution, instructions were given to try excavating through the hard rock. However, due to the obstruction of the hard rock, the Kelly bar shook and the cutter jammed in the ground many times during the mixdown phase. After pulling out the cutter head, the reported damage was to the scraper bent by rocks stuck in the cutter plates. See figure 9 for the hard rocks at the cutter plates found in trial panels. ▶

8- Setup of Geomix® - Cutter soil mixing rig.

9- Hard rocks blocked at cutter plates found in trial panels.

8- Mise en œuvre du Geomix® - Machine de "Cutter Soil Mixing".

9- Roches dures bloquées entre les dents de la fraise, sur les panneaux d'essai.

Figure 10 shows the visit of project engineers to the CSM trial.

After these two trial, it was evident that the Geomix® could not excavate through the unexpected hard blocks. The plug design had to be modified to stop the Geomix® on the hard block layer found during mixdown of each panel and to extend the jet grout columns up to the bottom of the Geomix®. As a result, the quantities of jet-grouted columns were increased significantly, and additional jet grout personnel resources were deployed (figure 11) to meet the TBM break-in deadline. Figure 12 shows the as-built 3-D plot of the plug composed of Geomix® and jet grout and the key data regarding changes due to the unexpected obstructions.

QUALITY CONTROL

In addition to real-time monitoring, the finished Geomix® sections were also cored and tested for UCS strength. In the coreholes, permeability tests and televiewer tests were performed, giving satisfactory results.

After testing the quality of the break-in plug, the TBM started its work on schedule and passed through the break-in plug safely in good condition. DBJV appreciated BSG's effort and took a photo on the Geomix®/jet-grouted plug during regular inspection outside the TBM cutter head (figure 13).

CONCLUSIONS

Thanks to the team's excellent efforts (figure 1), plug ground treatment was completed and the TBM passed through the break-in plug on schedule. Compared with jet grouting, Geomix® is more effective in ground conditions without obstructions. The application of Geomix® is preferred in reclamation projects, since the reclaimed materials can be selected and controlled. □

10- Visit of project engineers to the CSM trial.

11- Setup of jet grout rigs.

10- Visite d'ingénieurs lors de l'essai CSM.

11- Mise en place des machines de jet grouting.



10

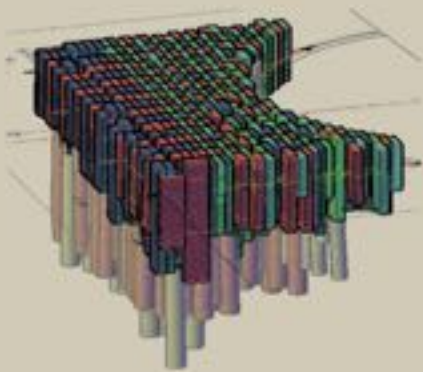
© SOLETANCHE BACHY



11

© SOLETANCHE BACHY

AS-BUILT 3-D PLOT OF THE PLUG COMPOSED OF GEOMIX® and jet grout column and key data on the changes due to unexpected obstructions



Difficulty:

- Unexpected hard rock layer found at about 12m from ground.
- CSM panel achieved only 12m and blocked by rock layer. (Qty reduced 43%)
- Remaining CSM plug replaced by jet columns. (Qty increased 400%)
- Construction time increased from 5.5 months to 7 months.
- Jet machines increased from 1 rig shift / day to 6 rig shifts / day.

12- As-built 3-D plot of the plug composed of Geomix® and jet grout column and key data on the changes due to unexpected obstructions.

13- Surface of break-in plug outside TBM cutter head.

12- Tracé 3-D conforme à l'exécution du bouchon composé de Geomix® et de colonne de jet grouting, et typologie des modifications occasionnées par des obstacles imprévus.

13- Surface du bouchon de percement d'entrée à l'extérieur de la tête de coupe du tunnelier.

SURFACE OF BREAK-IN PLUG OUTSIDE TBM CUTTER HEAD



[REFERENCES]

- 1- Soletanche Bachy (2011): Technical Guide.
- 2- Benhamou L. and Mathieu F. ISSMGE-TC211 International Symposium on Ground Improvement IS-GI Brussels May 2012, Geomix® Caissons against liquefaction.
- 3- BS EN14679: 2005 Execution of special geotechnical works - Deep mixing. Annex B: Aspect of design.

SUB-CONTRACT WORKS QUANTITIES

SUB CONTRACT WORKS: Break-In Plug Ground Treatment

COMMENCEMENT DATE: 5 Aug 2014

COMPLETION DATE: 11 Mar 2015

MAIN QUANTITIES:

- Geomix® (2.8 x 1.0m²): 401 panels (total treatment length 4817m)
- Jet Column (2.0m dia.): 427 columns (total treatment length 6347m)
- Jet Column (1.6m dia.): 43 columns (total treatment length 1112m)
- Jet Column (1.2m dia.): 45 columns (total treatment length 706m)

SUB-CONTRACT AMOUNT: HK\$ 70 million

MAIN PARTIES

CLIENT: Hong Kong Highway Department

CLIENT REPRESENTATIVE: Aecom Asia Company Limited

MAIN CONTRACTOR: Dragages-Bouygues Joint Venture (DBJV)

MAIN CONTRACT: Tuen Mun - Chek Lap Kok Link Northern Connection Sub-sea Tunnel Section (Contract No. HY/2012/08)

CONTRACT COMMENCEMENT DATE: 5 Aug 2013

EXPECTED CONTRACT COMPLETION DATE: End 2018

CONTRACT AMOUNT: HK\$ 18.2 billion

ABSTRACT

TRAITEMENT DE TERRAIN PAR GEOMIX® ("CUTTER SOIL MIXING" - CSM)

ET SA MISE EN ŒUVRE SUR LE RACCORDEMENT NORD DU TUNNEL SOUS-MARIN DE LA LIAISON TUEN MUN - CHEK LAP KOK
BACHY SOLETANCHE: RAYMOND WONG - DEREK YUNG - ALEX CHAN - RICKY PANG

Le Contrat n° HY/2012/08 octroyé par le Hong Kong Highway Department dans le cadre du projet HZMB comporte la conception et la réalisation d'un tunnel sous-marin 2 x 2 voies entre Tuen Mun et le futur poste frontière HKBCF (Hong Kong Boundary Crossing Facilities) sur l'île de Lantau. L'entreprise principale Dragages-Bouygues Joint Venture (DBJV) a employé deux tunneliers pour les travaux de creusement du tunnel. Afin de faciliter le percement du tunnelier, DBJV avait prévu un bouchon de percement et a fait appel à Bachy Soletanche Group Ltd. (Bsgl) pour conduire les travaux d'amélioration de sol. Pour l'amélioration du sol, Bsgl a proposé l'emploi du Geomix® associé à des colonnes de jet grouting. Les travaux ont été réalisés dans les délais. Au mois de mai 2015, le premier tunnelier avait commencé les travaux et franchi dans les temps les étapes de la réalisation du puits de lancement et du percement initial du bouchon. □

TRATAMIENTO DEL TERRENO MEDIANTE GEOMIX® (POR CUTTER SOIL MIXING - CSM) Y SU APLICACION EN LA SECCIÓN DEL TÚNEL SUBTERRÁNEO DE LA CONEXIÓN NORTE DEL ENLACE TUEN MUN - CHEK LAP KOK

BACHY SOLETANCHE: RAYMOND WONG - DEREK YUNG - ALEX CHAN - RICKY PANG

El contrato de la Dirección General de Carreteras de Hong Kong HY/2012/08 para el proyecto HZMB incluye el diseño y la construcción de un túnel subterráneo de dos vías en cada sentido entre Tuen Mun y las futuras instalaciones del paso fronterizo de Hong Kong (HKBCF), en la isla de Lantau. El contratista principal, la joint venture Dragages-Bouygues (DBJV), ha utilizado dos tuneladoras para este proyecto. Para facilitar la entrada de la tuneladora, DBJV ha diseñado el cabezal de penetración y ha encargado a Bachy Soletanche Group Ltd. (Bsgl) las obras de mejora del terreno. Para ello, Bsgl ha propuesto utilizar Geomix® y columnas de Jet Grouting, y ha finalizado las obras de acuerdo con el calendario previsto. Durante el mes de mayo de 2015 empezó a trabajar la primera tuneladora, que atravesó el pozo de entrada e inició la perforación de acuerdo con los plazos establecidos. □



© SOLETANCHE BACHY

DEEP FOUNDATION WORKS FOR THE WEST KOWLOON CULTURAL DISTRICT AUTHORITY, M+ MUSEUM

AUTHORS: RINGO LAU, OPERATION DIRECTOR, BACHY SOLETANCHE GROUP LIMITED HONG KONG - CHRISTOPHER TANG, PROJECT MANAGER, BACHY SOLETANCHE GROUP LIMITED HONG KONG - DAVID LEE, ESTIMATOR, BACHY SOLETANCHE GROUP LIMITED HONG KONG

THE WEST KOWLOON CULTURAL DISTRICT AUTHORITY (WKCD) APPOINTED BACHY SOLETANCHE GROUP LIMITED MAIN CONTRACTOR FOR M+ MUSEUM FOUNDATION WORKS IN 2014. M+ WILL BE AN ICONIC VENUE STANDING IN FRONT OF VICTORIA HARBOUR, FOCUSING ON VISUAL CULTURES OF THE 20th AND 21st CENTURY: ART, DESIGN, ARCHITECTURE AND MOVING IMAGES. THE M+ DESIGNER ALSO DESIGNED THE WELL-KNOWN TATE MODERN ART GALLERY IN LONDON, BEIJING'S BIRD'S NEST STADIUM AND OTHER NOTABLE PROJECTS.

PROJECT BACKGROUND

In the early 1990s, massive reclamation work was conducted in West Kowloon area in order to create more valuable land in the heart of the city overlooking Victoria Harbour. Part of the reclaimed land was then used to construct the Western Harbour Crossing Tunnel, the MTRC Airport Railway Tunnel, Tung Chung Line and Kowloon Station together with several luxury residential and shopping arcade developments before the millennium.

Then, until 2008, a statutory body called the West Kowloon Cultural District Authority (WKCD) was established by the Hong Kong SAR Government in order to develop the remaining West Kowloon reclamation area and promenade adjacent to Victoria Harbour into a major cultural district development. The aim of the newly formed WKCD was to develop and promote local and international arts in Hong Kong. The transformation of the remaining West Kowloon reclamation into West

1- General site view of M+ Museum Foundation project.

1- Vue générale du chantier des Fondations Musée M+.

Kowloon Cultural District (WKCD) was an important strategic investment by the HKSAR government in long-term infrastructure development to promote and meet the needs of Hong Kong's arts and culture.

The WKCD was designed, planned and was to be developed as an integrated arts and cultural district with world-class facilities.

The whole development concept was aimed at promoting the development of arts and culture, meeting the

2- M+ location plan and West Kowloon Cultural District.

3- Bird's-eye view of the site and existing live tunnels, cooling mains alignment.

4- Site neighbourhood.

2- Plan de situation M+ et le quartier West Kowloon Cultural District.

3- Vue d'ensemble du chantier et des tunnels existants en service, et tracé des canalisations de refroidissement.

4- Environnement du chantier.

M+ LOCATION PLAN AND WEST KOWLOON CULTURAL DISTRICT



© SOLETANCHEBACHY
2

growing cultural needs of the public and strengthening Hong Kong's position as an international arts and cultural metropolis.

The WKCD site is located at the southern tip of the West Kowloon Reclamation Area, on an area of 40 hectares (figure 2). Within the WKCD, 23 hectares of public open space will be provided for recreation and entertainment. Performing arts venues of various types and sizes will be provided in phases. The whole WKCD develop-

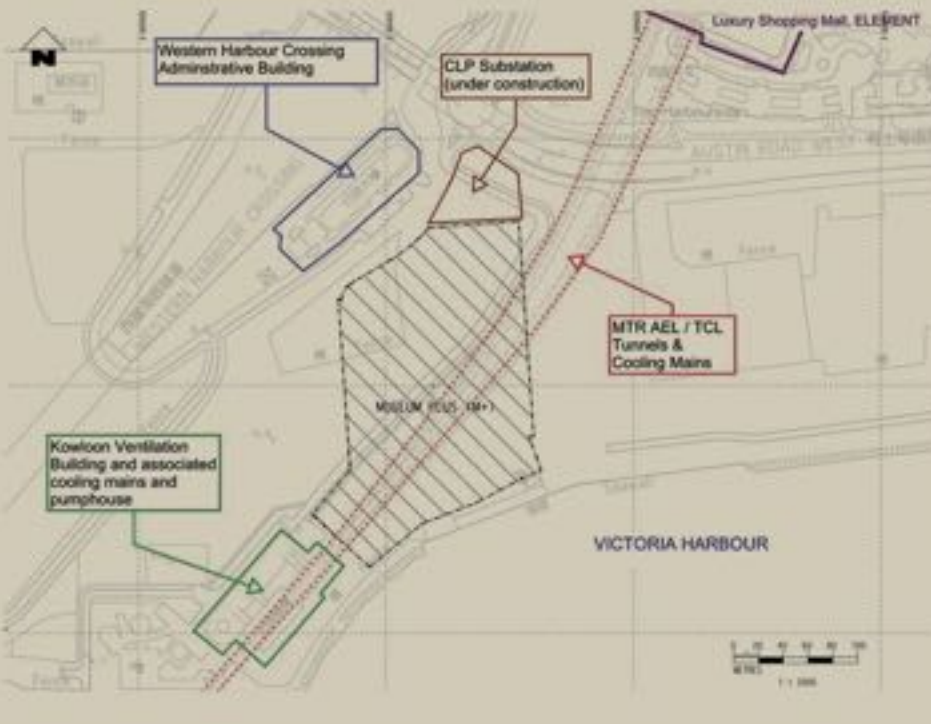


© SOLETANCHEBACHY
3

ment was signalled in August 2013 by commencement of the foundation works contract for construction of the first venue, Xiqu Centre, with Bachy Soletanche Group Limited as the main foundation contractor.

A year later, in August 2014, Bachy Soletanche Group Limited again won the foundation contract for the second major development, the M+, a museum focusing on 20th and 21st century visual culture, including art, design, architecture and moving images.

SITE NEIGHBOURHOOD



© SOLETANCHEBACHY
4

PROJECT INFORMATION

The M+ Museum is located on the western side of the Cultural District development along the seafront and opposite the Central District across Victoria Harbour. The size of the job site was measured at around 230m x 130m, with a total site area of approximately 29,900m². The average ground level was about +5.0mPD.

The site area was previously reclaimed with sand fill during the massive West Kowloon reclamation works in the early 1990s. New railway lines were also built on the same reclaimed area as infrastructure at that time. So, part of the jobsite area was crossed by live underground railway tunnels, the MTRC Airport Express Line (AEL) and Tung Chung Line (TCL). There were also cooling mains from a nearby luxury shopping arcade running alongside the railway tunnels (figure 3).

The railway tunnels were a 7-cell underground reinforced concrete structure housing both the Airport Express Rail and Tung Chung Line commuter rail. ▷



5 © SOLETANCHE BACHY



6 © SOLETANCHE BACHY

It was noted that the rail tunnels were located in the middle of the M+ work site, with the tunnel roof top running from as little as 1.5m below the ground surface gradually down to 17m below ground.

The section of the tunnels located within the M+ site boundary was buried underground in reclaimed sandfill without any foundation element, i.e. a floating tunnel section.

As a result, the M+ Museum was designed to be supported on foundations that were split into two parts due to the presence of both the railway tunnels and seawater cooling mains.

As regards the neighbourhood, the Western Harbour Crossing Administration Building is located about 60m away to the north-west and a CLP substation is under construction just north of the work site. Within 20m of the south west corner is the Kowloon Ventilation Building for the railway lines, together with the associated Cooling Main Pump House connecting the existing cooling pipes to the adjacent shopping complex. Victoria Harbour is located less than 30m south

of the site. All this is shown in figure 4. The site geology encountered included a thick sandfill layer of around 30m levelled from +5mPD to -25mPD as a result of previous reclamation. Underneath the sandfill was an alluvium layer 3m thick and then 10m to 25m of completely decomposed granite. Top of grade III bedrock ranged from -30 to -60mPD.

SPECIALIST WORKS

In each of the two split foundation works areas for the main building structures, there were three major types of foundation element, namely large-diameter bored pile, socketed H-pile and metal sheetpiling.

There were a total of 70 large-diameter bored piles 2.5m and 3.0m in diameter with bellouts of up to 4.5m

drilled to depths from 50m to 70m and socketed into several metres of granite. The piles were founded on grade III or better rock in which the minimum presumed bearing value is 5000kPa. The rockhead level of the 70 piles ranged from -39.80mPD (45.60m below ground) to -65.20mPD (70.04m below ground), and the average rock socket was around 4.0m.



7

© SOLETANCHE BACHY

5- Bored pile construction works (cage installation).

6- Rock socketed H-piling works.

7- Press-in steel sheetpile by Silent Piler.

5- Travaux de pieux forés (mise en place de la cage).

6- Travaux de pieux en H ancrés dans la roche.

7- Palplanches à clipsage de chez Silent Piler.

Pile construction (cage installation) is shown in figure 5.

Piles were constructed using oscillators to drive temporary casings into the ground and at the same time to excavate the cased soil by grabbing.

When the rockhead level was reached, rock drilling was then performed by Reverse Circulation Drill (RCD) to form the rock socket.

Upon socket drilling completion, a bellout tool was used to form an enlarged pile base.

343 socketed H-piles 610mm in diameter (figure 6) with 305x305x223kg/m UBP were constructed down to a maximum depth of 79m.

The piles were founded on Grade III rock with an average 6m socket toe-in. A concentric ringbit drilling system was adopted in order to minimise ground disturbance during the advance of the temporary casing, this being especially vital close to the railway tunnel area. To facilitate the future M+ basement works, around 8,000m² of type IV sheetpile were installed to provide water cut-off at the perimeter of the site by using the traditional vibratory method and a special press-in method, which is shown in figure 7, with no need of vibrating sheetpiles when driving close to railway tunnels or sensitive structures.



© SOLETANCHE BACHY 8

8- Site installation setup to accommodate the existing site constraints - live underground tunnels.

9- Construction of haul road.

10- Completed haul road.

8- Installations de chantier respectant les contraintes de chantier existantes - tunnels souterrains en service.

9- Construction de voie de roulage.

10- Voie de roulage achevée.



© SOLETANCHE BACHY 9



© SOLETANCHE BACHY 10

CHALLENGES

One of the challenges facing the project was to construct various types of piles in the close vicinity of the live MTRC AEL/TCL tunnels and the MTRC Kowloon Station main cooling system in which the tunnels were constructed without piling support elements, i.e. a floating structure in a reclaimed sandfill area. Special control measures were therefore taken to comply with the stringent settlement limit of 20mm for the floating railway tunnels with all the three types of deep foundation works mentioned above.

There were a total of 16 bored piles, 28 socketed H-piles within the 6m to 10m railway protection zone, and approximately 217 linear metres of sheetpile were to be constructed at the closet 3m away from the tunnels. ▷



11

© SOLETANCHE BACHY

To strictly comply with Building Ordinance regulations stating that special control measures must be taken for works close to the MTR Railway structures, the site installation setup arrangement and positioning of plant and equipment shown in figure 8 was considered.

Groups of heavy stationary plant and machinery, such as water silos, the waste water treatment plant, steel storage yard, etc. were pre-assessed to ensure that there would be no adverse impact on the tunnels, by limiting any

11- Socketed H-piling works in M+ interfacing carpark and pump house.

11- Travaux de pieux en H ancrés sur M+ à l'interface entre le parking et la station de pompage.

induced additional surcharge on the tunnel structure to less than 20kPa. The pile construction sequence used was to press the sheetpiles in the closet of the tunnels first, followed by bored

pile and socketed H-pile installation afterwards.

In addition, the number of simultaneous pile excavation processes within a 10m spacing was limited.

MAIN QUANTITIES

M+ MUSEUM FOUNDATION WORKS

LARGE-DIAMETER BORED PILE:

- 22 piles 3.0m in diameter with bellout (total bored length 1,320m)
- 48 piles 2.5m in diameter with bellout (total bored length 2,718m)

DRIVEN TYPE IV SHEETPILE: 4,275m² (total driven length: 267m)

PRESS-IN TYPE IV SHEETPILE: 6,202m² (total driven length: 388m)

PREBORE ROCK SOCKETED H-PILE: 343 of diameter 610mm with 305x305x223 UC steel (total bored length 21,542m)

QUANTITIES OF ADDITIONAL CONTRACT OF WORKS

ROAD DIVERSION WORKS AND M+ MUSEUM INTERFACING CARPARK AND PUMP HOUSE

ROADWORKS: 140m long 7.3m wide temporary concrete carriageway

DRIVEN TYPE IV SHEETPILE: 3,560m² (total driven length: 229m)

PRESS-IN TYPE IV SHEETPILE: 2,702m² (total driven length: 165m)

PREBORE ROCK SOCKETED H-PILE: 206 of diameter 610mm with 305x305x223 UC steel (total bored length 11,510m)

WORKS DURATION:

- 4 months (Roadworks)
- 10 months (M+ Interfacing Carpark)

ARCHITECT: Dennis Lau & Chun Man Architects & Engineers (HK) Ltd.

ENGINEER: Hyder Consulting Limited

CONTRACT AMOUNT:

- HK\$ 4.2 million (Roadworks)
- HK\$ 98 million (M+ Interfacing Carpark)



© SOLETANCHE BACHY

12

For construction activities within 6m of the railway structure, advance notice, additional monitoring, an MTRC joint survey was mandatory for the layout of elements yet to be constructed, using an inclinometer or a staged verticality check and position checking for foundation elements.

No structural element or any part of it could be built closer than 3m to any MTRC structure.

Other measures included banning the use of chisels to remove obstructions in pile construction, vibration checking during sheetpile driving, and limiting the number of construction activities that could take place at the same time for piles coming within the MTR protection area.

There were three large-diameter 3.0m bored piles in which the clearance between the pile edge and the seawater cooling mains structure ranged between only 400mm and 600mm. Thus, a temporary raised working

platform made of steel H-beams and reinforced concrete was needed to accommodate and withstand the working load of the 90-tonne oscillator and other construction plant.

OTHER WORKS

During the course of the works, Bachy Soletanche had won another work contract for the West Kowloon Cultural District based on its good performance and competitiveness.

The new works included construction of a 2-way 1-lane temporary concrete carriageway around 140m long and 7.3m wide of along the western side of the M+ jobsite.

Another job involved installing 206 socketed H-piles 610mm in diameter at a depth of around 57m, and 6000m² of sheetpiling as foundation works for the future interfacing carpark and pump house alongside the M+ Museum. Works completion was in February 2016.

12- Site project team.

12- Équipe du chantier.

CONCLUSION

The successful completion of the M+ contracts had demonstrated the ability and capacity of Bachy Soletanche to undertake complex engineering projects. Moreover, collaborative and proactive interaction between the various parties, such as the designer, MTRCL and the surrounding neighbours was a decisive factor for the project's success. □

MAIN PARTIES

CLIENT: West Kowloon Cultural District Authority

CONTRACT: M+ Museum Foundation Contract

ARCHITECT: Herzog & de Meuron and TFP Farrells

ENGINEER: Ove Arup & Partners

FOUNDATION MAIN CONTRACTOR: Bachy Soletanche Group Limited

CONTRACT COMMENCEMENT DATE: 27 Aug 2014

CONTRACT COMPLETION DATE: 30 Sept 2015

CONTRACT AMOUNT: HK\$ 349.58 million

ABSTRACT

TRAVAUX DE FONDATIONS PROFONDES POUR LES AUTORITÉS DU WEST KOWLOON CULTURAL DISTRICT, MUSÉE M+

BACHY SOLETANCHE: RINGO LAU - CHRISTOPHER TANG - DAVID LEE

Les projets du West Kowloon Cultural District (WKCD) comportent un développement stratégique à long terme et des investissements d'infrastructure et d'aménagement en vue de créer un quartier intégré d'art et de culture, de classe internationale. En 2014, Bachy Soletanche Group Limited a été désigné entreprise principale pour conduire les travaux de fondation du musée M+. M+ a été le premier lot du projet de construction pour l'aménagement du quartier culturel conçu pour les arts culturels visuels et les images animées. Les travaux de fondation de M+ comportaient divers types de fondations, comprenant des pieux forés de grand diamètre, des pieux en H ancrés dans la roche et des palplanches. Les tunnels souterrains existants en service qui passent au milieu du chantier ont accru les difficultés de construction. □

LAS OBRAS DE CIMENTACIÓN PROFUNDA DEL DISTRITO CULTURAL DE WEST KOWLOON, MUSEO M+

BACHY SOLETANCHE: RINGO LAU - CHRISTOPHER TANG - DAVID LEE

Los proyectos del Distrito Cultural de West Kowloon (WKCD) incluyen un desarrollo estratégico a largo plazo e inversiones en infraestructuras e instalaciones para crear un distrito cultural y artístico integrado de primer nivel. En 2014, Bachy Soletanche Group Limited fue designado contratista principal para las obras de cimentación del Museo M+. El M+ constituye el primer paquete del proyecto de construcción para el desarrollo del distrito cultural, diseñado para las artes visuales y las imágenes en movimiento. Las obras de cimentación del M+ emplearon distintas técnicas de cimentación, como pilotes perforados de gran diámetro, pilotes en H hundidos en roca y tablestacas de acero. Los túneles ferroviarios existentes y operativos que atraviesan el emplazamiento supusieron complicaciones adicionales para la construcción. □



1

© WITT AND SOHN

VENTILATION DU TUNNEL DE LUNG SHAN

AUTEURS : SÉBASTIEN COMBARIEU, RESPONSABLE INGÉNIERIE ÉLECTROMÉCANIQUE DU PROJET, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS - MAXIME MERHAND, INGÉNIER ÉLECTROMÉCANIQUE, BYME ENGINEERING HONG KONG - FRANCOIS CHAVANEAU, DIRECTEUR TECHNIQUE, BYME ENGINEERING HONG KONG

LE TUNNEL DE LUNG SHAN EST UN TUNNEL BITUBE DE 4,8 KM QUI FAIT PARTIE DU NOUVEL AXE AUTOROUTIER DE 11 KM QUI RELIERA LES NOUVEAUX TERRITOIRES DE HONG KONG À LA CHINE. UN SYSTÈME DE VENTILATION COMPLEXE PERMET DE DILUER LES POLLUANTS DES VÉHICULES ET D'EXTRAIRE LES FUMÉES EN CAS D'INCENDIE. LE DIMENSIONNEMENT DE CE SYSTÈME EST VALIDÉ À L'AIDE DE SIMULATIONS NUMÉRIQUES DES FLUX AÉRAULIQUES ET DES ÉCHANGES THERMIQUES.

GÉNÉRALITÉS

Le projet du tunnel de Liantang dont la maîtrise d'œuvre est confiée à une société en participation entre Bouygues Travaux Publics et Dragages Hong Kong (filiale de Bouygues Construction à Hong Kong) comprend la construction et l'équipement d'un tunnel à 2 tubes de 4,8 km (le tunnel de Lung Shan), de ses 3 bâtiments de ventilation et d'un bâtiment administratif. Le maître d'œuvre est également responsable de l'installation des équipements électro-

mécaniques dans un second tunnel à 2 tubes de 700 m (le tunnel de Cheung Shan) ainsi que dans ses deux bâtiments de ventilation.

Ce projet fait partie d'un projet de liaison autoroutière entre Hong Kong et Shenzhen du nom de « Liantang/Heung Yuen Wai Boundary Control Point Site Formation and Infrastructure Works (Contract No. CV/2012/08) ». L'ensemble de ce projet comprend la construction d'une autoroute de 2 fois 2 voies de 11 km, de 2 tunnels bitubes,

1 - Ventilateur vertical.

1 - Vertical fan.

de plusieurs viaducs ainsi que d'un nouveau poste frontière entre la région administrative spéciale de Hong Kong et la République populaire de Chine.

Le tunnel de Lung Shan est creusé sous une montagne faisant partie de la réserve naturelle de Pat Sin Leng Country Park. Le tunnel permettra de contourner la ville de Fanling tout en minimisant l'impact sur l'écosystème local.

Les portails du tunnel ont été positionnés de manière stratégique : le portail Sud se situe à proximité de l'autoroute de Fanling et le portail Nord débouche sur le futur échangeur de Sha Tau Kok (figure 2).

PLAN D'ENSEMBLE DU TUNNEL DE LUNG SHAN



© BOUYGUES TP & BYME HONG KONG

2

Deux des bâtiments de ventilation sont construits au-dessus des portails Nord et Sud. Le tunnel étant particulièrement long, un troisième bâtiment de ventilation complète l'ensemble. Il est relié au milieu du tunnel par une galerie de ventilation de 350 m de long. Les principaux équipements électromécaniques sont installés au sein des trois

2- Plan d'ensemble du Tunnel de Lung Shan.

3- Section type du tunnel.

2- General layout of Lung Shan Tunnel.

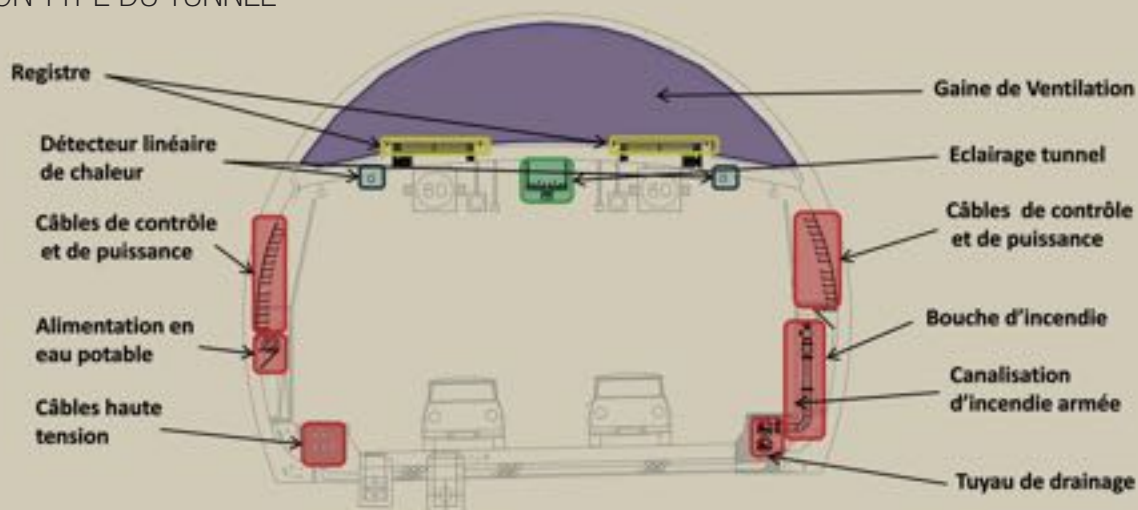
3- Typical cross section of the tunnel.

bâtiments de ventilation. Le contrôle de l'ensemble de l'ouvrage s'effectue via un centre de contrôle localisé dans le bâtiment administratif situé à proximité du portail Nord. Chaque tube du tunnel est normalement opéré en mode unidirectionnel et peut également être opéré en mode bidirectionnel en cas d'incident ou d'opération de maintenance.

SYSTÈMES ELECTROMÉCANIQUES

Une société en participation a été créée entre Bouygues Travaux Public et BYME Engineering Hong Kong pour assurer la maîtrise d'œuvre des travaux électromécaniques du projet du Tunnel de Liantang qui comprennent la vérification des études de conception, la fourniture, ▷

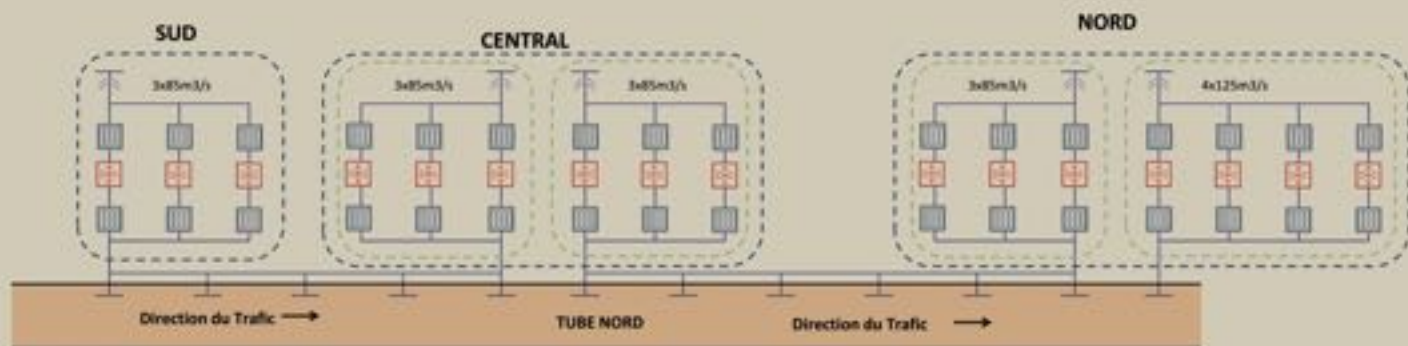
SECTION TYPE DU TUNNEL



© BOUYGUES TP & BYME HONG KONG

3

VENTILATION DU TUBE NORD



4

© BOUYGUES TP & BYME HONG KONG

la pose et la mise en service des systèmes de ventilation, de climatisation, d'alimentation électrique, d'éclairage, de protection et détection incendie, de sécurité, de supervision (Gestion Technique Centralisée), de pompage et de plomberie sanitaire des tunnels et bâtiments.

Le maître d'œuvre est responsable de la vérification du dimensionnement des systèmes électromécaniques afin de garantir le bon fonctionnement de l'ouvrage, ainsi que de la production des plans de synthèse et d'exécution des installations. Les documents et plans sont soumis à l'approbation du maître d'ouvrage.

L'ensemble des réseaux (eau potable, protection incendie, alimentation électrique, communication) sont distribués le long du tunnel (figure 3).

Tous les systèmes critiques sont conçus de manière redondante et dans l'optique de minimiser le nombre de points uniques de défaillance. De plus, les équipements sont rigoureusement sélectionnés en fonction de leur fiabilité intrinsèque.

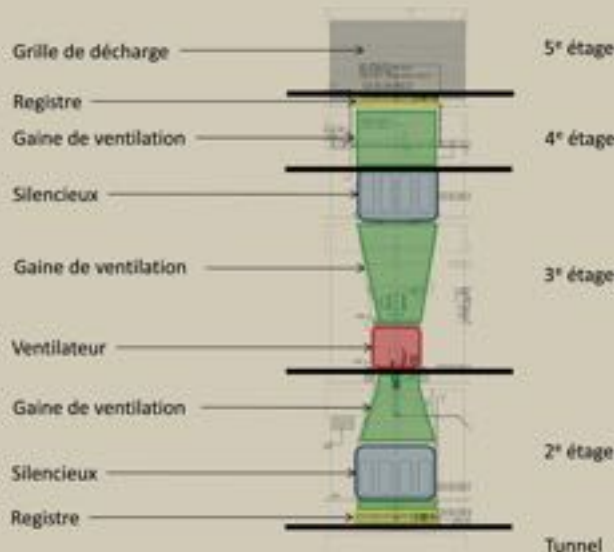
SYSTÈME DE VENTILATION DU TUNNEL DE LUNG SHAN. LE SYSTÈME

Un système de ventilation complexe a été conçu par le maître d'ouvrage pour maintenir la qualité de l'air à l'intérieur du tunnel durant son exploitation et assurer l'évacuation des fumées en cas d'incendie.

Une partie du système sert également à limiter les émissions de polluants au niveau des portails de sortie.

Le système de ventilation du tunnel de Lung Shan est du type semi-transversal, c'est-à-dire qu'il est composé d'usines de ventilation connectées à une gaine de ventilation située au-dessus de la chaussée (figure 4).

INSTALLATION VERTICALE DES VENTILATEURS



5

© BOUYGUES TP & BYME HONG KONG

- 4- Ventilation du tube Nord.
- 5- Installation verticale des ventilateurs.
- 6- Registre de ventilation tunnel.
- 7- Positionnement des registres.
- 8- Ventilation du tube Nord en fonctionnement normal.
- 9- Ventilation du tube Nord en cas de ralentissement.
- 10- Ventilation du tube Nord en cas d'incendie.

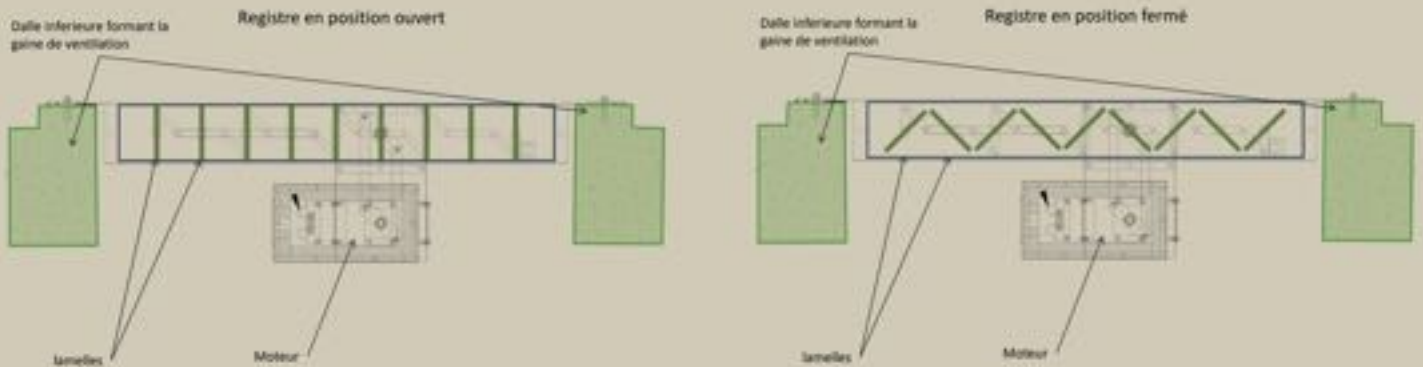
- 4- Ventilation of the North tube.
- 5- Vertical installation of the fans.
- 6- Tunnel ventilation damper.
- 7- Damper positioning.
- 8- Ventilation of the North tube in normal operation.
- 9- Ventilation of the North tube in the event of a slowdown.
- 10- Ventilation of the North tube in case of fire.



6

© TPOX MALAYSIA

POSITIONNEMENT DES REGISTRES



7

© BOUYGUES TP & BYME HONG KONG

32 ventilateurs axiaux (16 servant chaque tube) sont installés à l'intérieur des 3 bâtiments de ventilation. Ces ventilateurs peuvent fonctionner en mode soufflage ou extraction suivant les modes de ventilation « normal », « bidirectionnel » ou « incendie ». L'air est soufflé ou extrait au travers de la gaine de ventilation en béton

construite au-dessus de la chaussée et dotée de plus de 1 300 registres motorisés répartis le long du tunnel. Le système de ventilation permet d'insuffler de l'air frais ainsi que d'extraire les polluants ou les fumées. La gaine de ventilation de chaque tube est bloquée par un tympan situé au milieu du tunnel, au niveau de la

connexion entre la galerie de ventilation et le tunnel. Le système de ventilation de chaque tube est ainsi composé de 2 sous-systèmes qui couvrent respectivement la partie Sud et la partie Nord du tunnel. Il est ainsi possible d'activer une moitié de tube en mode soufflage et l'autre en mode extraction.

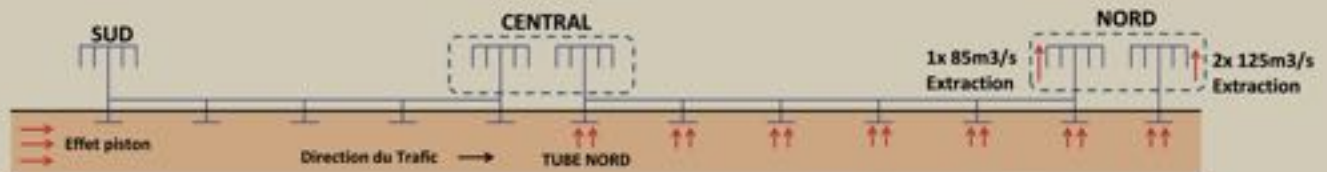
LES VENTILATEURS

Deux types de ventilateurs sont utilisés sur le projet :

- 24 ventilateurs de 2 m de diamètre, 85 m³/s de débit et 2 000 à 2 500 Pa de pression statique ;
- 8 ventilateurs de 2,5 m de diamètre, 125 m³/s de débit et 1 350 Pa de pression statique.



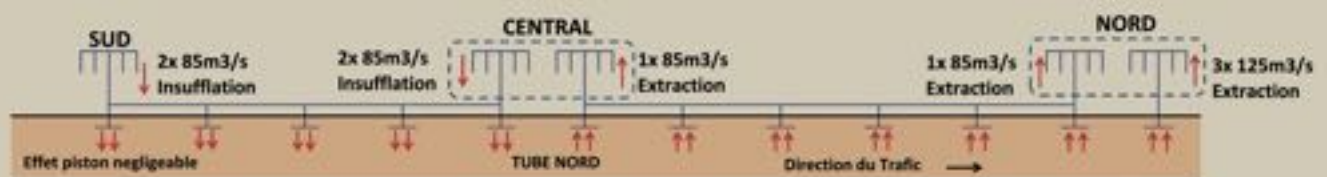
VENTILATION DU TUBE NORD EN FONCTIONNEMENT NORMAL



8

© BOUYGUES TP & BYME HONG KONG

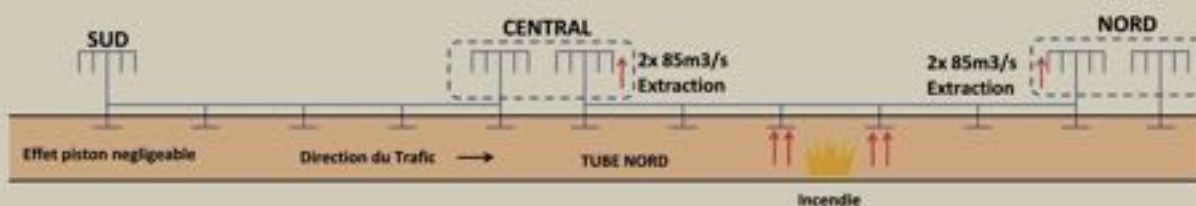
VENTILATION DU TUBE NORD EN CAS DE RALENTISSEMENT



9

© BOUYGUES TP & BYME HONG KONG

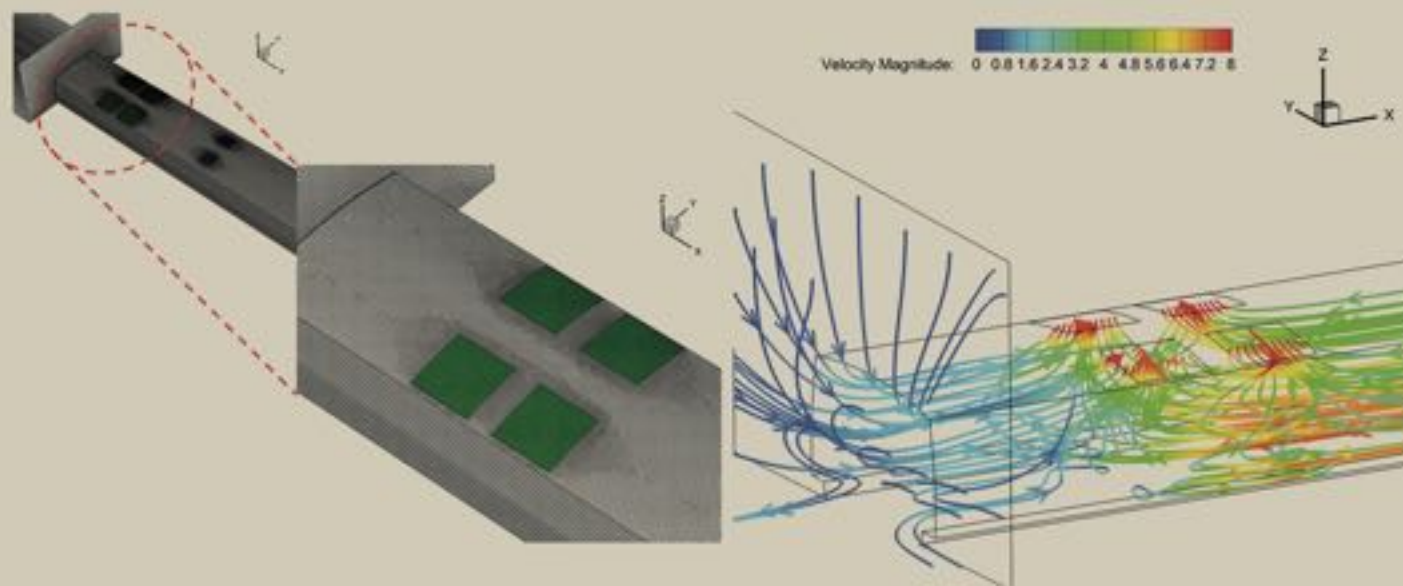
VENTILATION DU TUBE NORD EN CAS D'INCENDIE



10

© BOUYGUES TP & BYME HONG KONG

SIMULATIONS NUMÉRIQUES AU PORTAIL DE SORTIE



11

© BOUYGUES TP & BYME HONG KONG

Les ventilateurs de 2 m de diamètre sont utilisés pour la dissipation des polluants du tunnel en mode sanitaire ainsi que l'extraction des fumées en mode incendie (figure 1). Ils sont de ce fait conçus pour résister à une température de 250°C pendant une durée d'une heure. Ces ventilateurs sont réversibles, ce qui leur permet de fonctionner en mode soufflage ou extraction suivant le scénario de ventilation requis. Chaque usine de ventilation est composée de 3 ventilateurs dont 1 ventilateur de secours utilisé uniquement en cas de défaillance de l'un des 2 autres.

Les ventilateurs de 2,5 m de diamètre sont dédiés au contrôle des polluants au niveau des portails de sortie. Ils ne sont ni réversibles ni résistants au feu car ils ne sont pas utilisés en situation d'incendie. Leur fonction est, en assurant un flux d'air opposé au sens du trafic en sortie de tunnel, de garantir qu'aucun polluant ne sorte du tunnel. Ces ventilateurs ne sont pas connectés à la gaine de ventilation du tunnel.

Les usines de ventilation composées de registres, gaines, ventilateurs et silencieux sont installées verticalement afin d'optimiser la longueur des gaines de ventilation et de réduire considérablement la taille des bâtiments de ventilation (figure 5).

LES REGISTRES

Les registres de 1,5 m x 1,5 m sont positionnés par paire dans chaque tube à une distance moyenne d'environ

15 m. Le tunnel est découpé en zones feu de l'ordre de 230 m de long, chacune équipée d'environ 30 registres (figure 6).

Un registre est constitué de lamelles orientables actionnées par un moteur (figure 7). L'ajustement de l'angle des lamelles permet de réguler le débit d'air passant au travers de celui-ci. Ainsi en alignant les lamelles verticalement, le débit d'air est maximal, alors que si elles sont toutes inclinées à 45°, le registre devient complètement étanche. Le système de contrôle-commande

11- Simulations numériques au portail de sortie.
12- Modèle 3D du tunnel.

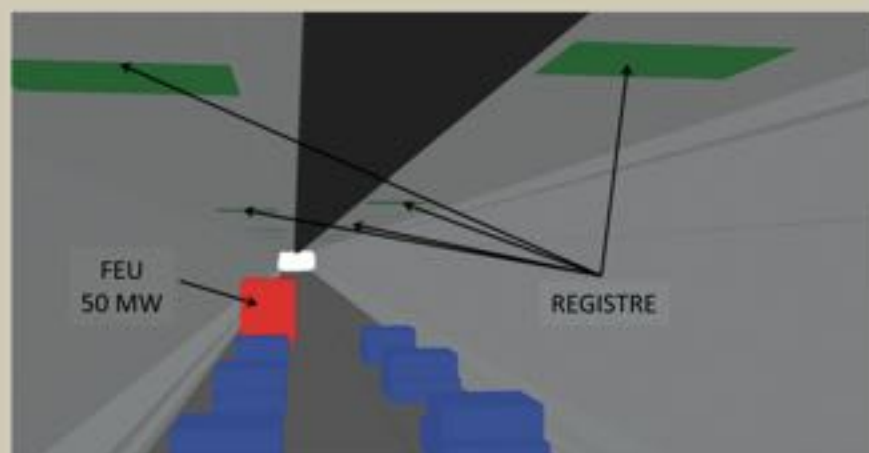
11- Numerical simulations at the exit portal.
12- 3D model of the tunnel.

installé dans le tunnel permet d'actionner chaque registre. Les moteurs des registres sont protégés par un revêtement ignifugé les rendant opérationnels pendant une durée minimale d'une heure à une température de 250°C en situation d'incendie.

LE FONCTIONNEMENT DU SYSTÈME

Durant l'exploitation normale de l'ouvrage les niveaux de pollution dans le tunnel sont mesurés et utilisés pour contrôler les besoins en ventilation. Des

MODÈLE 3D DU TUNNEL



12

© BOUYGUES TP & BYME HONG KONG

BYME ENGINEERING (HK)

BYME Engineering (HK) est une entreprise du Groupe Bouygues née à Hong Kong en 1990 d'une fusion avec une société locale « Young's Engineering ». Elle est spécialisée dans les corps d'état techniques, compte environ 250 employés et réalise entre 80 et 110 millions d'euros de chiffre d'affaires annuel. L'expertise des équipes de BYME et leur expérience en matière de maquette numérique (BIM, REVIT) sont de précieux atouts sur des opérations complexes et stratégiques comme le tunnel de Liantang, le terminal de croisière Kai Tak à Hong Kong, le Sports Hub (complexe sportif) de Singapour, le centre financier QP District au Qatar. BYME Engineering (HK) comprend également une division Services réalisant des travaux de rénovation et des prestations de maintenance pour de nombreux clients tels que le Hong Kong Jockey club, le Metro de Hong Kong, l'Aéroport de Hong Kong, Digital Realty (Data centre), la banque HSBC, etc.

capteurs de pollution (CO, NO₂, visibilité) sont installés tous les kilomètres. Ils permettent de suivre avec précision la qualité de l'air dans chaque section du tunnel.

En fonctionnement normal et en présence d'un trafic faible, l'air frais entre naturellement par le portail d'entrée grâce à l'effet piston des véhicules et l'air vicié est extrait depuis le bâtiment de ventilation situé à la sortie du tunnel. En cas de plus forte concentration en

13- Profil de visibilité dans le tunnel.

13- Visibility profile in the tunnel.

polluants, de l'air frais supplémentaire est injecté dans la première partie de tunnel et une partie de l'air vicié est également extraite par les ventilateurs du bâtiment de ventilation central.

En mode incendie les fumées sont extraites grâce aux ventilateurs qui servent la zone de l'incident.

La réglementation environnementale exige d'empêcher la propagation des polluants à l'extérieur du tunnel au niveau de la chaussée. 4 ventilateurs d'extraction dédiés sont ainsi prévus dans chaque bâtiment de ventilation en sortie de tunnel pour extraire l'air vicié et le rejeter en haut du bâtiment.

LE MODE SANITAIRE EN CAS DE CIRCULATION FLUIDE

En fonctionnement sanitaire normal (figure 8), c'est-à-dire dans le cas d'une circulation fluide à 80 km/h et d'une faible concentration en polluants, le tube Nord est ventilé de la manière suivante :

- Les ventilateurs du bâtiment Sud sont à l'arrêt car l'apport en air frais créé par l'effet piston est suffisant ;
- Les ventilateurs du bâtiment central sont également à l'arrêt ;
- Dans le bâtiment Nord, 3 ventilateurs fonctionnent en extraction

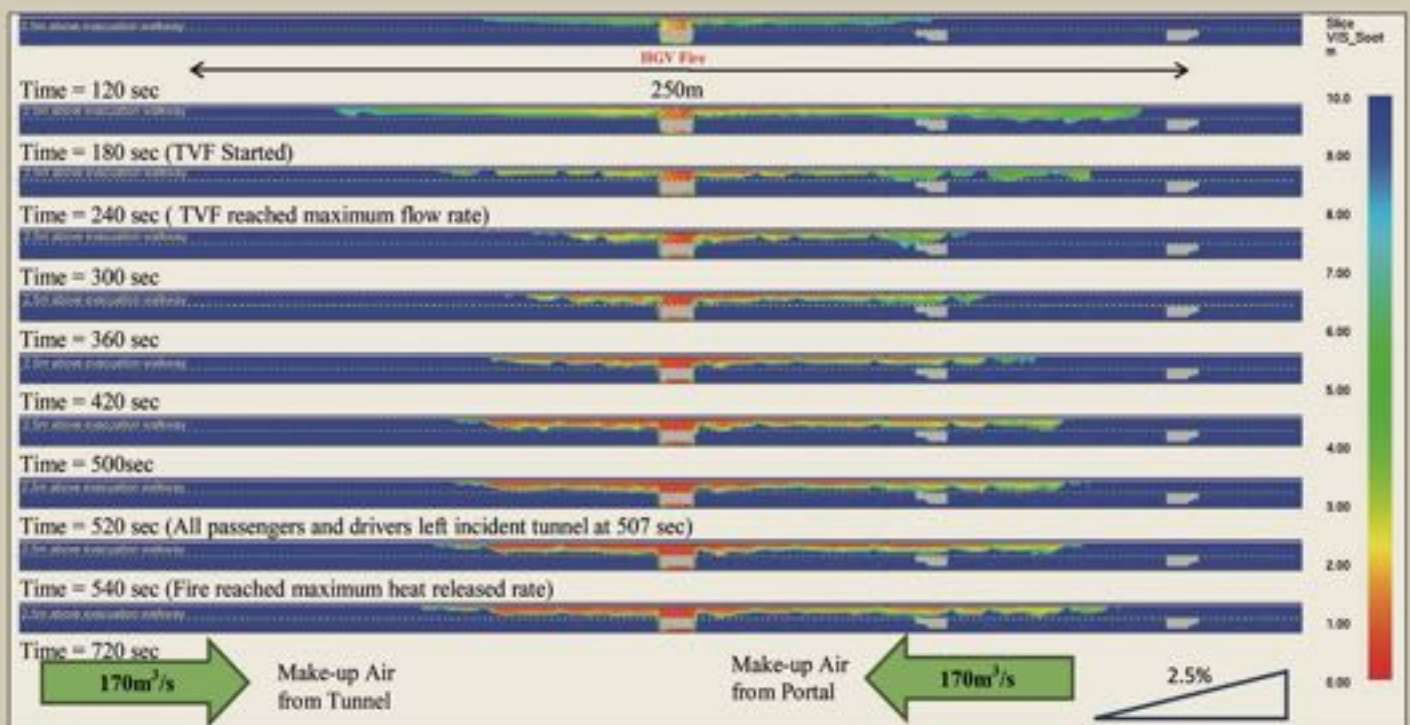
dont 2 ventilateurs de contrôle des émissions au portail qui empêchent la diffusion des polluants en sortie de tunnel.

LE MODE SANITAIRE EN CAS DE RALENTISSEMENT

En cas de ralentissement de la circulation, les véhicules circulant à faible vitesse rendent l'effet piston inefficace. Il est alors nécessaire de diluer les polluants de la manière suivante :

- Les ventilateurs du bâtiment Sud situés à l'entrée du tunnel fonctionnent en mode soufflage.
- Les ventilateurs du bâtiment central fonctionnent partiellement en mode soufflage et partiellement en mode extraction. Une partie des ventilateurs insuffle de l'air frais dans la partie Sud du tunnel afin de compléter l'apport en air frais du portail Sud qui est insuffisant pour garantir la dilution des polluants. L'autre partie des ventilateurs aspire les polluants dans la partie Nord du tunnel.
- Dans le bâtiment Nord, 4 ventilateurs fonctionnent en extraction dont 2 ventilateurs de contrôle des émissions au portail qui empêchent la diffusion des polluants en sortie de tunnel (figure 9).

PROFIL DE VISIBILITÉ DANS LE TUNNEL



LE MODE INCENDIE

La localisation du feu permet d'activer le système de désenfumage dans une configuration prédéterminée afin de faciliter l'évacuation des usagers et l'accès des équipes de secours.

Deux capteurs linéaires de chaleur, installés de manière continue le long du tunnel, permettent de localiser

précisément dans quelle zone feu l'incendie se situe. Une fois l'incendie repéré, les registres de la zone affectée par le feu sont ouverts et tous les autres registres du tube incidenté sont fermés. Les ventilateurs desservant la zone feu sont ensuite activés à pleine puissance pour extraire les fumées (figure 10).

PRINCIPALES QUANTITÉS

ÉQUIPEMENTS ÉLECTROMÉCANIQUES - PROJET DU TUNNEL DE LIANTANG (TUNNELS DE LUNG SHAN ET CHEUNG SHAN)

MONTANT DU MARCHÉ : 155 millions d'Euros

LOT ÉLECTRICITÉ :

- Câbles Basse Tension : 750 km
- Câbles Haute Tension : 65 km
- Transformateurs : 36 unités
- Cellules Haute Tension : 13 unités
- TGBT (hors ventilation tunnel) : 24 unités
- TGBT (ventilation tunnel) : 12 unités
- Groupes électrogènes : 7 unités
- Éclairage tunnel :
 - Éclairage courant : 3 728 luminaires
 - Éclairage de renforcement : 1 076 luminaires

LOT VENTILATION TUNNEL :

- Ventilateurs : 44 unités
- Registres : 1 525 unités
- Silencieux : 88 unités

LOT PLOMBERIE/DRAINAGE :

- Pompes (puissance supérieure à 75 kW) : 5 unités
- Canalisations (Diamètre > 150 mm) : 6 km

LOT DÉTECTION INCENDIE :

- Capteur linéaire de chaleur : 24 km
- Canalisation d'incendie armée : 11 km

LOT COURANTS FAIBLES :

- Câbles Très Basse Tension : 800 km
- Fibre optique : 150 km

LA VÉRIFICATION DU DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement du système de ventilation proposé par le maître d'ouvrage est vérifié à l'aide de calculs et de simulations numériques thermiques et aérodynamiques aux éléments finis de type CFD (Computational Fluid Dynamics). En fonctionnement normal, le débit de ventilation est déterminé par les besoins en apport d'air frais nécessaires à la dilution des polluants. La capacité des ventilateurs (en extraction et soufflage) doit garantir que l'apport en air frais reste supérieur aux besoins en air frais nécessaires dans toutes les sections du tunnel pour assurer la dilution des polluants, et ce quelles que soient les conditions de circulation routière. Ce critère est vérifié à l'aide de calculs de débit d'air frais qui prennent en compte les prédictions de composition du trafic par type de véhicule, les estimations de trafic horaire ainsi que les niveaux de polluants par type de véhicule.

Les ventilateurs d'extraction localisés en sortie de tunnel sont dimensionnés pour empêcher la propagation des polluants au niveau de la chaussée. Des simulations sont effectuées à l'aide

d'un logiciel CFD afin de vérifier ce dimensionnement. Ces simulations démontrent que même en cas d'embouteillage la ventilation permet d'empêcher la propagation des polluants à l'extérieur du tunnel (figure 11).

En mode incendie, la ventilation est dimensionnée pour assurer une extraction des fumées satisfaisante dans le cas d'un incendie de poids-lourd d'une puissance de 50 MW. Le critère de dimensionnement retenu à Hong Kong est que les fumées doivent rester à une hauteur minimale de 2,5 m au-dessus du chemin d'évacuation. Ce critère est vérifié à l'aide de simulations numériques de type CFD qui intègrent un modèle 3D du tunnel (figure 12).

Les calculs de visibilité et de température sont effectués sur une période de 30 minutes dans une zone feu d'une longueur de 250 m répartie de part et d'autre du foyer de l'incendie. Plusieurs zones feu correspondant à différentes pentes de tunnel et différents éloignements des portails sont étudiées (figure 13). Ces simulations permettent de démontrer que le critère de dimensionnement est rempli dans tous les cas d'incendie. □

INTERVENANTS

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE :

Hong Kong Civil Engineering and Development Department (CEDD)

ASSISTANT À MAÎTRISE D'OUVRAGE : Aecom

MAÎTRE D'ŒUVRE : Bouygues Travaux Publics / Dragages Hong Kong JV

SOUS-TRAITANTS

EQUIPEMENTS ÉLECTROMÉCANIQUE :

Bouygues Travaux Publics / BYME Engineering Hong Kong JV

ABSTRACT

VENTILATION OF LUNG SHAN TUNNEL

S. COMBARIEU, BOUYGUES - M. MERHAND, BYME ENGINEERING HONG KONG - F. CHAVANEAU, BYME ENGINEERING HONG KONG

Lung Shan Tunnel is a double-tube tunnel 4.8 km long which forms part of a new motorway artery that will connect Hong Kong to a new border station with China. It is equipped with a semi-transverse ventilation system consisting of three ventilation plants connected to a ventilation duct located above the pavement. This system can not only limit the presence of pollutant gases in the tunnel, but also maintain acceptable visibility for the users, remove smoke in the event of a fire, and limit pollutant emissions at the tunnel exit. The system's sizing is verified by means of 3D numerical simulations of the CFD type. □

VENTILACIÓN DEL TÚNEL DE LUNG SHAN

S. COMBARIEU, BOUYGUES - M. MERHAND, BYME ENGINEERING HONG KONG - F. CHAVANEAU, BYME ENGINEERING HONG KONG

El túnel de Lung Shan es un túnel de dos tubos de 4,8 km que forma parte del nuevo eje viario que enlazará Hong Kong con un nuevo puesto fronterizo con China. Dispone de un sistema de ventilación semi-transversal formado por tres unidades de ventilación conectadas a un conducto de ventilación situado encima de la calzada. Este sistema permite limitar la presencia de gases contaminantes en el túnel, mantener una visibilidad aceptable para los usuarios, extraer el humo en caso de incendio y limitar las emisiones de contaminantes a la salida del túnel. El dimensionamiento del sistema se ha determinado mediante simulaciones digitales en 3D de tipo CFD. □



BESOIN DE SIMPLIFICATION

Prévoyance conventionnelle
Complémentaire santé
Déclaration sociale nominative

SMA



**Ensemble,
allons plus loin !**

L'assureur de toutes les entreprises,
des professionnels, des dirigeants,
de leurs salariés et de leurs proches.

Retrouvez tous nos produits d'assurance sur groupe-sma.fr




SMABTP
SINON L'ASSURER AVEC ASSURANCE

SMA VIE

SMA
ASSURANCES

SMA
COURTAGE

SMA VIE
COURTAGE