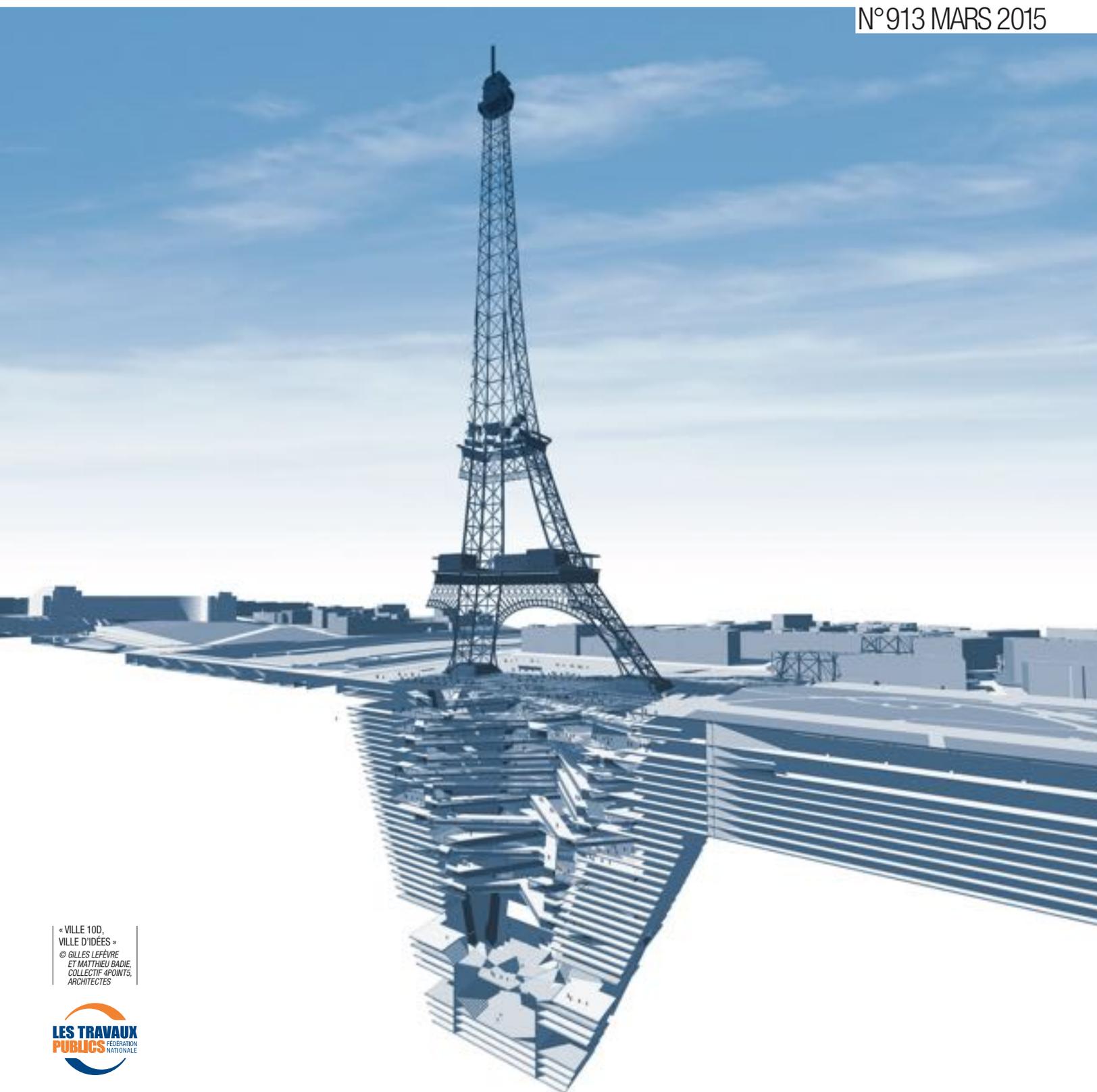


TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

TRAVAUX SOUTERRAINS. CROSSRAIL COMPENSATION GROUTING. RENOVATION DU TUNNEL DE LA CROIX-ROUSSE. VILLE 10D, VILLE D'IDÉES. PASSAGE SOUTERRAIN DU PARC DES PRINCES. LE PLUS LONG FONCAGE DU CONTINENT AFRICAIN REALISE AU MAROC. MISE EN SECURITE DES TUNNELS AMBROISE PARE ET DE SAINT-CLOUD. REALISATION DE TROIS GALERIES SOUTERRAINES A CHATELET-LES-HALLES. TRESORS DE NOS ARCHIVES : LE TUNNEL ROUTIER SOUS LE MONT BLANC - TRAVAUX COTE ITALIE

N°913 MARS 2015



« VILLE 10D,
VILLE D'IDÉES »
© GILLES LEFÈVRE
ET MATHIEU BADIE,
COLLECTIF 4POINTS,
ARCHITECTES



SOLDATA

**Votre 6^e sens pour
maîtriser vos risques**

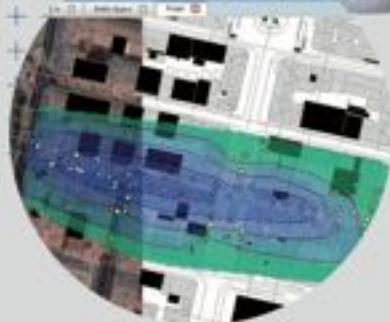
Solutions de détection
et monitoring

Ingénierie et conseil

Étude d'impact
Design, installation, maintenance
Mesure et interprétation

**Instrumentation
et monitoring**

Capteurs
Monitoring géotechnique et structurel
Surveillance par satellite
Études géophysiques
Mesures bruit, vibration, environnement



**Technologies
de l'information**

Plateforme WebSig
Données temps réel
Alarmes automatiques
Outils d'aide à la décision

**Solutions pour la maîtrise des risques
structuraux, géotechniques
et environnementaux liés aux projets
d'infrastructures souterraines**

www.soldata.fr
www.soldatagroup.com



Directeur de la publication

Bruno Cavagné

Directeur délégué

Rédacteur en chef

Michel Morgenthaler

3, rue de Berri - 75008 Paris

Tél. +33 (0)1 44 13 31 03

morgenthalerm@fntp.fr

Comité de rédaction

Hélène Abel (Ingérop), David Berthier (Vinci Construction France), Sami Bounatirou (Bouygues TP), Jean-Bernard Datry (Setec), Philippe Gotteland (Fntp), Jean-Christophe Goux-Reverchon (Fntp), Laurent Guilbaud (Saipem), Ziad Hajar (Eiffage TP), Florent Imbert (Razel-Bec), Claude Le Quééré (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°0116 T 80259

ISSN 0041-1906

LE GRAND PARIS EXPRESS ENTRE EN PHASE TRAVAUX



© SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS - THOMAS GOGNY

2015 c'est l'année au cours de laquelle le Grand Paris Express passe en mode travaux. Il s'agit bien sûr pour l'instant des travaux préparatoires de déviation des réseaux concessionnaires qui démarrent dans les prochains jours sur la Ligne 15 Sud. C'est un début et les défis à venir sont encore nombreux notamment en matière de construction. En effet, le Grand Paris Express ce sont 69 gares, près de 250 puits de ventilation et d'accès pompiers, 180 km de tunnels et 15 km de lignes en viaducs, autant d'ouvrages dont les méthodes constructives seront adaptées à leur environnement local, privilégiant la sécurité du chantier et la minimisation des impacts lors de l'exécution des travaux. Le projet mobilisera tout le savoir-faire des entreprises du BTP. Par exemple sur le plan géologique et hydrogéologique, il traverse des nappes d'eaux souterraines et des couches géologiques aux caractéristiques très diverses, souvent dans des environnements complexes (présence d'anciennes carrières, de zones de dissolution de gypse, des argiles plastiques, des argiles vertes, présence de nappes captives,...). Près de 2 500 sondages ont déjà été réalisés sur tout le réseau et deux puits avec galeries de reconnaissance sont en cours, de façon à permettre aux maîtres d'œuvre et aux entreprises d'optimiser les procédés constructifs.

Les travaux s'échelonnent entre 2016 et 2030, avec un planning de réalisation très cadencé. Fin 2016-début 2017, les cinq premiers tunnels se frayeront un chemin sous les réseaux de transports existants, les réseaux urbains, les fondations d'immeubles à plus de 20 m de profondeur pour construire le tunnel de la ligne 15 Sud, montrant ainsi l'ampleur du projet.

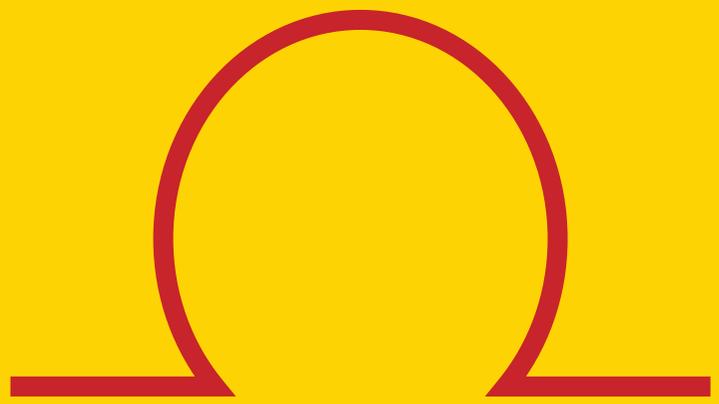
Les enjeux environnementaux du projet sont pris en compte dès sa conception : qualité de l'air, ressource en eau, gestion du bruit, protection des milieux naturels, des paysages, du patrimoine architectural, adoption d'une gestion durable de la consommation d'énergie et d'eau, par exemple en traitant ou en réutilisant les eaux usées issues du lavage des trains pour chaque site de maintenance ou de remisage des rames. Sans oublier l'élimination des déblais de chantier, une problématique qui sera gérée en adéquation avec le Plan régional d'élimination des déchets de chantier du bâtiment et des travaux publics. Dès la phase de conception, la Société du Grand Paris a aussi pris en compte le risque inondation, aussi bien en phase travaux qu'en phase d'exploitation, par l'étude de dispositifs de protection contre les crues et nous étudions aussi le recours aux énergies renouvelables comme le photovoltaïque ou la géothermie.

Les premiers appels d'offre pour les travaux de génie civil seront lancés à partir du mois de septembre prochain. Nous savons combien la filière du BTP est mobilisée pour anticiper les questions de formation, d'emploi et en particulier en direction des jeunes d'Île-de-France. Avec la Fntp, la Société du Grand Paris organisera des rencontres sur l'économie des marchés, l'insertion sociale et professionnelle et le développement durable qui permettront à tous d'accéder à de nouvelles informations et de nous enrichir de propositions.

PHILIPPE YVIN

PRÉSIDENT DU DIRECTOIRE DE LA SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS

LISTE DES ANNONCEURS : SOLDATA, 2^e DE COUVERTURE - SEFI-INTRAFOR, P.7 - INTERMAT, P.9 - CNETP, P.13 - SMA BTP, P.16 - SPIE FONDATIONS, 3^e DE COUVERTURE - SOLETANCHE BACHY, 4^e DE COUVERTURE - CE NUMÉRO COMPORTE UN ENCART JETÉ « INVITATION SALON INTERMAT 2015 »



TRAVAUX SOUTERRAINS



CROSSRAIL - COMPENSATION GROUTING IN LONDON © SOLETOUCHE BACHY

04 ALBUM

06 ACTUALITÉ



18

ENTRETIEN AVEC XAVIER GRUZ
ÉOLE À L'OUEST :
DES « CONTRAINTES » MULTIPLES
POUR UN CHANTIER D'EXCEPTION

22 ENTRETIEN AVEC MARYVONNE LANOË :
L'INNOVATION S'EXPRIME À INTERMAT 2015

23 LMP/CDSP : SURVEILLANCE « CLÉS EN MAIN »
DES STRUCTURES PAR CAPTEURS À FIBRES
OPTIQUES



28

CROSSRAIL
Compensation grouting
at London



38

Retour sur
**LA RENOVATION LOURDE
DU TUNNEL DE LA CROIX-
ROUSSE**



44

« **VILLE 10D** »
Un projet pour la valorisation
du sous-sol comme ressource
de la ville durable



49

**ARASEMENT DE L'USINE
DE VENTILATION**
du passage souterrain
du Parc des Princes



56

**CSM BESSAC VIENT DE
RÉALISER LE PLUS LONG
FONÇAGE DU CONTINENT
AFRICAIN**
à Casablanca (Maroc)



62

**MISE EN SÉCURITÉ DES
TUNNELS AMBROISE PARÉ
ET DE SAINT-CLOUD**
Opération complexe, sous
circulation, en milieu urbain



68

**RÉALISATION DE TROIS
GALERIES SOUTERRAINES**
à Châtelet-les-Halles



75

**TRÉSORS DE NOS ARCHIVES :
LE TUNNEL ROUTIER
SOUS LE MONT BLANC -
EXÉCUTION DES TRAVAUX
CÔTÉ ITALIE**
Numéro 338 - 1963





SOUTERRAIN DU PARC DES PRINCES CHIRURGIE LOURDE SOUS CIRCULATION DE 210 000 VÉHICULES/JOUR

À proximité de l'emblématique Parc des Princes, la mise en conformité du passage souterrain éponyme et la construction du nouveau stade Jean Bouin ont nécessité d'araser l'usine de ventilation. Cette opération a été réalisée sans coupure de la circulation du boulevard périphérique qui comporte quatre voies par sens de circulation sous trafic intense. Les travaux de déconstruction pour réduire d'un tiers en hauteur les poutres de 1 m de large par 4,4 m de haut et de 40 m de long sur 3 appuis ont nécessité des études approfondies des déformations par Egis Tunnels.

(voir article page 49).



MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION : MESURES POUR PASSER 2015



Le chiffre d'affaires du secteur sera connu à mi-2015.

L'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction voit 2015 comme une année où les sociétés vont devoir faire le dos rond avant une amélioration entrevue pour 2016. Des mesures temporaires basées sur la TVA pourraient aider à passer le cap.

« 2014 a été pire que prévu, a indiqué Didier Riou, président de l'Union nationale des industries de carrières et matériaux de construction (Unicem). Les entreprises sont beaucoup plus préoccupées par les affaires que par l'obtention de permis ou la protection de la biodiversité, c'est nouveau. »

Cela pourrait se traduire par un chiffre d'affaires inférieur aux 10 milliards d'euros de 2013⁽¹⁾. Tout dépend si les prix de vente ont compensé ou non la baisse du volume. Une première estimation du chiffre d'affaires des sociétés relevant de l'Unicem sera publiée en juin 2015, dans l'enquête annuelle de branche.

Le volume des principaux matériaux de construction - granulats, béton prêt à l'emploi, ciment, tuiles et briques, adjuvants - recule de 5% en 2014 par rapport à 2013 qui, elle, avait baissé de 1,4%.

Regardons de plus près les deux principaux matériaux, les granulats et le béton prêt à l'emploi (BPE), qui comptent respectivement pour 44 et 45% du chiffre d'affaires de la filière⁽²⁾.

Les volumes produits en 2014 ont diminué de 6% pour chacune de ces deux branches par rapport à 2013.

Les granulats sont utilisés à 79% en génie civil et voiries et réseaux divers (VRD), soit 293 millions de tonnes produites en France ou importées (2013). Le reste l'est dans le bâtiment, avec 76 millions de tonnes.

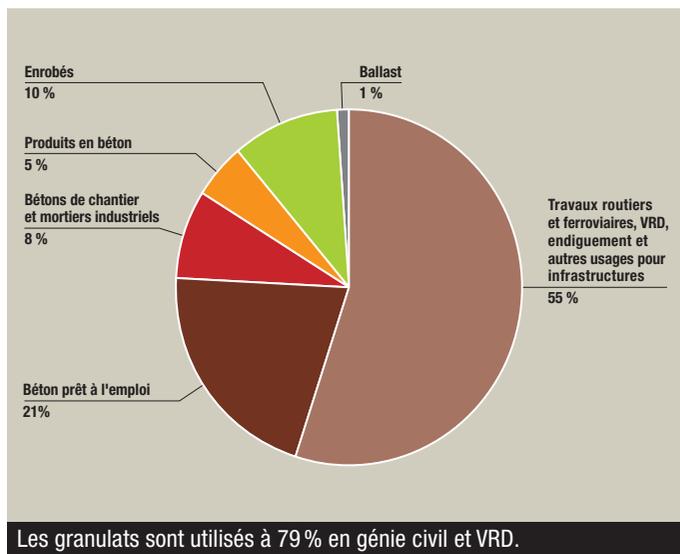
→ **Espoir au 2^e semestre**

Sur vingt-cinq ans, les granulats perdent 12% en production : 384 millions de tonnes en 1988 contre 344, en 2014, plus mauvaise année de la période. Depuis 2007, la branche recule de 100 millions de tonnes (446 à 344). Si le BPE ne tombe pas en dessous du niveau de 1988 (30,6 millions de mètres cubes), il perd 9 millions de mètres cubes en 2014 par rapport à 2007 (36,3 contre 45,2).

Pour ces deux branches, l'année 2015 va, si rien n'est fait, creuser la tendance. La commission économique de l'Unicem estime que la production de granulats va baisser de 5% et celle de BPE, de 3%, ce qui porterait le recul entre 2007 et 2015 à -27% pour les granulats et à -22% pour le BPE. Elle entrevoit toutefois une amélioration au second semestre.

→ **Agir par la TVA**

L'organisation professionnelle avance plusieurs mesures pour « passer le cap de 2015 ». Elle souhaite le déblocage de



Les granulats sont utilisés à 79% en génie civil et VRD.

la construction de logements gelés depuis l'élection de nouveaux maires en mars 2014. Elle propose que l'État exonère de TVA les collectivités locales qui s'engageraient dans des travaux d'entretien routiers ou de réseaux, ou dans le bâtiment au-delà de leur volume habituel, donc sur le volume supplémentaire réalisé en 2015. L'État pourrait aussi rembourser plus vite la TVA là où il met dix-huit mois. Ou encore des prêts bancaires pourraient être accordés sur les prévisions de remboursement de TVA d'une collectivité. L'Unicem est plus optimiste pour 2016 car les mesures du gouvernement pour soutenir l'activité devraient se concrétiser, selon son président. ■

⁽¹⁾ Enquête annuelle de branche 2013 : pierre naturelle, béton prêt à l'emploi, gypse (plâtre), granulats, matériaux de construction divers, minéraux pour l'industrie, mortiers, adjuvants.

⁽²⁾ La pierre de construction représente 7% et les produits pour l'industrie, 4% (2013).



L'effet positif des mesures gouvernementales devrait se faire sentir en 2016.

LE BTP CONSOMME 460 MT DE GRANULATS

Le bâtiment et les travaux publics consomment 460 millions de tonnes de granulats (2013). Sur ce chiffre, une petite centaine émane de la valorisation de déchets minéraux issus du BTP. À côté de quoi, 369 millions de tonnes sont produits en France ou importées (10 millions).

64^e CONGRÈS EN OCTOBRE

Le 64^e congrès de la Société de l'industrie minérale, baptisé Carrefour européen de l'industrie minérale et du recyclage, se tient du 20 au 23 octobre à Mons (Belgique), capitale européenne de la culture en 2015. www.lasim.org.



FAYAT
FONDATIONS



EXPERTS EN FONDATIONS SPÉCIALES

- SOUTÈNEMENT
- TIRANTS
- PIEUX
- MICROPIEUX
- INJECTIONS
- CONSOLIDATION
ET AMÉLIORATION DE SOLS

Fort des 4 entreprises de son pôle Fondations, le groupe Fayat dispose d'une gamme complète de solutions techniques pour tous les types de fondations et de travaux de consolidation des sols.

Les 4 sociétés Fayat Fondations apportent ainsi à leurs clients toute leur expertise en fondations spéciales et le savoir-faire de leurs équipes sur des chantiers d'envergure comme sur des travaux de proximité.



SEFI-INTRAFOR
FRONT



FRANKI
FONDATION
FRONT



SOTRAISOL
FONDATIONS
FRONT



SOLS & FONDATIONS
FRONT

FRANCHIR L'A10 À TOURS

La Communauté d'agglomération de Tours (Indre-et-Loire) lance un concours d'idées pour trouver un moyen agréable de franchir l'autoroute A10 entre Tours et Saint-Pierre-des-Corps, sa voisine, sur un tronçon de 1 km où axe routier et voies de chemin de fer se croisent.

À partir d'avril, s'y attèleront les équipes finalistes menées par des architectes ou des urbanistes.

Les résultats seront connus le 30 juin. Vinci Autoroutes et l'Agence d'urbanisme de Tours sont impliquées dans ce projet.

La démarche vise à encourager la mobilité et à reconquérir des espaces urbains. Elle s'inscrit dans une réflexion internationale, baptisée programme Passages, animée par l'Institut pour la ville en mouvement, association liée à PSA Peugeot Citroën. Des villes comme Barcelone (Espagne) ou Shanghai (Chine) y participent.

CANAL SNE : SOCIÉTÉ DE PROJET

La maîtrise d'ouvrage du canal Seine-Nord Europe va être confiée à une société de projet dédiée, suite à la proposition du gouvernement approuvée par l'Assemblée nationale fin janvier.

Un dossier devait être déposé fin février auprès de la Commission européenne afin que le projet bénéficie d'une subvention à hauteur de 40 % des travaux jusqu'à 2020.

L'ÉCONOMIE D'EAU, PARTIE PRENANTE DE L'ADAPTATION CLIMATIQUE



© LYONNAISE DES EAUX 2008

Un à deux litres d'eau sur quatre partent dans la nature en Rhône-Méditerranée.

L'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (RMC) accorde 20 millions d'euros aux projets de réduction des fuites sur les réseaux d'eau potable et aux équipements sobres en eau (arrosage, nettoyage des rues, etc.). Les collectivités locales et les entreprises doivent déposer leur dossier avant fin mai.

L'agence financera jusqu'à 50 % du montant des propositions - 40 % pour les entreprises - avec un maximum de 2 millions d'euros par opération (diagnostics, études, contrôle ou travaux).

En Rhône-Méditerranée, 1 à 2 litres d'eau potable sur 4 fuient dans la nature. Les collectivités avaient l'obligation, quand leur réseau a un mauvais rendement, de faire son inventaire et de définir un plan d'actions à fin 2013⁽¹⁾.

La démarche de l'Agence de l'eau RMC s'inscrit dans le plan de bassin d'adaptation au changement climatique adopté en mai 2014 par les 5 conseils régionaux de la Franche-Comté au Languedoc-Roussillon avec le préfet coordonnateur de bassin et le président du comité de bassin.

→ Mesures sans regret

Les économies d'eau potable font partie des mesures que les collectivités peuvent prendre pour s'adapter au changement climatique - dont la sécheresse -, en réponse au plan national sur ce thème instauré en 2011 et timidement mis en œuvre. Ce plan animé en région par l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) vise à mieux appréhender la vulnérabilité aux changements climatiques et à agir pour éviter les dommages. « Il faut adopter en premier lieu les mesures dites sans regret,

c'est-à-dire bénéfiques même en l'absence de changement climatique, par exemple, promouvoir les économies d'eau dans tous les secteurs, » indique Pierre Vignaud, responsable déchets climat Languedoc-Roussillon de l'Ademe⁽²⁾. Signalons que Rouen a remporté le premier trophée "adaptation climatique et territoires" remis en octobre par l'Ademe. La ville a aménagé une chambre de crue et a rendu obligatoire l'élévation de l'entrée des bâtiments dans la Zac Luciline-Rives de Seine (2013-2018). Elle accroît les surfaces où l'eau de pluie s'infiltre dans le sol et le stockage temporaire en toiture. Tout ce qui rafraîchit - espaces verts, ombre, rivière Luciline mise au jour, nappe exploitée en climatisation - est mis à contribution. ■

⁽¹⁾ Cf. Travaux octobre 2014, p. 10.

⁽²⁾ Lire Ademe & vous, mars 2014, pp 7-13.



© DEVILLERS ET ASSOCIÉS/L. PERRAUD

Mise au jour de la rivière dans la future Zac Luciline-Rives de Seine à Rouen gagnante du trophée d'adaptation climatique.

DÉBLOQUER LES AIDES DES AGENCES DE L'EAU

Les Canalisateurs de France se mobilisent face à la baisse des travaux d'eau potable et d'assainissement.

Les entrepreneurs du secteur ont perdu 9 % de leur activité en 2014 par rapport à 2013. Les agences de l'eau, source de subventions, sont privées de 175 millions d'euros au profit du budget de l'État sur trois ans (2015-2017). Les collectivités voient leurs dotations publiques diminuer.

Les Canalisateurs préconisent cinq mesures de soutien à l'investissement. Ils demandent aux agences de l'eau de débloquer une aide pour les projets normalement financés par les départements et voudraient que leurs aides soient dissociées des leurs.

Ils aimeraient que les subventions soient versées aux collectivités à jour de leur inventaire et plan d'actions et où le prix de l'eau suffit pour entretenir le réseau. Ils encouragent les maîtres d'ouvrage à donner priorité à l'investissement sur le fonctionnement et à se faire assister en ingénierie financière.



© SMTH

Le prix de l'eau doit être suffisant pour entretenir le réseau.

CONSTRUIRE L'AVENIR ENSEMBLE

EXPERTISE - INNOVATION - NETWORKING

20-25 Avril 2015
Paris-Nord Villepinte - France

INTERMAT
Paris

Exposition Internationale de Matériels et Techniques
pour les Industries de la Construction et des Matériaux.



Votre badge gratuit sur | **code**
www.intermatconstruction.com | **PROMOFR**

INFOLIGNE :
+33 (0)1 43 84 83 86

un événement
comeXposium
The World in It

INTERMAT Paris
70 avenue du Général de Gaulle
92058 Paris La Défense Cedex - FRANCE
E-mail : contact@intermatconstruction.com



EMPLOI DES GÉOSYNTHÉTIQUES

Les recommandations pour l'emploi des géosynthétiques dans les systèmes de drainage et de filtration ont été mises à jour par le Comité français des géosynthétiques (1^{re} édition en 1986).

Le fascicule de 54 pages précise les éléments du dimensionnement ainsi que les règles de l'art de l'emploi de ces matériaux selon les ouvrages dans lesquels ils sont insérés, sauf ceux où interviennent des phénomènes physico-chimiques.

PRÉVENIR LES DÉSORDRES

Le document « Construction : qualité et performance » est destiné à ceux qui forment les apprentis. Il est consacré à la prévention des désordres dans les points sensibles du bâti : fondations, infrastructures, structures et gros œuvre. Présenté sous la forme d'une clé USB, il est le fruit d'un partenariat entre le Comité de concertation et de coordination de l'apprentissage du bâtiment et des travaux publics, l'Agence qualité construction et la Fondation d'entreprise Excellence du groupe SMABTP.

TERMINAL ABANDONNÉ

Le projet de terminal méthanier par Shell et Vopak dans le port de Fos-Marseille a été abandonné.

Les actionnaires - la Société des pétroles Shell et Vopak LNG Holding BV - ont estimé qu'il y avait trop d'incertitudes sur le marché européen du gaz naturel liquéfié pour concrétiser l'investissement de 700 millions d'euros (Travaux avril-mai 2014, p. 11).

TRANSPORT EN COMMUN : 100 PROJETS AIDÉS



© CAEN LA MER

La première ligne de tramway de Caen (Calvados) va passer du pneu au rail.

Une centaine de projets d'infrastructures de transport et de mobilité durable vont recevoir une subvention publique suite au 3^e appel à projets transport collectif. Il s'agit de transport en commun en site propre (TCSP), d'amélioration de réseaux de bus, tout ce qui facilite le report modal (passerelle, pôle, signalétique) et de parkings à vélos.

Parmi les opérations les plus coûteuses, citons la transformation de la ligne 1 du tramway de l'agglomération de Caen (Calvados) qui passe du pneu au rail. Avec la deuxième ligne du tram, les travaux s'élèvent à 230 millions d'euros subventionnés à près de 10%. Autres projets importants : les travaux sur les métros du Grand Lyon et de Labège

(Haute-Garonne), les tramways d'Angers (Maine-et-Loire) et de Marseille, et les TCSP à Nîmes (Gard).

→ 54 lauréats avec des bus

Les 99 projets représentent un investissement total de 5,2 milliards d'euros. À côté des subventions, des prêts sont accordés par la Caisse des dépôts. L'Agence de financement des infrastructures de transport de France apporte 450 millions d'euros.

Notons parmi les futures infrastructures, du transport par câble par exemple à Orléans/Les Aubrais (Loiret), des navettes fluviales à la Communauté urbaine de Bordeaux, ou maritimes dans le Boulonnais (Pas-de-Calais) et avec le syndicat des transports en commun Ouest Étang de Berre (Bouches-du-Rhône). Les bus sont impliqués dans 54 projets lauréats de l'appel d'offres.

Le soutien financier aux transports en commun vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre, la pollution et la congestion urbaine. ■

ÉQUIPEMENTS DE CHANTIER AU RALENTI

Les équipementiers du BTP verront leur chiffre d'affaires reculer de près de 10% au premier semestre par rapport au 1^{er} semestre de 2014, selon le baromètre de la Ficime, fédération des entreprises internationales de la mécanique et de l'électronique. L'année 2014 a pourtant été positive pour les engins de chantier avec +1,6% de chiffre d'affaires.

Les moteurs industriels donc ceux des engins, activité rassemblée dans le Simotherm, tirent bien leur épingle du jeu. « L'obligation d'opter pour des modèles moins polluants à fin 2014 a fait flamber ce marché de 16% sur 2014, » explique Alain Rosaz, président de la Ficime. Cette embellie se calme au 1^{er} semestre 2015. Le manque de débouchés actuels pour le BTP engendre un comportement frileux des entreprises. Les matériels sont conservés un an et demi de plus que par le passé, ce qui s'explique aussi par leur plus grande fiabilité. « Il faudrait une croissance de plus de 1,5% du chiffre d'affaires pour voir redémarrer les ventes de matériel, ce sera peut-être en 2016-2017, estime Jean-Marie Osdoit, président du Syndicat du matériel de travaux publics, mines et carrières, bâtiment et levage, manutention, membre de la Ficime. Une progression de 2% de l'ac-

tivité en BTP augmente les ventes de matériel de 30%. »

→ France, plate-forme vers l'Afrique

La Ficime cherche à contrer le ralentissement des ventes en mécanique et en électronique. Elle voudrait que les entreprises internationales implantent leur siège ou leur centre européen (formation, après-vente, logistique) en France. Elle travaille avec Business France⁽¹⁾ pour que les candidats n'aient qu'un seul inter-

locuteur et qu'un crédit d'impôt compétence leur soit attribué. Selon la Ficime, la France est bien placée pour servir de plate-forme à un commerce avec l'Afrique, zone en fort développement en mécanique et qui représente déjà jusqu'à 20% de l'activité de certains. Cela suppose la création d'un guichet Réexport avec BPI France et la Coface. ■

⁽¹⁾ Fusion d'UBI France et de l'Agence française pour les investissements internationaux.



© JCB

L'importation et la distribution de matériel de chantier reprendront des couleurs avec la reprise des investissements dans le BTP.

ABAISSEZ LE COÛT DE L'ÉOLIEN EN MER



© JAN OELKER-GLOBAL TECH 1 / AREVA WIND

Installation de 80 éoliennes Areva en mer du Nord allemande, été 2014.

Le mégawattheure produit par une éolienne en mer revient à 200 euros. Le même en éolien à terre coûte 85 euros. L'électricité solaire photovoltaïque est à 100 euros/MWh contre 200 euros/MWh il y a six ans. « Au Danemark, elle coûtait 140 euros/MWh en 2013 et il est prévu qu'elle descende à 93 euros avec des machines à raccorder en 2019, » a précisé Filippo Cimentan, responsable éolien terrestre de Siemens France, lors d'une conférence du Syndicat des énergies renouvelables (Ser).

Si l'éolien dit offshore est cher, il a toutefois des atouts. « Les éoliennes en mer produisent deux fois plus de kilowattheures que celles à terre parce que les vents y sont, plus souvent et plus longtemps, à des régimes où elles peuvent atteindre leur puissance maximale, indique Philippe Kavafyan, président de ce pôle au Ser et directeur France éolien en mer d'Areva⁽¹⁾. Les machines sont adaptées au climat marin et à la difficulté d'accès. Outre le pilotage à distance, les composants fragiles sont protégés de l'air salé par des filtres et certains équipements comme les pompes de lubrification, sont posés en double. »

→ Modéliser turbine et fondations

Comment abaisser le prix de l'électricité d'origine éolienne marine ? « Les économies viendront de la modélisation de l'ensemble turbine plus fondations, estime Louis-François Durrel, directeur énergies renouvelables Areva. Nous pouvons aussi agir sur l'installation et le démarrage. » Les efforts peuvent porter sur tous les postes sachant que la turbine (rotor à 3 pales, nacelle, mât) compte pour 40% du coût, les fondations 30-40%, la sous-station 15%, et les câbles 5%, installation comprise hors raccordement au réseau électrique.

Selon le Ser, l'investissement diminuera de 20-30% d'ici à 2030 et l'exploitation, dans les mêmes proportions. Les industriels ont pour objectif d'installer 15 000 MW en France d'ici à 2030 également, considérant que nos quatre façades maritimes, les ports et les entreprises sont favorables à une telle croissance. Le Royaume-Uni vise 40 000 MW offshore sur la même période.

→ Machines adaptées à chaque site

La France n'est pas en avance. Les zones maritimes pressenties pour participer au 3^e appel à manifestation d'intérêt (AMI)

sont en concertation au moins jusqu'au 30 avril. Selon les industriels, l'État devrait organiser des appels à projets réguliers et faire jouer la concurrence. La profession propose que ces installations soient soumises à une autorisation unique et que les délais de recours contre elles soient raccourcis.

« Pour structurer la filière, il faut un volume à l'export équivalent à celui en France, » assure Denis Cochet, président France Alstom Holding. Il y a un marché à l'export vers l'Asie, selon Areva. « Le nombre de machines par site est limité et, chaque fois, il faut les adapter, » observe Antoine Cahuzac, directeur général d'EDF énergies renouvelables.

→ Du concret à partir de 2019

En France, les premières fermes éoliennes offshore ne seront mises en service qu'en 2019. Six projets sont attribués en Basse et Haute-Normandie, Bretagne, Pays-de-la-Loire et Picardie. D'autres régions sont candidates à l'accueil de nouveaux parcs : Aquitaine, Languedoc-Roussillon, Poitou-Charentes et Provence-Alpes-Côte d'azur. ■

⁽¹⁾ Les éoliennes s'arrêtent si les vents sont trop puissants.

PROJET C2ROP

Le projet national "chutes de blocs, risques rocheux et ouvrages de protection" (C2ROP) a été lancé début mars. Il fédère les acteurs français des risques naturels et relève du cluster Infrastructures durables Rhône-Alpes (Indura).

Le Réseau génie civil et urbain lui a accordé un caractère national. L'institut pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil (Irex) l'administre.

Le C2ROP veut construire une chaîne d'outils coordonnés de l'aléa, du risque et des parades et mettre les produits de la recherche à disposition des maîtres d'ouvrage et des industriels. www.c2rop.fr



© C2ROP

La protection aux risques naturels doit progresser face à leur plus grande fréquence. Ici, un écran protecteur.

25 ANS DE LA REVUE SEI

Le viaduc de Millau figure parmi les cinq ouvrages plébiscités par les lecteurs de Structural Engineering International (SEI), revue de l'International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE) basée en Suisse. La revue qui fête ses 25 ans, en avait proposé 25.

À ce palmarès, également : la tour Burj Khalifa (Dubai), le pont de Sunniberg (Suisse), le pont Charilaos Trikoupis (Rion Antirion, Grèce) et la liaison du Grand Belt (18 km, Danemark).

REFONTE DES INDEX TP

La liste des index travaux publics, reflétant la réalité des coûts des entreprises dans chaque spécialité, a été actualisée par la Fédération après soumission à l'Insee. Ces index servent à réviser les prix des marchés publics.

BOUYGUES EN AZERBAÏDJAN

Bouygues Travaux Publics a signé fin 2014 la conception et la construction d'une station de métro à Bakou (Azerbaïdjan), un marché de 147 millions d'euros. La filiale de Bouygues Construction a démarré les travaux en février pour trois ans. Il s'agit de séparer deux lignes de métro qui, actuellement, partagent les mêmes quais. Le chantier commence par la création à 25 m de profondeur de deux cavernes autour du métro existant, afin de construire les nouveaux tunnels.

Les techniques du jet grouting et de la congélation des sols seront utilisées du fait d'un site urbain dense et d'une géologie difficile.

SOLETANCHE FREYSSINET SE RENFORCE EN AMÉRIQUE DU SUD

Soletanche Freyssinet, division métiers du sol, des structures et du nucléaire de Vinci Construction, s'ouvre le marché de l'Amérique latine en portant à 100% sa participation dans le capital de Freyssinet Espagne. Celle-ci a réalisé 80% de son chiffre d'affaires - 120 millions d'euros en structures et sols renforcés (2013) - en Amérique du Sud. Elle est active également au Mexique.

CNPP À MADAGASCAR

CNPP, entreprise spécialisée dans la formation et l'assistance technique en sécurité incendie et santé-sécurité au travail, développe son activité à Madagascar, Mayotte et l'Île Maurice, à travers le rachat d'une partie des activités de Risk Partenaires.

ARCHITECTES FRANÇAIS AU VIETNAM



© DE-SO ARCHITECTES

Vue de la future Cité de l'architecture et de l'urbanisme à Ho-Chi-Minh-Ville (Vietnam).

La Cité de l'architecture et de l'urbanisme de Hô-Chi-Minh-Ville (ex-Saïgon) prend corps. Ses fondations ont été coulées. Le sous-sol était en chantier en janvier. De-So, agence des architectes François Defrain et Olivier Souquet, voit ses efforts aboutir pour s'implanter au Vietnam.

Le bâtiment sera le lieu d'information sur le développement du quartier de Thu Thiem où il se trouve, dans un méandre de la rivière Saïgon en cours d'urbanisation suite au déplacement du port en aval. Les fondations en béton porteront une enveloppe en acier conçue par RFR, bureau d'ingénierie. « C'est le matériau qui permettait le mieux d'avoir un porte-à-faux en façade », explique Olivier Souquet. Le porte-à-faux reçoit un écran d'information, protège les piétons de la pluie et du soleil. La Cité, évaluée à

15 millions d'euros HT, abritera des salles d'exposition et de conférences avec les services associés sur 18 000 m² (3 500 au sol). Le Comité populaire d'Hô-Chi-Minh-Ville, maître d'ouvrage, confie l'opération à un investisseur privé.

→ L'eau présente partout

La mise en route du chantier de la Cité a été relativement rapide puisque De-So a remporté ce marché en 2012. L'aménagement des espaces publics de Thu Thiem dont l'agence a été lauréate en 2008 avec Christine Dalnoky, paysagiste, met plus de temps à démarrer. Le projet couvre 25 ha dont une place de 1,5 km de long et les berges proches.

La vision urbaine de De-So a plu parce qu'elle prend en compte la relation à l'écologie - la géographie et l'eau visible qui structure les sols - et l'identité, par l'emploi de matériaux traditionnels.

L'agence connaît bien les questions relatives à l'inondabilité mais elle entend aussi s'appuyer sur le savoir-faire des Vietnamiens et le préserver.

« Les Français savent assez bien concevoir des espaces publics sans bétonner comme les Anglo-Saxons et sans recourir à des équipements techniques consommateurs d'énergie, estime Olivier Souquet. Nous nous sommes attachés à offrir une vie en surface dans la rue. Il fait très chaud à Hô-Chi-Minh-Ville et la brise du soir incite les habitants à sortir à ce moment-là. »

→ Avec un architecte vietnamien

En ce début d'année, l'agence De-So implante une structure au Vietnam avec l'architecte Duy Nguyen Khanh qui collabore avec l'agence depuis six ans et dont le rôle a été déterminant pour s'introduire dans le pays. « C'est important d'être sur place et nous avons pu y consacrer du temps à une période faste de notre activité, témoigne M. Souquet. Même si les architectes ne sont pas très respectés, leurs compétences en innovation, cohérence, bâtiments publics et organisation fonctionnelle sont appréciées. »

De-So a déjà travaillé sur plusieurs autres sites vietnamiens. Par exemple, elle a dessiné en 2013 le plan masse de l'université Van Lang à Hô-Chi-Minh-Ville. « Nous voulons être présents sur des sites d'enseignement, une de nos spécialités », précise M. Souquet. À partir de la ville de l'extrême-sud du Vietnam, l'agence s'investira plus facilement en Asie du Sud-Est. ■



© DE-SO ARCHITECTES

Proposition d'aménagement des espaces publics du quartier Thu Thiem au bord de la rivière Saïgon (Vietnam).



CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

Nos missions :

- assurer le service des congés payés auprès des salariés des Travaux Publics
- procéder au remboursement des indemnités de chômage-intempéries versées par les employeurs de la Profession.

La CNETP regroupe **7 400 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues à plus de **270 000 salariés**.

Nos coordonnées :

· Par courrier :

31 rue le Peletier - 75453 PARIS CEDEX 09

· Par Internet : www.cnetp.fr

· Par mail : sur www.cnetp.fr, lien [nous contacter](#)

· Par téléphone :

- pour les entreprises : 01.70.38.07.70

- pour les salariés : 01.70.38.07.77

· Serveur vocal (24h/24) : 01.70.38.09.00



INNOVATIONS MAISON



Le bloc Eco'nergy s'installe sur la pelleuse et diminue la consommation d'énergie du bras.

© BOUYGUES CONSTRUCTION

Tous les deux ans, Bouygues Construction récompense les innovations de son personnel. Fin 2014, 38 inventions ont reçu un prix. Neuf cents dossiers avaient été déposés. Ces trouvailles sont ensuite diffusées dans l'ensemble du groupe. Elles portent sur tous les métiers. Nous développons ici quelques-unes sur chantier.

Le premier prix technique revient à deux tunneliers. Le tunnelier hybride est un mélange d'un modèle à pression de terre et d'un à pression de boue. Il s'adapte à la variété des terrains le long d'un forage. Le tunnelier dit multi-diamètre creuse des tunnels dont la section varie en cours de réalisation.

Le premier prix innovation terrain revient à un marteau "passe-partout" à frappe précise dans les angles difficiles. Pour la première fois depuis 2006, année où a débuté cette compétition, des prix spéciaux ont été décernés. Parmi eux, citons celui du jury accordé à la démarche tunnels de Bouygues Travaux Publics. Commencée il y a trois ans dans les tunnels de grande profondeur, elle a permis de développer des outils tous tunnels pour une meilleure ergonomie et plus de productivité des tunneliers.

→ Boîtier de décompression

Le prix spécial santé-sécurité a été attribué au D'Colpano, outil de décoffrage des panneaux sans pied de biche ni barre à mine, et sans abîmer le béton ni le panneau.

Le prix ergonomie revient au boîtier de décompression B07 qui facilite le retrait des tiges d'entretoises des banches. Enfin, un fournisseur d'équipements est impliqué dans le prix partenariats remporté par la Pelle Eco'nergy.

Il a participé à l'amélioration des performances du bras mécanique des pelleuses.

Un appareil récupère l'énergie hydraulique dégagée lors de l'abaissement du bras pour assister la remontée, d'où un moindre appel au moteur de l'engin. ■



Le D'Colpano, outil qui décoffre facilement et en sécurité, a remporté le prix santé-sécurité.

© BOUYGUES CONSTRUCTION

CHAUSSÉE RÉSERVOIR

Le sol devant le centre de loisirs de Boisseuil (Haute-Vienne) est en béton drainant. La ville, voisine de Limoges, a opté pour une chaussée réservoir à travers laquelle les eaux de pluie s'écoulent jusque dans sa structure. Cette solution pour voirie légère évite ruissellement et flaques d'eau lors de fortes averses et l'engorgement des réseaux d'assainissement. Ici, elle est couplée à une noue (fossé plat) et à un théâtre de verdure. Le revêtement a été produit par Lafarge et mis en œuvre par Massy TP. Le centre, conçu par Ingénierie-Concept-Construction, a reçu un prix gestion de l'eau du Syndicat national du béton prêt à l'emploi au dernier Salon des maires.

GRUPE À BATTERIE

Ce groupe électrogène hybride est couplé à des batteries de stockage qui se chargent quand le moteur fonctionne à sa pleine puissance. Lors de besoins d'énergie plus faibles, les batteries prennent le relai du moteur. Elles peuvent être alimentées par des capteurs photovoltaïques, une éolienne ou sur une prise secteur. Il est possible de connaître à distance le niveau d'énergie (stockage et carburant).
Avantages : économie de carburant et fonctionnement à moindre bruit, selon JCB.

RÉFECTION D'UN PONT-RAIL



© SNCF

La route passe à deux voies sous le pont avec deux trottoirs et une piste cyclable.

Le pont de la gare de Louvres (Val-d'Oise) va être reconstruit et élargi. Actuellement, son ouverture n'abrite qu'une voie et un trottoir, d'où une circulation alternée alors même que de 500 à 900 véhicules passent par là (RD 184) aux heures de pointe. Chaque jour, la gare accueille près de 4 000 voyageurs. Sur les voies, circulent 90 RER et 120 TER. Elle va être transformée en pôle multimodal avec gare rou-

tière, parking relais et parc à vélos sécurisé, dans le cadre de l'aménagement d'un écoquartier sur Louvres et sa voisine, Puisieux-en-France. La population des deux communes va presque doubler pour atteindre 21 000 habitants, selon l'Établissement public d'aménagement (EPA) Plaine de France qui prévoit d'y construire 3 340 logements. La reconstruction du pont-rail de Louvres, constitué de deux ouvrages successifs,

a commencé fin 2014. Les deux parties sont préfabriquées le long des voies de chemin de fer et seront posées par ripage en mai. La route départementale mesurera 11,80 m au lieu de 7. Elle sera à double sens à partir de septembre. Une bande de l'un des deux trottoirs sera cyclable.

→ 10 millions d'euros

L'élargissement du pont rail coûte près de 10 millions d'euros à RFF, maître d'ouvrage, qui reçoit l'aide de l'EPA Plaine de France, de la Région Île-de-France et du Conseil général du Val-d'Oise. ■



© J.P.H. HOUDRY

Ancien pont-rail à circulation alternée.

RÉPERTOIRE DES FOURNISSEURS

TRAVAUX

DEPUIS 1917, LA REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

Nous vous invitons à découvrir prochainement dans **TRAVAUX**, une nouvelle présentation du répertoire des fournisseurs de matériels, équipements ou services. Des rubriques simplifiées pour une meilleure identification des métiers, nouveaux formats publicitaires pour optimiser la lisibilité des annonceurs. Nous sommes à votre disposition pour vous commenter et réserver l'emplacement publicitaire de votre choix.

Pour réserver contactez **Rive média** :

Bertrand COSSON
Tél. 01 42 21 89 04
b.cosson@rive-media.fr

Carine REININGER
Tél. 01 42 21 89 05
c.reininger@rive-media.fr

HISTOIRE DE LA CONSTRUCTION : TOME 2

Voici le second volume de l'*Histoire de la construction* de Xavier Besançon et Daniel Devillebichot. Le premier, paru fin 2013, portait sur une longue période, de la Gaule romaine à la Révolution française.

Celui-ci va du XIX^e siècle à aujourd'hui. Au XIX^e, la construction métallique prend

son essor tandis que ciments et béton modernes sont mis au point et trouveront leur place au début du XX^e. Le secteur se lance dans l'industrialisation avec plus ou moins de bonheur, selon les auteurs.

L'ouvrage de 470 pages est abondamment illustré (700 reproductions).

Il décrit les progrès de la construction des bâtiments, des ouvrages d'art et des réseaux de façon chronologique et sous tous leurs aspects : technique, financier, architectural, méthodes.

Il comprend une bibliographie mais pas d'index.

www.eyrolles.com ■



INFRACTIONS PÉNALES DANS LA CONSTRUCTION

Cet ouvrage de droit contribue à l'identification des risques dans la construction. Intitulé *Les infractions pénales dans les opérations de construction*, il s'efforce d'en présenter tous les types. Les auteurs, Pascaline Dechelle-Tolot et Alexandre de Konn, précisent pour chaque infraction qui est res-

ponsable et quelle sera la sanction. Le livre de 280 pages s'intéresse aux problèmes qui peuvent surgir à tout moment depuis le choix du terrain jusqu'à l'édification en passant par le chantier. Chaque étape relève de personnes différentes et de textes juridiques spécifiques. La préface est signée d'un

des spécialistes en droit pénal de l'urbanisme, Jacques-Henri Robert (Université Panthéon-Assas, Paris).

Le livre, distribué par internet ou en librairie, est destiné aux entreprises du bâtiment et des travaux publics, aux architectes, assureurs et avocats.

Éditions Lamy Axe Droit ■



ACIER : RÉHABILITATION DES ENVELOPPES ET DES PLANCHERS

Voici un livre très concret sur la réhabilitation des constructions mettant en œuvre de l'acier. Il propose des solutions à travers des exemples réels, de nombreux schémas très détaillés, des écorchés et de belles photos. Il aborde les façades, les toitures,

les écrans perforés, planchers et extensions.

L'auteur, Pierre Engel, qui a déjà publié le *Guide de la réhabilitation par l'acier à l'usage des architectes et des ingénieurs*, destine son deuxième ouvrage sur ce thème - *Guide de la réhabilitation*

des enveloppes et des planchers - au même public.

L'ouvrage de 180 pages, à couverture rigide et papier glacé, est coédité par Construiracier et Arcelor Mittal, et vendu par Eyrolles.

www.editions-eyrolles.com ■



STATUT JURIDIQUE DE L'EAU ET ENVIRONNEMENT

L'ouvrage de Julia Gudéfin propose une nouvelle vision du statut juridique de l'eau au regard des exigences environnementales. Elle critique dans le détail les qualifications et classifications juridiques habituelles et les confronte aux

réalités physiques et écosystémiques de l'eau. Sur 860 pages, elle étudie notamment l'influence de critères comme la répartition de l'eau entre tout le monde, du fait de sa rareté et au nom de l'intérêt général, le concept de solidarité écolo-

gique et celui de ressource partagée (transfrontalière, entre bassins). Elle termine par le droit à l'eau.

Jusqu'à présent, le statut juridique de l'eau relève surtout du droit des biens.

www.editions-johonet.com ■



Privilégier
la sécurité,
accéder à
la performance,

c'est
possible?



BATIRETRAITE MultiCompte – SMAVIE –

Le contrat
d'assurance-vie qui
associe plusieurs
supports financiers



pour une épargne investie
à **85%** sur le support
en euros **SMAvie BTP**
et à **15%** sur l'unité de
compte **BATI ACTIONS
INVESTISSEMENT****

CONTACTEZ-NOUS



sur www.smavie.fr



en appelant
le 01 40 59 70 70



via votre
conseiller habituel

SMAVIE

* Rendement net du support en euros SMAvie BTP : 2,81 % en 2014. Après application des frais de gestion et avant prélèvements fiscaux et sociaux. Répartition de l'épargne en début de période. Performance 2014 du 27/12/2013 au 26/12/2014 - sur 2 ans : du 28/12/2012 au 26/12/2014 - sur 3 ans : du 30/12/2011 au 26/12/2014. Rendement annuel net moyen : 4,85 % sur 2 ans, 5,17 % sur 3 ans.
** Support non garanti sujet à des fluctuations à la hausse ou à la baisse dépendant de l'évolution des marchés financiers. Le capital est garanti uniquement sur les contrats et supports en euros. Les performances passées ne préjugent pas des rendements futurs.

SMA

SMAvie BTP, société d'assurance mutuelle à cotisations fixes, entreprise régie par le Code des assurances – RCS PARIS 775 684 772 – 114, avenue Émile Zola – 75739 PARIS Cedex 15

AGENDA

ÉVÉNEMENTS

• 19 AU 24 AVRIL

World Geothermal Congress 2015

Lieu : Melbourne (Australie)
www.wgc2015.com.au

• 20 AU 25 AVRIL

Intermat, matériels et techniques pour les industries de la construction et des matériaux

Lieu : Paris (Villepinte)
www.intermatconstruction.com

• 23 AU 25 AVRIL

Congrès structures

Lieu : Portland (Oregon, États-Unis)
www.structurescongress.org

• 10 AU 13 MAI

Innovations en mécanique des roches

Lieu : Montréal (Canada)
www.isrm2015.com

• 11 ET 12 MAI

Cigos 2015, géotechniques des ouvrages et structures

Lieu : Cachan (Val-de-Marne)
www.cigos.org

• 13 AU 15 MAI

Élégance des structures

Lieu : Nara (est d'Osaka, Japon)
www.iabse.org

• 18 AU 20 MAI

Innovation et conception du béton

Lieu : Copenhague (Danemark)
www.fibcopenhagen2015.dk

• 19 ET 20 MAI

Valoriser les matériaux alternatifs en technique routière

Lieu : Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône)
www.cerema.fr

• 22 AU 28 MAI

Congrès international sur la construction de tunnels en Europe du Sud-Est

Lieu : Dubrovnik (Croatie)
www.wtc2015.com

• 27 ET 28 MAI

Le génie civil entre terre et mer

Lieu : Bayonne (Pyrénées-Atlantiques)
www.univ-pau.fr

• 27 ET 28 MAI

Hydrogaia, salon international de l'eau

Lieu : Montpellier
www.hydrogaia-expo.com

• 27 AU 29 MAI

Smart Grids

Lieu : La Défense, Grande Arche
www.sgparis.fr

FORMATIONS

• 18 ET 19 MAI

Comment gérer les sites et sols pollués

Lieu : Paris
http://formation-continue.enpc.fr

• 22 AU 24 JUIN

Renforcement et amélioration des sols de fondation

Lieu : Paris
http://formation-continue.enpc.fr

• 29 ET 30 JUIN

La gare : fondamentaux techniques, dimensionnement et coûts

Lieu : Paris
http://formation-continue.enpc.fr

NOMINATIONS

AITF :

Patrick Berger (Montpellier) succède à Jean-Pierre Auger à la présidence de l'Association des ingénieurs territoriaux de France.

ASTEE :

Carine Morin Batut est la nouvelle directrice générale de l'Association scientifique et technique pour l'eau et l'environnement suite au départ de Célia de Laverne auprès d'un conseiller de Paris.

BOUYGUES :

Pascal Minault occupe la direction générale de Bouygues Entreprises France-Europe (filiales bâtiment de Bouygues Construction, France et pays limitrophes).

CAISSE DES DÉPÔTS :

Stéphane Keïta pressenti pour devenir PDG de la Caisse des dépôts et consignations sera remplacé à la direction du réseau et des territoires de la CDC par Marc Abadie.

CDG EXPRESS :

Vincent Pourquery de Boisserin est le coordonnateur interministériel du projet Charles de Gaulle Express,

liaison rapide par train entre l'aéroport au nord de Paris et la capitale.

CGPME :

François Asselin a été élu président de la Confédération générale des petites et moyennes entreprises. Il succède à Jean-François Roubaud.

COMITÉ NATIONAL DE L'EAU :

Laurent Girometti y représente la Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages en remplacement d'Etienne Crépon.

DCNS :

Marie-Pierre de Bailliencourt a été nommée directrice générale adjointe chargée du développement international du spécialiste en construction navale et énergies, et Franck Le Rebeller, directeur général adjoint chargé des finances et du juridique. Olivier de la Bourdonnaye prend la direction industrielle fin mars.

EDF :

Pierre Todorov a été nommé directeur à la présidence du groupe. Il intègre le comité exécutif et devrait en devenir secrétaire général. L'Italien Simone Rossi est chargé de créer la direction internationale.

ENERGIE :

Virginie Schwarz (ex-Ademe) devient directrice générale de l'énergie à la Direction générale de l'énergie et du climat (ministères Écologie et Économie).

IGN :

Daniel Bursaux prend la direction générale de l'Institut national de l'information géographique et forestière.

ITER :

Le Français Bernard Bigot succède au Japonais Osamu Motojima à la direction générale d'Iter, installation expérimentale pour étudier la faisabilité scientifique et technologique de l'énergie de fusion (Bouches-du-Rhône).

KNAUF :

Le constructeur industriel (filiale sèche) a embauché Nicolas Ensminger comme responsable du développement des projets en Europe.

MAIRES :

François Baroin préside l'Association des maires de France, après Jacques Pelissard.

MÉDIATION DU CRÉDIT :

Fabrice Pesin a succédé à Jeanne-Marie Prost comme médiateur national du crédit.

RATP :

La déclinaison du Grand Paris au sein de la Régie autonome des transports parisiens est confiée à Arnaud Antharaman.

RÉNOVATION URBAINE :

Pierre Sallenave est remplacé par Nicolas Grivel à la direction générale de l'Agence nationale pour la rénovation urbaine. François Pupponi prend la succession de Michel Delebarre à la présidence.

SNCF :

Lucette Vanlaecke est nommée préfiguratrice de la direction du réseau territorial à SNCF immobilier. François Meyer la remplace à la direction régionale Lille de SNCF Réseau.

SNBPE :

Le collégé béton prêt à l'emploi de la région Provence/Alpes/Côte-d'Azur/Corse du syndicat est désormais présidé par Lionel Bourbon à la suite de José Lopez del Hoyo.

SPIE BATIGNOLLES :

Le développement international du groupe est confié à Stéphane Monceaux déjà président de Spie Batignolles TPCI et de Spie Fondations ainsi que directeur génie civil et fondations de Spie Batignolles. Benoît Moncade devient directeur général de Spie Batignolles TPCI.

TDIE :

Pierre Van Comewal est le délégué général de Transport développement intermodalité environnement à la suite d'Olivier Deleu.

TRAINS D'ÉQUILIBRE :

Philippe Duron préside la commission sur les trains d'équilibre du territoire, mission confiée par le secrétaire d'État aux transports.

EOLE À L'OUEST

DES « CONTRAINTES » MULTIPLES POUR UN CHANTIER D'EXCEPTION

LE TRACÉ DU RER E VERS L'OUEST, DONT LES TRAVAUX VONT DÉMARRER À L'ÉTÉ 2015, PROLONGE LE TUNNEL EXISTANT EN ALLANT D'HAUSSMANN-SAINTE-LAZARE À NANTERRE, OÙ IL ÉMERGE PRÈS DE LA GARE DE NANTERRE-LA-FOLIE AVANT DE SE POURSUIVRE, EN SURFACE, JUSQU'À LA GARE DE MANTES-LA-JOLIE, CE QUI REPRÉSENTE UN LINÉAIRE TOTAL DE 55 KM, DONT 8 KM EN SOUTERRAIN. **ENTRETIEN AVEC XAVIER GRUZ, DIRECTEUR DU PROJET**

EOLE. PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



LA RÉALISATION DE LA PARTIE SOUTERRAINE COMPORTE DE TRÈS NOMBREUSES CONTRAINTES TOUT AU LONG DE SON TRACÉ, DÈS L'ORIGINE AU RACCORDEMENT HAUSSMANN-SAINTE-LAZARE AVEC LA LIGNE EXISTANTE MAIS AUSSI, AU DELÀ, AVEC LA CRÉATION DE NOUVELLES GARES À PORTE MAILLOT ET LA DÉFENSE ET DE PLUSIEURS OUVRAGES ANNEXES.

XAVIER GRUZ, DIRECTEUR DU PROJET EOLE, MET ICI EN ÉVIDENCE LES PRINCIPALES DIFFICULTÉS RENCONTRÉES POUR LA CONSTRUCTION DE CES OUVRAGES DANS UN ENVIRONNEMENT SOUTERRAIN DÉJÀ TRÈS ENCOMBRÉ.

La prolongation à l'ouest de la ligne E du RER, dite EOLE, s'inscrit dans un réseau déjà dense de voies de communications sous Paris. Quelles sont les grandes particularités de cette opération au niveau des travaux en souterrain ?

Le projet constitue l'achèvement du réseau RER par le prolongement, à l'ouest, de la ligne E, avec une partie exclusivement urbaine dans Paris, entre Saint-Lazare et La Défense et une partie qui utilise sur plus de 47 km la voie existante entre Nanterre et Mantes-la-Jolie.



L'ensemble étant fortement interfacé avec toutes les voies de circulation existantes, les difficultés majeures résident dans la réalisation des travaux sur un réseau exploité et très sollicité. Sa singularité réside essentiellement dans la section souterraine dans Paris jusqu'à La Défense, au sein d'une interface urbaine très forte nécessitant une organisation de chantier très particulière : par exemple, l'unique point d'accès au chantier sera situé à Courbevoie.

Le projet s'insère dans des secteurs hyper-denses en surface et déjà très encombrés en sous-sol.

Nous allons réaliser des travaux d'ampleur à la Défense. Un tunnel bitube passera sous les constructions et infrastructures existantes et une gare « cathédrale » naîtra sous le bâtiment emblématique du CNIT.

Le tracé est calé, de ce fait, à une profondeur moyenne de 28 m en raison de la présence d'ouvrages de diverses natures qu'il est nécessaire de franchir en souterrain.

Pour citer les plus significatifs : un point triple à Saint-Lazare avec les lignes de métro 3, 9 et 14 qui sont franchies par un quatrième niveau, des réseaux d'eau de grand diamètre au niveau du boulevard périphérique à la porte Maillot.

La profondeur atteint 45 m au niveau de la place Charles-de-Gaulle afin de s'affranchir de contraintes liées à des ouvrages souterrains construits sous les immeubles dans ce secteur.

À La Défense, le besoin avait été identifié de s'implanter à proximité immédiate de la gare actuelle du RER A pour proposer une équivalence en matière d'offre de transport sur cette ligne. L'emplacement qui a été retenu est situé exactement sous les parkings du triangle du CNIT.

À la Défense, nous devons être au plus proche du RER A, afin de répondre à

LES INFRASTRUCTURES SOUTERRAINES

Le tracé du tunnel foré au tunnelier s'étend sur 6,1 km de la fin de l'entonnement de l'arrière-gare Haussmann-Saint-Lazare, à l'est, jusqu'au puits Gambetta, à l'ouest. Il représente donc le linéaire le plus important de l'infrastructure souterraine d'Eole. Le diamètre excavé est de 11 m. Les sections du tracé comprises entre le puits Gambetta et la gare de La Défense, à l'est, et entre la gare de La Défense et le raccordement en surface vers Nanterre-La-Folie, à l'ouest, sont construites en méthode traditionnelle (environ 1,9 km).

Elles comportent différents types d'ouvrages souterrains et notamment des parties de tunnels monotubes et bitubes. Cette configuration permet l'insertion de la gare de La Défense en quai central dans un environnement fortement contraint.

En partant du puits de départ du tunnelier (puits Gambetta) vers la gare de La Défense, les ouvrages comprennent :

- Une section en monotube d'environ 170 m de longueur,
- Un entonnement d'environ 50 m,
- Une partie en bitube de 240 m de long.

En partant de la gare de La Défense, en allant vers l'ouest, cette partie comporte plusieurs ouvrages :

- Une section en bitube de 174 m de longueur qui s'inscrit sous l'ensemble immobilier des Collines de l'Arche avec 10 m de couverture environ sous les fondations de cet ensemble,
- Un entonnement de 77 m de longueur, y compris le puits d'attaque,
- Une tranchée couverte monotube de 303 m de longueur.

1- Xavier Gruz, directeur de projet Eole.

2- Carte du prolongement vers l'ouest de la ligne E du RER (Eole).

3- Coupe longitudinale de la station La Défense, située directement sous le CNIT.

4- Gare de La Défense : vue générale des quais.

l'un des principaux objectifs du projet, la désaturation et la résilience avec le RER A.

C'est pourquoi la traversée de La Défense implique plusieurs chantiers spécifiques qui s'enchaîneront sous la tour Exaltis, sous le parking Renault, sous le CNIT, sous l'immeuble Triangle et, enfin, sous les Collines de l'Arche avant de réintégrer les emprises ferroviaires existantes.

Sur quelques centaines de mètres se concentrent des contraintes exceptionnelles qui nécessitent pour chaque chantier une attention et un traitement particuliers.

La conséquence d'un chantier très urbain engendre également une pro-

blématique complexe à gérer au niveau des matériaux. Nous nous sommes donné comme objectif d'évacuer au moins 70% des matériaux. Pour ce faire nous avons fait le choix du fluvial par la Seine, proche de Courbevoie et de Nanterre, afin de limiter au maximum les nuisances pour les riverains et de respecter leur cadre de vie.

Quelles sont les grandes caractéristiques du prolongement souterrain entre Saint-Lazare et Nanterre ?

La nouvelle infrastructure souterraine s'étend sur environ 8 km et permet la desserte de trois nouvelles gares dont deux souterraines : Porte Maillot et La Défense et une à Nanterre en surface. Le secteur compris entre la gare de Haussmann-Saint-Lazare et celle de Nanterre-La-Folie, intègre différents volets de programme : une infrastructure souterraine à créer entre la gare d'Haussmann-Saint-Lazare et Nanterre, un raccordement à la gare Haussmann-Saint-Lazare, deux gares nouvelles souterraines à créer à Porte Maillot et à La Défense, des ouvrages annexes intermédiaires importants et, notamment, un système de ventilation et de désenfumage le plus discret possible à Paris et à Neuilly-sur-Seine. S'ajoute la réorganisation fonctionnelle du plateau ferroviaire au droit du site de la future gare de surface de Nanterre-La-Folie.

Quelle est la technique mise en œuvre pour le creusement du tunnel et pour la réalisation des gares souterraines ?

La nouvelle infrastructure souterraine est principalement construite à l'aide d'un tunnelier.

Ce choix se justifie tant par le coût de réalisation du projet que par de meilleures performances compte tenu du contexte géologique. ▶

© EOLE/SED



© EOLE/SED



Le tunnelier entrera au puits Gambetta (situé sur la commune de Courbevoie) où il sera assemblé. Une chambre de démontage sera créée au bout du tunnel à proximité de la gare Saint-Lazare où il sera démantelé à la fin du creusement.

Le forage du tunnel s'effectue d'ouest en est selon un calendrier très précis. C'est ainsi que la réalisation de la gare Porte Maillot doit être achevée avant l'arrivée du tunnelier.

Deux sections vont être construites par des méthodes traditionnelles aux deux extrémités de l'infrastructure souterraine. C'est le cas de l'entonnement Haussmann-Saint-Lazare, à l'est, qui fait le lien entre l'arrière-gare existante bitube à 4 voies et le tunnel foré au tunnelier monotube à 2 voies. Il consiste à adapter ces ouvrages de section différente par une succession de chambres de dimensions différentes. Ces travaux ne peuvent être entrepris depuis l'arrière-gare car cela serait incompatible avec le maintien de l'exploitation dans les conditions actuelles. Un puits de travaux doit donc être créé à proximité pour les réaliser. Par ailleurs, la chambre de démontage du tunnelier est accolée à l'ouvrage d'entonnement.

Il en est de même pour la section entre le puits Gambetta et la tranchée couverte (reliant l'entonnement à la trémie de sortie vers la gare de Nanterre) qui est réalisée en méthode traditionnelle. Les contraintes d'encombrement du sous-sol sur le site de La Défense imposent une configuration bitube des tunnels et de la gare permettant d'améliorer la compacité des ouvrages qui sont à insérer dans un milieu très contraint.

Cette configuration induit la construction d'ouvrages d'entonnement de part et d'autre de la gare pour assurer la transition entre les tunnels bitubes et monotubes.

LE PROJET EN BREF

- **Maîtrise d'ouvrage : SNCF (SNCF Mobilités / SNCF Réseau) et STIF**
- **Montant du projet : 3,3 milliards d'euros (CE 2009)**
- **Tronçon souterrain Haussmann-Saint-Lazare / Nanterre : 1 691 M€**
- **8 km d'infrastructures souterraines créées entre Haussmann-Saint-Lazare et La Défense**
- **3 nouvelles gares construites : Porte Maillot, La Défense, Nanterre-La-Folie**
- **620 000 voyageurs attendus quotidiennement**
- **Jusqu'à -15% de voyageurs dans le RER A entre La Défense et Auber**
- **Entre -10 et -15% de voyageurs dans les RER B et D entre Gare-du-Nord et Châtelet, ainsi qu'environ -12% du trafic ferroviaire francilien de Gare-Saint-Lazare**

Quelles sont les difficultés particulières rencontrées pour la réalisation de ces entonnements au niveau de la gare Haussmann-Saint-Lazare ?

Ces ouvrages assurent le raccordement entre le tunnel à deux voies et la gare Haussmann-Saint-Lazare qui comprend quatre voies. Une amorce de l'un d'entre eux a été réalisée lors de la première phase d'Eole, en particulier pour permettre d'implanter les heurtoirs en extrémité des voies en dehors de la zone des quais.

L'ouvrage d'entonnement est formé d'une succession de chambres de largeurs différentes permettant progressivement d'adapter l'ouvrage en arrière gare à la section courante du tunnel. L'utilisation de cette succession de chambres est dictée par les techniques d'excavation et de soutènement, ainsi que par une standardisation des cintres pour les différentes sections de tunnel.

La réalisation de cet ouvrage constitue un des points délicats du projet sur le plan constructif compte-tenu des sections importantes à réaliser

en technique traditionnelle dans un secteur contraint par la présence de plusieurs lignes de métro, en particulier les lignes 3, 13 et 14 sous lesquelles il s'insère.

Un puits spécifique est nécessaire pour réaliser cet entonnement en temps masqué par rapport au creusement du tunnel, qui sera conservé en définitive comme accès de secours.

Dans le prolongement de l'entonnement, une chambre de démontage du tunnelier est également nécessaire car la configuration de la voirie en surface dans ce secteur ne permet pas de réaliser le puits au droit du tunnel, ce qui aurait permis l'évacuation du tunnelier. Outre la complexité de réalisation technique de l'ouvrage d'entonnement, le raccordement de la gare Haussmann-Saint-Lazare au tunnel comporte plusieurs difficultés liées à la présence d'ouvrages existants ainsi qu'au contexte géologique et à des impératifs réglementaires.

La situation de la gare de la Porte Maillot entre le Palais des Congrès et la ligne 1 du métro

nécessite-t-elle également des dispositions spécifiques pour sa construction ?

L'emplacement de la gare Porte Maillot est fortement conditionné par la présence de nombreux ouvrages existants : au nord, le parking souterrain à 6 niveaux du Palais des Congrès (concéder par la Ville de Paris) ; à l'est, en sub-surface, la ligne C du RER ; à l'ouest, le boulevard périphérique et divers ouvrages d'exploitation (salle des machines, ventilation, etc.) et les bretelles d'accès à l'avenue Charles-de-Gaulle (RN13) ; au sud, la ligne 1 du métro située au-dessus du niveau de la ligne RER A décalée un peu plus au sud.

Le projet a pour objectif de faciliter les correspondances et sorties extérieures en limitant les temps de trajet tout en donnant la meilleure lisibilité possible de parcours à l'utilisateur. Il faut aussi rendre les espaces nouvellement créés accessibles aux PMR (Personnes à mobilité réduite).

Par ailleurs, il intègre des mesures conservatoires pour la future correspondance de la gare Porte Maillot et le tramway T3 et prend en compte les évolutions que la ville de Paris veut donner à cet axe en surface. Ainsi, le corps principal de la gare est-il implanté dans un espace contraint d'environ 30 m de largeur entre la station de la ligne 1 au sud et le parking du Palais des Congrès au nord.

Quelles sont les principales critères à prendre en compte lors de sa réalisation compte tenu des contraintes liées à son environnement de surface et souterrain ?

La réalisation de la gare Porte Maillot⁽¹⁾ présente un enjeu particulier dans le calendrier de l'opération, en lien avec les travaux du tunnelier et se fait sur un site fortement contraint :



1- Par ses propres caractéristiques : 28 m en sous-sol plus des quais d'une longueur de 225 m, le tout en milieu très contraint ;

2- Le délai de réalisation : achèvement avant l'arrivée du tunnelier.

→ Ensuite, la présence de nombreux ouvrages existants : la gare Porte Maillot est située à proximité immédiate d'infrastructures souterraines de transport (RER C, ligne 1 du métro, tunnel Grand Maillot), du parking du Palais des Congrès et de ses rampes d'accès. Cette proximité implique de nombreux impacts sur le phasage du projet et sa réalisation (confortement des structures des ouvrages existants, etc.).

→ À ceci s'ajoute la maîtrise de tous tassements sur les bâtis en surface.

→ Le niveau de la nappe étant situé juste au-dessus de la partie souterraine de l'ouvrage en phase chantier, la méthode de construction doit également intégrer la possibilité de réaliser les travaux nécessaires à l'étanchement des zones excavées ; à toutes les phases de la construction, la stabilité des ouvrages vis-à-vis de la présence de l'eau doit être assurée.

→ Il faut ajouter à cela un passage sous le bâti à la jonction du boulevard Pereire et avenue de la Grande Armée, des contraintes géotechniques et géologiques difficiles pour réaliser la partie souterraine de la gare, le maintien de la circulation des usagers pour les correspondances avec la ligne C du RER et la ligne 1 du métro, la circulation routière en surface de la place de la Porte Maillot avec laquelle interfère la réalisation de la gare.

Pour l'ensemble de ces composants, la construction de la gare Porte Maillot se décompose en trois principaux chantiers :

LE CALENDRIER PRÉVISIONNEL

DÉBUT 2015 : début des travaux de déviation des réseaux souterrains

MI-2015 : installations des chantiers des puits à Courbevoie

DÉBUT 2016 : assemblage du tunnelier et creusement des puits Gambetta

DÉBUT 2017 : lancement du creusement du tunnel

2020 : mise en service du RER E jusqu'à Nanterre–La-Folie

2022 : mise en service complète

1- Une partie réalisée à ciel ouvert comprenant la partie principale de la gare. Cet espace est construit à l'abri de parois moulées ;

2- Une partie réalisée en souterrain selon une méthode d'excavation traditionnelle. Elle correspond au tiers Est de la gare situé sous les voies du RER C ;

3- Un ouvrage de correspondance, dit hall Pereire, réalisé à ciel ouvert à l'abri de parois moulées.

Dernier grand ouvrage souterrain de la ligne, la gare de La Défense constitue également un défi pour les entreprises. À quelles contraintes sont-elles confrontées pour sa réalisation ?

5- Coupe longitudinale de la gare Porte Maillot.

6- Vue des quais de la gare Porte Maillot.

7- Perspective du hall des voyageurs de la gare de Nanterre–La-Folie.

8- Gare de Nanterre–La-Folie : perspective sur les quais.

Le site du CNIT et ses alentours sont particulièrement complexes.

Située en bordure du parvis de La Défense, une gare sous le CNIT de 225 m de longueur, par sa position centrale, assure tous les échanges souhaités avec les différents quartiers et les différents modes de transport actuels ou futurs.

Son implantation en profil est calée par les contraintes de couverture du tunnel sous différents ouvrages : couvertures des voies SNCF, structures du CNIT, parking Renault, tour Exaltis, Collines de l'Arche...

L'altimétrie retenue est le fruit d'un compromis entre des contraintes contradictoires : d'une part, la nécessité d'enfouir suffisamment les ouvrages afin de limiter les tassements induits par les travaux souterrains, d'autre part, la nécessité de limiter la profondeur pour respecter les exigences de raccordement avec la gare de surface de Nanterre–La-Folie et les lignes ferroviaires existantes à l'ouest.

Par ailleurs, elle présente l'avantage de ne pas pénaliser l'accessibilité depuis la surface ni les possibilités d'évacuation de la gare, les quais étant situés à plus de 35 m sous le parvis.

Enfin, elle évite d'inscrire le radier de la gare dans l'horizon défavorable des sables de Cuisse sous nappe, ce qui augmenterait fortement les risques constructifs.

L'un des objectifs complémentaires de cette gare est de remédier aux difficultés actuelles de la gestion des flux rencontrées au niveau du CNIT en permettant de sortir, dans de meilleures conditions, directement sur le parvis ainsi que dans la zone Ouest de La Défense dont la desserte doit être améliorée.

Nanterre–La-Folie, enfin, à la jonction entre la ligne souterraine et son prolongement jusqu'à Mantes-la-Jolie, est une création de toute pièce d'une gare de surface. Quelles sont les raisons de son implantation dans ce quartier de Nanterre et quelles seront ses fonctions ?

L'aménagement du site de Nanterre–La-Folie⁽²⁾ consiste à créer une nouvelle gare RER assurant à la fois une fonction de passage et une fonction de terminus. Cette gare a vocation à s'inscrire dans un projet global d'aménagement du secteur des Groues à Nanterre en vue de la réalisation de programmes de logements, d'équipements sportifs, culturels et de bureaux. Connectée à la gare de la ligne 15 du Nouveau Grand Paris, elle constituera un pôle de maillage des transports en interaction avec ce nouveau quartier et le reste du territoire (Nanterre, Courbevoie, Colombes, Reuil-Malmaison, ...). Ce quartier va connaître de profondes mutations à l'arrivée d'Eole.

Une trame urbaine et paysagère autour des infrastructures ferroviaires et du secteur des Groues est en cours de définition dans le cadre de l'opération d'aménagement La Défense Seine Arche. □

1- La conception de la gare de la Porte Maillot est attribuée au groupement Setec/Egis/agence Duthilleul.

2- La conception de la gare de Nanterre–La-Folie est attribuée au groupement Arcadis (mandataire), Kcap, Explorations Architecture, d'Ici Là Paysagistes, Franck Boutté Consultants, Mazet & Associés.



L'INNOVATION S'EXPRIME À INTERMAT 2015

RENDEZ-VOUS INTERNATIONAL DES MATÉRIELS, ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES ET MATÉRIAUX POUR LA CONSTRUCTION, INTERMAT PARIS 2015⁽¹⁾ RÉUNIRA 1 300 EXPOSANTS, DONT 70 % D'INTERNATIONAUX ET 38 LEADERS DU TOP 50 DU MARCHÉ MONDIAL DE LA CONSTRUCTION. IL ATTEND 200 000 VISITEURS, DONT 34 % D'INTERNATIONAUX. L'ÉDITION 2015 SERA L'ÉVÈNEMENT OÙ S'EXPRIME PLEINEMENT LE DYNAMISME DES ACTEURS DE L'INDUSTRIE DES MATÉRIELS EN MATIÈRE D'INNOVATION ET DE DÉVELOPPEMENT DE NOUVELLES SOLUTIONS. CE QUE MET EN ÉVIDENCE MARYVONNE LANOË, DIRECTEUR DU PÔLE « CONSTRUCTION » ET COMMISSAIRE GÉNÉRAL DU SALON.

PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON

Quelles sont les innovations apportées au niveau de l'organisation par l'édition 2015 ?

Intermat se placera au cœur des enjeux du secteur en proposant une nouvelle segmentation afin de valoriser tous les matériels pour toutes les étapes de la construction : les mines et carrières, tant en ce qui concerne la production que la valorisation des matériaux, l'industrie du béton, avec, en particulier le World of Concrete Europe, les équipements pour les chantiers de bâtiment, le lavage et la manutention. À ceci s'ajoutent les matériels pour sondage, forage et fondations spéciales ainsi que le terrassement et le Génie civil, la construction et l'entretien des infrastructures routières, les véhicules pour le transport des matériaux, des matériels et des personnels. Des secteurs plus spécialisés sont consacrés aux composants, équipements et accessoires, à l'environnement, la démolition et le recyclage, la topographie, l'ingénierie, les automatismes et les nouvelles technologies ainsi qu'aux services et aux nouvelles technologies de communication.

Cette segmentation s'accompagnera d'une nouvelle cartographie : de l'amont à l'aval du cycle de vie d'un chantier. Enfin, pour répondre aux attentes des visiteurs, trois thématiques transversales seront clairement identifiables au travers des différents halls : le recyclage, la valorisation des matériaux et la démolition. Le SNED⁽²⁾, notamment, présentera un logiciel de retraitement des déchets ainsi que les évolutions techniques et réglementaires en matière d'attache rapide. Au total, 375 000 m² d'exposition accueilleront exposants et visiteurs au travers de 4 halls couverts, 3 zones d'exposition extérieures et une importante zone de démonstration.

Maryvonne Lanoë, directeur du pôle « Construction » et commissaire général d'Intermat.



© MARC MONTAGNON

L'industrie des matériels et équipements du béton est historiquement présente à Intermat.

Quels seront les apports du World of Concrete Europe ?

À Las Vegas, le World of Concrete est devenu le rendez-vous de la filière béton de toute l'Amérique du Nord.

Pour mieux répondre encore aux besoins du marché de la filière béton en Europe, ainsi qu'à la demande des visiteurs de bénéficier d'une vision globale sur tout ce secteur, Intermat et Informa ont signé un accord de partenariat pour créer et lancer le World of Concrete Europe qui sera l'un des événements phares de la prochaine édition du salon. Le WOC Europe décline désormais toute la filière, de l'amont à l'aval, des cimentiers et adjuvantières en passant par les matériels et équipements pour la fabrication et le transport du BPE ainsi que ceux pour

les bétons préfabriqués, les bétons spéciaux et les matériels associés.

Outre la présence des exposants dans un espace dédié, le WOC Europe proposera un programme de conférences didactiques visant à valoriser les innovations techniques et les procédés permettant la réalisation d'ouvrages exceptionnels. Cinq grandes thématiques seront développées : les innovations mondiales, les fondamentaux du béton, la maintenance et la réparation, les bétons spéciaux, la démolition et le recyclage.

De longue date, les innovations ont toujours été l'un des points forts d'Intermat.

En est-il de même cette année ?

Il est vrai qu'Intermat a toujours été le lieu où s'exprime l'innovation dans le secteur des matériels et des équipements de chantier.

Grâce à un jury d'experts européens reconnus, issus des secteurs de l'industrie, les meilleures innovations sont distinguées. Les Intermat Innovations Awards, sous la présidence de la FNTF, récompensent cette année les dernières avancées technologiques. Ils sont répartis en 5 catégories qui reflètent le cycle de vie de la construction d'un chantier : extraction des matériaux, matériels de construction, équipement et accessoires, ingénierie et systèmes, applications numériques.

2 prix spéciaux complètent ces catégories : le Prix spécial World of Concrete Europe et le Prix spécial Développement Durable.

Introduites sur le salon depuis sa création, les démonstrations sont-elles toujours présentes ?

Avec Paris Demo, Intermat 2015 sera une nouvelle fois la seule exposition internationale à proposer une zone de démonstrations à l'air libre.

Depuis la création du salon, entrepreneurs, loueurs et opérateurs y découvrent « en live » le savoir-faire, l'ergonomie, la sécurité et la productivité des machines.

Sur une surface de 30 000 m², les constructeurs de matériels et d'équipements mettront à la disposition des visiteurs tous leurs matériels : pelles, chargeuses, concasseurs mobiles, chariots télescopiques, godets cribleurs... Une bonne nouvelle, pour conclure : une zone extérieure de démonstrations de 12 parcelles, devant le hall 7, est dédiée au World of Concrete Europe. □

1- Parc des Expositions de Paris-Nord Villepinte, du 20 au 25 avril, de 9 h à 18 h.

2- SNED : Syndicat National des entreprises de Démolition.



LMP/CDSP

1

SURVEILLANCE « CLÉS EN MAIN » DES STRUCTURES PAR CAPTEURS À FIBRES OPTIQUES

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

AVEC UNE EXPERTISE DE 25 ANS DANS L'ASSISTANCE À LA MAÎTRISE D'OUVRAGE, LMP EST ÉGALEMENT IMPLIQUÉE DANS LA DÉFINITION DU CAHIER DES CHARGES JUSQU' À L'INSTRUMENTATION DE TOUS TYPES DE STRUCTURES. LMP EST ASSOCIÉE À CDSP, SPÉCIALISÉE DANS LE CONSEIL ET L'ASSISTANCE AUX GRANDS PROJETS INDUSTRIELS DANS LES DOMAINES DE L'ÉNERGIE, DU GAZ ET DU PÉTROLE. L'UNE ET L'AUTRE FORMENT UN DUO COMPLÉMENTAIRE DANS L'ENSEMBLE DES DOMAINES QUI RELÈVENT DE LEURS COMPÉTENCES. FRÉDÉRIC POUILLÉ, LE P-DG DE LMP, INSISTE SUR LA PRÉCISION DES RÉPONSES APPORTÉES AUX DONNEURS D'ORDRE QUI SONT LEURS INTERLOCUTEURS.

« Nous fabriquons nous-mêmes nos produits, précise-t-il d'entrée, notamment les stations d'acquisition de données et les algorithmes car nous avons des partenariats étroits avec des instituts de recherche internationaux. Nous exerçons une R&D

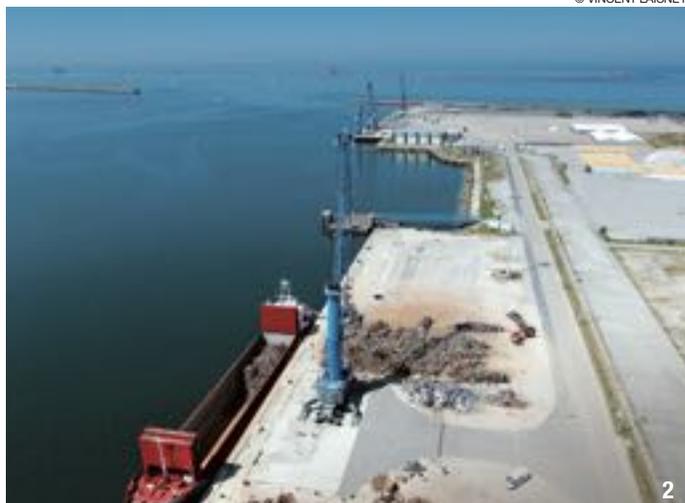
dédiée, menée par nos ingénieurs et nos techniciens, pour chaque projet précis, mais nous proposons aussi une recherche amont afin de mettre à la disposition de nos clients l'ensemble des paramètres d'une démarche de recherche intégrée ». Lorsqu'une entreprise a une problématique parti-

1- Les tunnels nécessitent une surveillance continue des structures.

culière, LMP dispose des compétences techniques lui permettant d'élaborer un dossier complet en tissant avec elle un programme de recherche visant à la définition d'une réalisation en s'appuyant sur la collaboration d'instituts spécialisés en France, mais aussi en Allemagne, en Suisse et aux États-Unis. ▷

© VINCENT LAISNEY

© GPMD



© GPMD

2- Les ouvrages portuaires constituent des secteurs d'action privilégiés en matière de surveillance.

3 et 4- LMP est associée à CDSP pour intervenir dans les domaines de l'énergie, du gaz et du pétrole.

LES COMPÉTENCES DE SES ORIGINES

LMP a été créée en 1990 par Jacques Pouillé (un des anciens fondateurs de la société Polysius Krupp qui n'a plus aucun lien à ce jour avec Polysius SAS), père de Frédéric Pouillé, avec des partenaires ingénieurs. La société Polysius Krupp fut un bureau d'études et d'ingénierie spécialisé dans la réalisation du génie civil des grands complexes pétroliers, des cimenteries mais aussi des barrages, tant en France qu'à l'étranger (Vietnam, Algérie, Tunisie, États-Unis). LMP a conservé les compétences et les spécificités de ses origines. Ensuite, LMP intervenait principalement dans le domaine de l'ingénierie médicale - pharmaceutique et hospitalière - et elle possède d'ailleurs encore une division qui poursuit une activité dans ce secteur mais, très rapidement, avec l'arrivée d'ingénieurs, elle s'est orientée vers le génie civil en développant des activités dans l'assistance à la maîtrise d'ouvrage, la définition des cahiers des charges et l'instrumentation de tous types de structures, sans oublier le développement et l'industrialisation de produits radiostérilisables.

CDSP : DES ACTIVITÉS COMPLÉMENTAIRES

L'activité de CDSP, qui s'exerce dans les domaines de l'énergie, du gaz, du pétrole et des transports est parfaitement complémentaire, voire concomitante, à celle de LMP : apporter des prestations techniques et en ressources humaines, sur des projets de dimension internationale. L'entreprise a ainsi développé une logistique globale d'affaires avec des partenaires dans plusieurs pays :

- **Russie : MCR - Impulse,**
- **Gabon : OMC,**
- **Angola : Soneprall,**
- **Nigeria : MPH,**
- **Corée du Sud : GTA,**
- **Royaume Uni : CCL,**
- **Colombie : Solutiones-Automaticas,**
- **Maroc : MABC - B3E.**

CDSP propose ainsi ses compétences dans les projets de recherche et de production de pétrole et de gaz, les stations d'épuration, les projets liés aux énergies renouvelables, pour tout ce qui concerne l'analyse financière et l'évaluation des marchés, que les recherches géologiques et les campagnes de sondages, la planification industrielle, le Génie Civil, les équipements mécaniques et électriques, la maintenance des installations...

Parmi quelques unes de ses références significatives : Arcelor-Mittal (Maroc et Brésil), Total (Mauritanie et Madagascar), Gazprom-Total-Statoil (Russie), Alstom Power-Veolia Fudjaira 2, EDF (Sénégal), Ponticelli (Gdansk).

Elle a, par ailleurs, engagé très rapidement une première collaboration avec le CEA (Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives) qui s'est poursuivie au fil des années. L'actionnariat de LMP a évolué en 1997 avec un échange de participation dans le capital de CDSP (Conseil en Délégation de Service Public) ainsi que l'entrée d'ingénieurs qui ont permis le développement d'activités à fort contenu scientifique et technique, et ce dans l'accompagnement de grands donneurs d'ordre tels que Suez, Total, EDF, le CEA et la DGA (Direction Générale de l'Armement). Citons par exemple, la définition de l'instrumentation dédiée aux installations des FPSO (*Floating Production Storage and Offloading vessel*) Total, c'est-à-dire des unités de production de stockage et de déchargement pétrolier en *offshore*. Un FPSO est en fait un immense support flottant, un navire entièrement autonome, conçu pour recevoir les hydrocarbures produits à partir de plateformes ou d'installations sous-marines. Ils permettent de les traiter et les stocker jusqu'à ce qu'ils

© MARC MONTAGNON



5

© MARC MONTAGNON



6



7

© MARC MONTAGNON



8

© LMP

puissent être déchargés sur des *tankers*. Total, comme d'autres *majors* pétroliers, contribue depuis plus de dix ans à l'optimisation constante du *design* de ces colosses, dont la fabrication exige un solide savoir-faire en matière de management de grands projets.

LMP a également réalisé des audits des systèmes de sécurité (contrôles de commande, *process*) pour le terminal GNL (Gaz Naturel Liquéfié) de Fos-sur-Mer. Elle a participé à l'assistance et à la définition des systèmes instrumentés de sécurité du Laser Mégajoule ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). Rappelons que le projet Laser Mégajoule (LMJ), financé sur le budget du Ministère de la Défense, est un programme de simulation qui constitue l'un des principaux éléments du programme militaire français « Simulation », destiné à assurer la pérennité de la dissuasion nucléaire de la France après l'arrêt définitif des essais nucléaires en conditions réelles en Polynésie.

LMP travaille également pour instrumenter des systèmes de sécurité sur terre et dans les airs pour le Ministère de la Défense.

5 et 6- Les stades et les équipements sportifs font partie des ouvrages nécessitant une instrumentation.

7- Un grand ouvrage de génie civil tel que le CNIT fait l'objet d'une surveillance constante.

8- Complexe minier et terminal minier en Algérie.

UN RÉSEAU EN FRANCE...

Pour couvrir avec efficacité, tant au niveau de la prospection que du suivi technique, l'ensemble des domaines dans lesquels elle intervient, l'entreprise est structurée en réseau avec plusieurs agences réparties dans l'hexagone :

- Lyon et Grenoble pour le grand Sud-Est,
- Toulouse et Perpignan pour le grand Sud-Ouest,

- Lorient, pour le grand Ouest,
- Strasbourg et Lille pour le grand Est et le Nord.

Cela représente un effectif de 35 personnes qui travaillent en coordination avec le siège basé à Paris et les implantations à l'étranger.

Cet effectif est complété, au cas par cas, par des entreprises spécialisées qui leurs apportent l'appui logistique dont elles peuvent avoir besoin dans la réalisation pratique des missions, par exemple lorsque le recours à un hélicoptère s'avère nécessaire pour une intervention sur un barrage ou sur un ouvrage d'art.

...ET À L'ÉTRANGER

À l'étranger, LMP dispose d'une filiale, d'une agence et d'un bureau d'étude en Suisse ainsi que d'agences ou de bureaux commerciaux dans de nombreux pays dans le monde :

- LMP Porto à Porto et Lisbonne au Portugal, qui couvre également l'Angola, l'Argentine, le Mozambique et le Brésil,
- LMP Madrid à Madrid et Barcelone en Espagne,

- Perth en Australie,
 - Munich et Berlin en Allemagne,
 - Londres (Heathrow) au Royaume Uni,
 - Vienne en Autriche,
 - Milan et Rome en Italie,
- auxquels s'ajoutent des partenaires en Hongrie, Russie et Slovaquie.

« Nous sommes très attachés au fait que notre savoir-faire est avant tout français, indique Frédéric Pouillé, tant en ce qui concerne les études que les produits que nous fabriquons, même si certains des composants que nous utilisons ne sont disponibles qu'à l'étranger, par exemple les cartes électroniques ».

« La particularité de LMP et de CDSP est, qu'avec leurs partenaires industriels et d'ingénierie, elles fournissent une prestation "clés en main". Elles ne conçoivent pas de ponts, ni de barrages, mais elles peuvent monter des groupements complets d'entreprises pour réaliser un projet. Ceci dans un grand nombre d'applications toutes liées au Génie Civil : tunnels, transports, centrales nucléaires, ouvrages d'art ».



© IIFESTAR



10

© MARC MONTAGNON



11

© MARC MONTAGNON

L'une et l'autre utilisent des savoir-faire, des brevets et des compétences particulières et les appliquent aux domaines qui relèvent de leur compétence. Cette approche est originale : elle permet de mutualiser les interventions.

« Si nous ne construisons pas de ponts ni de tunnels, poursuit Frédéric Pouillé, par contre nous pouvons, en amont, être l'initiateur dans un groupement et participer à la mise en place, dès la conception, de l'instrumentation d'un ouvrage, en prévoyant l'installation des capteurs au niveau des études de façon à répondre, de la façon la plus pointue possible, à la demande d'un client. Même si nous avons des produits "sur étagère", notre intervention relève presque toujours d'une conception quasiment sur mesure du système d'instrumentation que nous proposons ».

SURVEILLANCE DES STRUCTURES

Une décennie d'expérience dans le domaine de la surveillance des structures, a permis aux deux entreprises de disposer de références solides pour des interventions sur des ouvrages aussi divers que des centrales nucléaires, des stades, des raffineries de pétrole (Portugal, Russie), des fontis sur le métro du Caire, un tunnel routier à Toulon, le réseau de VNF (Voies Navigables de France).

Pour chacun de ces ouvrages, il a été mis en place des Capteurs à Fibres Optiques à micro-courbures sur l'ensemble de la chaîne de valeur : pres-

cription, analyse du besoin, rédaction de cahiers des charges spécifiques à chaque ouvrage, chiffrage des propositions et suivi du déploiement des instrumentations complètes.

Sur le marché de la surveillance des structures, qui relève autant de l'accompagnement de projets uniques que d'une participation transverse à des secteurs complémentaires, et où

CAPTEURS À FIBRES OPTIQUES : AVANTAGES ET CARACTÉRISTIQUES

Depuis le début de leur développement industriel intervenu voici plus d'un quart de siècle, les fibres optiques se sont imposées dans les communications. Simultanément, elles se sont aussi engagées sur d'autres voies comme celle des Capteurs à Fibres Optiques (CFO).

Équipements de communication et CFO se différencient par la nature du signal transmis. Le premier est conçu de manière à véhiculer le signal numérique avec le minimum de perturbations, tandis que le deuxième doit délivrer un signal analogique représentatif des phénomènes perturbateurs à détecter (température, déformations...).

Les Capteur à Fibres Optiques bénéficient également de tous les composants mis en œuvre en télécommunications et des qualités des fibres optiques : faible atténuation, isolation galvanique, immunité aux perturbations électromagnétiques, sécurité intrinsèque, résistance aux environnements sévères (hautes températures, fortes pressions, radiations ionisantes, etc.).

Au niveau des mesures proprement dites, les CFO présentent également des avantages indéniables par rapport aux autres types de capteurs, plus traditionnels, citons :

- D'excellentes performances,
- La mesure multi-paramètres,
- Le multiplexage (possibilité de relier de nombreux capteurs par fibre),
- L'aspect passif (pas besoin d'alimentation électrique au niveau des capteurs),
- Le déport : grâce à la faible atténuation des fibres, la possibilité d'installer les stations d'acquisition de données à grande distance (à plusieurs km si besoins).

9- Les installations ferroviaires font désormais l'objet d'une instrumentation sophistiquée.

10- Le secteur des voies fluviales du réseau de VNF entre dans les compétences des deux entreprises.

11- Les monuments historiques doivent être suivis de façon régulière dans le cadre de la préservation du patrimoine.

les donneurs d'ordre institutionnels sont très importants, LMP et CDSP proposent des solutions flexibles combinant des technologies diverses en ajoutant une plus-value intéressante grâce à l'assemblage des technologies, la télé-surveillance et l'analyse des données recueillies.

DEUX CAS DE FIGURE ENVISAGEABLES

Les équipes de LMP et de CDSP, inscrites dans de grands projets français, européens et mondiaux, sont capables d'ajuster elles-mêmes les paramètres au terrain dans le cadre de réalisations envisageables lors de la construction



© MARC MONTAGNON

12

d'un ouvrage, en contribuant à l'ingénierie pure en amont de ces réalisations, pour intégrer l'instrumentation adéquate. Elles interviennent par un état des lieux en avertissant le client sur les besoins inhérents à la structure et les aident à leur calibrage et à leur chiffrage.

Deux cas de figure sont envisageables indiquant leurs niveaux d'intervention et les technologies mises à la disposition des entreprises mettant en œuvre, par exemple, des tunneliers dans le cas d'un percement de tunnel.

Le premier s'applique à un projet avec intervention très en amont pour pouvoir déterminer les zones prioritaires à surveiller (dans l'avant-projet sommaire) et à instrumenter. Cela peut aussi concerner l'ensemble de l'édifice : avant, au niveau des études géologiques et d'impact, pendant les travaux, par la surveillance des zones critiques afin de limiter au maximum les désordres induits par les travaux souterrains, et après ceux-ci, par le suivi en temps réel de l'évolution structurelle du tunnel au cours du temps, selon la durée de vie de l'édifice.

Le second est mis en place lorsque l'édifice est déjà construit et qu'il est nécessaire d'en modifier l'instrumentation existante, voire de l'instrumenter pour la première fois. Pour y parvenir, l'entreprise est capable de s'adapter au préexistant en proposant des solutions innovantes visant à mieux appréhender l'édifice tel qu'il a évolué et tel qu'il évoluera.

12- Les éoliennes doivent être inspectées en permanence.

UNE VISION STRATÉGIQUE À 10 ANS

Devenir en 10 ans un leader européen de la surveillance des structures par fibres optiques est l'objectif de LMP,

DEUX GRANDES FAMILLES DE RÉSEAUX DE CFO

LMP met en œuvre dans ses prestations deux grandes familles de réseaux de capteurs à fibres optiques : les capteurs distribués (multipoints) et les capteurs répartis (continuum sensibles).

Les capteurs distribués, qui peuvent être installés, par exemple, sur le tablier d'un pont, sont principalement des capteurs réseaux de Bragg multiplexés sur la même fibre. Ces derniers permettent :

- Des mesures variées (température, pression, déformations, inclinaison, indice, courbure...),
- Un important multiplexage : jusqu'à plusieurs dizaines de CFO Bragg par fibre,
- Des performances métrologiques élevées (quelques centièmes de degrés en température, mieux que la microdéformation, etc.).

Les capteurs répartis sont fondés sur la réflectométrie (temporelle ou fréquentielle) et les phénomènes de diffusion dans la silice constituant les fibres optiques. Ils fournissent un nombre quasi-illimité de points de mesure (jusqu'à plusieurs dizaines de milliers). Il s'agit en l'occurrence des :

- Mesures de température par effet Raman*,
- Mesures de température et de déformations par effet Brillouin**.

* La diffusion Raman, ou effet Raman, est un phénomène optique consistant en la diffusion inélastique d'un photon, c'est-à-dire le phénomène physique par lequel un milieu peut modifier légèrement la fréquence de la lumière qui y circule. En réflectométrie, la mesure de ce décalage permet de remonter à certaines propriétés du milieu, en l'occurrence la température, en analysant les raies spectrales de la rétrodiffusion ainsi générée.

** L'effet Brillouin est un phénomène de diffusion inélastique de la lumière par les ondes acoustiques d'un milieu considéré, ici le cœur de la fibre. La mesure du décalage fréquentiel ainsi induit permet de remonter à certaines propriétés du milieu, soit la température et les déformations subies par la fibre et la structure instrumentée, qui influencent la vitesse du son intervenant directement dans le phénomène Brillouin.

en nouant des partenariats avec des acteurs technologiques, sélectionnés et complémentaires, tout au long de la chaîne de valeur, en s'appuyant sur les compétences et la synergie au sein de l'équipe de direction.

Parmi les réalisations majeures auxquelles est actuellement associée LMP, en partenariat avec le CEA LIST⁽¹⁾, il faut citer à ce sujet le projet ANR DISCOMS (Distributed Sensing for Corium Monitoring and Safety), monté en 2011, qui adresse la problématique de la surveillance et l'amélioration de la sûreté des tranches électronucléaires en cas d'accident grave, ainsi que le projet FOPTINS, avec la DGA/TH (Direction Générale de l'Armement), centre d'essais et de recherche en hydrodynamique et acoustique navale, monté courant 2012 et obtenu en 2013.

UN REGARD EN PROFONDEUR

Dans les pays industriels aux infrastructures développées, la conservation des ouvrages vieillissants et l'entretien des outils de production et des installations revêt une importance capitale, surtout dans une période où l'argent se fait rare et doit être dépensé à bon escient. Les activités des entreprises doivent donc être suffisamment rentables pour permettre d'optimiser les processus d'entretien et de conservation. Leur réussite dépend, là aussi, des bonnes décisions. À cet égard, il est indispensable de connaître le comportement de la structure concernée et l'effet des influences extérieures.

Les considérations à court terme, ou purement théoriques, donnent souvent une image incomplète, voire incitent à adopter des mesures non rentables. L'objectif visé par LMP requiert une période d'observation suffisamment longue, incluant tous les phénomènes potentiels et réels. Seule la surveillance de l'ensemble des contraintes appliquées peut délivrer une image fidèle de l'état de santé de l'ouvrage.

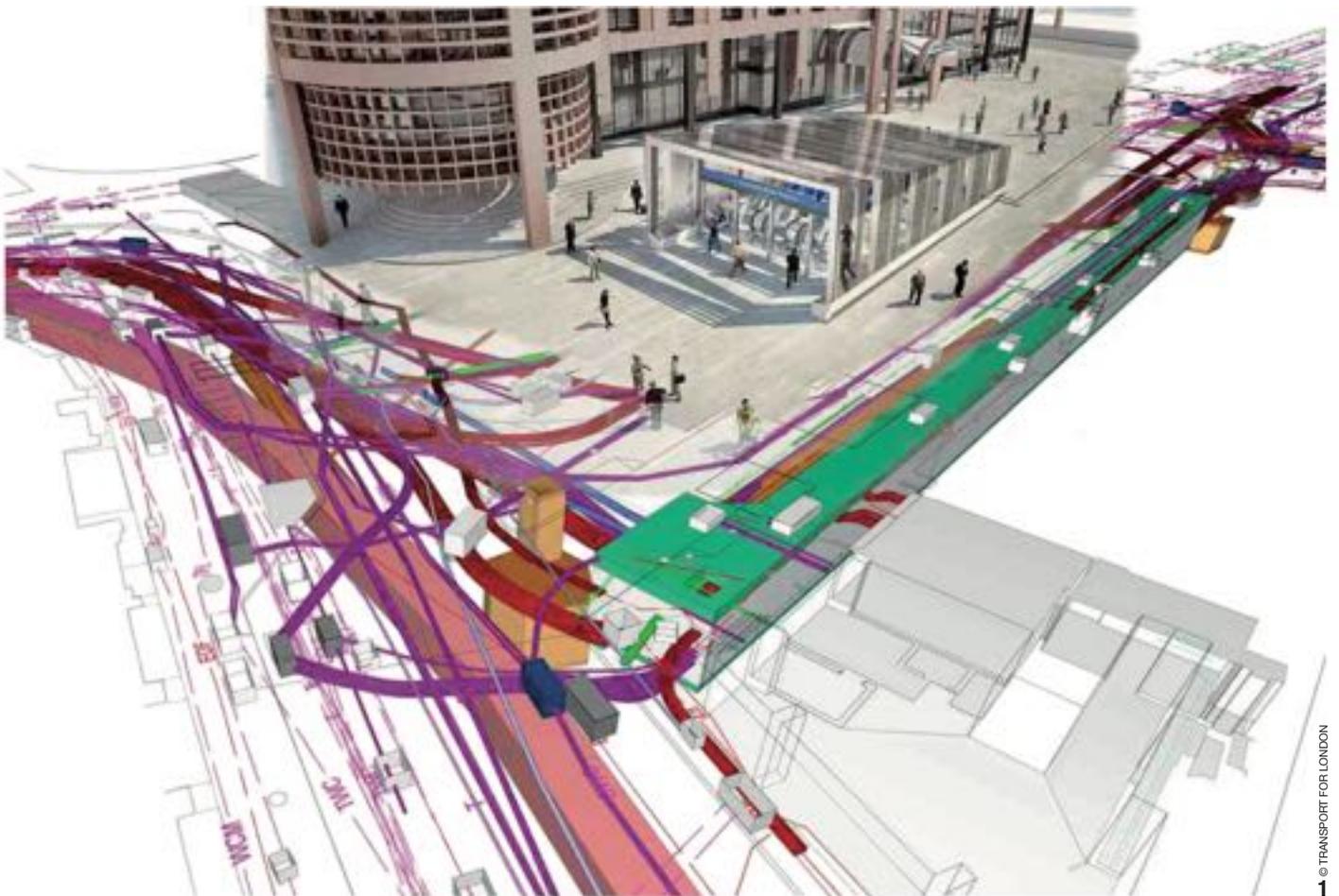
Le diagnostic LMP constitue le maillon entre les objectifs d'entretien et les actions concrètes. Il est en quelque sorte l'organe sensoriel qui perçoit les modifications et les désordres de la structure. Il porte un regard en profondeur sur les ouvrages. Du conseil aux solutions rentables de suivi des ouvrages, il offre la possibilité d'en optimiser la réussite. □

1- Au sein de CEA Tech, Direction de la Recherche Technologique du CEA, l'Institut Carnot CEA LIST focalise ses recherches sur les systèmes numériques intelligents pour l'industrie : *manufacturing* avancés, systèmes embarqués, intelligence ambiante, et instrumentation.

CROSSRAIL - COMPENSATION GROUTING AT LONDON

WRITERS: CLIF KETTLE, LEAD EXPERT GROUTING, SOLETANCHE BACHY GROUP - IAN ACREMAN, PROJECT MANAGER, BACHY SOLETANCHE LTD

THE CROSSRAIL PROJECT IS AMONG THE MOST SIGNIFICANT INFRASTRUCTURE PROJECTS EVER UNDERTAKEN IN THE UK WITH A TOTAL FUNDING ENVELOPE AVAILABLE OF £14.8BN. IT WILL IMPROVE JOURNEY TIMES ACROSS LONDON, EASE CONGESTION AND OFFER BETTER CONNECTIONS, CHANGING THE WAY PEOPLE TRAVEL AROUND THE CAPITAL. THE PROJECT WILL ALSO PROVIDE MANY BENEFITS FOR LONDON AND THE UK IN TERMS OF REGENERATION, BUSINESS DEVELOPMENT AND EMPLOYMENT CREATION, AND PROMOTE THE DEVELOPMENT OF THE TUNNELLING MARKET AND TUNNELLING SKILLS VITAL TO THE FUTURE OF THE INDUSTRY. CROSSRAIL IS JOINTLY SPONSORED BY THE DEPARTMENT FOR TRANSPORT AND TRANSPORT FOR LONDON.



© TRANSPORT FOR LONDON
1

CURRENT OVERVIEW

- Crossrail is jointly sponsored by the Department for Transport and Transport for London.
- Crossrail (CRL) is Europe's largest construction project - work started in May 2009 and there are currently

over 10,000 people working across over 40 construction sites.

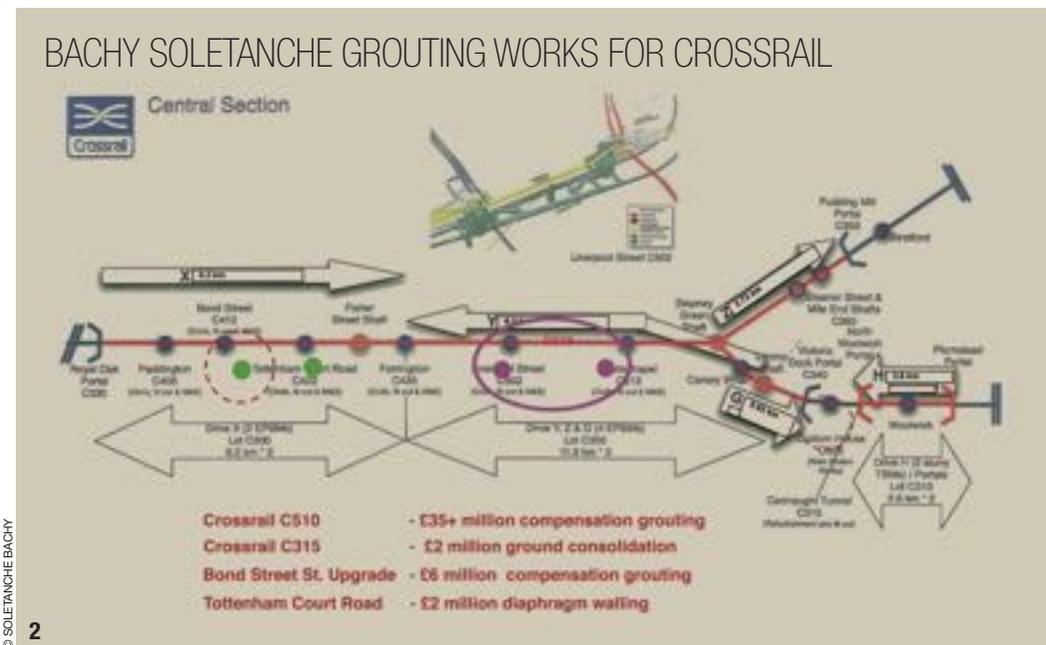
- Over 62 million working hours have been completed on the Crossrail project so far.
- Crossrail will transform rail transport in London, increasing capacity by

1- Re-routing and upgrading of services.

1- Réacheminement et mise à niveau des réseaux.

- 10%, supporting regeneration and cutting journey times across the city.
- The Crossrail route will run over 100km from Reading and Heathrow in the west, through new tunnels under central London to Shenfield and Abbey Wood in the east.

BACHY SOLETANCHE GROUTING WORKS FOR CROSSRAIL



© SOLETANCHE BACHY

- There will be 40 Crossrail stations including 10 new stations at Paddington, Bond Street, Tottenham Court Road, Farringdon, Liverpool Street, Whitechapel, Canary Wharf, Custom House, Woolwich and Abbey Wood.
- Crossrail will bring an extra 1.5 million people to within 45 minutes of central London and will link London's key employment, leisure and business districts - Heathrow, West End, the City, Docklands - enabling further economic development.
- The first Crossrail services through central London will start in late 2018, and an estimated 200 million passengers/year will use Crossrail.
- The project is providing a major opportunity for upgrading and re-routing ageing utility networks (picture 1).

2- Bachy Soletanche grouting works for Crossrail.
3a & b- Whitechapel SCL Tunnel, and sketch indicating the size of the "cod's mouth" break-out.

2- Travaux d'injection réalisés par Bachy Soletanche pour le compte de Crossrail.
3a & b- Le tunnel de Whitechapel revêtu de béton projeté - le croquis indique la taille de l'excavation en forme de "bouche de morue".

CURRENT CONSTRUCTION ACTIVITY

- A total of eight tunnelling machines are being used to construct 26 miles (42km) of 6.2m diameter new rail tunnels under central London at depths of up to 40 m. Tunnelling is now over 90% complete.
- Construction work has reached the halfway mark on flagship new Crossrail stations in central London and Docklands.
- The delivery of Crossrail will create thousands of business and job opportunities including 400 apprenticeships.
- At peak, the tunnelling machines aim for around 100 metres of tunnelling progress per week. As the tunnelling machines move forward, precast concrete segments are built in rings behind. 250,000 tunnel

segments will be used to line the 42 kilometres of tunnels.

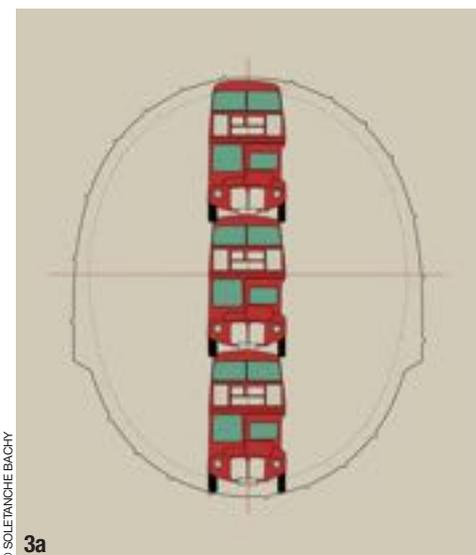
- 4.5 million tonnes of excavated material from the tunnels will be shipped to Wallasea Island in Essex where it will be used to create a new 1,500 acre RSPB nature reserve.

CROSSRAIL, JOBS AND SUPPLY CHAIN

- Over the course of the project, there are expected to be at least 75,000 opportunities for businesses, generating enough work to support the equivalent of 55,000 full-time jobs.
- It's not just London and the South East that will benefit from Crossrail. Companies around the country and of all sizes are winning business – 38% are based in London, 62% are outside London, and 58% are small-medium sized businesses.

SKILLS AND LEGACY

- At least 400 apprenticeships will be created by Crossrail.
- The Tunnelling and Underground Construction Academy (TUCA) is a purpose-built training facility that supports the key skills required to work in tunnel excavation, underground construction and infrastructure. By building and establishing TUCA, Crossrail is contributing to the development of new qualifications and Health and Safety standards across the industry.
- Crossrail is working with industry, professional bodies and other organisations with a requirement for skilled underground workers, to ensure that the facilities and training



© SOLETANCHE BACHY



SPECIFIED PERFORMANCE REQUIREMENTS FOR SLOPE AND DEFLECTION

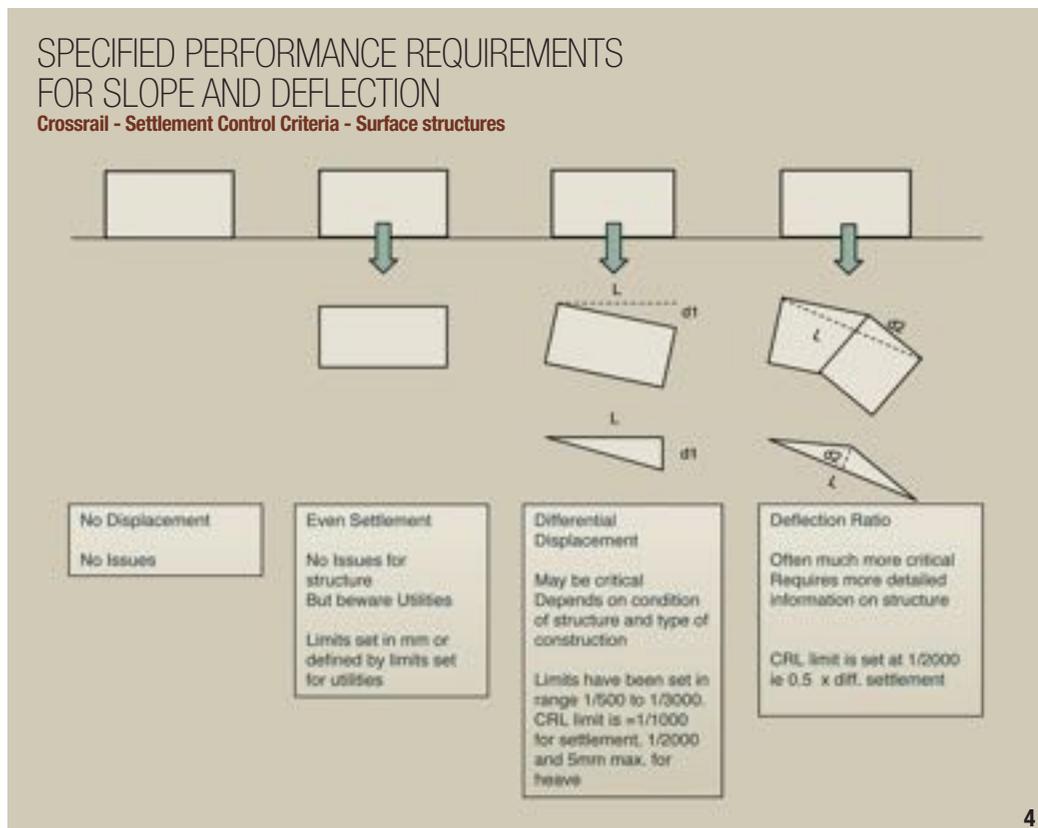
Crossrail - Settlement Control Criteria - Surface structures

4- Specified performance requirements for slope and deflection.

5- Finsbury Circus worksite - injection pipe coverage from grouting adit.

4- Pente et déformation définies dans le cahier des charges.

5- Chantier de Finsbury Circus - auréoles de tubes d'injection depuis la galerie d'injection.



4

© SOLETANCHE BACHY

at TUCA are aligned with the needs of the industry.

→ Crossrail needs TUCA to address the shortage of people with the necessary skills to work on the programme. TUCA will ensure that all people working underground on Crossrail sites achieve the Tunnel Safety Card (TSC) before working underground on any Crossrail site.

→ TUCA will support the UK economy by equipping workers with the specialist skills they need to meet the demand for labour in this area.

→ CRL established an accredited Tunnel Safety Card (TSC) in response to an industry need for standardised tunnelling health and safety training.

→ CRL established a Jobs Brokerage Service in partnership with Job

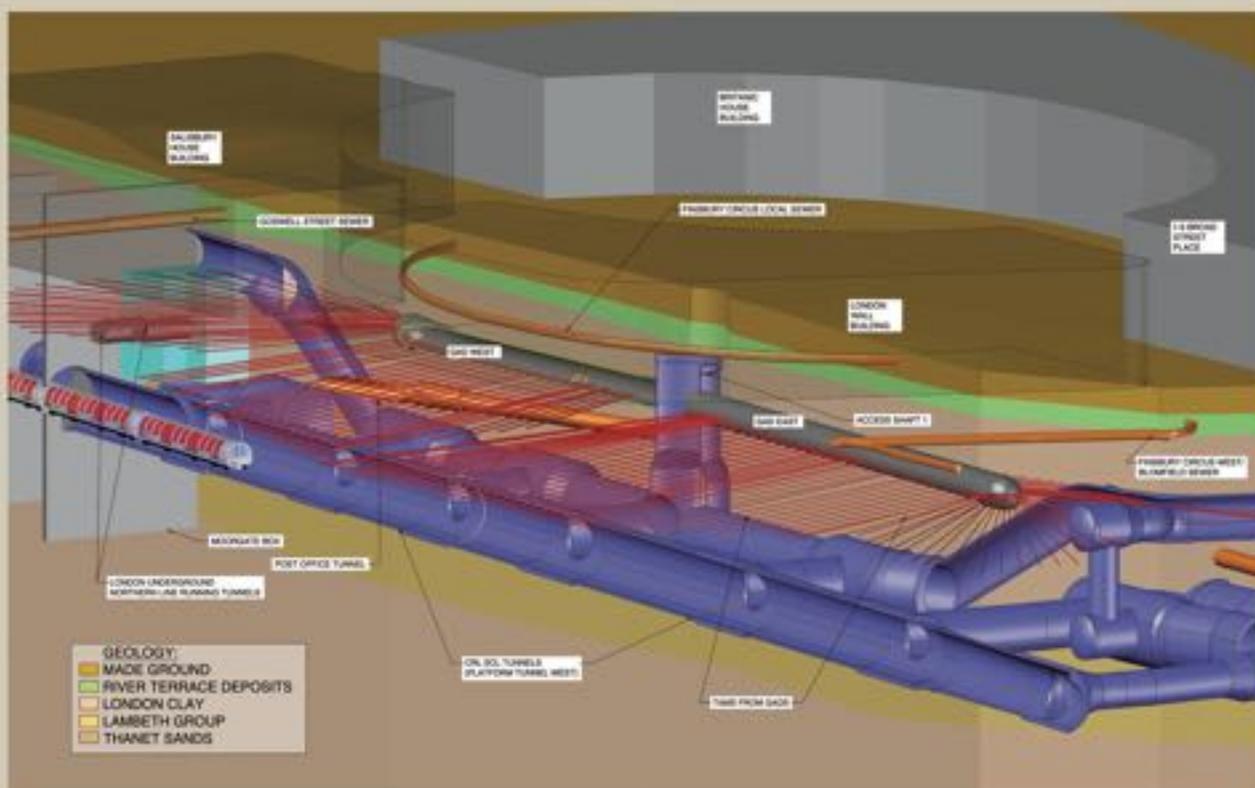
Centre Plus in March 2010. This ensures that new job opportunities are efficiently advertised, and that candidates with relevant skills can quickly be identified for new roles. By April 2014, Crossrail had created over 2900 new jobs, of which 94% were filled by local people, 20% of whom were previously unemployed.

SUSTAINABILITY

→ Contractors across the project are exceeding recycling targets with more than 92% of demolition and construction waste beneficially reused.

→ More than 98% of excavated material recycled, with the vast majority being used to create to an RSPB nature reserve at Wallasea Island in Essex.

FINSBURY CIRCUS WORKSITE - INJECTION PIPE COVERAGE FROM GROUTING ADIT



5

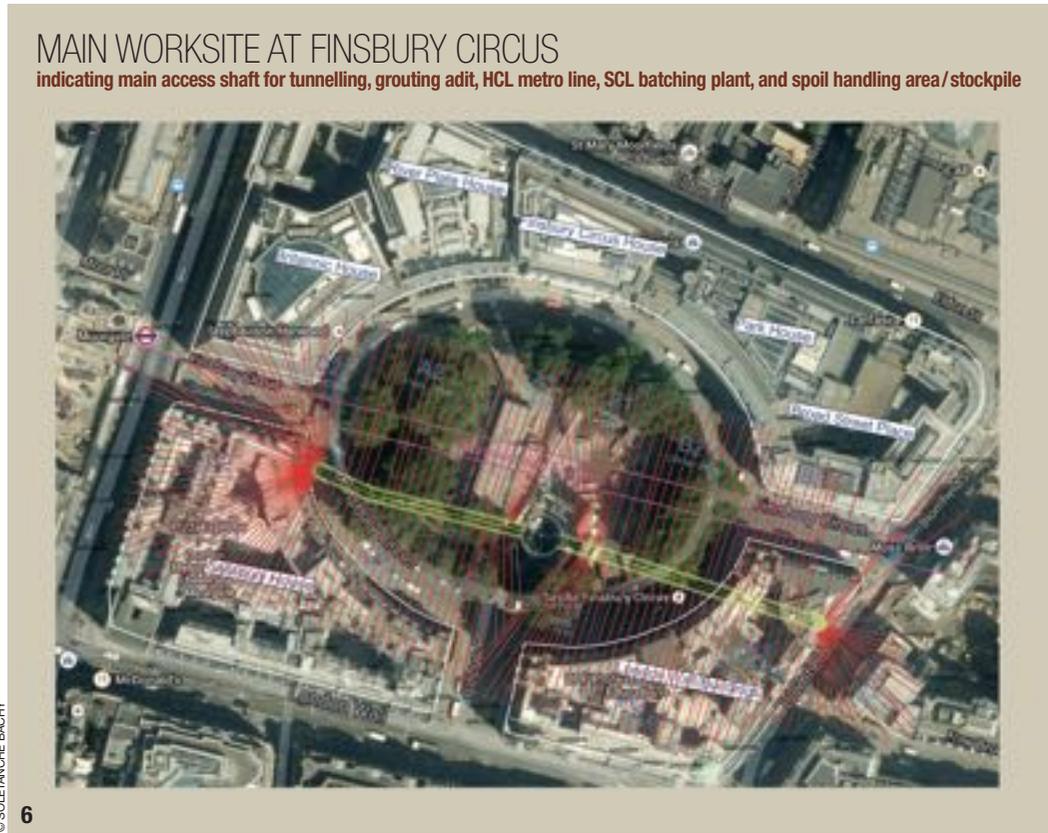
© SOLETANCHE BACHY

6- Main work-site at Finsbury Circus, indicating main access shaft for tunnelling, grouting adit, HCL metro line, SCL batching plant, and spoil handling area / stockpile.

7- Lateral view of grout gallery and borehole arrays, and ground treatment array at Electra House.

6- Chantier principal à Finsbury Circus, indiquant le puits d'accès principal pour le creusement du tunnel, la galerie d'injection, la ligne de métro HCL, la centrale de préparation du béton projeté et la zone de manutention / stockage de déblais.

7- Vue latérale de la centrale d'injection et des réseaux de forage et de traitement du sol à Electra House.



- Development of a new Building Research Establishment Environment Assessment method (BREEAM) for evaluating the environmental performance of new below-ground Crossrail stations.
- Crossrail rolling stock procurement includes requirements relating to regenerative braking, energy consumption and weight limits.
- All lorries delivering to Crossrail sites are required to carry additional safety features and regular drivers must undergo additional road safety training.
- Measures are implemented to track ethical sourcing of material through the supply chain.
- Four Crossrail construction sites win a Considerate Contractor Scheme National Award.

PROPERTY IMPACT

- Research undertaken by property consultants GVA shows that from 2008 to 2013, 41% of planning applications within a kilometre of a Crossrail station cited the new railway as a justification for the development proceeding, equating to around 3 million square feet of residential, commercial and retail space.
- Crossrail could help create £5.5 billion in added value to residential and commercial real estate along its route between 2012 and 2021, according to research for Crossrail by GVA, including the delivery of over 57,000 new homes and 3.25 million square metres of commercial space.
- Commercial office values around Crossrail stations in central London will increase over the next decade,

- with an uplift of 10 per cent in capital value above an already rising baseline projection.
- Residential capital values are projected to increase immediately around Crossrail stations in central London by 25 per cent, and by 20 per cent in the suburbs, again above a rising baseline projection.
- Significant property investment could take place at locations including Canary Wharf, Farringdon, Whitechapel, Abbey Wood, Custom House, Ealing Broadway, Southall and Woolwich.
- Crossrail is already having an impact on property investment decisions particularly in central London, and the impact of Crossrail on the residential property market will also extend out to Berkshire and Essex.

GENERAL BENEFITS

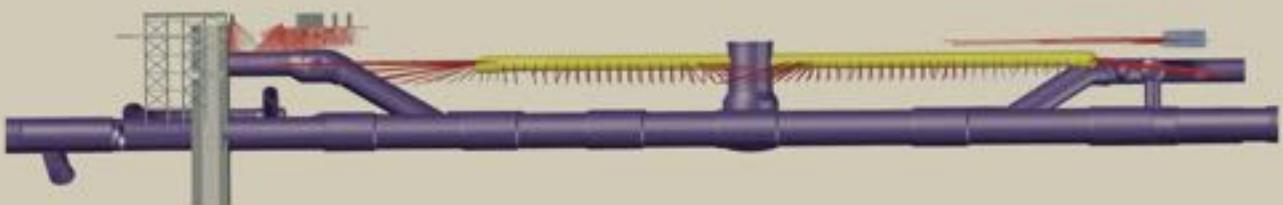
INCREASED CAPACITY

- Crossrail will increase London's rail capacity by 10% - the largest increase since World War 2. This will reduce congestion and allow for more comfortable journey conditions.
- Congestion at many London Underground stations will be reduced, even for those that are not on the Crossrail route - such as Oxford Circus.

IMPROVED CONNECTIVITY

- Crossrail will improve connectivity: it will make it easier for businesses to move about London, to meet clients and negotiate with suppliers.
- Moreover, Crossrail will make accessing our major international gateways like London Heathrow ▷

LATERAL VIEW OF GROUT GALLERY AND BOREHOLE ARRAYS, AND GROUND TREATMENT ARRAY AT ELECTRA HOUSE





© SOLETANCHE BACHY

- more accessible - for instance, the journey time from London Heathrow to the City of London (Liverpool Street) will fall from 55 to 32 minutes.
- Crossrail will increase the number of people who are able to access employment destinations throughout London. This will enable businesses to access the people with the skills they need to be able to compete and succeed, and will open up new employment opportunities for individuals.
 - Overall, Crossrail will bring 1.5 million more people within a 45-minute commute of the existing major employment centres of the West End, the City and Canary Wharf (up from five million currently).
 - This improved connectivity will also be designed to help people with restricted mobility. New Crossrail stations will have step-free access from platform to street level and for the majority of interchanges with other London Underground and national rail services: 95% of journeys are forecast to have a step-free origin and destination station.

PROJECT TIMELINE AND MILESTONES

2014: The contract for Crossrail's new high-capacity rolling stock was awarded in February 2014. The contract for the Crossrail Train Operating Concession (CTOC) was awarded to MTR Corporate (Crossrail) Ltd in July 2014. By the end of 2014, the vast majority of Crossrail's 26 miles of tunnelling and the major civil engineering works were nearing completion.

- 2015-2017: Major fit-out of stations and tunnels continues as does the major upgrade of the existing rail network for Crossrail services by Network Rail.
- 2017: The first new Crossrail rolling stock will start to replace existing suburban trains.
- 2018: In late 2018, the first Crossrail services will start through the central London tunnel section.
- 2019: In late 2019, the full Crossrail service will be operating.

BACHY SOLETANCHE ACTIVITY

Bachy Soletanche have been involved in providing geotechnical services on several Crossrail projects, either as subcontractor or as a full joint-venture partner. Works have included secant and contiguous piling, diaphragm walling, mini-piling, pipe roofing, soil consolidation, and extensive compensation grouting to control tunnelling induced settlements at three major stations - Liverpool Street, Whitechapel, and Bond Street. Current activity is principally the settlement control at Liverpool Street and Bond Street stations, the tunnelling and settlement control at Whitechapel having been completed in August 2014. (picture 2).

CROSSRAIL C510: LIVERPOOL STREET & WHITECHAPEL STATION TUNNELS

On this project Bachy Soletanche supports the BBMV joint venture (comprising Balfour Beatty, Bemo Tunnelling, Morgan Sindall and VINCI Construction Grands Projets) constructing the Liverpool Street and Whitechapel Crossrail station platform enlargement tunnels using spray concrete lining (SCL) techniques.

8a & b- Drilling and grouting operations in the grouting adit.

8a & b- Opérations de forage et d'injection dans la galerie d'injection.

The C510 contract works include the construction of two 250m long platform tunnels, a 250m passenger concourse tunnel, and associated cross-passages and escalator tunnels beneath the future Crossrail stations at both Liverpool Street and Whitechapel. The work requires the excavation of circa 240,000m³ of material from the tunnelling works, much of this below prestigious buildings in the City of London. Since contract award in January 2011 the C510 works have been faced with a number of challenges associated with working on very confined and restricted sites nestled amongst a residential community at Whitechapel, and in working surrounded by prestigious listed heritage structures at Finsbury Circus in the City of London. The BBMV team have worked through such challenges and have to date substantially completed the tunnel excavation and primary spray concrete lining (SCL) works at both stations. Parts of the excavations are the largest ever constructed in London Clay (pictures 3a and 3b). Completion of the primary SCL works at Whitechapel in 2014 has allowed two 1,000-tonne tunnel boring machines (TBM), "Elizabeth" and her sister machine "Victoria", to break into the eastbound and westbound platform tunnels respectively at Whitechapel.

These TBMs are completing the longest tunnel drive on the Crossrail project, from Limmo Peninsula near Canning Town to Farringdon, a distance of 8.3km (5.2 miles). "Elizabeth" transited through Whitechapel on schedule and she arrived at Liverpool Street in January 2015.

Work is now focussed on the Liverpool Street station site where waterproofing and secondary SCL work is ongoing in preparation for receiving the second TBM from Whitechapel. Tunnel excavation work is due to recommence in 2015 with the escalator connections into Broadgate and Moorgate, situated to the east and west of the station respectively. Such tunnel excavation works will not be possible without the ongoing support of compensation grouting.

Settlement Mitigation by Compensation Grouting

Compensation grouting is a technique which is becoming more and more widespread for controlling tunnelling-induced settlements associated with excavations in urban areas. During tunnel excavation, by whatever method, there is always a surplus volume excavated, the "face loss". This face loss volume, which can vary from 0.5 to 3% of the tunnel excavation volume depending upon the tunnelling method, initiates localised relaxation above the tunnel which migrates progressively to the surface and gives rise to settlements, which can create undesirable slopes and deflections and ultimately damage, to existing infrastructure, structures, and utilities. There are a number of geotechnical processes which can be used to prevent this tunnelling induced settlement, some of which are preventative and can be executed prior to tunnelling and some of which are executed post-tunnelling to correct for the induced displacements.



9a

© SOLETANCHE BACHY

9a & b- 9a:
Access shaft at
Finsbury Circus
(note grout adit
at mid-depth),
and 9b: depres-
surisation
drilling.

9a & b- 9a:
Puits d'accès à
Finsbury Circus
et 9b : forages
de décompression.

Many of these techniques require too much time or too much access to implement in an urban environment. Compensation grouting is therefore generally employed where access for preventative works is not available, or where the degree of displacement and induced damage predicted during tunnelling is unacceptable.

The technique is to replace the face loss at depth below the affected structures by injecting a self-hardening grout or slurry in parallel with the tunnelling works, so that the surface displacements are kept to a minimum. The objectives are:

→ To re-compact the soil at depth, as close as possible to the source of the relaxation, to try to restore the original stresses and equilibrium.



9b

© SOLETANCHE BACHY

→ Maintain the structure within pre-defined limits for total settlement, slope, and deflection in order to minimise both the structural and cosmetic effects.

→ Avoid excessive cycles of settlement and heave which might induce stresses in the structure.

Compensation grouting has proven itself to be extremely effective in a wide range of soil conditions, and for a wide range of structures of varying degrees of stiffness and physical condition.

It is a technique which requires a total control over the process at all stages, including for:

→ Establishment of soil geotechnical parameters.

→ Establishment of tunnelling geometry and construction sequence.

→ Generation of total and partial settlement control plots for each stage of excavation.

→ Surface settlement prediction for each individual structure.

→ Induced damage assessment for each individual structure.

→ Establishment of limiting values for settlement, slope, and deflection for each individual structure, including establishment of trigger values for partial displacements, with appropriate response measures:

→ Installation of manual and real-time surface and structural monitoring.

→ Design and installation of the bore-hole array and grout delivery system.

→ Pre-conditioning of the ground to improve its competence in advance of tunnelling, in order to prime the system and ensure rapid response from the active compensation grouting.

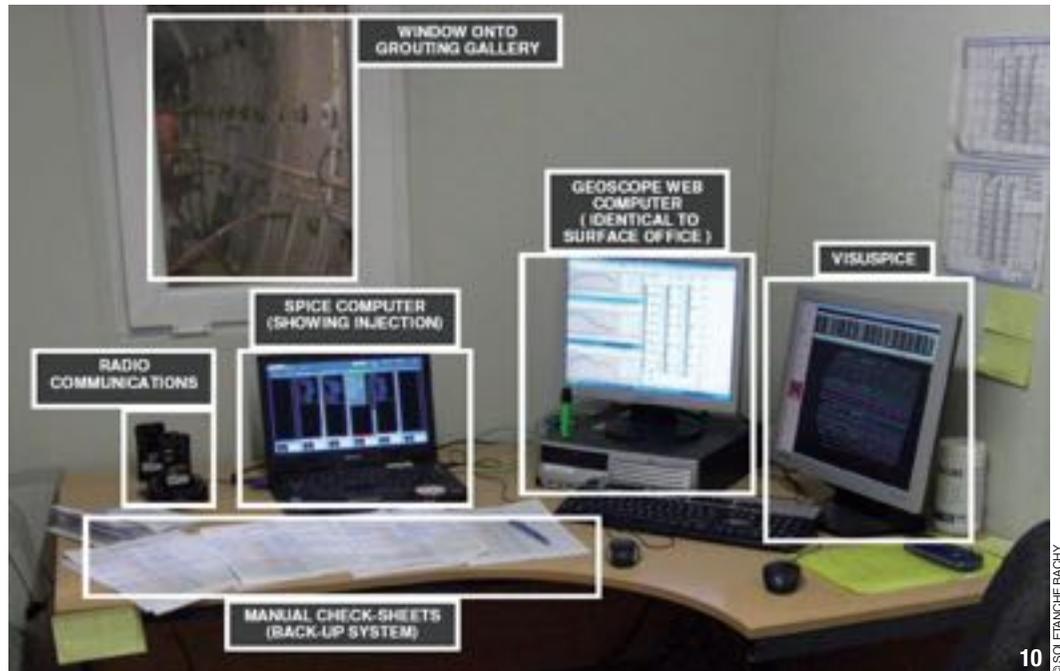
→ Provision of adequate equipment and personnel resources, management and control systems, monitoring and reporting systems, to manage active compensation grouting in parallel with tunnelling.

For Crossrail there are significant challenges for the contractor. The core technical challenges include:

- Settlement control for key structures and utilities.
- Application of complex and detailed Crossrail specifications.
- Structures with mixed foundations, diverse sensitivity, complex structural history.
- Prestigious & historic structures, influential stakeholders.
- Victorian era utilities and infrastructure 120-150 years' old.
- Impact of compensation grouting on underground infrastructure and utilities.
- Management of various specifications for buildings, LUL tunnels and utilities.
- Assessment of potential settlement and damage.
- Project scale and availability of industry resources.

At Liverpool Street station, total settlements of up to 120mm were predicted. The surface access constraints were severe, and a decision was taken to construct a 200m long grouting gallery at a depth of 20m, some 20m above the main tunnel excavations, from which a total of 12,000 m of compensation grout injection pipes of up to 70m in length have been installed horizontally to cover the area and structures designated as requiring protection (pictures 5, 6, and 7).

To date, a total of circa 6500m³ of grout have been injected for settlement control, out of a predicted total of almost 8000m³. Pre-conditioning grouting commenced in 2012, and active compensation grouting has been continuing throughout the duration of the tunnelling works, which are nearing completion. The final and most critical areas of tunnelling will be excavated during 2015, and these include to escalators rising up from the main tunnel levels to connect with the new and existing station boxes at the surface.



WORK QUANTITIES TO DATE

Whitechapel

Drilling:

- 64 No. TaMs; 3214m installed.
- 3,775m² area of array.

Grouting:

- Preconditioning: 66m³ of grout injected.
- Active compensation grouting: 162m³ of grout injected.
- Corrective grouting: 223m³ of grout injected.

Liverpool Street

Drilling:

- East Adit: 121 No. TaMs; 5751m installed.
- West Adit: 118 No. TaMs; 6303m installed.
- Blomfield: 48 No. TaMs; 1785m installed.

→ 26,542m² area of combined array Grouting (to 20th February 2015):

- Preconditioning: 261m³ of grout injected.
- Active compensation grouting: 2,335m³ of grout injected.
- Corrective grouting: 3,910m³ of grout injected.

Working closely with BBMV and the Ground Engineering Team, Sol Data has implemented a sophisticated system of instruments and reference targets to allow, via their GEOSCOPE WEB database, multiple access and remote monitoring of the movements of structures as the work progresses. This ensures informed decisions are made in respect of the tunnelling and compensation grouting works. To date, movement of the Hammersmith & City

10- Grout injection and monitoring control station in the grouting adit.

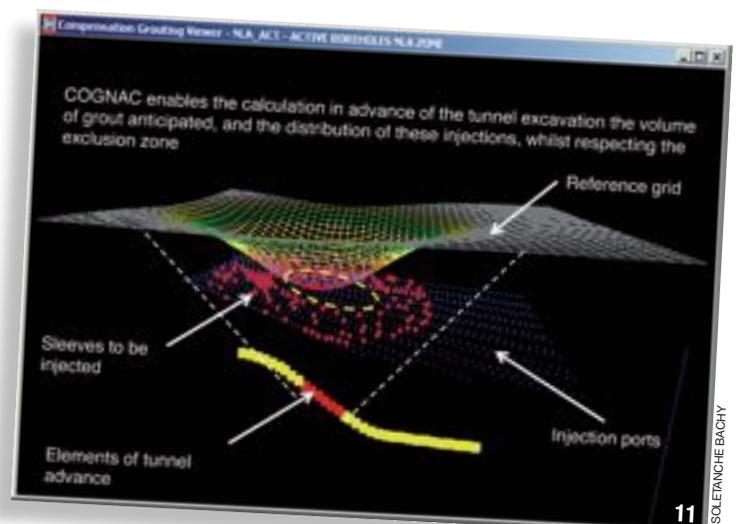
11- Graphical representation of COGNAC programme in parallel with tunnel advance.

10- Injection de coulis et poste de contrôle dans la galerie d'injection.

11- Représentation graphique selon le logiciel COGNAC, à l'avancement du tunnel.

metro line and the specified buildings within Finsbury Circus continue to be well controlled by compensation grouting; with all structures being held within specified tolerance.

For over 30 years Bachy Soletanche have been developing design, control, monitoring and analysis tools and software for grouting works. These commence with a programme for 3-D modelling of existing structures and utilities, the geology, the borehole array, and the injection geometry. Other elements of the software suite deal with the computer control of the grout pump and real-time observation of grouting data, the establishment of an injection database where injection parameters can be programmed and injection data can be collected and analysed, and



a graphical interface where injection data can be presented graphically for rapid analysis and simulation by the grouting engineer.

These programmes are not only cost effective in reducing technical and management resources on site, but allow the site team to have a very high degree of control of the tunnelling induced settlements and the settlement mitigation operations. They also provide the logical reference framework for recording and analysing structural movements and providing the necessary traceability and visibility which are essential for the Client to demonstrate the control of the tunnelling operations to third-party stakeholders.

Over the past 10 years Bachy Solélanche has, in particular, been developing COGNAC, a design software package specifically configured for compensation grouting. This program models each individual element of the tunnel advance in 1m increments, and together with the established geotechnical parameters for the soil, and the tunnelling contractor's predictions for

the percentage of face loss, generates a settlement contour plot for each individual tunnel advance. The settlement contours, combined with accurate XYZ coordinates for each of the injection ports, allows the active compensation grouting programmes to be prepared in advance ready to be activated upon commencement of the tunnel element in question. This predictive approach

12- Extrait from daily technical meeting - detailing the work programme proposed for the following 24 hours.

12- Extrait de la réunion technique quotidienne détaillant le programme des travaux proposé pour les 24 heures suivantes.

enables active compensation to start at the earliest possible moment, helps minimise the migration of relaxation to the surface, and consequently minimises the cyclical differential displacements and stress variations which generate damage to structures.

One of the key elements of any compensation grouting scheme, because the injections are running in parallel with other activities, is the daily meeting between the tunnelling contractor, monitoring contractor, grouting contractor, client, and other interested parties. This daily meeting is essential to ensure that all activities are coordinated and each contractor understands what work is taking place in the vicinity of his own operations so that clashes between activities, whether logistical or technical, can be avoided.

At the daily meeting all parties report on the activity for the previous 24 hours and present their programme for the next 24 hours so that approval can be obtained from all parties. In order for the meeting to be conducted efficiently, the compensation grouting engineer must summarise graphically his operations and proposals to enable a rapid understanding of the current situation and an appraisal of the proposals for future work.

When carefully planned and executed, compensation grouting can be an extremely powerful tool to assist in delivering complex tunnelling projects in an urban environment. On many occasions where compensation grouting has been used it may have been impossible to construct the works without this technique, or alternative means may have been prohibitively expensive, making the development non-viable.

Compensation grouting has been carried out with success on many sites in Europe and North America, proving itself to be a flexible process which can adapt to changes in the construction design and programme. However, the basic provision for compensation grouting on any project must be considered from the outset, to be included in the global design, programming, and concept for the works. The key elements for delivering compensation grouting must be

When carefully planned and executed, compensation grouting can be an extremely powerful tool to assist in delivering complex tunnelling projects in an urban environment. On many occasions where compensation grouting has been used it may have been impossible to construct the works without this technique, or alternative means may have been prohibitively expensive, making the development non-viable.

EXTRACT FROM DAILY TECHNICAL MEETING detailing the work programme proposed for the following 24 hours



planned early and be in place before any settlement-inducing construction commences so that the provision for compensation grouting must be an integral part of the overall project. The installation and planning of compensation grouting works, the essential structural monitoring, cannot be added in to the project as an afterthought - there would simply be no time or access to implement a successful programme once construction has started and surface settlement has begun develop. Compensation grouting can be an expensive technique to implement, and therefore at the project planning stage other viable alternatives must be considered in full, and either rejected or adopted in place of compensation grouting. The future application of this process and acceptance by the client depends on providing visible cost-effective solutions for the project. At Whitechapel station alternative works have been used on certain structures, including column jacking on the steel frame of a multi-storey car park, mini piling to the local sports centre and school, and even no action at all in the case of

an apartment block predicted to suffer only light cosmetic damage. The solution in the case of the apartment block was to build into the project the cost of the repair and remedial works once project is complete.

Complementary Works

As part of the works for Liverpool Street station, Bachy Soletanche has also implemented an intensive programme of permeation grouting at the Electra House site, which is located between Finsbury Circus and the neighbouring Moorgate Box site. The purpose of the permeation grouting is to consolidate the River Terrace deposits which lie directly above the London Clay and directly above the future escalator tunnel which BBMV will construct in 2015. The escalator tunnel will connect the Liverpool Street platform tunnels to the new Crossrail ticket hall being constructed by others at Moorgate, and will in part be excavated uphill from within the London clay and into the highly permeable sands and gravels of the Terrace Gravel horizon. The escalator will pass just 2m below a major trunk sewer, 4m below the basement of a

sensitive and important building, and 5m above the existing Northern line to tunnels. Grouting of the River Terrace deposits is therefore a prerequisite to tunnelling to ensure the future shallow level escalator can be mined in complete safety and to ensure movement of structures within the zone of influence of the tunnel is maintained within acceptable tolerance. On completion of the permeation grouting a pipe arch will be constructed above the crown of the future tunnel to provide further support

to the escalator works. Once the consolidation and pipe roofing works are completed, tunnelling will commence with the additional protection provided by the compensation grouting array.

SUMMARY

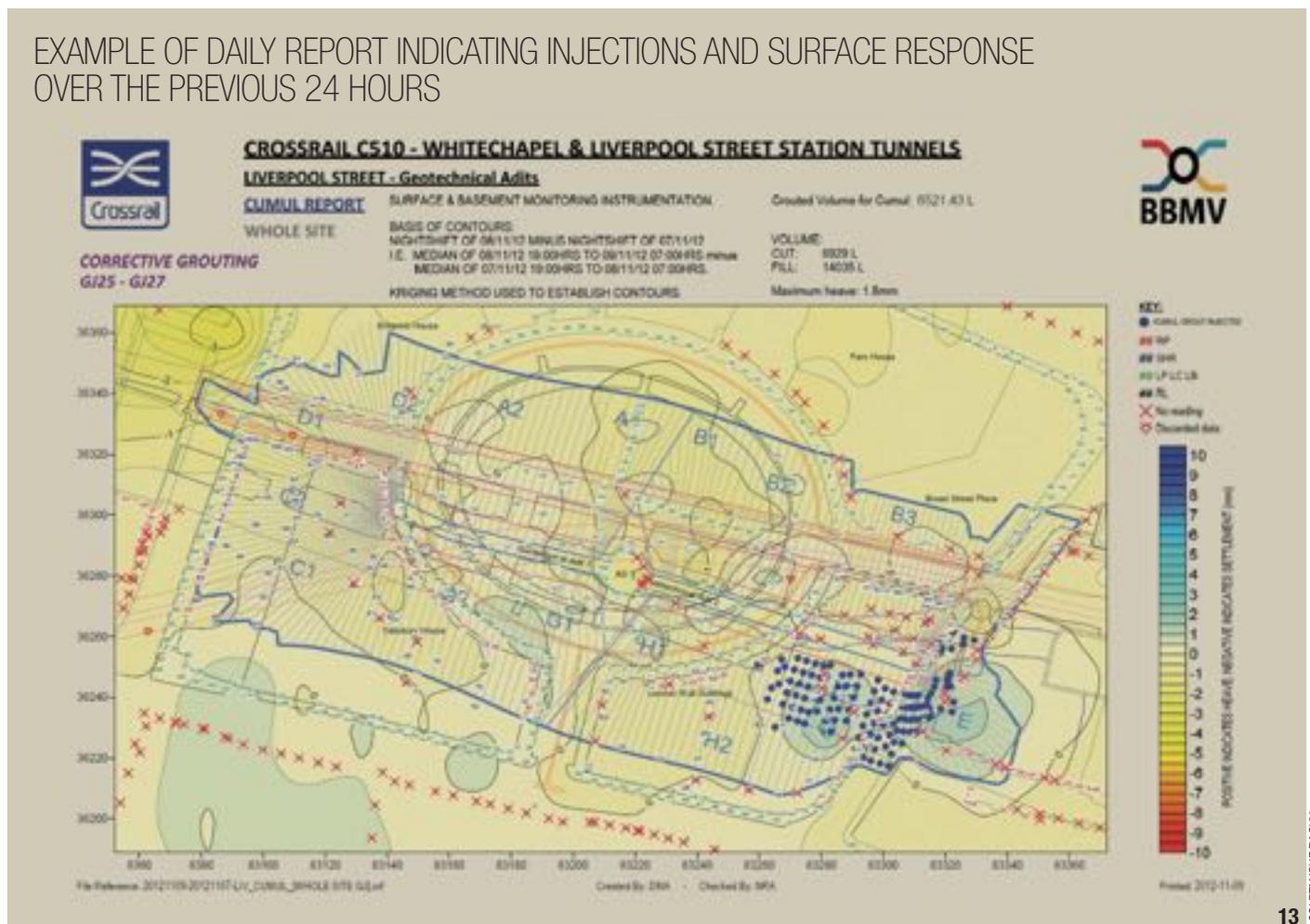
The compensation grouting works at Liverpool Street, Whitechapel, and Bond Street station have been extremely successful in limiting surface displacements sufficiently to maintain structures, infrastructure and utilities within specified tolerances, and also allow for post-excavation consolidation of the ground to avoid long-term consolidation settlement. This long-term settlement is being addressed on a building by building basis and will continue during the coming months.

Throughout the C510 and Bond Street works the two Joint Ventures have received a number of commendations, including Considerate Constructors National Award. The judges praised the works at C510 for displaying the highest levels of consideration towards the public, its workforce and the environment through adherence to the

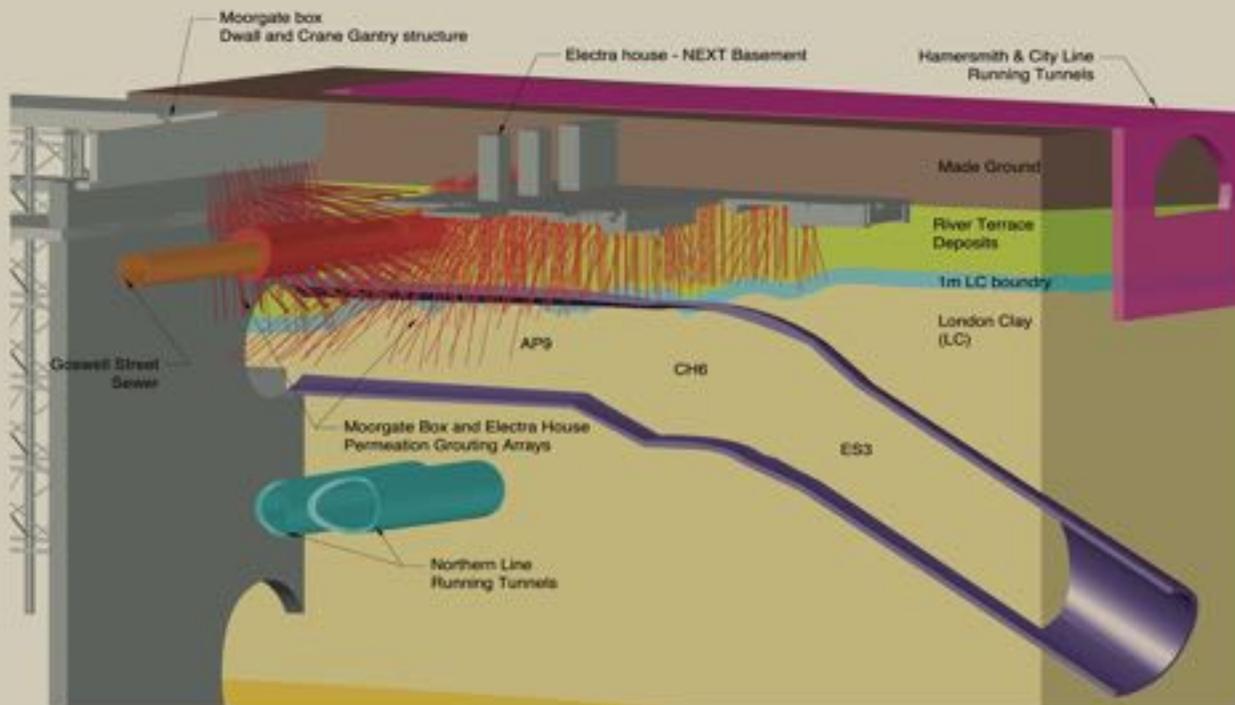
13- Example of daily report indicating injections and surface response over the previous 24 hours.

13- Exemple d'un rapport quotidien indiquant les injections et la réponse sur les dernières 24 heures.

EXAMPLE OF DAILY REPORT INDICATING INJECTIONS AND SURFACE RESPONSE OVER THE PREVIOUS 24 HOURS



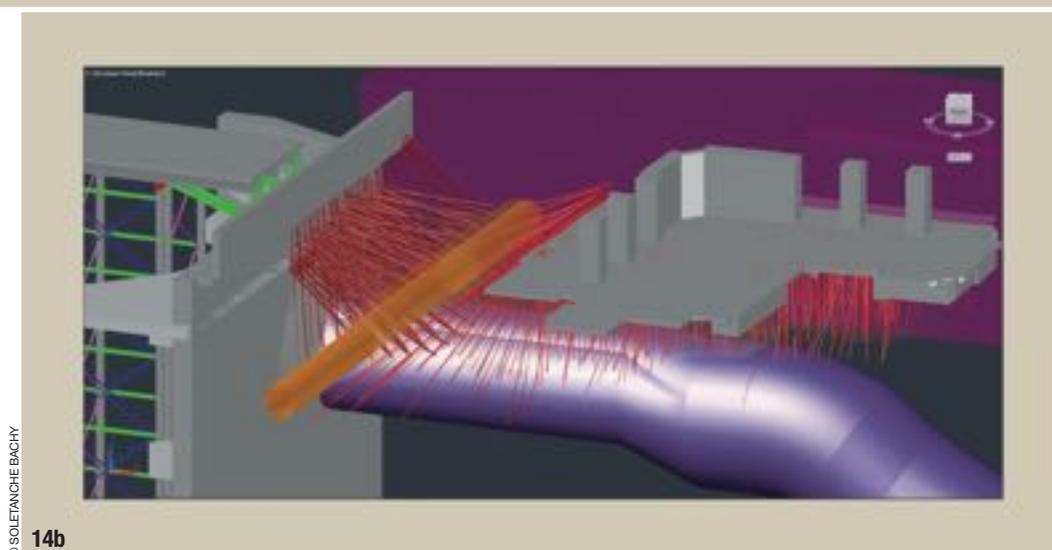
ESCALATOR EXCAVATION BREAKING INTO MOORGATE BOX, BETWEEN TRUNK SEWER AND NORTHERN LINE METRO



14a

14a & b- Escalator excavation breaking into Moorgate box, between trunk sewer and Northern Line metro.

14a & b- Excavation pour escalier mécanique débouchant dans la boîte de Moorgate, entre le collecteur principal et la ligne de métro Northern Line.



14b

Scheme's five-point Code of Considerate Practice, namely:

- Care about Appearance.
- Respecting the Community.
- Protecting the Environment.
- Securing everyone's Safety.
- Valuing their Workforce.

The success of the Crossrail C510

project will be measured against a wide range of indicators but ultimately completing the tunnels safely, to the required quality, on programme and to budget, while controlling and managing tunnel induced settlement from a ground engineering perspective, are the primary goals. □

MAIN ACTORS

- COMMISSIONING CLIENT :** Transport for London (TfL)
- DELIVERY TEAM :** Crossrail (CRL)
- MAIN CONTRACTOR :** BMW JV (Balfour Beatty, Morgan Sindall, Bemo Tunnelling, Vinci Grands Projets, Bachy Soletanche)

ABSTRACT

CROSSRAIL

CLIF KETTLE, SOLETANCHE BACHY GROUP - IAN ACREMEN, BACHY SOLETANCHE LTD

Bachy Soletanche réalise actuellement, au cœur de Londres, dans le cadre du projet Crossrail, une opération complexe de maîtrise des tassements par injections de compensation. Des techniques complémentaires ou alternatives telles que les micropieux, le confortement du sol et le vérinage de colonnes sont également mises en oeuvre de concert avec les injections de compensation pour maîtriser les phénomènes de tassements soumis à des tolérances qui peuvent atteindre 1/2000^e. Les travaux nécessitent l'intégration complète des équipes de forage, d'études géotechniques et de contrôle afin d'assurer la protection des structures de surface, des services généraux ainsi que des lignes de métro existantes contre les effets des tassements différentiels induits par les importants travaux d'excavation de puits et de tunnels revêtus de béton projeté, pour les gares de Liverpool Street, Whitechapel et Bond Street. □

CROSSRAIL

CLIF KETTLE, SOLETANCHE BACHY GROUP - IAN ACREMEN, BACHY SOLETANCHE LTD

Actualmente, Bachy Soletanche está llevando a cabo un complejo control de asentamientos mediante inyecciones de compensación en el corazón de la City de Londres, en el marco del proyecto Crossrail. Asimismo, está aplicando técnicas adicionales o alternativas, como los micro-pilares, la compactación de terrenos y la construcción de columnas, combinadas con inyecciones de compensación, para gestionar las pendientes y las desviaciones hasta alcanzar tolerancias de 1 por cada 2000 como máximo. Las obras requieren una integración completa de los equipos de tunelado, geotécnica y supervisión para proteger las estructuras de superficie, los conductos de suministros y las líneas de metro existentes de los efectos de los asentamientos diferenciales inducidos por la realización de amplios huecos y excavaciones de túneles con tecnología SCL en las estaciones de Liverpool Street, Whitechapel y Bond Street. □



1
© PHOTOTHÈQUE SETEC

RETOUR SUR LA RENOVATION LOURDE DU TUNNEL DE LA CROIX-ROUSSE

AUTEUR : EDWARD CLAYTON, DIRECTEUR DE PROJET, SETEC

LE GRAND LYON A SU TRANSFORMER UNE CONTRAINTE RÉGLEMENTAIRE, CELLE DE METTRE AUX NORMES DE SÉCURITÉ UN TUNNEL ROUTIER VÉTUSTE, EN UNE OPPORTUNITÉ DE DÉVELOPPER LES MODES DOUX DANS LA VILLE ET D'AMÉLIORER LE CADRE DE VIE DES LYONNAIS AVEC UN PROJET URBAIN FORT, CARACTÉRISÉ PAR DES CHOIX TECHNIQUES ADAPTÉS À CE TUNNEL HISTORIQUE DATANT DE 1952. LES TRAVAUX DONT IL EST QUESTION AURONT DURÉ 4 ANS.

GENÈSE DU PROJET

Le tunnel de la Croix Rousse a été inauguré le 9 avril 1952 par le maire Édouard Herriot, après 13 années de travaux. Dès sa mise en service, le tunnel a joué un rôle majeur dans l'agglomération lyonnaise en offrant une liaison directe est-ouest au cœur de la ville, entre le Rhône et la Saône, à 70 m environ sous la colline de la Croix-Rousse. Il s'agissait à l'origine d'un ouvrage monotube bidirectionnel à 2x2 voies et d'une longueur de 1 752 m.

Suite à l'incendie du tunnel du Mont-Blanc en 1999 et aux évolutions de la

réglementation qui ont suivi, une mise aux normes de sécurité du tunnel de la Croix Rousse est devenue urgente. Les dispositions suivantes ont été anticipées dès 2004, sur la base d'une première étude de danger incendie :

- Réalisation de travaux d'urgence entre 2004 et 2006 concernant principalement la sécurisation du réseau HT et la rénovation du réseau incendie ;
- Prise de mesures d'exploitation limitant la vitesse à 50 km/h et interdisant la circulation des véhicules supérieurs à 2,5 m et dont le PTAC est supérieur à 3,5 t.

1- Entrée en terres côté Saône.

1- Adit on the Saône side.

Malgré ces mesures, le dossier de sécurité produit en avril 2006 a mis en évidence des insuffisances majeures, parmi lesquelles l'absence d'issues de secours permettant aux usagers

d'évacuer le tunnel en cas d'incendie. La création de ces issues de secours nécessitait la construction d'une galerie de sécurité reliée au tunnel tous les 150 m.

Suite à un processus de concertation des riverains, le Grand Lyon a choisi de mettre à profit la nécessité de creuser cette nouvelle galerie pour investir dans la construction d'un tube dédié aux modes doux : transports en commun, piétons et cyclistes. Ainsi, plutôt que de réaliser un ouvrage utilisé uniquement en cas d'incident, le Grand Lyon a opté pour un ouvrage utile aux Lyonnais au quotidien.



CONSISTANCE DE L'OPÉRATION

La rénovation du tunnel de la Croix-Rousse englobait les travaux suivants :

- La rénovation du tunnel routier en conservant un profil en travers à 2x2 voies avec séparateur central ;
- La réalisation de 11 issues de secours espacées de 150 m ;
- Le percement d'un tube modes doux comportant une voie bus unidirectionnelle dans le sens Rhône vers Saône, un trottoir et une piste cyclable bidirectionnelle ;
- L'animation du tube modes doux ;
- La rénovation complète des 5 usines de ventilation situées sur le plateau de la Croix-Rousse et des puits de ventilation reliant ces usines au tunnel ;
- La réalisation de locaux techniques souterrains et aux têtes alimentant tous les équipements du projet ;

2- Entrée en terres côté Rhône.

3- Évacuation du marin par voie fluviale.

4- Excavations pour les garages et locaux techniques.

2- Adit on the Rhône side.

3- Muck removal by waterway.

4- Excavations for depots and plant rooms.

- Des aménagements urbains aux têtes du tunnel, en particulier la reconfiguration de la place Chazette côté Rhône ;

- La mise en place d'un système d'information des tunnels du Grand Lyon (hypervision de l'ensemble des tunnels).

Au-delà de la mise en sécurité de l'ouvrage, les principaux enjeux de l'opération étaient de rendre urbain l'ouvrage routier d'origine, de ne pas favoriser l'augmentation du trafic automobile et de promouvoir les modes doux.

MODE DE CONTRACTUALISATION

Les difficultés techniques liées au creusement d'un tunnel en milieu urbain dense sont importantes et les solutions techniques les plus adaptées dépendent en partie du savoir-faire des entreprises. Pour ces motifs d'ordre

technique, le MOA choisi de recourir à un marché de conception-réalisation. Le marché comportait 4 lots (Génie Civil, Équipements, Conception, Architecture), chacun d'eux étant confié à un sous-groupe d'entreprises solidaires. Le positionnement des concepteurs et des architectes comme cotraitants des entreprises traduisait les attentes fortes du MOA dans ces domaines.

Le marché était de type forfaitaire basé sur un ensemble d'exigences synthétisées dans le programme détaillé de l'opération.

Suite aux études préliminaires réalisées en 2006 par l'AMOT, la consultation a été lancée en décembre 2007 puis le marché a été notifié en mai 2009. L'offre technique remise par le groupe constituait un dossier de niveau AVP. ▷



PLANNING DE L'OPÉRATION

Les études et travaux ont été réalisés dans un délai de global de 55 mois à compter de mai 2009. Les dates clé de l'opération sont rappelées ci-dessous :

- Études : remise du dossier Projet (PRO) Génie Civil en janvier 2010 (TO + 8 mois) et du dossier PRO Équipements en septembre 2010 (TO + 16 mois) ;
- Travaux préparatoires de mars 2010 à septembre 2010 en tête Saône et décembre 2010 en tête Rhône ;
- Creusement du tube modes doux en 12 mois, de septembre 2010 à septembre 2011, avec deux attaques à partir du mois de décembre 2010 ;
- Revêtement, VRD et équipements du tube modes doux et des 4 locaux techniques de septembre 2011 à novembre 2012 ;
- Rénovation complète du tunnel routier en 10 mois, de novembre 2012 à septembre 2013, date de la réouverture aux voitures ;
- Finitions dans le tube modes doux de septembre 2013 à décembre 2013. L'inauguration a eu lieu le 5 décembre 2013 en avant-première de la Fête des lumières.

Le planning comportait une phase de fermeture complète du tunnel routier qu'il s'agissait de limiter dans le temps pour minimiser les perturbations dans l'agglomération liées au report de la circulation (40 000 v/j) sur les autres axes.

La durée de la fermeture a été optimisée à 10 mois. L'option d'utiliser le nouveau tube modes doux pour basculer provisoirement une partie du trafic routier pendant la rénovation du tunnel routier n'a pas été retenue pour ne pas nuire à l'image du tube modes doux. Les locaux techniques et les galeries de communication entre tubes ont été



© PHOTOThÉQUE SETEC

entièrement équipés, testés et mis en service avant la fermeture du tunnel routier. Les nouveaux équipements du tube routier rénové n'avaient plus alors qu'à être raccordés dans les armoires en place. Cette démarche a permis de fiabiliser le délai de fermeture en limitant le risque de retard dû à des problèmes de fonctionnement des différents systèmes.

Le tube routier est resté ouvert pendant toute la période de creusement du nouveau tube, à l'exception de fermetures ponctuelles d'une heure et quart environ au moment des tirs. Ce délai incompressible permettait de réaliser le balisage, le raccordement de la volée et le tir, le relevé des capteurs puis les inspections avant le débalisage et la réouverture du tunnel.

TRAVAUX PRÉPARATOIRES

Les travaux préparatoires ont consisté à libérer les emprises, à réaliser les installations de chantier puis les soutènements nécessaires pour permettre le démarrage du creusement.

Côté Saône, les emprises nécessaires pour le tube modes doux empiétaient

5- Profil en travers du tube modes doux.

6- Équipement des locaux techniques.

7- Galeries de communication entre tubes.

5- Cross section of the soft transport tube.

6- Plant room equipment.

7- Connecting galleries between tubes.

en fibre de verre au droit de la section à excaver. Les pieux tangents butonnés ont apporté une raideur suffisante à la boîte pour ne pas déconfiner les terrains autour du faux tunnel existant en maçonnerie situé à moins de 10 m (figure 1).

Côté Rhône, l'entrée en terres était beaucoup plus complexe à cause de la raideur de la Balme, de la densité de l'habitat urbain et des vestiges de bâtiments (fondations et caves) démolis 70 ans auparavant lors du creusement du tunnel historique. Une paroi clouée de 25 m de hauteur a été réalisée avec deux poutres tirantées horizontales permettant de stabiliser si besoin les déplacements de la paroi clouée (figure 2). Ces poutres disposaient en effet d'une réserve de tension qui n'a pas été utilisée car les déplacements de la paroi clouée sont restés en dessous des prévisions par le calcul (moins de 1 cm). En partie basse de la paroi clouée, une boîte en pieux tangents similaires à celle construite en tête Saône permettait d'atteindre la cote de démarrage du creusement. L'instrumentation et le suivi des déformations par la méthode observationnelle ont permis de maîtriser les risques liés à cette entrée en terres. Ce point a déjà fait l'objet de publications dans la revue Travaux.

Par ailleurs, un référent préventif a été réalisé sur l'ensemble du périmètre d'influence des travaux de creusement.

CREUSEMENT DU TUBE MODES DOUX

Le tube modes doux a été creusé principalement dans le granite et le gneiss constituant le socle rocheux de la colline, avec présence de miocène au niveau des têtes. Côté Saône, le gneiss a été rencontré à moins de 15 m du tympan, une seule volée de voûte para-pluie a été nécessaire. Côté Rhône, la

sur le parking de la CNR, ce parking a donc été reconfiguré pour permettre son exploitation pendant toute la durée des travaux. Les soutènements constituant la boîte d'entrée en terres comprenaient deux rideaux de pieux tangents butonnés en tête avec un mur de front de type paroi clouée, avec boulons



6



7

lente remontée du granite a conduit à réaliser 11 volées de voûte parapluie de longueur unitaire 7,5 m. Sur 85 % du linéaire, le soutènement réalisé est de type coque boulonnée avec béton projeté fibré et boulons Swellex. En dehors des têtes, des profils cintrés ont été mis en œuvre ponctuellement au droit de quelques zones de rocher altéré.

Le creusement dans le rocher a été réalisé à l'explosif avec une émulsion pompable (système Morse) à base de nitrate d'ammonium. La section excavée théorique était de 80 m² environ pour un diamètre intérieur final de 10,4 m. Une longueur de volée moyenne de 4,5 m a pu être atteinte, avec 120 trous chargés et un ratio moyen d'explosif de 1,65 kg/m³ excavé. 245 tirs ont été réalisés côté Saône, soit en moyenne 5 tirs par semaine, et 118 tirs côté Rhône.

Les limitations de vibrations imposées par le tunnel existant (à une distance de 30 m seulement) se sont avérées plus contraignantes que celles imposées par le bâti de surface. Les seuils de travail retenus pour le tunnel étaient de 15 mm/s pour les fréquences inférieures à 30 Hz et 30 mm/s toutes fréquences confondues. Pour les seuils absolus, les limitations étaient respectivement de 25 mm/s et 50 mm/s. Pour la dalle de ventilation du tunnel existant jugée très sensible, un seuil de travail de 5 mm en déplacement a été retenu. Au total, 160 000 m³ de matériaux ont été extraits, dont près de la moitié a été évacuée par voie fluviale (figure 3). Les galeries de communication entre tubes ont également été creusées à l'explosif jusqu'à une distance de 2 m environ du revêtement existant.

Les zones de garage et de locaux ont nécessité ponctuellement des excavations importantes (figure 4).

REVÊTEMENT ET VRD DU TUBE MODES DOUX

Le profil en travers du tube modes doux comporte un trottoir en béton de largeur 1 m, une voie bus en enrobés de 3,8 m, un séparateur béton de type GBA, un trottoir central en béton désactivé de 1,75 m et une piste cyclable en enrobés de 3,05 m (figure 5). Le tube est équipé de caniveaux à pente continue et de regards siphoniques.

Le tube est étanché au moyen d'un dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG). Le revêtement a été réalisé par plots de 12,5 m en béton non armé de type C35/45 dosé en ciment CEM I PMES à 330 kg/m³. Des essais d'écaillage ont été réalisés



8
© OXYA MEDIA

8- Profil en travers du tube routier rénové.

9- Réaménagement intérieur d'une usine.

8- Cross section of the renovated road transport tube.

9- Interior revamping of a plant.

pour valider le dosage en fibres polymères de 1,5 kg/m³ permettant d'atteindre une tenue au feu réglementaire de niveau N3 au voisinage de la tête Rhône.

Le tunnel historique a la particularité d'être rigoureusement horizontal et en alignement droit. Compte tenu des contraintes de limitation de la pente dans les galeries de communication entre tubes à 4 %, le profil en toit donné au tube modes doux présente un déni-

velé de moins de 1 m entre le centre du tunnel et les têtes. Par conséquent, pour éviter d'excaver des tranchées profondes dans le granite dur pour les réseaux gravitaires, 3 paires de stations de relevage ont été implantées en tunnel, dans 3 galeries, pour le relevage des eaux. Les stations EU assurent un débit de 100 l/s conformément aux exigences réglementaires. À l'extérieur, les eaux claires sont rejetées dans le milieu naturel et les eaux usées sont renvoyées dans le réseau d'assainissement de la ville. Chaque tête comporte un bassin enterré de récupération des eaux usées de capacité 200 m³ à l'aval d'une dernière station de relevage. Le tunnel étant ouvert aux piétons et cyclistes, les cheminements de câbles apparents sur le revêtement ont été proscrits en dessous d'une hauteur de 4 m. Par conséquent, la distribution électrique vers les locaux techniques et les équipements terminaux s'effectue via des fourreaux noyés dans le béton sous la chaussée et dans le revêtement.

EQUIPEMENTS

Le tunnel comporte toute la panoplie des équipements associés à un tunnel moderne.

La ventilation du tube modes doux est de type longitudinale avec deux points d'extraction massive situés au droit des puits de ventilation des usines n°2 et 4. La jonction avec ces puits est réalisée à l'aide de galeries de longueur 35 m environ inclinées à 33 % et revêtues de béton projeté fibré.

Le réseau incendie de diamètre Ø 200 dispose de deux alimentations en tête Rhône et d'un maillage aux deux têtes. La conduite enrobée de sable chemine en caniveau sous trottoir. Elle est protégée vis-à-vis du gel par un isolant thermique complété par un système extérieur de purge automatique en cas de grand froid.

Le local technique n°1 (figure 6) est situé en tête Saône, derrière le mur architectural en ellipse. Il comprend un local HT, un local courants faibles, un local animations, un local entreprises extérieures, un local batteries, un local opérateur avec vestiaires et un PC secours assurant les mêmes fonctionnalités que le PC Comet à Fourvière. Les locaux techniques n°2 et 3 de superficie 275 m² environ sont implantés en tunnel. Le local technique n°4 est positionné en tête Rhône entre les deux tubes, derrière le mur tympan. Ce local de type R+2 offre une surface totale de 230 m² environ.



9
© OXYA MEDIA

En complément, chacune des galeries de communication entre tubes abrite les équipements nécessaires à l'alimentation et au contrôle des équipements en tunnel sur un tronçon de 150 m (figure 7).

Le tube modes doux est équipé de portails automatiques aux têtes permettant de le fermer de nuit après passage du dernier bus.

Les deux tubes sont équipés de séparateurs métalliques amovibles permettant d'interrompre les séparateurs béton au droit des issues de secours pour assurer l'évacuation des usagers. En position fermée, ces séparateurs ont fait l'objet de simulations numériques pour justifier un niveau de retenue homogène avec celui du séparateur béton.

RÉNOVATION DU TUBE ROUTIER

Chaque demi-chaussée du tube routier rénové comporte un trottoir de 80 cm, une BDG de 30 cm, une voie lente de 2,8 m, une voie rapide de 2,7 m et une BDD de 15 cm. Le profil en travers en forme de V est muni d'un séparateur central en béton de largeur 30 cm (figure 8).

La rénovation du tunnel routier a consisté tout d'abord à mettre à nu

le revêtement d'origine en déposant la dalle de ventilation et les habillages des piédroits d'épaisseur 20 cm environ. La présence d'amiante dans les conduits de ventilation disposés dans l'épaisseur de cet habillage a nécessité une opération de désamiantage à grande échelle située sur le chemin critique des travaux, au démarrage la période de fermeture complète.

Un DEG a ensuite été posé avant le coulage d'une coque intérieure en béton par plots de longueur 15 m. Cette coque non armée d'épaisseur 15 cm et d'ouverture 14 m est fibrée au droit des bases de puits et en tête Rhône où une tenue au feu de niveau N3 est requise. Pour réduire les délais, 3 outils coffrants motorisés ont été utilisés.

Les réseaux et la chaussée ont ensuite été intégralement refaits à neuf, avec le souci permanent de mettre en œuvre les solutions les plus rapides, si possible à base d'éléments préfabriqués. La ventilation du tube routier rénové est de type longitudinale avec 5 points d'extraction massive au niveau des usines de ventilation. Seuls les puits d'air vicié ont été réutilisés en extraction ou en soufflage, les puits d'air frais ont été condamnés à leur base et réutili-

sés pour le cheminement des réseaux électriques vers les usines, notamment le réseau HT.

RÉNOVATION DES USINES

Les usines de ventilation situées sur le plateau de la Croix-Rousse sont pour la plupart mitoyennes à des immeubles d'habitation. Il s'agit de bâtiments avec une ossature en béton armé de type poteaux, poutres et dalles avec remplissage en maçonnerie. Le planning des travaux de rénovation ne permettait pas d'envisager une reconstruction complète des usines. Après désamiantage, la solution retenue a donc consisté à conserver l'enveloppe extérieure des immeubles et à reconstruire à l'intérieur une structure de type charpente métallique supportant des planchers béton coulés sur bacs acier (figure 9).

L'exiguïté de ces usines (surface totale de 350 m² par usine) et les contraintes de maintenance liées au démontage et au remplacement des équipements lourds, notamment les ventilateurs situés en étage, ont constitué la principale difficulté de conception. Une solution de type chariots sur coussins d'air a été retenue pour certaines opérations de manutention.

Des panneaux acoustiques ont été fixés sur les parois des pléniums pour réduire les nuisances sonores lors du fonctionnement de la ventilation.

ARCHITECTURE ET ANIMATIONS

La tête Rhône a fait l'objet d'un traitement architectural marqué par la présence d'un mur tympan magistral coiffant les deux tubes (figure 10). Ce mur est réalisé en pierres taillées de Villebois de grandes dimensions (2,5 m x 1,75 m x 0,45 m d'épaisseur). Le cône d'entrée dans le tube modes doux a permis d'harmoniser les dimensions des ouvertures dans le tympan pour les deux tubes. Des aménagements urbains comprenant notamment la requalification de la place Chazette et la création d'un passage inférieur sous les voies du tube routier ont contribué

10- Aménagement architectural tête Rhône.

10- Architectural improvement of the Rhône portal.





11

© OXYA MEDIA

à redonner un caractère urbain à ce quartier.

Côté Saône, le nouveau mur tympan incliné de forme elliptique est habillé de moellons en pierre de Chandoré de dimensions 50 cm x 20 cm x 10 cm d'épaisseur. Le traitement des espaces extérieurs s'inscrit dans la continuité

11- Aménagement architectural tête Saône.

12- Exemple d'animations du tube modes doux.

11- Architectural improvement of the Saône portal.

12- Example of animation for the soft transport tube.

des aménagements de l'avenue de Birmingham (figure 11).

La traversée du tube modes doux est agrémentée par une sonorisation et des animations de type vidéo projections conçues par le scénographe Skertzo en liaison avec le groupement (figure 12). L'éclairage gradable est assuré par une

poutre lumineuse continue utilisée également comme chemin de câbles pour l'alimentation des équipements.

De par sa longueur, sa vocation et ses animations, le tube modes doux du tunnel de la Croix-Rousse constitue une véritable attraction et une première mondiale. □

© PHOTOTHÈQUE DU GRAND LYON



12

PRINCIPALES QUANTITÉS

LONGUEUR DU TUNNEL RÉNOVÉ : 1 760 m

BUDGET DE L'OPÉRATION : 200 M€ HT

DURÉE DU CREUSEMENT : 12 mois

DURÉE GLOBALE DU MARCHÉ : 55 mois

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE (MOA) : Grand Lyon - Direction de la voirie - Service Tunnels

AMO TECHNIQUE (AMOT) : Egis Tunnels

CONTRÔLE TECHNIQUE : Apave

TITULAIRE DU MARCHÉ DE CONCEPTION - RÉALISATION :

- **Lot 1 - Génie Civil :** Dodin Campenon Bernard (mandataire) / Chantiers Modernes Rhône Alpes / Spie Batignolles TPCI
- **Lot 2 - Équipements :** Cegelec Centre Est / GTIE Transport
- **Lot 3 - Conception :** Setec
- **Lot 4 - Architecture :** Strates / Clément Vergély Architectes

ABSTRACT

REVIEW OF THE MAJOR RENOVATION WORKS ON CROIX-ROUSSE TUNNEL

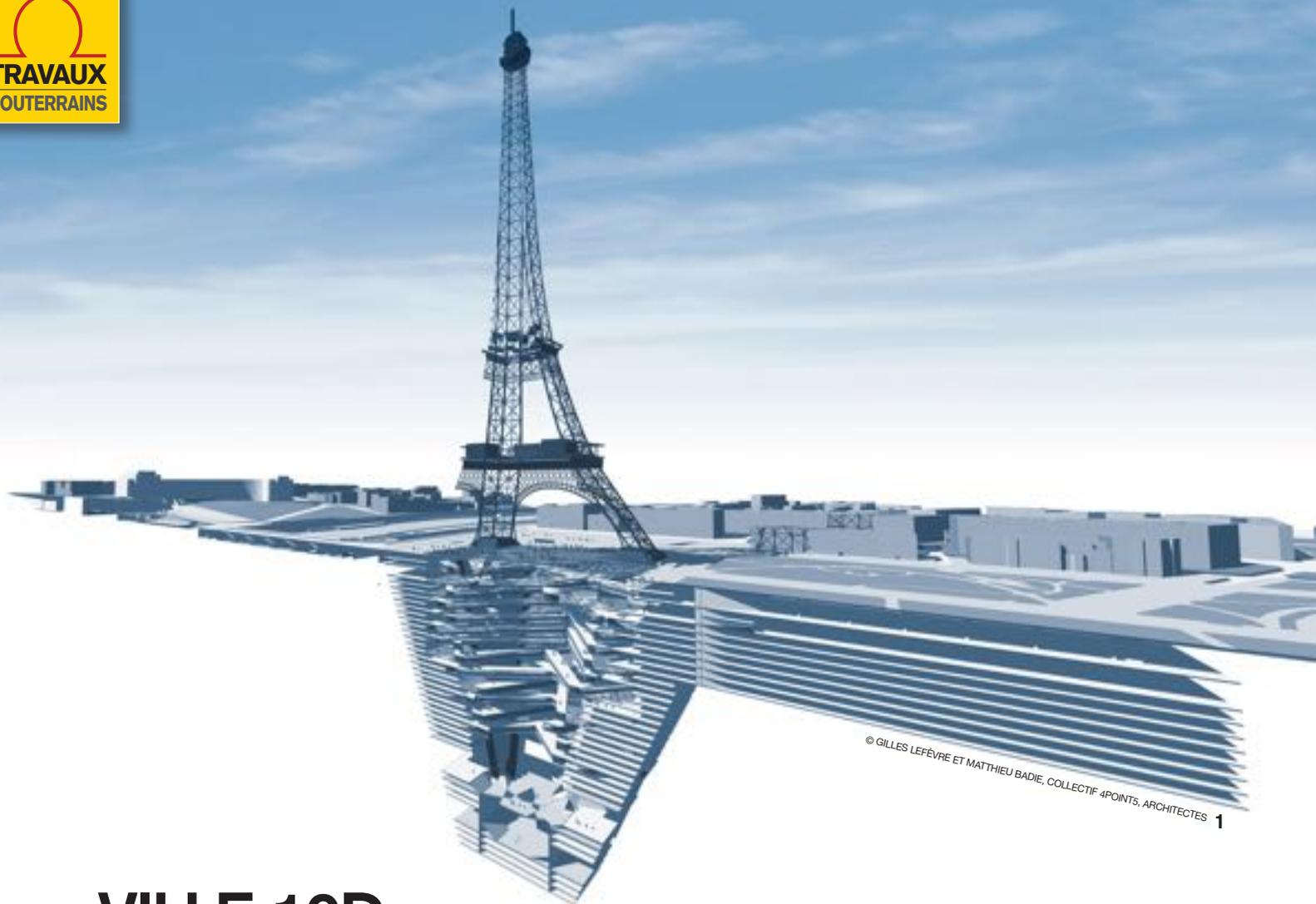
EDWARD CLAYTON, SETEC

The Croix-Rousse Tunnel in Lyon underwent major renovation works between 2010 and 2013, sixty years after its construction, to bring it into line with safety standards. This article goes back over the history of the operation from project inception until the reopening of the road tunnel with a second "soft transport" tube 1760 m long. The article reviews the design options and the work carried out in a dense urban environment, with significant environmental constraints and severe planning requirements to minimise the nuisance caused to nearby residents and traffic disruption in the urban area. □

ANÁLISIS DE LA COMPLEJA REFORMA DEL TÚNEL DE LA CROIX-ROUSSE

EDWARD CLAYTON, SETEC

Entre 2010 y 2013, sesenta años después de su construcción, el túnel de la Croix Rousse en Lyon fue sometido a importantes obras de reforma para garantizar su puesta en conformidad con las normas de seguridad. Este artículo relata el histórico de la operación desde la génesis del proyecto hasta la reapertura del túnel de carretera acompañado de un tubo para "movilidad sostenible" de 1.760 m de longitud. El artículo examina la elección del diseño y las obras realizadas en un contexto de medio urbano denso, con importantes limitaciones medioambientales y grandes exigencias de planificación para minimizar las molestias ocasionadas a los vecinos y la perturbación de la circulación a nivel de la aglomeración urbana. □



« VILLE 10D », UN PROJET POUR LA VALORISATION DU SOUS-SOL COMME RESSOURCE DE LA VILLE DURABLE

AUTEURS : MONIQUE LABBÉ, ARCHITECTE DPLG, VICE PRÉSIDENTE DE L'AFTES, DIRECTRICE GÉNÉRALE DU PROJET NATIONAL « VILLE 10D » -
JEAN-PIERRE PALISSE, ARCHITECTE URBANISTE, DIRECTEUR OPÉRATIONNEL DU PROJET NATIONAL « VILLE 10D »

ALORS QU'EST LANCÉE LA RÉALISATION DU MÉTRO SOUTERRAIN DU GRAND PARIS EXPRESS IL EST URGENT DE RENOUVELER L'USAGE DU SOUS-SOL DE NOS MÉTROPOLES, AUJOURD'HUI VOUÉ PRESQUE EXCLUSIVEMENT À L'IMPLANTATION DE LEURS INFRASTRUCTURES. DANS LEUR QUÊTE DE DURABILITÉ, LES GRANDES MÉTROPOLES FRANÇAISES DOIVENT LE MOBILISER COMME ALTERNATIVE À L'ÉTALEMENT URBAIN ET À LA CONSOMMATION D'ESPACE OUVERT. L'AMBITION DU PROJET NATIONAL DE RECHERCHE IREX « VILLE 10D, VILLE D'IDÉES » EST D'EN FAIRE LA DÉMONSTRATION ET DE PROPOSER DES MÉTHODES ET OUTILS POUR OUVRIR LES PROJETS URBAINS À LA DIMENSION SOUTERRAINE. CONSTRUIRE EN SOUS-SOL NE DOIT PLUS ÊTRE UNE AVENTURE, MAIS UNE ÉVIDENCE.

La concentration du développement économique et social sur les grandes métropoles conduit les grandes villes du monde à rechercher des modes d'aménagement urbain plus durables et résilients. Densification, concentration et intensification urbaine sont les maîtres mots

des stratégies urbaines qui visent à économiser l'espace, à mailler le tissu urbain par des réseaux de transports efficaces et sobres et à sauvegarder un environnement naturel fragile mais nécessaire à la qualité de l'écosystème urbain. Pour atteindre ces objectifs, toutes les ressources de la ville doi-

vent être mobilisées, notamment l'espace souterrain dont le potentiel peut être valorisé sans obérer son usage et son évolution futurs. Alors que les métropoles engagent d'ambitieux projets de réseau de transport souterrain comme le Grand Paris Express, il est temps d'intégrer leur sous-sol à la ville

contribuant ainsi à la rendre plus résiliente et durable.

L'ambition du projet national IREX « Ville 10D, ville d'idées » est de promouvoir une approche globale et interdisciplinaire qui permettra à la dimension souterraine de participer pleinement à la vie de la cité.

L'ESPACE SOUTERRAIN : UNE RESSOURCE POUR LES GRANDES MÉTROPOLES

Les villes ont toujours exploité les ressources de leur sous-sol, eau ou matériaux, et utilisé les cavités naturelles ou creusées comme lieux de stockage ou de refuge (figure 2). Depuis le XIX^e siècle elles l'ont voué à l'implantation des réseaux d'infrastructure, alimentation en eau et en énergie, assainissement, voies ferrées métropolitaines ou régionales, tunnels routiers. Des constructions souterraines ont été réalisées autour des nœuds de transport comme Châtelet-les-Halles ou en sous-œuvre de grands équipements comme le musée du Louvre. Certaines métropoles sont allées beaucoup plus loin dans la valorisation urbaine du sous-sol.

À Tokyo ou à Montréal, par exemple, la rudesse du climat ou l'absence d'espace urbanisable ont amené à développer la ville en sous-sol en créant des maillages très étendus de galeries commerçantes reliées aux réseaux souterrains de transport.

Des villes comme Helsinki ont élaboré un schéma directeur du sous-sol pour planifier l'usage de son volume et de ses ressources.

Dans le monde, de nombreux projets urbains souterrains s'élaborent comme la Cité des sciences à Singapour ou le parc souterrain de la « low line » à New-York.

DES OPPORTUNITÉS D'AMÉNAGEMENT SUBSTANTIELLES MAIS DES OBSTACLES À LEUR VALORISATION

Le sous-sol des métropoles recèle d'importants volumes aménageables après excavation ou après reconversion lorsqu'ils ont déjà été exploités. Il offre un environnement protégé des aléas climatiques et de nombreuses nuisances urbaines. Il est rendu accessible par les réseaux souterrains existants ou en projet, se trouvant directement desservi par les transports métropolitains les plus puissants comme le métro, le RER ou le Grand Paris Express. Implanter des espaces en sous-sol libère autant de terrains qui pourront être maintenus en espaces naturels ou voués à des fonctions profitant de l'air et de la lumière naturels (figures 3 et 4). Pourtant, l'intégration du sous-sol à la ville est freinée par plusieurs obstacles qui conduisent souvent les aménageurs à y renoncer. La méconnaissance et la gestion fragmentée du sous-sol compliquent et fragilisent



2
© DIDIER BOY DE LA TOUR

1- "Les dessous de la Dame de Fer", accueil du public sous la Tour Eiffel (concours d'architecture), Paris (France).

2- Parcours de marche dans l'eau thermale. Thermes dans la carrière de Jonzac (France), Jean de Gastines, architecte, Ineris.

1- "Under the Iron Lady", reception of the public under the Eiffel Tower (architectural contest), Paris (France).

2- Walking circuit in thermal water. Thermal baths in Jonzac quarry (France), Jean de Gastines, architect, Ineris.

la conception de projet. Les contraintes et exigences de sécurité nécessitent des dispositions spécifiques d'accessibilité plus complexes et coûteuses qu'en surface.

Une image négative du souterrain mais aussi une confusion des responsabilités et un flou juridique sont autant de facteurs dissuasifs pour les maîtres d'ouvrage urbains et pour les réalisateurs d'infrastructures qui préfèrent éviter de s'intégrer à un projet urbain perçu comme source de complication, de retard et de surcoût.

« VILLE 10D, VILLE D'IDÉES » UN PROJET NATIONAL IREX POUR LEVER CES OBSTACLES ET PROMOUVOIR L'INTÉGRATION DU SOUS-SOL DANS LES PROJETS URBAINS

Ce constat partagé par les animateurs du comité espace souterrain de l'Aftes les a conduits à initier le projet national de recherche « Ville 10D, ville d'idées ». En effet la France a été le précurseur de l'urbanisme souterrain des temps modernes en "embellissant" la ville de surface concomitamment et grâce à la création de vastes réseaux d'eau potable, d'eaux usées et d'eaux brutes, puis en réalisant le réseau de transport métropolitain souterrain. Ce modèle a fonctionné et fonctionne encore si bien qu'il n'a jamais été remis en cause et, à de rares exceptions près, perdure dans sa quasi-exclusivité d'espace servant. Ainsi sommes-nous en repli par rapport à toute idée d'inclure le sous-sol dans les réflexions urbaines et de faire descendre la ville, par exemple, à la rencontre des voyageurs du métropolitain. Percevant aujourd'hui l'aménagement de l'espace souterrain comme une opportunité d'associer qualité et densification de la ville, ce projet vise à proposer des réponses pratiques aux difficultés et blocages rencontrés dans la valorisation de l'espace souterrain et à promouvoir une utilisation plus large, plus diversifiée et plus coordonnée de ces espaces pour un développement urbain durable des métropoles. Il s'agit notamment de dégager les règles utiles et les bonnes pratiques qui permettront d'optimiser et de diversifier l'usage du sous-sol dans l'aménagement urbain en contribuant à une planification plus efficace et à la conception de projets plus innovants. Il débouchera sur un ensemble de préconisations et de recommandations en matière d'élaboration et d'évaluation de projet et

en matière de planification urbaine. Il contribuera à la promotion des bonnes pratiques et proposera des outils d'information et de visualisation en 3D et des méthodes et outils d'aide à la conduite de projet. Il suggérera aussi les évolutions nécessaires du cadre juridique et réglementaire de l'aménagement du sous-sol.

UN LARGE PARTENARIAT POUR UNE APPROCHE SYSTÉMIQUE, PLURIDISCIPLINAIRE ET EXPÉRI- MENTALE

Le projet « Ville 10D » a adopté une démarche systémique croisant les approches sectorielles afin de réduire ou contourner les nombreux cloisonnements qui empêchent d'optimiser l'usage du sous-sol. Il s'organise autour de quatre thèmes de recherche : l'économie, l'environnement, la dimension psycho-sociale, la visibilité et la gestion des données. Afin de garantir leurs retombées concrètes, ces recherches thématiques sont confrontées à des sites d'aménagement qui peuvent faire l'objet d'expérimentations des propositions formulées. Plusieurs sites franciliens participent au projet : Paris et le réseau RATP, le Val-de-Marne et Orly-Rungis, La Défense, la Cité Descartes à Marne la Vallée.

Des sites sont également concernés dans le Grand Lyon ou la métropole bordelaise. La complémentarité et la convergence des études thématiques sont assurées grâce aux approches transversales conduites par l'équipe d'animation du projet, et sont alimentées par des travaux sur la planification stratégique du sous-sol et les aspects juridiques et cindyniques.

Pour mener à bien cette démarche complexe, le projet mobilise une trentaine de partenaires de diverses disciplines : laboratoires de recherche de grandes écoles et d'universités, établissements et organismes publics d'étude et de recherche, maîtres d'ouvrage d'aménagement urbain, de transport ou d'énergie, services de l'État et des collectivités territoriales, entreprises et sociétés d'ingénierie œuvrant dans l'aménagement urbain ou dans la logistique urbaine.

UN PROJET BIEN ENGAGÉ

Lancé fin 2012 pour une durée de 4 ans, le projet s'achèvera en 2016/2017 par la publication de l'ensemble des rapports de recherche et d'un document de synthèse proposant des préconisations et recommandations pour intégrer la dimension souterraine ▷

des projets urbains et de la planification métropolitaine, des outils et des méthodes pour la prise en compte des ressources et potentiels du sous-sol et des suggestions d'évolution du cadre législatif et réglementaire. Un colloque international conclura ces travaux, réunissant l'ensemble des partenaires et des experts de l'aménagement urbain du sous-sol et s'adressant à tous les acteurs de l'aménagement susceptibles d'y œuvrer et de promouvoir sa valorisation. La première tranche de recherche a été achevée en décembre 2014, la deuxième tranche étant engagée parallèlement. À ce stade, à près d'un tiers de sa réalisation, le projet « Ville 10D » révèle les contraintes et les potentiels de l'aménagement du sous-sol et met en évidence les conditions de l'intégration des espaces souterrains aux projets d'aménagement urbain. Il permet déjà de clarifier les enjeux et les problématiques et d'esquisser les propositions et recommandations qu'il formulera in fine.

RENFORCER LA MULTIFONCTIONNALITÉ DU SOUS-SOL

Renforcer la multifonctionnalité et la mixité de ses usages permettra à l'espace souterrain de participer pleinement aux projets urbains et de valoriser toutes les ressources exploitables dans le cadre de ces aménagements. Le sous-sol apporte à la ville quatre ressources essentielles, l'espace, les matériaux, la géothermie et l'eau.

Une gestion coordonnée de ces ressources contribuera à un aménagement urbain économe, durable et résilient et permettra d'y accueillir des fonctions urbaines très diverses. Traditionnellement le sous-sol urbain accueille les réseaux desservant la ville, alimentation en eau, assainissement, énergie, télécommunication, route, chemin de fer, libérant la surface pour d'autres usages. Beaucoup d'autres fonctions peuvent y trouver place dans des espaces techniques et des lieux d'activités en profitant de son accessibilité aux flux d'énergie, de données, de véhicules, de marchandises et de personnes transportées et en utilisant le potentiel de production et de régulation thermique propre au souterrain. À conditions de ne pas imposer un séjour permanent en sous-sol, de nombreuses fonctions urbaines peuvent y être implantées et profiter des réseaux de desserte maillés qui le sillonnent. Il s'agit d'activités d'archivage, de stockage de marchandises, de parking, de logistique urbaine ou de traitement de données numériques



© YANNICK GOURVIL ET CÉCILE LEROUX, COLLECTIF ET ALORS - WWW.ETALORS.EU

(« data center ») qui impliquent d'importants volumes clos pour une présence humaine assez réduite. Mais il s'agit aussi d'équipements, de commerces et de services recevant du public, de lieux de réunion, de spectacle ou d'exposition dont l'éclairage naturel n'est pas nécessaire ou est à éviter. Ces usages multiples contribuent à l'animation de l'espace souterrain et, en rejoignant la diversité de l'espace public, l'intègrent complètement à la ville qui forme un continuum du dessus au dessous du sol. Ainsi, les projets urbains développés sur les sites environnant les nœuds de transport souterrain doivent être conçus en trois dimensions, pensés vers le bas autant que vers le haut.

ARTICULER LE DESSUS ET LE DESSOUS

L'espace souterrain doit être rendu plus humanisé et « désirable » grâce à l'articulation du dessous et du dessus de la ville, à sa programmation, à sa qualité architecturale, à sa composition et à ses ambiances. Réussir l'intégration des espaces souterrains à la ville suppose d'assurer une continuité d'amé-

nagement entre le sol et le sous-sol (figures 5 et 6). La qualité architecturale des espaces accessibles est essentielle pour qu'ils soient agréables et attractifs. Pour éviter la claustrophobie et offrir un cadre accueillant, il faut que la ville en sous-sol soit compréhensible et lisible grâce à un dessin structuré, à des espaces différenciés et séquencés, à des repérages et des signaux clairs. Les espaces souterrains doivent offrir des volumes généreux pour éviter l'impression d'écrasement et d'enfermement et bénéficier d'une qualité architecturale adaptée grâce au jeu des niveaux, à la pénétration de la lumière naturelle, à la conception des cheminements, au choix des matériaux et des couleurs, à une ambiance sonore maîtrisée. Une conception tridimensionnelle du projet permettra d'emboîter et d'interpénétrer le dessus et le dessous et de faire entrer aussi loin que possible la lumière et l'air libre dans le sous-sol.

DÉVELOPPER LES DÉMARCHES INTERSECTORIELLES ET GLOBALES

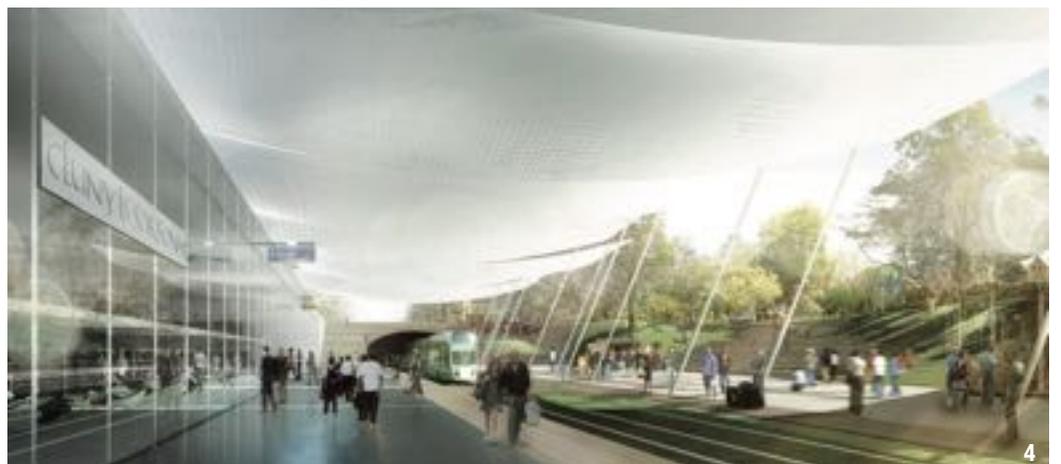
Concevoir des projets multifonctionnels et intégrés à la ville suppose de changer l'approche et la méthode d'élaboration des projets souterrains. Il faut passer d'une pratique de juxtaposition à une approche systémique en recherchant la complémentarité des fonctions, en emboîtant les échelles de projet et en croisant les points de vue sectoriels. La recherche de rentabilité à court terme doit être dépassée et un équilibre économique doit être trouvé dans une approche globale des coûts intégrant les effets externes induits, le fonctionnement et les besoins d'évolution future. L'impact, le potentiel de valorisation et la résilience des ouvrages dans leur environnement, les synergies induites par les interactions entre les

3- Métro de Paris, station Cluny avant (France), Paris + 2°C.

4- Métro de Paris, station Cluny anticipation après, la station de métro s'ouvre sur le jardin du musée du Moyen-Âge (France), Paris + 2°C.

3- Paris Metro, Cluny station before (France), Paris +2°C.

4- Paris Metro, Cluny station as expected after, the metro station opens onto the garden of the Museum of the Middle Ages (France), Paris +2°C.



© YANNICK GOURVIL ET CÉCILE LEROUX, COLLECTIF ET ALORS - WWW.ETALORS.EU

5- "Teruel-Zilla", espace de loisirs. Teruel (Espagne), Mi5 Arquitectos, et PKMN Architectures.

6- "Teruel-Zilla", la rue se divise sans solution de continuité entre le dessus et le dessous de la ville. Teruel (Espagne), Mi5 Arquitectos, et PKMN Architectures.

5- "Teruel-Zilla", leisure area. Teruel (Spain), Mi5 Arquitectos and PKMN Architectures.

6- "Teruel-Zilla", the street is divided without any discontinuity between the surface and subsurface of the town. Teruel (Spain), Mi5 Arquitectos and PKMN Architectures.



5
© MIGUEL DE GUZMÁN

fonctions implantées en sous-sol doivent être pris en compte. Cela nécessite des démarches de projet et des méthodes de conception et d'évaluation décloisonnées et pluridisciplinaires.

DÉCLOISONNER LA GESTION DU SOUS-SOL ET HARMONISER SES RÈGLES

Pour réussir un aménagement durable et résilient, le sous-sol ne doit plus être géré comme une annexe technique de la ville mais comme une de ses composantes. Pour cela il doit relever des mêmes politiques et des mêmes compétences que la ville du dessus en matière de développement territorial et d'urbanisme et participer au projet global d'aménagement urbain

et métropolitain dans le cadre fixé par les collectivités territoriales concernées. La dimension souterraine doit être intégrée au projet urbain global et par conséquent conduite par une maîtrise d'ouvrage capable de l'articuler à l'aménagement de la surface, de piloter une démarche plurisectorielle et interdisciplinaire et d'assurer la concertation et la coordination avec tous les acteurs impliqués dans l'aménagement du sous-sol y compris les gestionnaires des ressources et des réseaux et les services de la protection civile. Cela ne sera possible que si ces acteurs connaissent, partagent et respectent les mêmes règles du jeu ce qui suppose un effort de clarification, de simplification et d'harmonisation

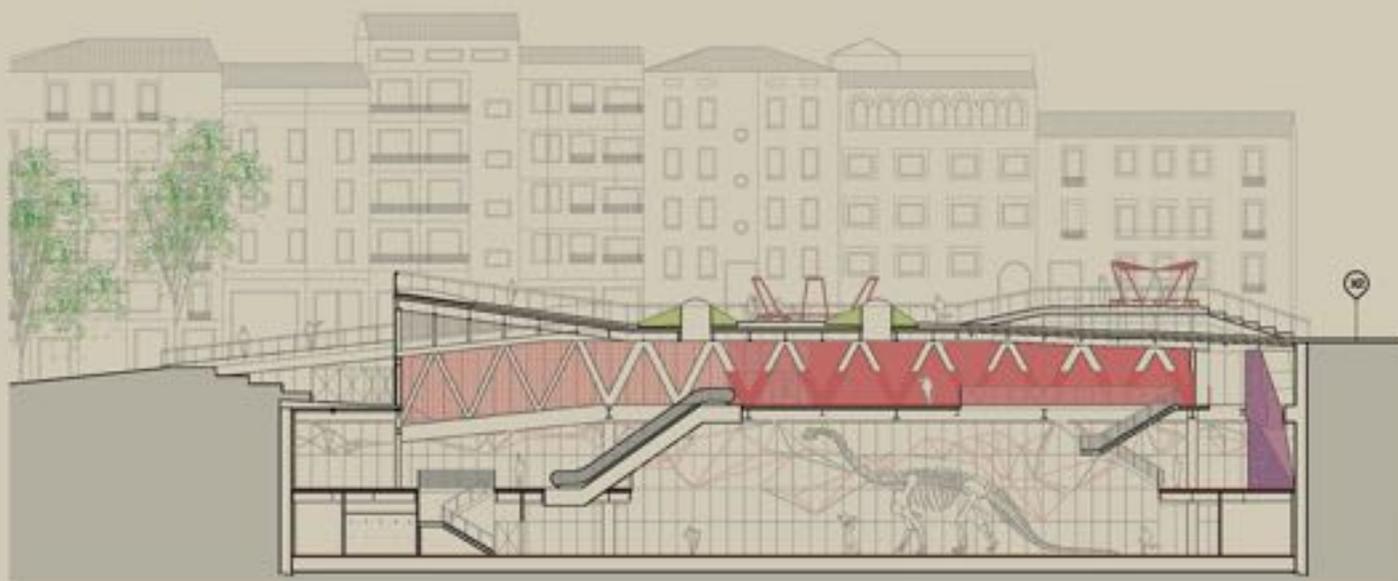
du cadre légal et réglementaire mais aussi une évolution des démarches et des procédures d'élaboration de projet permettant plus d'anticipation, de transparence et de concertation.

PARTAGER DES OUTILS DE CONNAISSANCE, D'ÉVALUATION ET DE PROJECTION

Le projet national « Ville 10D » s'attache donc à proposer aux décideurs et aménageurs des outils pour la connaissance, l'évaluation et le projet adaptés au contexte de l'espace souterrain. La pratique de l'aménagement urbain a montré la nécessité de disposer d'outils adaptés de gestion et de visualisation permettant de croiser les données multisectorielles, mais, ▷

"TERUEL-ZILLA"

La rue se divise sans solution de continuité entre le dessus et le dessous de la ville. Teruel (Espagne), Mi5 Arquitectos, et PKMN Architectures



6
© MIGUEL DE GUZMÁN

pour le sous-sol, il n'existe aucun outil comparable à ceux utilisés pour la gestion et la conception de l'espace urbain et métropolitain. Les bases de données existantes sont trop spécialisées pour servir la démarche systémique qui est nécessaire. Il faut donc constituer des systèmes d'information géographique regroupant et croisant l'ensemble des données sectorielles nécessaires à une approche globale de l'espace souterrain des métropoles. Par ailleurs pour faciliter l'intégration de la dimension souterraine au projet urbain, des outils numériques de visualisation en 3D adaptés à la spécificité du sous-sol et à son opacité permettront de mieux connaître et comprendre les contextes et de simuler et évaluer les projets souterrains (figure 1). Des méthodes d'évaluation économique, sociale et environnementale seront proposées afin de faciliter des choix et des arbitrages prenant en compte tous les impacts et les potentiels des projets impliquant le sous-sol. L'élargissement à la dimension souterraine des orientations et prescriptions des documents de planification et d'urbanisme (schémas régionaux, schémas de cohérence territoriale, plan locaux d'urbanisme) permettra de garantir sa prise en compte et sa contribution à l'aménagement urbain dans tous les sites stratégiques pour l'intensification urbaine. Pour créer les conditions d'une réhabilitation urbaine de l'espace souterrain et lui permettre de contribuer efficacement à un développement intense, durable et résilient des métropoles il faut sortir de l'approche « en silos » qui dominait jusqu'à présent l'aménagement du sous-sol avec pour seuls objectifs l'exploitation des ressources naturelles ou l'implantation de réseaux d'infrastructures. L'espace souterrain

doit être désormais considéré comme une dimension de la ville et être pleinement intégré à son projet urbain. Ses aménageurs et tous ceux qui participent à la transformation et à la gestion du sous-sol doivent mettre au service de ce projet une nouvelle logique et de

nouvelles pratiques faites d'anticipation, de transparence, de concertation, de mutualisation et d'innovation. Aucune commande d'études d'urbanisme souterrain n'existe aujourd'hui qui fasse du Grand Paris Express, par exemple, bien « plus qu'un métro », qui

en fasse le germe du prolongement souterrain de la ville. L'ambition du projet national « Ville 10D » est de donner aux acteurs de la ville, la conviction et l'envie de ce champ nouveau et de leur fournir les outils et les méthodes d'une mise en œuvre sereine et évidente. □



ABSTRACT

"VILLE 10D", A PROJECT FOR EXPLOITATION OF THE SUBSURFACE AS A RESOURCE FOR THE SUSTAINABLE CITY

MONIQUE LABBÉ - JEAN-PIERRE PALISSE

Underground space offers large cities looking for urban intensification a major potential for urban development. The "Ville 10D - Ville d'idées" project ("City of Ideas"), applying a systemic, multi-disciplinary approach, aims to identify and remove the obstacles discouraging its urban exploitation, and promote allowance for and inclusion of the subsurface in dense city projects. Proposals are outlined to enhance the multifunctionality of the subsurface, improve surface/subsurface links in the city, develop comprehensive intersectoral approaches, decompartmentalise management of the subsurface, harmonise its rules and share tools for knowledge, evaluation and projection. □

"CIUDAD 10D" UN PROYECTO PARA LA VALORIZACIÓN DEL SUBSUELO COMO RECURSO DE LA CIUDAD SOSTENIBLE

MONIQUE LABBÉ - JEAN-PIERRE PALISSE

El espacio subterráneo ofrece a las metrópolis que buscan la intensificación urbana una importante potencial de ordenación urbana. El proyecto "Ciudad 10D - Ciudad de ideas", con un enfoque multidisciplinar y sistémico, tiene por objeto identificar y salvar los obstáculos que dificultan su valorización urbana, y promover la toma en cuenta y la integración del subsuelo en los proyectos de la ciudad densa. Se esbozan propuestas para reforzar la multifuncionalidad del subsuelo, estructurar mejor la superficie y el subsuelo de la ciudad, desarrollar procedimientos intersectoriales y globales, liberalizar la gestión del subsuelo, armonizar las reglas y compartir las herramientas de conocimiento, evaluación y proyección. □



1

© PHOTOTHÈQUE EGIS TUNNELS

ARASEMENT DE L'USINE DE VENTILATION DU PASSAGE SOUTERRAIN DU PARC DES PRINCES SE TROUVANT SOUS LE NOUVEAU STADE JEAN BOUIN

AUTEURS : AXEL CHEVALLIER, INGÉNIEUR CHEF DE PROJET, EGIS TUNNELS - BENOIT BERTRAND, INGÉNIEUR CHEF DE PROJET, EGIS TUNNELS - JAMES DUPONT, DIRECTEUR DE PROJET ET RESPONSABLE D'ACTIVITÉ GÉNIE CIVIL, EGIS TUNNELS

DANS LE CADRE DE LA MISE EN CONFORMITÉ DU PASSAGE SOUTERRAIN DU PARC DES PRINCES, SITUÉ À PARIS XVI^e, ET POUR ACCUEILLIR LE NOUVEAU STADE JEAN BOUIN ET SON PARVIS, À PROXIMITÉ DE L'EMBLÉMATIQUE « PARC DES PRINCES », L'ARASEMENT D'UNE USINE DE VENTILATION DU SOUTERRAIN A ÉTÉ NÉCESSAIRE. L'UNE DES CONTRAINTES MAJEURES DE CETTE OPÉRATION D'ARASEMENT ÉTAIT QU'ELLE DEVAIT SE FAIRE SANS COUPURE DE LA CIRCULATION DU BOULEVARD PÉRIPHÉRIQUE FORMÉ DE 4 VOIES PAR SENS DE CIRCULATION SUR CETTE PORTION ACCUEILLANT 210 000 VÉHICULES PAR JOUR.

CONTEXTE DES TRAVAUX DE MISE EN CONFORMITÉ DU PASSAGE SOUTERRAIN DU PARC DES PRINCES

Le passage souterrain du Parc des Princes du boulevard périphérique, d'une longueur d'environ 580 m, est placé sur un axe stratégique très circulé. À l'image de nombreux autres ouvrages parisiens, de par sa conception relativement ancienne, il présentait un niveau de sécurité estimé insuffisant pour les usagers empruntant l'ouvrage et ceux présents en surface.

L'objectif de cette mise en conformité a été de réaliser des améliorations

1- Issue de secours et travaux en tunnel terminés après le programme de mise en conformité.

1- Emergency exit and tunnel work completed after the upgrading programme.

afin d'atteindre un niveau de sécurité aussi proche que possible de celui qui serait exigé par la réglementation pour un ouvrage neuf tout en conservant les fonctionnalités de l'ouvrage (notamment l'écoulement d'un trafic important) et en utilisant au mieux les infrastructures et les installations existantes.

Les travaux de rénovation associés à cette mise en conformité (figure 1) ont permis de satisfaire à la réglementation en vigueur et notamment aux prescriptions de l'Instruction Technique annexée à la Circulaire n°2000-63 du 25 août 2000 (remplacée par la Circulaire

n°2006-20 du 29 mars 2006 tout en maintenant le renvoi à cette Instruction Technique) et ont concerné essentiellement les thématiques suivantes :

- Ventilation sanitaire et de désenfumage ;
- Génie civil (voile central, mur anti recyclage, issues de secours, niches de sécurité, niches incendie, etc.) ;
- Protection au feu des ouvrages existants et futurs ;
- Alimentation électrique ;
- Éclairage de l'ouvrage (de base et de renforcement) ;
- Équipements de sécurité, de trafic et terrain avec GTC.

C'est en parallèle avec les études en amont pour réaliser cette mise en conformité que les études pour le nouveau stade Jean Bouin se sont déroulées et qu'un projet architectural a été retenu. Suite à la superposition des deux projets, il s'est avéré qu'une usine de ventilation, positionnée sur la structure du passage souterrain, entrainait en interface avec le projet de ce stade et devait donc être démolie afin de pouvoir y créer le futur parvis. Cette même usine n'était plus utile dans le nouveau système de ventilation longitudinale mis en place dans le passage souterrain. L'article traite de cet aspect particulier du projet.

OBJECTIFS DES TRAVAUX D'ARASEMENT-RECONSTRUCTION DE L'USINE U2

L'objectif des travaux d'arasement-reconstruction de cette usine était de supprimer l'édicule formé par l'usine U2 et sa cheminée et de reconstruire une dalle, plus basse, permettant d'accueillir le parvis du futur stade Jean Bouin (figures 3 et 4). Ces travaux devaient se faire sans coupure de la circulation du boulevard périphérique, ce qui aurait été trop impactant pour les automobilistes franciliens.

DESCRIPTION DE LA STRUCTURE DE L'USINE U2

L'usine U2 peut être représentée par un caisson multi-alvéolaire de 37 m de



© PHOTOTHÉQUE EGIS TUNNELS

longueur, 40 m de largeur et 4,4 m de hauteur reposant sur 3 lignes d'appuis constitués par les trois piédroits du passage souterrain du Parc des Princes. L'usine U2 constitue la couverture du Boulevard périphérique sur 37 m de long sur les 580 m que compte le tunnel (figure 5).

Ce caisson est composé de 5 poutres de 1 m de large par 4,4 m de hauteur qui constituent le système porteur de l'usine et de deux dalles, haute et basse, de 40 cm d'épaisseur, formant le fond et la couverture du caisson. Ces dalles ont été conçues comme des dalles continues de 7,2 m de portée s'appuyant sur les poutres.

Les poutres, qui assurent le report de l'ensemble des efforts sur les piédroits du passage souterrain, sont des élé-

2- Vue d'ensemble des travaux d'arasement de l'usine U2.

3- Vue 3D de l'usine de ventilation au-dessus des voies de circulation avant démolition.

2- General view of U2 plant levelling works.

3- 3D view of the ventilation plant above the traffic lanes before demolition.

ments hyperstatiques sur 3 appuis et présentent deux portées de 20 m au-dessus des 4 voies de circulation du boulevard périphérique.

D'après les plans d'exécution de l'époque, cette structure a été réalisée en trois phases dans le sens vertical : dalle basse, poutres entre les dalles, et enfin dalle haute.

Comme évoqué ci-dessus, l'objectif de l'arasement-reconstruction de l'usine U2 était de supprimer l'édicule de surface que constituait l'usine en reconstruisant la dalle haute environ 1 m plus bas que l'existant.

En conséquence, la hauteur des poutres supportant l'usine se trouvait diminuée d'autant.

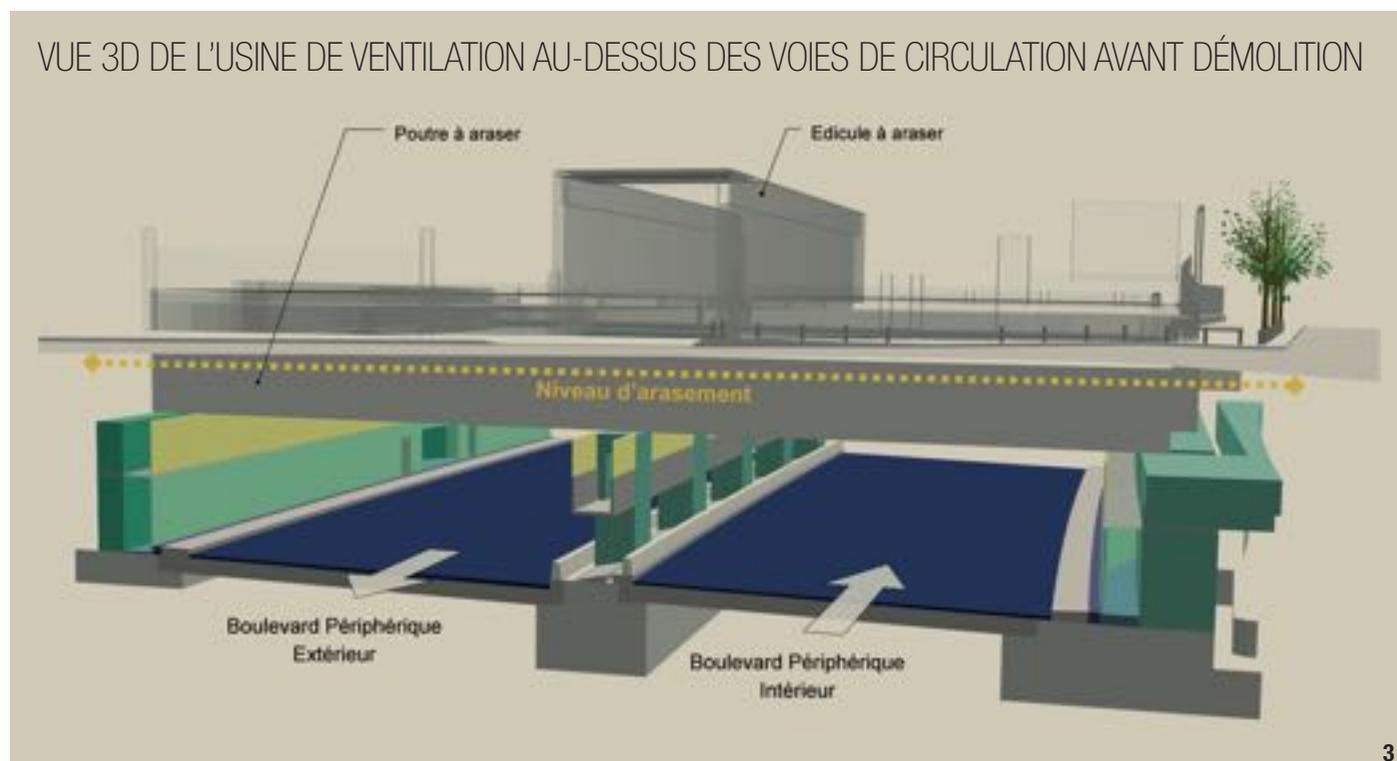
Toute la difficulté de cette opération résidait dans la démolition partielle de la structure et la réduction de sa géométrie tout en conservant sa fonction de couverture du boulevard périphérique et en assurant l'écoulement du trafic. Ceci éliminait toute possibilité d'étalement provisoire.

CONCEPTION

En phase conception, la méthodologie retenue pour la démolition-reconstruction était la suivante :

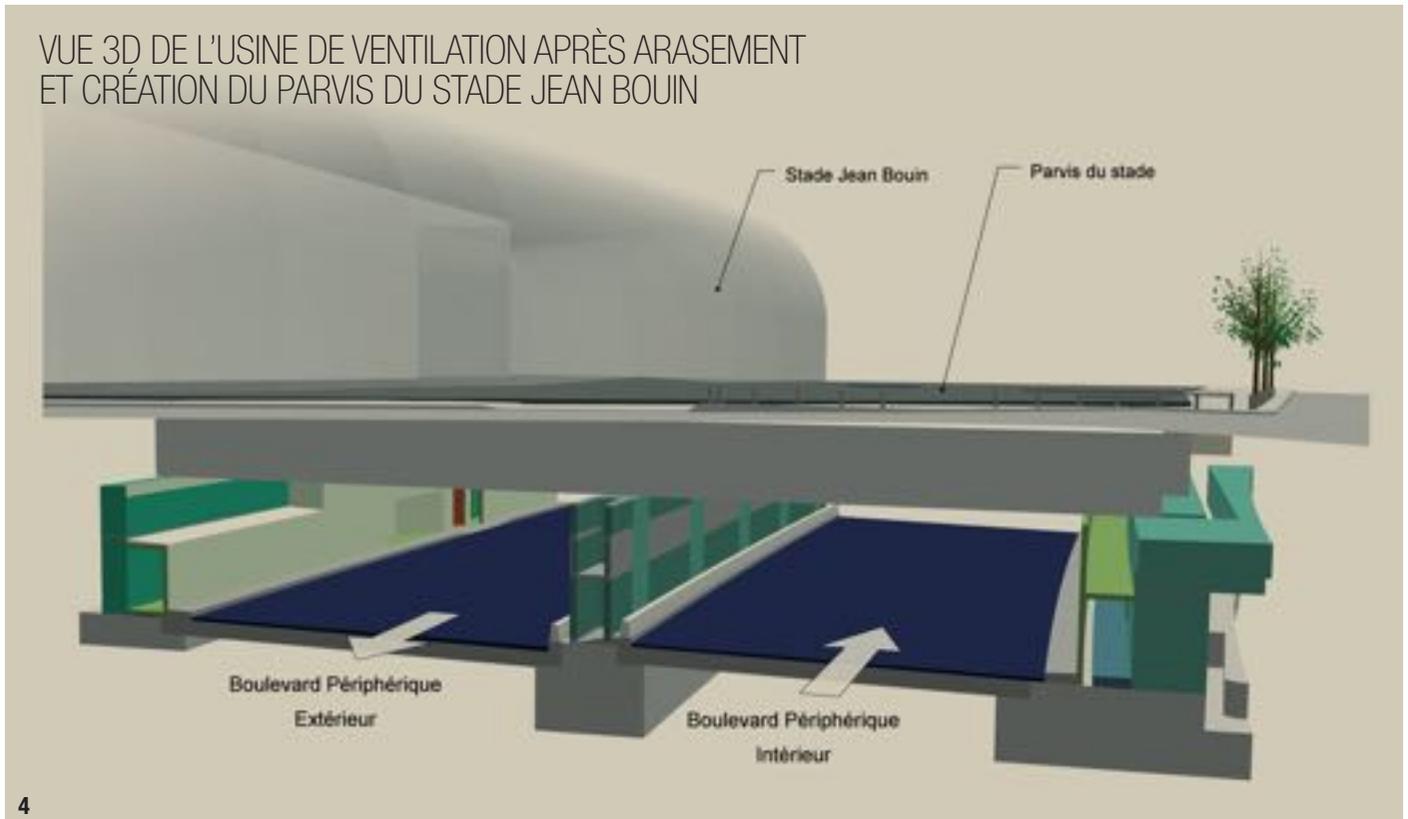
- 1-** Mise à nu de la structure de l'usine U2 ;
- 2-** Démolition de l'édicule haut ;
- 3-** Construction de la nouvelle dalle haute en sous-cœuvre avec les aciers complémentaires sur appui ;

VUE 3D DE L'USINE DE VENTILATION AU-DESSUS DES VOIES DE CIRCULATION AVANT DÉMOLITION



© EGIS TUNNELS

VUE 3D DE L'USINE DE VENTILATION APRÈS ARASEMENT ET CRÉATION DU PARVIS DU STADE JEAN BOUIN



4

© EGIS TUNNELS

4- Démolition de l'ancienne dalle haute ;
5- Démolition phasée de la partie supérieure des poutres.

Le principe premier de cette méthodologie était de compenser la perte de hauteur utile des poutres par un renforcement des aciers sur appui

vis-à-vis des sollicitations de flexion, ces aciers étant placés dans l'épaisseur de la nouvelle dalle haute réalisée. Le renforcement des aciers inférieurs n'a pas été retenu car il s'avérait à la fois difficile à réaliser du fait des travaux sous circulation et peu efficace car la

structure ne pouvait pas être suffisamment déchargée (charges permanentes liées au poids propre des poutres et de la dalle inférieure conservés et étaient impossible).

Vis-à-vis de la reprise des efforts tranchants, les calculs menés en phase

conception montraient que les aciers en place étaient suffisants pour équilibrer les sollicitations attendues malgré la réduction de hauteur des poutres. Ceci était dû au fait que les calculs des armatures d'efforts tranchants suivant les règles CCBA 68 ne faisaient pas



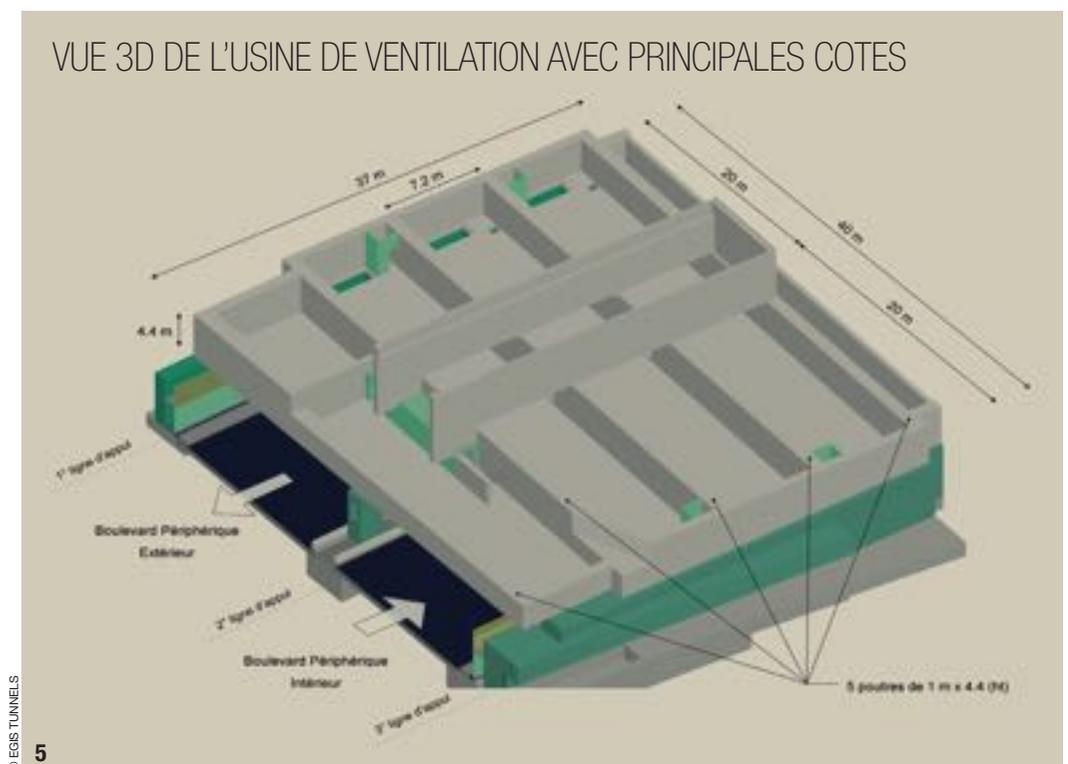
VUE 3D DE L'USINE DE VENTILATION AVEC PRINCIPALES COTES

4- Vue 3D de l'usine de ventilation après arasement et création du parvis du stade Jean Bouin.

5- Vue 3D de l'usine de ventilation avec principales cotes.

4- 3D view of the ventilation plant after leveling and creation of the Jean Bouin stadium square.

5- 3D view of the ventilation plant with main dimensions.



© EGIS TUNNELS

5

intervenir la contribution du béton et étaient, sur ce point, plus conservatifs que les calculs suivant le BAEL 99.

ÉTUDES D'EXÉCUTION

Le phasage envisagé en phase conception a été optimisé par l'entreprise et son bureau d'études lors des études d'exécution. Les aciers sur appui se trouvant tous dans la largeur des poutres principales, les études ont mis en évidence la possibilité de démolir la dalle haute entre les poutres avant la réalisation de la nouvelle dalle, simplifiant ainsi sa réalisation. Le phasage retenu a donc été le suivant :

- 1- Mise à nu de la structure de l'usine U2 ;
- 2- Démolition de l'édicule haut ;
- 3- Démolition de l'ancienne dalle haute entre les poutres ;
- 4- Construction de la nouvelle dalle haute avec les aciers complémentaires sur appui ;
- 5- Démolition phasée de la partie supérieure des poutres.

Les phases 3 et 4 ont été interverties entre la phase de conception et la phase d'exécution. Ce changement a permis de construire la nouvelle dalle haute de 40 cm d'épaisseur à l'air libre à l'aide d'une grue au lieu de créer cette dalle en sous-œuvre, 1 m en dessous de la dalle existante, sans possibilité d'acheminer par la grue l'étalement, les coffrages et les armatures et le béton.

Entre les phases de conception et d'exécution, l'évolution du projet du parvis du stade Jean Bouin a eu pour conséquence des réductions plus importantes des hauteurs des poutres porteuses. Deux sujets particuliers ont demandé des analyses plus poussées en phase d'étude : la caractérisation de la reprise de bétonnage entre la dalle inférieure et la poutre vis-à-vis de la détermination des armatures d'effort tranchant et la limitation du retrait du béton de la nouvelle dalle haute afin d'en réduire les effets sur les sollicitations de flexion engendrés par l'hypersélicité de la structure.

PRINCIPAUX RÉSULTATS

Comme vu précédemment, chaque âme du caisson formait une poutre continue à deux travées symétriques de 20 m de portée, avec un appui double sur le piédroit central constituant un pseudo-encastrement.

Les calculs ont été menés à l'ELU et complétés par une vérification des contraintes dans les aciers sous charges de service.

FORMULE DU BÉTON À FAIBLE RETRAIT

Constituants	Dosage (kg/m ³)
Sable 0/4 Bernières	820
Gravillon 3/8 La Brusse	200
Gravillon 8/22 Anneville	810
Ciment CEM I 52,5 PMES CP2 Le Havre	205
Cendres volantes Le Havre	115
Plastifiant : Pozzolith 390 HE (%CC+CA)	0,8
Agent anti-retrait : Rheomac 892 F (%CC+CA)	1,6
Eau totale	170



6

© GINGER CEBTP

© GINGER CEBTP

6- Formule du béton à faible retrait.

7- Instrumentation du coffrage de l'essai de retrait gêné et vue de l'anneau béton après décoffrage.

8- Évolution du retrait endogène et du retrait total.

6- Low-shrink concrete mix design.

7- Instrumentation of the formwork for the restrained shrinkage test and view of the concrete ring after formwork removal.

8- Change in endogenous shrinkage and total shrinkage.

Les charges appliquées à l'ouvrage étaient, outre le poids propre de la structure, le retrait différentiel lié au coulage de la nouvelle dalle supérieure, la charge d'aménagement du parvis Jean Bouin équivalente à 40 cm de remblai, les charges d'exploitation de 600 daN/m² sur le parvis, et 250 daN/m² sur la dalle inférieure. Les ordres de grandeur des sollicitations de service obtenus dans les poutres de la structure caisson étaient donc les suivants :

- **Moment fléchissant en travée des poutres** : 11 MN.m ;
- **Moment fléchissant sur appui central** : 18 MN.m ;
- **Effort tranchant sur piédroit latéral** : 4,3 MN.

CARACTÉRISATION DE LA REPRISE DE BÉTONNAGE EXISTANTE

Vis-à-vis de la reprise des efforts tranchants, les calculs ont montré que les aciers en place étaient suffisants. Néanmoins la question de la qualité de la reprise de bétonnage de l'époque de construction entre la dalle inférieure et la poutre se posait. Cette reprise pouvait-elle être considérée comme traitée au sens du BAEL 99, c'est-à-dire était elle à même de transmettre des efforts tranchants ?

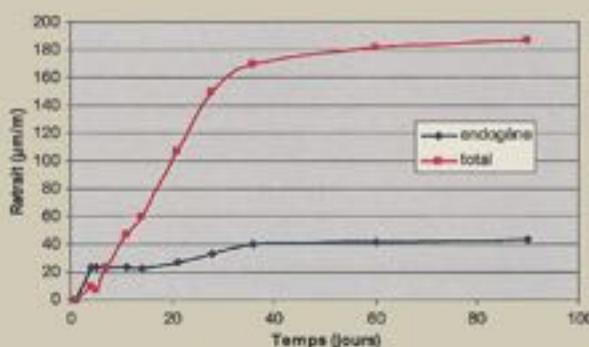
Pour y répondre, l'entreprise a fait appel au Cebtp afin de caractériser cette reprise de bétonnage. Trois carottages ont été réalisés au niveau de la reprise dans les zones d'effort tranchant nul.

Après des examens visuels complétés par des examens optiques au microscope (présence de laitance, hauteur et angle des indentations), le Cebtp a conclu sur le coefficient k à retenir dans les vérifications à l'effort tranchant au droit de la reprise de bétonnage (terme 0,3.k.ft). La valeur retenue par le Cebtp, et prise en compte dans les vérifications à l'effort tranchant, a été : k = 0,4.

En cours de travaux, l'absence de laitance au niveau de la reprise de bétonnage dalle inférieure-poutre a été vérifiée par un contrôle visuel sur 16 carottages implantés à proximité des appuis (4 par poutre impactée par les travaux), ceci afin de s'assurer de la représentativité de l'hypothèse k = 0,4 définie par le Cebtp.

ÉVOLUTION

du retrait endogène et du retrait total



8

© GINGER CEBTP

FORMULATION D'UN BÉTON À FAIBLE RETRAIT

Afin de réduire les sollicitations engendrées par le retrait gêné lors du coulage de la dalle supérieure, l'entreprise a recherché une formulation de béton présentant un retrait limité. La formulation mise au point par le fournisseur de béton prêt à l'emploi et retenue pour cet ouvrage portait la dénomination suivante : BPS C25/30 CEM I PM ES + CV D22 S4 XC1 retrait limité.

Sa composition était telle que défini dans la figure 6.

Cette formulation a fait l'objet d'essais par le Cebtp afin de déterminer son



9



10



11

retrait libre ainsi que son retrait gêné par des tests à l'anneau. L'objectif de ces essais était de définir la valeur du retrait à retenir dans les calculs d'exécution. Le principe du test à l'anneau consistait à mesurer la déformation imposée par le retrait d'un anneau de béton de 7 x 7 x 200 cm sur différents types d'anneaux métalliques placés à l'intérieur de l'anneau de béton testé. Durant ces essais, quatre épaisseurs d'anneaux métalliques (2, 4, 6 et 8 mm) ont été utilisées pour simuler quatre gênes au retrait différentes. Pour chaque gêne, c'est-à-dire chaque épaisseur d'anneau métallique, 3 anneaux béton ont été étudiés : 1 anneau conservé en ambiance dessiccative (20°C et 50% d'humidité relative) et 2 autres anneaux placés sous des coffrets en polystyrène afin de limiter les échanges hydriques (figure 7). Chaque anneau métallique était instrumenté à l'aide de 3 jauges de déformation positionnées à 120° et à mi-hauteur de l'anneau.

La formule de béton testée présentait un retrait libre total de 150 µm/m à 28 jours, à comparer avec un béton classique dont la valeur de retrait total

9- Élément d'édicule découpé en cours de manutention pour chargement et évacuation.

10- Découpe au disque diamant d'élément de dalle.

11- Grutage d'éléments de dalle découpés en fonction de leur distance à la grue.

9- Cut-out roof structure member undergoing handling for loading and removal.

10- Cutting out a slab element by diamond disc.

11- Crane handling of slab elements cut out according to their distance from the crane.

à 28 jours est proche de 500 µm/m (figure 8).

Dans le cadre des essais sur anneaux, le retrait libre s'est décomposé en retrait résiduel, en contrainte de traction et en relaxation de cette même contrainte. Les tests à l'anneau ont permis d'estimer le pourcentage de relaxation du retrait libre en fonction des différents ratios inertiels des anneaux en acier et en béton. Appliqué à la géométrie de la structure de l'usine U2, le pourcentage de relaxation déterminé par les essais a permis d'estimer la valeur du retrait résiduel à prendre en compte pour le dimensionnement des structures de l'usine U2.

Sur la base des différents essais réalisés sur la formule béton, la valeur de retrait de la dalle haute de l'usine U2 à retenir dans les calculs a été estimée à 120 µm/m, dont 35% environ d'origine thermique.

TRAVAUX

Les travaux d'arasement de cette structure porteuse ont dû être réalisés selon plusieurs étapes pour lesquelles il était nécessaire de respecter un certain ordre bien défini par le bureau

d'étude en charge des calculs afin d'assurer la tenue de la structure.

En tout premier lieu, une phase de curage des équipements de ventilation existants dans l'usine a eu lieu afin de libérer les volumes pour mener à bien les travaux de génie civil à venir.

Les premiers travaux de découpe se sont concentrés sur l'édicule de l'usine en béton armé qui faisait 6 m de hauteur et 0,5 m d'épaisseur, sur un pourtour de 70 m. La technique de démolition retenue a été le sciage au disque diamant monté sur rail, entraîné par une centrale hydraulique. Cette technique, que l'on pourrait qualifier de « douce » en comparaison à une démolition par brise-roche hydraulique, a permis, une fois qu'ils avaient été élingués au travers des carottages prévus à cet effet, de découper soigneusement les éléments de béton par blocs de 2 à 3 t et de les évacuer, par une grue mobile à demeure sur le chantier, dans des semi-remorques puis d'être mis au concassage (figure 9).

Après la découpe de l'édicule, celle de la dalle supérieure a pu être démarrée, toujours sans impacter la tenue structurelle de l'ouvrage.



12

Le même principe de sciage au disque a été retenu (figure 10).

Les éléments de dalle, préalablement étayés par des tours de 3 m s'appuyant sur la dalle inférieure, d'une portée de 7 m et de 0,5 m d'épaisseur, ont été découpés puis soulevés à l'aide d'élingues toujours passées au travers de carottages prévus à cet effet.

La largeur des éléments découpés a été calculée en fonction de la distance de ces éléments par rapport à la position de la grue mobile et sa capacité à soulever les charges.

La taille de la grue mobile était elle-même limitée par la résistance de la dalle de couverture du boulevard périphérique sur laquelle la grue était stationnée et reportait ses charges au travers de ses 4 patins.

Ainsi les largeurs de dalle découpée ont varié de 0,55 m à 1,75 m. Plus les blocs étaient éloignés de l'axe de la grue, plus leur poids, donc leur largeur (à longueur et épaisseur constante), devait être faible. Ceci a conduit à multiplier les traits de coupe dans la structure (figure 11).

Ensuite a eu lieu la construction de la nouvelle dalle haute avec les aciers complémentaires sur appui.

La tâche de mise en place de ces aciers sur appui s'est trouvée être sur le chemin critique des différentes phases. En effet il fallait réaliser dans les poutres principales un carottage de 40 mm de diamètre, tous les 20 cm sur 2 lits et sur 1 m de profondeur, pour pouvoir sceller au coulis des barres de 32 mm. Cela a représenté environ 2 km de carottes à extraire et donc 2 km de scellement de barre d'acier au coulis. Cette tâche de carottage, chronophage, a donc été anticipée et réalisée en parallèle de la découpe de dalles afin de pouvoir démarrer, dès la dépose des dalles supérieures, le scellement

12- Carottage Ø 40 dans poutre de 1 m d'épaisseur tous les 20 cm sur 2 lits.

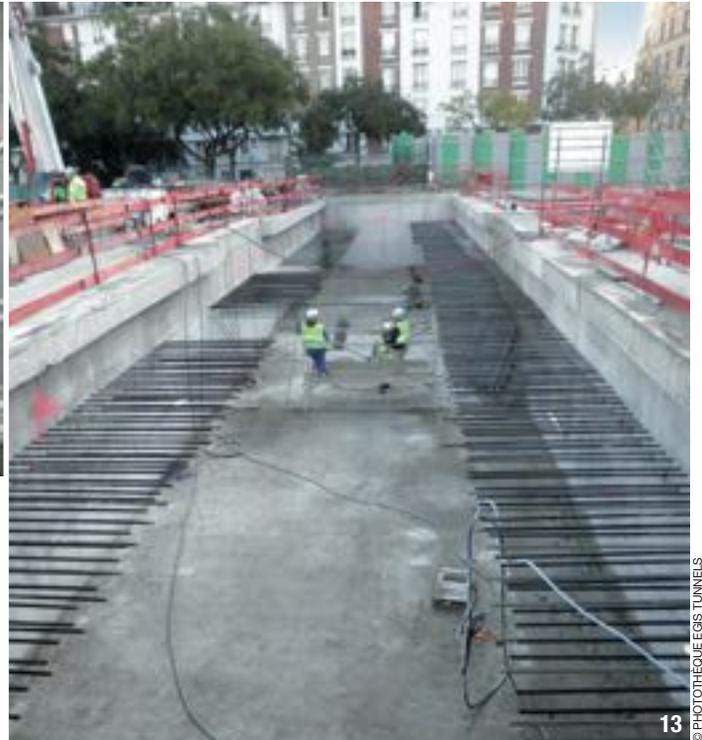
13- Scellement des barres d'acier Ø 32 au coulis dans les carottages.

14- Séquence de découpe des éléments de poutre.

12- 40 mm dia. core sampling in beam 1 m thick, every 20 cm on 2 layers.

13- Embedding steel bars of dia. 32 mm with grout in the diamond drillings.

14- Beam element cutting sequence.



13

© PHOTO THÉQUE EGIS TUNNELS

des barres chapeau, le coffrage et le ferrailage (figures 12 et 13).

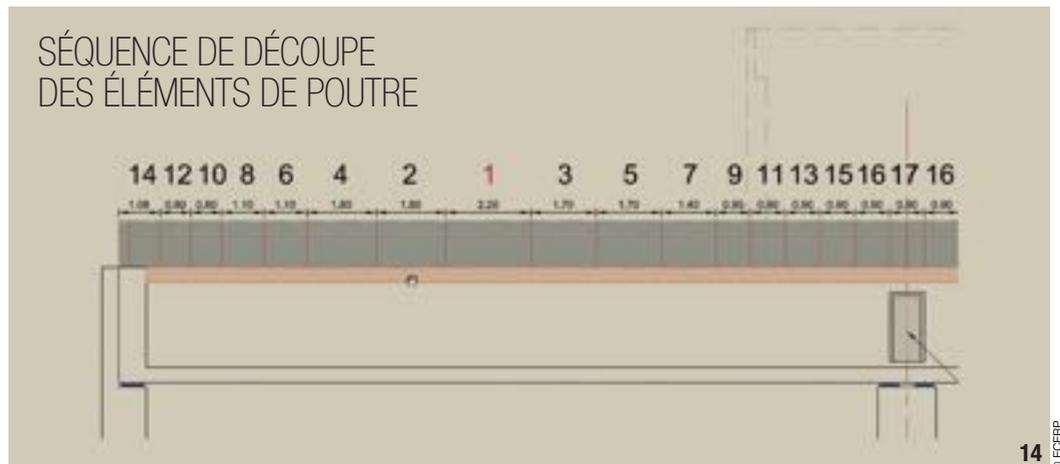
Enfin, la dernière opération a été la découpe des poutres. Elle a nécessité un suivi quotidien des déformations et elle comportait un risque sur la structure.

Chaque poutre a été découpée en morceaux allant de 2 m à 0,50 m de long, selon un phasage rigoureux. Sur la figure 14, on peut voir la séquence de découpe à respecter. Ce phasage était nécessaire car la découpe de la partie supérieure de la poutre avait pour conséquence de supprimer l'ancrage des aciers d'effort tranchant existants. Ainsi, la longueur qui pouvait être découpée à chaque phase était-elle limitée afin de conserver le fonctionnement des bielles et tirants

qui équilibraient l'effort tranchant dans les poutres.

Après la découpe d'un élément et son évacuation, il fallait immédiatement procéder au renforcement des aciers d'effort tranchant existants par scellement de nouveaux aciers en tête afin de reconstituer l'ancrage des cadres (figures 15 et 16).

Les travaux d'arasement de l'usine U2 ont fait l'objet d'un suivi des déformations de la structure en cours de travaux. Les poutres principales ont été instrumentées en travée (dans les zones de moments fléchissant maximaux) par des extensomètres qui mesuraient l'allongement relatif des zones tendues. Les déformations attendues ont été déterminées pour chaque phase des travaux d'arasement (démont-



14

© ECEFP



lition de la dalle haute, reconstruction de la dalle haute, démolition de la partie supérieure des poutres). Elles ont permis de définir des seuils d'alerte et de vigilance pour chacune des poutres. En complément du suivi des déformations des poutres par les extensomètres, un suivi topographique de l'ensemble de la structure a été réalisé.

CONCLUSION

Les travaux d'arasement de l'usine U2 ont nécessité de nombreux calculs structurels, une définition et des tests

15- Sciage au câble des têtes de poutre.

16- Dégagement des aciers et scellement des aciers de couture.

15- Sawing beam caps by cable.

16- Clearing steels and embedding interface reinforcements.

amont sur le béton à faible retrait, une implication forte de la mission Méthodes pour bien définir les phasages en lien avec la tenue structurelle de l'ouvrage, une forte mobilisation des équipes travaux en sciage, étaieage, carottage, scellement, évacuation et bétonnage des nouvelles dalles.

La bonne coordination de toutes ces tâches a permis de remettre en temps et en heure, les nouvelles dalles à la disposition des équipes en charge de la construction du stade Jean Bouin, puisqu'une des tribunes était appuyée en partie sur ces dalles couvrant le tunnel du Parc des Princes. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- Montant des travaux : 25 millions d'euros HT
- Durée du chantier : 18 mois - livraison juin 2011
- 80 personnes en pointe, avec des travaux de jour et de nuit
- 2 000 m³ de béton coulé en place
- 171 000 kg d'acier
- 670 m³ d'éléments béton découpés puis évacués au concassage (environ 1 675 t au total)

INTERVENANTS DU PROJET

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Ville de Paris, Direction de la Voirie et des Déplacements, Section Seine et Ouvrage d'Art

GROUPEMENT DE MAÎTRISE D'ŒUVRE :

• Egis Tunnels (Mandataire) : Génie Civil, Protection au feu, Ventilation et Réseau Incendie

• Artelia Villes et Transports : Équipements

GROUPEMENT TITULAIRE DU MARCHÉ DE TRAVAUX :

• Génie Civil / Protection au feu : Bouygues TP (Mandataire) / Sogea Tpi

• Équipements : Sdel Transport / Etd

BUREAU D'ÉTUDE D'EXÉCUTION : Ecerpt

BUREAU DES MÉTHODES : Cogebi

LABORATOIRE BÉTON : Ginger Cebtp

SOUS-TRAITANT DÉCOUPE BÉTON : Dsd Firoc

ABSTRACT

LEVELLING THE PARC DES PRINCES UNDERPASS VENTILATION PLANT UNDER THE NEW JEAN BOUIN STADIUM

AXEL CHEVALLIER, EGIS - BENOIT BERTRAND, EGIS - JAMES DUPONT, EGIS

To bring into conformity the Parc des Princes underpass, in the 16th arrondissement of Paris, and receive the new Jean Bouin stadium and its square near the emblematic "Parc des Princes" stadium, a ventilation plant for the underground passageway had to be levelled. One of the major constraints of this project was that it had to be done without a traffic break on the Paris ring road, comprising four traffic lanes in each direction on this portion, with a traffic volume of 210,000 vehicles per day. Deconstruction work was performed to reduce by one-third the height of the 1-m wide, 4.4-m high and 40-m long beams resting on three supports. This work required in-depth studies of structural deformation for cutting into small members. □

NIVELACIÓN DE LA CENTRAL DE VENTILACIÓN DEL PASO SUBTERRÁNEO DEL PARC DES PRINCES QUE SE ENCUENTRA BAJO EL NUEVO ESTADIO JEAN BOUIN

AXEL CHEVALLIER, EGIS - BENOIT BERTRAND, EGIS - JAMES DUPONT, EGIS

Para la puesta en conformidad del paso subterráneo del Parc des Princes, situado en el distrito XVI de París, y acoger el nuevo estadio Jean Bouin y su plaza cerca del emblemático "Parc des Princes", ha sido necesario nivelar una central de ventilación del paso subterráneo. Una de las principales dificultades de esta operación era que debía realizarse sin interrumpir el tráfico de la carretera de circunvalación, que consta de 4 carriles por sentido en este tramo, con una circulación de 210.000 vehículos al día. Las obras de demolición para reducir una tercera parte la altura de las vigas de 1 m de ancho, 4,4 m de altura y 40 m de longitud sobre 3 apoyos requirieron minuciosos estudios de las deformaciones de la estructura durante los cortes en pequeños elementos. □



1- L'installation
générale du
chantier.

1- General
worksite
installation.

© CSM BESSAC

À CASABLANCA (MAROC), CSM BESSAC VIENT DE RÉALISER LE PLUS LONG FONÇAGE DU CONTINENT AFRICAIN

AUTEURS : GUILLAUME ROUX, INGÉNIEUR TRAVAUX, CSM BESSAC - JEAN-NOËL LASFARGUE, DIRECTEUR COMMERCIAL, CSM BESSAC

AFIN D'AMÉLIORER L'ASSAINISSEMENT D'UNE ZONE ALLANT DU PORT DE CASABLANCA JUSQU'À LA VILLE DE MOHAMMEDIA, EN PASSANT PAR LA MUNICIPALITÉ D'AIN SEBAA, LA LYONNAISE DES EAUX DE CASABLANCA (LYDEC) A LANCÉ EN 2010 UN VASTE PROGRAMME DE TRAVAUX, COMPRENANT NOTAMMENT LA RÉALISATION D'UNE STATION DE PRÉTRAITEMENT DES EAUX USÉES, 9 KM DE COLLECTEUR CÔTIER ET UN ÉMISSAIRE DE REJET EN MER. CE PROJET VISE À RENDRE AU LITTORAL SON ATTRAIT ET AUX PLAGES LEURS Baigneurs. C'EST DANS CE CADRE QUE CSM BESSAC S'EST VU CONFIER (AU SEIN D'UN GROUPEMENT AVEC SOMAGEC, GÉOCÉAN, ETERMAR ET SOLSIF MAROC), DÉBUT 2013, LA RÉALISATION DE L'ÉMISSAIRE DE REJET EN MER DE SIDI BERNOUSSI.

Cet ouvrage a pour vocation de rejeter au large les eaux issues de l'usine de prétraitement. Ainsi, c'est à 2400 m de la côte que seront diffusés les effluents traités.

L'émissaire présente un diamètre intérieur de 2100 mm. Il est constitué de tuyaux de fonçage en béton armé à âme tôle. Un choix imposé par la pression intérieure de service, qui est de 6 bars (figure 4).

2- Programme d'assainissement côtier de Casablanca.

2- Casablanca coastal sanitation programme.

Comme c'est souvent le cas lors de la réalisation des émissaires en mer, le choix d'une technique de tunnel s'est imposé pour la transition entre la partie terrestre et les fonds marins.

Ainsi, l'émissaire a-t-il été réalisé en deux tronçons :

→ Une première section souterraine de 1057 m, depuis la terre (figure 1) jusqu'à une fosse de réception en mer. Ce tronçon a été réalisé par fonçage au micro tunnelier ;

→ Une deuxième section, jusqu'au PM 2400, réalisée en travaux maritimes classiques (dragage, déroctage, immersion d'une conduite PEHD et lestage).

Une reconnaissance géotechnique poussée a été menée en début de projet (bathymétrie, sismique réflexion et sismique réfraction, carottages et essais mécaniques), afin d'appréhender au mieux les principaux paramètres qui sont d'une importance critique sur ce type d'ouvrage sous-marin.

Des investigations qui ont permis :

→ L'élaboration du profil en long définitif du tunnel (figure 5) ;

→ La définition des zones d'interventions hyperbares au front pour le changement des molettes ;

→ La formulation des fluides de marirage et de lubrification ;

→ Le choix du nombre et du type de stations de poussées intermédiaires pour le fonçage ;

→ Le choix du type de roue d'abat-tage.

Le microtunnelier (figure 6) a été adapté aux caractéristiques particulières de l'ouvrage, dans l'usine de CSM Bessac, à Saint-Jory, au nord de Toulouse. Ces adaptations ont porté sur le diamètre, avec la construction d'un kit élargisseur, mais aussi sur le renforcement de la roue de coupe pour répondre aux caractéristiques ▷





3

© CSM BESSAC

géologiques particulières du site, et sur la méthode de sortie en mer. La machine présente un diamètre d'excavation de 2750 mm, pour des tuyaux de 2100 mm de diamètre intérieur et 2670 mm extérieur. Son poids total est de 77 t.

Le puits de départ du micro-tunnelier (figures 7 et 8), à partir duquel le fonçage a été réalisé, est un ouvrage de 12 m de diamètre intérieur, et de 14,5 m de profondeur. Cet ouvrage a dû être construit sur la plage de Sidi Bernoussi, dans une zone très exposée à la houle et aux déferlantes de l'Atlantique, à environ une quarantaine de mètres du front de mer. La plateforme de chantier a donc été rehaussée par rapport à la plage, de 2,75 à 5,83 NGM (Nivellement General du Maroc), et protégée par des enroche-

3- Tracé de l'émissaire de Sidi Bernoussi.

4- L'émissaire en tuyaux à âme-tôle Ø 2,10 m pendant la construction.

5- Profil en long de l'émissaire.

3- Route of the Sidi Bernoussi outfall sewer.

4- The outfall sewer in 2.10-metre dia. pipes with a steel-plate core during construction.

5- Longitudinal profile of the outfall sewer.



4

© CSM BESSAC

ments définis sur la base d'une houle décennale.

Le puits a été construit dans des couches hétérogènes :

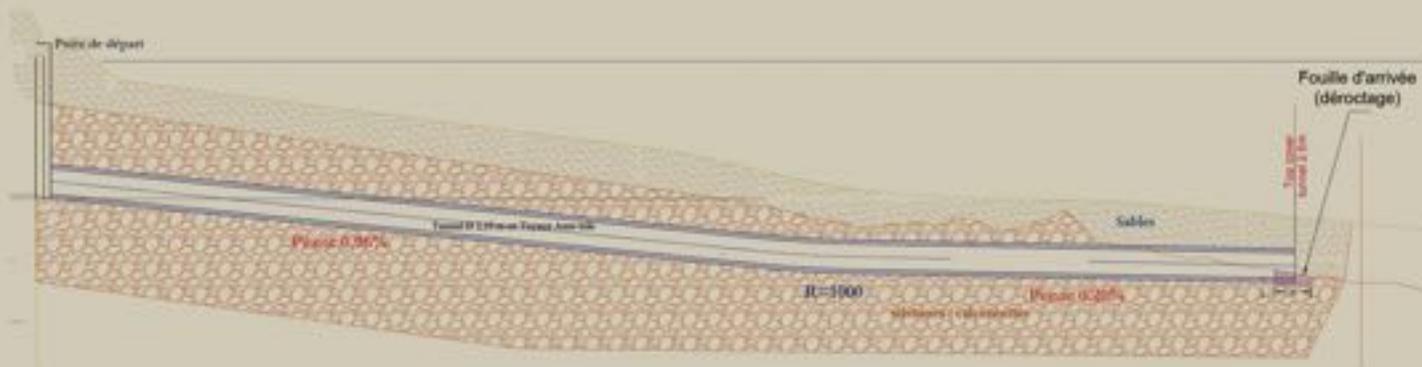
→ Remblais de la plateforme de +5,83 NGM à +2,75 NGM ;

→ Sables de plage de +2,75 NGM à +0,5 NGM ;

→ Calcarénites de +0,5 NGM à -2,94 NGM ;

→ Frange de sables grésifiés de -2,94 NGM à -4,14 NGM ;

PROFIL EN LONG DE L'ÉMISSAIRE



5

© CSM BESSAC

6- Descente du microtunnelier en puits.

7- Le puits de départ.

8- Le puits de départ en cours de creusement.

9- Vue de la paroi du puits de départ.

10- Une travée de puits terrassée et ferrillée.

6- Lowering the MBTM into the shaft.

7- The starting shaft.

8- The starting shaft during tunnel driving.

9- View of the starting shaft wall.

10- A shaft span after earthworks and reinforcement.

CSM BESSAC : LES PLUS LONGS FONÇAGES AU MICROTUNNELIER

Avec une longueur de 1 100 m, l'émissaire de rejet en mer de Casablanca est le plus long fonçage au microtunnelier jamais réalisé sur le continent africain. En 2001, CSM Bessac avait réalisé le plus long fonçage sur le continent américain, à Bogota (1 300 m). En France, les plus longs fonçages (également réalisés par l'entreprise) avoisinent le kilomètre (Lyon, Nîmes, Le Havre).

→ Schistes de -4,14 NGM à -8,63 NGM.

Le niveau de nappe se situait, quant à lui, à +0,5 NGM. Les essais Lugeon et les carottages de reconnaissance ont permis d'estimer les débits d'eau en puits :

→ De l'ordre de 8 m³/h dans les grès (cas d'une travée de 1,5 m de haut dans la zone de calcarénites altérées, ouverte sur toute la péri-

phérie : venues d'eau par le fond de fouille et le périmètre) ;

→ Et de moins de 2 m³/h dans les schistes.

Ces éléments nous ont amenés à définir une méthodologie d'exécution évitant la réalisation de fondations coûteuses dans la zone meuble en tête de puits, hors nappe (pieux battus, berli-noise ou autre). Le niveau des terrains meubles coïncidant avec le niveau de

la nappe phréatique et la nécessité de rehausser la plateforme générale ont conduit à adopter le phasage suivant :

→ Décaissement du niveau de terrain naturel (+2,75 NGM) jusqu'à la base des sables et au niveau de nappe (+0,5 NGM) ;

→ Réalisation d'une virole en béton armé sur semelle de 12 m de diamètre intérieur, 35 cm d'épaisseur, et 5,4 m de hauteur, ferrillée et coulée en place en 2 levées ;

→ Remblaiement autour de la virole et rehaussement de la plateforme générale jusqu'au niveau de +5,83 NGM, en conformité avec les études de houles.

L'excavation a alors repris dans les couches de grès et de schiste, à l'aide d'une pelle mécanique de 20 t équipée d'un BRH, en puits, le marinage s'effectuant quant à lui à l'aide de bennes auto-vides de 3 m³ évacuées à l'aide d'une grue mobile de 30 tonnes en surface (figure 9). ▷



© CSM BESSAC

© CSM BESSAC



11

© CSM BESSAC

Sous la virole de tête en béton banché, le revêtement a été réalisé en béton projeté par voie sèche ($f_{c28} = 25$ MPa), par passes de hauteur variable selon la tenue des terrains (de 0,6 m dans la zone de sables grésifiés à 2 m de haut dans les grès). L'épaisseur du revêtement, incluant 2 nappes de treillis

soudé, était de 30 cm (figure 10). Enfin, dans l'horizon schisteux (résistance à la compression de 10 à 30 MPa), le calcul ne requerrait aucun revêtement.

Nous avons toutefois appliqué un béton projeté de sécurité de 10 cm d'épaisseur, afin de prévenir toute chute de

11- La station principale de poussée.

11- The main jacking station.

bloc et de drainer les venues d'eau. L'excavation du puits a été réalisée à un poste, en 2 mois et demi. Le génie civil en fond de puits (radier, mur de poussée pour le fonçage, joint d'entrée pour le microtunnelier, caverne abri pour les travailleurs en fond de puits), a été achevé en l'espace de 3 semaines.

LA CONSTRUCTION D'ÉMISSAIRES EN MER, UNE SPÉCIALITÉ DE CSM BESSAC

Le chantier de Casablanca se rajoute à une liste, déjà longue, d'émissaires en mer réalisés par CSM Bessac :

- L'émissaire de rejet des sables d'Olonne, longueur 624 m, diamètre 1 400 mm (microtunnelier) ;
- L'émissaire de rejet des eaux de refroidissement de la centrale EPR de Flamanville - Longueur 830 m, diamètre 5 m (tunnelier à pression de boue) ;
- L'émissaire de rejet de Rabat (Maroc) - longueur 800 m, diamètre 2 000 mm (microtunnelier) ;
- L'émissaire de rejet de Bidart - longueur 580 m, diamètre 1 600 mm (microtunnelier).

Une liste qui va s'enrichir, avec un chantier en cours au Chili, à Antofagasta. Il s'agit de construire 3 émissaires en mer (une prise et deux rejets) pour une usine de dessalement qui fournira l'eau à la plus grosse usine de cuivre au monde (Escondida). Les ouvrages seront creusés dans des roches de forte dureté à grande profondeur, plus de 30 m. Deux microtunneliers spécifiques ont été construits pour ce projet.

CSM BESSAC : ENTREPRISE INTERNATIONALE

Avec plusieurs acquisitions récentes à l'export, CSM Bessac confirme son statut d'entreprise internationale. En effet, la part de chiffre d'affaires à l'export qui est passée ces deux dernières années de 30 % à 50 % sera, en 2015, supérieure aux 2/3.

Exemple de chantiers en cours à l'export :

- Miami - USA : Tunnel d'assainissement, reliant deux îles, de 1 600 m de long et 2,50 m de diamètre, creusé par un tunnelier mixte pression de terre/pression de boue ;
- Géorgie/Azerbaïdjan : Pour BP, 2 traversées de rivière au microtunnelier - 1 000 m et 600 m, Ø 1 800 mm avec enfilage d'un pipe-line de 52" ;
- Antofagasta - Chili : 3 émissaires en mer (voir encadré) ;
- Métro de Singapour - Thomson Line - Lot T219 - 2 tunnels de 5,80 m de diamètre, longueur 1 700 m.

L'activité industrielle de l'entreprise bénéficie aussi de cette dynamique à l'export avec la livraison, cette année, d'un tunnelier à pression de terre pour le métro de Minsk en Biélorussie. Celui-ci est en cours de construction dans l'usine de Saint-Jory.



© CSM BESSAC
12



13

Le fonçage de l'émissaire (figure 11) a débuté en octobre 2013 et s'est achevé en avril 2014.

L'excavation s'est déroulée dans des terrains de nature principalement rocheuse (siltstones et calcarénites), mais présentant des zones fortement faillées qui constituaient un défi certain, que ce soit vis-à-vis des injections de lubrification ou des interventions au front pour le remplacement des molettes.

Une zone mixte sables/siltstones a été excavée sur les 150 derniers mètres, avec une couverture réduite à 4 m, 20 m sous le niveau de la mer.

Le puits de départ, de 12 m de diamètre, a permis l'installation de 2 tuyaux simultanément, autorisant des productions journalières atteignant 30 m³/j.

Le terrain fracturé et potentiellement abrasif a conduit les équipes de chantier à intervenir régulièrement au front en hyperbare, afin de procéder aux changements préventifs des molettes rechargées au carbure dans les zones préalablement identifiées comme sûres. Deux principales failles particulièrement instables ont été rencontrées

aux PM 760 et 850, générant des frottements latéraux accrus et rendant obligatoire l'utilisation de 3 à 4 des 7 stations intermédiaires installées. Un travail approfondi a dû être mené sur les injections de lubrification, qui ont nécessité l'utilisation de 3 circuits de pompes indépendants, avec chacun leur propre formulation de boue, leur propre séquence d'injection, et chacun leurs propres paramètres d'injection (volumes/pressions). Cette zone délicate a finalement pu être franchie une fois les failles stabilisées et l'avancement a repris avec

12- Récupération du microtunnelier en mer.

13- Récupération du microtunnelier au port.

12- Retrieving the microtunnelier at sea.

13- Retrieving the microtunnelier in the port.

des cadences moyennes de l'ordre de 15 m/j.

Le microtunnelier est resté immobilisé dans la fosse de réception, déroctée en juillet 2013, en attendant que des conditions météorologiques favorables permettent l'intervention des moyens maritimes nécessaires à son extraction. Ce n'est qu'au début du mois de juillet 2014 que l'opération de récupération a été possible (figures 12 et 13).

L'attente de la récupération du tunnelier a été mise à profit pour les opérations de déséquipement du tunnel, de soudure et jointoiment des tuyaux âme tôle entre eux, afin de garantir la tenue du tunnel au test d'étanchéité à 6 bars.

On a également procédé à la réalisation des injections de produits pour assurer le blocage de la conduite foncée. □

INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Lydec (Lyonnaise des Eaux de Casablanca)

MAÎTRE D'ŒUVRE : Safège

ENTREPRISES : Groupement Somagec / Géocéan / Etermar (travaux maritimes) - CSM Bessac / Solsif Maroc (tunnel et puits)

FABRICATION DES TUYAUX ÂME-TÔLE : Sogea Maroc

QUANTITÉS

LONGUEUR DU TUNNEL : 1 057 m

DIAMÈTRE INTÉRIEUR : 2,10 m

LONGUEUR TOTALE DE L'ÉMISSAIRE : 2 200 m

DÉBIT MAXIMAL : 11 m³/s

ABSTRACT

AT CASABLANCA (MOROCCO), CSM BESSAC RECENTLY PERFORMED THE LONGEST BORING OPERATION ON THE AFRICAN CONTINENT

GUILLAUME ROUX, CSM BESSAC - JEAN-NOËL LASFARGUE, CSM BESSAC

At Casablanca, Morocco, CSM Bessac recently completed its fifth outfall sewer discharging into the sea. This structure, around 1100 metres long, was executed by microtunneller boring. This is a record length for this technique on the African continent. The outfall sewer, of inner diameter 2.10 m, must be able to withstand an internal service pressure of 6 bar. Excavation was carried out in mainly rocky land, with major fault areas, under a 20-metre water head; these conditions represented a real challenge for the construction teams! □

EN CASABLANCA (MARRUECOS), CSM BESSAC ACABA DE REALIZAR LA PERFORACIÓN MÁS LARGA DEL CONTINENTE AFRICANO

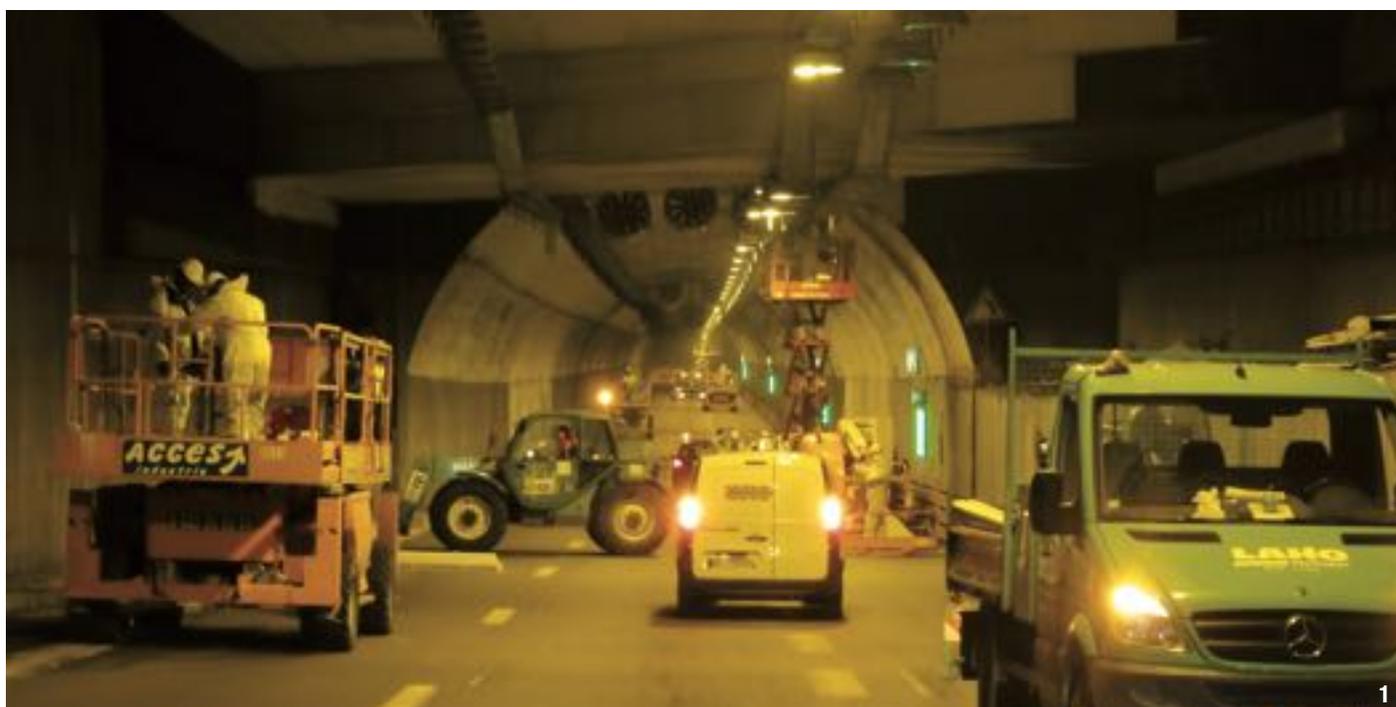
GUILLAUME ROUX, CSM BESSAC - JEAN-NOËL LASFARGUE, CSM BESSAC

En Casablanca (Marruecos), CSM Bessac acaba de terminar su quinto canal de descarga en mar. Esta obra, de aproximadamente 1.100 m de longitud, realizada por perforación con micro tuneladora, representa un récord de longitud en el continente africano con esta técnica. El canal de descarga, con un diámetro interior de 2,10 m, debe soportar una presión interior de servicio de 6 bares. La excavación se realizó en terrenos de naturaleza principalmente rocosa, que presentan zonas con importantes fallas, bajo una carga de agua de 20 m: condiciones que constituyeron un auténtico reto para los equipos de la obra. □

MISE EN SÉCURITÉ DES TUNNELS AMBROISE PARÉ ET DE SAINT-CLOUD. OPÉRATION COMPLEXE, SOUS CIRCULATION, EN MILIEU URBAIN

AUTEURS : EMMANUEL MAUNIER, INGENIEUR TRAVAUX, EGIS TUNNELS - AXEL CHEVALLIER, CHEF DE PROJET, EGIS TUNNELS - PIERRE MERAND, DIRECTEUR DE PROJET, EGIS TUNNELS

SUITE À L'INCENDIE DU TUNNEL DU MONT-BLANC EN MARS 1999, UN NOUVEAU CADRE RÉGLEMENTAIRE RELATIF À LA SÉCURITÉ DES TUNNELS ROUTIERS A VU LE JOUR AU DÉBUT DES ANNÉES 2000. DES RÈGLES PLUS SÉVÈRES IMPOSENT AUX TUNNELS DE PLUS DE 300 M DE NOUVELLES EXIGENCES TECHNIQUES. EN APPLICATION DE CES NOUVELLES NORMES, L'ÉTAT A LANCÉ UN VASTE PROGRAMME DE MODERNISATION DES TUNNELS ROUTIERS DONT IL EST MAÎTRE D'OUVRAGE. LES TRAVAUX DES TUNNELS AMBROISE PARÉ ET DE ST-CLOUD SITUÉS SUR L'AUTOROUTE A13 ONT DÉMARRÉ À L'ÉTÉ 2011 POUR S'ACHEVER AU PRINTEMPS 2014.



1 © PHOTO THÉO EGIS

CADRE GÉNÉRAL DE L'OPÉRATION

En 2009, la Direction des Routes d'Ile-de-France (DIRIF), a entrepris un programme de travaux pour moderniser les 22 tunnels de son réseau routier. Exploitant, mais également maître d'ouvrage des opérations, la DIRIF a lancé en 2011 le marché de travaux pour la mise en sécurité des tunnels Ambroise

Paré et de Saint-Cloud sur l'autoroute A13, à l'ouest de Paris (figure 2).

L'A13 est une autoroute très fréquentée qui relie Paris à la Normandie par la porte d'Auteuil.

Avec son trafic de 140 000 véhicules/jour dont 5% de poids lourds, c'est un axe de circulation stratégique en interaction directe avec le boulevard périphérique de la capitale.

1- Travaux sous fermeture de nuit du tunnel de St-Cloud Sud.

1- Works on St-Cloud South tunnel closed at night.

PRÉSENTATION DES OUVRAGES

La tranchée couverte Ambroise Paré, mise en service en 1974, permet aux usagers de l'A13 de franchir en souterrain la ville de Boulogne-Billancourt (92). Cet ouvrage de 820 m (750 m de couverture + 70 m de paralames en tête Ouest) est composé de deux tubes unidirectionnels, à 3 voies de circulation chacun. Transversalement,

PLAN DE SITUATION DES OUVRAGES



la dalle de couverture repose sur trois appuis qui sont les deux piliers latéraux constitués de parois moulées jointives et le piliers central constitué de parois moulées non jointives séparant les 2 sens de circulation. Les chaussées sont protégées de la montée des eaux de nappe par un radier béton d'environ 1 m. À l'intérieur de cette structure principale ont été construits les éléments fonctionnels de l'ouvrage à savoir les galeries de ventilation et d'éclairage (figure 3).

Le tunnel de Saint-Cloud fait transiter l'A13 sous le Parc de Saint-Cloud.

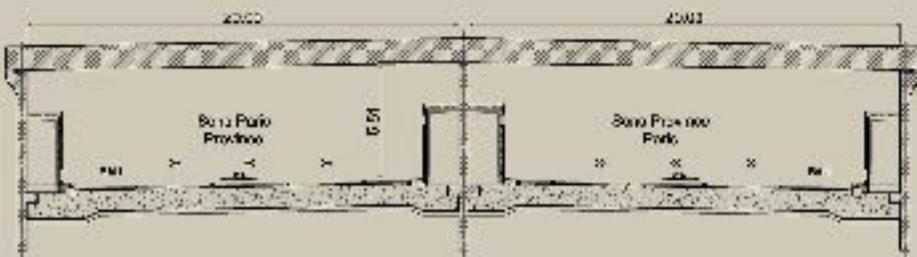
La mise en service du tube Nord date de 1946. Ce tube est resté à double sens jusqu'à l'ouverture du tube Sud en 1976. ▷

2- Plan de situation des ouvrages.

3- Coupe transversale type de la tranchée couverte Ambroise Paré.

4- Coupes transversales types du tunnel de St-Cloud.

COUPE TRANSVERSALE TYPE de la tranchée couverte Ambroise Paré

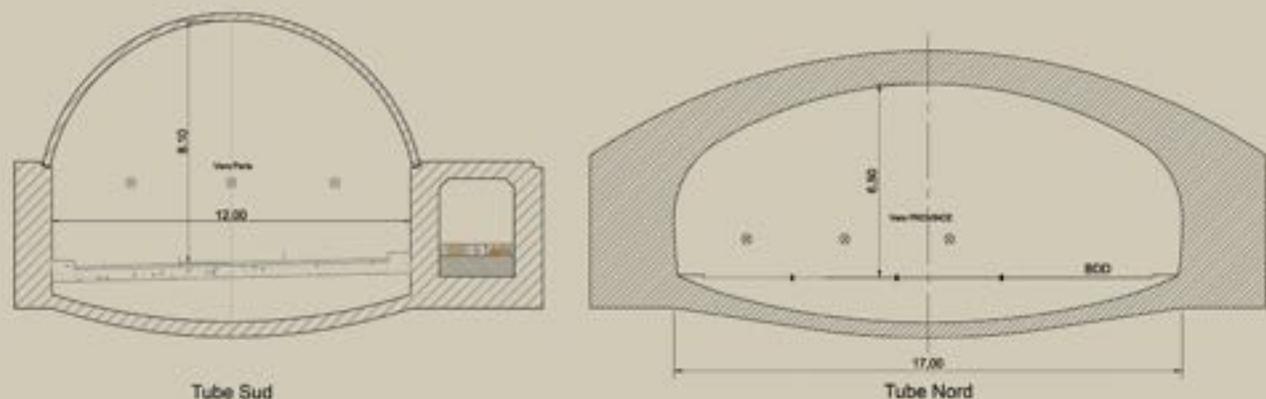


2- Location drawing of the works.

3- Typical cross section of the Ambroise Paré cut-and-cover tunnel.

4- Typical cross sections of St-Cloud Tunnel.

COUPE TRANSVERSALE TYPE du tunnel de St-Cloud





5

© PHOTOTHÈQUE EGIS

Depuis, chaque sens de circulation possède un tube dédié à 3 voies (figure 4). Le tube Nord mesure 832 m de longueur et le tube Sud 901 m. Chacun des tubes se décompose d'une partie en tunnel creusé (630 m pour le tube Nord et 343 m pour le tube Sud) et de multiples ouvrages de couverture de part et d'autre, dont des passages supérieurs routiers et ferroviaires.

FOCUS SUR LES PRINCIPAUX TRAVAUX DE GENIE CIVIL

L'incendie en tunnel, et en particulier celui d'un poids lourd, est le principal événement redouté. Mettre en conformité un ouvrage existant consiste donc à faire le nécessaire pour permettre la protection et l'évacuation des usagers et l'intervention des services de secours dans les meilleures conditions lors d'un tel événement. Pour se faire, la conception se réfère aux principes décrits dans l'*Instruction technique relative aux dispositions de sécurité*

dans les nouveaux tunnels routiers (annexe à la circulaire interministérielle n°2000-63 du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national).

CRÉATION DE GALERIE D'ÉVACUATION ET D'ISSUES DE SECOURS

Sur Ambroise Paré, aucun aménagement de ce type n'existait. Pour y remédier, les anciennes galeries de ventilation latérales ont été transformées en galeries d'évacuation.

Il a d'abord fallu réaliser d'importants travaux d'étanchéité afin de minimiser les venues d'eau issues des joints de radier et de parois moulées vieillissantes. Ensuite, une recharge en béton d'environ 0,80 m a été coulée pour mettre à niveau le cheminement d'évacuation avec la chaussée. C'est dans l'épaisseur de ce renformis qu'a été aménagée la multitubulaire nécessaire à l'alimentation en énergie et au réseau

5- Travaux sous circulation dans le tunnel Ambroise Paré.

6- Vue en coupe d'une issue de secours émergeant en surface.

7- Trappe à contrepoids avenue Charles de Gaulle (Boulogne-Billancourt).

5- Work while traffic continues in Ambroise Paré Tunnel.

6- Cross-section view of an emergency exit surfacing.

7- Counterweight trap on avenue Charles de Gaulle (Boulogne-Billancourt).

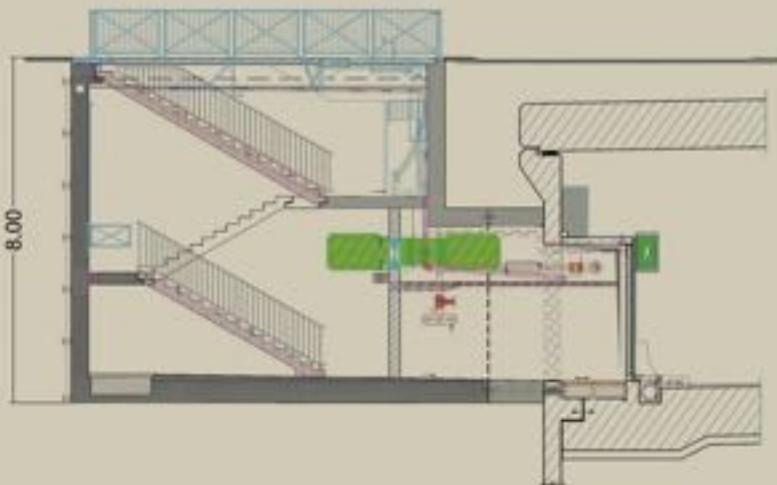
de transmission d'information des équipements du tunnel (ventilation, éclairage, vidéosurveillance, réseau d'appel d'urgence, etc.).

Enfin, des sas d'entrée surpressés ont été créés tous les 100 m environ et les galeries ont été protégées des chocs de véhicules par extrusion de glissières en béton.

Tous ces travaux ont été réalisés sous circulation. Dans ce tunnel, l'étendue de la largeur roulable (15 m entre trottoirs) a permis de neutraliser une partie de la chaussée sur plusieurs mois ; la circulation a été ramenée sur 2 voies au lieu de 3 libérant ainsi la bande d'arrêt d'urgence et la voie lente pour les travaux. L'espace chantier a été balisé par un dispositif continu lourd surmonté d'une palissade. Ceci permettait de garantir à l'usager un système de retenue fiable en cas d'accident, d'une part, et d'assurer une protection collective des travailleurs contre toutes interactions avec la circulation, d'autre part (figure 5).

VUE EN COUPE

d'une issue de secours émergeant en surface



6

© GTM TP IDF



7

© PHOTOTHÈQUE EGIS

L'instruction technique demande que les aménagements d'évacuation communiquent directement avec l'extérieur lorsque les travaux sont réalisables dans des conditions raisonnables. C'est obligatoire lorsque la chaussée se trouve à moins de 15 m de profondeur par rapport à la surface, ce qui est le cas sur Ambroise Paré où la chaussée est à environ 8 m de la surface. C'est pourquoi, en parallèle des travaux en tunnel, 5 exutoires de surface ont été créés et connectés aux galeries d'évacuation pour permettre aux usagers de rejoindre l'extérieur mais aussi pour donner aux services de secours plusieurs points d'accès directs au tunnel (figure 6).

La jonction avec le tunnel a nécessité le sciage d'ouvertures dans la paroi moulée ; ces ouvertures ont été confortées par des linteaux de renforcement en béton armé à l'intérieur du tunnel. Afin de pleinement prendre en compte les contraintes d'intégration urbaine des nouvelles émergences des issues de secours sur la commune de Boulogne-Billancourt, un travail de fond a été mené en étroite collaboration avec la Mairie, pour aboutir à la conception ad hoc de trappes amovibles.

Les exigences de l'exploitant et celles des services de secours (brigade de Sapeurs-Pompiers de Paris) ont également été prises en compte dans le cahier des charges afin d'aboutir à des trappes à contrepoids sûres, faciles à utiliser et simples à entretenir. Ainsi 4 trappes s'intègrent aujourd'hui sur la voirie dans un environnement urbain relativement dense (figure 7).



© PHOTOTHÈQUE EGIS

8- Édicule de sortie rue du Transvaal (Boulogne-Billancourt).

9- Travaux en piédroit latéral sous ripage de séparateurs métalliques (tunnel de St-Cloud Sud).

10- Construction d'une galerie d'évacuation à l'aide d'un coffrage glissant (tunnel de St-Cloud Nord).

8- Exit roof structure on rue du Transvaal (Boulogne-Billancourt).

9- Work on the side wall under sliding metal separators (St-Cloud South Tunnel).

10- Construction of an evacuation gallery using a sliding formwork (St-Cloud North Tunnel).

Quant à la sortie de la 5^e issue, elle s'effectue par un édicule discrètement intégré au mur d'enceinte d'un club de tennis (figure 8).

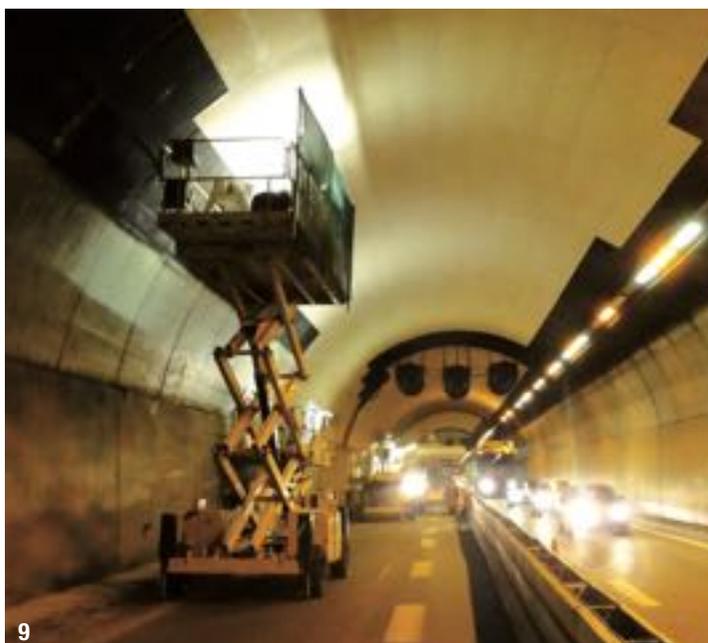
Sur le tunnel de Saint-Cloud, le tube Sud disposait, dès sa construction, d'une galerie d'évacuation dotée de 6 issues de secours. Néanmoins, cette galerie ne permettait pas aux usagers de se mettre en sécurité à l'extérieur de l'ouvrage côté Ouest. La galerie a donc été prolongée sur 120 m et une issue supplémentaire a été créée pour réduire les inter-distances des issues en tête Ouest. Chaque issue a été améliorée par la construction d'un sas surpressé.

Ces travaux ont pour la plupart été réalisés de nuit car la faible largeur roulable (10,50 m pour 3 voies) ne permettait pas de neutraliser la chaussée en voie lente de façon permanente sans impacts majeurs sur la gestion du trafic. Mais il faut savoir qu'en proche banlieue parisienne, les fermetures totales restent très pénalisantes même la nuit. C'est pourquoi, dans le but de minimiser le nombre de ces fermetures et de réduire la gêne à l'usager, le chantier

a eu recours au ripage de séparateurs modulaires de voies. Ces dispositifs de retenue métalliques restaient stockés en journée sur la bande dérasée de droite, et étaient ripés pour basculer la circulation sur une voie (la voie rapide) entre 23h et 5h, plage horaire où le trafic est le plus faible (figure 9). Quant au vieux tube (tube Nord), rien n'avait été prévu à l'origine pour l'évacuation des usagers. La largeur du tunnel (16,80 m entre piédroits) a permis de construire une galerie d'évacuation sur toute la longueur de l'ouvrage sans réduire ni le nombre ni la largeur des voies. Néanmoins la construction de cette galerie d'évacuation s'est avérée délicate sur le plan méthodologique car il était impératif de travailler sous circulation.

L'emprise travaux très réduite (3 à 5 m de largeur) et la faible hauteur sous voûte ne permettait pas la manutention de banches.

En termes de coût et de délai, il n'était pas non plus envisageable de réaliser les quelques 900 m de galerie en coffrage traditionnel. Le bureau d'études méthodes a donc étudié un outil coffrant spécifique pouvant avancer sur rail (figure 10). Lorsque la température était suffisamment clémente pour décoffrer rapidement, cet outil permettait d'avancer d'un plot (10 m) par jour. Mais la cadence moyenne sur le linéaire a été de 3 plots par semaine en raison des aléas climatiques et des multiples réservations à prévoir dans le voile pour la création des issues de secours, des niches de sécurité et des niches incendie. ▷



© PHOTOTHÈQUE EGIS



© PHOTOTHÈQUE EGIS



11



12

© PHOTO THÉRIQUE EGIS

Quant au béton, c'est une formulation bien spécifique qui a été employée contenant des fibres de polypropylène, ceci pour réduire la porosité du béton et augmenter sa résistance dans le but d'atteindre un degré coupe-feu de niveau N2 comme l'instruction technique l'impose pour les galeries de sécurité. Ce niveau exige de résister à une montée en température violente et sur une durée de 120 minutes (jusqu'à 1 300 °C).

CONSTRUCTION DE VOILES ANTI-RECYCLAGE

Dans les tunnels à deux tubes, si un incendie se déclare dans un tube, la fumée produite ne doit pas envahir l'autre tube. Toutes les précautions doivent être prises pour éviter ce phénomène et notamment aux extrémités où des voiles anti-recyclage des fumées ont dû être bâties. Là encore, l'espace de travail exigu en terre-plein central rendait difficile l'usage de méthodes traditionnelles. Et c'est à l'aide de pré-murs qu'ont été réalisés ces voiles de 6 m de haut sur 30 m de long. La préfabrication a également permis d'intégrer plus aisément des panneaux acoustiques sur les voiles, ainsi que des parements architecturaux en concordance avec la trame existante de chacune des têtes d'ouvrage (figure 11).

PROTECTION AU FEU DES STRUCTURES

La résistance au feu exigée des structures vise les principaux objectifs suivants : laisser le temps aux usagers d'évacuer, ne pas mettre en danger les services de secours pendant leur intervention et protéger les éventuels ouvrages ou bâtiments se trouvant en surface. Pour les ouvrages neufs, cette contrainte est aujourd'hui direc-

tement prise en compte dans le dimensionnement des structures en béton. En rénovation, il faut déterminer par le calcul le niveau de résistance des structures existantes sous la sollicitation thermique d'un incendie. Pour cela, on détermine préalablement la valeur d'écaillage du béton grâce à un essai en laboratoire sur des carottes de béton prélevées in situ. Si la tenue au feu d'une structure est inférieure au niveau qu'elle devrait théoriquement garantir, le principe consiste à protéger le parement du béton à l'aide de protections passives. Sur l'A13, ce sont des plaques de protection thermique rapportées constituées de silicate d'aluminium et calcium qui ont été employées. Ainsi ont été protégés des éléments tels que les galeries d'évacuation et les appareils d'appui de la dalle de couverture du tunnel Ambroise Paré ; sur Saint-Cloud ce sont les tronçons de tranchée couverte constitués de voûtes minces préfabriquées qui ont dû être recouverts, de même que l'intrados des tabliers d'ouvrages d'art (ouvrage SNCF et ouvrage routier) traversant au-dessus de la tête Ouest

11- Voile anti-recyclage du tunnel de St-Cloud tête Est.

12- Protection au feu de la voûte et des ouvrages de tête du tunnel de St-Cloud Sud.

11- Anti-recirculation shear wall on St-Cloud Tunnel, East portal.

12- Fire protection for the roof and portal structures of St-Cloud South Tunnel.

des deux tubes (figure 12). Au total, ce sont 18 000 m² de protection au feu rapportée qui ont été posés.

SYSTÈME D'ASSAINISSEMENT

La réglementation demande à ce que tous les liquides récoltés sur la chaussée transitent par une fosse de

récupération étanche destinée à éviter la pollution de l'environnement en cas d'accident.

Le tunnel Ambroise Paré disposait déjà, depuis sa mise en service, de deux stations de pompage dont les équipements ont simplement été changés à neuf durant l'opération. En revanche sur le tunnel de Saint-Cloud, les eaux de ruissellement se rejetaient directement dans la Seine via le réseau d'assainissement public, sans possibilité de contenir une éventuelle pollution accidentelle.

Le tunnel de Saint-Cloud disposant d'un profil en long descendant d'ouest en est, un bassin de rétention enterré a été construit en tête Est pour collecter les eaux de chaussée des deux tubes. Ce bassin de 200 m³ (correspondant à 40 m³ de liquides dangereux transportés par un poids lourd plus 160 m³ d'eau utilisés pour lutter contre le sinistre) a dû s'insérer dans le seul espace disponible sur l'accotement de la chaussée Nord (figure 13).

Un seul bassin pouvant être créé côté Nord, il fallait résoudre la problématique de récupération des eaux du tube Sud pour que celles-ci transitent également par le bassin. Se trouvant dans une courbe très serrée, le profil en travers déversé conduit naturellement l'eau de la chaussée Sud vers le caniveau à fente du terre-plein central. Il était donc nécessaire de créer une traversée, sous la chaussée Nord, du terre-plein central vers le bassin.

La possibilité de poser les collecteurs dans une tranchée ouverte a d'abord été étudiée mais a été jugée trop risquée en raison du remaniement de la structure de chaussée pouvant entraîner par la suite des tassements différentiels et de l'ornièrage à cause du fort trafic poids lourd, dans un virage déjà très accidentogène. De plus, les

CHIFFRES CLÉS

- Montant global de l'opération : 50 M€ HT (30 M€ de génie civil et 20 M€ d'équipements)
- Délais contractuel : 36 mois
- Environ 200 fermetures de nuit par sens de circulation réparties sur 3 ans
- Trafic moyen journalier annuel sur A13 : 140 000 véhicules / jour (tunnel de St-Cloud, année 2011)
- 18 000 m² de surface protégée au feu à l'aide de plaques de protection thermique
- 3 300 m de conduite incendie posés
- Plus de 120 km de câbles tirés (énergie et données)



© PHOTO THÉÂTRE EGIS

travaux n'auraient été envisageables que sous fermeture de nuit, dans un intervalle de quelques heures, sans certitudes sur la possibilité de rouvrir à la circulation dans les délais et en toute sécurité pour les usagers. C'est pourquoi la solution finalement retenue a été celle d'un forage horizontal par la technique du marteau fond de trou. Avec cette méthode, des tuyaux métalliques ont été foncés pendant le forage à la suite du marteau en roto percussion, un procédé comparable au tubage d'un pieu. Ce forage a pu être réalisé de jour sous circulation depuis un puits d'accès créé pour cette opération, sans décompression de sol et donc sans risque pour la structure de chaussée (figure 14).

CONCLUSION

Il a fallu pas moins de trois ans de travaux pour mettre en conformité les deux tunnels de l'autoroute A13. Ce sont les conditions de réalisation sous exploitation qui ont fait la sin-

13- Construction d'un bassin de rétention enterré en tête Est du tunnel de St-Cloud.

14- Fonçage d'une canalisation sous la chaussée de l'autoroute A13 en circulation.

13- Construction of an underground retention basin at the East portal of St-Cloud Tunnel.

14- Pipe ramming under the pavement of the A13 motorway under traffic.

gularité de ce chantier où maintenir les capacités de circulation et limiter la gêne à l'utilisateur étaient les lignes directrices.

Ainsi une grande partie des travaux a-t-elle été programmée sous fermeture de nuit.

Pendant l'opération il était également important de maintenir en fonctionnement les équipements d'exploitation et de sécurité des ouvrages, ce qui a demandé un phasage minutieux pour le basculement des anciennes installations vers les nouvelles. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : DiRIF (Direction des Routes d'Île-de-France), Département de Maîtrise d'Ouvrage Équipements Tunnels

SURVEILLANCE/EXPLOITATION TUNNELS : DiRIF, PCTT (Poste de Contrôle Tunnels et Trafic) de Nanterre

EXPLOITANT DU RÉSEAU : DiRIF, UER (Unité d'Exploitation Routière) de Boulogne-Billancourt

GROUPEMENT DE MAÎTRISE D'ŒUVRE :

- Génie civil et ventilation : Egis Tunnels (mandataire)
- Équipements : Artelia Villes et Transports
- Architecte : Laurent Barbier

GROUPEMENT TITULAIRE DU MARCHÉ DE TRAVAUX :

- Génie civil : Gtm TP IDF (mandataire du groupement), Sogea TPI
- Équipements : Sdel Transports, Bouygues Énergie & Services

ABSTRACT

ENSURING SAFETY FOR THE AMBROISE PARÉ AND SAINT-CLOUD TUNNELS. A COMPLEX PROJECT, UNDER TRAFFIC, IN AN URBAN ENVIRONMENT

EMMANUEL MAUNIER, EGIS - AXEL CHEVALLIER, EGIS - PIERRE MERAND, EGIS

Since the Mont-Blanc Tunnel accident in 1999, French road tunnel safety regulations have become far more stringent, obliging operators to undertake major works to bring their structures into conformity. It is in this context that the renovation project for the Ambroise Paré and Saint Cloud tunnels on the A13 motorway was carried out. These tunnels were altered to ensure users' safety in the event of the main feared event: a fire in the tunnel. Substantial works were carried out, such as the construction of evacuation galleries and emergency exits, with the obligation to keep the motorway in service during the works. □

ADECUACIÓN A LAS NORMAS DE SEGURIDAD DE LOS TÚNELES AMBROISE PARÉ Y SAINT-CLOUD. OPERACIÓN COMPLEJA, CON CIRCULACIÓN Y EN MEDIO URBANO

EMMANUEL MAUNIER, EGIS - AXEL CHEVALLIER, EGIS - PIERRE MERAND, EGIS

Desde el accidente del túnel del Mont Blanc de 1999, la normativa francesa sobre la seguridad de los túneles de carretera es mucho más severa, y obliga a los operadores a realizar importantes obras para poner en conformidad sus estructuras. Las obras de reforma del túnel Ambroise Paré y del túnel de Cloud en la autopista A13 se desarrollaron en este contexto. Estas estructuras se han modificado para garantizar la seguridad de los usuarios frente al evento más temido: el incendio en túnel. Se han realizado importantes obras como la construcción de galerías de evacuación y salidas de emergencia, con la obligación de no interrumpir el tráfico en la autopista durante su ejecución. □



1
© TPI

RÉALISATION DE TROIS GALERIES SOUTERRAINES À CHÂTELET-LES-HALLES

AUTEURS : NICOLAS METGE, RESPONSABLE DU PÔLE CONCEPTION ET MAÎTRISE D'ŒUVRE, ISC (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) - RÉMI JOUANDOU, CHEF DE PROJETS ADJOINT, ISC (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) - ARMAND GAUVIN, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOGEA TPI (VINCI CONSTRUCTION FRANCE) - CHRISTOPHE PINEL, DIRECTEUR TRAVAUX, SOGEA TPI (VINCI CONSTRUCTION FRANCE)

UN DES OBJECTIFS DE L'IMMENSE CHANTIER DE RESTRUCTURATION ET DE RÉNOVATION DU QUARTIER DES HALLES AU CŒUR DE PARIS EST DE FLUIDIFIER ET DE RÉORGANISER LE TRAFIC SOUTERRAIN ENTRE LES LIGNES DE MÉTRO ET RER. TROIS GALERIES SOUTERRAINES À RÉALISER DANS CET ENVIRONNEMENT EN EXPLOITATION PARTICIPENT À LA RÉALISATION DE CET OBJECTIF.

CONTEXTE DU PROJET

Dans le cadre du projet urbain de réaménagement du quartier des Halles, engagé par la Ville de Paris, le pôle RER Châtelet-Les-Halles fait l'objet d'une requalification majeure. Afin de mieux accueillir les voyageurs et de fluidifier leur circulation, le projet prévoit de nouveaux accès depuis la surface et de nouvelles galeries de connexion entre les lignes existantes. Fréquenté par plus de 750 000 voyageurs par jour arpentant les cinq lignes de métro et trois de RER, le pôle d'échange doit effectuer sa restructuration en mainte-

nant l'exploitation du trafic pendant les travaux. Au sein de ce vaste chantier, trois galeries souterraines sont réalisées à proximité immédiate du public et juste en dessous des bâtiments haussmanniens de la capitale (figure 2).

CONNEXION ENTRE LA SALLE DES ÉCHANGES ET LE COULOIR DE LA FERRONNERIE

SITUATION

Le nouveau couloir de liaison a pour but d'assurer la connexion entre la salle des échanges et le couloir de la Fer-

1- Terrassement en cours à Chatelet.

1- Earthworks in progress at Châtelet.

des correspondances. Situé à 15 m sous la surface, ce nouveau couloir traverse la paroi moulée périphérique du forum des Halles pour rejoindre le couloir de la Ferronnerie, une galerie souterraine d'environ 7 m de largeur dans lequel doit être maintenu le flux des voyageurs.

DIMENSIONS ET INTERACTION

La nouvelle galerie de correspondance a une largeur de passage de 6,30 m, une longueur totale d'environ 20 m et une section transversale cadre. La galerie d'environ 4,50 m de hauteur totale

ronnerie, couloir qui permet d'accéder à la ligne 4 et à la ligne 14. Il s'agit donc de créer un raccourci, d'échapper ainsi au dédale des couloirs existants et de gagner un temps précieux lors

est pour son tiers supérieur dans une couche de marnes et caillasses et pour ses deux tiers inférieurs dans du calcaire grossier. La galerie entière est sous la nappe phréatique. La galerie traverse la paroi moulée et le couloir existant avec un angle. Le radier et la dalle de couverture ont une épaisseur de 0,80 m tandis que les piédroits ont une épaisseur de 0,90 m. La galerie est constituée de trois parties distinctes séparées par des joints waterstop. La première partie est un cadre de renfort de la paroi moulée qui permet de reprendre les descentes de charges apportées par les planchers supérieurs et portées par la paroi moulée. La seconde partie est la galerie purement souterraine sous 15 m de terre. Enfin, la dernière partie de la galerie concerne la pénétration dans le couloir de la Ferronnerie. Il s'agit de réaliser un cadre permettant de reprendre les efforts s'appliquant dans les piédroits du couloir existant et que nous devons ouvrir.

MÉTHODES DE RÉALISATION

Pour la réalisation de la galerie sous la nappe, on procède préalablement à des injections dans le sol depuis l'intérieur de la paroi moulée qui ont le double rôle de combler les fractures dans le sol et de limiter les venues d'eau lors du terrassement.

Pour la réalisation du couloir de liaison, le phasage est le suivant (figure 3) :

2- Vue 3D des ouvrages à réaliser et leurs interactions avec l'existant.

2- 3D view of the works to be performed and their interactions with the existing structures.

→ Réalisation de la pénétration dans la paroi moulée. Des cintres en acier sont disposés sous la paroi moulée au fur et à mesure de sa démolition puis le cadre de renfort en béton armé est réalisé (figure 4).

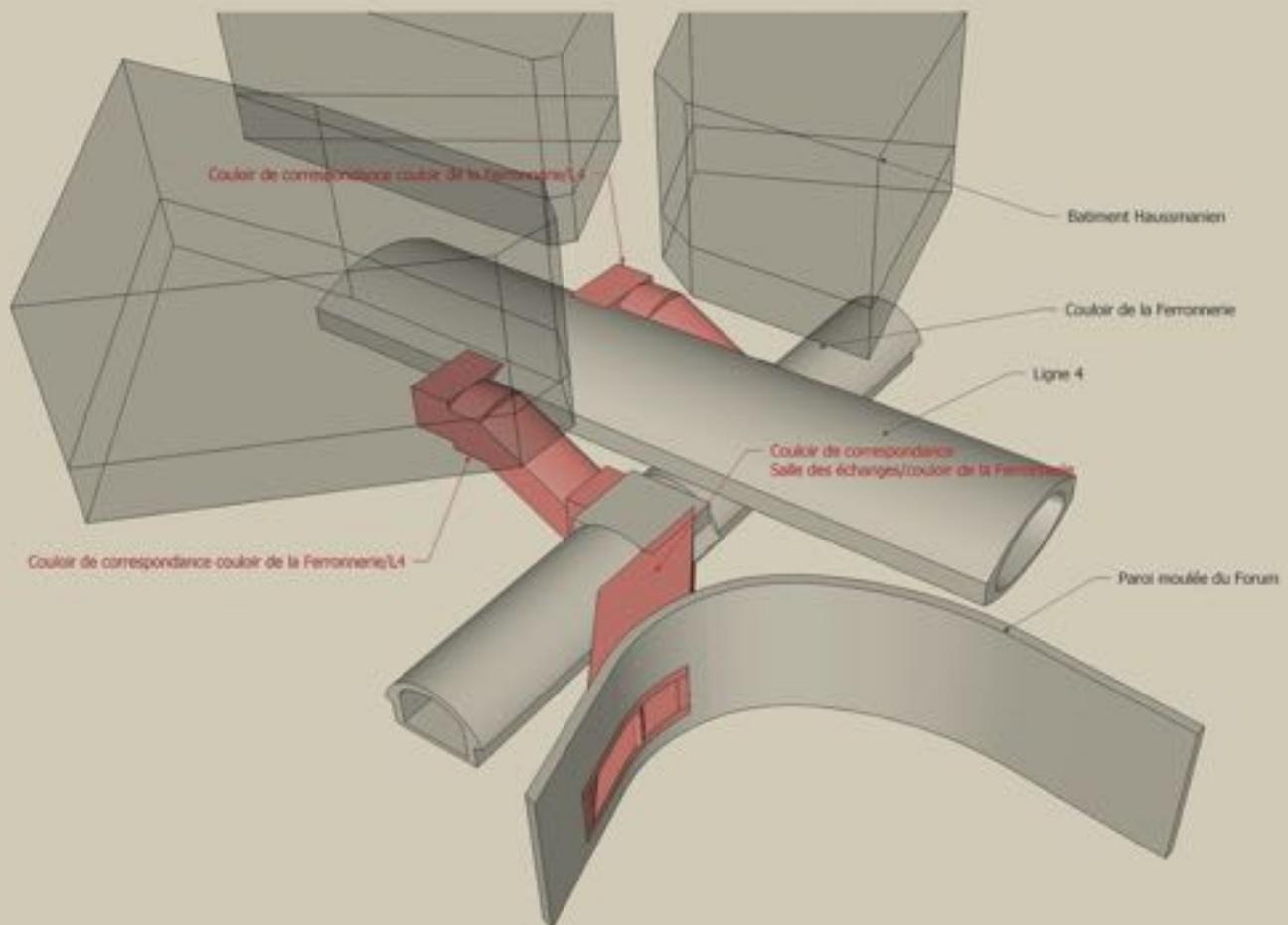
→ Terrassement de la galerie souterraine jusqu'au piédroit du couloir de la Ferronnerie. Le terrassement est réalisé par le biais de trois galeries réalisées en décalé et blindées à l'avancement. Les terrassements sont effectués au Brokk équipé d'un BRH et l'espacement maximum entre portiques est de 0,80 m. Les cintres sont des profilés en acier, HEB 160 pour les poteaux et HEB 220 pour les chapeaux courants. Le blindage entre les cintres est assuré par des palpeilles. La cadence de terrassement dans ce terrain dur est d'environ 1 cadre de blindage tous les 3 jours soit 0,80 m tous les 3 jours (figures 5 et 6).

→ Bétonnage de la galerie. Le radier est ferrailé avec les amorces des piédroits puis bétonné sur un béton de propreté. Le ferrailage des piédroits

est alors mis en œuvre et des plots de 2,40 m sont bétonnés successivement. Enfin, les amorces de dalle de couverture sont réalisées puis étayées pour permettre la dépose des poteaux de blindage et la réalisation du morceau central de dalle de couverture.

→ Réalisation de la pénétration dans le couloir de la Ferronnerie. Le flux de voyageurs devant être maintenu pendant les travaux, l'étalement du couloir est limité à une zone très proche du piédroit et une protection lourde est positionnée contre le piédroit. Pour permettre la démolition du piédroit, un étalement complexe est mis en œuvre, aussi bien dans le couloir pour les charges verticales que derrière le piédroit pour la reprise des efforts horizontaux de voûte. Une fois le piédroit démolit, le ferrailage est mis en œuvre avec de nombreux scellements dans la dalle de couverture. Le cadre est ensuite réalisé en suivant les étapes successives : radier, poteau et piédroits puis linteau supérieur. ▷

VUE 3D DES OUVRAGES À RÉALISER ET LEURS INTERACTIONS AVEC L'EXISTANT



EFFET DU BIAIS SUR LES EFFORTS

La partie centrale du couloir de liaison (partie directement sous les terres) a une forme de parallélogramme très prononcé (angles $34^\circ / 146^\circ$). Cette géométrie biaise engendre une répartition des efforts très variable dans les éléments avec des concentrations très importantes localisées. Dans la dalle supérieure et le radier, le moment fléchissant principal sous une charge répartie varie en direction et en intensité selon le point où l'on se trouve quand, dans un ouvrage cadre classique, il est constant. Au niveau des angles obtus de ces éléments horizontaux, des concentrations d'efforts de flexion mais surtout de torsion viennent considérablement densifier le ferrailage. Ces concentrations sont d'autant plus importantes que le biais de cet ouvrage est particulièrement prononcé. Le biais génère également des efforts de cisaillement importants dans les piédroits puisque qu'ils viennent équilibrer la poussée des terres au niveau des angles aigus de l'ouvrage où le radier et la dalle ne butonnent pas les piédroits perpendiculairement à ces derniers.

UNE MODÉLISATION POUSSÉE POUR APPRÉHENDER LA PÉNÉTRATION DANS LE COULOIR DE LA FERRONNERIE

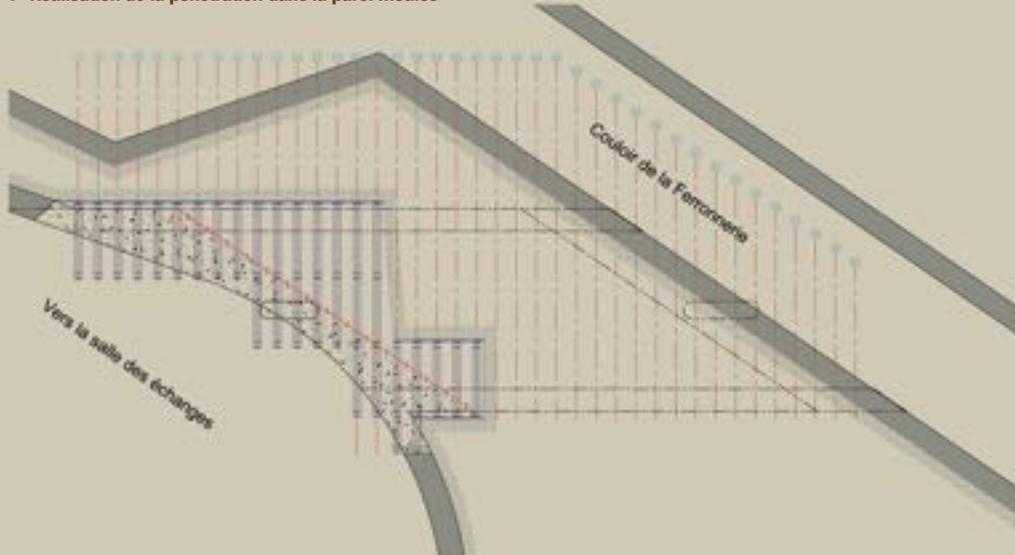
Le couloir de liaison est en intersection avec le couloir de la Ferronnerie pour partie dans une zone où le couloir a une géométrie en cadre et non en voûte. Lorsque l'on réalise une ouverture dans les piédroits, il est nécessaire de reprendre les moments d'encastrement à la liaison piédroit/dalle de couverture. Le linteau du cadre de reprise doit donc fonctionner à la torsion en plus de la reprise des charges verticales. Le linteau étant plus souple que le piédroit existant, différentes modélisations aux éléments finis (modèle par plaque, grilles de poutre, etc.) ont été menées pour appréhender au mieux l'interaction entre les ouvrages projetés et l'existant (figure 7). Un ferrailage extrêmement dense (265 kg/m³) a été calculé et

3- Cinématique de réalisation du couloir.

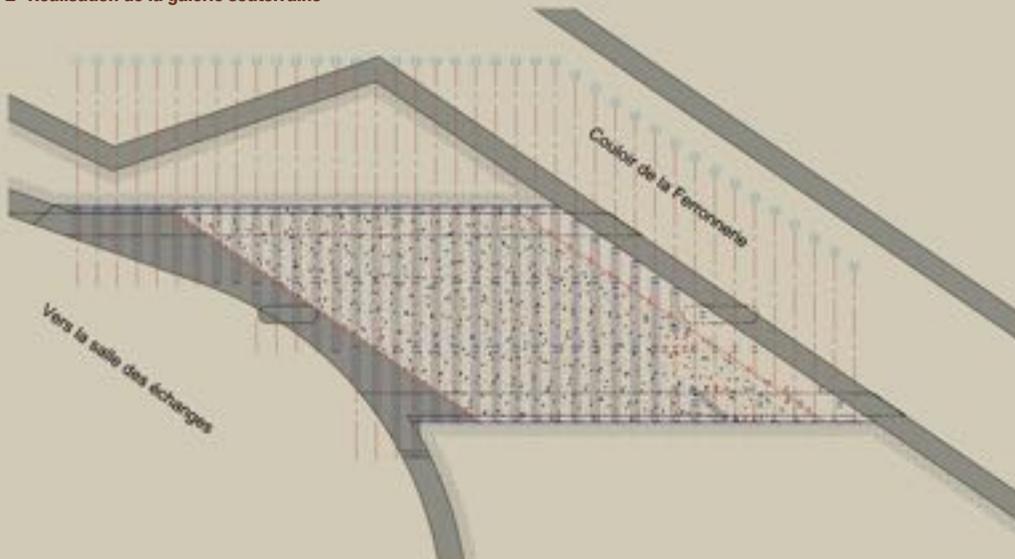
3- Kinematic drawing of corridor construction.

CINÉMATIQUE DE RÉALISATION DU COULOIR

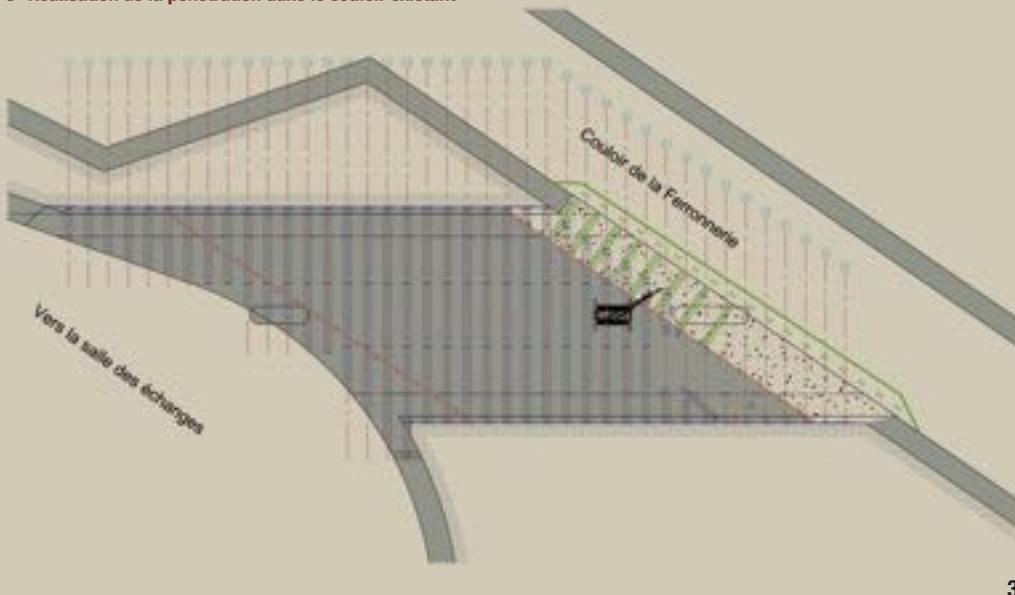
1- Réalisation de la pénétration dans la paroi moulée



2- Réalisation de la galerie souterraine



3- Réalisation de la pénétration dans le couloir existant





une réflexion importante a été menée sur l'ordre de mise en œuvre des barres dans cet environnement extrêmement réduit avec l'interaction des poteaux de blindage au milieu des ferrillages. (figure 9).

CONNEXION ENTRE LE COULOIR DE LA FERRONNERIE ET LES QAIS DE LA LIGNE 4

SITUATION

Les escaliers existants qui permettaient le passage du couloir de la Ferronnerie aux quais de la ligne 4 étaient beaucoup trop étroits et deux voyageurs pouvaient difficilement s'y croiser.

Le projet prévoit la réalisation de deux nouvelles galeries inclinées de 4,50 m de passage libre qui permettront la correspondance depuis les deux quais. Chacune des galeries accueillera un escalier classique et un escalier mécanique.

4- Pénétration dans la paroi moulée en cours.

5- Pénétration dans la paroi moulée réalisée, terrassement de la galerie en cours.

6- Blindage des galeries.

7- Vue du modèle de calcul.

4- Diaphragm wall penetration in progress.

5- Diaphragm wall penetration completed, gallery earthworks in progress.

6- Gallery lagging.

7- View of the design calculation model.

© TPI

DIMENSIONS ET INTERACTION

Chaque galerie est inclinée d'environ 30° pour une longueur totale de 25 m. Les galeries traversent le piedroit du couloir de la Ferronnerie et « grimpent » parallèlement à la station de la ligne 4 jusqu'au niveau des quais. On rejoint alors les quais par l'intermédiaire d'un

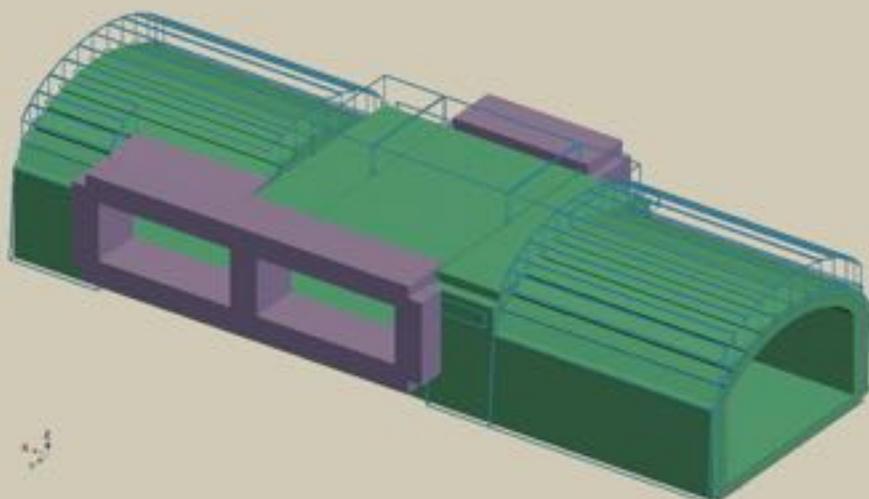
coude et d'une pénétration à travers la voûte de la station. On distingue trois parties distinctes séparées par des joints waterstop. La première partie des galeries concerne les cadres de reprise au passage des pénétrations dans le couloir de la Ferronnerie.

La deuxième partie est la section courante et inclinée de la galerie de forme voûtée qui se termine au niveau des quais par un coude en forme de cadre. Enfin, la troisième partie est le cadre de renfort qui permet la reprise des efforts de la voûte de la ligne 4 et au travers duquel on accède aux quais. Les galeries inclinées sont dans le calcaire grossier dans leur partie basse (à environ 15 m sous la surface) puis dans les marnes et caillasses et dans les alluvions anciennes au plus haut. Dans leur parties courantes, le radier et les piedroits ont des épaisseurs de 0,70 m et la voûte de 0,80 m.

UN ENVIRONNEMENT COMPLIQUÉ

Il est à noter l'extrême proximité avec les ouvrages existants comme la ligne 4 que les galeries longent et dont les efforts horizontaux sont pris en compte dans la méthodologie et le dimensionnement.

VUE DU MODÈLE DE CALCUL



© ISC

Il en va de même pour les immeubles haussmanniens en surface dont les fondations sont à moins de 3 m du toit de nos galeries.

L'emprise de chantier est également très réduite puisqu'il n'est possible de réaliser les galeries que depuis le couloir de la Ferronnerie qui doit rester en exploitation pour les voyageurs accédant à la ligne 14.

Un couloir de 2 m est alors alloué au chantier et une palissade de chantier toute hauteur sépare les travaux des voyageurs qui ignorent ce qui se joue à côté d'eux (figure 10).

Pour l'évacuation des déblais et les approvisionnements de chantier, un ancien ascenseur a été déposé et son puits est utilisé pour l'accès du matériel. Un portique de manutention est installé en surface.

MÉTHODE DE RÉALISATION DE LA PÉNÉTRATION DANS LE COULOIR DE LA FERRONNERIE

Du fait de la présence de la nappe et de couches de sol peu stables comme les alluvions anciennes, des injections sont réalisées depuis le couloir de la Ferronnerie, les escaliers existants et les quais de la ligne 4.

La pénétration dans le piédroit de la Ferronnerie pose des problèmes méthodologiques importants.

En effet, la pénétration doit avoir lieu dans une zone où le couloir a une section en cadre, c'est-à-dire que la dalle est encastrée dans les piédroits.

Il n'est pas possible d'étayer la dalle depuis le couloir du fait de la présence, dans le couloir, de réseaux qui ne peuvent être déviés.

L'idée retenue consiste à réaliser une pénétration étroite de 2,40 m (acceptable structurellement) dans le but de réaliser une galerie blindée à l'arrière du piédroit du couloir.

Le cadre de renfort est ferrailé puis bétonné derrière le piédroit qui peut ensuite être démoli.

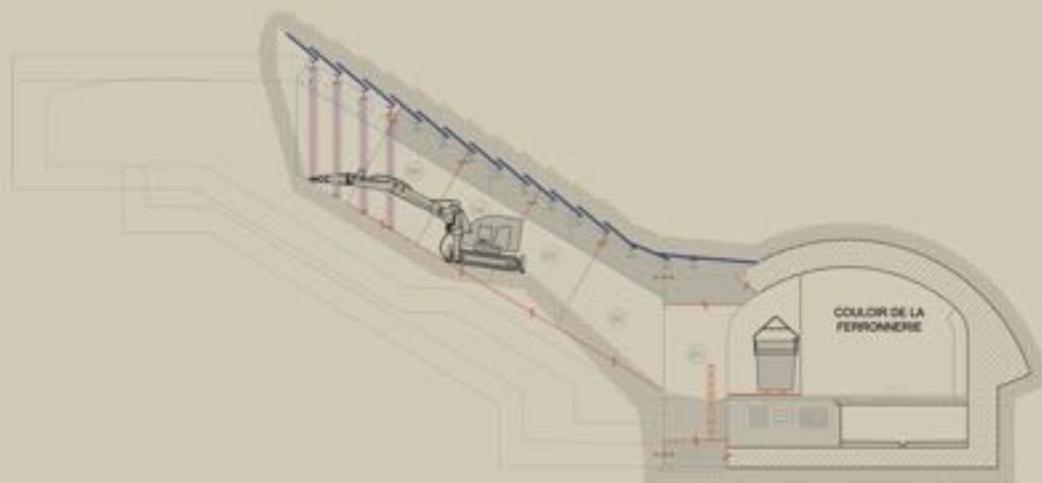
Le transfert de charge s'effectue alors vers le cadre réalisé lors de la démolition.

8- Cinématique de réalisation des galeries montantes.

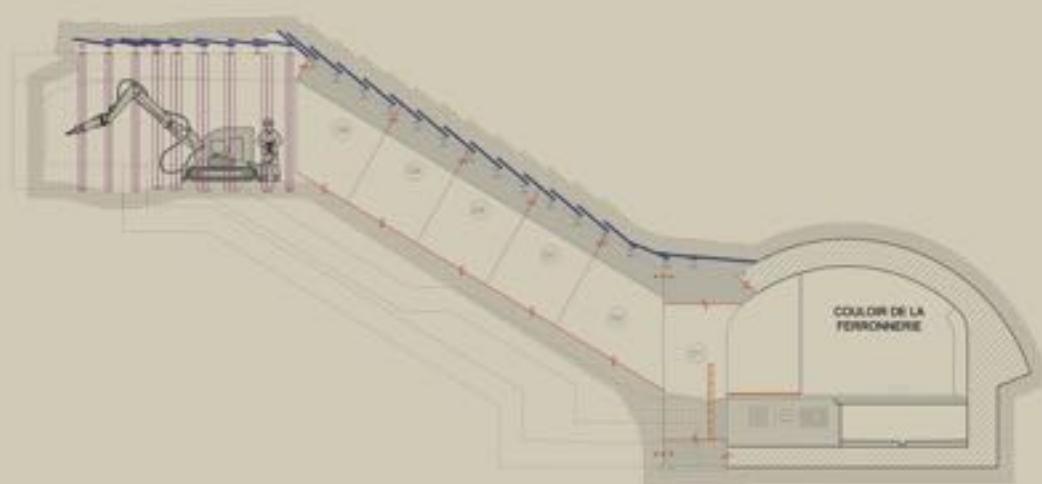
8- Kinematic drawing of the execution of ascending galleries.

CINÉMATIQUE DE RÉALISATION DES GALERIES MONTANTES

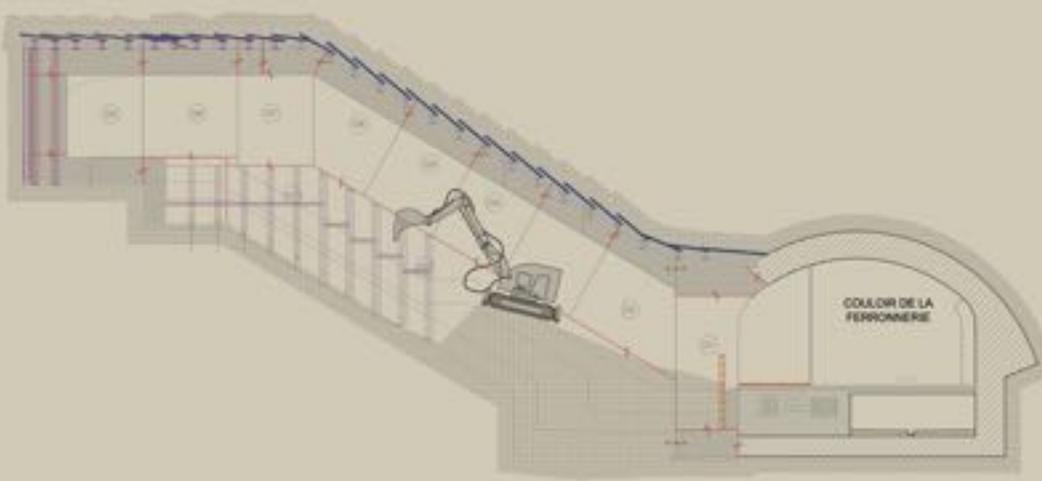
1- Réalisation de la voûte supérieure par plot

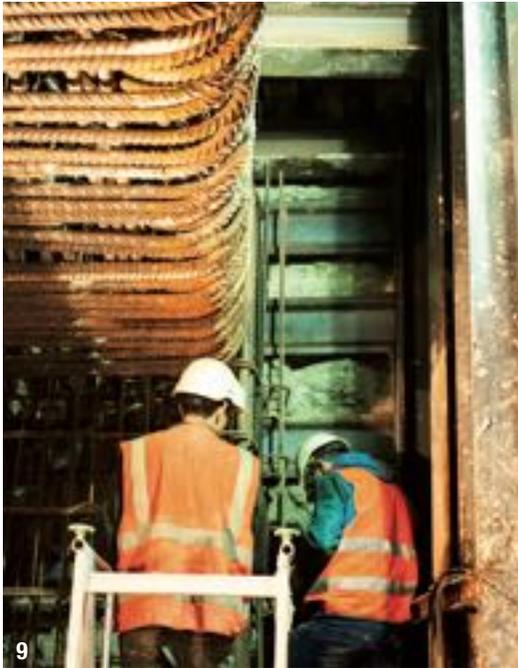


2- Réalisation du coude et de la pénétration dans la voûte L4

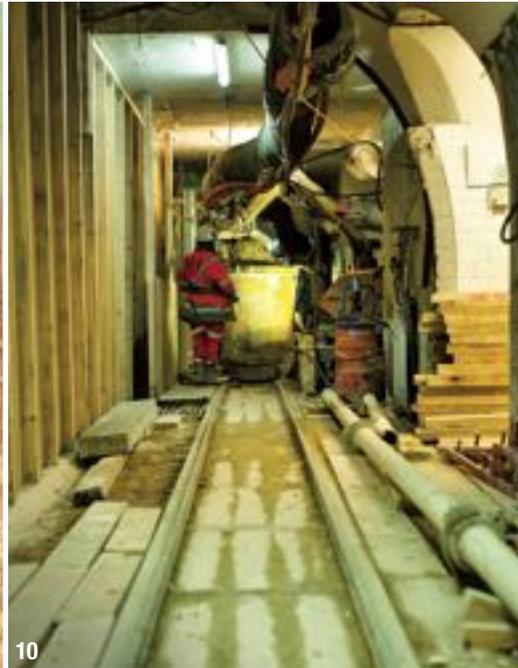


3- Réalisation de la partie inférieure : terrassement en totalité puis bétonnage





9



10



11



12

CINÉMATIQUE GLOBALE DE RÉALISATION DES GALERIES MONTANTES

Pour les galeries montantes, la forte inclinaison et la proximité avec la ligne 4 et les immeubles haussmanniens impose une cinématique très séquencée. La nécessité d'une fosse pour l'escalier mécanique donne une hauteur maximale hors tout de la galerie de 8,50 m. Un tel front de taille étant difficile à manœuvrer pour des questions techniques et de sécurité, chaque galerie est réalisée en deux parties. La partie supérieure est réalisée en premier. Le terrassement s'effectue par plots de 4 m avec un blindage à l'avancement (figures 11, 12 et 13). La voûte est ensuite ferrillée, puis le bétonnage s'effectue en deux temps. Dans un premier temps, les amorces de voûte sont coffrées et bétonnées, puis des étais sont mis en place sous les parties réalisées pour permettre la dépose du poteau de blindage central. Les clés de voûte sont bétonnées dans un second temps. Le terrassement peut alors se poursuivre jusqu'au niveau des coudes. La réalisation des coudes se fait en même temps que la pénétration de la ligne 4 par le biais d'un phasage complexe mais qui assure à tout moment la sécurité du personnel dans les galeries. Ce phasage assure également la sécurité des ouvrages et des hommes en surface ou sur les quais de la ligne 4. Il consiste à assurer à tout moment la reprise des différents efforts extérieurs : efforts de la voûte de la ligne 4, poids des terres et des bâtiments en surface, poussée des terres, etc. ▶

9- Ferrailage du cadre de reprise.

10- Emprise chantier et évacuation des déblais par rail.

11- Les terrassements en pente.

12- Les mineurs à l'œuvre.

9- Reinforcement of frame assembly.

10- Worksite area and removal of excavated material by rail.

11- Earthworks on a slope.

12- Miners at work.



13 © FIC

Une fois les coudes et les anneaux de pénétration des quais terminés, la réalisation de la partie inférieure des galeries montantes peut démarrer.

Les poteaux de blindage utilisés dans la partie supérieure sont prolongés et disposés à l'avancement du terrassement. Un butonnage des piédroits déjà réalisés en partie supérieure reprend les efforts horizontaux durant cette phase provisoire où l'ensemble de la partie supérieure de la galerie bétonnée en première phase porte sur les poteaux de blindage. Le radier puis la partie basse des piédroits sont ensuite ferrillées et bétonnés.

13- Le blindage à l'avancement.

13- Lagging as work progresses.

INSTRUMENTATION

Les déplacements des ouvrages existants tels que la voûte de la ligne 4, les couloirs les locaux techniques du métro avoisinants, ainsi que les façades et caves des bâtiments situés à l'aplomb

du creusement des galeries sont auscultés 24h/24h.

Un logiciel analyse automatiquement les données des théodolites et des

tassomètres mis en place et informe immédiatement les équipes de travaux en cas de déplacement supérieur à la tolérance. □

INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : RATP (département MOP)

MAÎTRE D'ŒUVRE : RATP (ING-OIT) / Patrick Berger Jacques Anziutti

GROUPEMENT D'ENTREPRISE : Sogea Tpi (Mandataire), Chantiers Modernes Construction, Gtm TP Idf (Vinci Construction France)

ENTREPRISE SOUS-TRAITANTE ÉTUDE D'EXÉCUTION STRUCTURES ET MÉTHODES GÉNIE CIVIL : ISC (Vinci Construction France)

ENTREPRISE SOUS-TRAITANTE INJECTIONS : Botte Fondations (Vinci Construction France)

DONNÉES PRINCIPALES

GALERIE DE CONNEXION SALLE DES ÉCHANGES

DÉLAI : 19 mois

CHARPENTE DE BLINDAGE : 65 t

BÉTON : 650 m³

RATIO D'ACIER MOYEN DANS LE CADRE DE RENFORT DE LA PM : 120 kg/m³

RATIO D'ACIER MOYEN DANS LA SECTION COURANTE : 175 kg/m³

RATIO D'ACIER MOYEN DANS LE CADRE DE RENFORT DU COULOIR DE LA FERRONNERIE : 265 kg/m³

GALERIES DE CONNEXION À LA L4

DÉLAI : 24 mois

CHARPENTE DE BLINDAGE : 150 t

BÉTON : 1 000 m³

RATIO D'ACIER MOYEN DANS LE CADRE DE RENFORT DE LA VOÛTE L4 : 245 kg/m³

RATIO D'ACIER MOYEN DANS LA SECTION COURANTE : 135 kg/m³

RATIO D'ACIER MOYEN DANS LES COUDES : 125 kg/m³

RATIO D'ACIER MOYEN DANS LE CADRE DE RENFORT DU COULOIR DE LA FERRONNERIE : 315 kg/m³

ABSTRACT

EXECUTION OF THREE UNDERGROUND GALLERIES AT CHATELET-LES-HALLES

NICOLAS METGE, ISC (VINCI) - RÉMI JOUANDOU, ISC (VINCI) - ARMAND GAUVIN, SOGEA TPI (VINCI) - CHRISTOPHE PINEL, SOGEA TPI (VINCI)

In the heart of Paris, at Châtelet-les-Halles, where 750,000 passengers cross one another every day, three underground galleries will enable these passengers to move more fluidly for their connections with various metro and "RER" rapid transit lines. □

REALIZACIÓN DE TRES GALERÍAS SUBTERRÁNEAS EN CHATELET-LES-HALLES

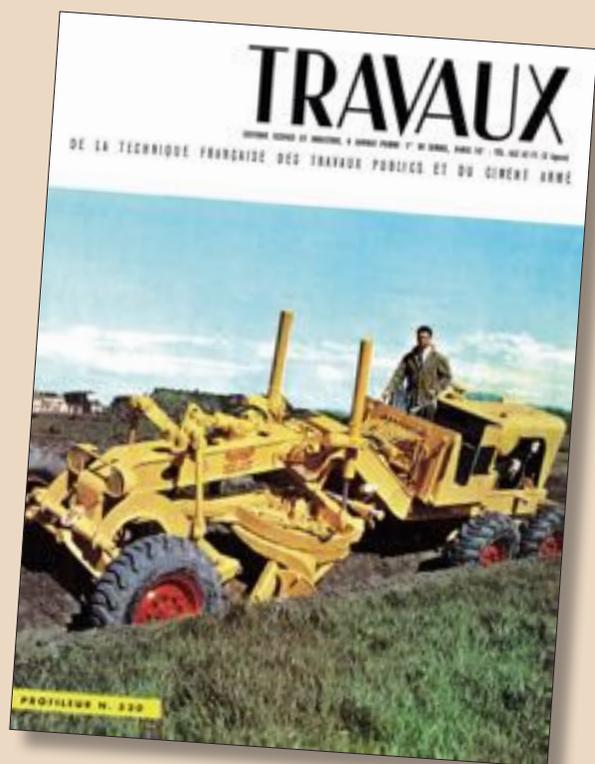
NICOLAS METGE, ISC (VINCI) - RÉMI JOUANDOU, ISC (VINCI) - ARMAND GAUVIN, SOGEA TPI (VINCI) - CHRISTOPHE PINEL, SOGEA TPI (VINCI)

En el centro de París, en Châtelet-les-Halles, con una afluencia de 750.000 viajeros al día, tres galerías subterráneas permitirán hacer más fluido el desplazamiento durante sus enlaces entre las diferentes líneas de metro y RER (Red Exprés Regional). □

TRÉSORS DE NOS ARCHIVES : LE TUNNEL ROUTIER SOUS LE MONT BLANC - EXÉCUTION DES TRAVAUX CÔTÉ ITALIE

V. SCAVARDA, DOCTEUR-INGÉNIEUR, DIRECTION DU CHANTIER DE PERCEMENT DU TUNNEL DU MONT BLANC
G.C. MESCHINI, DOCTEUR-INGÉNIEUR, SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA
TRAVAUX N°338 - JANVIER 1963

RECHERCHE D'ARCHIVES PAR PAUL-HENRI GUILLOT, DOCUMENTALISTE-ARCHIVISTE, FNTF



L'aventure commence en 1946 par une galerie de reconnaissance de 100 m côté italien.

En 1949 est signée une convention franco-italienne pour le percement d'un tunnel routier sous le Mont-Blanc, ratifiée en 1953 par les parlements des deux pays. Les 11,6 km du tunnel du Mont Blanc relient depuis 1965 la vallée de Chamonix en Haute-Savoie et la vallée d'Aoste en Italie. Il fut construit par les sociétés Autoroutes et Tunnel du Mont Blanc (ATMB) et la Société Italienne du Tunnel du Mont Blanc (SITMB). Les travaux auront duré près de vingt ans.

L'article décrit de manière vivante les travaux du tronçon italien de 5,8 km. Il évoque les innombrables difficultés surmontées avec inventivité et persévérance par la Società Italiana per Condotte d'Acqua. Les hommes ont dû affronter des venues d'eau jusqu'à 1 000 litres par seconde et des « coups de terrain » terrifiants causés par la décompression brutale de la roche.

L'avancement s'est parfois mesuré en centimètres par jour. Un tronçon de 240 m a nécessité plus de 5 mois de creusement. La température qu'on attendait à 30°C est tombée à 12°C sans qu'on sache très bien pourquoi.

Lors de son inauguration le 19 juillet 1965, c'était le plus long tunnel routier du monde. Aujourd'hui, il est détrôné par le tunnel de Laerdal (24,5 km) en Norvège, le Saint-Gothard (16,9 km) en Suisse, l'Arlberg (14 km) en Autriche, le Fréjus (12,9 km) entre la France et l'Italie et une dizaine d'autres pour la plupart en Chine. En matière de tunnels ferroviaires, on est à une autre échelle, avec, en tête, le tunnel du Seikan (53,9 km) au Japon et le tunnel sous la Manche (50,5 km) entre la France et l'Angleterre.

À la suite de l'incendie de 1999 qui a causé 39 morts, 380 millions d'euros ont été investis pour reconstruire totalement le tunnel, faisant de ce dernier une des références mondiales en termes de sécurité.

ABSTRACT

TREASURES FROM OUR ARCHIVES: THE ROAD TUNNEL UNDER MONT BLANC - WORK PERFORMANCE ON THE ITALIAN SIDE

TRAVAUX N°338 - JANUARY 1963

V. SCAVARDA - G.C. MESCHINI

The adventure began in 1946 with a 100-metre reconnaissance gallery on the Italian side. In 1949 an agreement was signed between France and Italy to drill a road tunnel under Mont Blanc, which was ratified in 1953 by the parliaments of both countries. Since 1965, the 11.6-km Mont Blanc Tunnel has connected Chamonix Valley in the Haute-Savoie region and Aoste Valley in Italy. It was built by the companies ATMB (Autoroutes et Tunnel du Mont Blanc) and SITMB (Società Italiana per il Traforo del Monte Bianco). The works lasted almost twenty years. The article gives a lively description of the work on the 5.8-km Italian section. It mentions the countless difficulties overcome by Società Italiana per Condotte d'Acqua, through inventiveness and perseverance. The workers had to face the ingress of water at up to 1 000 litres per second and terrifying rock bursts caused by sudden decompression of the rock. Work progress was sometimes measured in centimetres per day. A 240-metre section required more than five months of excavation. The temperature, expected to be 30°C, fell to 12°C with no very clear indication why. At the time of its inauguration on 19 July 1965, it was the longest road tunnel in the world. Nowadays, it is surpassed by the Laerdal Tunnel (24.5 km) in Norway, the Saint-Gothard (16.9 km) in Switzerland, the Arlberg (14 km) in Austria, the Frejus Tunnel (12.9 km) between France and Italy and about ten others, mostly in China. Rail tunnels are on quite a different scale, with, topping the list, Seikan Tunnel (53.9 km) in Japan and the Channel Tunnel (50.5 km) between France and England. Following the fire in 1999, which caused 39 deaths, €380 million were invested to rebuild the tunnel completely, making it one of the global benchmarks for safety. □

TESOROS DE NUESTROS ARCHIVOS: EL TÚNEL DE CARRETERA BAJO EL MONT BLANC - REALIZACIÓN DE LAS OBRAS POR EL LADO ITALIANO

TRAVAUX N°338 - ENERO DE 1963

V. SCAVARDA - G.C. MESCHINI

La aventura comenzó en 1946 con una galería de reconocimiento de 100 m por el lado italiano. En 1949 se firmó un acuerdo franco-italiano para la perforación de un túnel de carretera bajo el Mont Blanc, ratificado en 1953 por los parlamentos de los dos países. Desde 1965, los 11,6 km del túnel del Mont Blanc comunican el valle de Chamonix en Alta Saboya y el valle de Aosta en Italia. Fue construido por las empresas Autoroutes et Tunnel du Mont Blanc (ATMB) y la Società Italiana per il Traforo del Monte Bianco (SITMB). Las obras duraron casi veinte años. El artículo describe de forma dinámica las obras del tramo italiano de 5,8 km. Evoca las innumerables dificultades superadas con imaginación y perseverancia por la Società Italiana per Condotte d'Acqua. Los trabajadores tuvieron que afrontar avenidas de agua de hasta 1.000 litros por segundo y terribles "derrumbes" causados por la brutal descompresión de la roca. A veces, el progreso se medía en centímetros al día. Para la excavación de un tramo de 240 m fueron necesarios más de 5 meses. La temperatura, que se esperaba de 30°C, descendió a 12°C sin una causa conocida. En el momento de su inauguración, el 19 de julio de 1965, era el túnel de carretera más largo del mundo. Actualmente, ha sido destronado por los túneles de Laerdal (24,5 km) en Noruega, Saint-Gothard (16,9 km) en Suiza, Arlberg (14 km) en Austria, Fréjus (12,9 km) entre Francia e Italia y una decena más, la mayoría en China. En materia de túneles ferroviarios estamos a otra escala, encabezados por el túnel de Seikan (53,9 km) en Japón y el que cruza el canal de la Mancha (50,5 km) entre Francia e Inglaterra. Después del incendio de 1999 que causó 39 muertos, se han invertido 380 millones de euros para reconstruir totalmente el túnel, convirtiéndolo en una de las referencias mundiales en materia de seguridad. □

LE TUNNEL ROUTIER SOUS LE MONT-BLANC (1)

Exécution des travaux, côté Italie

V. SCAVARDA

Docteur-Ingénieur,

de la Direction du chantier de percement du tunnel du Mont-Blanc de la « Società Italiana per condotte d'acqua ».

Par

et

G.-C. MESCHINI

Docteur-Ingénieur,

Le présent article traite du percement du tunnel du Mont-Blanc du côté italien, sous la signature des deux ingénieurs de la Direction du chantier.

Dans un raccourci chronologique saisissant, les auteurs qui ont entièrement vécu les vicissitudes du percement, montrent à quelles difficultés de toutes sortes : géologiques, hydrogéologiques, climatiques même, on s'est heurté. Les difficultés ont obligé les ingénieurs italiens à reconsidérer plusieurs fois leurs méthodes de travail et à les réadapter d'ailleurs très habilement aux conditions locales soudainement et fréquemment variables.

Leurs équipements légers leur ont permis à cet égard une très grande souplesse de manœuvre et leur ont largement facilité une tâche qui est demeurée cependant très difficile, mais qui aurait pu, avec d'autres moyens moins facilement adaptables, devenir insurmontables.

THE MONT-BLANC ROAD TUNNEL

This article, by two Engineers of the Site staff, describes the driving of the Mont-Blanc tunnel from the Italian side.

In a short but striking chronological account, the authors, who lived through all the vicissitudes of this achievement, show the difficulties of all kinds — geological, hydrogeological and even climatic — that were encountered on the Italian side. These difficulties compelled the Italian Engineers to re-examine their working methods on several occasions and re-adapt them very cleverly to local conditions, which were subject to sudden and frequent changes.

In this respect, the light equipment they used gave them great flexibility of movement and largely facilitated a job which, while still difficult, might have been insuperable if less adaptable plant had been used.

Le 14 août 1962, à 11 h 30, sautait le diaphragme de roche qui séparait les deux équipes de mineurs, italiens et français.

Simple et solennelle, cette ultime explosion constituait le couronnement du travail exécuté en trois ans et demi, au prix de durs sacrifices.

En cet instant, furent revécus tous les épisodes et toutes les vicissitudes du percement du tunnel d'autoroute le plus long du monde : épisodes et vicissitudes ! car, du côté italien, il s'est agi non pas de creuser un tunnel mais plusieurs tronçons successifs aux caractéristiques géologiques totalement différentes.

Les difficultés imprévisibles rencontrées ont été si nombreuses qu'il a été très souvent nécessaire de réadapter entièrement les méthodes de percement aux particularités de la roche.

EL TUNNEL DE CARRETERA BAJO EL MONT-BLANC

El presente artículo trata de las obras de perforación del túnel del Mont-Blanc por la sección italiana, artículo que se debe a dos de los ingenieros que han dirigido estas obras.

Según un interesante resumen cronológico, los autores, que han vivido y asistido a las vicisitudes de la perforación del túnel, indican cuáles han sido las dificultades de todas clases — geológicas, hidrogeológicas, e, incluso, climáticas — con que se ha tropezado por la parte italiana. Las dificultades han obligado a los ingenieros italianos a reconsiderar varias veces sus métodos de trabajo y a readaptarlos con gran habilidad y pericia, a las condiciones locales, frecuente y repentinamente variables.

A este respecto, sus equipos ligeros les han permitido una gran adaptabilidad de maniobra y les han facilitado una tarea que sigue siendo muy difícil, pero que hubiera podido, utilizando otros medios de menor facilidad de adaptación, llegar a resultar insuperable.

La façon à la fois la plus impartiale et la plus vraie de décrire le percement du tunnel du Mont-Blanc du côté italien est ainsi d'en rapporter les étapes successives, en rappelant et

en exposant les principaux faits, les méthodes de travail et les résultats obtenus.

Fig. 1. — Percement du Mont-Blanc à Entrèves (Aoste).

Le chantier de la Società Italiana per Condotte d'Acqua : vue extérieure montrant l'entrée du tunnel et le débouché des conduites de ventilation.



Le percement du tunnel du Mont-Blanc.

a) Première année de travail.

Le 8 janvier 1959, dès la commande définitive des travaux par la Société concessionnaire pour le tunnel du Mont-Blanc, les mineurs de la « Società italiana Condotte d'Acqua » attaquent les 5 800 m de galerie qui constituent le tronçon assigné à l'Italie.

(1) Voir l'article concernant « Les travaux exécutés côté France », paru dans notre précédent numéro (décembre 1962).

En premier lieu, on rencontre des schistes calcaires et marneux à travers lesquels, cependant, la progression s'avère encourageante : 8 à 10 m par jour en procédant à pleine section. Pendant l'inévitable période de mise en train, on déblaie chaque jour à l'explosif deux ou trois volées de 4 m chacune.

Le 20 février 1959, lorsque la galerie atteint le P. K. 368,20, de grosses venues d'eau (environ 350 l/s sous forte pression) jaillissent du front d'attaque alors que les ouvriers travaillent au déblai. Il n'est même pas possible de s'approcher du front en raison de la violence de l'eau. Aussi les durées des postes sont-elles réduites à 4 h, mais, la zone cruciale dépassée, le travail de progression peut être repris à plein rendement le 21 mars.

Les difficultés occasionnées par cette importante venue d'eau, qui a été la première surprise désagréable dans les travaux du tunnel, continuent lorsque, le 6 avril 1959, la galerie atteint le P. K. 501.



Fig. 2. — En février 1959, venue d'eau au P. K. 368 : débit 350 l/s environ (1).

Là, soudainement, on rencontre une zone de phyllades carbonneuses et il se produit une chapelle, c'est-à-dire un effondrement du ciel de la galerie. Il s'agit de la chute de centaines de tonnes de matériaux sans cohésion, de nature carbonneuse, qui détruit la plate-forme de perforation. En dépit de cela, il a été possible de sauver hommes et matériel. L'effondrement s'étend sur une longueur de galerie de 99 m qui seront franchis grâce à une galerie de faite fortement boisée. Il faudra exactement 100 jours pour percer ce tronçon de galerie et pour l'élargir progressivement jusqu'à la demi-section du tunnel. Des motifs d'indispensable prudence amènent alors à décider de poursuivre l'excavation à demi-section jusqu'à la rencontre du granite, prévue aux P. K. 1,200 à 1,300.

Mais le 12 août, au P. K. 809, la nature de la roche empire inopinément et le ciel de la galerie s'effondre à nouveau. Grâce à la décision précédente de réduire la section de travail, il est possible de faire face à la situation avec un minimum de risques, en dépit du fait que la roche est encore bien plus mauvaise que celle rencontrée au P. K. 501. En fait, il faudra 59 j pour venir à bout d'un tronçon de tunnel d'une longueur de 47 m, au moyen d'une galerie fortement étayée sur toute la longueur de ce tronçon et progressivement élargie jusqu'à la demi-section du tunnel.

Le 10 octobre, la progression normale reprend, toujours à demi-section, et le 7 novembre on atteint le P. K. 1 000.

(1) Documentation photographique « Atlas Copco ».

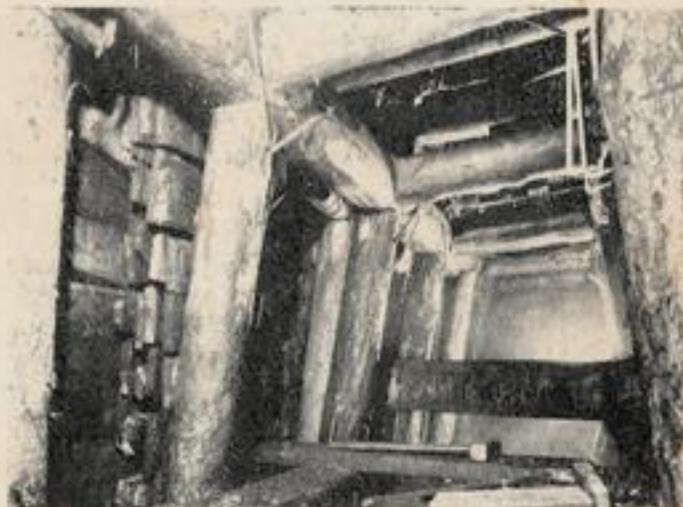


Fig. 3. — Détail de la galerie fortement boisée, traversant sur 99 m l'éboulement qui détruit la plate-forme de perforation.

Dix mois ont été nécessaires pour réaliser le premier kilomètre, parsemé d'imprévus, de difficultés et de risques.

Le 15 décembre 1959, au P. K. 1 304, on rencontre enfin le granite sous la forme bien connue de la « protogyne » du Mont-Blanc.

A la fin de 1959, la partie initiale du tunnel (55 095 m³ au total) a ainsi été percée et l'on est sur le point d'attaquer le cœur de l'imposant massif.

b) Les « coups de terrain ».

Arrivé au granite, au P. K. 1 304, l'avancement est temporairement interrompu. On revient alors au P. K. 501 pour élargir la section de la première phase de déblai et, le 11 avril, les mineurs attaquent le granite à pleine section, avec, derrière eux, un tunnel déblayé en totalité.

Une nouvelle plate-forme roulante pour la perforation, d'un poids de 40 t environ, a été construite entre-temps, et amenée sur les lieux de travail.

Dès les premières volées, une nouvelle menace se dessine : la décompression de la roche qui s'exerce par de véritables « coups de terrain ». Le phénomène est aussi exceptionnel qu'imprévu dans les travaux du tunnel, surtout en raison de

Fig. 4. — Le « coup de terrain ». La galerie perd sa forme circulaire et devient ogivale. Les surépaisseurs correspondantes de maçonnerie atteignent jusqu'à 3 m.

On voit les plaques perforées de piste d'envol ancrées par des boulons à expansion.





la violence avec laquelle il se produit. Les « coups de terrain » se manifestent sur le versant italien du tunnel du Mont-Blanc, à partir du P. K. 1304, par des explosions soudaines, vraiment terrifiantes, et accompagnées de la projection inopinée de blocs ou de plaques de roche, soit du front, soit des piédroits, soit du ciel de la galerie.

La décompression de la roche est si forte que le ciel perd sa forme circulaire et acquiert une forme ogivale. Les surépaisseurs qui en résulteront pour les maçonneries atteindront jusqu'à 3 m.

Pour pallier ces « coups de terrain », on adopte systématiquement le boulonnage du ciel. Au moyen de boulons d'ancrages à expansion de longueur variant entre 1,50 m et 4 m environ, on solidarise entre elles les différentes couches de roche qui se trouvent immédiatement au-dessus du ciel de la galerie, de façon à en empêcher le détachement.

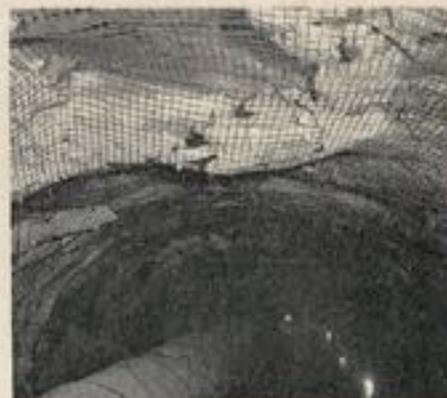
Par la suite, étant donné que les « coups de terrain » se répètent avec une intensité et une fréquence croissantes, il devient nécessaire — pour donner en même temps aux hommes l'indispensable tranquillité d'esprit — de fixer tout d'abord des tôles perforées de pistes d'envol, à l'aide des mêmes boulons, et de revêtir ensuite d'un robuste treillage métallique la voûte entière du tunnel et la partie haute des piédroits en ancrant, au fur et à mesure, le treillage au moyen de boulons. En procédant ainsi, les boulons servent, en quelque sorte, à épingler les différentes couches de roche en équilibre précaire, alors que le treillage retient les parties détachées de cette roche. A partir de ce moment, le treillage de protection accompagnera la progression des mineurs jusqu'à l'étape finale du diaphragme et constituera un essai probant, à grande échelle, d'une nouvelle méthode de soutènement exclusivement métallique dans l'excavation de types particuliers de tunnels. Entre les P. K. 1304 et 5800, on a utilisé 448 000 kg de treillage (non compris les poids des très nombreux boulons et cintres métalliques).

Une autre conséquence fâcheuse des « coups de terrain » est le bouleversement des cycles de travail organisés précédemment. En effet, le programme de déblai dans la masse granitique prévoyait trois cycles de travail par 24 h, avec une progression moyenne de 12 m environ par jour. Dans chaque cycle, l'opération du purgeage (détachement des blocs restés en équilibre instable à la suite de l'explosion) aurait dû être, selon la pratique et étant donné qu'il est exécuté en même temps que le marinage, une opération de durée insignifiante. Contraire-

ment aux prévisions basées sur une expérience normale en matière de tunnel, on n'a pu réaliser en 24 h que 2 volées à l'explosif au maximum, le purgeage ayant exigé en moyenne 5 h 50 mn par volée, avec des pointes maxima, au cours des périodes les plus critiques (mai et juin 1960), de 41 h.

C'est ainsi, en définitive, que s'est comporté le granit tant espéré, la « protogyne » du Mont-Blanc, que l'on croyait pouvoir percer avec assez de régularité en utilisant à plein rendement l'ensemble de l'organisation moderne et hautement mécanisée.

←
Fig. 5. — Pose de treillage métallique sur la voûte de la galerie. Entre les P. K. 1304 et 5800, 448 000 kg de treillage.



→
Fig. 6. — Treillage de protection, au toit lourdement chargé de débris rocheux et conduite de ventilation.

En vue de réduire le temps de purgeage et pour pallier les effets de la décompression, on a décidé, en septembre, de creuser une galerie pilote de 15 m² de section, précédant de 10 m le déblai à pleine section afin, d'une part, d'explorer la roche et de laisser, en outre, aux « coups de terrain » la possibilité d'amortir leur violence sur une section réduite, plutôt que sur la section entière de déblai du tunnel.

Cependant, en dépit des nombreuses difficultés imprévisibles, on arrive, au cours du mois de juin 1960, à réaliser un bon avancement : 212 m à section complète.

Le P. K. 2492,90 est atteint le 12 décembre 1960 : il a été réalisé un avancement de 1 190,90 m avec un volume de déblais de 131 536 m³.

c) La « milonite ».

Exactement deux ans après le début des travaux, le 8 jan-

Fig. 7. — Front d'attaque au P. K. 3 222,80.

On voit nettement, ici, la roche « milonitisée » d'une dureté particulière, mais fortement fracturée.



vier 1961, les équipes italiennes se trouvent à 2 515 m de l'entrée du tunnel. Tout en présentant les habituels phénomènes de décompression brutale, la roche permet cependant une progression raisonnable. Aussi, pendant les quatre premiers mois de l'année, 600 m environ de tunnel sont-ils creusés à pleine section. Le 28 avril 1961, au P. K. 3 078,40, on entre en contact avec une zone de granit décomposé et « milonitisé », d'une dureté remarquable, qui stoppe d'abord et ralentit ensuite très sensiblement la progression. Le phénomène se manifeste à maintes reprises, avec des éboulements du front d'attaque d'une longueur axiale variable de 2 à 4 m. La présence simultanée d'eau dans un terrain déjà sans cohésion par lui-même augmente l'instabilité de la roche et rend plus difficile et plus longue la traversée de la zone en question.

Les mesures adoptées pour venir à bout de cette difficulté, vraiment exceptionnelle, sont nombreuses et lourdes de conséquences; elles ont consisté à garnir la voûte du tunnel, à mettre en œuvre des cintres métalliques très rapprochés, à exécuter les déblais par tronçons comportant de robustes soutènements en bois et, pour certains de ces tronçons, à utiliser des soutènements métalliques. Dans cette zone, on a dû, par surcroît, revêtir la voûte du tunnel avec du béton armé, immédiatement après le déblai à demi-section, dans des conditions particulièrement pénibles et à un rythme forcément très lent. Le bétonnage des piédroits a enfin été exécuté par tronçons successifs, ce qui a augmenté encore la lenteur du travail.

Pendant la période du 28 avril au 10 octobre, du P. K. 3 078,40 au P. K. 3 318,70, l'avancement journalier ne s'exprime plus en mètres, mais en centimètres! En 5 mois et 10 jours, le tunnel n'a progressé en effet que de 240,30 m. C'est là, sans aucun doute, la pire zone rencontrée durant le percement du tunnel du Mont-Blanc.

Cette zone dépassée, la progression reprend avec une certaine régularité, ce qui permettra de déblayer, en moins de 2 mois, jusqu'à 350 m de tunnel à pleine section. Mais une fois encore, le 10 décembre, au P. K. 3 660, se produit une venue d'eau exceptionnelle, plus de 1 000 l/s, qui envahit la galerie en la recouvrant sur toute sa longueur d'une nappe d'environ 40 cm et en bouleversant, par conséquent, les transports des déblais.

De multiples hypothèses ont été avancées quant à l'origine de cette venue d'eau et des précédentes. On doit constater que, depuis le début de 1961 et contrairement aux prévisions, la température de la roche a continué à baisser, jusqu'à un minimum de 12° C, contrairement à la prévision de quelque 30° C des bureaux d'études. Il est intéressant à cet égard

d'observer le diagramme des températures à l'intérieur de la galerie. Alors que, théoriquement, la température eût dû constamment augmenter jusqu'à 30° C (en correspondance avec l'épaisseur maxima du recouvrement) et dans l'hypothèse d'une roche homogène, les constatations sont en contradiction avec les prévisions. Les températures les plus basses correspondent aux zones les plus bouleversées (phyllades carbonneux, « milonite », etc.

Selon l'explication la plus vraisemblable, le tunnel paraît traverser une zone très imprégnée d'eau de circulation, ce qui a posé de graves problèmes de déblais, étant donné l'impossibilité d'en évaluer l'étendue.

Le gros débit jailli du front d'attaque le 10 décembre s'est stabilisé, vers la fin de l'année, au voisinage de 300 l/s. Ajoutés aux autres 300 à 400 l/s des précédentes venues d'eau rencontrées tout le long du tunnel, ils donnent à l'entrée du tunnel un total d'environ 700 l/s.

Le 31 décembre 1961, on a atteint le P. K. 3 701,50. Dans l'année — marquée par la traversée de la zone « milonitisée » et par d'importantes venues d'eau — on a réalisé au total un avancement de 1 206,60 m correspondant à un volume de déblais de 101 269 m³.

d) Les « records d'avancement ».

Vers la mi-janvier 1962, en dépit des fortes venues d'eau à évacuer depuis le front d'attaque, la roche s'améliore, aussi l'avancement devient-il graduellement satisfaisant.

Pendant le mois de février 1962, l'avancement du tunnel a été de 246 m à pleine section. Il s'agit là de l'avancement mensuel le plus élevé atteint pendant toute la durée de travail sur les deux versants, et, qui plus est, pendant le mois le plus court. L'avancement de février montre clairement l'efficacité des méthodes d'organisation choisies au départ et qui, dans des conditions de roche normales, ont pu mettre en relief toutes leurs possibilités de production.

Au début de mars 1962, lorsque la galerie atteint le P. K. 4 109, la roche manifeste à nouveau des signes de désagrégation, accompagnés par des manifestations accentuées de décompression, surtout sur les piédroits. L'expérience acquise au cours des 3 années précédentes conduit alors à attaquer le reste du tunnel avec une section de 52,60 m au lieu de 75,38, de façon à limiter les risques de la décompression et garantir ainsi la continuité de l'avancement. Cette décision s'est, à la lumière des résultats obtenus, révélée sage et avantageuse.

Fig. 8. — Venue d'eau exceptionnelle au P. K. 3 660; débit 1 000 à 1 100 l/s.



Fig. 9. — Le tunnel inondé par une nappe d'eau de 0,4 m, après la venue d'eau.



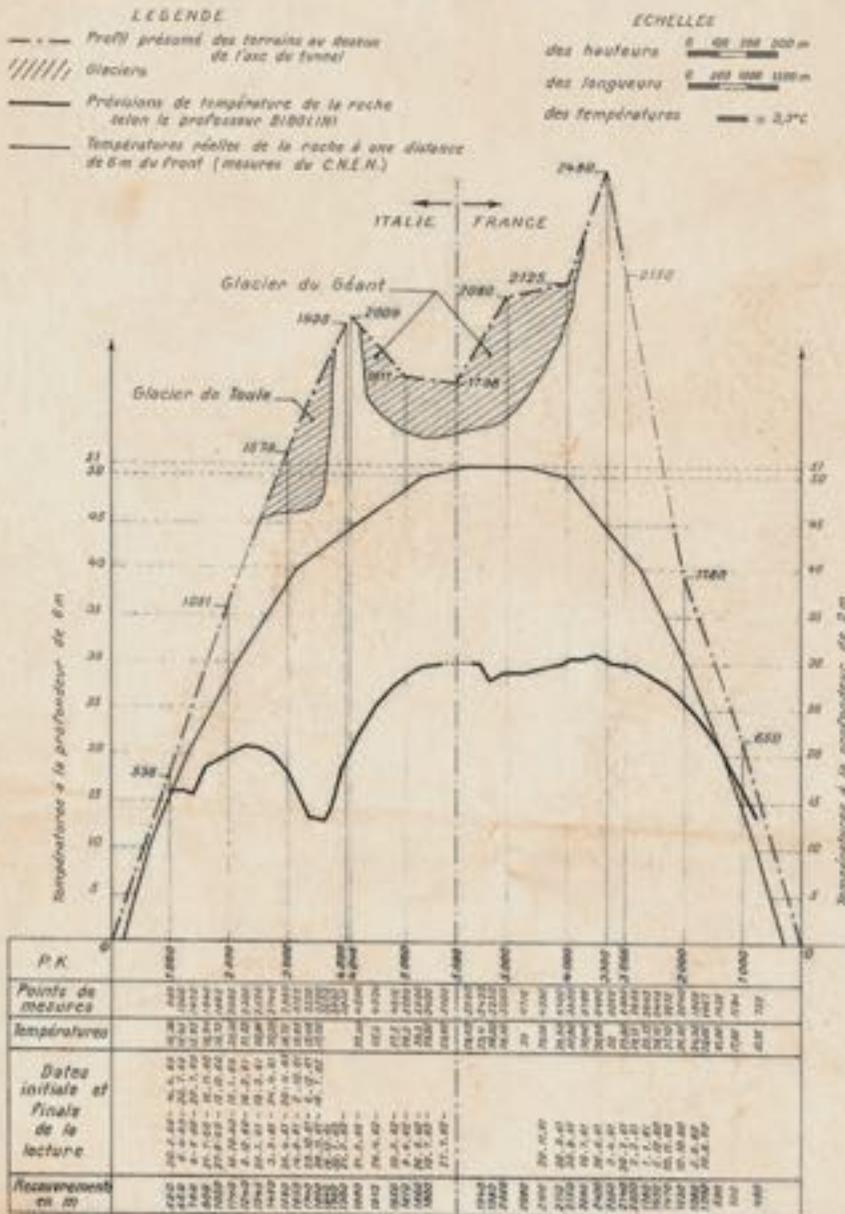


Fig. 10. — Etude thermique du percement du Mont-Blanc.

Le 5 avril 1962, alors que la galerie arrive au P. K. 4417, c'est-à-dire à 1383 m du point de rencontre avec l'équipe française, trois avalanches s'abattent successivement sur les installations de surface du chantier, semant débris et ruines : 3 ouvriers sont tués, 30 personnes sont blessées et une dizaine de constructions en maçonnerie et en bois sont détruites.

Malgré le bouleversement dû à cette catastrophe, le personnel du chantier s'est rapidement ressaisi et, après quelques jours seulement, le travail a repris à un rythme encore plus intense. En avril 1962, l'avancement atteint ainsi 255,60 m. En mai, l'avancement est de 317,60 m; le but est désormais en vue. En juin, l'avancement est de 404,80 m, avec des pointes de 17,80 m/j, et, en juillet, de 407 m. Le P. K. 5800, où se termine le tronçon italien du tunnel du Mont-Blanc — mi-chemin exact du plus long tunnel d'autoroute du monde — est atteint par les mineurs de la « Société Italienne Condotte d'Acqua », à 22 h 01, le 3 août 1962.

1962 aura été l'année de la progression record, aussi bien à pleine section de tunnel qu'à section réduite de 52,60 m². En 7 mois seulement, 2 059,50 m de tunnel ont été percés pour un volume de déblais de 130 970 m³, achevant ainsi, par des

résultats remarquables la partie la plus difficile d'un grand ouvrage.

Le matériel.

En 3 ans et 7 mois, 5 800 m de galerie ont été percés avec un volume total de déblais de 440 870 m³. Le choix initial des installations et des engins pour la perforation, le marinage et l'évacuation de la roche déblayée, soigneusement étudié, s'est montré satisfaisant à la lumière de l'expérience.

La nature variable — bien qu'elle n'ait pu être prévue à l'avance — de la roche rencontrée sur le versant italien a imposé l'adoption de méthodes d'une souplesse extrême que, seuls, les moyens choisis ont rendu possibles. En outre, lorsque la roche a présenté des conditions presque normales, comme en 1962, ces mêmes moyens ont permis des progressions exceptionnelles pendant des périodes prolongées.

Dans le tableau ci-contre, on a reporté les temps exceptionnellement réduits du cycle d'une volée, effectuée sur une section de 52,60 m². Le diagramme a) représente la durée totale du cycle, moyenne du mois de juillet 1962. Le diagramme b) représente la durée totale du cycle, moyenne des volées du 29 juin 1962, jour où l'on a réalisé la progression la plus importante (17,80 m).

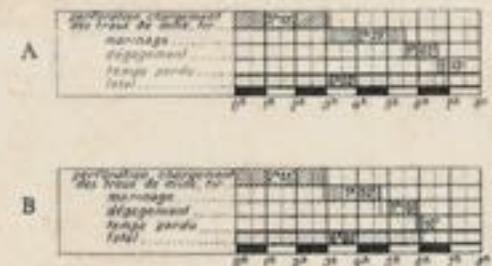


Fig. 11.

A) Durée totale du cycle de la volée; moyenne de toutes les volées de juillet 1962.
B) Durée totale du cycle de la volée; moyenne des 4 volées du 29-6-62, jour où a été réalisé l'avancement maximum journalier (section de la galerie : 52,60 m²).



a) L'outillage de perforation.

Depuis le début des travaux, il a été adopté, pour le percement du tunnel, un outillage de foration d'une souplesse d'emploi toute particulière. On disposait à l'origine de 15 + 18 marteaux « Atlas Copco », type Tigre,

Fig. 12. — Marteau perforateur « Atlas Copco », type Tigre, monté sur poussoir pneumatique rétractable.

de 27 kg, montées sur poussoir pneumatique et réparties sur les quatre étages de la plate-forme de foration, montée sur rails, et qui travaillaient sur la totalité de la section du front d'attaque.

Les caractéristiques d'adaptabilité toutes particulières du système se sont montrées vraiment opportunes étant donné la nature très variable des roches rencontrées.



Fig. 14. — Plate-forme de perforation à 4 étages montée sur poutres (poids : environ 40 t).

A maintes reprises, on a dû modifier la méthode de déblai et passer de l'attaque à pleine section (86 m²) au déblai de la seule voûte du tunnel sur 50 m², ainsi qu'au déblai avec galerie de reconnaissance de 9 m² et élargissements successifs.

Après la destruction de la première plate-forme de perforation, du P. K. 501 au P. K. 1300 environ, le déblai sur les 50 m² de la voûte du tunnel a dû être exécuté avec deux petites plates-formes roulantes à deux étages, montées sur des tracteurs à chenilles et travaillant côte à côte.

Six perforatrices Tigre, montées sur poussoirs pneumatiques, étaient réparties sur les plate-formes tandis que quatre autres travaillaient à terre.

A partir du P. K. 1304, où l'excavation a repris à pleine section, on utilisa une nouvelle plate-forme roulante à quatre étages, montée sur pneus et d'un poids d'environ 40 t.

Les déplacements de cette plate-forme étaient effectués à l'aide d'un tracteur à trois essieux, muni de six vérins hydrauliques qui



Fig. 13. — Marteaux perforateurs pneumatiques légers « Atlas-Copco », utilisés pendant toute la durée des travaux par l'Entreprise Italienne.

soulevaient la plate-forme. Afin de permettre au tracteur de se placer sous la plate-forme, le premier étage de celle-ci était relevable.

La nouvelle plate-forme roulante pour le déblai à pleine section portait 28 perforatrices « Atlas Copco », type Lion, de 30 kg, montées sur poussoirs pneumatiques réversibles, avec dispositifs de commande réunis dans la poignée.

Avec les perforatrices, on a utilisé des fleurets « Sandvik Coromant », à taillants garnis de plaquettes de carbure de tungstène. Les dimensions les plus employées étaient : 2400 × 37 et 4800 × 35; section de la tige, 1".

Les 124 trous de mine de chaque volée étaient répartis sur toute la section et chargés avec différents explosifs : plastic A, plastic B et, principalement, G D 1° M. T. Les charges étaient amorcées par des détonateurs électriques à micro-retards. Chaque volée de ce type abattait jusqu'à 1000 t environ de roche du front d'attaque. Le schéma d'une volée est donné sur la figure ci-contre.

Fig. 15. — Tracteur à 3 essieux avec 6 vérins hydrauliques pour soulever la plate-forme de perforation en vue de son déplacement.



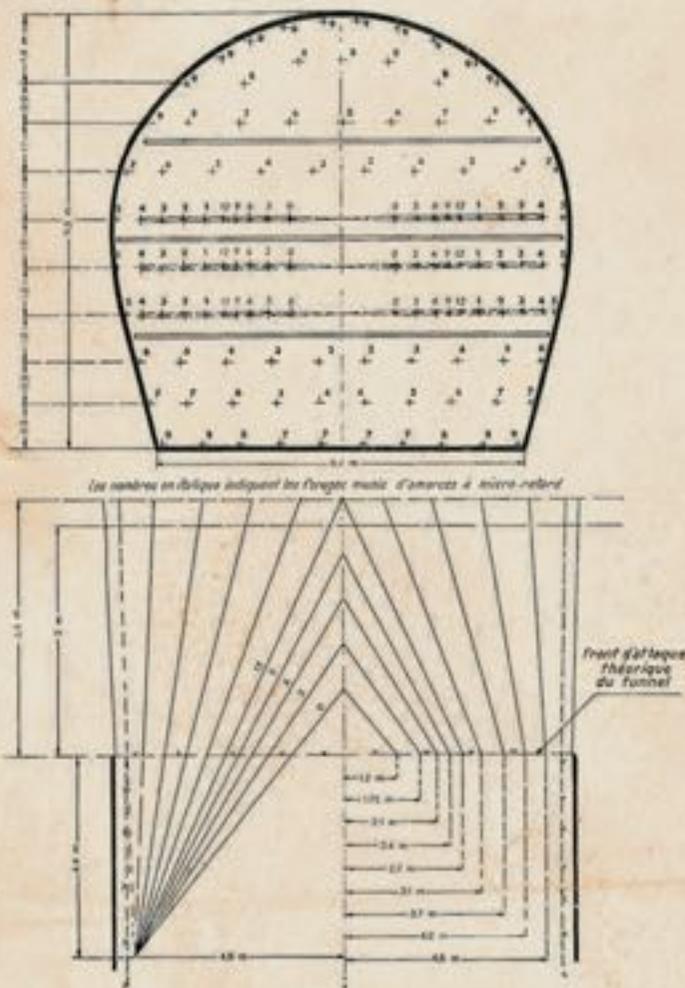


Fig. 16. — Méthode d'avancement en roche compacte. Schéma de perforation et succession des tirs de la volée.

Section	82 m ²
Longueur des trous	5,6 m
Longueur de l'avancement prévu	5,0 m
Volume de roche déblayée	410 m ³
Nombre des forages	124
Longueur totale des forages	643 m
Poids d'explosif	484 kg
Longueur de forages par mètre cube de déblai ..	1,57 m
Consommation d'explosifs	1,76 kg/m ³
Consommation d'explosifs (en kilogramme par mètre de forage)	0,75

Fig. 17. — Benne de transport de déblais « Moncalvi » avec tracteur Diesel à moteur « Alfa Romeo » de 150 ch.



b) Chargement et transport des déblais.

Le chargement de la roche abattue a été effectué au moyen de deux pelles mécaniques sur chenilles « Eimco » 105, pourvues d'un moteur Diesel de 125 ch environ, avec godet de 1,2 m³.

Pour le marinage, on a préféré des véhicules sur pneus d'une capacité importante, aux transports sur rails, car ils permettent une plus grande autonomie et une plus grande souplesse d'emploi.

En cas de panne, les véhicules sur pneus sont en effet aisément remplaçables; ils peuvent rouler sur des sols inégaux, sur lesquels la pose des rails pour trafic lourd est difficile, et ils permettent de franchir des déclivités importantes.

Pour le tunnel du Mont-Blanc, il a été étudié, et fabriqué spécialement en Italie par la Société Moncalvi, des engins articulés composés d'un tracteur à moteur Diesel 150 ch « Alfa Romeo », à quatre roues motrices, sur pneus, et d'une remorque également sur pneus, à basculement vers l'arrière, capable de transporter 10 à 12 m³ de déblais. Cet ensemble articulé pouvait manœuvrer et virer aisément dans la largeur de 6,50 m du plan de travail du tunnel.

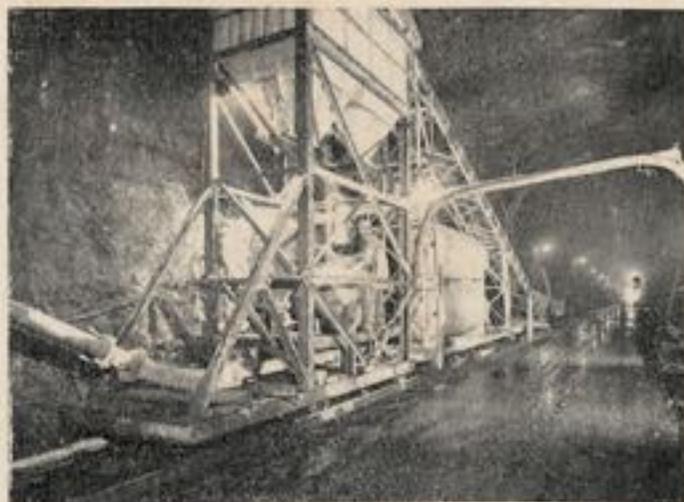
c) Dégagement et soutènement provisoire.

Le tir achevé, on approchait sans délai du front la plateforme à partir de laquelle on purgeait les parois. Puis, on procédait aussitôt au boulonnage des parois et à la pose du treillage métallique : fin d'atténuer les effets des « coups de terrain ». En fait, il n'était pas rare que, même après le boulonnage, des plaques et des blocs de roche se détachent du ciel du tunnel. Le treillage suffisait alors à retenir les morceaux de roche détachés et à éviter des accidents. Périodiquement, une équipe de mineurs débarrassait le treillage de protection des matériaux détachés qui s'y étaient accumulés.

d) Mise en œuvre du béton.

A l'origine des travaux, la mise en œuvre du béton de revêtement était effectuée par un ensemble composé d'un train de bétonnage et d'un chariot porte-coffrages. Le train de bétonnage amenait les dispositifs de mise en œuvre du béton à l'arrière des coffrages en acier repliables qui couvraient successivement des anneaux complets de 10 m de revêtement, comprenant les piédroits et la voûte. Dès qu'un anneau de béton était suffisamment durci, le chariot servait à démonter

Fig. 18. — Train bétonneur pour la mise en œuvre du béton de revêtement.



les coffrages et à les transporter à l'anneau suivant. Le chariot était composé d'un fort plateau en acier de 10 m sur 4, se déplaçant sur rails à l'aide d'un moteur à air comprimé.

Par la suite, au contraire, le bétonnage des piédroits a été



↑
Fig. 19. — Plate-forme portant des coffrages repliables pour le revêtement en béton de la voûte du tunnel.



←
Fig. 20. — Conduites de ventilation de 2 m et 2,50 m de diamètre.

effectué avant celui de la voûte, et cette manière de procéder a été conservée. Le chariot porte-coffrages utilisé est plus léger; il transporte seulement les coffrages des piédroits qu'il soulève au moyen de treuils à air comprimé. Le béton est monté et coulé à l'arrière du coffrage par des élévateurs à godets et compacté à l'aide de pervibrateurs et de vibrateurs de parois, actionnés par l'air comprimé.

En ce qui concerne le bétonnage de la voûte du tunnel, on utilise toujours le chariot porte-coffrages précédé. Le chariot est précédé par un autre engin en forme d'échafaudage tubulaire mobile, qui porte la pompe à air comprimé pour la mise en œuvre du béton et le tuyau de déversement de celui-ci.

e) L'installation de ventilation.

L'installation de ventilation, conçue pour assurer une ventilation satisfaisante, depuis l'entrée du tunnel jusqu'au P. K. 5 800, a été spécialement étudiée et présente des caractéristiques techniques tout à fait exceptionnelles pour des travaux de percement de tunnel.



Fig. 21. — Centrale de production d'air comprimé comportant 10 compresseurs « Atlas Copco » AR 4 de 25 000 l/mn chacun.

L'installation est conçue de façon à pouvoir aspirer et refouler. Elle comprend deux conduites de 2 m et de 2,50 m de diamètre, suspendues à la voûte du tunnel. Les débits des deux conduites sont respectivement de 200 000 et 300 000 m³/h, soit 500 000 m³/h (138 m³/s) au total.

Trois turbogroupes de 360 ch chacun soufflent ou aspirent dans la conduite de 2 m de diamètre et trois turbogroupes de 540 ch chacun dans la conduite de 2,50 m.

La puissance totale des groupes est de 2 700 ch. La pression des ventilateurs est de 270 mm d'eau.

f) La distribution de l'air comprimé.

L'air comprimé destiné à alimenter un grand nombre de machines et outils à l'intérieur du tunnel et, par exemple, les perforatrices, les pompes à béton, les moteurs et les treuils du chariot porte-coffrages, les pompes d'épuisement, les lampes (à dynamo) du front d'attaque, des appareils de ventilation, etc., a été produit par une centrale à 10 compresseurs « Atlas Copco » type AR4, d'un débit de 25 000 l/mn chacun, actionnés par des moteurs électriques de 210 ch.

Parfaitement équilibrés, les compresseurs, du type à châssis, sont montés sur des traîneaux reposant sur des couches de sable, de façon à absorber les vibrations.

La centrale était disposée de façon à en permettre l'extension éventuelle en augmentant le nombre des compresseurs en fonction des besoins éventuels du chantier.

La conduite de sortie de la centrale a un diamètre de 300 mm.

g) Installation de concassage et de bétonnage.

A quelques mètres de l'entrée du tunnel, se dressent l'installation de concassage et criblage des agrégats et la centrale de bétonnage avec deux bétonnières de 1 m³ chacune.

Actuellement, les agrégats à béton sont préparés à partir du granite déblayé. A l'origine des travaux, alors que le déblai concernait les 1 300 premiers mètres environ de roche calcaire non utilisable pour la préparation des différents bétons, les agrégats ont été pris dans les carrières et sablières de la région.

L'installation de concassage comprend, après une trémie d'alimentation de 10 m³, un transporteur à plaques métalliques (débit : 150 m³/h) qui alimente un concasseur à mâchoires débitant jusqu'à 50 m³/h.

Un élévateur à godets transporte le matériel concassé à un crible vibrant à deux étages, qui sépare la classe 0-30 de la classe 30-60; un transporteur à courroie amène ensuite la classe 0-30 à un autre crible vibrant à deux étages, qui sépare les classes 0-4, 4-15 et 15-30.

Les quatre classes de matériaux sont stockées dans quatre silos de 160 m³, d'où elles sont déversées par des vannettes pneumatiques de fond.

Le concassage secondaire en gravier et en sable est effectué par une batterie de concasseurs secondaires formée de :

- 2 concasseurs à mâchoire de 9 m³/h;
- 1 concasseur à mâchoires de 4 m³/h;
- 1 concasseur à cône de 6 m³/h;
- 1 broyeur à barres de 3 m³/h et 1 broyeur à anneaux de 8 m³/h maximum.

Les installations de préparation du béton ont été construites compte tenu des conditions climatiques particulières du chantier; pour cette raison, l'étage supérieur de l'installation de concassage a été muni d'un sécheur du matériau à 0-30, et autour des silos un revêtement clos permet, grâce à un chauffage à vapeur, de protéger les matériaux stockés contre le gel.

Deux silos cylindriques à ciment de 300 tonnes chacun sont disposés à côté de la centrale de bétonnage; ils sont chargés par des pompes à air comprimé.

La centrale de bétonnage comporte, outre 2 bétonnières de 1 m³, 4 silos horaires à agrégats, un silo horaire à ciment, le réservoir d'eau, les doseurs automatiques en poids des agrégats, du ciment et de l'eau.

Des doseurs en poids, le mélange agrégats-ciment peut passer soit aux bétonnières proprement dites pour la confection du béton à la centrale même, soit à des bétonnières automobiles spéciales qui reçoivent le mélange sec effectué préalablement et le malaxent pendant le trajet jusqu'au lieu d'utilisation.

Cette seconde méthode est utilisée pour que, même avec

les avancements les plus importants, la durée du gâchage du béton ne dépasse pas les limites techniquement convenables.

L'installation pour la confection du béton a un débit horaire de 25 m³.



Fig. 22. — Installation de concassage et criblage des agrégats et centrale à béton.

h) Autres installations.

Près de l'entrée du tunnel, se trouve la cabine électrique de transformation, à laquelle arrive, par une ligne extérieure, le courant à 12 000 V, abaissé ensuite à 220 V, pour l'alimentation des moteurs électriques travaillant à l'extérieur.

La puissance totale installée du chantier est de 4 500 kVA.

V. SCAVARDA et G.-C. MESCHINI.

Fig. 23. — Le 14 août 1962, à 11 h 30, le diaphragme de roche séparant les mineurs italiens de leurs collègues français vient de sauter.





**Résoudre
votre problématique
de sol & de construction**

Fondations profondes
Soutènements
Ecrans étanches
Reprises en sous-œuvre
Réhabilitations d'ouvrages
Comblements de cavités
Traitements de terrains
Améliorations de sols
Ancrages
Fouilles clés en main

Partenaire-expert

www.spiefondations.com

/ Spie fondations

spie batignolles



BUILD ON US

www.soletanche-bachy.com

→ **Intervenant partout dans le monde pour le compte de clients publics ou privés, Soletanche Bachy s'attache à proposer les meilleures solutions techniques et contractuelles** : elle apporte aussi bien des compétences polyvalentes d'ensemblier dans le cadre de grands projets d'infrastructures, que celles de spécialiste maîtrisant l'ensemble des procédés de géotechnique, de fondations spéciales, de travaux souterrains, d'amélioration et de dépollution des sols.



| **Tramway de Nice : section enterrée de la ligne L2 | FRANCE |**
Ouvrage Ségurane (puits d'accès pour le tunnelier, réalisé à l'abri d'une paroi moulée)



SOLETANCHE BACHY