

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

TRAVAUX SOUTERRAINS. PROLONGEMENT DU RER E : GARE DU CNIT ET TUNNELS AVOISINANTS. LYON-TURIN : TRAITEMENT ET TRAVERSEE D'UNE ZONE EBOULEE. EOLE - MISE HORS D'EAU DE L'OUVRAGE FRIEDLAND. PROLONGEMENT DE LA LIGNE B DU METRO DE LYON. INSPECTION DETAILLEE DES TUNNELS. PUIS D'EVACUATION POUR LE TUNNEL FERROVIAIRE DE MEUDON. UNE GALERIE SOUTERRAINE A BEZIERS. BESSAC AU CŒUR DE LA SILICON VALLEY. GALERIE SAINTE-DEVOTE A MONACO

N° 961 JUILLET-AOÛT 2020



PROLONGEMENT
DE LA LIGNE B
DU METRO DE LYON
© IMPLERIA/
DEMATHIEU BARD

**LES TRAVAUX
PUBLICS**
FEDERATION
NATIONALE

Tunnels & microtunnels

Sur les **5 continents**,
nos équipes
de spécialistes
construisent les
**infrastructures
de demain**



Z.I. de la Pointe - 31790 Saint Jory - France
+33 5 61 37 63 63 www.bessac.com

Crédits photos : Herrenknecht



Directeur de la publication
Bruno Cavagné

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

Comité de rédaction

Erica Calatizzo (Systra), Jean-Bernard Datry (Setec), Olivier de Vriendt (Spie Batignolles), Philippe Gotteland (Fnfp), Florent Imberty (Razel-Bec), Nicolas Law de Lauriston (Vinci), Romain Léonard (Demathieu Bard), Claude Le Quééré (Egis), Véronique Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau (Soletanche Bachy), Jacques Robert (Arcadis), Solène Sapin (Bouygues Construction), Claude Servant (Eiffage tp), Philippe Vion (Vinci Construction Grands Projets), Nastaran Vivian (Artelia), Michel Morgenthaler (Fnfp)

Ont collaboré à ce numéro

Rédaction
Monique Trancart (actualités),
Marc Montagnon

**Service Abonnement et Vente
Com et Com**

Service Abonnement TRAVAUX
Bât. Copernic - 20 av. Edouard 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
10, rue du Progrès - 93100 Montreuil
Tél. : 01 41 63 10 30
www.rive-media.fr

Directeur de clientèle
Bertrand Cosson -
b.cosson@rive-media.fr
L.D. : 01 41 63 10 31

Site internet : www.revue-travaux.com

Édition déléguée

Com'1 évidence
2, chemin dit du Pressoir
Le Plessis
28350 Dampierre-sur-Avre
Tél. bureaux : +33 (0)2 32 32 03 52
revuetravaux@com1evidence.com

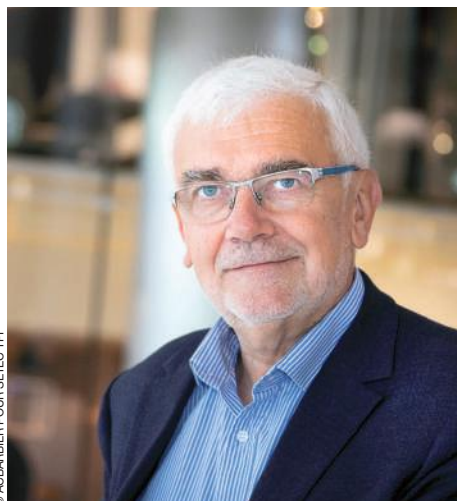
La revue Travaux s'attache, pour l'information de ses lecteurs, à permettre l'expression de toutes les opinions scientifiques et techniques. Mais les articles sont publiés sous la responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se réserve le droit de refuser toute insertion, jugée contraire aux intérêts de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

Tous droits de reproduction, adaptation, totale ou partielle, France et étranger, sous quelque forme que ce soit, sont expressément réservés (copyright by Travaux).

Ouvrage protégé ; photocopie interdite, même partielle (loi du 11 mars 1957), qui constituerait contrefaçon (code pénal, article 425).

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

L'AFTES, TEMOIN ET ACTEUR DU DYNAMISME DES TRAVAUX SOUTERRAINS



© ACBARBER POUR SETEC TPI

L'activité du secteur des travaux souterrains a atteint en France un niveau inégalé, jusqu'à la crise de la Covid-19, qu'on espère passagère. Ce secteur est devenu prépondérant pour les grands groupes de construction et les ingénieries intervenant dans le domaine du génie civil. Le lancement du Grand Paris Express, mais pas seulement (prolongement EOLE par exemple), a véritablement créé une situation inédite, requérant de tous les intervenants une mobilisation de moyens humains et matériels sans commune mesure avec ce qui avait pu prévaloir précédemment. À tel point que beaucoup se demandaient il y a encore cinq ans s'il serait possible, par exemple, de faire tourner près de vingt chantiers de tunneliers simultanément dans la région parisienne. Or aujourd'hui, environ la moitié de ces chantiers sont lancés, et les autres devraient s'enchaîner, une fois la crise de la Covid-19 passée. Ces premiers lancements se déroulent sans difficultés majeures, ce qui n'était pas nécessairement gagné d'avance quand on sait que la géologie du sous-sol parisien est loin d'être la plus simple de celles des sous-sols des grandes capitales européennes. À la fois les capacités et niveaux de compétence des équipes et les matériels adaptés ont pu être mobilisés.

D'autres opérations se préparent actuellement et prendront le relais : concrétisation du projet de liaison ferroviaire Lyon-Turin, projet Cigeo d'enfouis-

sement des déchets radioactifs à grande profondeur, extension des réseaux ferrés souterrains dans un certain nombre de métropoles régionales.

Dans un domaine où, plus que dans d'autres, la capitalisation de l'expérience est importante, où la normalisation est peu développée et où, également, l'incertitude est importante et difficile à gérer, le rôle de l'AFTES (Association Française des Tunneliers et de l'Espace Souterrain) a été essentiel pour créer les conditions de cet essor. Elle rassemble depuis plus de quarante ans tous les acteurs de la profession, maîtres d'ouvrage, ingénieries, entrepreneurs, institutions, centres de recherche et de formation, architectes, urbanistes, équipementiers, enseignants, soit à ce jour un peu plus de 1000 membres actifs. Sous l'égide du Comité Technique de l'Association, ils créent un corpus de textes de référence, les "Recommandations de l'AFTES", au sein de Groupes de Travail. La centaine de textes produits à ce jour couvre tous les domaines d'intérêt de la profession : qualité et sécurité des méthodes d'exécution, encadrement de méthodes de dimensionnement et de calcul, doctrine en matière de gestion des risques, accompagnement technique des innovations, transformations induites par l'arrivée des nouvelles technologies numériques. Ils bénéficient d'une large diffusion, en France mais aussi à l'international.

D'autre part l'AFTES soutient un mastère spécialisé qui, depuis une petite dizaine d'années, forme des ingénieurs hautement spécialisés dans le domaine des ouvrages souterrains. Certains modules de ce mastère sont ouverts à la formation permanente. De nombreuses Journées techniques et visites de chantier contribuent également aux échanges. Enfin, le succès du Congrès triennal qui rythme la vie de l'Association n'a cessé de croître. L'exposition et le programme des communications techniques du prochain congrès prévu à Paris en septembre 2020, reporté à septembre 2021, confirmeront, n'en doutons pas, le dynamisme du secteur.

MICHEL PRÉ

PRÉSIDENT DU COMITÉ TECHNIQUE DE L'AFTES
EXPERT TUNNELS À SETEC TPI

TRAVAUX SOUTERRAINS

LYON-TURIN, TRAITEMENT ET TRAVERSÉE D'UNE ZONE ÉBOULÉE SUR LE CHANTIER SMP4 © CAROLINE MOUREAUX





04 ALBUM

08 ACTUALITÉ



18 ENTRETIEN AVEC BERNARD THÉRON

BESSAC - TRAVAUX SOUTERRAINS
ET TUNNELIERS : DOUBLE CASQUETTE
"ORIGINE FRANCE GARANTIE"

24 OSMOS GROUP :
UNE INGENIERIE PIONNIERE
DE SURVEILLANCE



32

PROLONGEMENT DU RER E

Gare du CNIT
et tunnels avoisinants



40

LYON-TURIN

Traitement et traversée
d'une zone éboulée
sur le chantier SMP4



47

EOLE

Mise hors d'eau
de l'ouvrage Friedland,
un puits sans fond



56

MÉTRO DE LYON

Prolongement
de la ligne B



65

INSPECTION DÉTAILLÉE DES TUNNELS NOUVELLE TECHNOLOGIE

ID-NT®



72

PUITS D'ÉVACUATION POUR LA SÉCURISATION DU TUNNEL FERROVIAIRE DE MEUDON



78

UNE GALERIE SOUTER- RAINE POUR POURSUIVRE L'EXPLOITATION DU CALCAIRE

à Béziers



85

BESSAC AU CŒUR DE LA "TECH" DANS LA SILICON VALLEY



90

CREUSEMENT DE LA GALERIE SAINTE-DÉVOTE

à Monaco



LA GRANDE TRABOULE SE PROLONGE HOMMAGE À RENÉ WALDMANN

Demathieu Bard Construction, en groupement avec le Suisse Implemia (tunnel du Saint Gothard entre autres) réalise pour le SYTRAL (Syndicat Mixte des transports pour le Rhône et l'agglomération lyonnaise) le lot principal de l'extension de la ligne B (1978). Egis et Systra sont maîtres d'œuvre. Profitons-en pour rendre hommage au père du métro de Lyon, le lyonnais René Waldmann (1930-2017, X50, Ponts, ancien directeur de la SEMALY, ancien président de l'AFTES) auteur du livre "La Grande Traboule". Les mises en service des première lignes remontent à 1974, 1977 et 1978. Celle de l'extension de la ligne B est prévue pour 2023. (Voir article page 56).



© HERRENKNECHT



EOLE GARE DU CNIT

UNE REPRISE EN SOUS-ŒUVRE TITANESQUE DE HAUTE PRÉCISION

Vinci Construction France,
Dodin Campenon Bernard,
Vinci Construction Grands Projets,
Soletanche Bachy France,
Botte Fondations,
Spie Batignolles Génie civil,
Spie Batignolles Fondations,
composant le groupement EDEF,
avec comme sous-traitants
Sixense Soldata et Freyssinet,
réalisent dans le cadre du projet
EOLE, la nouvelle gare sous le
CNIT (record du monde en 1958
de voûte mince autoportante).
L'immeuble édifié sous la voûte
dans les années 80 comporte
5 niveaux de sous-sol et repose
sur 117 poteaux reprenant
65 000 tonnes. Cette charge est
transférée sur 56 piliers nouveaux
réalisés dans des puits. 750 vérins
sont mobilisés. Le tassement diffé-
rentiel est limité à 1,2 mm/m.
(Voir article page 32).



© NICOLAS JANBERG - STRUCTURAE

VILLE 10D DÉCORTIQUE L'AMÉNAGEMENT SOUTERRAIN

Le projet national de recherche, "Ville 10D, Ville d'idées", se prépare à publier la synthèse de ses travaux. Aménager le sous-sol suppose de sortir du cadre de la parcelle. Le projet a tout fouillé : du vécu en souterrain à la réglementation en passant par l'économie et la planification.



Montrer au public *Le Monstre*, sculpture de Raymond Moretti, piégé dans un des délaissés sous la dalle de La Défense (Hauts-de-Seine) est à l'étude.

Dans les entrailles de La Défense (Hauts-de-Seine), dort *Le Monstre* de Raymond Moretti. La sculpture, démenagée là par l'artiste qui l'a complétée jusqu'à sa mort en 2005, a atteint de telles proportions qu'il est impossible de la sortir. Son "caveau", l'atelier Moretti, couvre 1 000 m² et mesure jusqu'à 12 m sous plafond dans un délaissé des infrastructures de l'opération d'urbanisme commencée en 1958.

L'atelier et la "Cathédrale" - autre délaissé de 5 000 m² entre 6 et 11 m de haut - sont au centre d'un projet pilote de Paris La Défense et la 1^{re} phase de l'exploitation des 20 000 m² résiduels sous l'esplanade du quartier d'affaires. L'aménageur et gestionnaire a confié la tâche à Baukunst, agence belge d'architecture, en mars.

Montrer au public *Le Monstre* de Moretti, sans le bouger, est à l'étude. Le problème est d'y donner accès comme c'est le cas pour tous ces locaux "oubliés", souvent vides.

→ Relevé du sous-sol

Un relevé complet du sous-sol entre l'Arche et la Seine, le long des voies de

circulation, a été réalisé en 2018. L'aménageur s'appuie sur un groupe d'experts, notamment en matière de réglementation et de faisabilité. « "Ville 10D, Ville d'idées" a eu un rôle pédagogique en élargissant l'appréhension des volumes sous dalle en liaison avec le dessus et l'autour, développe Monique Labbé, membre de ce groupe. *Le programme de la consultation des architectes s'en est inspiré.* » Les participants à Ville 10D⁽¹⁾, programme national de recherche (PNR), réfléchissent depuis 2012 à comment rendre le sous-sol accessible, agrandir la ville par ce biais, réorganiser, relier des éléments séparés, etc. Le projet a motivé des travaux de recherche d'où 36 rapports sont sortis. À partir de cette masse de connaissances, est rédigé un guide pratique à l'attention des acteurs de l'aménagement, en premier lieu les maîtres d'ouvrage qui doivent trouver des réponses à leurs questions. Sortie : septembre 2021.

→ Ouvrir entre locaux voisins

La complexité du sujet ne doit pas effrayer mais « être introduite et gérée parce que le sous-sol, à la fois, permet de mêler des

programmes et nécessite de le faire pour sa faisabilité économique, » souligne Monique Labbé. Par exemple, à Fontenay-sous-Bois (Val-de-Marne), deux quartiers sont séparés par la voie ferrée et l'autoroute A86. Les piétons traversent la gare avec un passe spécial pour aller d'un côté à l'autre. Le pont est plus loin. Ville 10D prévoyait d'utiliser du sous-sol pour créer une meilleure liaison urbaine et réorganiser l'intermodalité des trans-

ports. Ce qui nécessite de réunir collectivités territoriales, opérateurs de transport, l'ingénierie, etc.

La sécurité est un des volets importants du PNR. Un groupe de travail réunit les sapeurs-pompiers, le Laboratoire central de la préfecture de police, le Centre d'études des tunnels et Monique Labbé, en tant qu'architecte. Il réfléchit à l'ouverture entre locaux souterrains voisins pour mettre en sécurité les personnes en cas de sinistre, au lieu d'évacuer verticalement les occupants de chaque entité. Une mise en commun revient moins cher. Ascenseurs, escaliers roulants peuvent aussi être mutualisés. Une réflexion qui va au-delà de l'emprise d'un projet en regardant ce que ça peut apporter au quartier ou à la ville permet d'être plus économe qu'en aérien.

→ Gouvernance : à approfondir

La visualisation du sous-sol est un autre champ d'investigation de Ville 10D. Les élus comprendront mieux les lieux s'ils peuvent les voir y compris d'un point de vue géologique. Le BRGM constitue une base de données sur 100 m de profondeur. Des cavités ou des carrières peuvent muter vers d'autres usages. Leur toit peut être cassé pour recréer quelque chose. La gouvernance de l'aménagement souterrain est un volet qui demande à être encore enrichi. « *Il faut anticiper à travers les schémas directeurs d'aménagement et d'urbanisme régionaux, informe Monique Labbé. Il faut une gouvernance publique qui travaille avec le privé puis mette les gens ensemble pour établir un programme.* » Des retours d'expérience vont être recueillis.

En savoir plus : www.ville10d.fr ■

⁽¹⁾ Voir les 31 partenaires sur www.ville10d.fr, rubrique Partenaires.

GUIDE DU BON USAGE DU SOUS-SOL URBAIN

Le guide du bon usage du sous-sol urbain (titre provisoire) paraîtra en septembre 2021 lors du congrès de l'Association française des tunnels et de l'espace souterrain.

L'ouvrage de 200 pages synthétise les travaux du programme national de recherche Ville 10D (cf. ci-contre) depuis 2012 et les met à la portée de tous.

Il comprend 4 grandes parties : l'espace souterrain vécu (psychosocial et architecture des lieux) ; le développement durable qui inclut l'économie ; l'urbanisme et la planification ; la visualisation du sous-sol et l'accès aux données numériques.

LES PETITS TRAVAUX CONTRIBUENT À LA RELANCE



© RÉGIE DE L'EAU METZ METROPOLE

La régie de l'eau de Metz Métropole voudrait changer une canalisation qui passe sous un remblai SNCF.

« Les petits travaux sont ceux qui, par leur multiplication, redonneront dans les plus brefs délais de la vigueur au tissu local des PME, TPE et artisans, » écrit la Fédération nationale des collectivités concédantes et régies (FNCCR) le 2 juin, consciente du rôle des acteurs publics dans la relance économique. Avec ses adhérentes, elle a identifié 29 projets qui pourraient être lancés rapidement, avec le soutien de l'État. Par exemple, Territoire d'énergie Loire (Siel-TE) a besoin de 4 millions d'euros pour la 1^{re} tranche de la sécurisation des boucles locales d'un réseau public de fibre optique de 10 500 km. Le Syndicat des eaux de Basse-

Vigneulles et Faulquemont (Moselle) estime à 1,95 million d'euros le renouvellement de 6,6 km de conduites principales et 192 raccordements individuels.

→ Obstacles à lever

Mais l'argent ne fait pas tout. Toujours en Moselle, la régie de l'eau de Metz Métropole, veut changer 450 m d'une canalisation en 400 mm de diamètre. Montant : 1,6 million HT. Frein : impact des travaux sur la stabilité du remblai SNCF sous lequel elle passe.

Le Syndicat du Val-de-Loire (Deux-Sèvres) veut, depuis 2011, remplacer une conduite d'eau potable là où elle traverse l'Argenton à Argentonnay. Sur les 500 000 euros HT, il souhaite une aide

de 10-20% mais « surtout, une facilité de réalisation des travaux par la Direction départementale des territoires » dans cette zone Natura 2000.

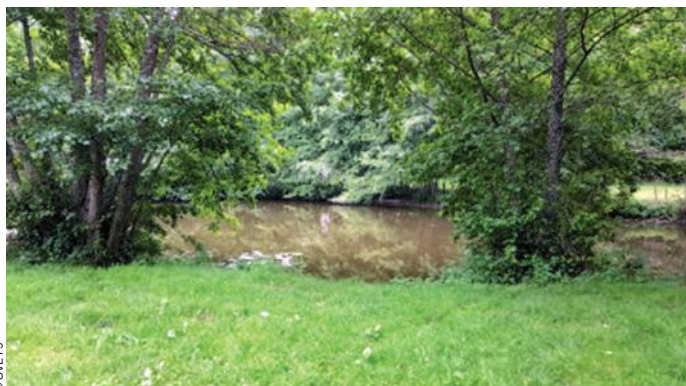
À la Réunion, La Créole, régie communautaire d'eau et d'assainissement, veut lancer les 3^e et 4^e phases du tout-à-l'égout à Saint-Paul. Il faut 1,4 million d'euros HT pour boucler le financement de la collecte des eaux usées de 2 200 habitants. Ces travaux amélioreront la qualité de la nappe littorale. C'est l'occasion de régulariser des titres de propriété.

→ Faire les bons choix

La FNCCR émet aussi 14 propositions pour lever les freins aux projets des collectivités publiques⁽¹⁾. Elle craint que les investissements sur les réseaux d'eau fassent les frais du contexte actuel alors même qu'il faut lutter contre la sécheresse, veiller à la qualité de l'eau et prévenir les inondations. Des économies sont à trouver dans le bon choix des tronçons à renouveler.

Le numérique a montré son utilité pendant la crise sanitaire. Pour la FNCCR, le financement du très haut débit par l'État est « largement insuffisant ».

D'autres propositions concernent les énergies, la mobilité "propre", l'isolation du bâti et l'éclairage public. ■



© SVL 79

Le Syndicat du Val-de-Loire (Deux-Sèvres) doit intervenir sur une conduite qui traverse une rivière en zone Natura 2000.

SUCCÈS DU BIOGAZ INJECTÉ

La quantité de gaz d'origine renouvelable injecté dans le réseau de gaz naturel a presque doublé en 2019 par rapport à 2018, avec 1 235 GWh, soit la consommation annuelle de 103 000 logements, selon le 5^e Panorama du gaz renouvelable. La capacité maximale d'injection était de 2 157 GWh à fin 2019.

Le nombre de sites producteurs raccordés au réseau est passé de 76 à 123 en un an. Cette croissance s'accélère : +18 en 2017, +32 en 2018 et +47 en 2019. Il n'y en avait que 17 en 2015.

Le biogaz est produit à partir de déchets agricoles, végétaux, animaux, ménagers, et de boues.

Le panorama a été publié en mai par GRDF, GRTgaz, le Syndicat professionnel des entreprises gazières municipales et assimilés, le Syndicat des énergies renouvelables et Teréga.

À voir sur :

www.syndicat-energies-renouvelables.fr

ou sur : www.grdf.fr



© TERÉGA

Le biogaz rejoint le réseau de gaz naturel, ici celui de Teréga implanté dans le Sud-Ouest.

⁽¹⁾ Propositions et chantiers sur www.fnccr.asso.fr/article/la-fnccr-presente-14-propositions-et-29-travaux-de-proximite/.

LA DÉFENSE TOUJOURS MODERNE

Le quartier d'affaires Paris La Défense se renouvelle.

« En quinze ans, les restructurations d'immeubles ont totalisé 650 000 m², soit 70% de la surface totale livrée sur le périmètre de l'Opération d'intérêt national de La Défense, » écrit Paris La Défense, aménageur et gestionnaire. Tours et immeubles vieillissent et ont besoin d'être modernisés, optimisés, de façon à toujours attirer la clientèle. Citons la tour First qui, avec 231 m de haut, surpasse de 50 m l'extour Axa qu'elle a remplacée en 2011 mais dont elle a conservé 80% de la structure en béton.

Plusieurs grandes opérations vont être livrées. Par exemple, la transformation de l'immeuble Le Balzac (1989), reconnaissable à son mur courbe, se termine. Il devient l'Akora une fois restructuré par l'Agence d'architecture-urbanisme Bouchaud*.

Un hôtel s'installe, après reconversion, dans la tour de bureaux Litwin (1969). Sont attendues également Landscape (ex-tours Pascal de 1983), et Watt (ex-City Défense de 1985).

Il reste des emprises foncières libres. Sont en travaux les tours Trinity et Hekla.

* Investisseur-promoteur : SCPI Elysées Pierre. Maîtrise d'œuvre et assistance à maîtrise d'ouvrage : Artelia. Entreprise : Spie.



L'Akora, version restructurée du Balzac de 1989.

TRUCS ET ASTUCES CONTRE LA COVID-19



© QUESSANDIER

Lave-mains de campagne fabriqué à partir d'un bidon.

L'organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics (OPPBT) a mis à disposition de tout un chacun une plate-forme d'entraide pour présenter trucs, astuces et dispositifs commerciaux appréciés pour se protéger du virus Covid-19⁽¹⁾.

Des idées seront peut-être retenues au-delà de la pandémie. Voici quelques exemples qui ont recueilli un certain succès auprès des internautes.

Parmi les 80 propositions à début juin, beaucoup sont commerciales, sur le lavage de mains, le gel hydro-alcoolique, les parois transparentes.

Les dispositifs à faire soi-même sont populaires. Daniel Garin, médecin du travail chez Artelia-MT2i propose un masque "de fortune" fabriqué à partir d'une serviette en papier, d'élastiques de bureau et d'une agrafeuse. Dans une vidéo à voir par un autre biais, il en précise l'utilisation et les limites.

→ Distributeur de gel en PVC

En matière de lave-mains, ceux qui ne nécessitent aucun raccordement à l'eau ou à l'électricité fleurissent. L'armoire mobile d'Armorgard propose d'un côté lavabo et lingettes, de l'autre, deux postes de gel. L'équipement sur roulettes pourra servir dans d'autres circonstances.

Dans la série "sur le terrain", "Taka Yaka" s'est décarcassé pour décrire comment

monter un distributeur de gel de désinfection à partir de tubes en PVC qu'on actionne au pied. Voir sa vidéo de démonstration⁽²⁾.

"Quessandier", chef de chantier, a fabriqué un lave-mains de campagne à partir

d'un gros bidon bleu. Il comprend de quoi se laver les mains et du gel.

→ Parloir

Dans la série "à faire soi-même", citons encore le parloir inventé par Darrieumerlou (Pyrénées-Atlantiques), entreprise de charpente-couverture. Comme un guichet, une vitre sépare une table en deux. D'un côté, le chargé d'affaires, de l'autre le chef d'équipe, qui se transmettent documents et consignes.

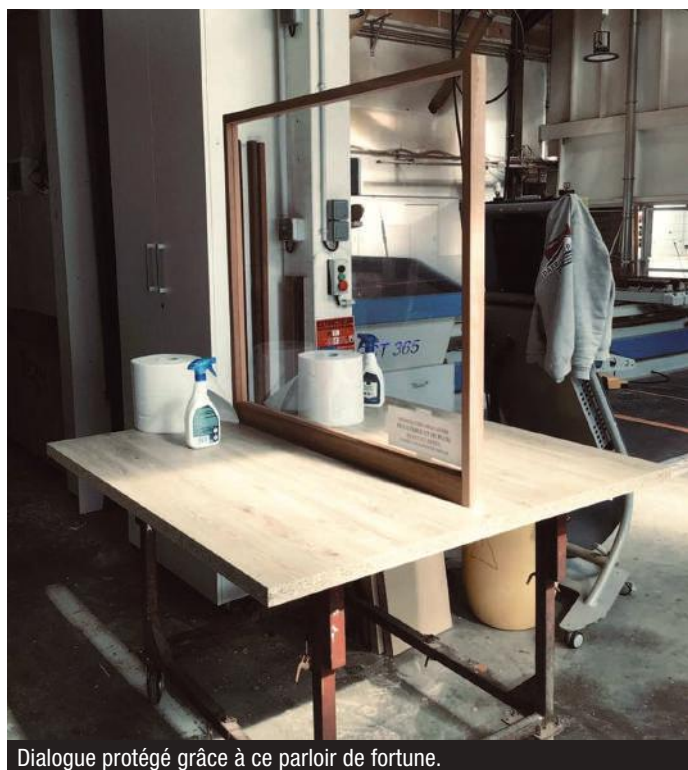
Les parois transparentes souples intéressent les internautes qu'elles soient dans un véhicule, à la cantine d'une base-vie, dans une nacelle utilisée à plusieurs, etc. Ne pas partager les outils protège d'une contamination. La solution de mettre un scotch de couleur différente selon l'utilisateur, apparue parmi les premières sur la plate-forme d'entraide, a trouvé un public.

→ Supplément pour la protection ?

Enfin, "Guillaume38" lance une bouteille à la mer : est-ce une bonne idée d'ajouter à un devis déjà signé, un forfait pour le temps passé à mettre les protections et leur coût ? Il avait reçu, à début juin, un commentaire le renvoyant à l'expertise de l'OPPBT. ■

⁽¹⁾ <https://entraide-covid19.preventionbtp.fr/assemblees/covid19/i/1/>.

⁽²⁾ Pour voir le tuto Taka Yaka, passer les publicités.



© DARRIEUMERLOU

Dialogue protégé grâce à ce parloir de fortune.



Membre du Réseau Congés Intempéries BTP

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 plus de **8 000 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues à près 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 [ecrire un e-mail](#)

· Par téléphone :

- pour les entreprises : 01.70.38.07.70

- pour les salariés : 01.70.38.09.00



ZONES LITTORALES BASSES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le groupe Salins a signé un partenariat de recherche sur l'adaptation au changement climatique des zones littorales basses avec le Centre d'expertise pour les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema). Salins dispose de productions de sel à Aigues-Mortes (Gard), Berre et Salins-de-Giraud (Bouches-du-Rhône), à Batz-sur-Mer (Loire-Atlantique), Dax (Landes) et à l'étranger.

Le partenariat de cinq ans s'intéresse à l'adaptation des activités situées sur la côte comme les marais salants, l'ostréiculture et la pisciculture.

→ Interactions estuaire/littoral

Trois thèmes prioritaires ont été définis. En premier lieu, la connaissance des phénomènes d'érosion et de submersion liés à la montée du niveau marin : chemins possibles de l'eau en cas de submersion, zones inondées, en vue d'une modélisation. L'efficacité des atténuateurs de houle sera analysée.



Épis et digue de protection des marais salants de Salins à Salin-de-Giraud (Bouches-du-Rhône).

L'impact des ouvrages de protection des zones basses sur l'environnement sera observé. Les sites de Salins serviront à établir une méthode de gestion et d'entretien, et à envisager de modifier leurs dimensions et leur positionnement.

Troisième thème : mieux comprendre les interactions entre estuaire et littoral, incluant les protections, et créer un modèle numérique de prévision, ceci à

partir de l'estuaire du Rhône (Camargue).

→ Énergie osmotique

Le groupe Salins s'intéresse aussi à la présence de micro plastiques, à l'état de la faune et de la flore, et à l'énergie osmotique (électricité produite entre masses d'eau de salinité différente). Le Cerema mènera ces travaux avec le laboratoire d'hydraulique de Saint-Venant (Yvelines) et d'autres structures. ■

CENTRE D'ESSAIS BMW PAR COLAS

BMW a confié à Colas CZ la construction de son Centre de développement de la mobilité du futur à Sokolov, dans l'Ouest de la République tchèque, pour 2022. La filiale de Colas va réaliser tous types de voies avec différents revêtements et même sans, des routes de montagne, des parkings, des tunnels, et des zones de conduite autonome. BMW s'implante sur une ancienne décharge minière, d'où des solutions géotechniques spécifiques.



Le centre d'essais comprend des zones de conduite autonome.

TRAVAUX ÉLECTRIQUES SUR LE GPE

L'architecture électrique d'une partie des lignes 16 et 17 du Grand Paris Express (GPE) a été attribuée à Aline, groupe piloté par Eiffage, à travers le GIE Eiffage Énergie Systèmes Ferroviaires en partenariat avec Sdel Transport Grands Projets, filiale de Vinci Énergies.

Le contrat couvre le tronçon Saint-Denis-Pleyel/Clichy-Montfermeil (Seine-Saint-Denis) de la ligne 16 ainsi qu'un centre de maintenance à Aulnay-sous-Bois et celui entre Le-Bourget-REX et le Triangle-de-Gonesse (Val-d'Oise), sur la 17, soit 10 stations et 30 km de rail.

Le chantier dure sept ans. Montant : 68 millions d'euros.

IMMEUBLES SUR PILOTIS



L'ancienne brasserie Badaevskiy à Moscou (Russie) reste visible depuis la rivière à travers les pilotis du nouveau bâtiment.

Des bâtiments sur pilotis sortent de terre ici et là. La rénovation de la brasserie Badaevskiy à Moscou (Russie) comprend un nouvel immeuble porté par des poteaux de 35 m de haut.

→ Chantiers à venir

Ce projet, confié à l'agence d'architecture suisse Herzog et de Meuron, a remporté le prix "projets résidentiels futurs" au World Architecture Festival, début décembre 2019, à Amsterdam (Pays-Bas).

Les architectes ont soulevé de terre cet immeuble de logements afin de libérer la vue et l'espace entre l'ancienne brasserie, rénovée, et la rivière.

Deux des trois bâtiments en brique, remontant à 1875-1912, vont être restaurés pour accueillir différentes activités. Le troisième est reconstruit selon les plans d'origine.

Les travaux de renforcement du bâtiment ancien commencent en 2020, le reste étant prévu pour 2021.

En France, fin 2019, l'agence d'architectes Lacaton et Vassal associée à Cadran et Hutin a remporté un projet de deux immeubles, hôtel et bureaux, avec le 1^{er} plancher à 10 m de haut. Au sol, des structures légères pour les halls d'entrée et des services.

Cet ensemble se situe dans la Zac du pôle économique MEETT à Beauzelle, au nord de l'aéroport de Toulouse-Blagnac. Maîtrise d'ouvrage : Vinci Immobilier, Matea Promotion. ■



Le 1^{er} plancher de ce projet dans l'agglomération de Toulouse (Haute-Garonne) est à 10 m.



TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

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

Prochains numéros :

- TRAVAUX n° 962 « International »
- TRAVAUX n° 963 « Travaux maritimes et fluviaux »

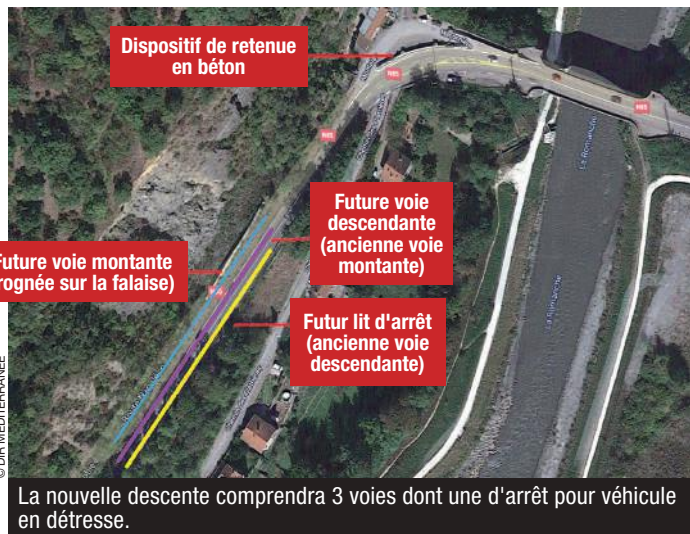


Bertrand COSSON

Tél. 01 41 63 10 31

b.cosson@rive-media.fr

SÉCURISER LA DESCENTE DE LAFFREY (ISÈRE)



La nouvelle descente comprendra 3 voies dont une d'arrêt pour véhicule en détresse.

La mise en sécurité de la rampe de Laffrey (Isère) se poursuit jusqu'à 2022. Ce tronçon de la route nationale 85 (route Napoléon) longe la falaise avec une pente de 12 % en moyenne (segments de 16 et 18 %). Après 6,5 km depuis Laffrey jusqu'à l'entrée de Vizille, à une vingtaine de kilomètres au sud de Grenoble (Isère), la descente se termine par un virage à 100° avant un pont sur la Romanche. Malgré les interdictions aux poids lourds

de plus de 7,5 tonnes et aux cars, des véhicules se sont retrouvés en bas à plus de 100 km/h incapables de maîtriser leur vitesse et sont tombés en contrebas de l'amorce du pont vers des maisons. → **Glissière de sécurité**
Des mesures d'urgence avaient été prises au lendemain d'un accident de car qui avait fait 26 morts (2007) et qui n'était pas le premier mortel. En 2008, la Direction interdépartementale des routes Méditerranée (Dirmed), maître d'ouvrage,

installe un portique à lamelles suivi d'un en dur pour écarter les poids lourds. Elle étudie actuellement l'optimisation de cette aire de triage.

En 2009, une glissière de sécurité en béton de 1,5 m de haut est implantée dans le virage. Elle maintient le véhicule en difficulté sur la route mais ne l'empêche pas de traverser le sens inverse. Il n'avait pas été possible, vu l'urgence, de placer la glissière au milieu de la chaussée, ce qui aurait nécessité d'acquiescer du foncier pour élargir la route et aurait condamné un accès riverain.

→ Arrêt dans une fosse de cailloux

Les travaux de fond de la sécurisation ont commencé en 2019. Cette année, la descente est élargie en gagnant sur la falaise pour créer une nouvelle voie montante. L'ancienne montée devient descendante et l'ancienne descente, voie la plus à droite, sera transformée en lit d'arrêt en 2021-2022. Un poids lourd en détresse pourra s'y engager et s'enfoncer dans une fosse remplie de cailloux.

La route souffre aussi de chutes de blocs depuis la falaise. En 2020 également, sont posés grillages, filets, écrans pare-blocs, en protection des éboulements. Coût de l'opération 2019-2022 : 3,63 millions d'euros y compris études et acquisition foncière. ■

RÉPARATION ET ÉLARGISSEMENT DU PONT D'ALLIER

Le pont sur l'Allier à Langogne (Lozère) a été réparé et élargi. Situé sur la RN88 entre Le-Puy-en-Velay (Haute-Loire) et Mende (Lozère), il supporte 3100 véhicules par jour sans itinéraire de substitution pour les poids lourds. → **Trottoir plus large**

Une inspection périodique a révélé un manque de protection contre l'affoulement de ses appuis et d'étanchéité de sa structure. Des voiles en béton armé protègent désormais la base des appuis où la structure a été renforcée par injection. Des tirants ont été posés sur les tympans.

Grâce à la réalisation d'une dalle générale en béton élargie par des consoles, le trottoir, d'un seul côté du pont, a été élargi à 1,40 m. Ainsi, les piétons, parfois des randonneurs avec des ânes sur

ce chemin de Stevenson, peuvent-ils emprunter le pont en toute sécurité. La dalle est passée de 8,35 m à 9,90 m et les parapets ont été repoussés en bordure.

→ 1,8 million d'euros

Les travaux, de juin à décembre 2019, ont coûté 1,8 million d'euros TTC, à la

charge de l'État, représenté par la Direction interdépartementale des routes (Dir) Massif Central.

Maîtrise d'œuvre : Dir Méditerranée (Sir de Mende).

Travaux : Auglans SAS/AB Travaux Services, cotraitants. ■



Le pont d'Allier avant élargissement du passage pour les piétons, à droite.

REPRISE DES TRAVAUX À CHÂTILLON-SUR-LOIRE

Le chantier de rénovation du pont de Châtillon-sur-Loire (Loiret) a repris après l'interruption due à la crise sanitaire. Commencé fin 2018, il devrait se terminer à l'été 2021.

L'ouvrage franchit la Loire en 453 m entre points d'ancrage et 353 entre culées. C'est un pont suspendu à câbles de tête reliés à des chariots coulissants au sommet des piles. L'ouvrage actuel, de 1951, s'appuie sur des restes de celui de 1931*.

Les aciers se sont altérés avec le temps, fragilisant la structure. Il est interdit aux poids lourds et fermé en cas de gel.

Vont reprendre la dépose des derniers câbles et des anciennes selles avant la pose de la nouvelle suspension.

La remise en peinture du tablier devait aussi débuter. Une passerelle sera construite.

Opération confiée à un groupement avec Baudin Châteauneuf (mandataire), Artcad, et les cabinets d'architectes, Alain Spielmann (passerelle) et Atelier Penneron.

* Source : Wikipedia.

CONCESSION DE L'A79

Eiffage avec les Autoroutes Paris-Rhin-Rhône ont été désignés concessionnaire de la future autoroute 79**.

Le contrat concerne le tronçon de 89 km entre Sazaret (Allier) et Digoin (Saône-et-Loire) de la Route Centre-Europe-Atlantique, qui va être mis à quatre voies et aux normes autoroutières. Egis assure l'ingénierie du projet.

Montant : 548 millions d'euros réglés par Eiffage. Concession de 48 ans.

** Sauf avis défavorable des autorités environnementales.

SOUS-STATION ÉLECTRIQUE EN MER

Eiffage Métal en groupement avec Engie Fabricom a été retenu pour réaliser la sous-station électrique du parc éolien Hollandse Kust Noord de 700 MW, en mer du Nord.

L'équipement qui ressemble à un très gros conteneur, mesure 47 m de long, 35 de large et 25 de haut. Il comprend 4 ponts et pèse 4100 tonnes. Il est perché sur une fondation jacket de 45 m de haut et 1 930 tonnes qui, elle-même repose sur des pieux qui descendent à 24 m dans les fonds marins et pèsent 870 tonnes.

TenneT, opérateur de réseau de transport d'électricité aux Pays-Bas et en Allemagne, confie les équipements et les structures en acier dont la fondation jacket à Lemants, filiale de Smulders (Belgique), elle-même filiale d'Eiffage Métal.

Engie Fabricom est chargée de la partie électrique et du montage final de la structure. La fabrication commence cet automne et se terminera en 2022, avant l'implantation en mer.



La structure supérieure mesure 47 m de long par 35 de large et 25 de haut.

MIEUX CONNAÎTRE LES MOUVEMENTS LENTS DE TERRAIN DANS LES ALPES



© CEREMA CENTRE-EST

Terrain chahuté au-dessus du virage sur la RN85, zone du glissement Charlaix suivi depuis longtemps, à Saint-Laurent-en-Beaumont (Isère).

La recherche-action " Mouvements lents dans les Alpes : anticiper et aménager " (MLA3) est entré dans une nouvelle phase. Un comité de pilotage incluant les habitants et les acteurs territoriaux s'est réuni pour la 1^{re} fois le 21 février. Centrée sur les glissements lents de terrain aux abords de la RN85 (route Napoléon), en Isère et dans les Hautes-Alpes, MLA3 a démarré en 2018 et dure jusqu'à 2021.

Le Centre d'expertise pour les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema) porte le projet auquel sont associés les laboratoires de l'Institut des sciences de la terre de l'université de Grenoble Alpes (géologie) et EVS-Rives

(ville, espace, société) de l'École nationale des travaux publics de l'État.

Les habitants ont une connaissance fine du terrain indispensable à l'étude de phénomènes discrets (tassements, affaissements). L'objectif est d'anticiper ces désordres et d'y remédier au lieu de réagir après une catastrophe.

Le volet sciences humaines du projet absorbe un tiers du budget, presque autant que l'étude des sols et le suivi, et davantage que la modélisation.

→ Argiles de Beaumont

Quatre communes, entre Grenoble et Gap (Hautes-Alpes), mettent à disposition des sites d'observation : Saint-Laurent-en-Beaumont (glissement de Charlaix),

Corps (Les Touches) et Quet-en-Beaumont (le Haut-Quet) en Isère et Aspres-lès-Corps (Motty) dans les Hautes-Alpes. Sont conviées à la réflexion Les-Côtes-de-Corps, La-Salle-en-Beaumont, Sainte-Luce en Isère, et Saint-Firmin-en-Valgaudemard dans les Hautes-Alpes.

« Les sites présentent un historique d'instrumentation, de suivi des glissements et d'interventions, » indique Siegfried Maiolino, responsable recherche et développement au laboratoire de Lyon du Cerema Centre-Est.

« L'échelle territoriale est importante car il s'agit d'un massif homogène, constitué des mêmes argiles dites de Beaumont, et que la RN85 est fréquemment affectée, » développe Geneviève Rul, cheffe du groupe risque rocheux mouvements de sols.

→ Recommandations

À terme, seront proposées des recommandations d'aménagement valables sur d'autres territoires.

Le projet de 575 000 euros (2018-2021) est soutenu par le Feder au titre du Programme opérationnel interrégional du massif des Alpes dont l'autorité de gestion est la région Provence-Alpes-Côte d'Azur avec la région Auvergne-Rhône-Alpes, et par le Fonds national d'aménagement et de développement du territoire au titre de la Convention interrégionale du massif des Alpes. ■



© CEREMA CENTRE-EST

Fissure sur un muret provoquée par un glissement lent.

PRO BTP LE MEILLEUR DE LA PROTECTION SOCIALE

SANTÉ
PRÉVOYANCE
ASSURANCES
ÉPARGNE
RETRAITE
VACANCES
ACTION SOCIALE



PRO BTP
GROUPE

**MUNICH
DOUBLE
UNE LIGNE
DE TRAIN**

La compagnie de chemin de fer Deutsche Bahn double la ligne de train centrale de Munich (Allemagne) afin d'absorber le trafic de passagers. Ce transport urbain électrique avait été construit pour les jeux olympiques de 1972. La seconde ligne, à mettre en service en 2028, est en grande partie en souterrain. Une des deux entrées du tunnel se trouve à la station Marienhof dans le vieux centre. Deutsche Bahn a confié les parois moulées à une joint-venture VE41 réunissant Implenla et Hochtief. Plusieurs engins Liebherr sont utilisés à cette occasion. L'espace est très contraint dans le secteur et la présence de bâtiments historiques impose de limiter les vibrations. Une pelle à câbles hydraulique de type HS 8130 porte une benne hydraulique HSG 5-18 pour l'excavation initiale ou une fraise LSC 8-18L. Ces deux machines sont équipées de dispositifs qui contrôlent la parfaite verticalité de leur travail et elles peuvent tourner sur leur axe vertical. Cet ensemble s'accompagne d'une station de filtrage des boues (600 m³/h). Sur le site également : deux engins de forage et une grue de levage des cages d'armature de 55 tonnes et 55 m de haut.

**CONTRÔLE DE VIBRATIONS SANS FIL
ET À BASSE ÉNERGIE**



Deux des 7 capteurs (boîte rouge) qui ont suivi le battage d'un rideau de palplanches au bord d'une voie ferrée à Perdreaux (Yvelines), afin de respecter l'instruction IN1226 de la SNCF sur les vibrations.

Il peut être compliqué de laisser du matériel de surveillance de vibrations sur chantier. C'est pourquoi le laboratoire de Lyon du Cerema Centre-Est a opté pour un capteur de terrain communiquant avec une plate-forme internet pour contrôler les effets du minage du sol d'une résidence à Megève (Haute-Savoie). En novembre et décembre 2019, une balise Rock a suivi les vibrations trans-

mises par les tirs à deux maisons situées à 5-10 m. Le Cerema, mandaté par Sud-Est Minage, a apprécié le paramétrage de la balise à distance, selon Cédric Rebourg lors du webinaire IOT (Internet of Things/Internet des objets) et surveillance vibratoire des chantiers (Indura, 7 mai) ⁽¹⁾.

La balise de Bartec Syscom, boîte rouge de 16 cm par 14 sur 8 de haut, se veut facile à utiliser. Elle se réveille en cas de dépassement du seuil à respecter et déclenche une alarme. Seule la donnée intéressante est transmise au logiciel qui agit : alarme, rapport, partage des données avec la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre.

Conçue sur le principe du géophone ⁽²⁾, elle abrite plusieurs capteurs au cas où l'un d'eux est en panne et pour mieux cibler la source.

La balise emprunte le réseau de téléphonie mobile sur un canal dédié à l'internet des objets, le 4G-LTE, à basse énergie. La capacité de Rock à ne retenir que ce qui vaut la peine et le canal IOT réduisent sa consommation électrique. La batterie a une autonomie d'environ six mois. Les données passent par la plate-forme du fournisseur qui les traite puis sont, éventuellement, dirigées vers celle du client.

La balise Rock coûte 400-500 euros HT par mois, selon le nombre de balises et la durée de location. Elle est distribuée en France par Avnir Energy. Jacques Charvin, son directeur, a rappelé pendant le webinaire, que les mesures servent à respecter la réglementation.

→ Textes réglementaires

La circulaire du 23 juillet 1986 distingue trois classes de bâtiments selon leur fragilité et donne les niveaux vibratoires à respecter pour chacune d'elles. Les vibrations de basse fréquence (4-8 Hz) sont les plus dommageables. Elles sont générées par des impacts (tirs de mine, chocs) ou des équipements qui fonctionnent en continu (vibrofonçage, battage de palplanches, etc.) et transmises aux structures porteuses.

→ Nuisance à 2 mm/s

Les riverains d'un chantier sont protégés par la norme Iso 2631. Une vibration de 2 mm/s est une nuisance pour l'être humain.

D'autres textes peuvent s'ajouter comme l'instruction In 1226 de la SNCF et ceux des réseaux de gaz. ■

⁽¹⁾ <https://vimeo.com/showcase/7046286/video/417089047>.

⁽²⁾ Mesure et enregistrement de la vitesse des vibrations.



Les engins travaillent en plein centre ancien de Munich (Allemagne).



9 clients sur 10 font des économies en utilisant les butons Groundforce

SCANNEZ POUR EN SAVOIR PLUS



Groundforce
Solutions de Butonnage Hydraulique

AGENDA

ÉVÉNEMENTS

Les lecteurs sont invités à vérifier par internet que les événements annoncés dans cette rubrique ont bien lieu.

• **6 OCTOBRE**
Solar Future France
Lieu : Paris
<https://france.thesolarfuture.com>

• **6 AU 9 OCTOBRE**
Congrès de la Sim
Lieu : Angers (Maine-et-Loire)
www.lasim.org

• **7 OCTOBRE**
Procédures de planification et d'autorisation de l'éolien en mer
Lieu : Paris (La Défense)
<https://energie-fr-de.eu>

• **7 ET 8 OCTOBRE**
Bim World
Lieu : Paris (Porte de Versailles)
www.bim-w.com

• **7 AU 9 OCTOBRE**
Culture et génie civil
Lieu : Wrocław (Pologne)
www.iabse.org

• **2 ET 3 NOVEMBRE**
10^e journées géotechnique et géologie de l'ingénieur
Lieu : Lyon
<https://jngg2020.sciencesconf.org>

• **5 ET 6 NOVEMBRE**
10^e assises Port du futur
Lieu : Paris (FNTP)
www.portdufutur.fr

• **9 ET 11 NOVEMBRE**
Analyse du risque en infrastructures
Lieu : Séoul (Corée du Sud)
www.iabse.org

• **10 NOVEMBRE**
6^e colloque national photovoltaïque
Lieu : Paris (Unesco)
<https://ser-evenements.com>

• **19 NOVEMBRE**
Nouvelles normes européennes terrassements
Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• **24 NOVEMBRE**
Ouvrages en béton atteints de réaction sulfatique interne
Lieu : Paris
<https://formation-continue.enpc.fr>

• **24 AU 26 NOVEMBRE**
Salon des maires
Lieu : Paris (Porte de Versailles)
www.salondesmaires.com

• **1^{er} AU 4 DÉCEMBRE**
Pollutec
Lieu : Lyon
www.pollutec.com

NOMINATIONS

ALDES :
Stéphane Séguro est nommé directeur du développement pour la France, l'Europe de l'Ouest et de l'export en Europe du groupe spécialisé en qualité de l'air, confort thermique et sécurité. Mads Rosenmeier a été nommé directeur général de Exhausto, spécialiste des

centrales de traitement d'air, rachetée en 2016 par le groupe.

BOUYGUES IMMOBILIER :
Cédric Gabilla dirige les relations avec les grands comptes.

EDF :
Alain Tranzer est nommé délégué général à la qualité industrielle et aux compétences nucléaires.

PARIS-LA-DÉFENSE :
Georges Siffredi a été élu président du conseil d'administration de l'établissement public industriel et commercial chargé de l'aménagement, la gestion, la promotion et l'animation du quartier de La Défense, suite au décès de Patrick Devedjian.

VD-INDUTRY :
Emmanuel Ferry succède à son père à la direction générale du fabricant de menuiseries vitrées résistant au feu. Gabriel Ferry reste président du groupe.

BESSAC

TRAVAUX SOUTERRAINS ET TUNNELIERS : DOUBLE CASQUETTE "ORIGINE FRANCE GARANTIE"

L'entreprise Bessac s'est construite autour de sa double compétence d'entrepreneur de travaux publics spécialisé en tunnel et de constructeur de machines de travaux souterrains. Elle a su acquérir depuis plus de 40 ans une expérience inégalée aussi bien dans la construction de tunnels et micro-tunnels, que dans la conception et la fabrication d'équipements spécialisés. Filiale du groupe Soletanche Bachy, Bessac a aujourd'hui à son actif plus de 300 km de tunnels réalisés depuis sa création en 1975. **Entretien avec Bernard Théron, Président de Bessac.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



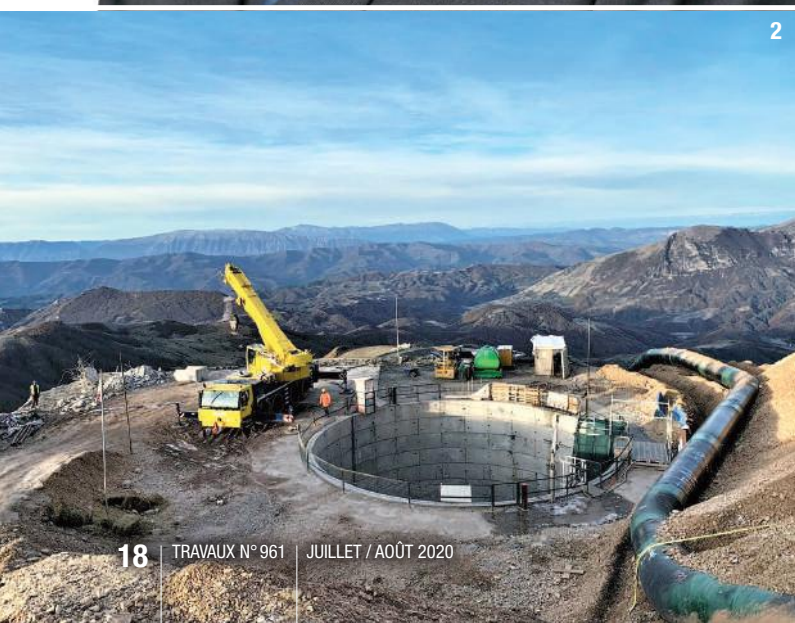
BERNARD THÉRON, PRÉSIDENT DE BESSAC, PRÉSENTE QUELQUES-UNES DES RÉALISATIONS RÉCENTES OU EN COURS QUI CONFIRMENT QUE CETTE ENTREPRISE TOULOUSAINNE S'EST BIEN IMPOSÉE, AVEC SUCCÈS, SUR LES 5 CONTINENTS ET DANS PLUS DE 30 PAYS DANS LE MONDE.

Que représente aujourd'hui Bessac, en quelques chiffres ?

Bessac aujourd'hui, c'est un chiffre d'affaires de 90 millions d'euros, se répartissant pour un tiers en France et deux tiers à l'international ; ce sont 200 personnes en France et presque autant à l'étranger, avec une activité croissante sur le continent américain, tant en Amérique du Nord qu'en Amérique du Sud, mais aussi dans le reste du monde. Nous avons ainsi réalisé en

2019 notre premier chantier en Nouvelle Zélande de telle sorte que l'entreprise intervient désormais sur les cinq continents.

Pour citer quelques pays : sur le continent américain États-Unis et Canada, Mexique, Colombie, Chili, Équateur, Panama, sur le continent asiatique Singapour et Vietnam, sur le continent européen, outre la France, Albanie, Belgique, Russie. Avec des incursions au Qatar et en Russie.



FIGURES 1, 2 & 3 © BESSAC

Depuis 2010, Bessac a réalisé plus de 100 km de tunnels et plus de 80 km de micro-tunnels.

Parmi les réalisations récentes, le lot T219 en plein cœur de la ville pour le métro de Singapour (1 680 m de longueur en diamètre 5 800 mm), la conduite forcée de transfert des eaux usées à Guayaquil en Équateur (4 000 m de longueur en diamètre 1 900 mm), l'émissaire de rejet marin des eaux de la station d'épuration à Salé au Maroc (800 m de longueur en diamètre 1 900), les prises et rejet d'eau de mer du projet Escondida Water Supply à Antofagasta au Chili (1 380 m de longueur en diamètre 2 000 mm), le projet CRL C6 de tunnel d'eaux pluviales du Mont Eden à Auckland en Nouvelle Zélande (425 m en diamètre 2 000 mm).

Sur la quasi-totalité de ces chantiers, plus de 90%, notre volonté est de répondre en entreprise générale. Nous n'intervenons que très peu en sous-traitance.

Lorsque nous étudions les projets, nous nous intéressons en priorité à ceux qui nécessitent une vraie technicité et qui, surtout, ouvrent la possibilité de proposer des variantes ou des innovations quel que soit l'endroit où ils se trouvent.

Nous cherchons les projets sur lesquels Bessac est en mesure de se différencier ; qu'il s'agisse de tunnel ou de micro-tunnel. Sauf si nous avons une implantation locale forte comme en Colombie, les petits chantiers, surtout de micro-tunnels, ne nous intéressent pas à l'étranger. Nous retenons ceux qui présentent une spécificité, des difficultés techniques ou une taille conséquente.

Pour les mener à bien, l'entreprise dispose de filiales à l'étranger dont Bessac

BERNARD THÉRON : PARCOURS

Bernard Théron est ingénieur de l'ESTP (École Spéciale des Travaux Publics), promotion 1991.

Il démarre sa carrière professionnelle chez Solétanche, comme ingénieur travaux sur tous types de chantiers souterrains ou de travaux spéciaux en France comme à l'international (Mexique, Allemagne, Chili, Colombie). Il a notamment participé aux chantiers du métro de Lille (ligne 1bis et ligne 2), et a dirigé les travaux de tunnels pour câbles à Berlin ou pour l'assainissement à Bogota et à Valparaiso.

En 1999, il rejoint Bessac, la filiale du groupe Soletanche Bachy spécialisée dans la construction de tunnels avec tunnelier, où il occupe le poste de Directeur Commercial International jusqu'en 2003 avant de devenir Directeur Général.

Bernard Théron est Président de Bessac depuis 2008.

Sous son impulsion, Bessac ouvrira de nombreuses filiales à l'international comme en Colombie, en Nouvelle Zélande, aux USA ou encore au Canada tout récemment.

1- Bernard Théron, président de Bessac.

2- Chantier du "Trans Adriatic Pipeline" en Albanie.

3- Le micro-tunnelier de diamètre 1 600 mm sur le TAP en Albanie.

4- Chantier de la "Sistema de Aguas de la Ciudad de Mexico" (Sacmas).

5- Micro-tunnelier en diamètre 1 600 mm sur un chantier de 1 036 m à Mexico.

Andina en Colombie, Bessac Inc. aux États-Unis, Bessac Canada à Vancouver, Bessac International... La filiale américaine permet de répondre à l'ensemble des demandes de ce vaste territoire. Après l'acquisition des chantiers en Floride et en Californie, elle étudie actuellement des projets dans l'Ohio et au Texas, par exemple.

À ces filiales géographiques s'ajoutent des succursales créées au gré des chantiers (Algérie, Géorgie, Hong Kong, Azerbaïdjan...), essentiellement pour des raisons administratives.

Comment l'entreprise se situe-t-elle par rapport au Grand Paris Express ?

L'arrivée du Grand Paris Express a modifié la donne en France depuis trois ans et fait apparaître un nombre très important de chantiers de travaux

souterrains qui ont attiré des entreprises qui, jusque-là, n'étaient pas présentes dans ce secteur. Bessac y est évidemment présent au travers du groupement Horizon sur les lots T2A et T3A de la ligne 15 Sud avec Bouygues et Soletanche Bachy. Il s'agit de galeries de 8,70 m de diamètre intérieur qui représentent une longueur totale de 12 300 m.

Même si les travaux de ces projets sont pharaoniques, ils ne constituent qu'une partie de notre activité. En plus du Grand Paris Express, Bessac continue de réaliser de nombreux chantiers ailleurs en France et à l'international. Le Grand Paris Express représente une très belle opportunité pour la profession en général et dans notre domaine en particulier mais, en même temps, pour une entreprise hyper spécialisée comme la nôtre, c'est aussi une source de tensions.

Avec la forte demande de main d'œuvre spécialisée pour réaliser les travaux souterrains du Grand Paris, nos équipes, toutes expertes dans les tunnels réalisés avec tunneliers, ont forcément été sollicitées par la concurrence. Nous sommes toutefois parvenus à conserver la quasi-totalité du personnel. Cette fidélité est une grande satisfaction pour moi.

Lorsque le nombre de tunneliers utilisés sur les travaux du Grand Paris commencera à baisser, il n'est pas sûr que tous les personnels qui auront participé à ces chantiers retrouveront un point de chute dans le domaine correspondant à leurs qualifications. Notre diversification tant géographique que dans les différents diamètres nous permet de poursuivre une activité très soutenue ailleurs qu'à Paris et cela comptera pour le maintien du personnel à cette échéance. ▷

© BESSAC



© BESSAC





FIGURE 6 © FNTP - FIGURE 7 © BESSAC

"HYPERB'ASSIST" LAURÉAT DU TROPHÉE DES TP 2018

Le système "Hyperb'Assist" développé par Bessac a été lauréat du Trophée des TP 2018 organisé par la FNTP*.

"Hyperb'Assist" permet de fiabiliser les interventions hyperbares dans les micro-tunneliers et ainsi réduire les risques liés à ces opérations, en particulier à la décompression. Il est destiné à la fois à prêter assistance aux opérateurs lors des interventions hyperbares, mais aussi à remplir aisément la nouvelle obligation légale du compte professionnel de prévention.

Le strict respect des procédures de sécurité est absolument impératif dans le cas d'intervention humaine en atmosphère hyperbare. L'outil mis au point par Bessac renforce le contrôle, en particulier à la décompression. Même si les tunneliers peuvent travailler sous de très fortes pressions d'eau, les opérateurs les dirigent à partir de zones protégées. Mais l'intervention humaine est parfois nécessaire dans la chambre d'abatage, pour des opérations de maintenance ou de réparation. Les opérateurs travaillent alors en atmosphère hyperbare, dans des conditions strictement encadrées par les règlements mais aussi par les règles et procédures spécifiques aux entreprises, souvent comparables à celles appliquées pour la plongée sous-marine. Sont particulièrement risquées les phases de compression et de décompression.

"Hyperb'Assist" rassemble une unité de gestion de données, une tablette tactile durcie, un système vidéo et un point d'accès wifi. La tablette

permet l'usage d'une application spécialement conçue pour assurer le rappel des procédures, regrouper, afficher et enregistrer tous les paramètres de contrôle et bénéficier d'un contact visuel via les caméras.

Simple d'usage, assurant la traçabilité des opérations, le système intervient à plusieurs étapes. Un questionnaire type rappelle au chef de sas les renseignements nécessaires (nom des opérateurs, objet de l'intervention, durée prévisionnelle). L'opération n'est autorisée qu'après les vérifications préalables et la validation de checklists. Il est alors possible de consulter en temps réel les paramètres de l'intervention (pressions, teneurs en gaz, temps de décompression...), sous forme d'affichages digitaux des valeurs et de barographes, et de suivre les opérations grâce aux images vidéo.

Au moment de la décompression, le système guide le chef de sas en gérant les paliers par des comptes à rebours. L'édition de rapports d'intervention, de fiches individuelles des opérateurs, automatiquement envoyés au service des Ressources humaines assure un suivi fiable de chacun. Elle facilite les déclarations annuelles du compte professionnel de prévention. La simplicité de l'outil et de son fonctionnement est aussi le gage d'un emploi confiant des opérateurs.

1- Bessac a déjà reçu en 2013 un Trophée des TP de la FNTP et un Award "Product or Equipment Innovation of the Year" décerné à Londres le 26 novembre 2013 par l'ITA (International Tunnelling Association) pour le TDM (Tunnel Dismantling Machine), la machine à démonter les tunnels.

Quels chantiers à l'international représentatifs des spécificités de Bessac pouvez-vous mettre en évidence ?

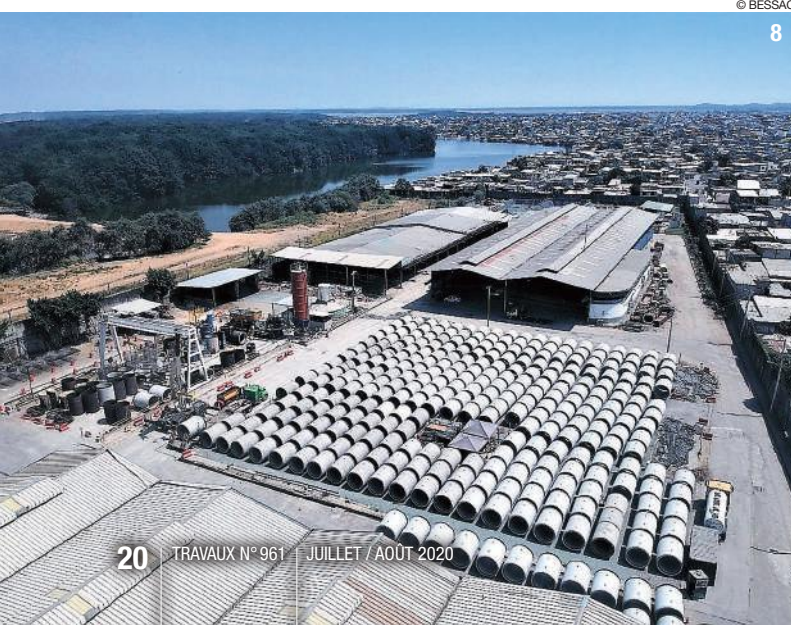
Nos chantiers les plus importants se situent actuellement aux États-Unis dans la Silicon Valley, près de San Francisco mais aussi à Vancouver, au Canada, en Équateur, au Chili

ainsi qu'en Albanie et au Vietnam. À San Francisco, Bessac réalise un tunnel d'assainissement de 5,3 kilomètres de longueur en diamètre 4000 mm avec un tunnelier à pression de terre, dans le cadre de l'aménagement "Silicon Valley Clean Water". À Vancouver, l'expertise et la flexibilité de Bessac ont permis d'aboutir à une

solution innovante et optimisée techniquement et financièrement qui a fait la différence, sans laquelle il aurait été plus difficile de réaliser ce chantier. Ce projet s'inscrit dans un programme d'agrandissement de la station d'épuration d'Annacis Island, l'une des plus importantes de la région, avec une capacité de traitement de près de

175 millions de mètres cubes par an, soit l'équivalent de la consommation d'un million de personnes. Les travaux, dont la livraison est prévue fin 2023, sont financés par la région métropolitaine de Vancouver.

Ils comportent la réalisation de deux puits d'accès de 40 mètres de profondeur et de diamètres 16 m et 7 m, de



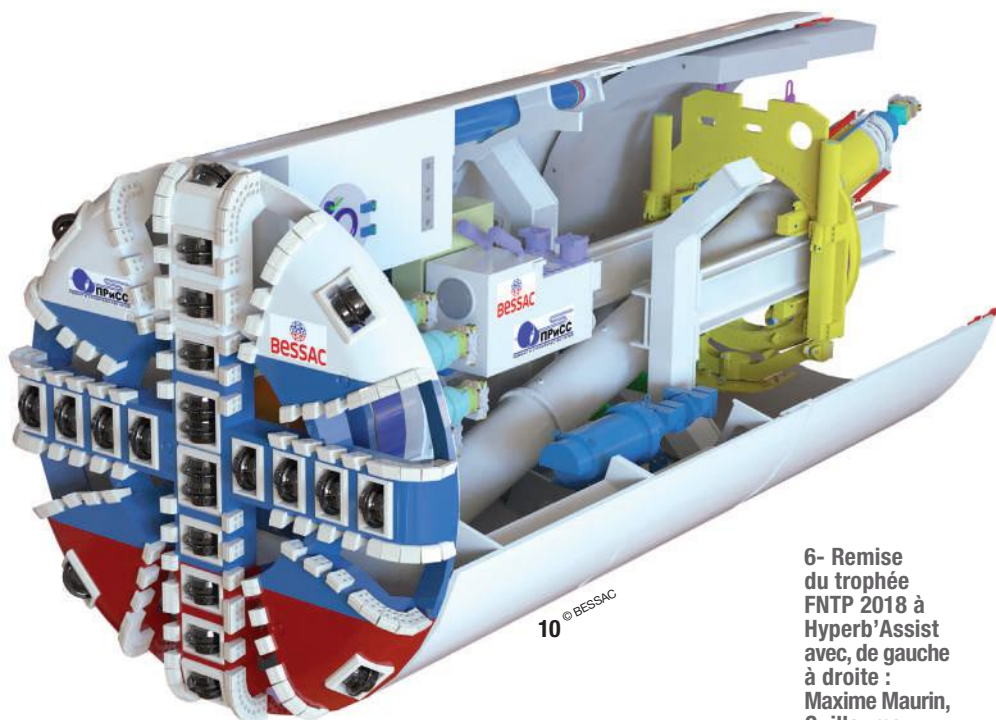
© BESSAC

8



© Y.CHANOIT

9



deux tunnels de 580 m et 200 m de longueur et de 4 200 mm de diamètre, ainsi que des travaux fluviaux.

La conception du tunnelier de 5,00 m de diamètre de Vancouver a été développée spécifiquement autour de deux contraintes fortes :

→ Des montages et démontages du tunnelier dans des puits exigus,

→ Un deuxième tunnel borgne à 40 m de profondeur, sous le fleuve Fraser.

Pour cela, le tunnelier a été conçu de façon modulaire, autour d'un cœur de machine constitué d'un micro-tunnelier standard, installé à l'intérieur d'une chemise à abandonner dans le terrain à la fin du second tronçon. Cette conception a ceci d'innovant qu'elle permet non seulement de limiter drastiquement la complexité et la durée des phases d'assemblage et de retournement du tunnelier, mais aussi de grandement faciliter le démontage final de ce dernier par l'intérieur du tunnel. Tous les composants nobles du tunnelier seront retirés en abolissant pratiquement toute découpe au chalumeau.

Il est par ailleurs à noter que maintes fonctions ont été déportées du tunnelier vers la surface (production d'air com-

primée, énergie secourue), en puits ou en tunnel (principe d'allongement de câble HT sans enrouleur), de sorte à réduire, autant que faire se peut, la longueur de la machine (52 m).

Cette conception novatrice, qui nous permettra de réutiliser par la suite la "core-machine" sans modification sur d'autres projets, est le fruit d'une approche intégrée unique pour une entreprise, entre ses services techniques fabriquant le tunnelier et ses équipes travaux réalisant le projet.

En Albanie, le chantier concerne la réalisation du TAP (Trans Adriatic Pipeline), en sous-traitance de Spie-Capag, en l'occurrence le "gazoduc trans-adriatique", un projet ayant pour objet de transporter vers le marché européen le gaz naturel de la mer Caspienne (Azerbaïdjan). Il part de la frontière gréco-turque et traverse la Grèce, l'Albanie et la mer Adriatique pour arriver en Italie. L'une des particularités de ce chantier est qu'il a été réalisé à 2 000 m d'altitude pour franchir une zone montagneuse. Il a mis en œuvre un micro-tunnelier en diamètre 1 600 mm sur une longueur de 400 m. Au Qatar, nous avons achevé l'année

dernière un tunnel d'assainissement de 16 km de longueur en diamètre 3 000 mm à Doha. Ce contrat s'inscrit dans le cadre d'un projet stratégique de collecte, pompage et traitement des eaux usées du sud de Doha, appelé IDRIS, pour répondre à l'essor démographique soutenu que connaît la capitale du Qatar.

En Amérique du Sud, en Équateur, il s'agit d'un chantier de micro-tunnel en diamètre 2 500 mm d'une longueur de 4 kilomètres à Guayaquil et, au Chili, à Guatacondo, dans le désert d'Atacama, nous venons de démarrer un chantier également de micro-tunnel, en diamètre 2 500 mm d'une longueur de 1 km, pour le secteur minier.

Au Vietnam, à Hô Chi Minh City, nous avons un chantier de 10 kilomètres de tunnel en diamètre 2 400 mm qui servira de pipeline d'eau potable assurant la jonction entre Binh Thai South Crossing, Dien Bien Phu street et Nguyen Binh Khiem street.

Enfin à Liège, en Belgique, nous attendons le démarrage du chantier Chokier pour l'Association Intercommunale pour le Démergement et l'Épuration des communes de la Province de Liège, d'une longueur de 1 030 m avec un micro-tunnelier en diamètre 1 600 mm.

6- Remise du trophée FNTF 2018 à Hyperb'Assist avec, de gauche à droite : Maxime Maurin, Guillaume Hébraud, Jean-Marc Sabatie, Florian Reyssat, Bernard Théron.

7- La tablette "Hyperb'Assist" en place dans le sas d'un micro-tunnelier.

8- Chantier de Guayaquil, de 5 km de longueur en diamètre 2 500 mm, en Équateur.

9- Tunnel T20 en diamètre 3 500 mm pour l'usine des eaux usées de Clichy.

10- Plan 3D du tunnelier en diamètre 3 500 mm pour le chantier de Saint Petersburg en Russie.

11- Micro-tunnelier sur le lot T2A de la ligne 15 Sud du Grand Paris Express.

12- Chantier du lot T3A de la ligne 15 Sud du Grand Paris Express.

À côté du Grand Paris Express, quelques exemples de la présence de Bessac en France

En France, nous avons plusieurs chantiers en cours :

→ À Meudon, une galerie de secours pour la ligne D du RER, de 1 700 m de longueur en diamètre 3 500 mm avec un tunnelier à pression de terre, réalisée pour la SNCF dans le cadre de la mise aux normes des tunnels suite à la catastrophe du Mont-Blanc. ▶

© BESSAC

11



© BESSAC

12



- À Clichy-La-Garenne, un tunnel dans le cadre de la refonte de l'usine des eaux usées avec un micro-tunnelier en diamètre 3500 mm.
- À Rennes, dans le cadre des déconnexions des stations Nord d'assainissement, des conduites gravitaires avec un micro-tunnelier en diamètre 1100 mm.
- À Béziers, pour le programme d'extension du réseau hydraulique régional Aqua Domitia Maillon Bitterrois, une traversée de l'Orb par micro-tunnelier en diamètre 1600 mm sur une longueur de 160 m.

Cette concomitance de chantiers gros et petits aussi bien en France qu'à l'étranger nous permet de disposer d'un bon équilibre dans la gestion de l'entreprise et notamment des équipes spécialisées.

Sur le chantier du tramway de Nice, par exemple, à l'achèvement des travaux de tunnel, nous avons su transférer sans délai nos pilotes de tunneliers sur d'autres chantiers qui requéraient leur présence. Ce n'est pas toujours le cas de tous les spécialistes des entreprises du secteur qui, pour la plupart, peuvent passer plusieurs mois d'inactivité en travaux souterrains ou en tout cas ont du mal à enchaîner les activités de creusement de tunnel qui ne sont qu'une partie d'un ensemble généralement bien plus important de travaux.

Cette particularité de pouvoir enchaîner sans temps mort, constitue l'une de nos spécificités : nous sommes capables de traiter tous types de chantiers, du plus petit diamètre au plus grand, de 0,50 m à 9,00 m, quelle que soit leur localisation.

Pour nous, il est important de ne pas être dépendants que de gros chantiers.



13 © LAURENT BARBARICO

BESSAC : DATES-CLÉS

- 1975** : Création de Fonçages & Forages Bessac par Michel Bessac.
- 1976** : Conception et fabrication du premier tunnelier non mécanisé Bessac pour le chantier d'un passage pour piétons à Toulouse.
- 1983** : "Fonçages & Forages Bessac" devient CSM Bessac (Creusement et Soutènement Mécanisé Bessac).
- 1985** : Conception et fabrication du premier tunnelier Bessac à confinement par air comprimé utilisé pour un chantier de collecteur d'eaux pluviales dans le Val-de-Marne.
- 1990** : Entrée de Solétanche au capital de Bessac.
- 1995** : Premier chantier à l'export à Berlin (Bewag).
- 1996** : Solétanche acquiert 100% du capital de Bessac.
- 1997** : Solétanche et Bachy fusionnent et deviennent Soletanche Bachy.
- 2001** : Acquisition du premier chantier de métro pour Bessac sur le lot 3 de la ligne B de Toulouse.
- 2004** : Conception et fabrication du premier tunnelier à pression de terre Bessac pour le chantier du VL10 dans le Val-de-Marne.
- 2007** : Entrée dans le groupe Vinci.
- 2009** : Triple certification Qualité / Sécurité / Environnement et création de Bessac Andina en Colombie.
- 2013** : Vainqueur du International Tunneling Award avec le TDM de Hong Kong.
- 2015** : CSM Bessac devient Bessac.
- 2018** : Construction du nouveau siège social de Saint-Jory conçu par Taillandier Architectes Associés.

13- La volumétrie sobre du siège de Saint-Jory privilégie fonctionnalité et simplicité visuelle.

14- Chantier de la "Silicon Valley Clean Water" à San Francisco.

15- Chantier du RER D entre Meudon et Chaville, dans la région parisienne.

16- "Label Origine France Garantie" avec, de gauche à droite, Bernard Théron, Yves Pagès, président fondateur de Pro France et Violaine Trajan, cheffe de produit secteur public DID Afnor Certification.

17 & 18- Le "Tunnel Training Center" est un centre de formation dédié aux travaux souterrains, le seul en France de ce type.

Qu'en est-il de l'usine de Saint-Jory ?

L'usine de Saint-Jory emploie une cinquantaine de personnes et continue, dans un contexte international difficile, de construire des tunneliers. Contrairement à ce qui a pu être dit ou écrit récemment, il y a encore un constructeur de tunneliers en France ! D'ailleurs, actuellement, nous fabriquons le tunnelier qui sera utilisé sur le chantier de Vancouver pour la station d'épuration d'Annacis Island.

Nous réhabilitons aussi un autre tunnelier de 4,30 m de diamètre que nous avons vendu pour un chantier à Saint-Petersbourg en Russie.

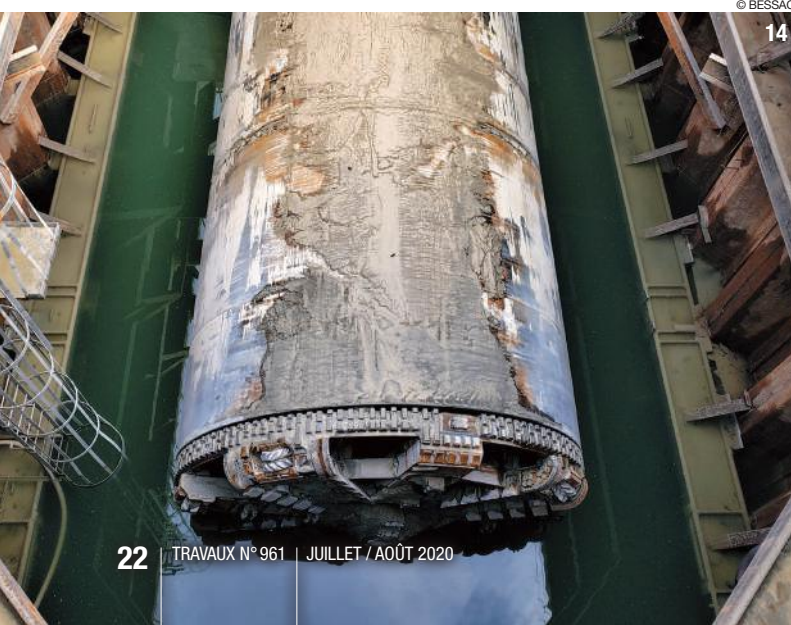
Maintenir cette activité industrielle est importante et devrait l'être plus encore à l'avenir car les fabricants dans le monde connaissent tous actuellement de grosses difficultés à l'exception des Chinois.

Même le major Herrenknecht commence à souffrir de cette concurrence chinoise.

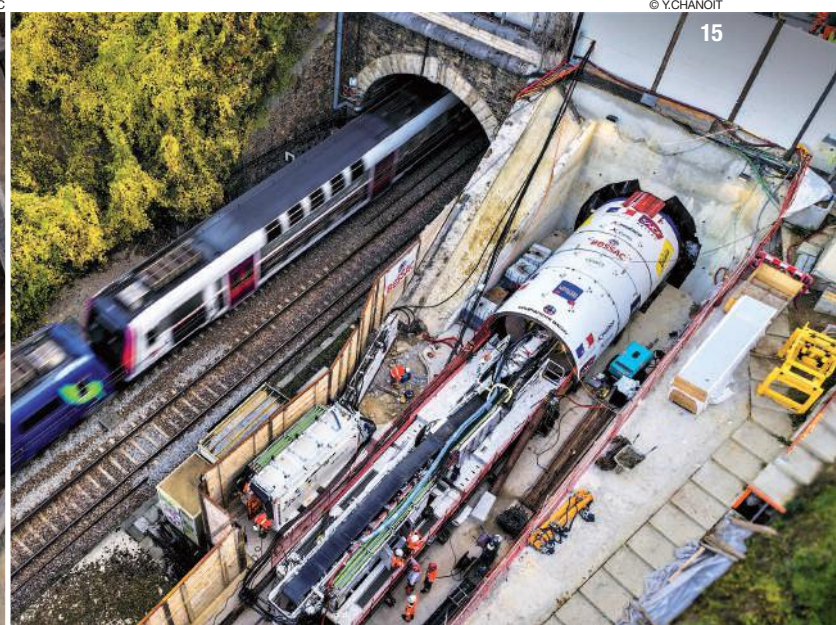
Il est essentiel pour Bessac d'entretenir ce savoir-faire qui lui permet de construire des tunneliers de toutes techniques.

Le bureau d'études maintient son activité et continue à apporter des idées novatrices y compris au plan industriel, dans la fabrication des tunneliers.

C'est notamment le cas pour le tunnelier de Vancouver qui nous a permis d'apporter une solution que personne n'avait proposée et qui nous a différenciés.



14 © BESSAC



15 © Y.CHANOIT

Parmi les derniers tunneliers que nous avons fabriqués à Saint-Jory, celui mis en œuvre sur le chantier du RER D entre Meudon et Chaville a été labellisé "Origine France Garantie" (1).

Avec la crise sanitaire que nous traversons actuellement et les problématiques qu'elle a soulevées, il n'est pas impossible que la tendance, qui a prévalu depuis de nombreuses années, à externaliser de plus en plus les fabrications industrielles, s'infléchisse à l'avenir.

Nombreux sont en tout cas, ceux qui commencent à revoir leur position sur le sujet. Notre savoir-faire français pourrait, qui sait, nous ouvrir de nouvelles opportunités.

Par ailleurs, l'usine de Saint-Jory assure la maintenance et le montage d'un parc de matériel très important puisqu'il comprend désormais 40 tunneliers, du micro-tunnelier de 0,50 m de diamètre à des machines de 7 m de diamètre. Il s'agit là de l'un des plus importants parcs de tunneliers en Europe.

L'unité industrielle proprement dite emploie 50 personnes auxquelles s'ajoutent 30 personnes au siège tant au niveau du bureau d'études que des services administratifs.

Le site de Saint-Jory, également siège de l'entreprise, a-t-il connu des évolutions significatives ?

Nous avons inauguré en mai 2018 un nouveau siège conçu par l'agence Taillandier Architecte Associés.

En intérieur, sa volumétrie sobre privilégie fonctionnalité, espaces de qualité et simplicité visuelle. En extérieur, un bardage métallique perforé vient habiller les façades qui permet à la fois un confort thermique, une harmonie graphique et une identité visuelle.



© BESSAC 16

"ORIGINE FRANCE GARANTIE" : D'ACTUALITÉ PLUS QUE JAMAIS

Missionné par le président de la République française Nicolas Sarkozy à l'automne 2009 pour réfléchir à la défense des emplois français face à la mondialisation, Yves Jégo rend un rapport en mai 2010 ("En finir avec la mondialisation anonyme - La traçabilité au service des consommateurs et de l'emploi").

Parmi ses propositions, figure la création d'une mention plus exigeante que la mention valorisante "made in". Dans la foulée, le parlementaire crée l'association Pro France, destinée à "promouvoir la marque France". La marque de certification Origine France Garantie est officiellement présentée devant l'Assemblée nationale le 19 mai 2011. C'est l'unique label qui certifie l'origine française d'un produit. Le label est transversal (tout secteur confondu) et incontestable (la certification, obligatoire, est réalisée par un organisme certificateur indépendant).

En effet, les perforations en motifs circulaires en croix, visibles sur la peau métallique, sont une abstraction de la roue de coupe du tunnelier. Bessac a souhaité en reprendre le design pour son nouveau logo.

Autre nouveauté intervenue début 2019 : la création d'un Tunnel Training Center, c'est-à-dire un centre de formation dédié aux travaux souterrains, le seul en France de ce type. Ce centre est doté d'équipements permettant aux stagiaires de se retrouver dans les conditions réelles d'un chantier : sas hyperbare, station intermédiaire de poussée de micro-tunnelier, roue

de coupe du tunnelier... Le centre est agréé comme organisme de formation et dispense la plupart des formations pour les travaux souterrains : pilote de mariners et locotracteurs, pilote de tunnelier, poseur de voussoirs, intervention dans la chambre d'abattage, inspection de roue de coupe et changement des outils, montage et démontage de stations intermédiaires, ainsi que l'ensemble des matériels électroportatifs et les équipements de sécurité. Les participants sont ainsi formés à évoluer et intervenir comme s'ils se trouvaient en conditions réelles de travail.

Pour conclure, peut-on dire que vous envisagez l'avenir plutôt avec confiance ?

Bessac est la seule entreprise française dédiée à 100 % aux travaux souterrains mécanisés. Elle est aussi la seule entreprise de construction dans ce domaine à avoir la capacité industrielle pour la fabrication de tunneliers. Nous sommes rentrés de plain-pied dans des diamètres qui nous permettent de couvrir désormais une gamme allant du petit collecteur de 50 cm jusqu'aux dimensions utilisées pour les métros. Nous avons également évolué en techniques de creusement. Du tunnelier à attaque ponctuelle sous air comprimé à l'origine de l'entreprise, nous sommes passés à tous types de tunneliers, à pression de terre et à pression de boue.

Nous avons une double casquette d'industriel et d'entreprise de construction. Cela correspondait à la tendance générale des années 70 où l'intégration verticale était la règle. Bessac a conservé cette caractéristique qui lui assure un avantage concurrentiel sur les ouvrages de micro-tunnels et tunnels couverts par ses capacités industrielles.

Les fabrications spéciales que nous développons nous permettent de nous échapper du chemin commun.

Notre objectif est d'être très sélectif. Nous sélectionnons les projets dès lors qu'ils intègrent, par leur complexité, les spécificités qui sont les nôtres et pour lesquelles nous pouvons apporter, avec notre bureau d'études et notre usine, une réelle plus-value. Cela devrait nous permettre d'affronter l'avenir avec sérénité. □

1- Créé en 2010 par ProFrance, le label "Origine France Garantie" peut être décerné à tous types de produits. Loin des signes "Made in France", ce label reconnu exigeant garantit que le produit prend ses caractéristiques essentielles en France et qu'au moins 50 % de son prix de revient est acquis en France.

© LAURENT BARRANCO

17



© LAURENT BARRANCO

18





OSMOS GROUP UNE INGÉNIERIE PIONNIÈRE DE SURVEILLANCE

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

AU DÉBUT DE L'AVENTURE D'OSMOS IL Y A LA CORDE OPTIQUE. C'EST UNE TECHNOLOGIE BREVETÉE. ELLE MESURE 1 OU 2 m DE LONGUEUR ET ENREGISTRE À HAUTE FRÉQUENCE LES DÉFORMATIONS DES MATÉRIAUX TELS QUE LA TRACTION ET COMPRESSION, L'AMPLITUDE D'UN ÉVÉNEMENT OU ENCORE SA RÉVERSIBILITÉ. CE TRESSAGE DE FIBRES OPTIQUES PERMET DE SUIVRE EN TEMPS RÉEL ET EN CONTINU LE COMPORTEMENT D'UNE STRUCTURE. MAIS PLUS QU'UNE TECHNOLOGIE INNOVANTE, OSMOS PROPOSE UNE VÉRITABLE SOLUTION CLÉ EN MAIN, LA SEULE MÉTHODE CAPABLE DE TRANSCRIRE DE MANIÈRE EXTRÊMEMENT PRÉCOCE L'ÉTAT DE SANTÉ D'UNE STRUCTURE QUELLE QU'ELLE SOIT : EN CE SENS, ELLE EST PIONNIÈRE DE L'INGÉNIERIE DE SUIVI DU COMPORTEMENT MÉCANIQUE RÉEL DES STRUCTURES. DÉCOUVERTE DE L'ENTREPRISE ET DE SON ACTIVITÉ AVEC FRANÇOIS-BAPTISTE CARTIAUX, DIRECTEUR SCIENTIFIQUE DE OSMOS GROUP.

OSMOS a été créé en 2006 sur un modèle assez différent de ce qu'il réalise aujourd'hui. De 2006 à 2015, le projet était principalement de produire et de fournir sous licence du matériel de mesure - des

capteurs et des équipements d'acquisition de données - à destination des bureaux d'études qui disposaient d'une licence, principalement à l'export à cette époque. Un changement stratégique s'est opéré en 2015/2016,

1- Mise en place des capteurs à corde optique sur certains arcs-boutants de Notre Dame de Paris.

qui correspond d'ailleurs à l'arrivée de François-Baptiste Cartiaux.

« *Osmos s'est alors orienté, précise-t-il, non pas vers la mise à disposition d'un système à des licenciés mais vers une fourniture de services, plus*



FRANÇOIS-BAPTISTE CARTIAUX : PARCOURS

François-Baptiste est ingénieur de l'École Polytechnique (2006) dans la section "mécanique et mathématiques appliquées" et de l'École Nationale des Ponts et Chaussées (2007).

Entre 2007, il commence sa carrière professionnelle au sein du bureau d'études "structure" du groupe Eiffage où il est spécialisé dans les projets d'ouvrages d'art, principalement non courants, pour lesquels il participe aux études techniques d'avant-projet et d'exécution.

C'est ainsi qu'il participe à la construction de plusieurs lignes à grande vitesse du TGV et de viaducs autoroutiers mais travaille aussi sur des projets de réparation/renforcement d'ouvrages d'art avec analyse de l'état existant ainsi que des constructions industrielles.

« J'ai eu la chance, dit-il, dans le bureau d'études interne d'Eiffage, de pouvoir toucher à tous les sujets techniques des structures de génie civil ».

En 2015, il rejoint Osmos Group, en tant qu'ingénieur d'études d'analyses de données avec l'objectif de voir les structures de génie civil sous un autre angle et, en particulier, d'étudier et de comprendre leur comportement et leur réaction face au vieillissement, un champ de recherche qu'il considère beaucoup plus ouvert que celui de la conception elle-même.

En 2019, il est nommé directeur scientifique de Osmos Group, chargé, en particulier, du pilotage de projets de recherche en lien avec l'analyse de données issues du suivi continu des structures de génie civil, en liaison avec les partenaires du groupe (Bureau Veritas, Université Gustave Eiffel, universités de Strasbourg et du Mans).

Par ailleurs, François-Baptiste Cartiaux est enseignant dans trois écoles : en calcul des structures à l'École Spéciale des Travaux Publics (ESTP), en résistance des matériaux au Centre des Hautes Études de la Construction (CHEC), en analyse de données appliquées au suivi en continu des structures de génie civil à l'École Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC).

information constituant une réponse à des questions provenant des clients sur les structures de génie civil et sur leur réaction aux charges ».

En 2020, Osmos se positionne comme une société qui fournit un service, impliquant du matériel d'une technologie avancée mais sans vendre le matériel en tant que tel, hors du schéma classique dans l'instrumentation de fourniture et pose.

« L'objectif n'est pas de fournir du matériel de mesure, poursuit François-Baptiste Cartiaux, ni même la donnée brute, mais de donner la réponse à une question, en utilisant prioritairement les capacités historiques de développement et de production de systèmes métrologiques de l'entreprise. Dans les capteurs produits par Osmos et utilisés pour les missions de service figurent des accéléromètres, des inclinomètres mais, surtout, des extensomètres à base longue - la Corde Optique - qui est une exclusivité Osmos ».

L'extensomètre mesure l'élongation du matériau de construction entre deux points relativement éloignés - de l'ordre de 1 m, voire 2 m - ce qui donne une moyenne de déformation sur cette longueur.

Cette donnée est très intéressante pour les matériaux hétérogènes tels que le béton armé qui commence à être fissuré ou le bois. Ce qu'il n'est pas possible d'obtenir avec les jauges de contrainte classiques, de 1 ou 2 cm de longueur, qui risquent de se trouver sur la fissure elle-même ou entre deux fissures où il n'y a pas d'élongation. ▽

2- François-Baptiste Cartiaux, directeur scientifique de Osmos Group.

3- La Sagrada Família de Antoni Gaudí à Barcelone sur laquelle Osmos est intervenu.

4- Les tours de la société Générale à Paris-La Défense.

précisément de l'information sur les structures de génie civil, en utilisant au passage les systèmes qu'il développait déjà mais en faisant également appel à d'autres mesures lorsque cela s'avérait nécessaire. Le résultat final est une





5

© OSMOS



6

© OSMOS

Le fait d'avoir une valeur moyenne de la déformation est à l'échelle des dimensions des structures de génie civil courantes.

Dans le cas de l'auscultation d'un pont, par exemple, les cordes sont installées sous les voûtes et sur les piles. La détermination préalable d'un seuil de comportement dit "normal" de la structure et d'un seuil "d'alerte" per-

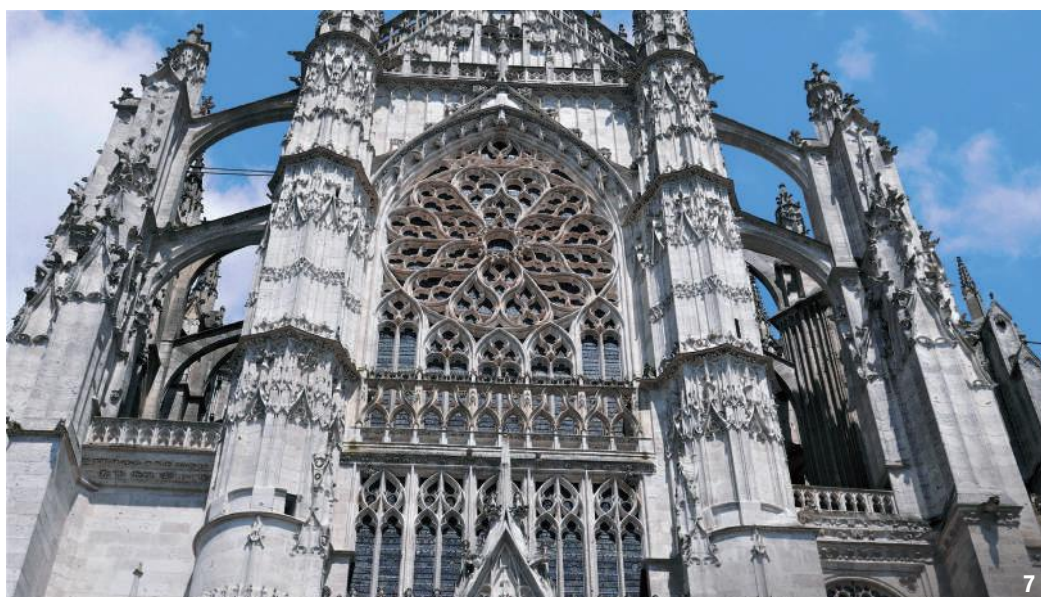
met au système de vérifier la réversibilité des déformations liées aux charges de service du pont. En cas de non-retour élastique, le gestionnaire a la possibilité d'être alerté en temps réel pour prendre les décisions qui s'imposent. Les données croisées des Cordes Optiques permettent de conclure sur la vitesse d'évolution des éventuelles faiblesses et donc sur le niveau de

renforcement et de dépense à engager. Le suivi par Corde Optique permet de lever les doutes, d'échapper à l'urgence, de préserver les infrastructures, mais également de faire les bonnes économies en termes de travaux. La précision des capteurs permet la détection d'une pathologie bien avant l'apparition de critères visuels souvent synonymes de travaux lourds et de coûts importants.

21 PAYS DANS LE MONDE

Plus de 1 000 structures dans le monde sont équipées des solutions Osmos à travers 25 domaines d'application. Cette technique de pointe s'est exportée à l'international.

Osmos réalise actuellement un chiffre d'affaires de 15 M€ avec un effectif de 80 personnes. Le siège de la société est à Paris, dans les locaux du



7

© PASCAL GRANDJORGE

5- Le pont d'Austerlitz à Paris.

6- Le pont de Seyssel sur le Rhône.

7- La cathédrale Saint-Pierre de Beauvais possède de le plus haut chœur gothique au monde - 48,50 m - sous voute.

8- Les étais en bois dans la cathédrale de Beauvais.

9- Capteurs à fibre optique sur les piliers de Saint-Pierre de Beauvais.



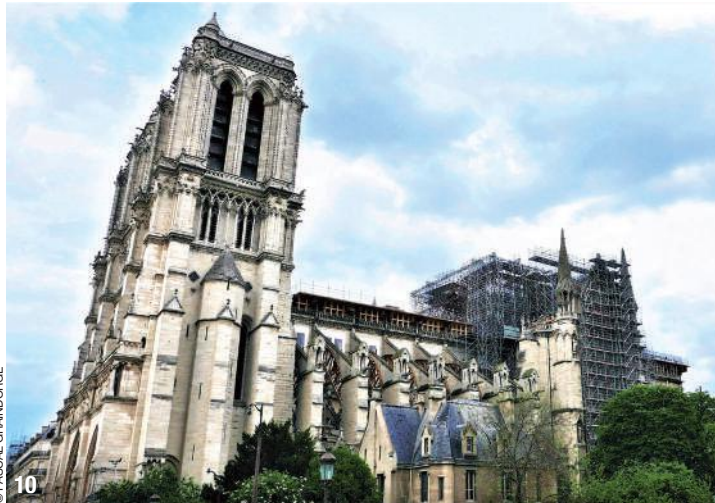
8

© OSMOS



9

© OSMOS



© PASCAL GRANDORGE

10

11

© OSMOS

groupe Eren, expert dans l'économie des ressources naturelles, dont fait partie Osmos. Elle dispose d'un atelier à Taverny, dans la région parisienne, et de quelques sites de production en sous-traitance en Normandie ainsi que de 6 agences régionales pour la mise en œuvre et l'installation des dispositifs ainsi que des relations avec les clients assurant une couverture totale du territoire : Auvergne-Rhône Alpes, Grand Ouest, Méditerranée, Nord, Normandie, Sud-Ouest.

« À l'étranger, Osmos a des filiales en propre, poursuit François-Baptiste Cartiaux, au Benelux et en Grèce. Ailleurs il travaille avec des partenaires, au titre de support technique, essentiellement le Bureau Veritas qui bénéficie d'une empreinte internationale. Un partenariat a été notamment conclu avec Bureau Veritas pour développer la prochaine génération de services intégrés d'inspection et de surveillance de la santé des structures, pilotés par des analyses avancées, pour le marché du bâtiment et des infrastructures ».

Osmos est également présent en Italie qui représente un marché important,

en Turquie, en Espagne, au Japon de longue date avec JGC (Japan Gas Corporation), en Israël, à Taïwan avec San Lien et en Inde. Son activité est régulière au Benelux, en Italie, en Grèce et au Japon, où il se concentre principalement sur le suivi des ouvrages d'art anciens qui ne relèvent pas de l'expertise sismique, domaine dans lequel le Japon est passé maître, mais de l'expertise en continu pour des problèmes de vieillissement de l'ordre de la détérioration chimique des bétons et des fatigues de l'acier.

10- Notre-Dame de Paris en mai 2020 pendant les travaux.

11- Les capteurs à corde optique sur les arcs-boutants de la cathédrale Notre Dame.

12- Matériel d'auscultation Osmos dans la cathédrale de Paris.

TROIS DOMAINES D'ACTIVITÉ

L'activité d'Osmos se répartit à 30% dans les ouvrages d'art, 30% dans l'industrie - silos chimiques et agricoles, ponts roulants, grues de manutention... et 40% dans le "bâtiment" avec des interventions dans deux domaines distincts : le patrimoine ancien et les établissements recevant du public, dont les immeubles de grande hauteur. Pour les ouvrages d'art, en particulier dans le cas des ponts courants le plus souvent en béton armé du réseau départemental en France, l'installation de cordes optiques a pour objet de mesurer leur déformation sous l'effet principalement des charges roulantes et de vérifier ainsi que les déformations et donc les contraintes dues à la flexion du tablier lors du passage des charges sont dans des marges raisonnables et, surtout, restent constantes dans le temps. « Dans l'industrie, les problématiques des équipements sont nombreuses et c'est d'ailleurs un domaine dans lequel l'approche d'avoir des informations continues est beaucoup plus mûre que pour les ouvrages d'art, précise le directeur scientifique d'Osmos.

Les industriels ont l'habitude de recourir au monitoring dans les salles de contrôle des process industriels. Osmos ajoute une donnée sur la réaction de la structure quand elle est chargée. Cela fonctionne particulièrement bien pour les ponts roulants dont la fonction unique est de porter et déplacer des charges. Nous vérifions que les contraintes dues à la flexion sur les assemblages ou dans les travées des ponts roulants sont acceptables. Si jamais, à l'occasion d'une charge un peu exceptionnelle ou du fait du vieillissement du pont, elle dépasse une valeur "X", nos équipements donnent une alerte instantanée et, à plus long terme, il est également possible d'utiliser les valeurs transmises pour réaliser des analyses de fatigue à partir des vrais cycles de déformation de l'ouvrage et non à partir d'hypothèses sur les charges ».

Les monuments historiques sont très mal connus et la démarche, pour les inspecter et les surveiller, est très différente de celle de l'industrie. On y détecte des évolutions plutôt lentes mais qui seraient difficiles à prévoir et à modéliser.



13
© DR



14
© OSMOS

Le second domaine du bâtiment dans lequel intervient Osmos est celui des établissements recevant du public et principalement des IGH tels qu'on en trouve en nombre important notamment à La Défense. En France, ce marché est assez minoritaire mais il constitue un gros marché potentiel à l'étranger en particulier dans les pays en zone sismique.

À La Défense, les problématiques sont plutôt sur les éventuels reports de charge sur les éléments porteurs au niveau des fondations en raison d'aléas sur le sol, en particulier avec les travaux en cours du Grand Paris Express.

Sur les trois tours de la Société Générale, par exemple, des capteurs par Cordes Optiques mesurent les allongements ou raccourcissements des piliers porteurs à la base des ouvrages. Osmos étudie ainsi les changements éventuels de répartition des charges entre les piliers.

AUTOUR DE QUELQUES RÉFÉRENCES

Sans entrer dans le détail des très nombreuses références dont peut faire état la société, quelques-unes d'entre elles permettent de mieux cerner son approche tant dans le domaine des ouvrages d'art que des monuments historiques ou de bâtiments à l'architecture exceptionnelle tels que la Fondation Louis Vuitton ou le Stade de France.

À Paris, le pont d'Austerlitz qui supporte la ligne 5 du métro parisien entre les stations Gare d'Austerlitz et Quai de la Râpée, est instrumenté par Osmos depuis 2010 avec du matériel d'acquisition qu'il est d'ailleurs prévu de renouveler prochainement tandis que les capteurs ont fait et font la preuve de leur fiabilité et de leur robustesse dans le temps. « C'est un bon exemple de suivi de longue durée, précise François-Baptiste Cartiaux. La première

13- Les propylées, porte d'entrée monumentale de l'acropole d'Athènes.

14- Les capteurs à corde optique sur les propylées de l'acropole.

15- Le toit du stade de France à Saint-Denis.

16- La fondation Louis Vuitton dans le Bois-de-Boulogne.

intervention d'Osmos sur cet ouvrage remonte à une campagne de travaux de maintenance effectuée par la RATP et le dispositif mis en place à cette occasion est resté à demeure ».

Sur le Rhône, entre les départements de la Haute-Savoie et de l'Ain, le pont de Seyssel, pont suspendu à haubans datant de 1987, est suivi depuis déjà très longtemps par le Cerema⁽¹⁾ pour des problèmes de réaction sulfatique interne dans les parties en béton.

Le sujet complémentaire pour lequel Osmos a été appelé sur cet ouvrage est



15
© OSMOS



16
© MARC MONTAGNON

la surveillance du pylône en béton qui a été instrumenté pendant deux ans avec, pour mission, de qualifier sa déformation sous l'effet des charges roulantes tant en fonction des variations du trafic liées à la saisonnalité qu'au vieillissement dans le temps.

DES MONUMENTS HORS DU TEMPS

En matière de monuments historiques, l'une des belles références d'Osmos est la cathédrale Saint-Pierre de Beauvais, dans l'Oise.

Depuis 2014, Osmos analyse le comportement structurel du monument, en particulier celui des piliers associés aux étais. Cet ouvrage est déséquilibré puisqu'il lui manque la nef ce qui perturbe l'équilibre des forces.

Au début du XXI^e siècle et bien qu'étroitement surveillée, la cathédrale reste un édifice fragile face aux vents et aux tempêtes. Pourtant, contrairement à une légende tenace, l'édifice est solidement ancré sur des fondations parfois profondes de plus de dix mètres pour reposer sur un sol stable composé de roches dures. Mais, la très grande hauteur de la cathédrale - le transept a une hauteur de 48 mètres - et le fait qu'elle ne soit pas épaulée à l'ouest par une nef provoque une certaine fragilité. À l'occasion de grandes tempêtes à la fin du XX^e siècle, il a été décidé de placer des étais en bois sur certains piliers du transept. La question est de connaître leur utilité. Est-il possible de les enlever ce qui rendrait à la cathédrale un potentiel architectural, culturel et touristique meilleur que celui partiellement détérioré par la présence des étais. « Avec nos capteurs installés sur les étais et les piliers, indique François-Baptiste Cartiaux, nous arrivons à mesurer la "respiration" de la cathédrale, ses mouvements en fonction des saisons. S'il était décidé, non pas de retirer mais de désactiver, les étais, Osmos serait en soutien à l'opération pour mesurer en direct la conséquence de l'opération sur la répartition des charges dans les piliers ».

NOTRE DAME DE PARIS : DANS UN CONTEXTE D'URGENCE

L'incendie qui a ravagé Notre-Dame de Paris a pris vers 18h50 le lundi 15 avril 2019. Le feu est parti des combles, puis s'est propagé extrêmement vite à une grande partie du toit.

Les flammes ont dévoré la charpente, longue de plus de 100 mètres et baptisée... "la forêt". Vers 19h50, la flèche de la cathédrale, l'un des symboles de



17
© OSMOS

17- Un capteur LIRIS sur site.

18- Vue d'ensemble d'un capteur LIRIS.



18
© OSMOS

Paris avec ses 93 mètres de hauteur, s'est effondrée.

« C'est dans un contexte d'urgence impérieuse qu'Osmos a été appelé à la suite de l'incendie, indique François-Baptiste Cartiaux, pour installer plusieurs capteurs à peine une semaine après la catastrophe. Il fallait aller très vite avec des enjeux assez divers. Il fallait notamment vérifier la stabilité des voûtes et s'assurer que la chute de

certaines parties n'avait pas provoqué de mouvements trop importants de la nef elle-même en maçonnerie sachant qu'aujourd'hui, avec les étais en bois mis en place depuis, le problème est moins prégnant. Aujourd'hui, nous poursuivons nos actions sur le chantier sous la conduite de l'établissement public présidé par le Général Georgelin - maître d'ouvrage - et participons notamment à une opération importante : le démontage de l'échafaudage sinistré durant l'incendie et qu'il faut donc "démanteler" dans un premier temps, puis évacuer. L'opération est engagée. L'échafaudage a été entièrement ceinturé afin de le sécuriser. Mais il convient, à chaque retrait d'un morceau d'échafaudage, de vérifier la

stabilité de la nouvelle répartition des charges sur les structures en place. À cet effet, Osmos a installé sur différentes parties de cet échafaudage une vingtaine de capteurs - inclinomètres et Cordes Optiques - ainsi qu'un dispositif d'alerte automatique afin de prévenir les équipes présentes sur le chantier et la maîtrise d'œuvre en cas de comportement anormal de la structure. Avec en complément le suivi de voûtes, des murs gouttereaux et des arcs-boutants Osmos surveille en continu 24h/24 le comportement mécanique de l'ouvrage avec plus d'une centaine de capteurs ». Autre monument historique sur lequel intervient Osmos : les Propylées d'Athènes, en Grèce. Sur ces propylées qui constituent l'entrée monumentale de l'Acropole (V^e siècle avant J.C), le suivi permanent mis en place par Osmos depuis 2015 a pour but de vérifier la stabilité de l'enrochement sur lequel s'appuient les murs en maçonnerie, en particulier qu'il n'y a pas de déchargement de l'assise ni de séparation avec le reste du bâtiment, d'où la présence d'une instrumentation à la fois horizontale et verticale.

STADE DE FRANCE : UN TOIT SOUS SURVEILLANCE ACTIVE

Il ne s'agit pas d'un monument historique mais son existence est mondialement connue par les amateurs de sports et de spectacles : le Stade de France à Saint-Denis, dans la région parisienne.

Pour le Stade de France (1998) dont le toit en charpente métallique est une structure flottante de 46 mètres au-dessus de la pelouse suspendue à 18 pylônes en acier, Osmos a mis en place une instrumentation surveillant les déformations de la charpente en fonction des conditions de vent.

Enfin, pour la Fondation Louis Vuitton, dans le Bois-de-Boulogne, à Paris, Osmos est intervenu pendant la phase de travaux pour vérifier que l'ajout à une sous-structure en béton armé déjà en place d'une superstructure complémentaire mixte bois/acier/verre n'entraînait que la charge supplémentaire prévue dans les calculs initiaux.

CORDE OPTIQUE : SUR SECTEUR OU SANS FIL

Le système Osmos est basé sur la fibre optique qui transcrit de manière extrêmement précise l'état de santé de tous types d'ouvrages à l'aide de deux familles de capteurs : la gamme EDAS, sur secteur, et la gamme LIRIS, sans fil sur batterie. ▶

Pour la solution sur secteur, la station de monitoring permet d'intégrer l'ensemble des capteurs disponibles sur le marché (Corde Optique, extensomètre, inclinomètre, accéléromètre...), avec une fréquence d'échantillonnage allant jusqu'à 100 Hz et est dotée d'un système de notification SMS ou email pour signaler tout dépassement du seuil fixé au préalable.

Elle est reliée à un réseau de capteurs filaires. Le nombre de stations intelligentes mises en réseau est illimité. Chacune peut accueillir jusqu'à 12 capteurs optiques et 18 capteurs analogiques externes.

Elle permet d'intégrer la majorité des capteurs analogiques disponibles sur le marché via les interfaces d'entrées de la station d'acquisition 0-10 V et 4-20 mA : accéléromètres, anémomètres, girouettes, extensomètres, hygromètres, inclinomètres, piézomètres, sondes de température, pluviomètres, jauges de contrainte.

Ce dispositif assure un suivi complet des structures et les données sont consultables en temps réel sur l'interface client web via le réseau ADSL, 3G ou 4G. Gainée et flexible, la corde optique peut être coulée dans le béton

OSMOS EN BREF

En optimisant les conditions d'exploitation des structures, Osmos allonge leur durée de vie, prévenant ainsi des rénovations lourdes ayant un fort impact économique et environnemental.

Grâce à sa technologie, Osmos connaît en temps réel l'état de santé d'un ouvrage à chaque étape de son cycle de vie quelle que soit sa nature :

- Contrôle et suivi d'exploitation,
- Contrôle de l'intégrité structurelle et suivi pour la levée de doutes,
- Suivi d'opérations de travaux et prévention des avoisinants,
- Suivi pour la maintenance et la réhabilitation,
- Contrôle et suivi d'utilisation des équipements industriels,
- Suivi des aléas climatiques et impacts sismiques.

des constructions et ainsi être intégrée aux fondations pour un suivi tout au long du cycle de vie de l'ouvrage.

Pour la solution sans fil et sur batterie, la mini station autonome LIRIS mesure les déformations sur une base longue (1 ou 2 mètres de long), avec une fréquence d'échantillonnage allant jusqu'à 50 Hz. Facile à manipuler et à installer, sa batterie peut être également déportée.

Parmi ses caractéristiques : installation et configuration rapide, facilement

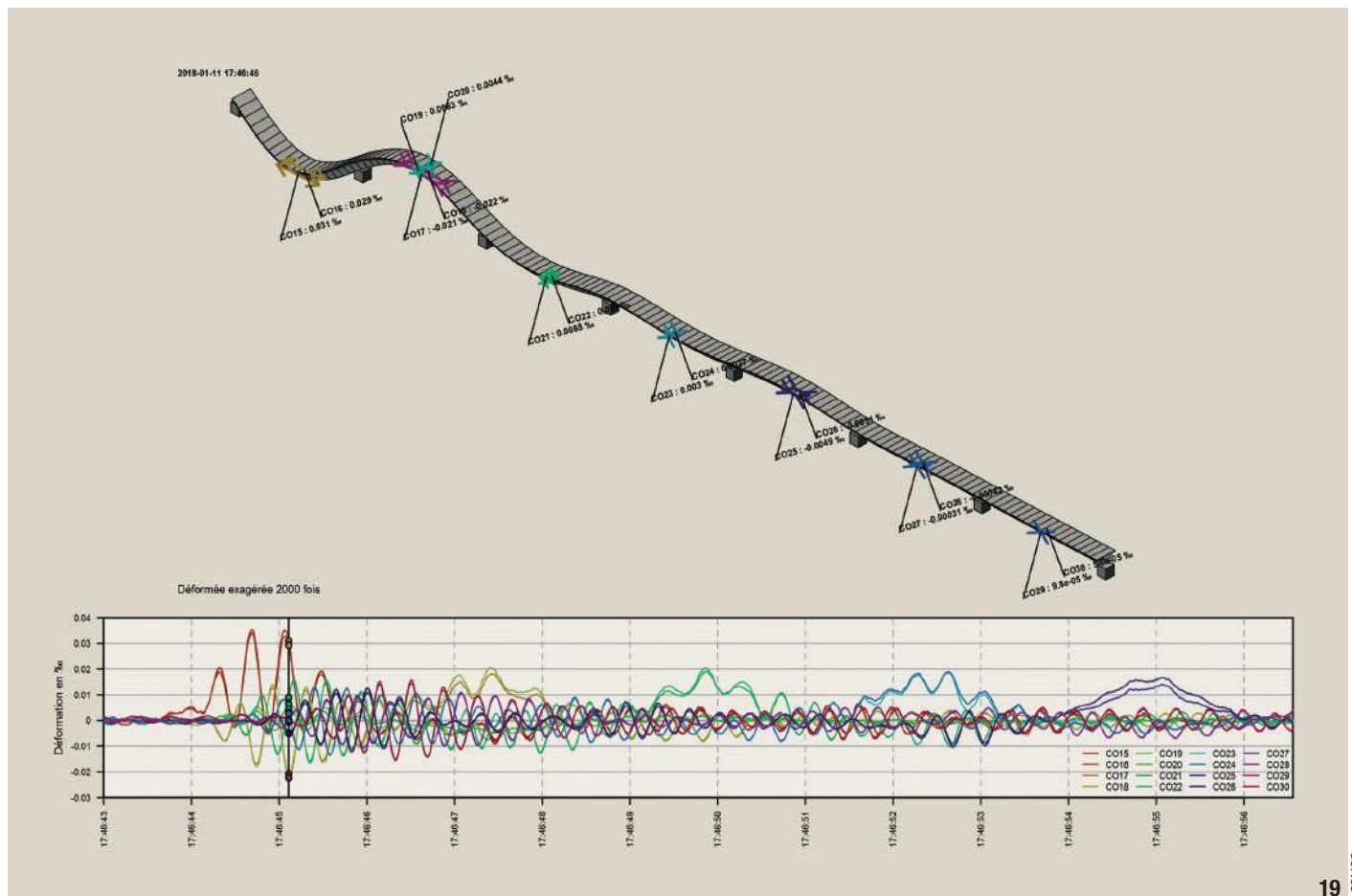
19- Lors du passage d'un camion, reconstitution à un instant " T " de la déformation due à la flexion d'un pont routier à 7 travées sur chaque travée duquel sont installés 2 ou 4 capteurs à corde optique.

déplaçable, autonomie jusqu'à 18 mois. Pour les mesures statiques, les mesures sont effectuées à une fréquence d'échantillonnage de 100 Hz. À partir de ces différentes valeurs, dans un intervalle configurable entre une seconde et une heure (pour la solution filaire), le système enregistre une valeur dite statique.

Pour les mesures dynamiques, un seuil dynamique est configurable sur le système pour chacun des capteurs. Si la mesure dépasse ce seuil dynamique, les valeurs brutes mesurées à 100 Hz avant et après l'événement sont enregistrées avec une durée d'enregistrement configurable. La prise de mesure à 100 Hz en continu sans déclenchement de seuil, dite " temps réel ", est également possible à la demande, sur des durées de plusieurs heures si nécessaire.

VERS UNE SURVEILLANCE CONTINUE

L'un des objectifs de l'entreprise est de dépasser la seule surveillance ponctuelle des ouvrages, même si elle est de longue durée, mais d'obtenir une surveillance continue dans le temps des structures de génie civil afin qu'elle





20

© OSMOS



21

© OSMOS

fasse partie intégrante de la gestion d'un ouvrage et de son cycle de vie. L'idée est d'ajouter une démarche d'information en continu en plus de la démarche de contrôle habituelle d'inspection annuelle, voire moins fréquente, qui ne donne aucune information permanente entre deux inspections. Son corollaire étant la possibilité d'être alerté au bon moment en cas d'anomalie. « Dans la pratique, cette démarche n'est pas encore mature au niveau du marché dans le secteur des ouvrages d'art, précise François-Baptiste Cartiaux, beaucoup moins que dans l'industrie, par comparaison, dans le sens où rien n'oblige le responsable d'une structure de génie civil à la surveiller en continu. Dans les référentiels pour les ouvrages d'art, par exemple, la notion

20 & 21 - Capteurs sous le tablier d'un pont routier.
22- Tablette de relevé des données transmises par les capteurs à corde optique.

de télésurveillance, réalisée le plus souvent par prises de mesures topographiques avec une station automatisée, n'est engagée que pour les cas critiques afin de décider la fermeture d'un pont lorsqu'il est déjà dans un état qui inspire beaucoup d'inquiétudes ». Qu'il s'agisse de capteurs sur secteur ou de capteurs sans fil, la masse de

données recueillies est considérable. Dans le cas de la surveillance d'un pont à 7 travées dont nous reproduisons par ailleurs les courbes des résultats à un instant "T", il est possible de reconstituer de manière accessible et utile pour les clients les résultats des mesures brutes continues fournies par les capteurs. Pour Osmos, il n'est pas question de fournir des données brutes qui donnent des volumes déraisonnables : entre 1 et 10 Go de données par mois, pour l'exemple du pont cité précédemment, et encore après analyse et filtrage des données et conservation uniquement de celles correspondant à une vibration ou une déformation rapide de l'ouvrage (100 points/sec lorsqu'il y a du mouvement).

« Ces données sont difficiles à interpréter, précise-t-il. Un important travail de recherche est en cours à ce sujet chez Osmos afin de synthétiser et vulgariser mieux encore les données pour les rendre accessibles aux clients qui sont souvent des maîtres d'ouvrage et les transformer en indicateur pertinent sur les cinétiques de vieillissement d'ouvrage, par exemple, ou en alertes intelligentes directement exploitables ».

Des recherches font l'objet de partenariats avec des institutions, qui prennent la forme de financement et de suivi de thèse ou de missions de conseil émanant de chercheurs dont c'est la spécialité. Osmos a ainsi des conventions avec l'université Gustave Eiffel (anciennement IFSTTAR), l'École des Pont et Chaussées ainsi que les universités de Strasbourg et du Mans.

Un programme est en cours de développement dans le domaine des aléas climatiques (vents forts, tempêtes, gel) et des impacts sismiques. L'objectif est de récolter les effets de ces événements sur des structures telles que les grands ponts, les grandes cheminées, les cheminées historiques.

Pour les aléas sismiques qui constituent de gros enjeux au Japon, naturellement, mais aussi en Grèce, en Italie et en Turquie, des développements sont effectués par les partenaires d'Osmos en Turquie et à Taïwan ce qui lui permet d'inclure dans son offre un produit dénommé "Safe Building" qui consiste, à partir des mesures prises en continu lorsqu'un séisme arrive, de qualifier la réponse des structures et de détecter des anomalies en termes de signature dynamique. □



22

© OSMOS

1- **Cerema** : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement.

Tête de pilier.
Column's head.
© ALINE BOROS

HORTA
COSLADA

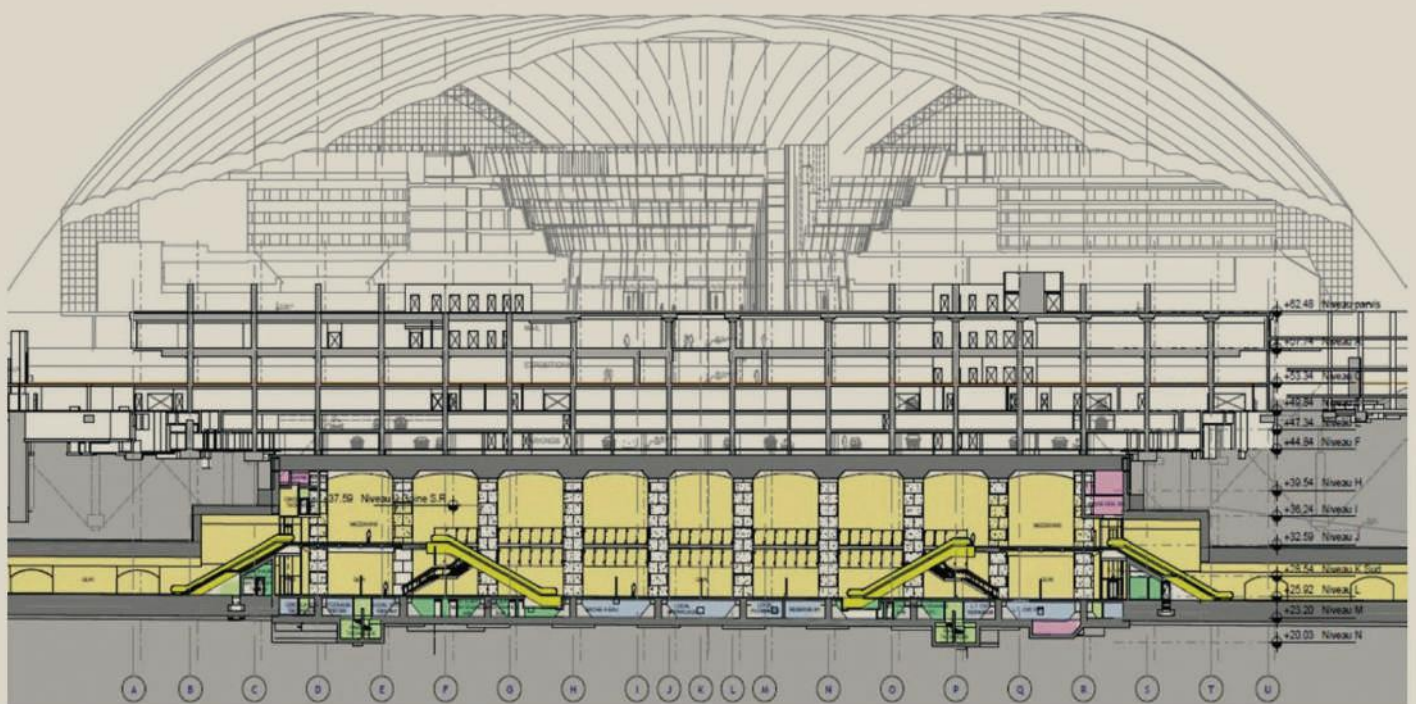


PROLONGEMENT DU RER E : GARE DU CNIT ET TUNNELS AVOISINANTS

AUTEURS : GUILLAUME D'OUINCE, RESPONSABLE D'ÉTUDES EDEF, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - THOMAS LACOUR, DIRECTEUR TECHNIQUE EDEF, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - GUILLAUME GEHU, RESPONSABLE CONTRAT, SIXENSE SOLDATA - VINCENT RIGOUX, DIRECTEUR DE PROJET ADJOINT L15 LOT T3C, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - ARNAUD BORDET, INGÉNIEUR TRAVAUX PRINCIPAL, VINCI CONSTRUCTION FRANCE

LES TRAVAUX DE PROLONGEMENT DU RER E DANS LE SECTEUR DÉFENSE ONT NÉCESSITÉ LA REPRISE EN SOUS-ŒUVRE D'UN BÂTIMENT EXISTANT EN EXPLOITATION SITUÉ SOUS LA VOÛTE EN BÉTON ARMÉ DU CNIT. CET ARTICLE DÉTAILLE LES MODALITÉS TECHNIQUES AYANT PERMIS CETTE REPRISE EN SOUS-ŒUVRE PRÉALABLE ET LE TRANSFERT DES CHARGES EXISTANTES SUR L'OUVRAGE GARE DÉFINITIF.

COUPE D'ENSEMBLE PROJET AVEC EXISTANT



1

© AGENCE DUTHILLEUL

L'immeuble construit dans les années 1980 sous la voûte du CNIT, comporte un centre commercial en élévation et cinq niveaux de sous-sol abritant parking et locaux commerciaux (figure 1). L'emprise de la gare projetée se trouve au droit des fondations superficielles de ces

1- Coupe d'ensemble projet avec existant.

1- Overall cross section of the project with existing situation.

poteaux, mais n'interfère pas avec les culées de la voûte qui se trouvent à distance de la zone de travaux.

Durant toutes les phases de reprise en sous-œuvre, l'enjeu principal est le maintien de cet ERP (établissement recevant du public) en exploitation. L'impact des travaux vis-à-vis des

commerces et du public doit donc être minimale, tant en termes de nuisances sonores que vibratiles. L'immeuble est pris en charge à partir du niveau de parking le plus profond.

Cette opération est schématiquement réalisée en plusieurs étapes (figures 2 à 5).

Le transfert provisoire des 117 poteaux existants sur une structure de reprise provisoire (figure 2), la dépose des fondations et construction de la structure de reprise définitive (dalle épaisse appuyée sur 56 nouveaux piliers (figure 3), le transfert sur cette structure de reprise définitive (figure 4), le terrassement et réalisation en taupe de la gare (figure 5).

TRANSFERT DES 117 POTEaux EXISTANTS SUR UNE STRUCTURE DE REPRISe PRoVISOIRe

Ce premier transfert de charges consiste à faire transiter les efforts de chacun des 117 poteaux non plus par les semelles des poteaux de l'existant posées sur le calcaire de La Défense mais à travers le dispositif temporaire constitué d'un ensemble de micropieux, charpentes métalliques et corset précontraint sur le fût du poteau. Cela implique un vérinage afin de garantir un transfert actif et contrôlé de la charge, via un étage de vérins situés en tête de massif des micropieux (figure 6). Le système a été conçu pour être le plus compact possible du fait de la hauteur limitée du parking, le moins invasif pour le poteau existant (l'ensemble de la charge passant par frottement à l'interface précontrainte poteau - corset) et le plus robuste possible (redondance en cas de rupture ou endommagement de certains organes du dispositif).

CONCEPTION DU SYSTÈME DE REPRISe EN SOUS ŒUVRE PRoVISOIRe

Le maintien constant de la géométrie et des charges appliquées aux poteaux existants était la garantie de ne

pas endommager l'immeuble pendant l'opération. Des seuils de tolérance sur les déplacements relatifs entre pieds de poteaux (le déplacement différentiel ne peut excéder 1,2 mm/m, un seuil de vigilance est fixé à 0,5 mm/m et un seuil d'alerte à 0,9 mm/m) ont été

définis, soit un travail dans une enveloppe de 2 mm.

Il a donc été conçu un système qui permette de lever et de supporter un tel poids sans provoquer de variation de niveau, puis un système de surveillance qui garantisse que les efforts appliqués

sur les poteaux et les niveaux restent pratiquement constants, jusqu'au moment où les charges pourront être rétablies sur la dalle de transfert (structure de reprise définitive).

Des réflexions poussées sur les coefficients de sécurité ont été menées

2- Transfert provisoire des 119 poteaux existants sur une structure de reprise.

3- Dépose des fondations existantes et construction de la structure de reprise définitive.

4- Transfert sur la structure de reprise définitive.

5- Terrassement et réalisation en taupe de la gare.

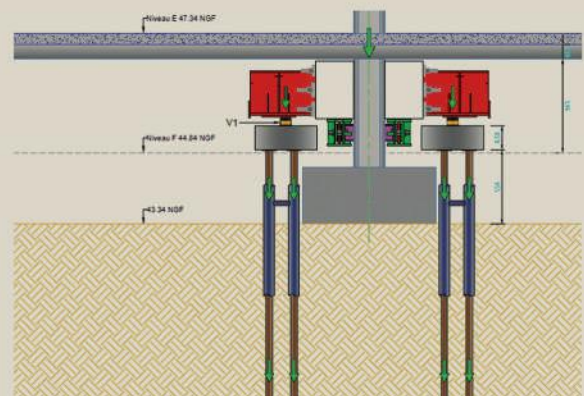
2- Temporary transfer of the 119 existing columns onto an underpinning structure.

3- Removal of existing foundations and construction of the final underpinning structure.

4- Transfer onto the final underpinning structure.

5- Earthworks and construction of the station by top-down excavation.

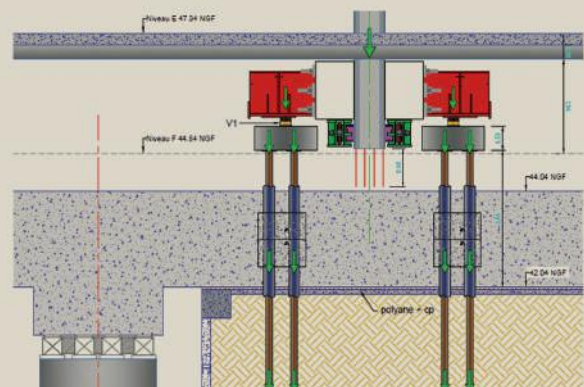
TRANSFERT PRoVISOIRe DES 119 POTEaux EXISTANTS SUR UNE STRUCTURE DE REPRISe



2

© PHOTOThèque VINCI ET FILIALES

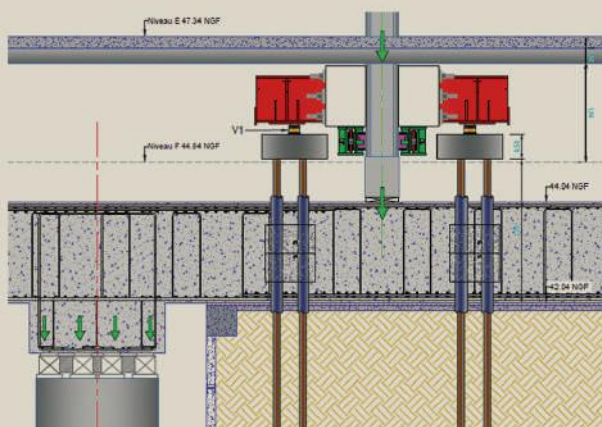
DÉPOSE DES FONDATIONS EXISTANTES ET CONSTRUCTION DE LA STRUCTURE DE REPRISe DÉFINITIVE



3

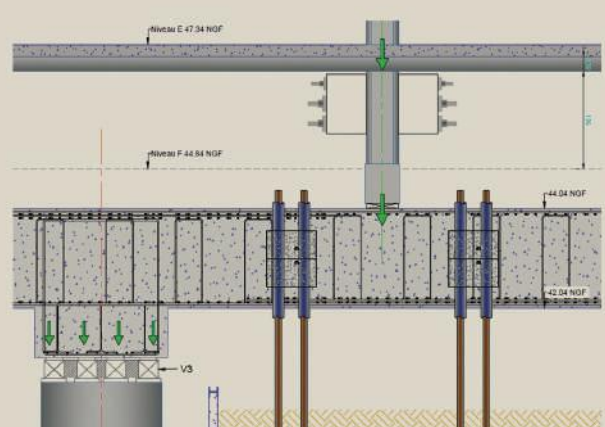
© PHOTOThèque VINCI ET FILIALES

TRANSFERT SUR LA STRUCTURE DE REPRISe DÉFINITIVE



4

TERRASSEMENT ET RÉALISATION EN TAUPe DE LA GARE



5

© PHOTOThèque VINCI ET FILIALES



© PHOTO THÉÂTRE VINCI ET FILIALES

6

afin de définir pour cette phase des instructions précises de poursuite ou d'arrêt des opérations, d'autant que la résistance des bétons de l'immeuble s'est avérée sensiblement plus faible que celle spécifiée dans les documents de récolement de l'existant.

Au final, 117 poteaux ont été repris en sous œuvre via 750 vérins, pour un total de 65 000 t de descente de charge. Pour chacun de ces poteaux, un dispositif particulier de reprise en sous-œuvre a été imaginé et défini, dimensionné avec la charge théorique assortie de plusieurs jeux de coefficients de sécurité.

Enfin, une charge maximale admissible de vérinage a été définie sur la base de la résistance intrinsèque du béton des 117 poteaux mesurée par écrasement d'éprouvettes prélevées sur tous les fûts de poteaux.

La figure 7 montre le principe retenu pour la reprise en sous œuvre des poteaux courants.

La charge des poteaux existants (en beige sur la figure 7) est reprise par les corsets béton précontraints (en gris sur la figure 7). Le corset béton est appuyé sur une charpente métallique constituée de poutres primaires (en rouge sur la figure 7) et secondaires (en vert sur la figure 7). La poutre secondaire

6- Vue d'ensemble du système provisoire de RSO d'un poteau.

6- General view of a column's temporary underpinning system.

repréend la charge qui transite vers les primaires via des bretelles articulées (en jaune sur la figure 7) au moyen d'un axe. Ce système articulé permet de répartir uniformément la charge sur le profil secondaire lors du vérinage des poutres primaires. Les poutres primaires sont vérinées via 4 ou 8 vérins appuyés sur les chevêtres béton (en gris sur la figure 7) des micropieux (en bleu sur la figure 7) qui sont profondément ancrés dans le sol calcaire.

Les efforts horizontaux, liés aux efforts parasites rapportés par les micropieux ou au choc, sont repris par le système de butées supérieures (en vert sur la figure).

Les transferts de charges provisoires ont mis en évidence un pesage réel de 100 t par poteaux pour un total

de 65 000 t. Alors que les travaux de construction de la structure définitive sont en cours au milieu de ces structures provisoires, un système d'auscultation et un pilotage détaillé ci-après permet de contrôler les évolutions des charges et les déformations.

SYSTÈME D'AUSCULTATION

Les instruments mis en œuvre :

La criticité et la difficulté de ces opérations de reprise en sous œuvre a nécessité la mise en place d'instruments de mesures de haute précision (figure 8). La première étape fut la définition des paramètres pouvant permettre l'interprétation des phénomènes observés pendant les phases de levage, cette phase est la phase dite de "pilotage". Les paramètres retenus furent les suivants :

→ L'évolution de l'altitude des poteaux au moyen de réseaux de téléniveaux hydrauliques encore appelés "pots à eaux" (134 capteurs au total). Ce système consiste en une série de capteurs connectés entre eux au moyen d'une conduite remplie de liquide, reliée à un réservoir de référence. La mesure de la pression du fluide à l'intérieur de chaque point d'installation des capteurs indique la différence de hauteur entre les cap-

teurs et le réservoir de référence. La limite de ce type de capteur étant la longueur des réseaux ainsi que le besoin d'utiliser une référence pour l'ensemble des capteurs d'un réseau, un algorithme de calcul en bloc a été développé pour l'occasion. Ce procédé a permis d'obtenir des variations d'altitude absolue (en fait relative par rapport aux références sélectionnées) et non des mouvements relatifs par rapport à une référence potentiellement dans la zone d'influence. Ce procédé a permis la détection de mouvements submillimétriques de chacun des appuis de la structure.

→ L'évolution des contraintes dans les poteaux au moyen de 334 jauges de contraintes.

→ La pression dans les vérins au moyen de 117 manomètres digitaux.

L'ensemble de ces instruments de mesure est connecté à des centrales d'acquisition dans une salle dédiée installée sur le chantier afin d'être au plus près des actions de vérinage et de pouvoir interroger les capteurs à haute fréquence (fréquence d'acquisition pendant la phase de pilotage : 2 min). Le déploiement d'un réseau de plus de 20 km de câble a été nécessaire à la mise en place d'un tel dispositif. ▷

La phase de pilotage :

Dans le souci de mettre à disposition les données le plus rapidement possible lors de la phase de reprise en sous œuvre et de découpe des pieds de poteaux existants, une base de données locale a été mise en place spécifiquement avec une réplique automatisée sur la base de données principale du projet EOLE. Au vu des enjeux, une astreinte présenteielle 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 a été mise en place afin de parer à toute éventualité dans un délai minimal.

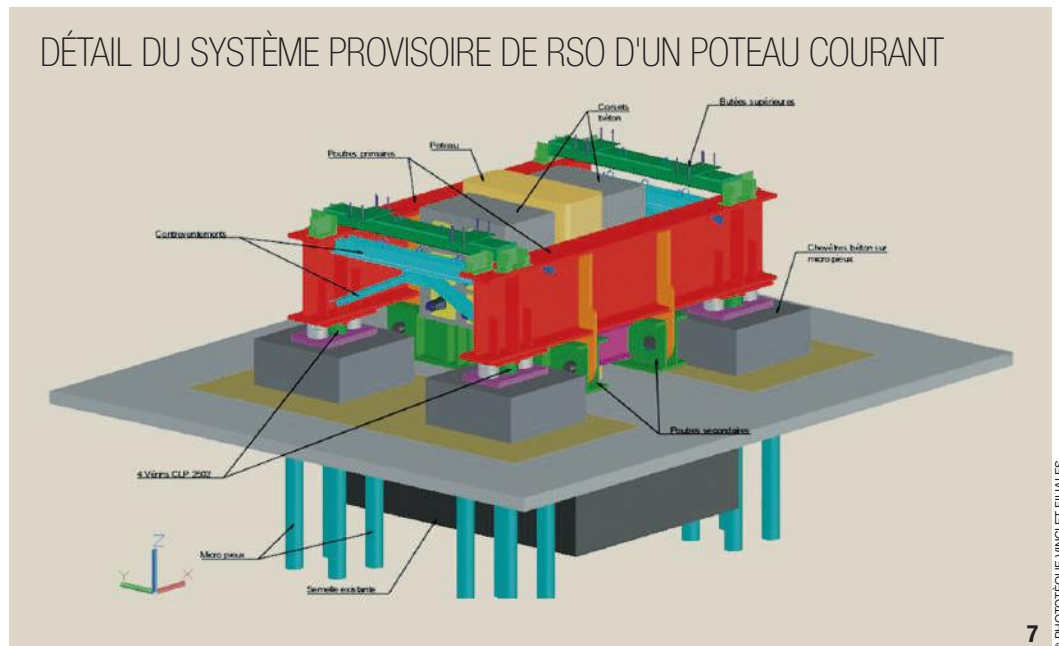
Durant les phases de levage, le cercle décisionnel étant basé sur les données d'auscultation, une interface graphique est mise à disposition des différents acteurs du projet afin de pouvoir agir au plus vite et au plus précis.

La phase de suivi :

La phase dite de suivi est la phase permettant de gérer l'évolution dans le temps des comportements des poteaux jusqu'à leur repose sur la dalle de transfert. Au moyen de tableaux de bord, les équipes du projet ont donc analysé hebdomadairement les variations de charges, de nivellement et de contraintes dans les poteaux. Cette analyse fine du flux de plus de 17 000 valeurs par heures est cruciale dans la maîtrise du risque lié à ce genre d'opération (figure 9).

Les prises en charge des 117 poteaux se sont échelonnées sur une période de 16 mois, du premier levage effectué de nuit pour valider les critères décisionnels de coupe et vérifier le comportement et les reports de charge jusqu'aux derniers poteaux coupés en plein jour, jusqu'à 4 par demi-journée. Durant cette période, le pilotage a nécessité une attention constante et a généré presque 500 interventions de recalage des pressions dans les vérins afin de rester dans une enveloppe de déformée inférieure à 1,5 mm (effet du tassement/tassement sous charge des micropieux/fuites aux vérins/rechargement d'un poteau sur l'autre). Le suivi des charges a montré une très faible évolution de celles-ci, la variation globale notée étant inférieure à 2%. Les charges pesées ont parfois été éloignées de celles théoriques, mais couvertes par l'analyse critique de ces dernières, faite au démarrage des études, et le coefficient de sécurité retenu.

Les reports de charges constatés lors des levages, d'un poteau sur l'autre ont été plus faibles que ceux estimés, mais il a été mesuré des valeurs allant jusqu'à 50 t/mm. Les pertes de pré-



7

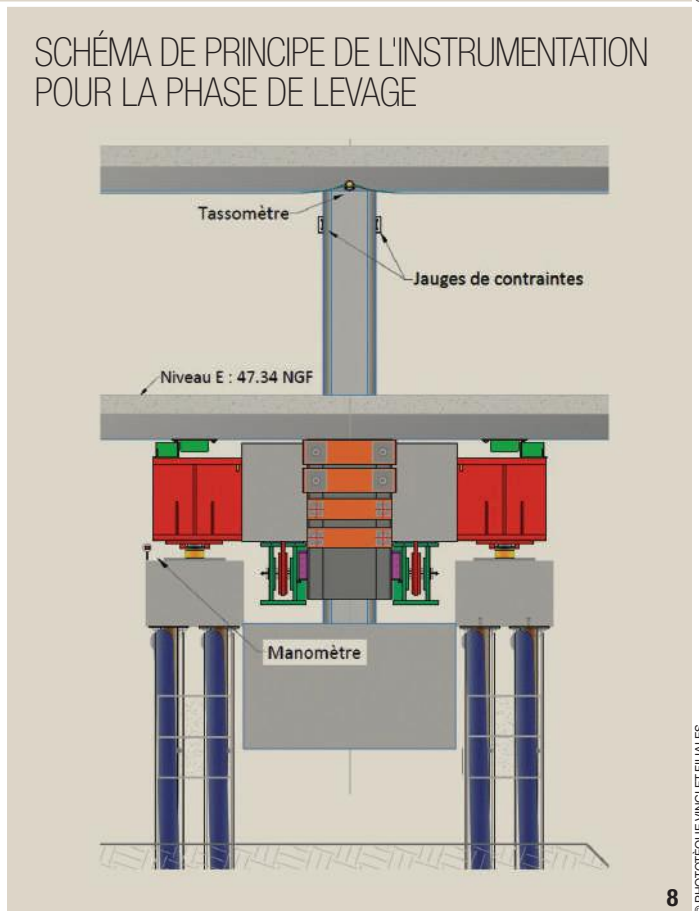
© PHOTOTHÈQUE VINCI ET FILIALES

7- Détail du système provisoire de RSO d'un poteau courant.

8- Schéma de principe de l'instrumentation pour la phase de levage.

7- Details of the temporary underpinning system of a standard column.

8- Block diagram of instrumentation for the lifting phase.



8

© PHOTOTHÈQUE VINCI ET FILIALES

contraintes du corset, pesées durant cette période, n'ont jamais atteint les pertes instantanées calculées.

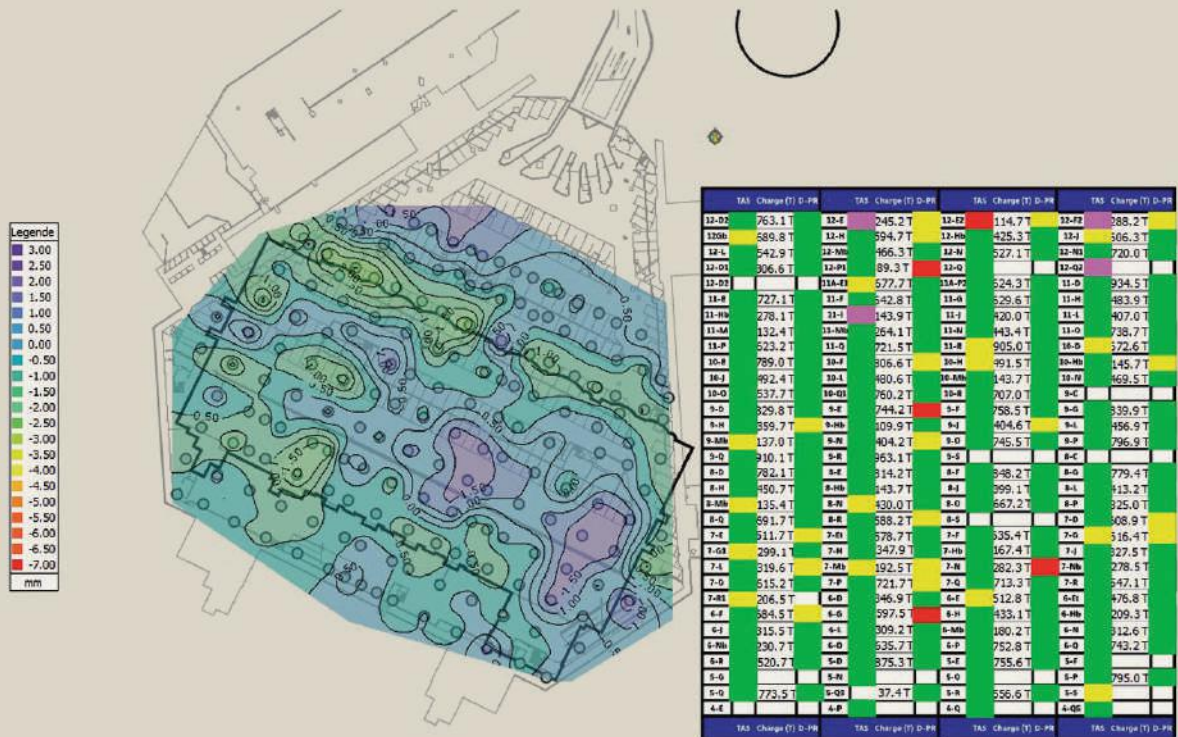
DÉPOSE DES FONDATIONS ET CONSTRUCTION DE LA STRUCTURE DE REPRISE DÉFINITIVE (DALLE ÉPAISSE APPUYÉE SUR 56 NOUVEAUX PILIERS)

Les 56 piliers définitifs, de 15 à 22 m de profondeur, sont réalisés dans des puits creusés en méthode traditionnelle et se fondent sur des semelles ancrées et dimensionnées dans une couche calcaire (glaucanie grossière) surplombant des sables et argiles. L'excavation des puits, le génie civil des piliers et la réalisation de la dalle de transfert ont été réalisés avec toutes les contraintes logistiques que représente un chantier

de cette envergure depuis le 4^e niveau de sous-sol et en interface avec les organes de reprise en sous-œuvre détaillés au-dessus (figure 7). Les puits ont été étudiés pour fonctionner en anneau, soit une géométrie circulaire ou elliptique suivant l'encombrement disponibles, ceci a permis de les réaliser en coque projeté fibré d'épaisseur 15 cm (figure 10).

Cette solution apporte l'avantage de s'adapter aux différentes géométries des piliers de la gare et de leurs semelles (circulaires, rectangulaires, trapézoïdales...). Si les piliers cylindriques permettaient une coque parfaitement circulaire, les contraintes d'encombrement pour les piliers rectangulaires ne permettraient pas de conserver des anneaux circulaires et une adap-

TABLEAUX DE BORD UTILISÉS POUR LE SUIVI EN TEMPS RÉEL ET L'ANALYSE DES RÉSULTATS



© PHOTOTEQUE VINCI ET FILIALES

9

tation en ellipse a donc été réalisée. Des mesures de convergence ont parfaitement validé les modélisations et aucun tassement des massifs de micropieux n'a été observé lors des terrassements de puits adjacents. La réalisation des puits en coque mince a permis de travailler sur 12 puits en simultané avec un cycle complet d'une passe par jour, ce qui a été crucial pour

la tenue du planning projet compte tenu du nombre de puits (figure 11). L'ensemble des puits a été réalisé en 8 mois. Un dernier avantage se retrouve lors du terrassement de la boîte avec des moyens de démolition des puits beaucoup plus légers à mettre en œuvre. La réalisation, dans un second temps, des piliers qui sont les appuis définitifs

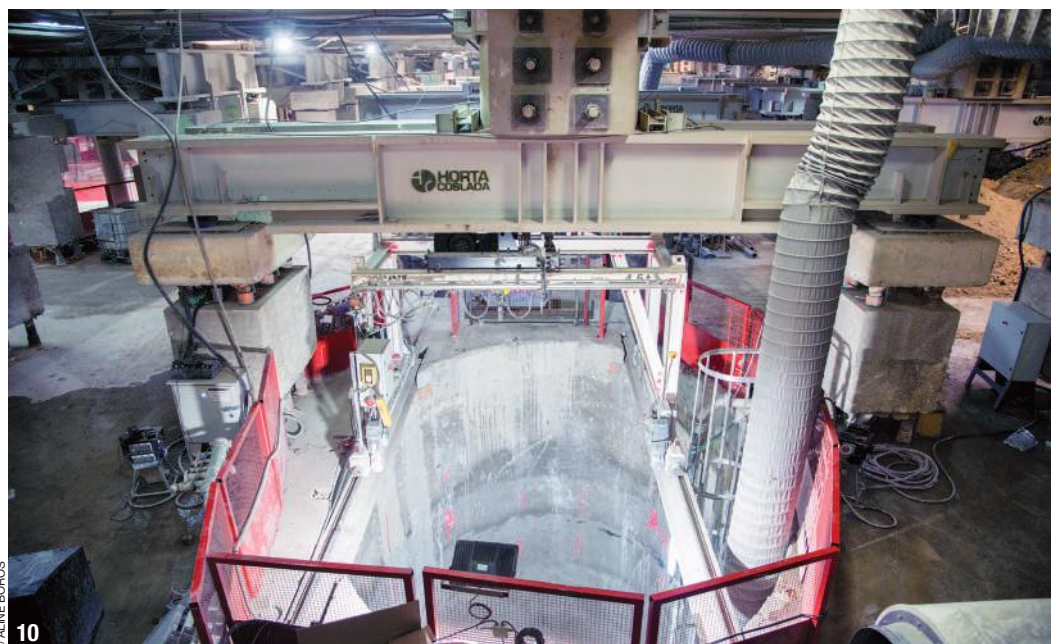
de la gare à l'intérieur même de ces puits a été faite à l'aide de coffrages grimpants sur rails extérieurs afin de ne pas dégrader le parement définitif de la gare (figure 12). Une dalle dont l'épaisseur varie entre 2 et 3 m d'épaisseur suivant les zones a été ensuite réalisée sur terre-plein calcaire, au-dessus des piliers équipés de vérins pour la reprise en charge de la dalle.

SECOND TRANSFERT DE CHARGES SUR LA STRUCTURE DE REPRISE DÉFINITIVE

Le second transfert de charges consiste à faire transiter les efforts depuis le dispositif temporaire de reprise en sous-œuvre de chaque poteau vers les piliers de la gare au travers de la dalle de transfert (figure 4).

9- Tableaux de bord utilisés pour le suivi en temps réel et l'analyse des résultats.
10- Puits elliptique surplombé du système de reprise d'un poteau.

9- Dashboards used for real-time monitoring and analysis of the results.
10- Elliptical shaft overhung by the underpinning system of a column.



© ALINE BORDS

10

Cela implique tout d'abord la repose des pieds de poteaux sur la dalle coulée au sol, puis un vérinage via des couronnes de vérins situées tête des piliers (figure 13). Au total, ce ne sont pas moins de 350 vérins de capacité comprise entre 400 t et 600 t qui permettent de reprendre les 100 000 t de charge (soit environ 1 300 Airbus A320 à plein en passagers et kérosène) et de les transférer de façon active suivant la charge théorique consigne issue de la modélisation aux piliers, avant amorçage du terrassement en sous-cœuvr de la dalle. Cette charge théorique issue du marché a été réévaluée en intégrant les valeurs de pesage de chacun des poteaux effectués lors du premier transfert de charge. Le détail des étapes est donné ci-dessous :

Phase préalable de repose des pieds de poteaux du parking :

Les pieds de poteaux du parking sont reposés à l'avancement du coulage de la dalle. Ceux-ci sont coulés sur prédalle posée sur néoprènes.

Les tassements constatés à la pose restent faibles et généralisés de l'ordre de 1,5 à 2,5 mm. Cet état anticipe une cuvette basse de tassement, permettant d'éviter une distorsion trop importante entre les files de poteaux reprises en sous œuvre et celles à l'extérieur de la gare, dont est attendu un tassement pluri-millimétrique lors du terrassement en taupe.

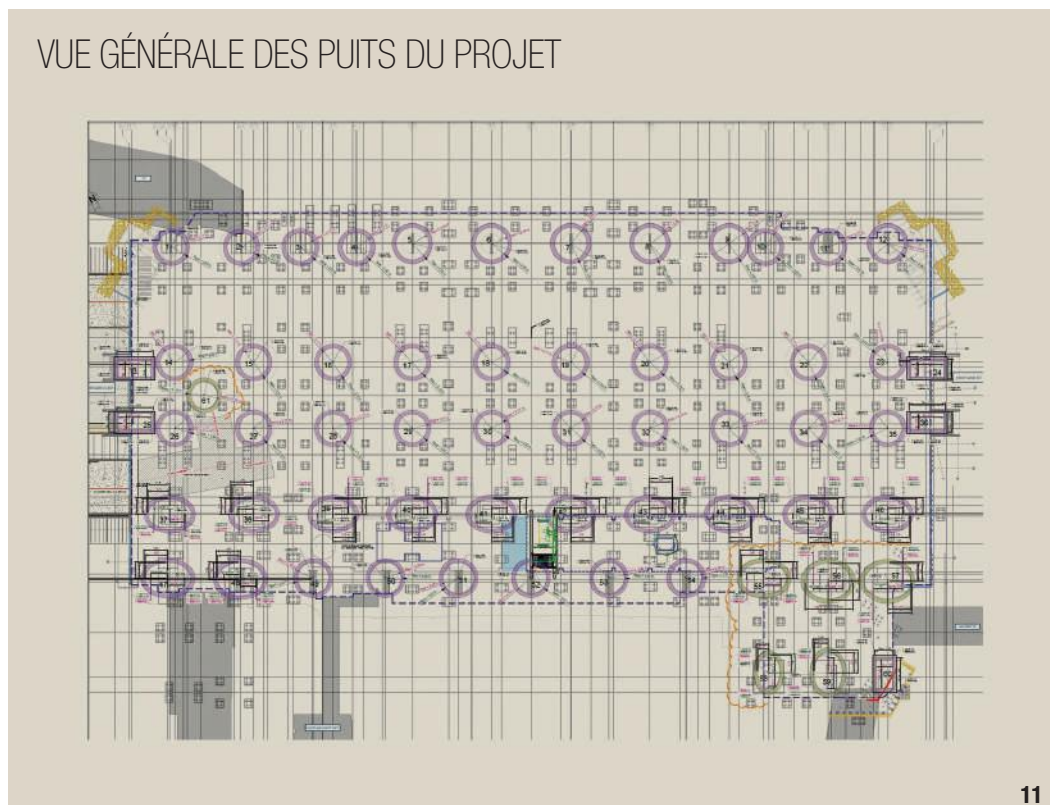
Phase de transfert de charges :

La charge des piliers est reprise par une couronne de 6 ou 8 vérins de capacité 400/520/600 t pour reprendre au final un total attendu de 100 000 t.

Contrairement au premier transfert de charge provisoire qui est piloté en nivellement et contrôlé en charge, ce second transfert est piloté en charge et contrôlé en nivellement, en effet, les 117 poteaux ont été pesés, la charge est donc parfaitement maîtrisée. D'autre part, la dalle de forte épaisseur (2 m avec retombées de poutres de 1 m) a une raideur très importante et les déformées attendues sont donc très faibles (millimétriques).

Le système de levage est piloté à l'aide d'une LAO (Levage Assisté par Ordinateur) 48 voies. Le vérinage s'effectue par paliers, jusqu'à 95 % de la charge théorique afin de maîtriser au maximum la répartition des charges lors du levage. Les 5 % restant étant transférés lors de la première passe de terrassement en taupe.

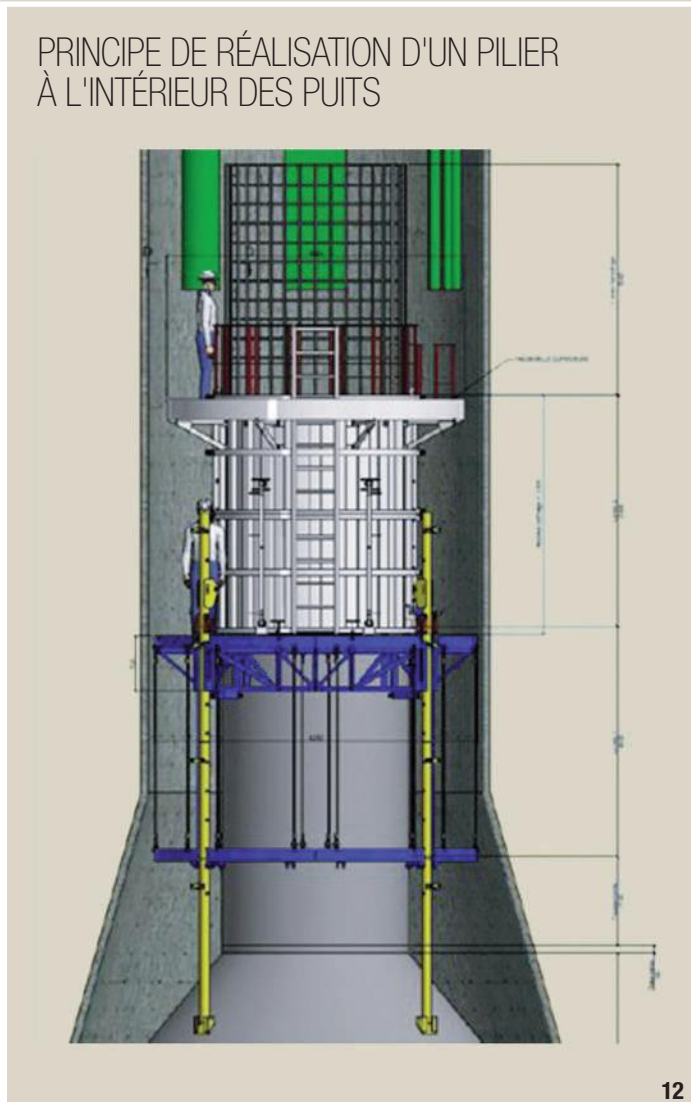
Au vu de l'encombrement et de l'accessibilité des têtes de piliers (notam-



11

© PHOTOTHÈQUE VINCI ET FILIALES

PRINCIPE DE RÉALISATION D'UN PILIER À L'INTÉRIEUR DES PUIITS



12

© PHOTOTHÈQUE VINCI ET FILIALES

11- Vue générale des puits du projet.

12- Principe de réalisation d'un pilier à l'intérieur des puits.

11- General view of the project shafts.

12- Schematic of execution of a pillar inside the shafts.

ment au niveau des longpans) et afin de fiabiliser le système de vérinage, deux paramètres supplémentaires ont dicté le choix des vérins :

- Faire fonctionner la LAO en mode courant entre 400 et 500 bars (risque de fuites si pression trop faible) ;
- Anticiper la défaillance d'un vérin sur la couronne de vérinage, afin de pouvoir isoler ce dernier et maintenir la pression rapidement avant remplacement du vérin.

L'anticipation du démarrage des terrassements avant la fin de réalisation complète de la dalle de transfert a conduit à vériner la dalle par lignes successives de piliers.

SYSTÈME D'AUSCULTATION

Outre l'ensemble de vérins et calage, le système de vérinage V3 comprend l'instrumentation ci-dessous, pour chaque pilier :

- Téléniveaux hydrauliques en tête de piliers pour la vérification du nivellement de la dalle de transfert ;
- Manomètre de mesure de pression sur les sous-groupes de vérinage situés sur chaque tête de pilier pour assurer les mesures de pilotage ;
- Comparateur entre sous-face de dalle et tête de pilier donnant la course des vérins et son raccourcissement élastique.

La méthodologie de traitement et d'analyse de données décrite précédemment sera mise en œuvre pour ce second transfert de charge.

PREMIERS RÉSULTATS

Au 1^{er} mai 2020, le second transfert de charges sur la structure de reprise définitive est réalisé sur les 3 premières lignes de dalle à 100%.



13
© PHOTOTEQUE VINCI ET FILIALES

13- Couronne de vérins et camarteau en tête de piliers avant coulage de la dalle de transfert.

13- Jack crown and stack at the head of pillars before casting the transfer slab.

Les variations de nivellement ont été très faibles, conformément à ce qui était attendu.

Les courses des vérins mesurant le tassement des piliers et son raccourcissement élastique ont été plus faibles que celles attendues dans une fourchette de 20 à 60% confirmant le caractère sécuritaire des estimations des notes de calcul. On observe néanmoins des effets de fluage court terme du sol lors de la mise en charge des piliers. À date, tous les poteaux de la gare

ont été repris provisoirement en sous-œuvre. Cette opération réalisée par un groupement d'entreprise des groupes Vinci et Spie et une maîtrise d'œuvre du groupe Setec, responsable de la conception initiale puis associée au suivi et au pilotage continu a été une vraie réussite car elle a permis de contrôler la planimétrie dans une plage de 2 mm et a montré la stabilité de la charge pesée : aucun désordre n'a été constaté, et ce malgré la faiblesse des résistances du béton de certains poteaux initialement constatée. Tous les piliers sont réalisés, la dalle de transfert est achevée et trois quarts des poteaux existants ont été reposés sur cette structure de reprise définitive, sans difficulté particulière. Enfin, le second transfert de charges sur la structure de reprise définitive a démarré sur les 3 premières lignes, soit 60 000 t reprises sur les 100 000 t prévues. Les premiers résultats obtenus sont très encourageants. La reprise à 100% de la charge doit intervenir dans les semaines à venir. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 1 gare dite "cathédrale" réalisée à 40 m de profondeur avec un quai central de 25 m de large, en interconnexion directe avec le RER A, le métro 1, les lignes L et U du Transilien, le tramway T2 et permettant de recevoir 22 trains par heure en heure de pointe (en 2024)
- 1,2 km de tunnel en méthode traditionnelle
- 100 000 t portées par les piliers, soit 65 000 t du bâtiment existant et 35 000 t de la dalle de reprise
- 170 000 m³ de déblais
- Plus de 1 100 points de contrôle dans le CNIT
- Un flux journalier de plus 415 000 données brutes analysées soit plus de 300 millions depuis début 2018

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : SNCF Réseau

MAÎTRE D'ŒUVRE : Groupement Egis - Setec - Agence Duthilleul

CONSTRUCTEUR GÉNIE CIVIL : Groupement Edef constitué de 5 entreprises du groupe Vinci (Vinci Construction France, Dodin Campenon Bernard, Vinci Construction Grands Projets, Soletanche Bachy France, Botte Fondations) et 2 du groupe Spie (Spie Batignolles Génie civil, Spie Batignolles Fondations)

SOUS-TRAITANT AUSCULTATION : Sixense Soldata

SOUS-TRAITANT PILOTAGE DU VÉRINAGE : Freyssinet

ABSTRACT

EXTENSION OF RER LINE E: CNIT STATION AND ADJACENT TUNNELS

G. D'OUINCE, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - T. LACOUR, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - G. GEHU, SIXENSE SOLDATA - V. RIGOUX, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - A. BORDET, VINCI CONSTRUCTION FRANCE

In 2016, SNCF Réseau started construction work for the extension of line E of the "RER" rapid transit system between Saint-Lazare and Nanterre. Part of this new section involved the construction of a station in La Défense interconnected with RER A and other transport systems in the sector, underpinning the CNIT building (Centre des nouvelles industries et technologies). Contracts DEF1 and DEF2 also include civil works for the adjacent tunnels executed by conventional methods. La Défense Station, like the other two new stations, Porte-Maillot and Nanterre, will be commissioned in December 2022 with the extension of Line E of the RER up to Nanterre. This first stage of the East-West link for the Ile-de-France region will be completed as of 2024 by a service for the downstream Seine region as far as Mantes-la-Jolie, carrying more than 650,000 passengers each day. □

PROLONGACIÓN DEL RER E: ESTACIÓN DEL CNIT Y TÚNELES ADYACENTES

G. D'OUINCE, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - T. LACOUR, VINCI CONSTRUCTION GRANDS PROJETS - G. GEHU, SIXENSE SOLDATA - V. RIGOUX, VINCI CONSTRUCTION FRANCE - A. BORDET, VINCI CONSTRUCTION FRANCE

En 2016, SNCF Réseau inició las obras de construcción de la prolongación de la línea E de la red ferroviaria regional (RER) entre Saint-Lazare y Nanterre. Una parte de este nuevo tramo consiste en construir una estación en La Défense, interconectada con el RER A y otros sistemas de transporte de La Défense, en recalce del edificio del Centro de Nuevas Industrias y Tecnologías (CNIT). Los contratos DEF1 y DEF2 también incluyen la ingeniería civil de los túneles adyacentes, realizados según el método tradicional. La estación de La Défense, al igual que las otras dos nuevas estaciones, Porte-Maillot y Nanterre, entrarán en servicio en diciembre de 2022 con la prolongación de la Línea E del RER hasta Nanterre. Esta primera etapa de la mejora de la conexión este-oeste de la región de Île de France se completará a partir de 2024 con la cobertura del territorio de Seine Aval hasta Mantes-la-Jolie, que beneficiará a más de 650.000 viajeros al día. □



1
© GROUPEMENT SMP4

LYON-TURIN : TRAITEMENT ET TRAVERSÉE D'UNE ZONE ÉBOULÉE SUR LE CHANTIER SMP4

AUTEURS : STEFANO FESTA, CHARGÉ DE SOUTÈNEMENT, COGÉIS - RÉMI FORTANÉTÉ, INGÉNIEUR TRAVAUX, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - FLORENT MARTIN, DIRECTEUR DE PROJET, SPIE BATIGNOLLES GÉNIE CIVIL - ÉRIC MATHIEU, CHEF DE SECTEUR GÉOTECHNIQUE & OUVRAGES SOUTERRAINS, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

LE 8 SEPTEMBRE 2017, EN PLEINE EXCAVATION EN MÉTHODE TRADITIONNELLE, LE GROUPEMENT SMP4 RENCONTRE UNE FAILLE ÉBOULÉE. CETTE FAILLE ENGENDRE UN ÉBOULEMENT EN VOÛTE ET L'AFFAISSEMENT DES DERNIERS CINTRES MÉTALLIQUES POSÉS. SA TRAVERSÉE DEVIENT COMPLEXE ET NÉCESSITE DE TESTER PLUSIEURS MÉTHODES D'EXCAVATION ET DE SOUTÈNEMENT. RETOUR SUR UNE EXPÉRIENCE HORS DU COMMUN.

OBJECTIFS ET CARACTÉRISTIQUES DU CHANTIER SMP4

Les travaux marquent une étape importante en vue de la réalisation du tunnel franco-italien de 57,5 km, ouvrage principal de la section transfrontalière de la future ligne ferroviaire Lyon-Turin, entre

Saint-Jean-de-Maurienne en Savoie, et Suse en Italie.

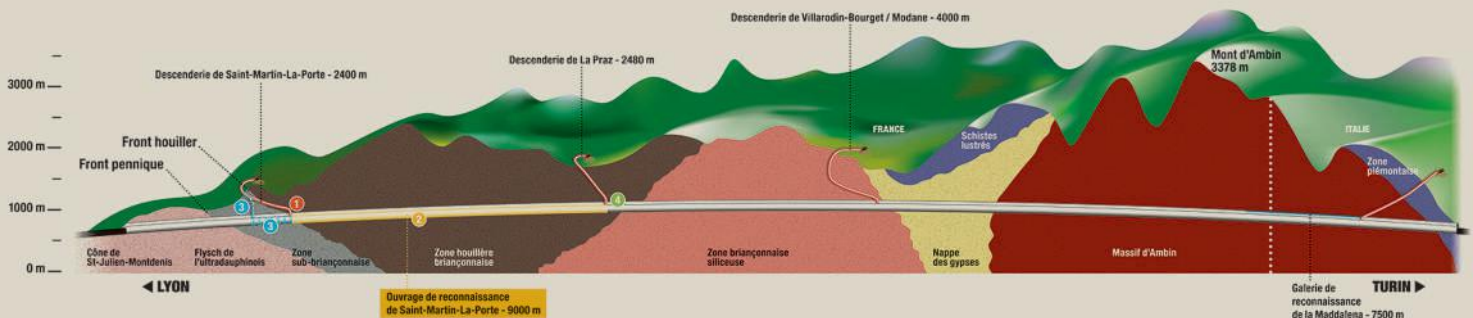
La principale spécificité de ce chantier réside dans la géologie. Une partie des travaux se situe entre des formations de roches composées de schistes, de grès et de charbon (figure 2). Cette géologie (connue aussi sous le nom de Houiller

1- 08/09/2017 à 9h30 : 1^{er} éboulement au front de taille.

1- 08/09/2017 at 9.30 am: first rock slide at the tunnel face.

Productif) peut être à l'origine de comportements du terrain très contraignants lors du creusement. Un phénomène de renfermement du terrain, appelé aussi "convergence" survient principalement dans cette zone. Tout l'enjeu de ce chantier est de caractériser la géologie et le comportement des

COUPE GÉOLOGIQUE DE LA SECTION TRANSFRONTALIÈRE



2

© AGENCE DOUBLEV

terrains rencontrés afin d'adapter et mettre au point les méthodes de creusement du futur tunnel de base.

Ces travaux sont divisés en 4 grandes parties. Celle présentée dans cet article est la partie 3B du chantier, partie la plus critique de la section transfrontalière. Réalisée en méthode traditionnelle et actuellement en cours de réalisation, elle vise à excaver 1,4 km dans l'axe du futur tube Sud, en traversant la zone de Houiller Productif (figure 3). Cette zone extrêmement chahutée d'un point de vue géologique, nécessite différentes méthodes d'excavation et de soutènement : moyens mécaniques (pelles équipées de brise-roche ou de fraises), ou encore explosif dès que le terrain s'y prête, ou bien les deux. En septembre 2017, lors du passage d'une zone délicate, un éboulement survient et obstrue la galerie.

UN TERRAIN GÉOLOGIQUE DIFFICILE

La Partie 3 du chantier SMP4 se situe au contact entre les sédiments carbonatés de la Zone Subbriançonnaise (ZSB), à l'ouest, et les métasédiments grésopélitiques avec niveaux charbonneux de la Zone Houillère Briançonnaise (ZHB), à l'est. Le contact entre ces deux unités est représenté par le Front Houiller (FH), un linéament tectonique très important, connu tout le long de la chaîne des Alpes occidentales, le long duquel la ZHB a chevauché les unités les plus externes.

La partie 3B consiste à excaver en méthode conventionnelle 1400 m du tube Sud à partir du pied de la descenderie complémentaire 3A. Les premiers mètres de tunnel excavés dans le Houiller Productif traversent essentiellement des schistes noirs. Ces schistes deviennent de plus en plus charbon-

2- Coupe géologique de la section transfrontalière.

3- Schéma de la partie 3 du chantier.

2- Geological cross section of the cross-border section.

3- Diagram of part 3 of the project.

neux au fur et à mesure du creusement et présentent, à l'échelle du front, un aspect perturbé. La stratification/schistosité n'est jamais continue : les surfaces sont lustrées, striées et recoupées par d'autres discontinuités peu

marquées à l'échelle du front. Cependant, à l'approche du PM 10 300, une déformation s'intensifie et se démarque par une frange de terrain déstructurée plus épaisse, associée à une argilisation (appelé aussi gouge).

Ce n'est qu'à partir du PM 10 303, que le centre du front est bouleversé par un changement brutal dans l'orientation des terrains. Cette structure centrale de mauvaise tenue s'apparente à une faille d'épaisseur métrique qui traverse des grès et des schistes.

CARACTÉRISATION DE LA FAILLE

La faille rencontrée est constituée de faciès schisto-charbonneux à charbonneux qui ont subi et concentré de grandes déformations tectoniques provoquant le développement d'une zone fragilisée constituée (figure 4) :

→ D'une zone centrale, entre le PM 10 300 et le PM 10305 (voûte) où l'intensité de la déformation se marque par la formation de gouge grise (cataclasite) ;

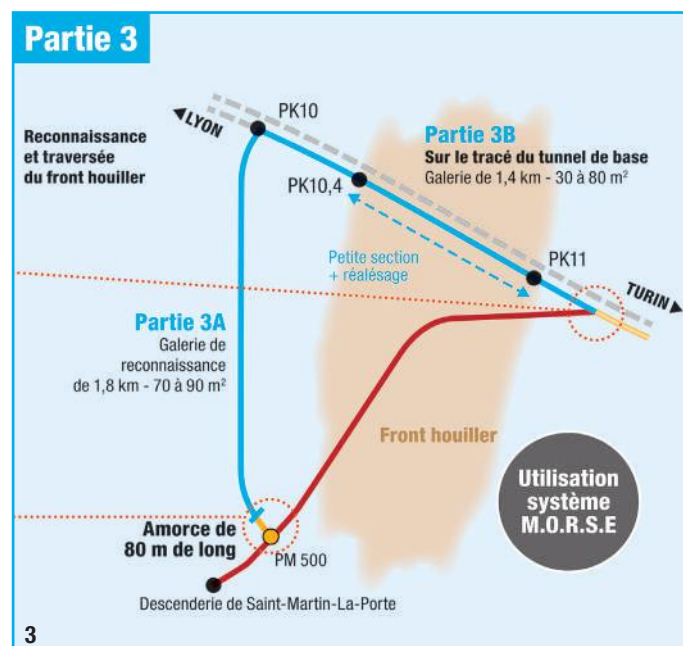
→ De deux zones périphériques, du PM 10 290 au PM 10 300 (voûte) et du PM 10 305 au PM 10 325 (voûte) traversées par des structures extensives moins développées.

Ces zones fortement tectonisées ont un comportement bouillant et ne sont pas adaptées au soutènement mis en place dans le tube Sud, basé sur un boulonnage radial. Les déformations mesurées sur la section de convergence au PM 10 295, montrent une accélération à partir du jour 06/09/2017.

Le matin du 08/09/2017, lors de l'excavation au PM 10 301, un éboulement se produit en partie gauche (volume estimé : 100 à 150 m³), engendrant la formation d'une cloche de profondeur inconnue. Le dernier cintre posé au PM 10 300 s'affaisse alors de 30 cm (figure 1). Lors des travaux de consolidation déployés immédiatement, la chute de matériaux continue par petits éboulements, presque en continu. À 23h30, les cintres s'affaissent les uns après les autres jusqu'au PM 10 292, et l'ensemble de la section s'effondre (figure 5).

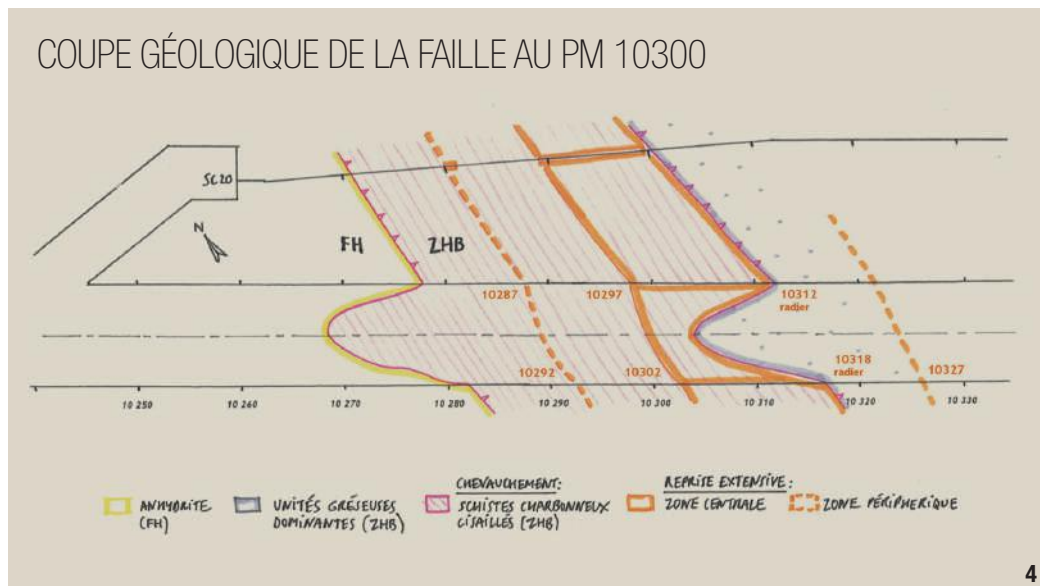
UN SUIVI RIGoureux DES AUSCULTATIONS

Le suivi des auscultations, en particulier des convergences, se base, en partie, sur le retour d'expérience du creusement de la descenderie de Saint-Martin-La-Porte, dans le Houiller Productif (ZHB). Les mesures de convergence sont réalisées quotidiennement (voire plus en cas d'anomalies ou de valeurs proches des seuils) et analysées avec l'aide d'abaques créés spécifiquement par le bureau d'études du groupement, ▷



© AGENCE DOUBLEV

COUPE GÉOLOGIQUE DE LA FAILLE AU PM 10300



4- Coupe géologique de la faille au PM 10300.

5- 08/09/2017 à 23h : progression de l'éboulement, affaissement des cintres.

4- Geological cross section of the fault at PM 10300.

5- 08/09/2017 at 11.00 pm: advance of the rock slide, collapse of the centering.

4 © GROUPEMENT SMP4

permettant l'adaptation du soutènement en fonction du comportement du terrain.

Le 06/09/2017, les convergences mesurées s'accroissent sur la section au PM 10 295, atteignant la valeur limite. Cette accélération marque l'amorce du mécanisme de rupture de la galerie (figure 5). Les convergences se pour-

suivent le lendemain avec une vitesse inférieure à celle de la veille.

Le 08/09/2017, les convergences reprennent leur accélération et atteignent des valeurs qui dépassent le seuil.

L'effondrement de la galerie se produit entre le PM 10 292 et le front d'excavation au PM 10 301.

LA TRAVERSÉE DE LA FAILLE

LE CLOISONNEMENT DE LA ZONE ÉBOULÉE

À la suite de l'éboulement, les équipes commencent par cloisonner la zone (figure 6).

Pour ce faire, un premier remblai est réalisé en matériau granulaire issu du

creusement et concassé. Ce remblai sert alors de mur poids entre la zone éboulée et le soutènement fragilisé. La pose de conduites métalliques permet le pompage du béton.

Les équipes ferment en tête le mur poids à l'aide de treillis soudé avec renfort en HA 25. Une couche de béton vient achever la fermeture.



5

© GROUPEMENT SMP4

LA CONSOLIDATION DE LA ZONE ÉBOULÉE

Des tubes pétroliers de 3 m de longueur et de 114 mm de diamètre, sont utilisés pour injecter le vide dans le terrain avec un coulis composé d'eau de ciment et bentonite (figure 7). Deux types de tubes pétroliers se complètent : des tubes pleins et des tubes percés à chaque mètre. Ces derniers sont également équipés de manchettes pour maintenir l'eau de retour des cuttings

6- Cloisonnement de la zone éboulée.

7- Consolidation de la zone éboulée.

6- Partitioning of the collapsed area.

7- Consolidation of the collapsed area.

à l'intérieur du tube et permettre, une fois l'expulsion sous pression de l'eau, de diffuser le coulis au droit des trous à chaque mètre.

Le forage des tubes pétroliers doit atteindre dans l'idéal 30 m. Seuls 60 % des tubes atteignent cet objectif, ce qui s'explique par le fait qu'en s'affaisant les cintres métalliques et les boulons de soutènement se retrouvent sur la ligne d'excavation. La foration et l'injection sont réalisées

par cycles de 2 ou 3 trous soit l'équivalent d'une rangée horizontale.

L'injection est systématiquement stoppée selon les deux critères suivants :

→ L'atteinte de la pression maximale définie en fonction de la résistance de l'obturateur : 60 bars ;

→ La résurgence du coulis par un autre endroit.

Des manomètres graphiques sont placés en tête d'obturateur d'injection afin d'enregistrer les fluctuations de pression au cours de l'injection et d'évaluer les pertes de charge depuis la centrale d'injection, pour en corriger la pression si besoin.

À l'issue de ces injections, les géologues et le chargé de soutènement récupèrent les rapports d'injection. Au total, il aura fallu 700 m³ de coulis injecté.

LA RÉALISATION D'UNE GALERIE DE RECONNAISSANCE AXIALE

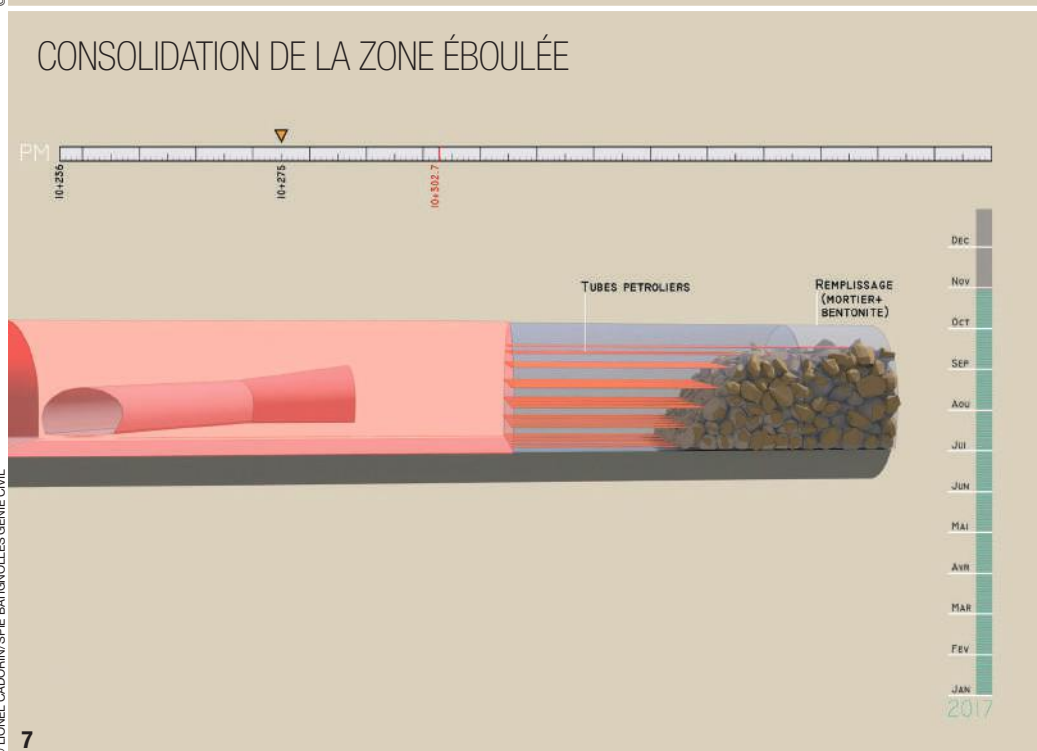
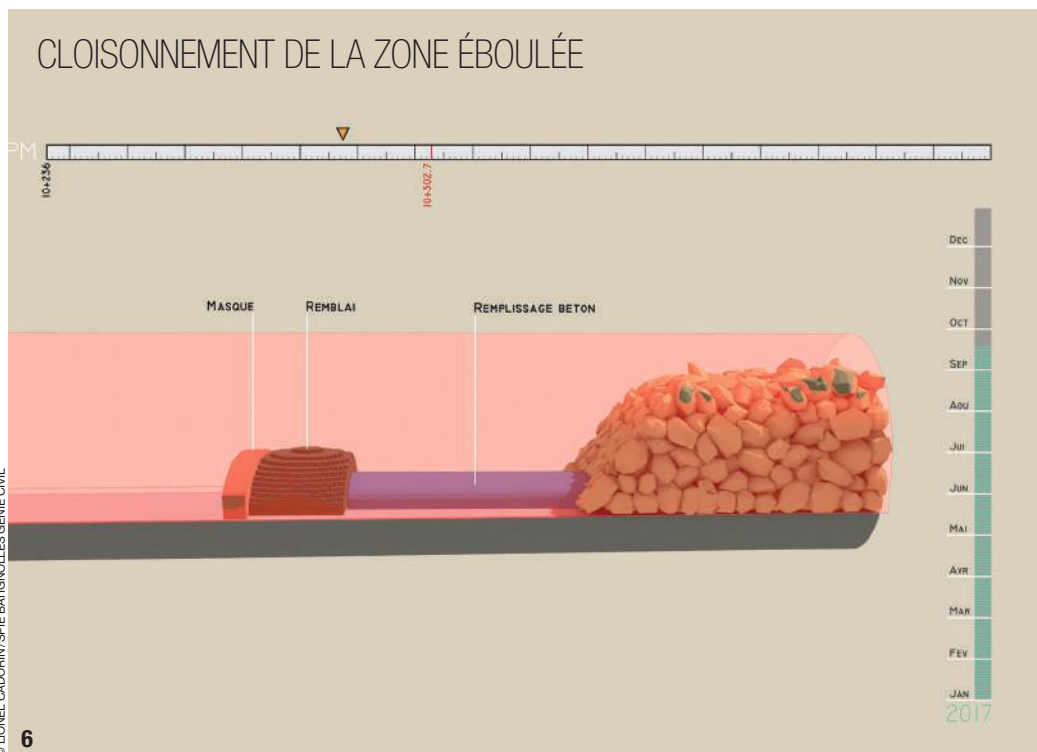
Après une campagne de reconnaissance par sondages carottés de 552,70 m de longueur cumulée, les équipes peuvent s'atteler à la réalisation d'une galerie axiale en voûte de 15 m² de section (figures 8 et 9). Son objectif : redonner une cohérence à la zone éboulée tout en venant reconnaître la géologie de la faille et du terrain derrière. Pour venir excaver cette galerie, une rampe d'accès est réalisée, permettant de surélever de 5 m le niveau initial. Une Machine à Attaque Ponctuelle équipée d'une fraise hydraulique vient gratter la roche mètre par mètre.

Les déblais sont extraits via le convoyeur intégré à la machine. Un charge-et-roule vient récupérer les déblais et les dépose sur zone de stockage tampon. Le marinage est ensuite effectué en journée, en temps masqué des autres activités à front, au moyen de chargeurs et de dumpers.

Suivant la nature et la tenue des terrains, le chargé de soutènement définit, en accord avec le représentant de la maîtrise d'œuvre, le pas d'avancement pour les travées suivantes ainsi que le type de profil à mettre en œuvre.

Un levé profilométrique est également réalisé à chaque avancement par le géomètre.

Une couche de béton projeté fibré de confinement est appliquée immédiatement après l'excavation. Les boulons Swellex viennent renforcer ce pré-soutènement immédiat. Vient ensuite la pose de boulons en fibre de verre de 12 m de longueur et 28 mm de diamètre sur le front d'excavation, scellés par injection de micro-mortier.



Les plans de foration de ces boulons sont définis de manière à permettre un recouvrement.

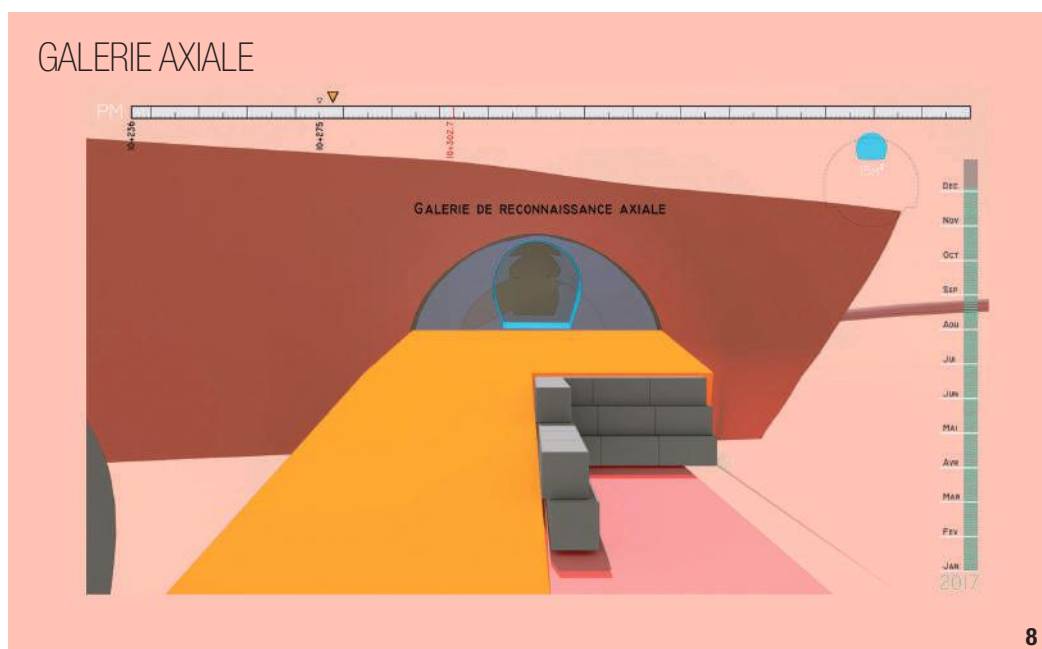
Concernant le soutènement, deux typologies sont nécessaires :

1^{re} typologie : le soutènement rigide (figure 10) : à front, le soutènement rigide vient bloquer les déplacements du massif à l'aide de cintres HEB 140. Les équipes viennent réaliser une voûte parapluie par le biais de tubes de 15 m en tronc de cône avec recouvrement de 5 m afin d'assurer la stabilité en calotte.

L'injection d'un coulis, d'une résistance de 30 MPa, finalise ce soutènement. L'extrados du cintre HEB est posé au contact de la voûte parapluie et un coffrage métallique est réalisé en intrados par des tôles de blindage. Un remplissage en béton est ensuite réalisé.

2^e typologie : le soutènement semi-rigide (figure 11) : à front, une auréole de boulons autoforants est ancrée en dehors du rayon plastique.

À 5 m du front de taille, les équipes mettent en place des blocs compressibles au droit des zones de coulisements des cintres TH, servant de "fusibles" à la future coque.



8

© LIONEL CADORIN/SPIE BATHIGNOLLES GÉNIE CIVIL

Les espaces entre les cintres métalliques sont ensuite comblés par une projection de béton projeté fibré. Le béton projeté laisse par endroit quelques zones libres pour faciliter le coulisement exercé par les contraintes du terrain.

8 & 9- Galerie axiale.

8 & 9- Axial gallery.

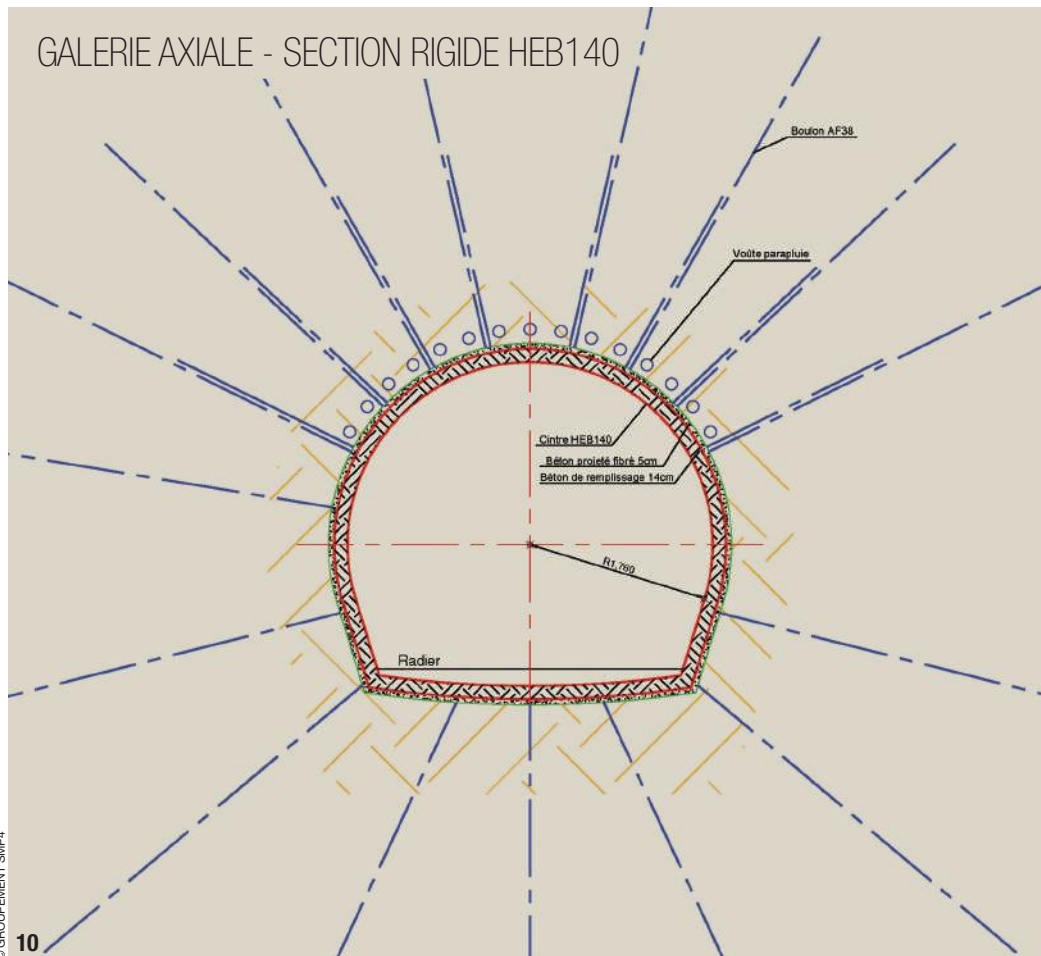
Les convergences sont minutieusement surveillées par l'intermédiaire de 5 cibles tous les 5 m sur les cintres et sur le béton de remplissage. 4 sections sont instrumentées et équipées de jauges de déformation. L'excavation de la galerie axiale a per-



9

© CAROLINE MOUREAUX

GALERIE AXIALE - SECTION RIGIDE HEB140



10- Galerie axiale -
Section rigide
HEB140.

11- Galerie axiale -
Section semi rigide
TH36.

10- Axial gallery -
Rigid section
HEB140.

11- Axial gallery -
Semi-rigid section
TH36.

mis de traverser la zone impactée par l'éboulement et d'identifier plus précisément l'accident géologique. La galerie a pu alors être rebouchée complètement avant le réalésage définitif, avec un remplissage réalisé par plots de 5 m.

REPRISE DES EXCAVATIONS SOUS LA GALERIE AXIALE

Une fois la galerie de reconnaissance axiale rebouchée, les équipes reprennent l'excavation sous la galerie axiale. Cette reprise est réalisée en deux parties (figure 12) :

→ L'excavation d'une section réduite de 58 m² sur 24 m (correspondant à la zone éboulée) de la galerie que les équipes viennent bloquer complètement à l'aide de cintres métalliques HEB en voûte et contre-voûte. Les deux pieds des cintres sont rigidifiés par un buton. Entre les cintres, un coffrage métallique est mis en place derrière lequel le béton est coulé.

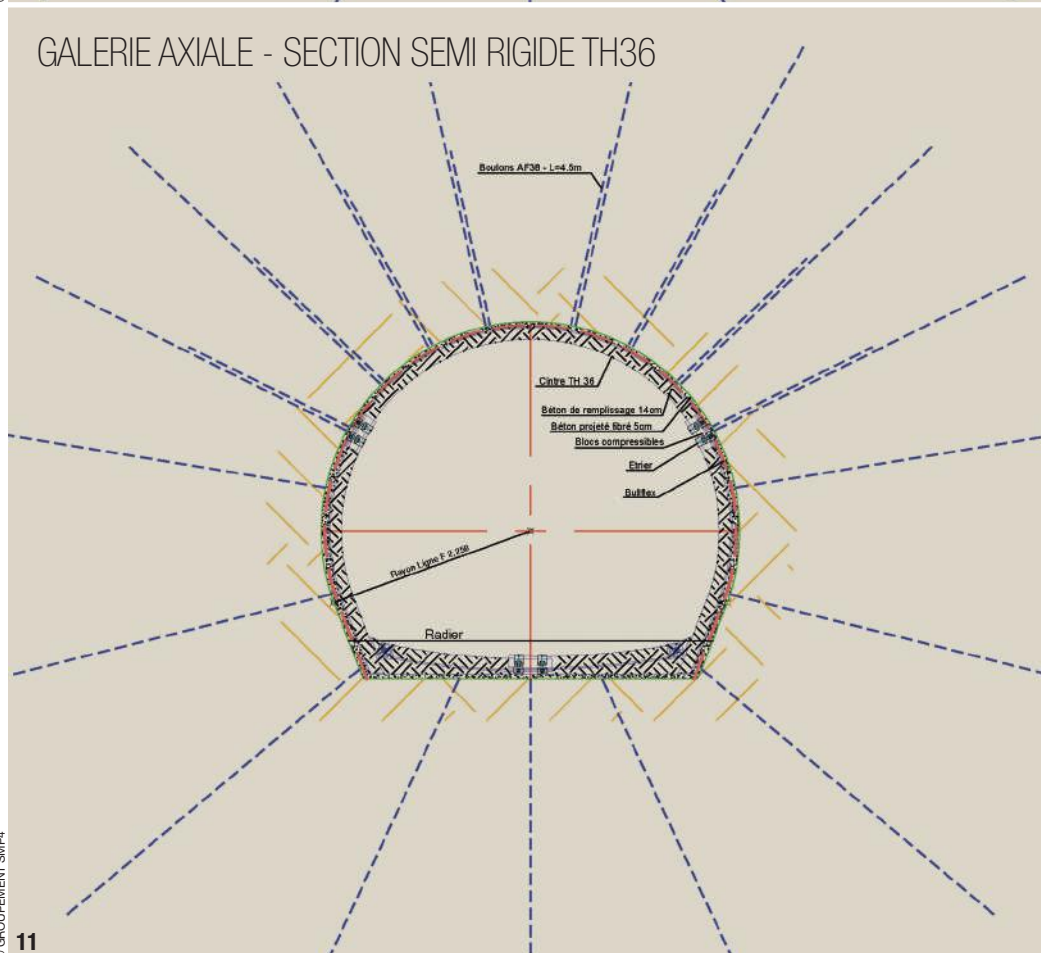
→ L'excavation d'une petite section de 100 m à la suite de la section réduite. Son objectif : étudier son comportement dans le terrain au-delà de la partie éboulée. Un soutènement semi-rigide composé de cintres TH et de blocs compressibles, permet de laisser le terrain converger.

Enfin, un réalésage en grande section (section réduite + petite section) est entrepris. Pour la zone éboulée, il s'agit de réaliser un anneau de blocage à l'image de la section réduite : cintres HEB, tôles de blindage et béton coulé derrière ces tôles. Une fois la zone éboulée dépassée, le réalésage reprend en soutènement semi-rigide (cintres TH et blocs compressibles).

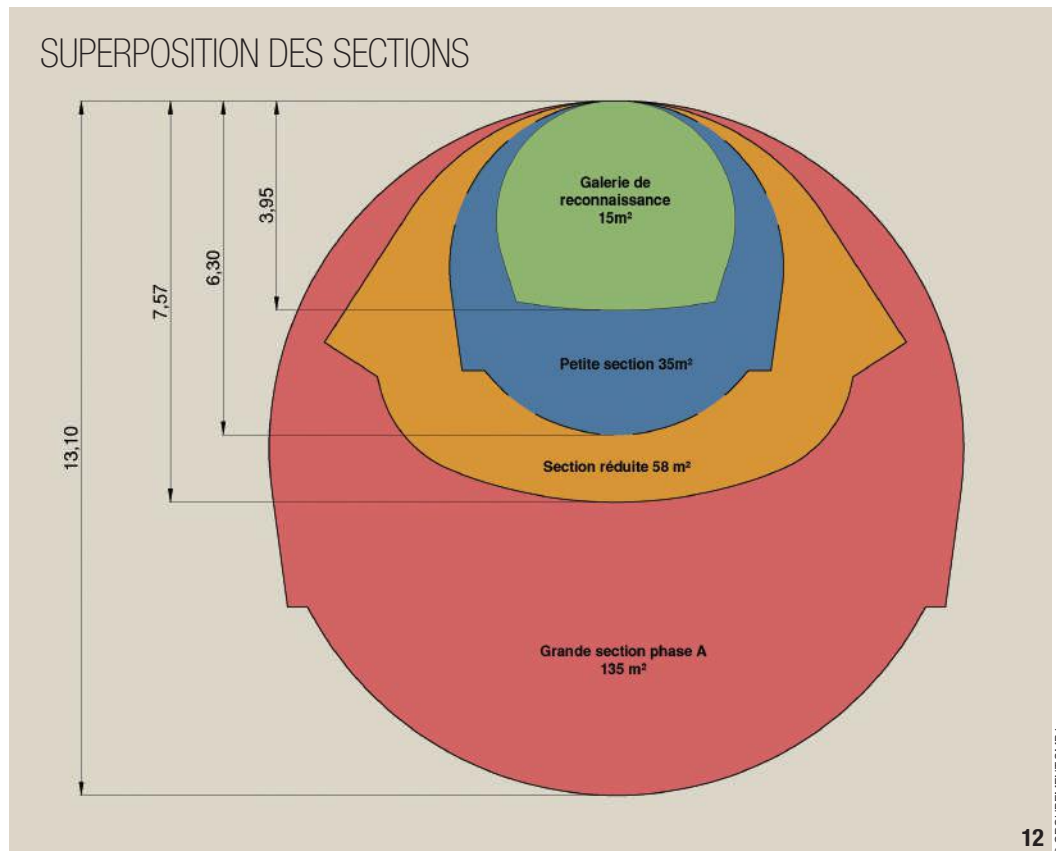
UN PILOTAGE DU CREUSEMENT EFFICIENT

Le pilotage du creusement du tunnel suit les principes de la méthode observationnelle.

GALERIE AXIALE - SECTION SEMI RIGIDE TH36



Plusieurs scénarios ont été définis pour les différents types de comportement attendus dans le Houiller Productif. Basés sur le suivi des déformations du soutènement et le retour d'expérience de la descenderie de Saint-Martin-La-Porte, des outils de pilotage sont développés pour permettre d'identifier rapidement le comportement et le scénario à adopter. Mais la faille traversée est composée de matériaux totalement disloqués, de type "boullant", qui n'entrent dans aucun des types de comportement identifiés. Il faut constamment réévaluer les critères de pilotage, les valeurs seuils et les outils pour le pilotage du creusement en fonction des nouvelles données disponibles à chaque étape de la traversée. Les différents modèles de comportement du Houiller, calés à partir de la galerie axiale, permettent d'établir des prévisions sur le comportement du creusement de la galerie comportementale en petite section (35 m²). Le creusement de la galerie de reconnaissance axiale a permis de vérifier la fiabilité des prévisions et des approches, ainsi que la pertinence des outils de pilotage. La qualité et la quantité des données obtenues en cours de creusement rendent alors possible l'étude, à partir de modèles numériques 3D plus performants, capables d'intégrer des lois de comportement complexes. Ces calculs consolident les résultats



obtenus et complètent les études de remise au gabarit du tunnel dans la zone de faille tout comme les études de justification du revêtement béton sur le moyen terme.

12- Superposition des sections.

12- Superposition of sections.

L'expérience de cette faille a montré que l'analyse des convergences exige d'être couplée avec l'analyse géologique et l'analyse des observations de creusement. □

PRINCIPALES QUANTITÉS DU PASSAGE DE LA FAILLE

- Environ 150 m de galerie réalisés en cumulé
- 8800 m³ de béton
- 374 t d'acier (cintres + treillis soudés)
- 4800 m³ de déblais
- Réalésage : 12000 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Tunnel Euralpin Lyon-Turin (TELT)

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Egis, Alpina

GROUPEMENT D'ENTREPRISE : Spie Batignolles génie civil (mandataire), Eiffage Génie Civil, Ghella SpA, Cmc di Ravenna, Cogeis SpA

DURÉE DES TRAVAUX : 7 ans

ABSTRACT

LYON-TURIN: TREATMENT AND PENETRATION OF A COLLAPSED AREA ON THE SMP4 CONSTRUCTION SITE

STEFANO FESTA, COGÉIS - RÉMI FORTANÉTÉ, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - FLORENT MARTIN, SPIE BATIGNOLLES GÉNIE CIVIL - ÉRIC MATHIEU, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

On 14 May 2014, TELT (Tunnel Euralpin Lyon Turin) awarded the SMP4 consortium a contract for execution of the reconnaissance structures between the inclined galleries of Saint-Martin-La-Porte and La-Praz. One of the challenges facing this project is penetration of the carboniferous working face, the most critical part of the 57.5 km of tunnel. The ground, of very heterogeneous geology, is subjected to major convergences. The objectives of this penetration are to study and understand the behaviour of this singular geology, so as to adapt and industrialise the excavation techniques. □

LYON-TURÍN: TRATAMIENTO Y CRUCE DE UNA ZONA DE CORRIMIENTO DE TIERRAS EN LA OBRA SMP4

STEFANO FESTA, COGÉIS - RÉMI FORTANÉTÉ, EIFFAGE GÉNIE CIVIL - FLORENT MARTIN, SPIE BATIGNOLLES GÉNIE CIVIL - ÉRIC MATHIEU, EIFFAGE GÉNIE CIVIL

El 14 de mayo de 2014, TELT (Tunnel Euralpin Lyon Turin), encargó a la consorcio SMP4 la realización de los trabajos de reconocimientos entre los pozos de comunicación de Saint-Martin-La-Porte y de La-Praz. Uno de los desafíos de esta obra reside en el cruce del frente hullero, la parte más crítica de los 57,5 km de túnel. Con una geología muy heterogénea, el terreno experimenta fuertes convergencias. Estudiar y comprender el comportamiento de esta singular geología para adaptar e industrializar las técnicas de excavación son los objetivos de este cruce. □



1
© CÉDRIC HELSLY

EOLE - MISE HORS D'EAU DE L'OUVRAGE FRIEDLAND, UN Puits SANS FOND

AUTEURS : KATALIN KRAJNYÁK, CHEF DE PROJET, BUREAU D'ÉTUDES, SOLETANCHE BACHY FRANCE -
PIERRE DE LAVERNÉE, INGÉNIEUR PRINCIPAL, BUREAU D'ÉTUDES, SOLETANCHE BACHY FRANCE -
TONY PEREIRA, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE

SUR LES NOUVELLES LIGNES DE MÉTRO/RER LA RÉGLEMENTATION IMPOSE LA RÉALISATION DE Puits DE SECOURS ET/OU DE VENTILATION ESPACÉS DE 800 m MAXIMUM. LE Puits FRIEDLAND, SUR L'EXTENSION DE LA LIGNE EOLE RELIANT SAINT-LAZARE À NANTERRE-LA-FOLIE, EST L'UN D'ENTRE EUX. IL EST INTÉGRÉ À UN MARCHÉ DE RÉALISATION DE 5 Puits DE SECOURS CONFIE À UN GROUPEMENT D'ENTREPRISES, SOUS LA MAÎTRISE D'ŒUVRE DE SETEC TPI/EGIS RAIL. SOLETANCHE BACHY A PROPOSÉ UNE OPTIMISATION DU Puits FRIEDLAND CONSISTANT À SUPPRIMER LE FOND ÉTANCHE EN JET GROUTING PRÉVU EN SOLUTION DE BASE. TOUT L'ENJEU A ÉTÉ DE METTRE AU POINT UN DISPOSITIF DE POMPAGE PERMETTANT DE VÉRIFIER LA FAISABILITÉ D'UN RABATTEMENT DANS LES SABLES DE CUISE, SOUS UN DÉBIT RÉDUIT ADMISSIBLE VIS-À-VIS DE LA LOI SUR L'EAU.

LE PROJET

SITUATION

Implanté dans le terre-plein à l'angle de l'avenue de Friedland et de la rue Berryer à Paris 8^e, le puits Friedland est un ouvrage de forme rectangulaire à la surface limitée (l'emprise intérieure est de 7,45 m x 24,23 m), dont le mur périphérique est réalisé en paroi mou-

1- Vue du chantier sur l'avenue de Friedland.

1- View of the project on Avenue de Friedland.

lée d'épaisseur 1 m et de près de 60 m de profondeur (figure 2).

Bien que l'objet de l'article ne soit pas la réalisation de la paroi moulée du puits, on trouvera (figures 1 & 3 à 5) quelques vues des ateliers de fondation qui ont travaillé pendant plusieurs mois au milieu de l'avenue de Friedland. Les structures avoisinantes sont, côté

Nord, des immeubles haussmanniens situés à 8 m du puits ; côté Sud, le tunnel du RER A qui longe le puits à une distance d'environ 5 m.

Par ailleurs, le tracé du tunnel du RER E - plus profond que le tunnel du RER A - passe sous les immeubles côté Nord, de sorte que le puits se retrouvera entre les deux tunnels à l'état final (figure 6). ▷

2- Plan de situation.

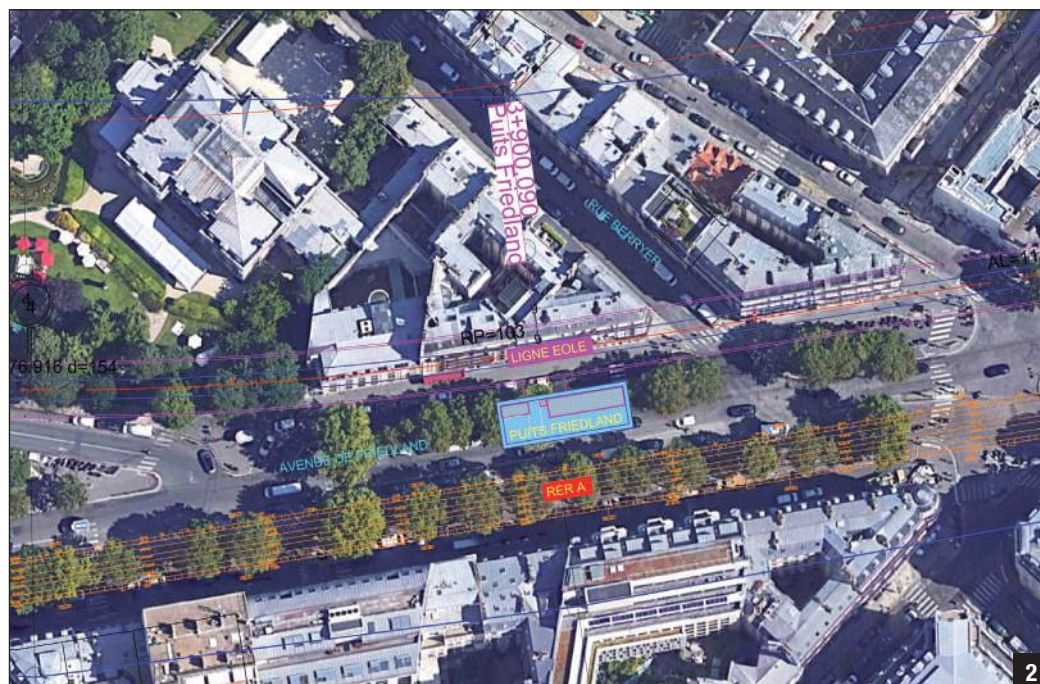
3- Ateliers d'excavation des parois moulées (benne hydraulique et Hydrofraise).

2- Location drawing.

3- Equipment for excavation of the diaphragm walls (hydraulic bucket and Hydrofraise).

CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Traversant les formations classiques du bassin parisien (successivement des Sables de Beauchamps, des Marnes et Caillasses et du Calcaire Grossier), la paroi moulée est fichée dans les Sables Supérieurs et Sables de Cuise (SS/SC). Avant de décrire la structure elle-même, un point d'arrêt s'impose concernant l'analyse des perméabilités des SS/SC et l'hydrogéologie du site.



© SOLETANCHE BACHY

Analyse des perméabilités des SS/SC

Cette analyse est le point clé du dimensionnement du puits Friedland, qui détermine la solution mise en œuvre vis-à-vis de la mise hors d'eau de la

fouille et de la stabilité du fond de fouille en phases de terrassement. Cette étude est, bien sûr, couplée avec un essai de pompage réalisé à la fin des travaux de la paroi moulée, mais avant le début des terrassements de la fouille.

La perméabilité horizontale des Sables de Cuise est assez bien documentée. Une étude hydrogéologique menée dans le cadre des travaux de rabattement de l'entonnement HSL (Haussmann - Saint-Lazare) conclut à une



© CÉDRIC HELSY



4- Centrale de traitement et de stockage des boues.
5- Hydrofraise.

4- Sludge treatment and storage plant.
5- Hydrofraise.

La continuité horizontale de ces passées n'est pas connue précisément, mais le fait d'ancrer la paroi à -14 NGF, traversant notamment un horizon plus argileux entre -10 et -13 NGF, donne une certaine sécurité statistique vis-à-vis de l'effet d'anisotropie (figure 7). Compte tenu de ces éléments, l'estimation des débits nécessaires à la mise hors d'eau de la fouille a été faite sur la base du jeu de paramètres suivants : $k_h = 2 \times 10^{-4}$ m/s et $k_v = 2 \times 10^{-5}$ m/s (soit une anisotropie $k_h/k_v = 10$).

valeur de 2×10^{-4} m/s. Par ailleurs, l'analyse granulométrique des prélèvements effectués sur des fractions sableuses permet d'estimer, à l'aide de la formule de Hazen, une perméabilité horizontale variable de 6×10^{-5} m/s à 1×10^{-4} m/s.

Il convient de noter que ces analyses granulométriques ne concernent pas les lentilles les plus silteuses, voire argileuses, qui existent en proportion significative à l'intérieur de l'horizon des Sables de Cuise.

Sur la hauteur de la fiche de la paroi, le sondage carotté le plus proche laisse apparaître, à intervalles réguliers, des passées au caractère argileux, conférant à la perméabilité une anisotropie certaine.

La suppression du fond étanche représentant un risque important, une étude paramétrique a été menée en prenant en compte une anisotropie $k_h/k_v = 5$ (avec $k_v = 4 \times 10^{-5}$ m/s). ▷



L'objectif est que le débit de pompage ne dépasse pas, suivant cette hypothèse plutôt sécuritaire, la limite de 60 m³/h, calculée en fonction du planning du chantier, afin de respecter les volumes d'extraction et de rejet admis dans le cadre de la loi sur l'eau.

Niveau d'eau

Lié étroitement à la problématique de mise hors d'eau de la fouille et à la stabilité du fond de fouille, le suivi des niveaux d'eau a débuté bien avant le commencement des travaux de la paroi moulée en février 2019 et a continué pendant un an jusqu'en février 2020.

Pour cela, deux piézomètres sélectifs ont été forés et équipés en-dehors de l'emprise du puits, étant prévu qu'ils puissent être utilisés aussi pendant l'essai de pompage réalisé après avoir fini les travaux d'exécution de la paroi moulée.

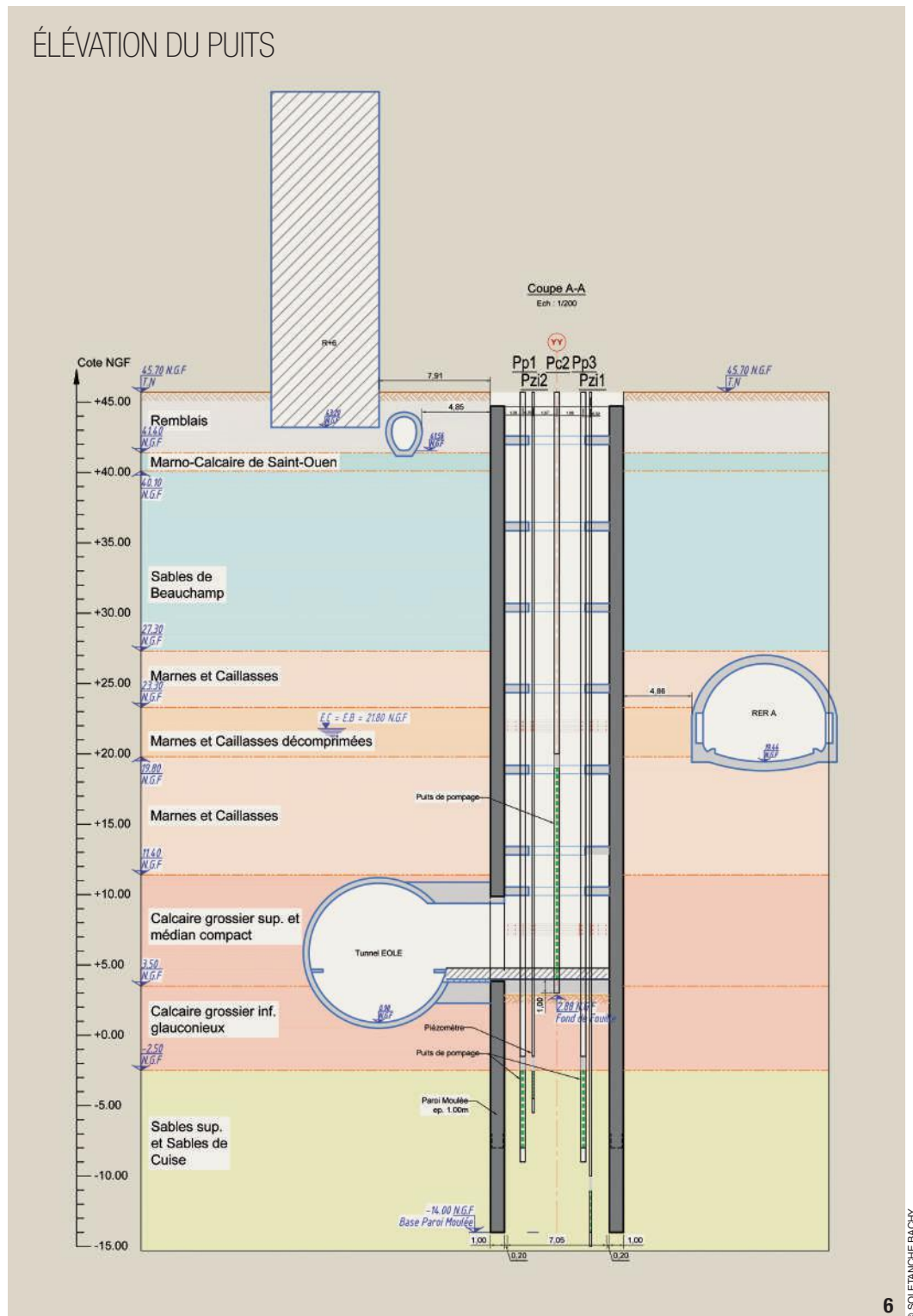
La base des Calcaires Grossiers (CG), glauconieuse, étant réputée peu perméable, il est possible que la nappe de l'Yprésien (dans les SS/SC) soit déconnectée de la nappe du Lutécien (dans les CG). Les deux piézomètres permettent donc de suivre l'évolution des deux nappes en parallèle.

STRUCTURE ET MODE CONSTRUCTIF

Constitué d'une paroi moulée périmétrique d'un mètre d'épaisseur en appui sur des dalles espacées tous les 5,7 m environ, le puits Friedland permet de relier le niveau du tunnel de la ligne E du RER (le niveau fini du radier est à environ 4 NGF) à la surface située vers 46 NGF.

Le rameau de forme ovoïdale constitue la liaison entre le puits et le tunnel. Par rapport à la solution de base, le mode constructif a fait l'objet d'adaptations proposées par Soletanche Bachy France :

→ Terrassement en taupe (plutôt qu'à ciel ouvert) pour diminuer l'impact de la réalisation du puits sur les ouvrages existants. Les dalles définitives sont donc coulées en descendant, en ménageant une ouverture provisoire de 7 mx4 m au milieu de chaque plancher, afin de faciliter l'évacuation des déblais et autoriser l'accès du matériel. Entre le radier et la dalle N-5, un niveau d'étalement (constitué de liernes métalliques le long de la paroi moulée et de butons traversants/butons d'angle) complète les appuis de la paroi moulée en phase provisoire.



→ Mise en place d'un lit d'appui provisoire et précontraint à 22 NGF constitué également d'une lierne métallique continue le long de la paroi moulée et de butons traversants/butons d'angle au niveau de la frange décomprimée des Marnes et Caillasses. Les calculs de soutènement ont montré que, moyennant le phasage en taupe et l'adjonction de ce niveau d'appui, le traitement

6- Élévation du puits.

6- Elevation view of the shaft.

des marnes décomprimées par jet grouting pour améliorer leur butée pouvait être supprimé tout en respectant les seuils de déformation admissibles.

→ Maîtrise de la mise hors d'eau de la fouille et de la stabilité du fond de fouille en phases travaux sans fond étanche, mais par un contrôle rigoureux du débit de pompage et des charges hydrauliques dans les Sables de Cuise, compatibles avec la stabilité aux sous-pressions de la dalle de Calcaire Grossier dans laquelle se développe le fond de fouille. Cette proposition constitue la

SONDAGE CAROTTÉ DES SABLES SUPÉRIEURS / SABLES DE CUISE

continuité directe de notre analyse des perméabilités et des niveaux d'eau décrite ci-dessus ; les détails techniques de sa mise en œuvre sont présentés ci-après.

DISPOSITIF DE POMPAGE / MISE HORS D'EAU DE LA FOUILLE

Supprimer le fond étanche et profiter de l'anisotropie de perméabilité des SS/SC pour justifier la mise hors d'eau de la fouille est une solution audacieuse, mais dont le risque est néanmoins parfaitement maîtrisable. Dans les faits, plusieurs scénarios de rabattement ont été envisagés, l'essai de pompage étant là pour rendre compte du comportement hydraulique réel du massif. Dans le pire scénario, il était encore possible de réaliser le fond étanche avant de démarrer les terrassements (mais avec un impact très négatif sur le planning).

Modélisation des écoulements - dimensionnement des puits

Les écoulements de contournement de l'enceinte en paroi moulée ont été

7- Sondage carotté des Sables Supérieurs / Sables de Cuisine.

8- Plan d'implantation des puits et piézomètres.

7- Core drilling of the Upper Sands / Cuisine Sands.

8- Layout drawing of water wells and piezometers.

Cote NGF (m)	Profondeur (m)	DESCRIPTION LITHOLOGIQUE NATURE DU TERRAIN
-3.47	48.65	Sables moyens gris-brun, lâches à compacts, A+, à fragments coquilliers blancs millimétriques épars et à rares lentilles argileuses vertes centrimétriques
-4.67	49.85	Sables moyens argileux gris-foncé, compacts à grésifiés, A+, à lentilles sableuses gris-clair pluricentimétriques (Dmax = 6 cm) éparses, se débitant en éléments pluricentimétriques à pluridécimétriques (Emax = 23 cm)
-5.47	50.65	Sables moyens argilo-organiques gris-foncé à noirs, lâches à compacts, A+, à lentilles sableuses gris-clair pluricentimétriques (Dmax = 3 cm) éparses et à rares éléments de silex plurimillimétriques, se débitant en éléments pluricentimétriques (Emax = 9 cm)
-7.22	52.40	Sables moyens argileux gris à gris-foncé, lâches à grésifiés, A+, à lentilles sableuses gris-clair pluricentimétriques (Dmax = 4 cm), à lentilles argilo-ligniteuses pluricentimétriques (Dmax = 7 cm) et à rares éléments de silex pluricentimétriques (Dmax = 2 cm) se débitant en éléments pluricentimétriques à pluridécimétriques (Emax = 20 cm)
-7.82	53.00	Sables fins gris-clair, grésifiés, A+, se débitant en éléments pluricentimétriques (Emax = 4 cm) Perte
-8.82	54.00	Sables fins à moyens argileux , gris à gris-foncé, marbrés, compacts, A+, à éléments coquilliers blancs millimétriques et de lentilles argilo-ligniteuses noires centimétriques éparses
-10.32	55.50	Sables moyens argileux gris, lâches, A+, à rares éléments de silex plurimillimétriques à centimétriques épars
-11.82	57.00	Argiles sableuses grises , molles, A+, à rares éléments de silex plurimillimétriques à pluricentimétriques (Dmax = 3 cm)
-12.17	57.35	Sables moyens argileux gris, A+, lâches, à fragments coquilliers blancs millimétriques épars
-13.07	58.25	Argiles sableuses grises, molles, A+, à fragments coquilliers blancs millimétriques épars et à rares concrétions pyriteuses pluricentimétriques (Dmax = 3 cm)
		Sables légèrement argileux gris à gris-clair, lâches à compacts, quartzeux, A+, à rares fragments coquilliers blancs millimétriques et à lentilles argilo-ligniteuses noires plurimillimétriques à pluricentimétriques (Emax = 3 cm)

© SOLETANCHE BACHY

7

simulés, pour un objectif de rabattement au niveau du fond de fouille, à l'aide du logiciel aux éléments finis Plaxis. Comme expliqué plus haut, ces simulations ont pris en compte plusieurs possibilités d'anisotropie de perméabilité dans les sables de Cuisine. Afin de limiter le débit de pompage, les puits sont descendus seulement à mi-hauteur de la fiche de paroi moulée. Cela laisse tout de même une hauteur crépinée de 5,5 m dans les SS/SC, suffisante pour que chaque puits (de diamètre 350 mm) puisse capter environ 20 m³/h si nécessaire.

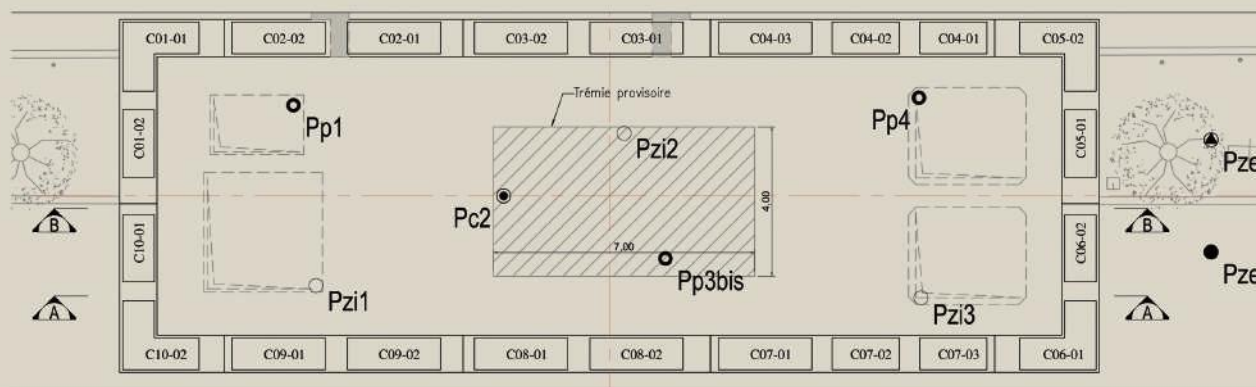
Pour un niveau d'eau dans les puits correspondant au fond de fouille, la modélisation indique un débit de pompage, pour l'ensemble de la fouille, de 24 m³/h dans l'hypothèse de base ($k_h/k_v=10$), et 60 m³/h pour un cas plus pessimiste ($k_h/k_v=5$). In fine, un total de 3 puits, crépinés uniquement dans les sables, a donc été prévu pour capter le débit venant de l'extérieur de l'enceinte.

Un puits supplémentaire crépiné au-dessus du fond de fouille a été ajouté pour essorer les M&C lors des terrassements.

Étude de la stabilité du fond de fouille - détermination des charges hydraulique admissibles dans les sables

On a vu que la limitation du débit de pompage passe, entre autres, par une limitation de la profondeur des puits. Il est inhérent à une solution de puits courts que les charges hydrauliques sous le fond de fouille, lors du rabattement, croissent avec la profondeur et ce, d'autant plus que le terrain est anisotrope.

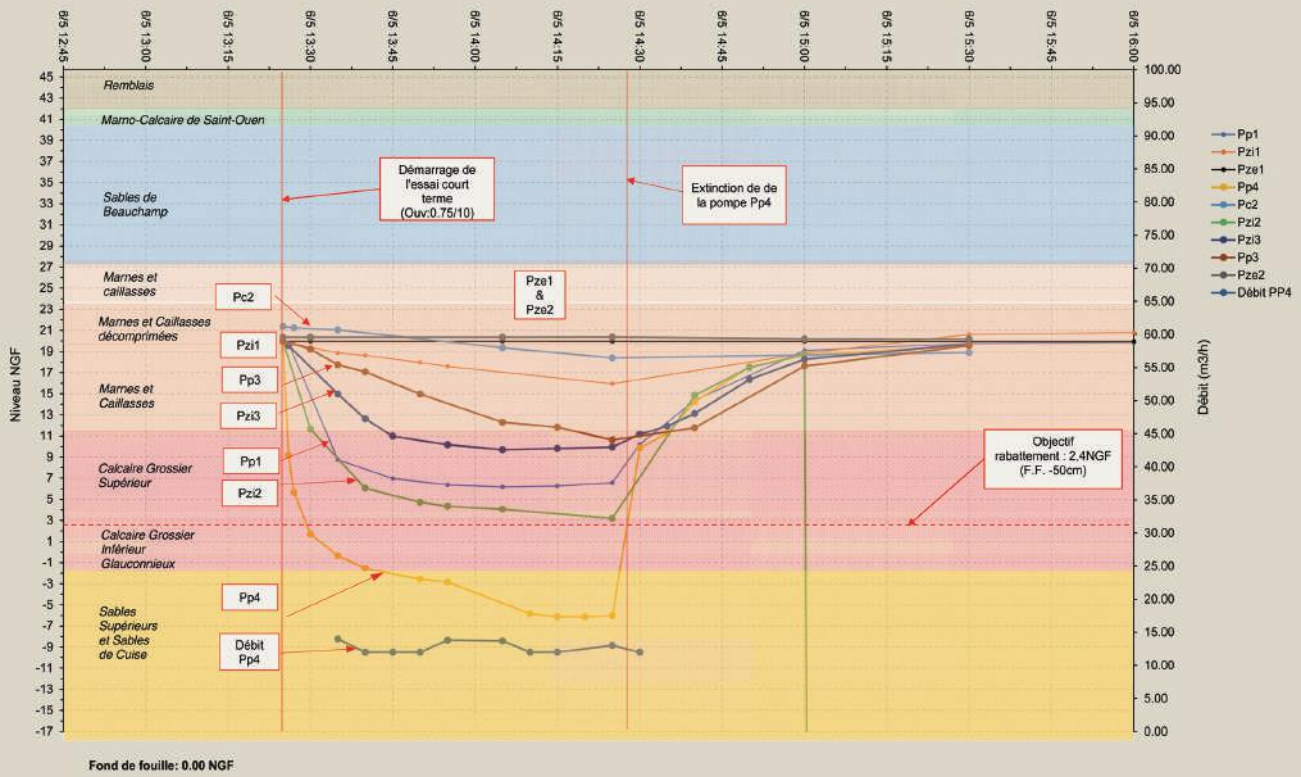
PLAN D'IMPLANTATION DES PUIITS ET PIÉZOMÈTRES



© SOLETANCHE BACHY

8

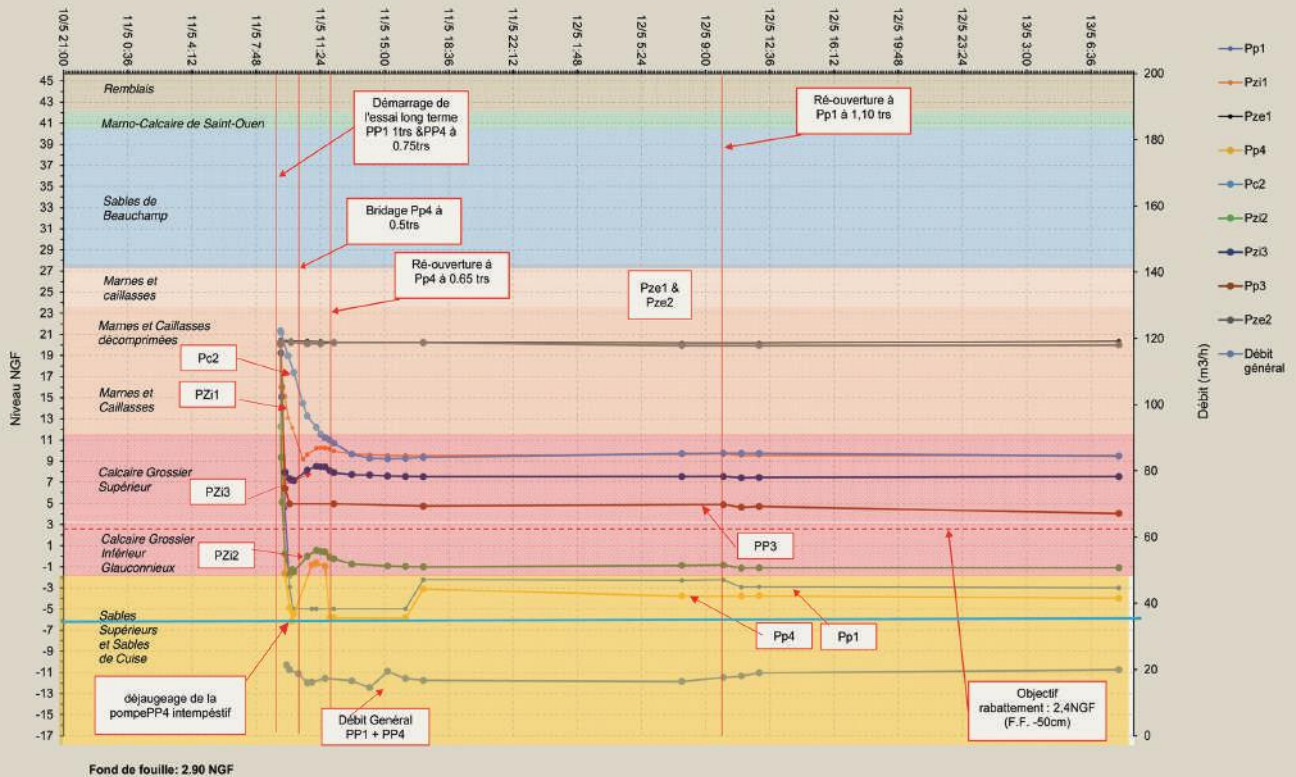
ESSAI DE POMPAGE COURT TERME PP4



9

© SOLETANCHE BACHY

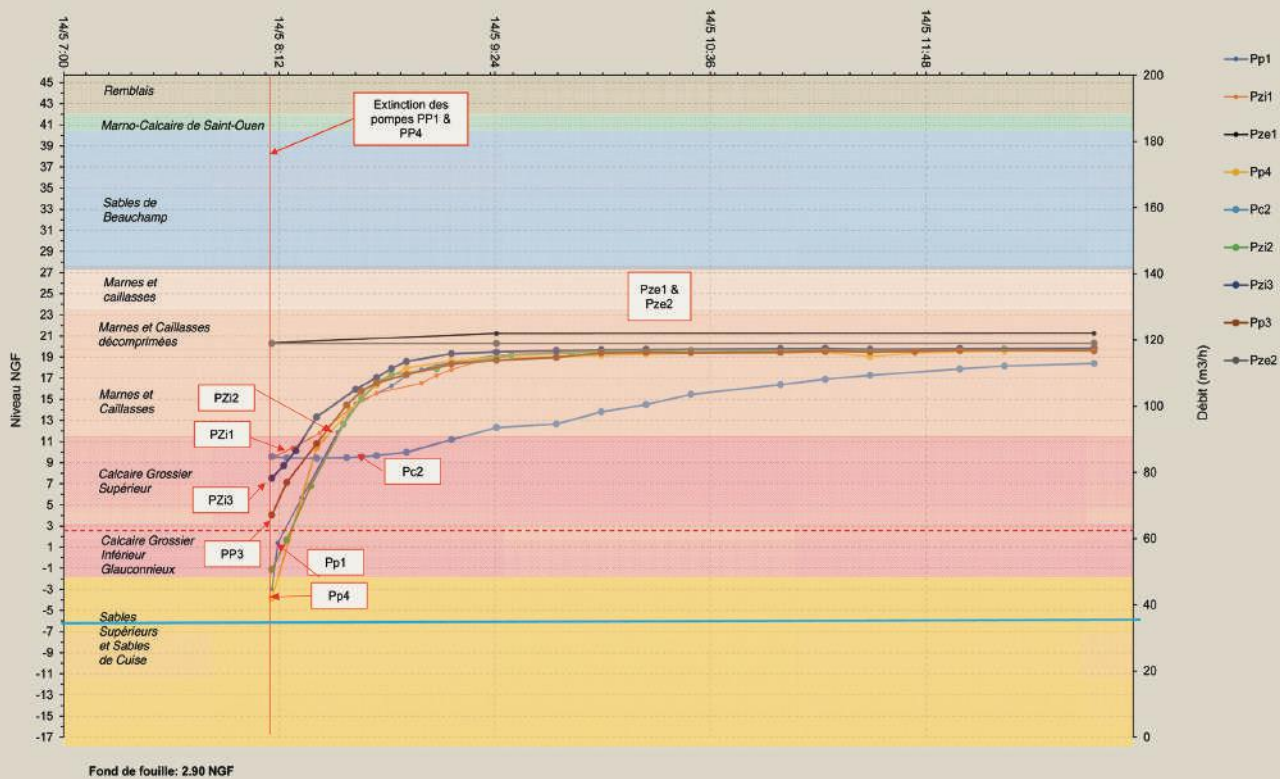
ESSAI DE POMPAGE LONG TERME (DESCENTE)



10

© SOLETANCHE BACHY

ESSAI DE POMPAGE LONG TERME (REMONTÉE)



© SOLETANCHE BACHY

11

Il convient alors de vérifier la stabilité du fond de fouille (stabilité UPL au sens de la norme écran) à différents niveaux sur la hauteur de la fiche de paroi moulée. On peut noter d'emblée que le dispositif de pompage intègre des piézomètres à crépines sélectives, destinés à mesurer les charges hydrauliques dans les sables pendant le rabattement en vue de les comparer aux valeurs limites déterminées par le calcul de stabilité. Dans le détail, l'analyse de stabilité est menée :

- À la base de la dalle calcaire ;
- En pied de paroi moulée ;
- À des niveaux variables correspondant aux crépines sélectives des piézomètres de contrôle, sous la base des puits.

La disposition des puits et piézomètres est donnée en vue en plan (figure 8). La localisation, en élévation, des crépines sélectives de ces éléments est visible sur les figures 12 et 13.

Scénarios envisagés

Pour anticiper les conclusions de l'essai de pompage, plusieurs scénarios de rabattement ont donc été envisagés en fonction des calculs de stabilité ; ils sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

9- Essai de pompage court terme Pp4.

10- Essai de pompage long terme (descente).

11- Essai de pompage long terme (remontée).

9- Short-term pumping test Pp4.

10- Long-term pumping test (lowering).

11- Long-term pumping test (raising).

Dans les trois premiers scénarios, la stabilité UPL du fond de fouille vis-à-vis du soulèvement est vérifiée en prenant en compte le poids des sols (sans considérer aucune résistance additionnelle au sens du §13.2 de la norme NF P 94-282). Le scénario 4 conduit à la réalisation du bouchon étanche, car le volume d'eau pompé dépasse

la limite admissible de la loi sur l'eau. Pour les scénarios 2 et 3, il est important de visualiser que le pompage à un débit inférieur à 60 m³/h n'est possible qu'à la condition d'accepter une charge hydraulique dans les sables supérieures au niveau du fond de fouille. Cela implique des dispositions très particulières lors des terrassements :

- Ne pas recouper les puits et piézomètres en-dessous de la cote correspondant à la charge acceptée (par exemple +8,0 NGF pour le scénario 2), auquel cas il y aurait des venues d'eau en continu au travers de ces éléments ; de plus, il est indispensable d'avoir une cimentation continue de l'espace annulaire de forage des puits et piézomètres au-dessus de la zone crépinée.
- Prévoir une pompe de surface pour capter les venues d'eau résiduelles associées au gradient hydraulique s'établissant au-travers de la dalle calcaire.

ESSAI DE POMPAGE

L'essai de pompage a eu lieu du 6 au 14 mai 2020.

Dès les essais court terme (destinés à déterminer le débit optimum de chaque puits), on a pu constater une bonne réactivité globale entre puits et piézomètres, avec des indices tendant à prouver une anisotropie assez marquée dans les sables.

Par exemple, en pompant dans les puits Pp4, on observe un rabattement plus important dans le puits Pp1, utilisé comme piézomètre et crépiné dans le même horizon, que dans le piézomètre Pzi3 pourtant tout proche, mais crépiné plus en profondeur (figure 9).

L'essai long terme s'est déroulé sur trois jours au total (deux jours de descente et une journée de remontée) (figures 10 et 11).

Dès le début, deux pompes, dans Pp1 et Pp4, ont été mises en marche.

Le débit cumulé avec les deux pompes est de l'ordre de 18 m³/h. On note qu'avec ce débit, le niveau d'eau se stabilise à environ :

- -1 NGF dans Pzi2,
- 5 NGF dans Pp3,
- 7,5 NGF dans Pzi3,
- 9,75 NGF dans Pc2,
- 9,55 NGF dans Pzi1.

SCÉNARIO 1	SCÉNARIO 2	SCÉNARIO 3	SCÉNARIO 4
Phase de stabilisation à 2.4 NGF dans tous les piézomètres (50 cm sous le futur FF) avec un débit inférieur à 60 m³/h	Phase de stabilisation dans tous les piézomètres à un niveau d'eau supérieur à 2.4 NGF mais inférieur à 8 NGF avec un débit inférieur à 60 m³/h	Phase de stabilisation à un niveau d'eau inférieur à 8 NGF dans le piézomètre Pzi2 et à un niveau entre 8 et 14 NGF dans les piézomètres Pzi1 et Pzi3 avec un débit inférieur à 60 m³/h	Phase de stabilisation avec un débit supérieur à 60 m³/h

Ces niveaux corroborent parfaitement les premières constatations des essais de courte durée et sont très rassurants vis-à-vis des scénarios annoncés.

En effet, le débit de pompage total est largement inférieur aux 60 m³/h et les niveaux d'eau mesurés aux différentes profondeurs sont compatibles avec les charges hydrauliques admissibles :

→ Juste sous la dalle calcaire (Pzi2), le niveau de rabattement s'établit à un niveau inférieur au fond de fouille ; il n'y aura donc aucun gradient à travers de la dalle calcaire en phase d'exploitation.

→ Dans les autres piézomètres, plus profonds, les charges mesurées sont plus hautes mais inférieures aux valeurs limites vis-à-vis de la stabilité UPL.

On notera que le rabattement est limité dans le puits court crépiné au-dessus

du fond de fouille (Pc2, qui a été utilisé seulement en piézomètre pendant l'essai de longue durée), et que sa remontée de niveau après arrêt du pompage est assez lente ; ceci montre qu'il existe bien une certaine séparation hydraulique entre les SS/SC et l'ensemble M&C/CG, mais pas suffisante pour que les deux aquifères restent longtemps déconnectés.

Enfin, on constate que les niveaux d'eau à l'extérieur de l'enceinte restent constants, y compris dans l'aquifère profond des SS/SC.

Suite à cet essai, il est donc possible de proposer au chantier d'exploiter le dispositif de pompage comme suit :

→ Pomper uniquement dans les deux puits d'extrémité (Pp1 et Pp4), pour un débit total d'environ 20 à 30 m³/h.

→ Lors des terrassements, conserver une arase des piézomètres compatible avec la charge hydraulique attendue dans les SS/SC, et permettant une éventuelle remontée en cas de faiblesse temporaire du pompage : soit la cote 11,0 NGF pour les piézomètres profonds Pzi1 et Pzi3, et la cote 5,0 NGF pour Pzi2 et le puits central Pp3 non utilisé ; ces cotes sont bien sûr vérifiées par rapport à la stabilité UPL du fond de fouille (figures 12 et 13).

CONCLUSION

Une conception naturelle, pour limiter les débits de pompage lors de l'opéra-

tion de rabattement du puits Friedland, dont l'enceinte en paroi moulée est ancrée dans les Sables de Cuise, était de s'orienter vers la réalisation d'un bouchon étanche.

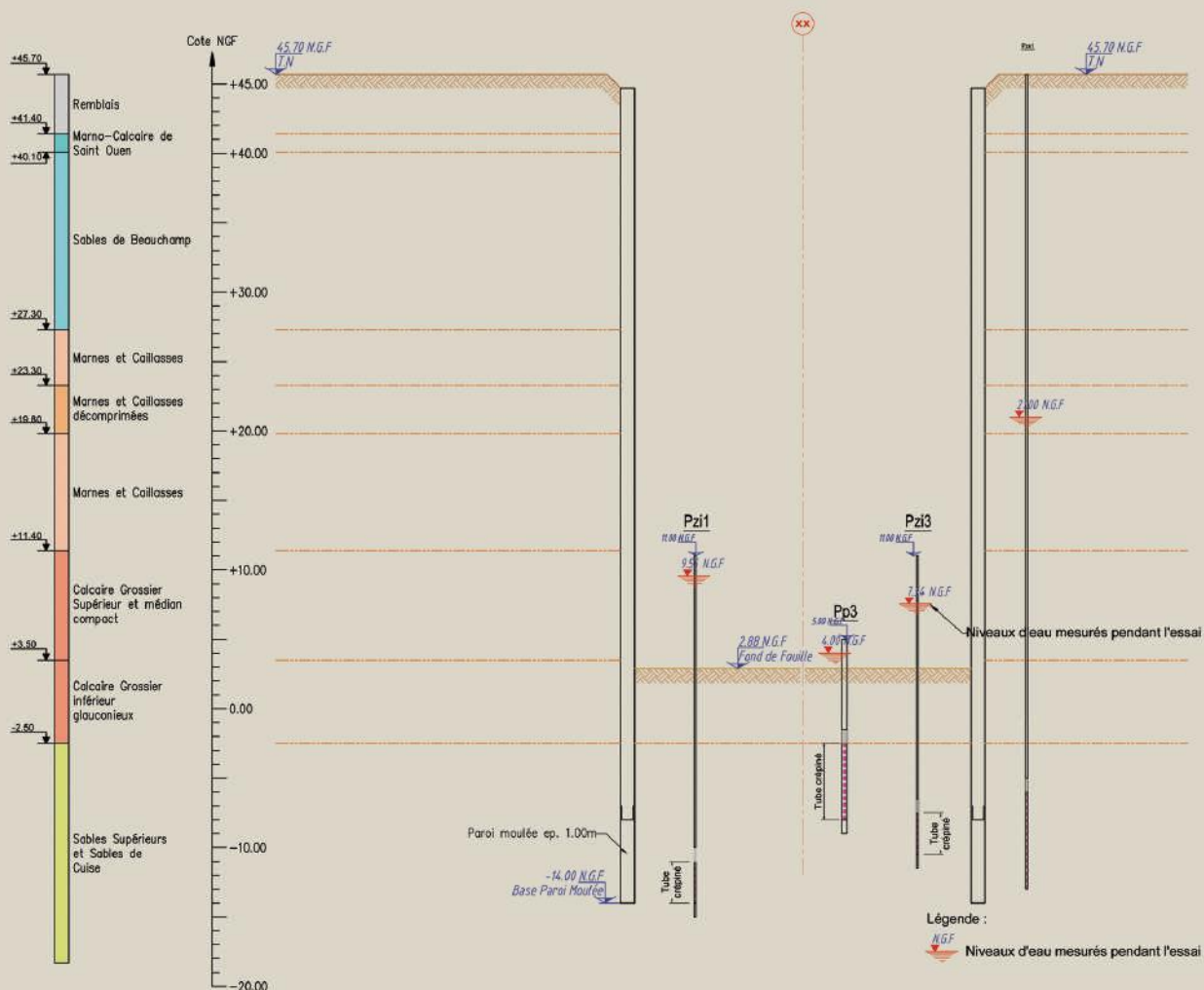
Les études d'exécution réalisées par Soletanche Bachy ont montré que la suppression de ce bouchon étanche était possible tout en garantissant le respect des critères de la loi sur l'eau, moyennant un dispositif de pompage adapté et la prise en compte de l'anisotropie de perméabilité des sables.

Des puits relativement courts, associés à une batterie de piézomètres sélectifs, permettent d'envisager un rabattement sous 20 m³/h (pour 60 m³/h admissibles) compatible avec les terrassements et les sécurités réglementaires vis-à-vis de la stabilité du fond de fouille.

12- Élévation A-A.

12- Elevation A-A.

ÉLÉVATION A-A





ALTI-FERS.com

ALTI-FERS.com

1 © IMPIENNA/DEMATHIEU BARD

LE PROLONGEMENT DE LA LIGNE B DU MÉTRO DE LYON

AUTEURS : ALAIN RICHEY, DIRECTEUR DE PROJET, IMPLENIA - LIONEL CHATAIN, DIRECTEUR DE TRAVAUX GÉNIE CIVIL, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - DENIS VIALLE, DIRECTEUR DES TRAVAUX SOUTERRAINS, IMPLENIA - FEDERICO VALDEMARIN, DIRECTEUR INFRASTRUCTURE, SYSTRA (MOE MELYES) - GASPARD KARWETA-PAYEN, RESPONSABLE VISA ET RISQUES, SYSTRA (MOE MELYES)

LA CONSTRUCTION DE LA LIGNE B DU MÉTRO LYONNAIS REMONTE À 1978. PLUSIEURS PROLONGEMENTS ONT ÉTÉ RÉALISÉS VERS LE SUD-OUEST LYONNAIS. CELUI EN COURS, JUSQU'À SAINT-GENIS-LAVAL/HÔPITAUX-LYON-SUD, VOULU PAR LE SYTRAL, VERRA UNE MISE EN SERVICE EN 2023, AVEC DEUX STATIONS SUPPLÉMENTAIRES. LE GROUPEMENT IMPLENIA/DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION EST EN CHARGE DU LOT PRINCIPAL : PUIITS D'ATTAQUE DU TUNNELIER, TUNNEL, RAMEAU DU PUIITS DU GRAND REVOYET, STATION OULLINS CENTRE ET DU RACCORDEMENT AU RÉSEAU EXISTANT AU PUIITS ORSEL. LE GROUPEMENT MELYES (EGIS MANDATAIRE, SYSTRA) EST MAÎTRE D'ŒUVRE DU LOT PRINCIPAL ET ASSURE LE SUIVI DES TRAVAUX AU TUNNELIER.

HISTOIRE DU MÉTRO B LYONNAIS

L'Ouest lyonnais est moins desservi en transports en commun que le reste de l'agglomération. Ce prolongement vise à rattraper ce retard en desservant des pôles majeurs tel que le centre-ville d'Oullins et l'hôpital Lyon-Sud.

Après des études préliminaires menées pendant le prolongement précédent, le projet a été voté par le Sytral (Syndicat Mixte des transports pour le Rhône et l'agglomération lyonnaise) en 2014.

CONTEXTE ET ENJEUX TECHNIQUES DU PROJET

Le prolongement du métro B d'Oullins à Saint-Genis-Laval se situe à l'ouest

1- Bétonnage du radier du puits d'attaque Hôpitaux-Lyon-Sud.

2 & 3- Exemple de blocs rencontrés lors de la phase des fondations spéciales.

1- Concreting the foundation raft of the Hôpitaux-Lyon-Sud entry shaft.

2 & 3- Example of blocks encountered during the special foundations phase.

de la vallée du Rhône, peu après sa confluence avec la Saône, dans un vallon comprenant à l'est la colline des Roches (ou butte Montmein) et à l'ouest la colline de Sainte-Eugénie, toutes deux constituées de socle cristallin granitique.

Ainsi, depuis son lancement en novembre 2019, le tunnelier avance du sud vers le nord, suivant un tracé qui s'insère dans une "goulotte" du substratum granitique et gneissique ancien, au sein de dépôts alluvionnaires variés de type fluviaux, lacustres et glaciaires formés lors de séquences d'avancée et de retrait des grands glaciers alpins. Il traversera la

station des Hôpitaux-Lyon-Sud et la station de Oullins Centre pour rejoindre le tunnel existant au puits Orsel, un puits en exploitation situé à l'arrière-gare de la station Oullins-Gare.

De nombreux défis techniques sont au rendez-vous sur ce projet, parmi lesquels on notera ;

→ Un creusement dans une géologie extrêmement difficile et variable sur un linéaire relativement réduit : granite et gneiss, alluvions fines ou grossières, blocs et conglomérat...

→ Localement, des fronts entiers dans des alluvions grossières crues (jusqu'à 10⁻² m/s de perméabilité rencontrée), ce qui est en limite de faisabilité pour un tunnelier et a nécessité des adaptations de machine et un développement spécifique de boues techniques.

→ La présence de plusieurs "fronts mixtes" avec de très forts contrastes entre granite sain et alluvions meubles, induisant d'importantes difficultés de pilotage.

→ Un tunnel avec une faible couverture sous un tissu urbain parfois dense, ancien et très sensible où l'on trouve notamment de vieux bâtiments en pisé, souvent mal entretenus, mais aussi de nombreux puits d'eau anciens sur le tracé du tunnel.

→ Une station profonde inscrite difficilement entre des immeubles de grande hauteur, à moins de 3 m de distance.



© MELYES

4- Tracé du prolongement du métro B.

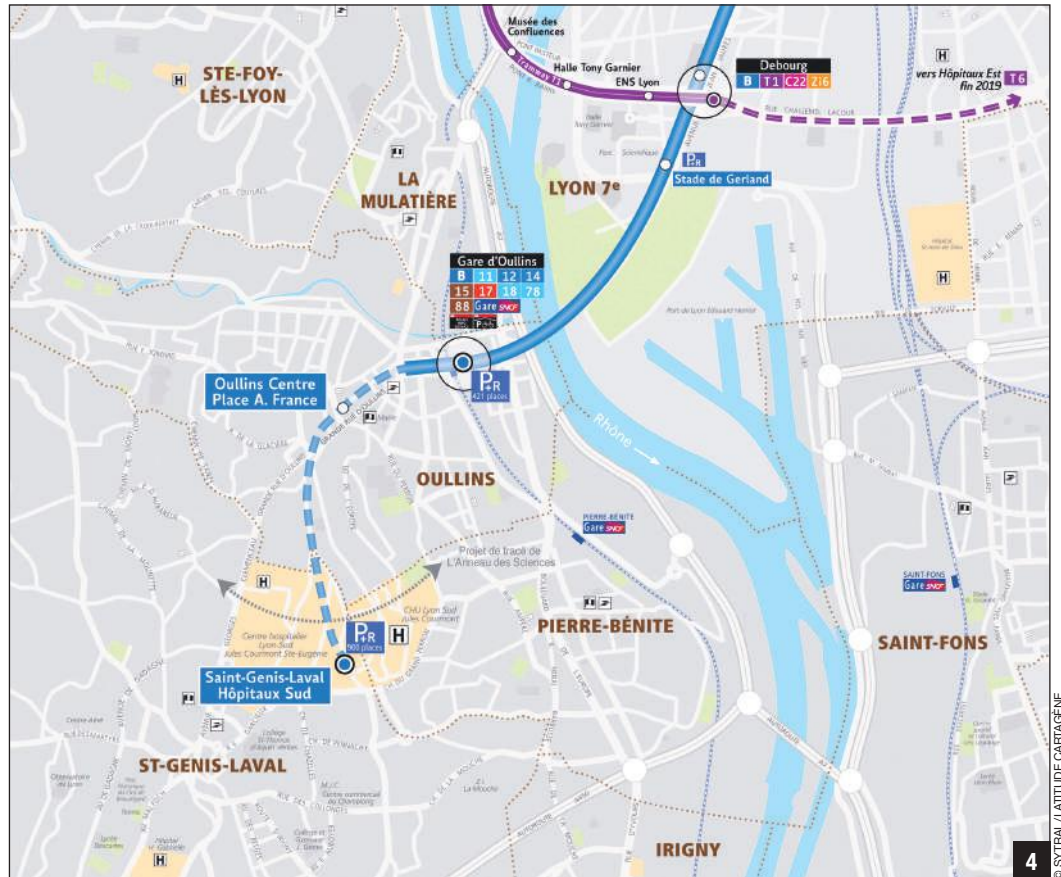
5- Centrale à boue avec le trommel, les hydrocyclones, le filtre presse et l'unité de production des boues.

6- Poste d'aide, en insertion, au stockage des voussoirs.

4- Alignment of Line B metro extension.

5- Slurry mixing plant with the trommel screen, hydrocyclones, filter press and slurry production unit.

6- Segment storage.



→ Une arrivée et un démontage du tunnelier dans l'espace très exigu d'un puits de ventilation maintenu en exploitation, avec un abandon de la jupe dans le terrain.

À date, on notera ainsi que des bancs conglomératiques en grande quantité ont impacté les terrassements de la station Oullins Centre.

De façon similaire, au puits de départ, ce ne sont plus des blocs erratiques

mais un dépôt de blocs morainiques qui a été rencontré et qui a rendu difficile la réalisation du soutènement en paroi moulée (figures 2 et 3).

DESCRIPTION GÉNÉRALE DE L'OUVRAGE

Le marché attribué au groupement Implenia/Demathieu Bard, de 138 millions d'euros, est le lot GC01 qui comporte (figure 4) :

- La réalisation du puits d'attaque Hôpitaux-Lyon-Sud (PAHLS) ;
- Le creusement d'un tunnel de 2,4 km et de 8,55 m de diamètre intérieur ;
- La réalisation de la station Oullins Centre (OCE) ;
- Le rameau du puits du Grand Revoyet ;
- Le raccordement au réseau existant et en activité au puits Orsel ;

→ De la co-activité avec les autres lots de génie civil de ce projet : la traversée de la station Hôpitaux-Lyon-Sud et l'interface avec les lots des équipements et voies qui succèdent au génie civil.

LE PUITS D'ATTAQUE HÔPITAUX-LYON-SUD (PAHLS)

Le PAHLS est un ouvrage de 18 m de largeur sur 35 m de longueur et 23 m





7

© HERRENKNECHT

de profondeur, situé sur une emprise chantier de 17500 m².

Réalisé selon la méthode des parois moulées de 30 m de profondeur, cet ouvrage a nécessité 3 lits de butons dont un double pantopode visant à limiter l'impact sur la logistique du tunnel en creusement. Pour la réalisation du radier c'est un plot de 1000 m³ de béton qui a été coulé pendant l'été 2019 (figure 1).

Aujourd'hui, le puits est le point de départ du tunnel. Toutes les infrastruc-

7- Le tunnelier Coline dans l'usine de montage d'Herrenknecht.

8- Entrée du tunnel et puits d'attaque.

7- The "Coline" TBM in the Herrenknecht assembly plant.

8- Tunnel entrance and entry shaft.

tures liées au tunnelier sont concentrées sur l'emprise du PAHLS.

La plus visible de ces installations est la station de traitement des boues (figure 5).

C'est une véritable usine qui fonctionne en symbiose avec le tunnelier et qui a été montée pour la durée du creusement. On y retrouve :

→ La partie "séparation" : qui permet la gestion et la revalorisation des terrains excavés et le recyclage de la boue de forage (1 800 m³/h).

- Le trommel et les hydrocyclones : ces installations servent à traiter les matériaux excavés par le tunnelier, pour séparer les gros éléments de la boue (graviers et sables).

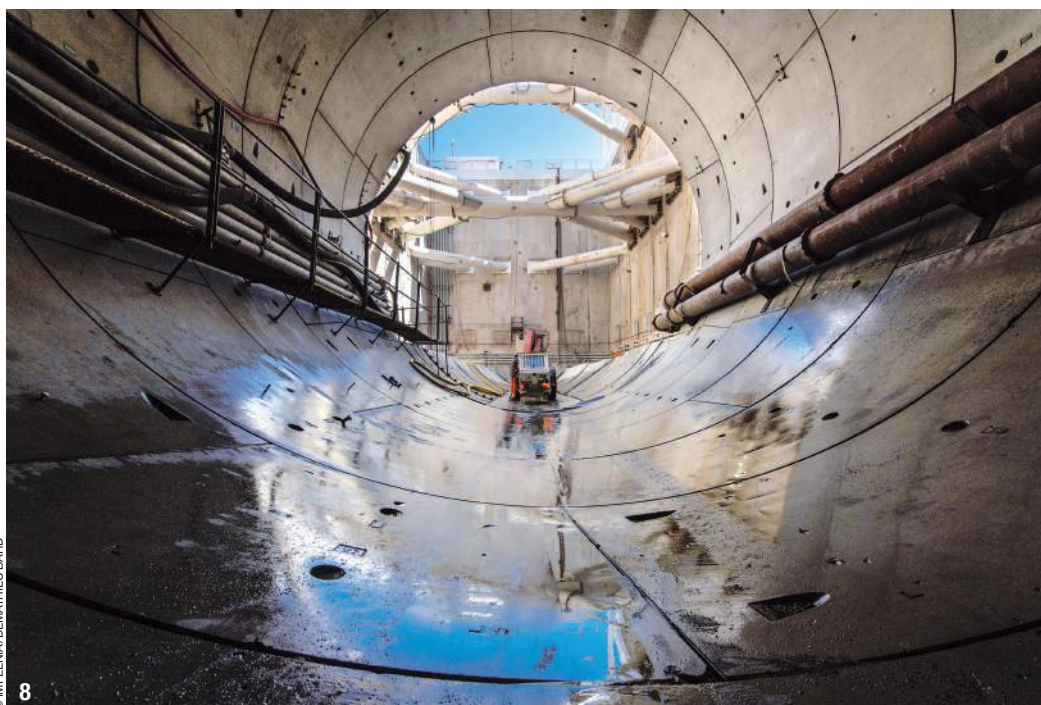
- Les filtres-presses : ils permettent de traiter la boue excédentaire non recyclable, grâce à la dés-hydratation de la boue par pressage. Les galettes produites sont ensuite évacuées, dans le cadre de la revalorisation des matériaux, sur le site de l'aéroport Saint-Exupéry pour de la réhabilitation de carrière.

→ La partie "production" :

- Unité de production : ici est préparée la boue bentonitique qui sera injectée devant le tunnelier pour soutenir les sols lors du creusement. Une boue spécifique aux terrains complexes du sous-sol lyonnais est préparée par apport de matériaux organiques recyclés.

→ D'autres éléments complètent ces installations en surface, tels que :

- La centrale à mortier : le mortier de bourrage est fabriqué sur site à partir des éléments triés par la station de traitement de boues, et il est injecté autour des voussoirs lors du creusement. Cette centrale servira également à réaliser le matériau pour la réalisation du radier du tunnel, à partir des matériaux issus de l'excavation (graviers et sables). Environ 60 m³ de mortier sont produits chaque jour dans cette centrale.



8

© IMPLENA/DEMATHEU BARD

- Le magasin et l'atelier : afin de maintenir l'état des installations et éventuellement de réparer les pièces sur place, un magasin et un atelier sont installés sur place. Le magasin, tenu par trois magasiniers, recense plus de 2 000 références d'EPI et petits outillages. Un distributeur de petits EPI (lunettes, gants, bouchons d'oreilles...) est également disponible sur place et permet à chacun d'être autonome sur ses réassorts. L'atelier permet la réparation des pièces sollicitées lors du creusement du tunnel directement sur site. De nombreux métiers s'y côtoient tels que des électriciens, des soudeurs, des mécaniciens...

→ La station de traitement des eaux : sur le chantier, cette station permet de collecter les eaux de pluie et les eaux usées pour le nettoyage et l'entretien du chantier. Ces eaux sont réceptionnées dans un bac de décantation, puis dessablées et retraitées avant d'être rejetées dans le réseau d'eau du Grand Lyon. Environ 60 m³ d'eau sont traités par jour.

→ Le portique de manutention et la plateforme de stockage des voussoirs : les voussoirs, nécessaires au tunnel sont stockés sur une plateforme en surface (figure 6). Un portique (14,25 m de hauteur/25 m de largeur/capacité de levage de 125 t/distance survolée de 87,20 m/vitesse de déplacement en translation : 8 m/min) a été installé pour les acheminer en fond de puits à l'aide d'une pince à voussoirs. Ils sont alors déposés sur le train sur pneus, qui les acheminera jusqu'au du tunnelier.

LE TUNNEL ET LE TUNNELIER

Conçu en collaboration entre le groupe d'entreprises et le fournisseur, fabriqué en Allemagne chez Herrenknecht sur la base des spécifications techniques données par Systra (MOE Melyes) pour faire face aux enjeux d'une géologie très complexe, le tunnelier a été assemblé dans le puits pendant environ 3 mois et lancé dans le sous-sol en traversant l'une des

parois moulées de 0,80 m d'épaisseur. Le tunnelier, baptisé "Coline" fin 2019, fonctionne 7/7j, 24/24h, et creuse de 8 à 10 m par jour en moyenne. Il mesure 122 m de long, atteint les 2200 t et a une puissance électrique de 7,6 MW. Sa longueur dépassant largement les 35 m du puits, le lancement du tunnelier est fait avec une configuration d'assemblage partiel, ensuite complété au fur et à mesure de l'avancement du creusement. La première remorque est donc plus complète pour disposer du minimum nécessaire au creusement. On y trouve la cabine de pilotage, le groupe hydrau-

lique, la pompe P2.1 (premier étage du système de marinage), les transferts de voussoirs (alimentateur) et le système de graissage centralisé (figure 7). Il s'agit d'un tunnelier à densité variable avec plusieurs types de boues potentielles et un double circuit de boue d'apport. Il y a de multiples possibilités de malaxage et de pompage des différents produits. Une boue d'urgence avec réserve embarquée est également disponible, permettant la mise en sécurité de l'ouvrage et des avoisinants. Cet éventail d'utilisations est possible grâce à son concasseur, reliant la vis au circuit de marinage classique. La roue de coupe mesure 9,75 m de diamètre, pèse 175 t, a 2 sens de rotation, 57 molettes de 19" et 8 injecteurs de bentonite au front. Sa vitesse de rotation est de 0 à 3 tours par minute. Elle a été renforcée avec des plaques anti-abrasion, des bandes de protection et des trappes d'accès. L'équipement hyperbare permet les interventions de maintenance des outils de la roue de coupe.

9- Stockage des voussoirs sur le parc d'Ambronnay.

9- Segment storage on the Ambronnay yard.





10

© IMPLENIA/DEMATHIEU BARD

Les travaux sont réalisés dans le cadre d'un suivi qui permet l'adaptation continue des paramètres de creusement. Cela comprend l'enregistrement de nombreux paramètres liés aux travaux eux-mêmes, mais également la surveillance du comportement des sols : suivi de nivellement en surface, mesures de mouvement profonds en forage, relevés des niveaux d'eau, etc. L'ensemble des bâtiments en surface situés dans la Zone d'Influence Géologique font également l'objet d'un diagnostic de l'état du bâti (en vue de son confortement s'il y a un risque résiduel), d'une visite avant les travaux et d'une instrumentation spécifique.

10- Vue d'ensemble de la station Oullins Centre.

11- Terrassement sous la dalle de couverture de la station Oullins Centre.

10- General view of Oullins-Centre Station.

11- Earthworks under the cover slab of Oullins-Centre Station.

Cette instrumentation permet d'évaluer en temps réel un éventuel impact du creusement sur les enjeux en surface.

LES VOUSSOIRS

Le revêtement du tunnel est réalisé à l'avancement, par anneaux constitués de voussoirs préfabriqués en béton armé de 1,80 m de largeur et 40 cm d'épaisseur. Chaque anneau est composé de 7 voussoirs et pèse 50 t (figure 8).

Le groupement a fait le choix de fabriquer lui-même les voussoirs du projet pour maîtriser au mieux le planning et leur qualité lors de la production, dans un marché de la préfabrication des

voussoirs saturé du fait des nombreux chantiers du Grand Paris Express.

L'usine de préfabrication est installée près de Lyon, à Ambronay, sur un site assez vaste pour avoir un atelier de production et de la place pour le stockage des voussoirs. Ce site est à proximité immédiate de la carrière qui produit les cailloux nécessaires aux voussoirs. Sur le site, le bâtiment qui allait accueillir l'usine était existant, il ne restait plus qu'à l'aménager (figure 9).

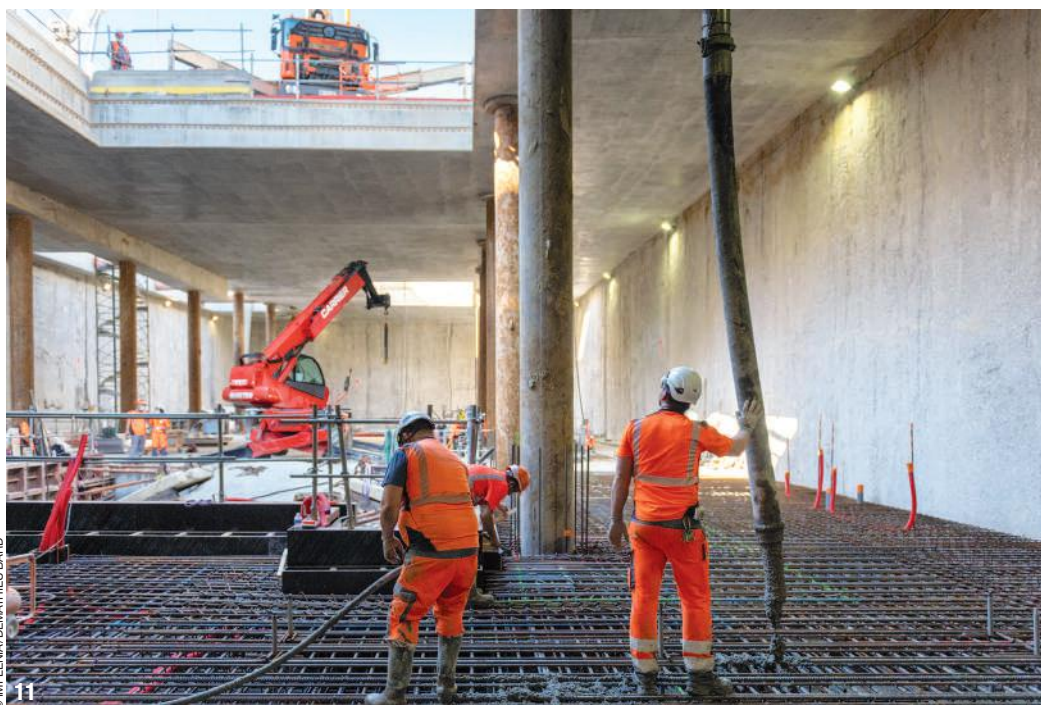
LA STATION OULLINS CENTRE (OCE)

La station OCE est un ouvrage de 26 m de largeur sur 72 m de longueur et 28 m de profondeur, situé sur une emprise chantier de 2700 m², en milieu hyper urbain. C'est en effet en plein cœur de ville que le chantier s'est installé, avec des avoisinants (bâties et riverains) à moins de 3 m.

Compte tenu de cet environnement contraint, la base vie est déportée à 300 m du chantier. La méthode de construction a elle aussi été adaptée en conséquence (figure 10).

L'enceinte de parois moulées, de 37 m de profondeur, est ancrée dans le granite, ainsi que les 18 pieux profondés. La station est ensuite réalisée selon la méthode du creusement en taube. Les dalles principales sont coulées au fur et à mesure de la descente des 55000 m³ de terrassement et sont sur 3 niveaux : la dalle de couverture est à -3 m, la salle des billets est à -10 m, la mezzanine est à -17 m et les quais à -25 m.

Le radier, situé à -28 m, sera réalisé courant été 2020, et ne nécessitera pas moins de 2800 m³ de béton (figure 11). ▷



11

© IMPLENIA/DEMATHIEU BARD



12

© IMPLERIA/DEMATHIEU BARD

PRINCIPALES QUANTITÉS DU LOT GÉNIE CIVIL

- Montant du marché : 138 millions d'euros
- 98 % des matériaux excavés seront valorisés, dont une partie directement sur le chantier
- Voussoirs : 8 799 u
- Effectif chantier : supérieur à 200 personnes

TRAVERSÉES DES STATIONS PAR LE TUNNELIER

Pour sécuriser les phases délicates de sortie et d'entrée en terre, notamment dans le contexte hyper urbain d'Oullins, le marché imposait la mise en place d'une cloche de confinement. Des outils spécifiques ont été développés pour mettre en place ces éléments sans possibilité de levage depuis la

sortie, dont le poids total avoisine 450 t (figure 12).

RESSOURCES HUMAINES : L'INSERTION PROFESSIONNELLE

Sur le chantier, ce sont plus de 200 personnes qui travaillent chaque jour, avec une activité 7/7j et 24/24h. Le marché impose au groupement 36 450 h d'insertion. Actuellement, une vingtaine de personnes éligibles à l'insertion ont été intégrés dans les effectifs, sur des postes divers et à responsabilités : documentaliste, conducteur de train sur pneus, aide centraliste à la station de traitement des boues, finisseur sur les voussoirs, aide servitudes dans le tunnelier, etc. Des heures d'insertion ont également été confiées à des prestataires et sous-traitants.

À moins de 20 % du creusement du tunnel, ce sont plus de 60 % des heures d'insertion dues qui ont déjà été réalisées. □

12- Mise en place de la cloche pour préparer la traversée de la station Hôpitaux Lyon Sud.

12- Installing the cover to prepare penetration of the Hôpitaux-Lyon-Sud Station.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Sytral (Syndicat Mixte des transports pour le Rhône et l'agglomération lyonnaise)

MAÎTRISE D'ŒUVRE D'EXÉCUTION : groupement d'entreprises Melyes (Systra/Egis/Atelier Schall/Azc)

ENTREPRISES : groupement d'entreprises Implenia (mandataire) / Demathieu Bard Construction pour la réalisation du génie civil, avec comme sous-traitants majeurs :

- Terrassement : Perrier TP
- Armatures : Germain Armatures
- Auscultations : Sites
- Tunnelier : Herrenknecht
- Centrale à boue : M&S
- Armatures des voussoirs : Axis

ABSTRACT

EXTENSION OF LYON METRO LINE B

ALAIN RICHEY, IMPLERIA - LIONEL CHATAIN, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - DENIS VIALLE, IMPLERIA - FEDERICO VALDEMARIN, SYSTRA (MOE MELYES) - GASPARD KARWETA-PAYEN, SYSTRA (MOE MELYES)

The construction of Line B of the Lyon metro dates back to 1978.

The present contracting authority is Syndicat Mixte des transports pour le Rhône et l'agglomération lyonnaise (Sytral). Several extensions have been executed towards southwest Lyon. The current extension, up to Saint-Genis-Laval/Hôpitaux-Lyon-Sud, will be commissioned in 2023, with two additional stations. The Implenia/Demathieu Bard Construction consortium is responsible for the main work section comprising the TBM entry shaft, the tunnel, the connecting gallery for the Grand Revoyet shaft, Oullins-Centre Station, and connection to the existing network at the Orsel shaft. The Meylies consortium, formed of Egis (leader) and Systra, is project manager for the main work section and performs supervision of the TBM work. □

LA PROLONGACIÓN DE LA LÍNEA B DEL METRO DE LYON

ALAIN RICHEY, IMPLERIA - LIONEL CHATAIN, DEMATHIEU BARD CONSTRUCTION - DENIS VIALLE, IMPLERIA - FEDERICO VALDEMARIN, SYSTRA (MOE MELYES) - GASPARD KARWETA-PAYEN, SYSTRA (MOE MELYES)

La construcción de la línea B del metro de Lyon se remonta a 1978.

El actual contratista es el Sindicato Mixto de Transporte del Ródano y de la aglomeración de Lyon (Sytral). Se han realizado varias prolongaciones hacia el suroeste de Lyon. La que está actualmente en curso, hasta Saint-Genis-Laval/Hôpitaux-Lyon-Sud, entrará en servicio en 2023, con dos estaciones adicionales. El consorcio Implenia/Demathieu Bard Construction se encarga del lote principal, que incluye los pozos iniciales de la tuneladora, el túnel, la rama del pozo de Grand Revoyet, la estación de Oullins-Centre y la conexión con la red existente en el pozo de Orsel. El consorcio Meylies, formado por Egis (mandatario) y Systra, dirige las obras del lote principal y realiza el seguimiento de las obras de la tuneladora. □



BTP BANQUE

GRUPE CREDIT COOPERATIF

C'est le métier
qui parle

LA BANQUE PROFESSIONNELLE DU BTP

www.btp-banque.fr

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

<p>TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX</p> <p>946</p>	<p>ÉNERGIE</p> <p>951</p>	<p>TRAVAUX SOUTERRAINS</p> <p>956</p>
<p>TRAVAUX SOUTERRAINS</p> <p>947</p>	<p>VILLE ET PATRIMOINE</p> <p>952</p>	<p>SPÉCIAL INNOVATION</p> <p>957</p>
<p>OUVRAGES D'ART</p> <p>948</p>	<p>INTERNATIONAL</p> <p>953</p>	<p>SOLS ET FONDATIONS</p> <p>958</p>
<p>SPÉCIAL GARES ET STATIONS</p> <p>949</p>	<p>TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX</p> <p>954</p>	<p>ÉNERGIE</p> <p>959</p>
<p>SOLS ET FONDATIONS</p> <p>950</p>	<p>OUVRAGES D'ART</p> <p>955</p>	<p>MAINTENANCE DES INFRASTRUCTURES</p> <p>960</p>

BON DE COMMANDE ■ REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

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

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

- | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 946 x | <input type="checkbox"/> 951 x | <input type="checkbox"/> 956 x |
| <input type="checkbox"/> 947 x | <input type="checkbox"/> 952 x | <input type="checkbox"/> 957 x |
| <input type="checkbox"/> 948 x | <input type="checkbox"/> 953 x | <input type="checkbox"/> 958 x |
| <input type="checkbox"/> 949 x | <input type="checkbox"/> 954 x | <input type="checkbox"/> 959 x |
| <input type="checkbox"/> 950 x | <input type="checkbox"/> 955 x | <input type="checkbox"/> 960 x |

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

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 15 € à 13 € l'unité)

*Offre valable jusqu'au 31/12/20 et hors frais postaux (exemple pour un numéro : 5,00 € d'envoi France, 10,00 € d'envoi Europe et 12,50 € d'envoi étranger hors Europe). Conformément à la Loi «informatique et des libertés» du 06/01/78, le droit d'accès et de rectification des données concernant les abonnés peut s'exercer auprès du service abonnements. Ces données peuvent être communiquées à des organismes extérieurs. Si vous ne le souhaitez pas, veuillez cocher cette case

JE VOUS INDIQUE MES COORDONNÉES :

Nom _____ Prénom _____
 Entreprise _____ Fonction _____
 Adresse _____
 Code postal [] [] [] [] Ville _____
 Tél. : _____ Fax : _____

Email : _____ Merci de ne pas communiquer mon adresse mail

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

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

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

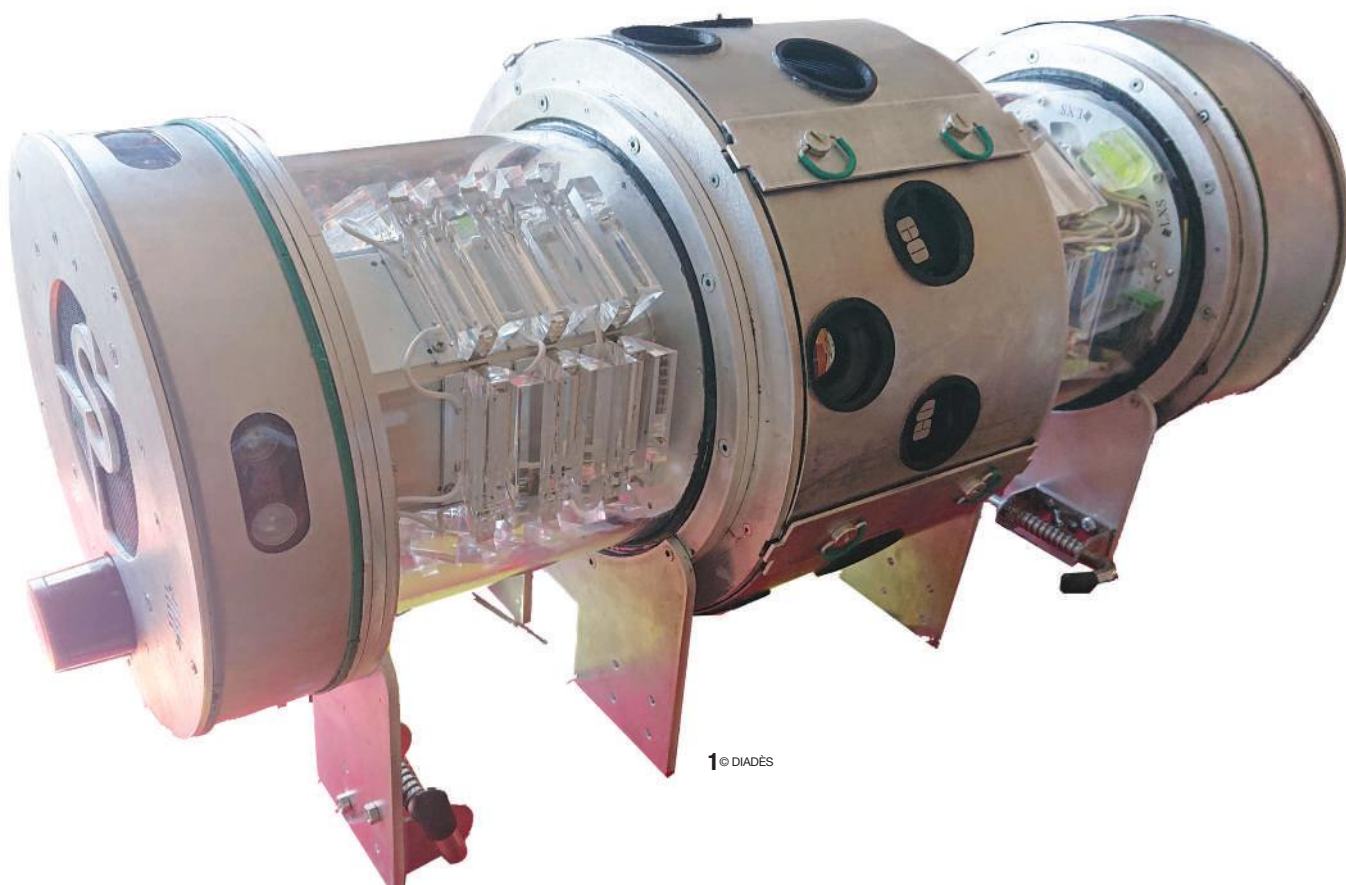
Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire



INSPECTION DÉTAILLÉE DES TUNNELS NOUVELLE TECHNOLOGIE : ID-NT[®]

AUTEURS : SÉBASTIEN FRACHON, EXPERT TUNNELS, SETEC DIADÈS, - BENJAMIN POLI, RESPONSABLE R&D, SETEC DIADÈS -
CHRISTOPHE RAULET, DIRECTEUR GÉNÉRAL, SETEC DIADÈS

LES INSPECTIONS DÉTAILLÉES DE TUNNELS, RÉALISÉES CONFORMÉMENT AU FASCICULE 40 DE L'ITSEOA, SONT PARFOIS PLUS COMPLEXES QUE SUR CERTAINS OUVRAGES D'ART CAR ELLES GÉNÈRENT PLUS DE PERTURBATIONS À L'EXPLOITATION. ELLES NÉCESSITENT EN EFFET UN CONTACT AVEC LA TOTALITÉ DU PAREMENT QUI DEMANDE UNE PRÉSENCE SUR SITE LONGUE, DE MOINS EN MOINS COMPATIBLE AVEC LES CONTRAINTES D'EXPLOITATION, NOTAMMENT SUR LES AUTOROUTES ET AUTRES GRANDS AXES ROUTIERS ET FERROVIAIRES. LE SYSTÈME ID-NT[®] DÉVELOPPÉ PAR SETEC DIADÈS PERMET DE S'AFFRANCHIR D'UNE GRANDE MAJORITÉ DE CES CONTRAINTES TOUT EN RESTANT CONFORME À L'ESPRIT DE LA RÉGLEMENTATION.



1 © DIADES

GENÈSE DE LA DÉMARCHÉ ET CONSTRUCTION DU MODE DE DÉVELOPPEMENT CONTEXTE

Le retour des principaux exploitants des réseaux routiers comportant des tunnels met en avant :

1- Dispositif
d'acquisition
ID-NT[®] V2.0.

1- ID-NT[®]
acquisition
system V2.0.

- Une problématique de plus en plus fréquente de fermeture d'un sens de circulation, qui plus est sur plusieurs nuits ;
- La volonté de rester conforme à l'instruction technique (fascicule 40).

Synthétiquement, il s'agit d'organiser, donc de pouvoir réaliser, des inspections détaillées avec le plus faible impact possible sur l'exploitation, tout en respectant la réglementation. Cette problématique d'équilibre entre contraintes d'exploitation et exhaustivité ▷

des constats est présente depuis longtemps mais de plus en plus, les exploitants sont tentés de privilégier l'absence de contrainte d'exploitation, ce qui peut avoir un impact sur la qualité de réalisation des inspections.

LES INSPECTIONS À DISTANCE

Les inspections à distance permettent l'acquisition de données d'un tunnel dans un délai relativement réduit, avec des passages "furtifs" qui sont soit "noyés dans le trafic", soit réalisés de nuit dans un créneau de balisage travaux.

Cela se traduit par une augmentation des prestations d'acquisition scanner. Deux technologies sont bien développées et largement utilisées pour les acquisitions en tunnels employant deux approches différentes, l'une étant issue de la topographie et l'autre basée sur le traitement d'images.

La première démarche de notre phase de recherche et développement a été d'analyser ces technologies existantes que nous n'utilisons pas directement mais que nous devons connaître plus en détails afin d'en déterminer les avantages et les inconvénients.

TECHNOLOGIE SCANNER TOPO (figure 3)

- Utilisation d'un scanner tournant ;
- Permet le relevé thermographique ;
- Permet l'acquisition de nuage de points et d'appliquer des photographies couleur haute définition.

TECHNOLOGIE SCANNER EMBARQUÉ (figure 4) :

- Utilisation d'un scanner tournant embarqué sur véhicule ;
- Permet l'acquisition d'image haute définition en nuance de gris ;
- Permet le relevé thermographique.

SYSTÈME D'ASSISTANCE À LA RÉALISATION D'INSPECTION DE STRUCTURE TYPE TUNNEL

L'analyse de la comparaison des technologies existantes (tableau 1) met en avant une difficulté à rentrer dans le cadre de l'instruction technique, en privilégiant les réponses aux problématiques d'exploitation au détriment du cahier des charges d'une inspection détaillée au sens de l'ITSEOA.

Le retour d'expérience issu de plusieurs années d'inspections détaillées par méthode traditionnelle a permis d'explorer une autre technologie appli-



© DIADES 2

quant les points positifs de chaque méthode.

La première approche de cette méthode n'est pas forcément d'appliquer le principe du "furtif" mais plutôt d'admettre le fait qu'il faille une coupure ou une restriction minimum pour mener à bien une inspection détaillée tout en limitant leur nombre.

2- Intervention sur le réseau Vinci Autoroutes - Escota.

2- Maintenance operation on the Vinci Autoroutes network - Escota.

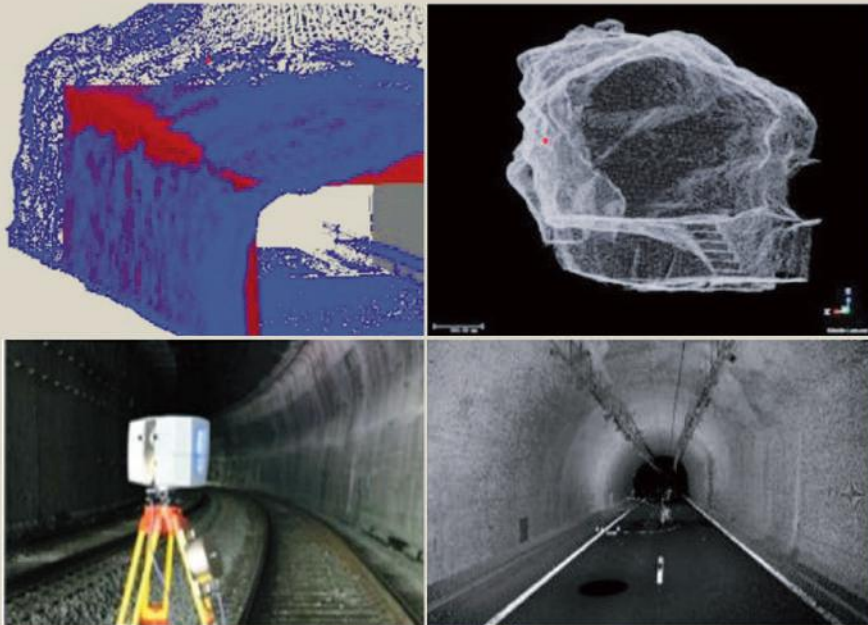
DESCRIPTION DU DISPOSITIF

Le système développé et breveté par Diadès (https://youtu.be/6m_mXpcxDJ4) est constitué de différents capteurs combinés entre eux et regroupé dans un seul et même boîtier. Il est disposé sur un système mobile, à poussée manuelle ou tractable.

TABLEAU 1 : COMPARATIF DES DIFFÉRENTES MÉTHODES D'INSPECTIONS DÉTAILLÉE ACTUELLES

Technologies	Avantages	Inconvénients
Inspection détaillée "traditionnelle"	<ul style="list-style-type: none"> • Contact direct avec le parement de l'ouvrage, inspection de toutes les parties d'ouvrages y compris têtes, assainissement, zone d'influence, • Possibilité d'auscultation au marteau et de purge si nécessaire, • Réalisé par des inspecteurs qualifiés : Degré de précision permettant une analyse exhaustive des désordres et une bonne qualité des rapports d'inspection, • Conforme à l'ITSEOA. 	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de présence sur le terrain important, • Contrainte vis à vis de l'exploitation notable, • Nécessité d'utilisation d'un moyen d'accès permettant le contact et le déplacement en continu le long du parement de l'ouvrage.
Levé scanner embarqué	<ul style="list-style-type: none"> • Acquisition de l'image de la totalité de la surface de revêtement, • Rapidité d'acquisition / faible impact sur l'exploitation, • Relevé thermographique. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de contact avec le parement, • Aucune zone n'est inspectée au sens de l'ITSEOA, • Pas de constat au droit des assainissement / drainage, des têtes et zones d'influence, • Il ne s'agit que d'acquisition, aucune compétence d'analyse des données afin de rendre un rapport d'ID, • Coût élevé.
Levé scanner topo	<ul style="list-style-type: none"> • Acquisition de l'image de la totalité de la surface de revêtement, • Nuage de point extrêmement précis, • Esthétisme du rendu. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de contact avec le parement, • Aucune zone n'est inspectée au sens de l'ITSEOA, • Pas de constat au droit des assainissement / drainage, des têtes et zones d'influence, • Il ne s'agit que d'acquisition, aucune compétence d'analyse des données afin de rendre un rapport d'ID, • Coût élevé, • Durée d'acquisition longue, impact important sur l'exploitation.

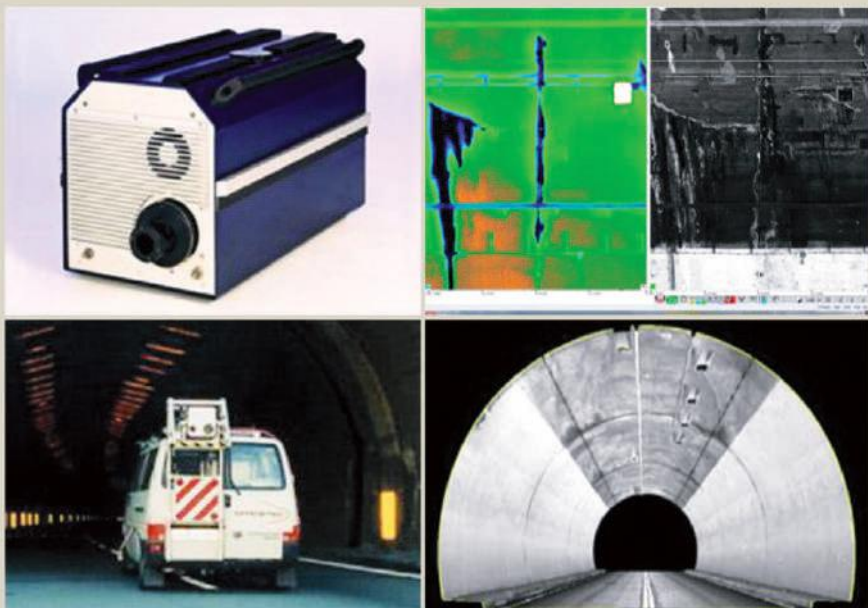
MODÈLE ET RENDU - SCANNER TOPO



© DIADES

3

MODÈLE ET RENDU - SCANNER EMBARQUÉ



© DIADES

4

Ce système mobile comprend les batteries nécessaires au dispositif pour effectuer une acquisition sur une période maximale de 8 h sans rechargement.

Cinq éléments composent le système (figure 5) :

→ Des appareils photo de très haute précision dans le domaine visuel ;

3- Modèle et rendu - scanner topo.

4- Modèle et rendu - scanner embarqué.

3- Model and rendering - topography scanner.

4- Model and rendering - on-board scanner.

→ Des caméras à infrarouges ;

→ Des distancemètres ;

→ Un profilomètre ;

→ Des sondes de température/humidité ;

→ Une centrale inertielle ;

→ Un odomètre.

Le déclenchement simultané de chaque acquisition est effectué de manière

autonome en prenant en compte la distance au parement, le cône de visée de chaque appareil photo et la valeur d'avancement du système vis-à-vis des parois.

Une attention particulière a été portée au niveau du système d'éclairage.

Un système d'éclairage continu a été privilégié afin de minimiser la gêne potentielle d'un éclairage de type "flash" pour les véhicules et opérateurs se trouvant à proximité du système. Une interface a été développée afin de permettre le contrôle des données en temps réel (figure 6) durant l'acquisition. Cette interface permet également, grâce aux différents capteurs implémentés, la détection sur site de zones de désordres ou de doutes sur l'état de l'ouvrage. Une liste de réserves, paramétrable et identifiable directement sur site, par sondages au parement, est ainsi générée en parallèle à la phase d'acquisition, afin de profiter des créneaux en place de balisage (ou des créneaux de fermeture de la voie) pour limiter la multiplication des interventions.

Le système permet d'optimiser l'intérêt de la thermographie infrarouge et des autres techniques combinées dans une même acquisition croisée et référencée afin de faciliter in fine le diagnostic.

IMPLÉMENTATION

Le système est développé dans une optique de modularité maximale.

Pour la structure actuelle, le système permet outre l'acquisition dans les tunnels, la réalisation d'inspection dans des tubes de section minimale de 3,5 m de diamètre. Il permet également la réalisation de prestation au niveau de tubes ou puits verticaux.

Le système peut être adapté pour la réalisation d'acquisition de surface (chaussée, grand intrados...) ou tout autre type de structure.

Les éclairages intégrés dans le système sont démontables afin de s'adapter aux différents types d'éclairage présent dans les structures inspectées.

COMPOSANTS/RÔLES

Les différents composants implémentés dans le système se décomposent en trois catégories :

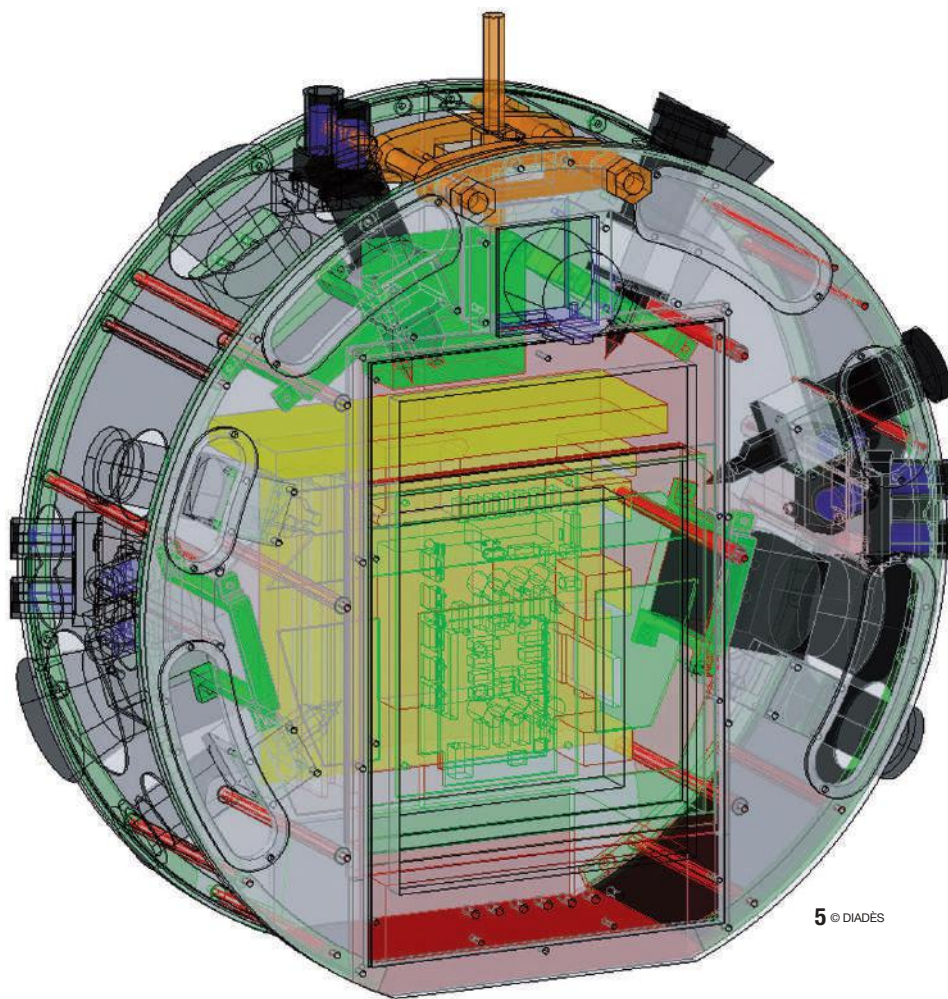
→ Capteurs permettant le positionnement et le déclenchement des acquisitions ;

→ Capteurs permettant la récupération des données pour le contrôle d'état de la structure ;

→ Éclairages.

5- Modèle 3D du prototype version 1.
6- Écran d'affichage des données d'acquisition en temps réel.

5- 3D model of prototype version 1.
6- Real-time acquisition data VDU.



5 © DIADÈS

CAPTEURS DE POSITIONNEMENT / DÉCLENCHEMENT

Afin de définir de façon automatisée le déclenchement des acquisitions, le système combine les données issues des capteurs suivants :

- Centrale inertielle : récupération des données de rotation ;
- Roue codeuse : récupération des données d'avancement ;
- Distancemètre : récupération des données de distance vis-à-vis des parois, contrôle de changement de section, ainsi que l'optimisation du déclenchement.

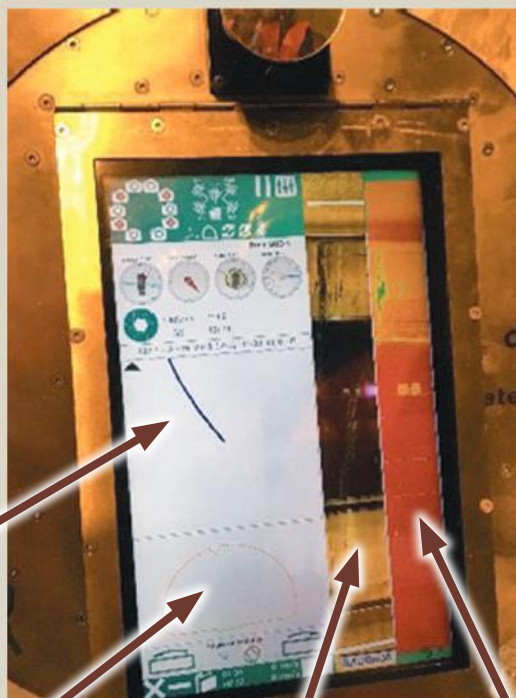
Chaque donnée d'acquisition ainsi obtenue possède une position précise dans le repère global de la structure contrôlée.

CAPTEURS DE RÉCUPÉRATION DES DONNÉES

Les capteurs de haute définition permettent le contrôle de l'état de surface du parement dans le domaine visible (figure 7). L'acquisition en qualité photo dans le domaine visible garantit non seulement de détecter des fissures jusqu'à des ouvertures de 0,2 mm, mais également, grâce à l'apport des captures dans le domaine infrarouge, de détecter/valider des zones de venues d'eau et de calcite (sèche ou active).

Les caméras permettent également l'acquisition thermographique de l'ensemble des parements afin de détecter de manière précise et en temps réel l'étendue des différentes zones humides et venues d'eau ; mais également de pouvoir détecter, par variation de température, les éventuels décollements de revêtement tels que les écailles de béton projeté en formation, ou de potentielles zones de vides à l'arrière du parement (décohésion, ...) (figure 8).

ÉCRAN D'AFFICHAGE DES DONNÉES D'ACQUISITION EN TEMPS RÉEL



Tracé du tunnel
(sur les axes X,Y,Z)

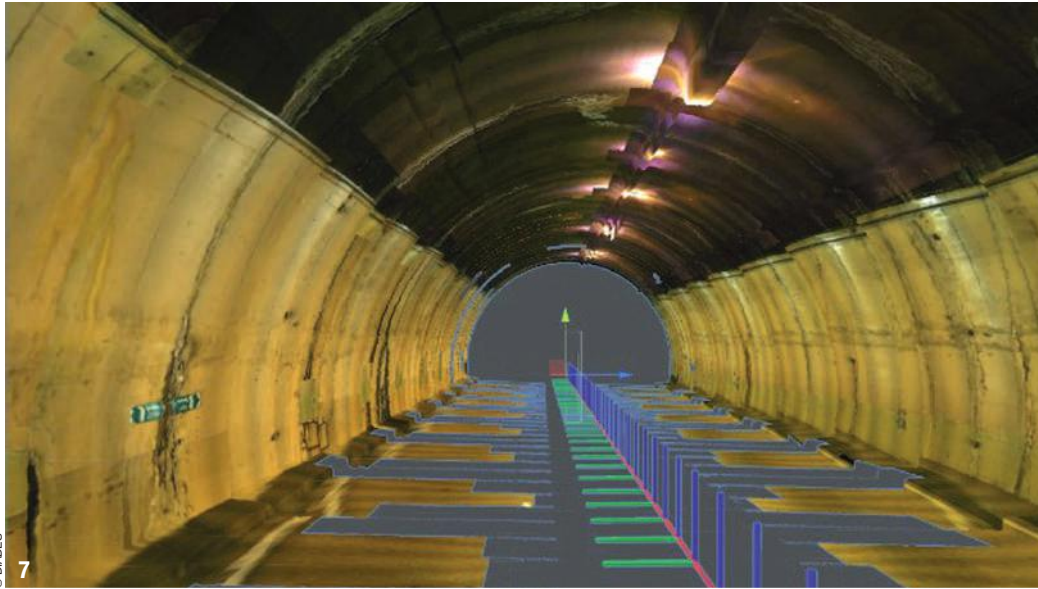
Profilométrie

Acquisition photo

Relevé infrarouge

6

© DIADÈS



7- Plaquage de l'acquisition photo HD sur les profils du tunnel.

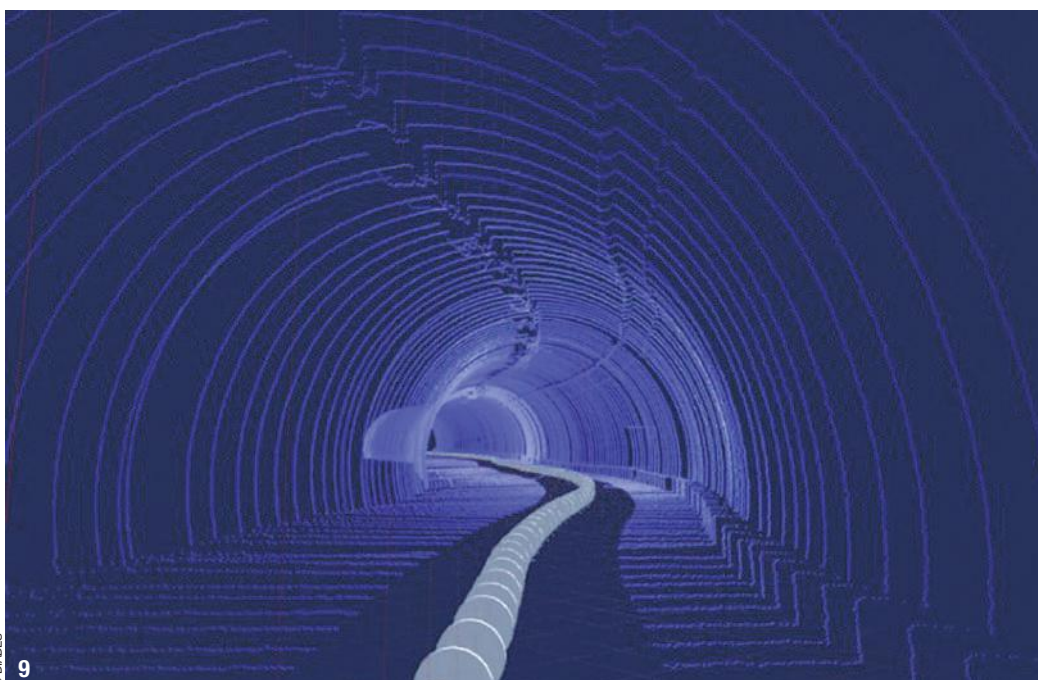
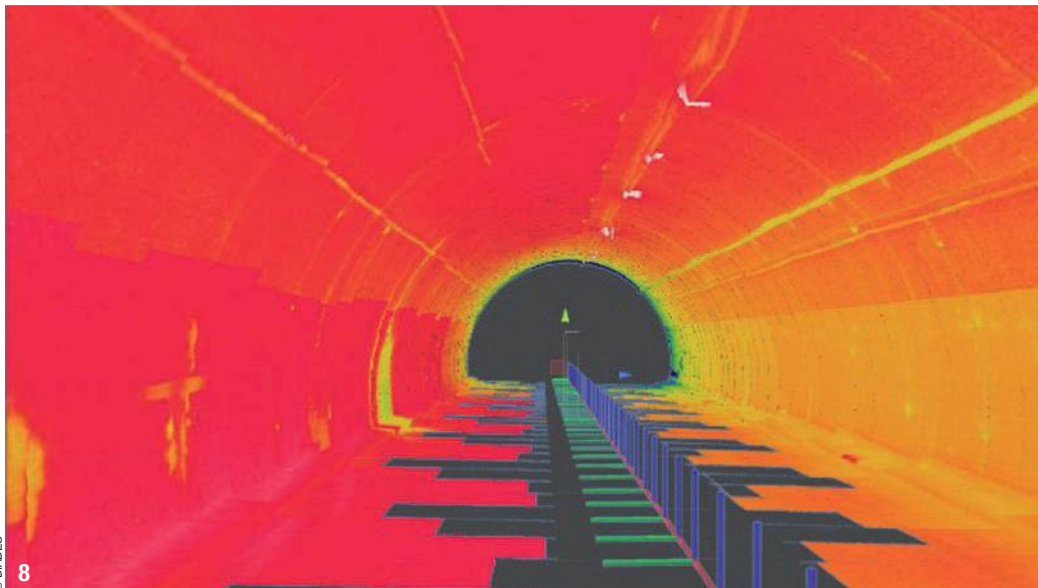
8- Acquisition infrarouge de l'intrados du tunnel.

9- Relevé profilométrique du tunnel.

7- HD photo acquisition piling on tunnel profiles.

8- Infrared acquisition of the tunnel intrados.

9- Tunnel profilometry.



Des capteurs d'humidité et de température sont également intégrés dans le système.

La récupération de ces données est continue, elle permet de réaliser des diagrammes précis sur la longueur du tunnel (confirmation de l'étendue des zones humides).

Le scanner 2D permet le relevé profilométrique de la totalité du linéaire de l'ouvrage pour la création du squelette numérique de celui-ci. Ces données offrent la possibilité de déceler les différents "hors" et "en" profil et ainsi d'effectuer une extraction de profils à l'endroit souhaité (gabarit sous ventilation, etc.) (figure 9).

La zone de couverture de l'acquisition est définie sur 270° afin d'obtenir des données de qualité au niveau des parements de la structure, le contrôle visuel au niveau de la chaussée étant actuellement réalisé par l'inspecteur.

ÉCLAIRAGE

L'éclairage présent dans le système est défini pour optimiser les acquisitions de parois à une distance maximale de 9,00 m.

Les paramètres pris en compte pour la définition de ces composants sont dépendants de la vitesse d'acquisition et de la finesse de détection principalement pour les capteurs dans le domaine visible.

TRAITEMENT

Le système permet d'optimiser l'intérêt de la thermographie infrarouge et des autres techniques combinées dans une même acquisition croisée et référencée afin de faciliter le diagnostic. ▶

Le développement et la mise au point d'un logiciel spécifique permet l'intégration de toutes les données acquises sur le terrain.

Ces données sont positionnées dans un repère tridimensionnel offrant ainsi la possibilité d'une visualisation de la structure avec intégration des données visuelles (photographie dans le domaine visuel et infrarouge) sur visionneuse 3D (figures 7 et 8).

Ce logiciel, nécessaire pour le traitement des données, permet également la réalisation de développés pour exportation et contrôle de l'état structurel de l'ouvrage inspecté.

La gestion et la création des éléments se font sur la base (figure 10) :

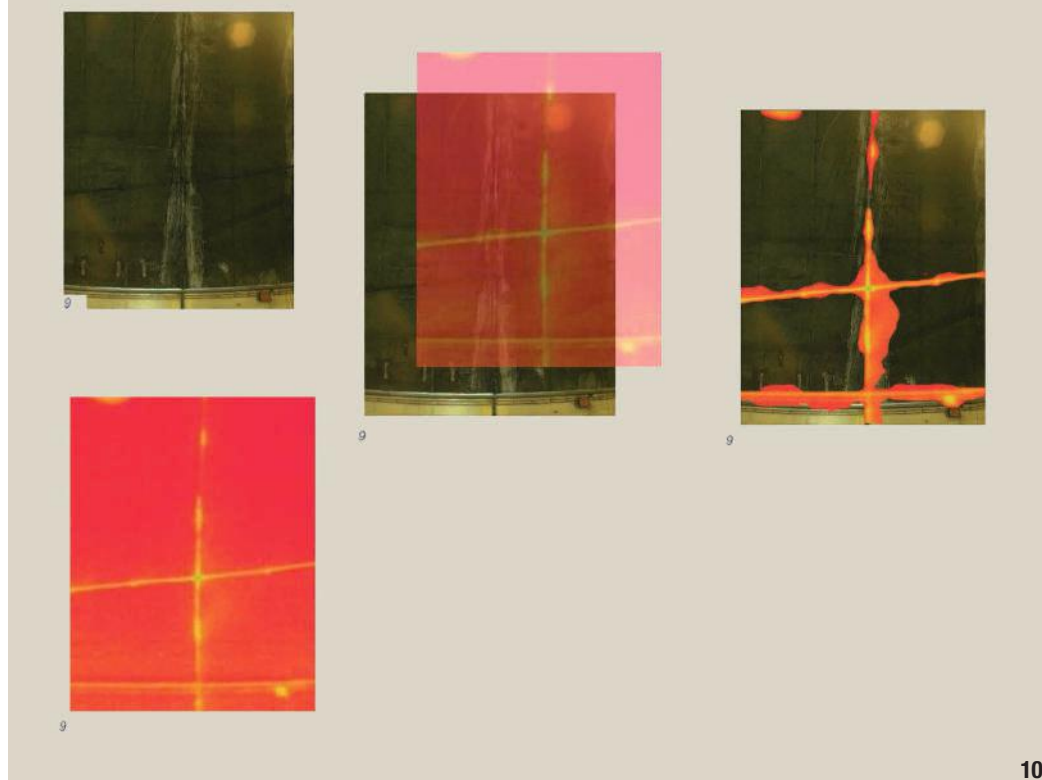
- D'un panoramique fluide des photographies, dans le domaine visuel, redressées et repositionnées ;
- D'un panoramique fluide des photographies, dans le domaine infrarouge, redressées et repositionnées, avec extraction automatique des zones significatives pour superposition ;
- De la superposition des deux panoramiques ;
- De la saisie directe des pathologies, par l'inspecteur confirmé ;
- D'une exportation des données générées de façon sécurisée ;
- De profils ;
- D'état température et humidité.

MODE OPÉRATOIRE

La technologie consiste à parcourir en un seul passage l'intrados d'un ouvrage à une vitesse comprise entre 1 et 3 km/h, limitant ainsi le nombre de coupures de nuit (figure 11).

La lecture en temps réel combinée à un système d'alerte permet d'identifier

EXEMPLES DE CORRÉLATION ENTRE ACQUISITION PHOTO ET RELEVÉ INFRAROUGE



10

© DIADÈS

(à l'aide de la thermographie notamment) les zones pouvant représenter un doute sur certains désordres.

La présence d'un inspecteur confirmé pendant l'acquisition permet d'arbitrer ces alertes en temps réel mais également de lever les doutes en accédant (au moyen d'une nacelle) directement au contact du parement et des parties d'ouvrage concernées.

La présence de l'inspecteur permet également d'inspecter les zones non accessibles par les moyens automatisés (têtes, inter-tubes, réseau de drainage, zone d'influence) qui font partie intégrante des constats dans le rapport d'inspection détaillée.

À l'issue de l'intervention sur site, les inspecteurs ont donc l'ensemble de l'acquisition photographique dans les

domaines visuel et infrarouge de l'intrados de l'ouvrage et ont levé la totalité des zones de doute qu'ils auraient eu à traiter a posteriori s'ils n'avaient eu recours qu'au moyen d'acquisition scanner.

La qualité des supports photographiques et thermographiques permettra à l'inspecteur, une fois hors site, de finaliser les constats de l'intrados



11

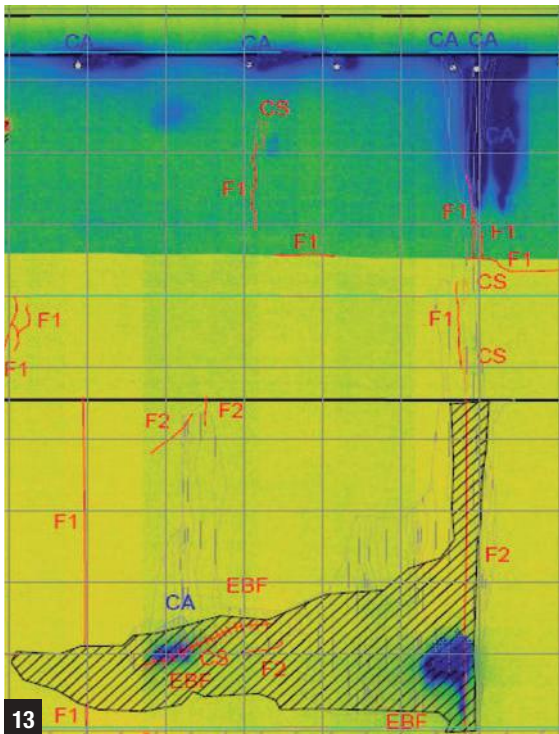
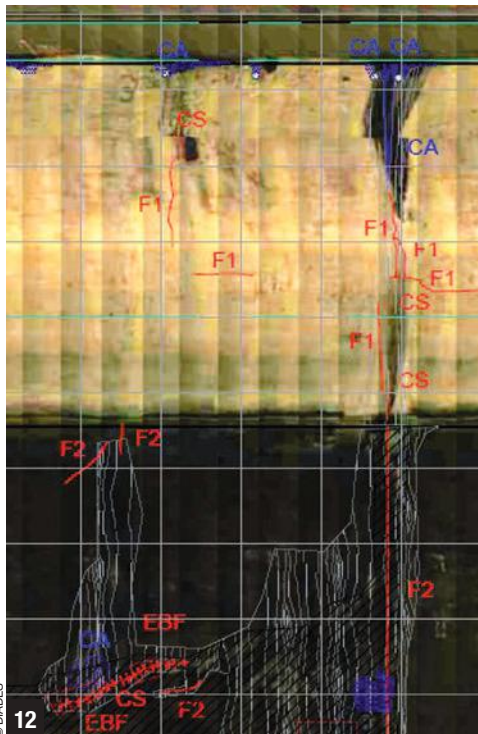
© DIADÈS

10- Exemples de corrélation entre acquisition photo et relevé infrarouge.

11- Intervention avec le Prototype V1.

10- Examples of correlation between photo acquisition and infrared survey.

11- Intervention with Prototype V1.



et de réaliser les cartographies des désordres sur un support développé (figures 12 et 13).

Les rendus sont ceux attendus dans le fascicule 40 de l'instruction technique avec notamment la fiche signalétique de l'ouvrage, les constats, la cotation IQQA, les suites à donner, un reportage photographique, une cartographie des désordres ainsi qu'une développée photographique de l'intrados de l'ouvrage.

Le développement de cette méthode a abouti sur une application concrète dans le cadre de plusieurs campagnes d'inspections détaillées sous fortes contraintes d'exploitation autoroutières, notamment pour le réseau Escota - Vinci Autoroutes (figure 2) et le réseau Aprr-Area.

ÉVOLUTION

Fort de son expérience au niveau des nombreuses prestations réalisées avec la version actuelle du système, Setec Diadès apporte en continu des évolutions tant sur les composants physiques (capteurs, paramètres de gestion interne au système) que sur les développements logiciels.

Une version ID-NT V2[®] sera opérationnelle d'ici à la fin de l'année (figures 1 et 14). Elle permet l'amélioration des entrants et des sortants afin d'obtenir des résultats de meilleure qualité et également d'implémenter des paramètres complémentaires.

Ces évolutions sont axées principalement sur la zone de couverture d'acquisition sur 360° (dans les domaines visuels et infrarouge), la vitesse d'acquisition en mode "furtif", l'optimisation de la qualité des acquisitions, l'optimisation de la gestion des acquisitions et le traitement des données de sortie. □

© DIADÈS

12

13

12- Cartographies de désordres sur photo haute définition.

13- Cartographies de désordres sur thermographie infrarouge.

14- Module d'éclairage.

12- Defect mapping on high-definition photo.

13- Defect mapping on infrared thermal imaging.

14- Lighting module.



14 © DIADÈS

ABSTRACT

A NEW TECHNOLOGY FOR DETAILED TUNNEL INSPECTION: ID-NT[®]

SÉBASTIEN FRACHON, SETEC DIADÈS - BENJAMIN POLI, SETEC DIADÈS - CHRISTOPHE RAULET, SETEC DIADÈS

Tunnel inspections require a long presence on site, which is less and less compatible with operating constraints, especially on motorways and other major road and rail arteries. The ID-NT[®] system developed, designed and patented by Setec Diadès can overcome a great majority of these constraints. Photo-quality acquisition guarantees not only the detection of crack widths down to 0.2 mm, but also the confirmation of water and calcite infiltration areas. The system can optimise the benefits of infrared thermal imaging and other techniques combined in a single cross-cutting and referenced acquisition system in order to facilitate fault finding, and in particular real-time ambiguity resolution by a confirmed inspector. □

NUEVA TECNOLOGÍA DE INSPECCIÓN DETALLADA DE TÚNELES: ID-NT[®]

SÉBASTIEN FRACHON, SETEC DIADÈS - BENJAMIN POLI, SETEC DIADÈS - CHRISTOPHE RAULET, SETEC DIADÈS

Las inspecciones de túneles requieren una presencia in situ prolongada, algo cada vez menos compatible con las restricciones de explotación, en especial en las autopistas y otros grandes ejes viales y ferroviarios. El sistema ID-NT[®], diseñado, desarrollado y patentado por Setec Diadès, evita gran parte de esas limitaciones. La adquisición en calidad fotográfica permite no solo detectar fisuras hasta aperturas de 0,2 mm, sino también validar las zonas de venida de agua y de calcita. El sistema saca el máximo partido de la termografía por infrarrojos y otras técnicas, combinadas en una misma adquisición cruzada y referenciada para facilitar el diagnóstico, en particular para despejar las dudas en tiempo real de los inspectores autorizados. □



© SNCF

PUITS D'ÉVACUATION POUR LA SÉCURISATION DU TUNNEL FERROVIAIRE DE MEUDON

AUTEURS : RÉMI MOULINARD, INGÉNIEUR MOE, GEOS - PIERRE GUERIN, RESPONSABLE MOE, GEOS

SITUÉ AU PLUS PRÈS DU TUNNEL FERROVIAIRE DE MEUDON, LE PUIT DE 8 m DE DIAMÈTRE INTÉRIEUR ET DE 42 m DE PROFONDEUR EST DESTINÉ À L'ÉVACUATION DES VOYAGEURS DU RER C EN CAS D'INCENDIE. CE PUIT D'ÉVACUATION EST RELIÉ AU TUNNEL FERROVIAIRE AU MOYEN D'UN RAMEAU DE 56 m DE LONG. IL VIENT FINALISER LE PROGRAMME DE MISE EN SÉCURITÉ COMPORTANT UNE GALERIE DE 1700 m PRÉSENTÉE DANS LE N°956.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

Le RER C emprunte le tunnel de Meudon, situé entre les communes de Chaville et Meudon. Ce tunnel mis en service en 1901 mesure 3363 m de longueur et présente la particularité de n'avoir aucune issue de secours. À la suite de l'incendie du tunnel du Mont Blanc en 1999, l'ensemble des

tunnels ferroviaires et routiers français a fait l'objet d'un inventaire. Le tunnel de Meudon fait partie des tunnels à risques pour lesquels des travaux sont indispensables et la SNCF a donc entrepris une opération de mise en sécurité.

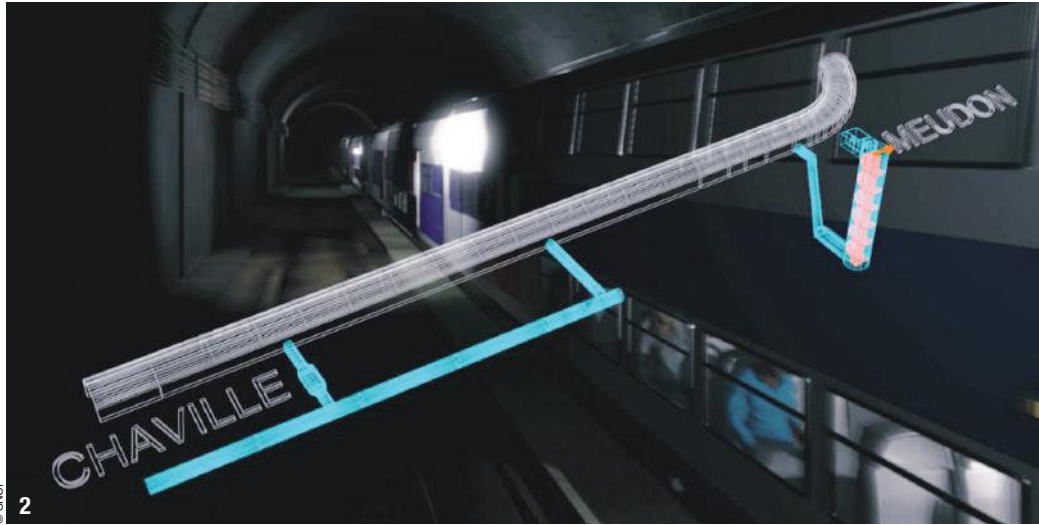
Les travaux ont pour objectif d'améliorer les conditions d'auto-évacuation des voyageurs en cas d'incident.

1- Connexion au RER C.

1- Connection to RER C.

Trois issues de secours sont en cours de réalisation (figure 2) :

- 2 issues constituées chacune d'un rameau de 30 m de longueur relié à une galerie réalisée au tunnelier sur 1700 m (revue n°956) ;
- 1 issue constituée d'un rameau de 60 m de longueur raccordée à un puits de 8 m de diamètre et de 42 m de profondeur.



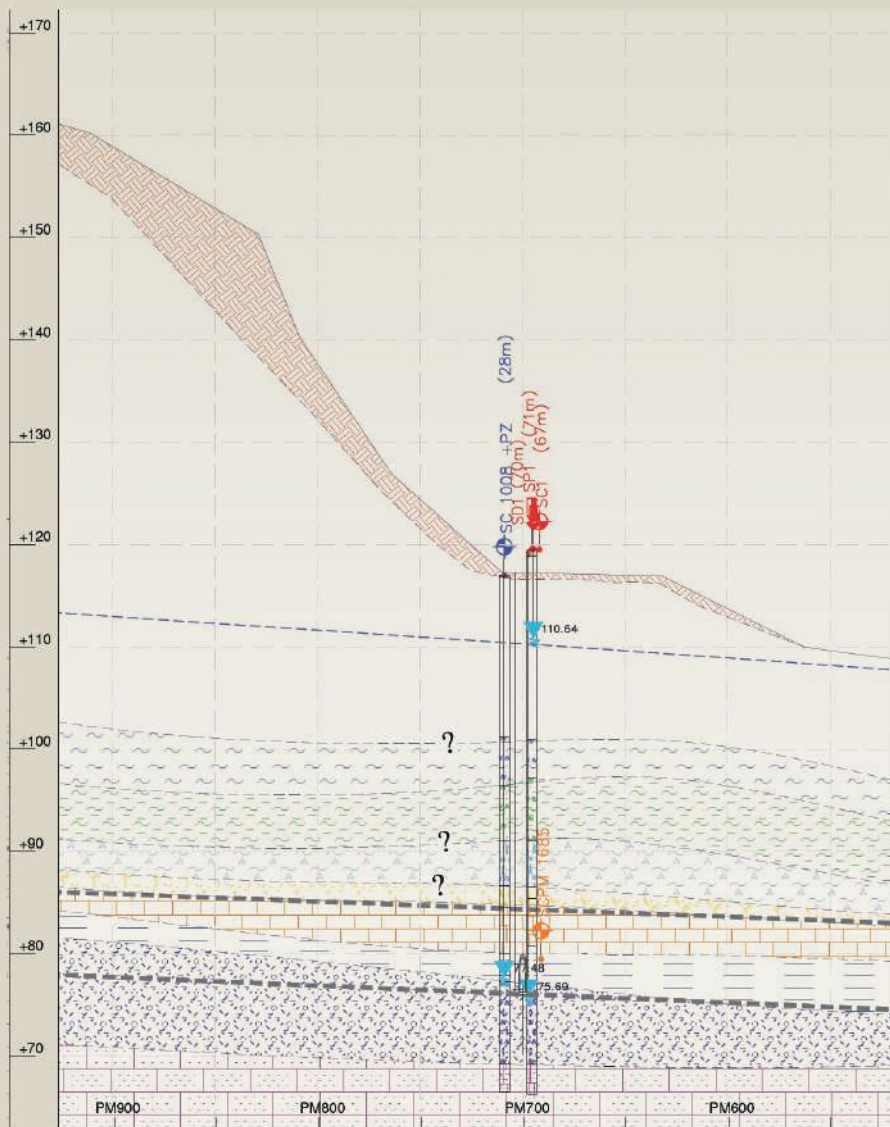
2- Vue 3D du projet.
3- Profil géologique.

2- 3D view of the project.
3- Geological profile.

Ces travaux viennent en complément d'une première série comprenant :

- La réalisation de platelages pour faciliter le cheminement à pied dans le tunnel existant ;
- L'amorce des rameaux (figure 1), c'est-à-dire le renforcement du tunnel existant et le creusement du rameau sur une longueur de 5 m depuis le tunnel.

PROFIL GÉOLOGIQUE



CONTEXTE GÉOTECHNIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Le tunnel de Meudon relie d'ouest en est les communes de Chaville et de Meudon en passant sous le plateau de la forêt de Meudon. Celui-ci présente une topographie marquée avec un dénivelé de plus de 80 m entre le sommet du plateau et les zones urbaines en têtes de tunnel.

Du point de vue structural, les formations sédimentaires tertiaires rencontrées dans la zone du projet sont affectées par le pli anticlinal de Meudon, dont l'axe de direction approximative Est-Ouest se trouve à environ 2 km au nord du projet.

Le secteur étudié est relativement proche du dôme anticlinal, ce qui explique l'épaisseur significativement réduite de la plupart des couches. Celles-ci présentent une morphologie marquée de larges ondulations au long du tracé du tunnel et leur pendage global est estimé à 7% orienté vers le sud dans cette zone.

Le site présente la succession lithologique suivante (figure 3) :

Formations quaternaires superficielles : Formations constituées essentiellement de terre végétale ou de remblais anthropiques limono-argileux bruns ou noir au droit de la zone d'étude avec cailloutis et cailloutis.

Sables de Fontainebleau : Sable quartzueux fin et propre au sommet présentant un faciès plus argileux à la base. Cette formation est blanche à l'état pur et prend une couleur jaunâtre-ocre, marron ou beige lorsqu'elle est polluée. ▷

Elle peut contenir des bancs de grès discontinus en particulier dans le tiers supérieur. La base de la formation est plus argileuse, marquant la transition avec les Marnes à Huîtres sous-jacentes.

Marnes à Huîtres : Marnes fossilifères, argileuses et/ou sableuses grises, parfois vertes ou jaunâtres comportant des passages marneux très compacts voir grésifiés. Elles sont chargées de débris de coquilles dans leur partie supérieure. Un niveau marno-sableux parfois argileux marque la transition avec l'horizon sus-jacent des Sables de Fontainebleau.

Calcaire de Brie : non reconnu dans la zone d'étude.

Marnes vertes : Formation marno-argileuse lenticulaire de couleur grise verte comportant des niveaux grésifiés compacts. Marnes argileuses vert vif, feuilletées et présentant un faciès marneux plastique et gonflant. Ces marnes contiennent des passages grésifiés très compacts de 5 à 20 cm d'épaisseur au droit de la zone d'étude.

Marnes supragypseuses : Horizon marneux-argileux gris, bleu et souvent verdâtre, intercalé de bancs de gypse centimétriques. Il comporte des niveaux marneux de compacité très élevée correspondant à une forte composante calcaire.

Masses et Marnes du gypse : Alternance de marnes grises ou vertes plus ou moins argileuses et de lentilles de gypse saccharoïde compact à grains fins. On note également au droit du projet la présence de passages sableux et calcaro-grésifiés.

Calcaire de Saint Ouen : Formation laguno-lacustre constituée d'une alternance de bancs calcaires gris beiges parfois siliceux et de marnes à passes d'argiles (argile magnésienne feuilletée). En partie basale s'intercalent de fins niveaux de gypse.

Sables de Beauchamp : Sables quartzeux argilo-marneux assez fins et propres en partie supérieure devenant plus argileux à la base. Ces sables gris, jaune ou verdâtres renferment des bancs de calcaires plus ou moins gréseux et des niveaux gypseux.

Marnes et Caillasses : Série laguno-lacustre où prédominent des marnes beiges-blanches plus ou moins argileuses qui présentent une induration croissante vers la base (bancs de calcaires siliceux nombreux, compacts à fracturés). On note la présence de niveaux gypseux beiges sensibles au risque de dissolution en raison du caractère aquifère de cette formation.



DES MESURES PIÉZOMÉTRIQUES QUI TOMBENT À L'EAU

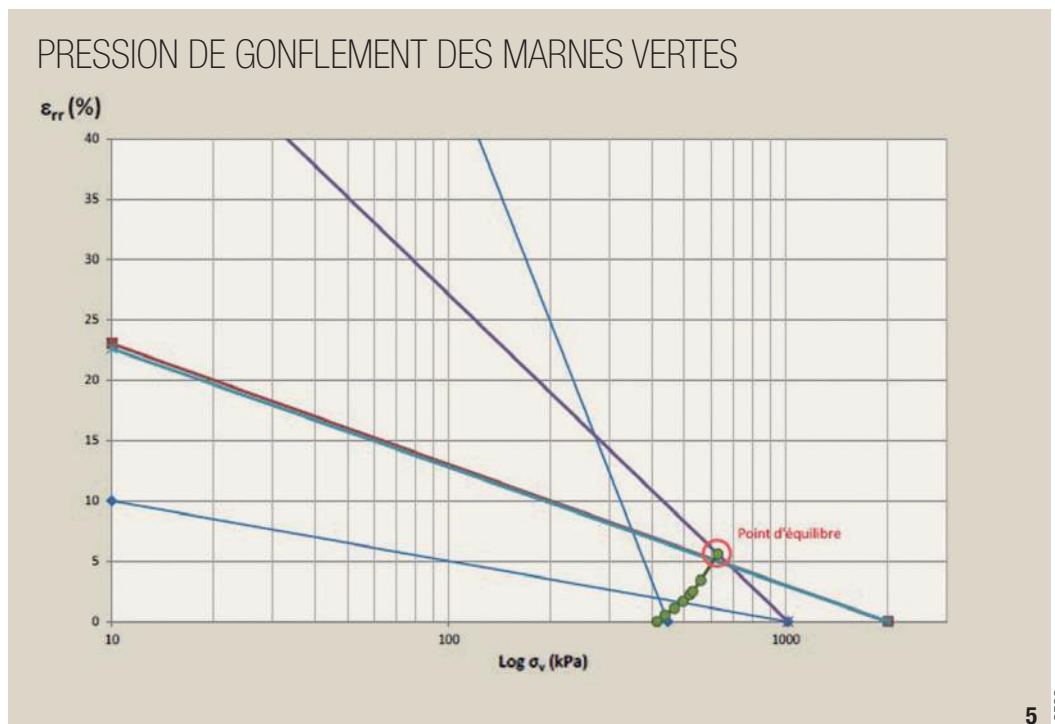
Lors de la campagne de reconnaissance, la nappe des Marnes et Caillasses a fait l'objet d'un suivi piézométrique. Les mesures étaient stables et donnaient un niveau d'eau variant entre les cotes 76 NGF et 78 NGF (entre 2 et 4 m au-dessus de la cote du fond de fouille située à 74 NGF). Un système de pompage avait donc été prévu par l'entreprise pour évacuer l'eau avant le coulage du radier. Cependant, aucune venue d'eau n'a été constatée au moment du terrassement. Les niveaux mesurés correspondaient vraisemblablement à des poches d'eau isolées et ne constituaient pas une nappe à proprement parler.

UNE GÉOLOGIE CAPRICIEUSE

De manière générale, le bassin parisien se caractérise par une géologie où la tectonique est peu développée. Les niveaux géologiques sont donc la plupart du temps tabulaires ou présentent

4- Front de taille classique.
5- Gonflement des Marnes Vertes.

4- Conventional tunnel face.
5- Green marl swelling.





6a
© GEOS

un pendage très faible (figure 4). Toutefois, lors du creusement du rameau, une incursion des Sables de Beauchamp dans les Marnes et Caillasses a été observée. Il a été constaté une faille inverse au contact Sables de Beauchamp/Marnes et Caillasses : cette faille présente un rejet de l'ordre du mètre. La présence d'un horizon grésifié très résistant dans les Sables de Beauchamp a conduit à l'apparition de cette faille. Le phénomène compressif à l'origine de cette faille a engendré l'anticlinal de Meudon. En s'écartant de quelques mètres de cette zone, on retrouve la géologie classique parisienne avec une limite Sable de Beauchamp/Marnes et Caillasses bien visible et parfaitement tabulaire.

CONCEPTION

Compte tenu de la géométrie de l'ouvrage, les calculs ont été réalisés au moyen d'un modèle aux éléments finis 2D, axisymétrique.

La succession lithologique présentée ci-dessus mentionne de la présence des Marnes vertes du Sannoisien. Ces terrains sont réputés gonflants ce qui augmente les efforts de poussée des terres sur les structures. Le phénomène a été modélisé conformément à l'approche suivante : le gonflement est simulé dans le logiciel éléments finis en imposant à une couche d'un mètre d'épaisseur une déformation volumique. Pour différentes déformations imposées, il est possible de déduire la déformation orthoradiale de la couche ainsi que la contrainte à laquelle elle est soumise.

Mise en œuvre de la méthode sur Plaxis :

→ Après réalisation de la paroi moulée et excavation, on simule le gonfle-

6a- Ferrailage de la poutre de couronnement.
6b- Poutre de couronnement.

6a- Capping-beam reinforcing bars.
6b- Capping beam.

- Détermination de la déformation orthoradiale de la couche ϵ_r et de la contrainte σ_v dans la couche gonflante ;
- Cette procédure est répétée pour différentes valeurs de déformation imposée et permet d'établir une relation entre la déformation orthoradiale et la contrainte dans la couche gonflante.

À l'image de la méthode convergence confinement, la pression de gonflement agissant sur le revêtement correspond au point d'intersection entre les droites d'Huder Amberg tirées des essais et la courbe contrainte/déformation déterminée numériquement (figure 5).

La paroi moulée du puits circulaire avant la réalisation de l'ouverture travaille principalement en compression orthoradiale. La création de l'ouverture conduit à une redistribution des contraintes de part et d'autre de celle-ci, avec pour conséquences :

- Une concentration de la compression au-dessus et en-dessous de l'ouverture ;
- Une génération de flexion verticale des panneaux sur les côtés de l'ouverture ;
- Une convergence accrue de l'anneau dans l'emprise de l'ouverture liée à la diminution de la rigidité cylindrique à proximité de l'ouverture, et donc une génération de moments verticaux.

Ainsi, les panneaux adjacents à l'ouverture subissent un moment d'ovalisation M_z , un moment de "pincement" M_0 avec les convergences U , préférentielles au niveau de l'ouverture ainsi qu'un moment M_r lié à la génération de traction verticale dans la zone de diffusion des contraintes.

Les efforts de compression orthoradiale dans le revêtement du puits sur la hauteur de l'ouverture sont redistribués de part et d'autre de celle-ci par l'intermédiaire des panneaux adjacents à l'ouverture.

L'approche de calcul consiste à considérer ces panneaux comme des poutres verticales encastrées au-dessus et en dessous de l'ouverture. ▷



6b
© GEOS

L'ouverture provisoire du puits pour le percement du rameau est simulée dans le calcul éléments finis par une réduction de la rigidité cylindrique sur la hauteur du tunnel.

En outre, les panneaux de paroi moulée situés au-dessus de l'ouverture sont dépourvus de leurs appuis.

Le poids des panneaux situés au-dessus de l'ouverture est repris par une poutre circulaire réalisée en tête de la paroi moulée (figures 6a et 6b).

Pour la détermination des déplacements et des efforts engendrés par le creusement, l'approche convergence-confinement a été utilisée. Un taux de déconfinement de 30% sera appliqué au moment de la pose du soutènement. Un taux de déconfinement de 70% a été appliqué au moment de la pose du revêtement.

Ces valeurs sont sécuritaires vis-à-vis des efforts et déplacements subis par le soutènement puis le revêtement car le déconfinement est en réalité plus important. Elles minimisent les déplacements avant la pose du soutènement mais ce point n'est pas dimensionnant compte tenu de la profondeur de l'ouvrage.

CONTRAINTES PARTICULIÈRES

Le puits d'évacuation vient s'inscrire dans un contexte particulier dans plusieurs domaines :

PROFONDEUR DU PUIT

Le puits est réalisé en paroi moulée, par panneaux de 46 m de profondeur (figure 7). À cette profondeur, la déviation des panneaux est tout à fait significative. En effet, une déviation de 1% d'un panneau conduit à une réduction de section utile de 46 cm, très gênante pour une paroi de 1 m de largeur... Ce phénomène a été pris en compte dans le dimensionnement en introduisant dans le modèle une réduction de la section utile de la paroi moulée avec la profondeur. Une déviation maximum de 0,5% est tolérée en pied de paroi. En faisant l'hypothèse que deux panneaux contigus dévient dans des sens opposés (l'un vers l'intérieur, l'autre vers l'extérieur), on obtient une section de 0,54 cm en pied de paroi.

Afin de s'assurer du respect de ces tolérances de déviation, un système de contrôle de la verticalité a été mis en œuvre lors du terrassement des panneaux. Ce système est constitué d'un boîtier fixé à la benne comportant un capteur de position. La verticalité est donc surveillée au fur et à mesure de



7

7- Creusement de la paroi moulée.

8- Trépan.

7- Diaphragm wall excavation.
8- Drill bit.

l'excavation. L'intérêt de ce dispositif est de pouvoir corriger la déviation du panneau le cas échéant.

CONDITIONS D'EXCAVATION

Terrains peu cohérents : La formation des Sables de Fontainebleau est présente sur une grande hauteur (environ 15 m). Ces terrains étant réputés peu cohérents, la tenue des parois de forage était incertaine et des éboulements étaient à craindre dans ces terrains sableux. Toutefois, la boue utilisée pendant la phase de creusement a permis d'assurer la stabilité des parois de forage et les surconsommations de béton ont été de faible volume.

Horizons rocheux : Lors du forage des parois moulées, des terrains rocheux ou très compacts ont été rencontrés dans les Calcaires de Saint-Ouen, les Sables de Beauchamp et les Marnes et Caillasses. Ces horizons indurés ont nécessité l'utilisation d'un trépan (figure 8) afin de déstructurer



8

la roche avant le passage de la benne câble.

Lors de la mise en place des tubes-joints, une déviation - certes faible - de ceux-ci a été observée en fond de panneau. Après vérification de l'excavation par le système Koden, une déviation d'un tube de l'ordre de 20 cm sur la hauteur de l'excavation était constatée, soit environ 0,4%.

En effet, deux écueils ont été identifiés suite au forage des panneaux :

→ Le passage des Marnes et Caillasses présentes en fond de de panneau est possible en forage à la benne, mais il subsiste une empreinte des dents sur le terrain qui génère des redents et ne permet pas de redresser les tubes en totalité. Ce premier problème a été résolu en approfondissant légèrement l'excavation pour réduire le phénomène de déviation dans cette couche compacte.

→ Au niveau des Calcaires de Saint Ouen, à environ 35 m de profondeur, des blocs de roche sont restés accrochés aux parois du forage conduisant à un léger rétrécissement de l'excavation à ce niveau. Sur le premier panneau, il n'a pas été possible d'élargir l'excavation. Sur les panneaux suivants, les Calcaires de Saint Ouen ont été soigneusement trépanés avant l'évacuation des déblais par la benne câble ce qui a permis de s'en affranchir.

En tête, une distance entre tubes de 1,40 m, conforme aux prévisions, était constatée mais en pied de panneau, cette distance était réduite à 1 m ce qui ne permettait pas de mettre en place la cage d'armatures de longueur 1,20 m (pour le panneau P1).

L'entreprise Keller a donc proposé de refaire le design de la cage P1 (densification des armatures), pour assurer un coulage de panneau avec des tubes-joints verticaux.



9
© GEOS

9- Procédé Superlatch.

9- Superlatch process.

Suite à ce problème, il a été décidé d'excaver et de bétonner deux panneaux contigus de manière simultanée afin de réduire le phénomène de déviation et d'avoir plus de latitude dans la mise en place des cages d'armatures.

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES DE L'OUVRAGE

PUITS :

- Profondeur : 42 m
- Diamètre intérieur : 8 m
- Épaisseur de la paroi moulée : 1 m

SALLE D'ACCUEIL :

- Section en fer à cheval de 5 m de large x 3,8 m de haut
- Longueur : 13 m

RAMEAU :

- Section en fer à cheval de 2,8 m de large x 3 m de haut
- Longueur : 43 m

QUANTITÉ DE DÉBLAIS : 3600 m³

EMPRISE DES INSTALLATIONS DE CHANTIER EN SURFACE : 4200 m²

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : SNCF Réseau - DG Île-de-France - Direction Modernisation & développement

MAÎTRE D'ŒUVRE : Ingérop Conseil et Ingénierie

GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Parengé (mandataire) - Keller France

REMONTÉE DU BÉTON

Lors du bétonnage du premier panneau, une remontée de béton a été observée dans le tube-joint, environ 2 heures après coulage. Les tubes étaient scellés dans un béton de calage mais cela n'a pas suffi à retenir la pression importante du béton frais sur 46 m de hauteur.

En conséquence, un tube-joint a partiellement été rempli de béton et une baisse du niveau de béton d'environ 11,5 m a été constatée dans le panneau P1.

Les centrales à béton étant fermées à cette heure, il n'était plus possible d'avoir un complément de béton pour terminer le coulage. Les actions curatives suivantes ont donc été mises en œuvre :

- Le nettoyage et le curage du béton a été entrepris sur le panneau P1 ;
- Le panneau adjacent a ensuite été excavé avec un trépannage et un nettoyage du béton du joint entre les panneaux ;
- Enfin, les deux panneaux ont été bétonnés.

SYSTÈME DE CONNEXION RAPIDE DES CAGES SUPERLATCH

Un système de connexion rapide "Superlatch" a été utilisé sur le chantier pour le raboutage des cages d'armatures. Ce système de connexion est constitué d'une attache en métal anti-retour installée sur des cages d'armatures de paroi moulée (figure 9). Il permet d'assurer la jonction de deux cages d'armatures entre-elles. Le système est dimensionné afin de reprendre les efforts de manutention (poids propre des cages). La transmission des efforts est assurée par la longueur de recouvrement. Ce système est nettement plus rapide que la réalisation de soudure et permet de gagner du temps lors de la mise en place des cages dans les panneaux. □

ABSTRACT

EVACUATION SHAFT FOR IMPROVED SAFETY OF THE MEUDON RAIL TUNNEL

RÉMI MOULINARD, GEOS - PIERRE GUERIN, GEOS

The Meudon evacuation shaft, designed to enhance the safety of the RER C rail tunnel, is a structure 42 metres deep and of inner diameter 8 metres. The structure, located 50 metres away from the existing tunnel, will permit the evacuation of passengers in the event of an incident in the Meudon tunnel, built more than 100 years ago. Several special design and construction measures were needed for the diaphragm wall one metre thick, executed using a cable grab, and for digging the connecting gallery by the traditional method. □

POZO DE EVACUACIÓN PARA PROTEGER EL TÚNEL FERROVIARIO DE MEUDON

RÉMI MOULINARD, GEOS - PIERRE GUERIN, GEOS

Pensado para reforzar la seguridad del túnel ferroviario del RER C, el pozo de evacuación de Meudon es una construcción de 42 m de profundidad, con un diámetro interior de 8 m. Implantado a 50 m del túnel existente, permitirá la evacuación de los viajeros en caso de incidente dentro del túnel de Meudon, construido hace más de 100 años. La pantalla de hormigón de un metro de espesor, realizada mediante una cuchara de cable, y el cruce de la rama por el método tradicional han precisado varias disposiciones específicas de diseño y realización. □



UNE GALERIE SOUTERRAINE POUR POURSUIVRE L'EXPLOITATION DU CALCAIRE À BÉZIERS

AUTEURS : ROMAIN CADOR, DIRECTEUR EXPLOITATION, CALCAIRES DU BITERROIS - YOAN RODRIGUES, INGÉNIEUR, ARCADIS

LA SOCIÉTÉ CALCAIRES DU BITERROIS, DÉTENUE À 50% PAR EIFFAGE ET À 50% PAR NGE, EXPLOITE UNE CARRIÈRE À CIEL OUVERT SITUÉE SUR LA COMMUNE DE VENDRES AU LIEU-DIT "BRISEFER" POUR LA VENTE DE MATÉRIAUX CALCAIRES. ARRIVÉ EN LIMITE DE GISEMENT, IL A ÉTÉ DÉCIDÉ D'ÉTENDRE L'EXPLOITATION AU NORD DE L'AUTOROUTE A9 SUR LA COMMUNE DE BÉZIERS AU LIEU-DIT "GARRIGUE DE BAYSSAN". AFIN DE NE PAS DÉPLACER L'INSTALLATION DE TRAITEMENT DES MATÉRIAUX SITUÉE AU DROIT DU PREMIER SITE, UNE GALERIE A ÉTÉ CREUSÉE À L'EXPLOSIF SOUS L'AUTOROUTE AFIN DE RELIER LES DEUX SITES.

CONTEXTE DU PROJET

L'emprise de la carrière représente une superficie totale de 33 ha, dont 15 sont exploitables. Environ un tiers de ces 15 ha se situe au droit de la commune de Vendres et deux tiers au droit de la commune de Béziers. Pour relier les deux sites "Brisefer" et "Bayssan", la galerie souterraine présente une longueur d'environ 150 m

1- Forage d'une volée en milieu confiné.
2- Vue aérienne du site.

1- Drilling blasting holes in a confined environment.
2- Aerial view of the site.

afin de franchir l'autoroute A9 (figure 2). Elle est équipée d'un convoyeur à bande et permet la circulation de piétons. Les matériaux extraits au nord seront alors amenés en partie Sud pour être traités et stockés. Au droit de la traversée, la plateforme autoroutière comporte deux fois trois voies ainsi qu'une bande d'arrêt d'urgence et un terre-plein central pour une

largeur d'environ 50 m. Le toit de la galerie est situé vers 28 m NGF, soit une couverture de 17 m environ. Les deux fronts d'exploitation ont également été mis en sécurité dans le cadre de cette opération.

UN CONTEXTE GÉOLOGIQUE KARSTIQUE

Les matériaux exploités au droit de la carrière et dans lesquels a été creusée la galerie sont des calcaires massifs et compacts microcristallins gris clair dit "calcaires des Corbières" du Jurassique Supérieur (Kimméridgien Tithonique). Cette unité peut être très fracturée et altérée, générant des cavités karstiques comblées d'argiles sableuses.

Le rocher avait été identifié comme étant d'assez bonne qualité avec un RQD évalué entre 70 et 100 % sur environ 50 % du linéaire et plus particulièrement sous l'autoroute.

Le reste du linéaire était considéré comme de qualité moyenne, avec la présence locale de zones de failles ou de remplissage karstique de qualité médiocre.

Les profils géophysiques réalisés dans le cadre des reconnaissances préalables n'avaient pas identifié la présence d'anomalie majeure pouvant correspondre à un karst ou un remplissage sablo-argileux important.

La galerie est hors d'eau, le fond de l'exploitation de la carrière étant situé à plusieurs mètres au-dessus du niveau des plus hautes eaux.



Ces conditions ont été confirmées lors des travaux d'excavation, avec un RMR supérieur à 60 pour plus des deux tiers du linéaire alors que des passées plus tendres ou argileuses voire altérées étaient recoupées localement (figure 3), selon une direction relativement constante, altérant peu la stabilité de la galerie mais pouvant générer des hors profils importants.

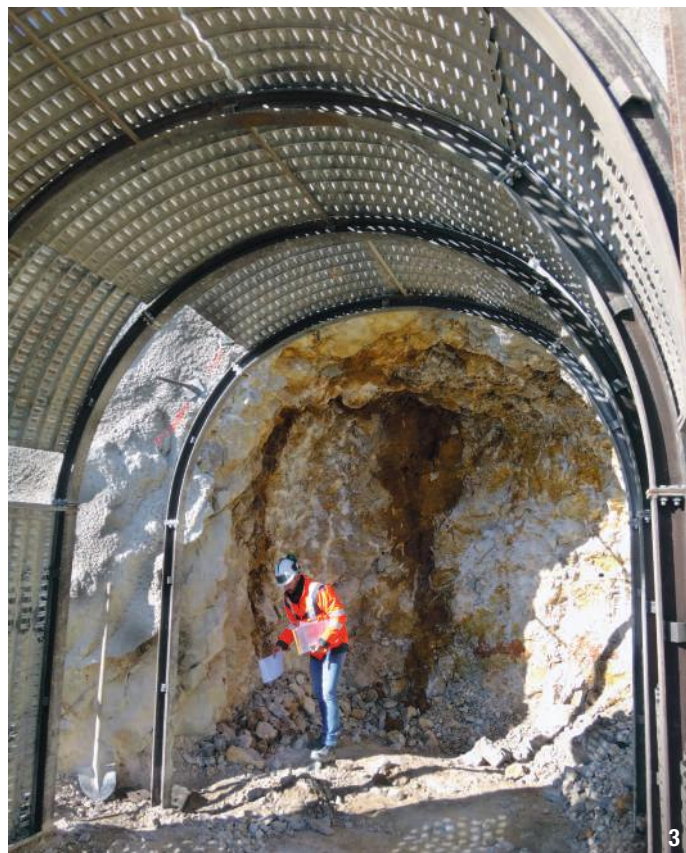
DISPOSITIF DE SURVEILLANCE

Le contexte particulier du franchissement sous la plateforme autoroutière sur un peu plus d'un tiers de la longueur de la galerie a nécessité la mise en place d'un logigramme décisionnel pour décider après chaque volée la poursuite ou non de l'excavation, après vérification de l'absence de désordre sur la plateforme autoroutière.

En effet, la circulation de l'autoroute a été maintenue pendant la totalité des travaux, et les tirs de mine étaient autorisés à condition de neutraliser par balisage la circulation au droit de la zone de travaux incluant une zone d'influence de 1,50 m de part et d'autre du front et selon des plages horaires bien identifiées. Les travaux étaient réalisés de nuit, avec des horaires variables selon les semaines, tout en excluant les périodes de forte affluence (de mi-juin à mi-septembre).

Les mesures de surveillance de la plateforme autoroutière ont comporté la pose d'inclinomètres, de géophones et de cibles suivies en continu.

Les vibrations ont été mesurées à l'aide de quatre capteurs dont deux installés



3- Cavité karstique à remplissage argileux au niveau de l'attaque Sud.

4a- Cibles topographiques disposées le long de l'ouvrage.

4b- Relevé topographique quotidien des cibles de mesure.

3- Karstic cavity with clayey filling at the South face level.

4a- Topographic targets arranged along the structure.

4b- Daily topographic survey of the measurement targets.

au niveau de la tête Sud, un au niveau de la tête Nord et un au droit du terre-plein central. Quinze cibles ont été installées au droit des bandes d'arrêt d'urgence et en terre-plein central de la plateforme autoroutière.

L'adaptation des plans de tir tout au long des travaux a permis de ne pas dépasser les seuils vibratoires.

Afin de suivre les déformations de la galerie pendant le creusement, des sections de mesure de convergence horizontale ont été installées tous les 5 m avec cinq bases : une en voûte et quatre en piédroits (figure 4).

Les mesures ont été faites de façon hebdomadaire sur l'ensemble des sections avec des compléments de

relevé après chaque tir au droit des trois sections les plus proches du front. Les seuils de vigilance et d'alerte définis étaient respectivement de 12 et 15 mm.

GÉOMÉTRIE DE LA GALERIE

La galerie réalisée a une section voûtée, une largeur de 3 m entre intrados, avec des piédroits verticaux et





un radier penté de l'ordre de 0,5 % du nord vers le sud. Elle présente une hauteur sous clé de voûte de 3,30 m et une hauteur minimale en piédroit de 1,80 m (figure 5). Le radier est à la cote 25 NGF environ au nord (site de Baysan) et 24,33 NGF environ au sud (site de Brisefer). Il présente une épaisseur de 0,12 m.

MÉTHODOLOGIE DE RÉALISATION DE LA GALERIE

La galerie a été exécutée avec une attaque montante du sud vers le nord en méthode conventionnelle à l'explo-

sif (figure 1). Compte tenu de l'état de fracturation du massif rocheux, notamment au niveau des attaques qui comportaient des passages très fracturés et des cavités karstiques comblées, l'utilisation de l'exploseur séquentiel a été

imposée afin de réduire au maximum les ébranlements qui auraient pu être à l'origine d'une dislocation du massif et de hors profils.

Pour appréhender les discontinuités et éventuelles anomalies au sein du

massif, les paramètres de forage des volées et des sondages de reconnaissance courts ont été systématiquement réalisés, ainsi qu'un sondage à l'avancement de 20 m sous la plateforme autoroutière. Ces données à l'avancement s'ajoutaient aux données fournies par le sondage réalisé dans le cadre des études de conception.

Après chaque tir de mine, le levé de front a permis la définition du type de soutènement à mettre en place sur la volée.

Trois types de soutènements qui composent également le revêtement définitif étaient prévus pour le chantier selon l'état du massif :

→ Profil "P0" pour le massif calcaire ne présentant que peu ou pas de fissuration, soit un RMR supérieur à 60, constitué d'une coque de béton projeté armée de treillis soudé (figure 6) ;

→ Profil "P1" pour le massif moyennement fracturé présentant quelques dièdres potentiellement instables, soit un RMR situé entre 40 et 60, constitué d'une coque de béton projeté armée de treillis soudé ainsi qu'une auréole de boulons ;

→ Profil "P2" pour le rocher très fracturé pouvant entraîner un déconfinement du terrain, soit un RMR inférieur à 40, constitué d'une coque de béton projeté armée de treillis soudé et de cintres lourds HEB100 (figure 7). Les cintres ont été calés en pied sur le calcaire sain et le béton de radier a été coulé à leur contact.

5a- Illustration de la géométrie de la galerie.

5b- La taille des engins de chantier a été adaptée à la faible section.

6- Projection du béton par voie sèche.

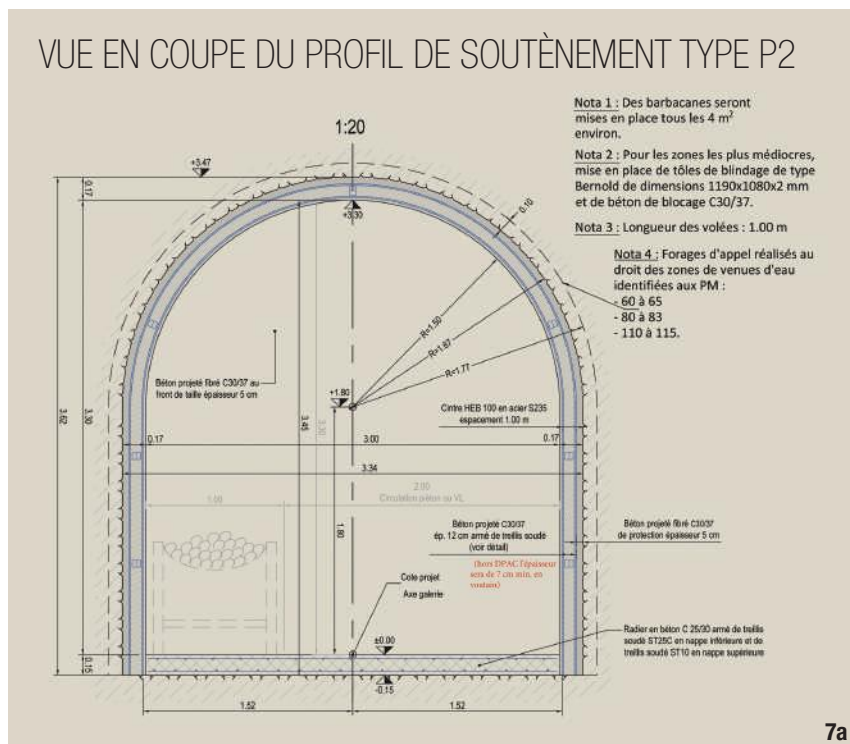
5a- Illustration of the gallery's geometry.

5b- The size of the construction machinery was adapted to the small cross section.

6- Concrete shotcreting by dry process.



VUE EN COUPE DU PROFIL DE SOUTÈNEMENT TYPE P2



Les soutènements complets ont été installés de façon systématique avant chaque tir de volée suivante. Pour la partie située sous la plateforme autoroutière, le soutènement devait être mis en place avant remise en circulation de toutes les voies de l'auto-route A9. Des tôles de blindage ont été ponctuellement ajoutées pour combler les hors profils avec un clavage entre le terrain et les cintres.

Les têtes de tunnel sont constituées d'un pré-soutènement de type voûte parapluie constituée de 10 barres HA32 de 8 m de longueur. Des casquettes de protection formées de quatre cintres en HEB 100 et de tôles de blindage métallique soudées ont été mises en place pendant la durée des travaux pour prévenir des chutes de blocs, bien que les deux fronts d'attaque et de sortie aient été

7a- Vue en coupe du profil de soutènement type P2.
7b- Soutènement de type P2 en cours de réalisation.

7a- Cross-section view of the P2 type retaining structure profile.

7b- P2 type retaining structure during execution.

renforcés par paroi clouée (figure 8). Par sécurité, les 10 premiers mètres et les 10 derniers mètres de tunnel ont forfaitairement été soutenus par le profil type P2. Bien que le massif soit hors d'eau, des circulations d'eau au sein des fractures et nombreuses discontinuités sont traitées par des barbacanes tous les 4 m², spécialement au niveau des zones humides, pour éviter le charge-





© ARCADIS

8b

ment arrière du revêtement pendant la durée de vie de l'ouvrage.

DÉROULEMENT DES TRAVAUX

La réalisation de la voûte parapluie au niveau de l'attaque Sud a débuté le 10 janvier 2019 après la purge et le renforcement du tympan.

Deux tirs par jour étaient réalisés avant d'atteindre la zone de la plateforme autoroutière. Dans le périmètre du

8a- Renforcement du front d'attaque Sud.

8b- Renforcement de sortie Nord.

8a- Strengthening of the South working face.

8b- Strengthening of the North exit.

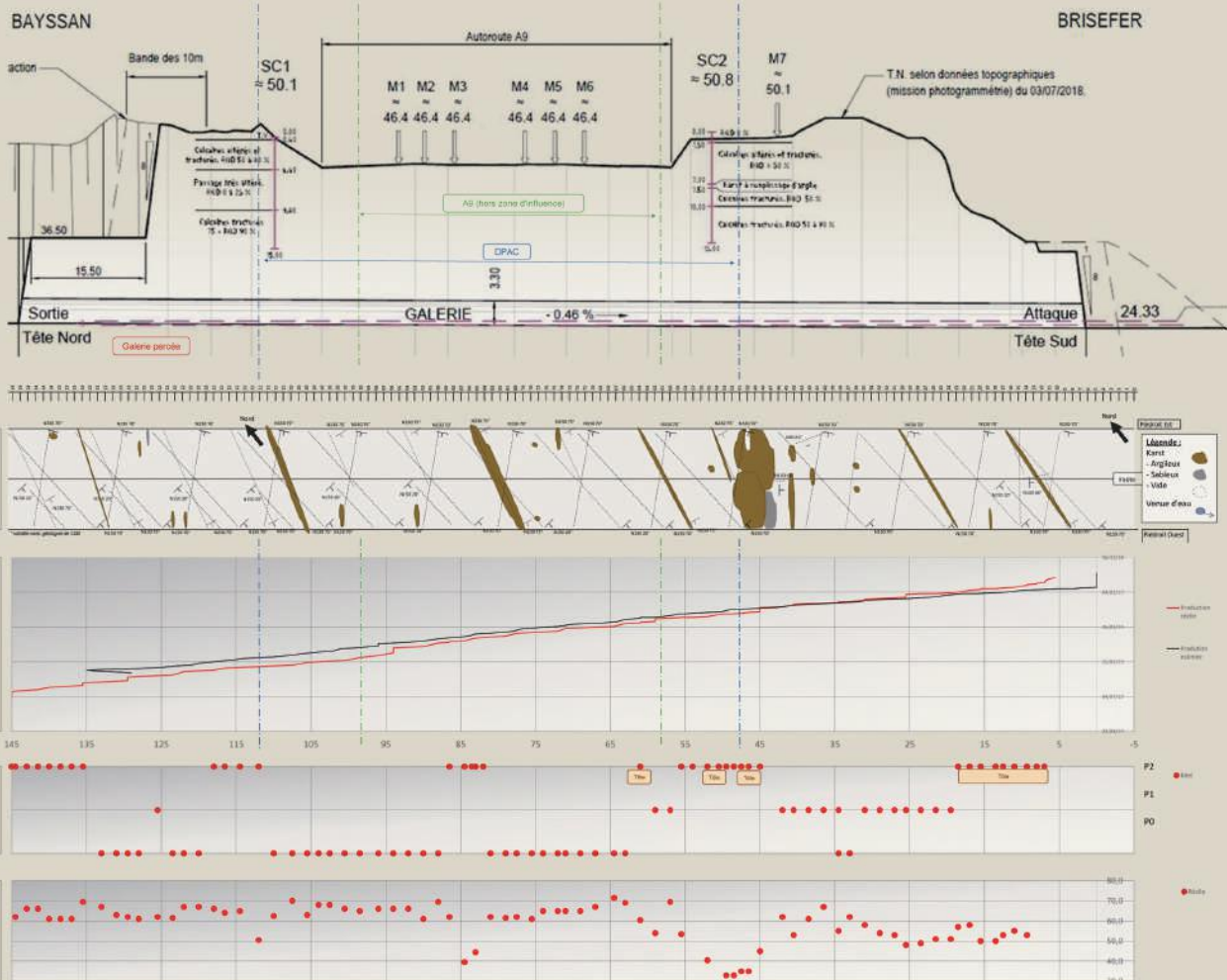
domaine autoroutier, les tirs ont été limités à un tir par jour dans la largeur roulable (entre les PM 62 et 101) et autorisés jusqu'à deux au niveau des talus autoroutiers (entre les PM 52 et 62 et les PM 101 et 111).

Dans l'ensemble, on n'a relevé que peu de hors profils. Les hors profils étaient parfois liés à des discontinuités géologiques ou des cavités karstiques à remplissage argileux. Ces zones ont

conduit à la mise en place de tôles de blindage soutenues par des cintres et à une surconsommation de béton projeté.

La répartition des profils type de soutènement mis en place dans la galerie est la suivante : environ 60% de profil P0, 10% de profil P1 et 30% de profil P2 (figure 9), ce qui est dans l'ensemble plus favorable que ce qui avait été estimé lors de la conception ▷





9

© EIFFAGE GENIE CIVIL

sur la base du sondage carotté puisqu'il était prévu d'appliquer le profil P1 (boulonnage de la voûte) sur 60 % du linéaire.

Dans le cadre de la méthode observationnelle mise en œuvre, et notamment pour le passage sous la plateforme autoroutière, il n'a pas été noté de dépassement des différents seuils au droit des multiples appareils de mesure en place.

Par ailleurs, dans le cadre du suivi du creusement de la galerie, les mesures de convergence horizontale n'ont montré que de légères variations sans dépassement des seuils prédéfinis. □

9- Profil en long de synthèse des travaux (synthèse géologique, planning de production, type de soutènement appliqué et note RMR).

9- Synthetic longitudinal profile of the works (geological overview, production schedule, type of retaining structure applied and RMR rating).

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 145 m de galerie excavés à l'explosif
- 300 m³ de béton projeté
- 7 500 kg de cintres HEB
- 300 m de clous
- 1 600 m³ de matériaux excavés non foisonnés

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Arcadis
MAÎTRISE D'OUVRAGE : Calcaires du Biterrois
ENTREPRISE : Eiffage Génie Civil

ABSTRACT

AN UNDERGROUND GALLERY TO CONTINUE QUARRYING LIMESTONE AT BEZIERS

ROMAIN CADOR, CALCAIRES DU BITERROIS - YOAN RODRIGUES, ARCADIS

The Brisefer-Bayssan gallery links the two quarry working sites of Calcaires du Biterrois. Given its location, and in particular the A9 motorway, the structure was dug by the conventional method, using explosives, in six months. Gallery and motorway roadbed instrumentation was installed to monitor strain and prevent deformation of the A9 (topographic, clinometric and vibration monitoring). A light retaining structure of the reinforced shotcrete shell type was installed as work progressed, and was reinforced locally by bolts or even heavy centring in fractured and karstic areas. The gallery was equipped with a conveyor belt and allows access to pedestrians and light vehicles. □

UNA GALERÍA SUBTERRÁNEA PARA SEGUIR EXTRAYENDO CAL EN BEZIERS

ROMAIN CADOR, CALCAIRES DU BITERROIS - YOAN RODRIGUES, ARCADIS

La galería de Brisefer-Bayssan une los dos puntos de explotación de la cantera de cal Calcaires du Biterrois. Habida cuenta de su localización, y en especial de la autopista A9, se perforó en seis meses por el método tradicional, mediante explosivos. Se utilizó una instrumentación de la obra y de la plataforma de la autopista para controlar y prevenir las deformaciones de la A9 (seguimiento topográfico, inclinométrico y vibratorio). Se aplicó un ligero sostenimiento de tipo casco de hormigón proyectado a medida que avanzaba la perforación, reforzado localmente con pernos, e incluso por cimbras pesadas en las zonas fracturadas y cársticas. La galería se equipó con una cinta transportadora y permite el acceso de peatones y vehículos ligeros. □

BESSAC AU CŒUR DE LA "TECH" DANS LA SILICON VALLEY

AUTEURS : OLIVIER ROBERT, DIRECTEUR ADJOINT DU PROJET, BESSAC - CYRIL PENOT, INGÉNIEUR PROJET, BESSAC

EN CALIFORNIE, AU CŒUR DE LA SILICON VALLEY, BERCEAU DES NOUVELLES TECHNOLOGIES, BESSAC PARTICIPE À LA CONCEPTION / CONSTRUCTION D'UN NOUVEAU RÉSEAU D'EAUX USÉES. CE PROJET DE PLUS DE 200 M\$ S'INSCRIT DANS LE CADRE D'UN VASTE PROGRAMME DE RENOUVELLEMENT ET DE RÉNOVATION DU RÉSEAU GÉRÉ PAR SILICON VALLEY CLEAN WATER (SVCW) QUI FOURNIT SES SERVICES À PLUS DE 220 000 PERSONNES DANS LA BAIE DE SAN FRANCISCO.

TRACÉ ET PRÉSENTATION DU GP PROJECT - CALIFORNIE



© PHOTO THÉQUE BESSAC

1

Le 5 octobre 2017, le groupe BBJV formé par Bessac, Inc (filiale américaine du groupe Bessac) et Barnard Construction Company, Inc signait avec SVCW un contrat de *Progressive Design and Build* pour la fourniture d'un réseau gravitaire de transport des eaux usées, le Gravity Pipeline Project. Ce nouveau réseau récupère les effluents du réseau existant en deux

1- Tracé et présentation du GP Project - Californie.

1- Layout and overview of the GP Project, California.

points par l'intermédiaire de structures verticales et les transportent jusqu'à l'usine de traitement.

Le projet comprend 3 puits et 2 tunnels d'une longueur totale de 5,3 km, dans le contexte géologique et sismique propre à la baie de San Francisco.

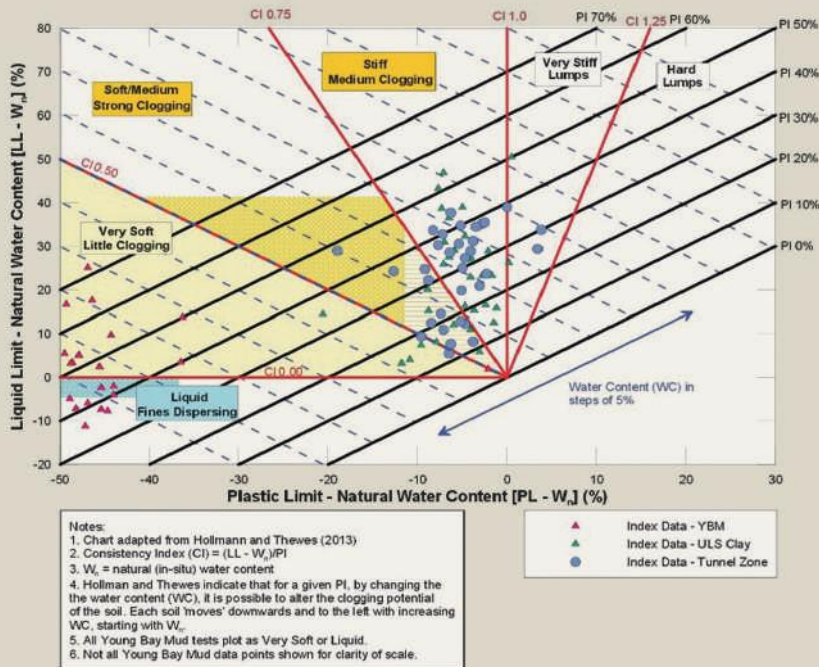
TRACÉ ET GÉOLOGIE

Le tracé du tunnel (figure 1) relie Bair Island, au sud de l'aéroport de

San Carlos, à la station de traitement implantée à l'est de la ville de Redwood City, en bordure de la baie de San-Francisco.

L'alignement est implanté principalement sous l'aéroport de San Carlos et au droit d'une avenue principale. De nombreuses résidences et immeubles de bureaux ainsi que la conduite d'eau usée existante sont inclus dans la zone d'influence géologique.

TABLEAU DE LA CAPACITÉ COLMATANTE DES TERRAINS RENCONTRÉS



2

© PHOTO THÉRIQUE BESSAC

2- Tableau de la capacité colmatante des terrains rencontrés.

3- Puits de Bair Island.

4- Upper Layered Sediment (ULS) durant la construction des galeries d'amorce.

2- Clogging capacity table for the land encountered.

3- Bair Island shaft.

4- Upper Layered Sediment (ULS) during construction of the starting galleries.

Enfin, l'alignement est caractérisé par de nombreuses courbes dont les plus serrées ont un rayon de 244 m. La pente du tunnel est constante : 0,15% depuis Bair Island en direction de la station de traitement.

La géologie de la zone est marquée par des dépôts marins et alluvionnaires du Quaternaire dont les principales unités sont, depuis la surface, les Artificial Fill (Fill), la Young Bay Mud (YBM), les Upper Layered Sediments (ULS), et les Old Bay Deposits (OBD). La forte sensibilité aux tassements de l'argile molle de la couche YBM a conduit à maintenir le tracé dans la couche des

ULS, caractérisée par un faciès argileux, plastique à très plastique, avec des lentilles de sables argileux (environ 14%) communiquant directement avec l'eau saumâtre de la baie de San Francisco.

Le caractère collant à très collant des argiles identifiées sur les prélèvements réalisés (figure 2) constitue la principale difficulté pour une excavation au tunnelier.

PUITS ET GALERIES D'AMORCE

Le contrat comprend la construction de trois puits répartis sur le tracé :

LE PUITS "BAIR ISLAND SHAFT" (BIS) À L'EXTRÉMITÉ SUD DU TRACÉ

L'ouvrage (figure 3) de forme rectangulaire (18,2 m par 9,8 m) et profond de 14,6 m permet la récupération du tunnelier à la fin du tir n°1. Il a été réalisé en palplanches.

L'excavation en 5 passes avec l'installation de 4 niveaux de butons, bracons d'angle et poutres de couronnement a permis de maîtriser les tassements (conduite en service à proximité), tout en n'interférant pas avec les ouvertures requises pour le démontage du tunnelier.

En phase définitive, ce puits abritera un ouvrage de raccordement au réseau existant.

LE PUITS "SAN CARLOS DROP SHAFT" (SCDS), EN AVAL DU PUITS DE BAIR ISLAND

Ce puit, excentré du tracé du tunnel, permet de relier la station de pompage de San Carlos au nouveau tunnel. Il s'agit d'un puits circulaire de 5,50 m de diamètre et de 15 m de profondeur relié au tunnel par une galerie de 8 m de longueur et 2,10 m de diamètre.



3



4

© PHOTO THÉRIQUE BESSAC

LE Puits "AIRPORT ACCESS SHAFT" (AAS), SITE PRINCIPAL DU CHANTIER

C'est à partir de ce puits de 17 m de diamètre intérieur et 17 m de profondeur que le tunnelier est lancé à deux reprises. Le contexte géologique, les contraintes géométriques et les efforts liés à l'assemblage et au lancement du tunnelier ont justifié un soutènement réalisé en parois moulées de 90 cm d'épaisseur, creusées à la benne hydraulique, ferrillées et renforcées au droit des tympans du tunnel par des poutres métalliques. Le fond de puits a été scellé par un radier de 1,20 m d'épaisseur. Pour faciliter et accélérer l'assemblage et le lancement du tunnelier, deux galeries d'amorce ont été creusées selon la méthode NATM, en deux sections (voûte puis stross), par passes de 1,50 m, avec pose de cintres réticulés et béton projeté sous une voûte parapluie en tubes métalliques (figure 4).

CHOIX DE LA MACHINE, SPÉCIFICITÉS, MARINAGE

Le choix d'un tunnelier au confinement à pression de terre (EPB) a été considéré comme la meilleure solution dans ce contexte géologique.

BBJV et le fabricant de tunnelier ont travaillé conjointement pour définir les caractéristiques de cette machine de 4,96 m de diamètre, en portant une attention particulière à la roue de coupe et à ses outils (figure 5). Avec un coefficient d'ouverture de 43%, elle est équipée d'outils spécifiques (couteaux au profil arrondi, ripper de face étroits et disques tracteurs) disposés de manière à étagier les profondeurs de pénétration et faciliter le flux du marin depuis la face vers la chambre d'abattage. Cette stratégie consistant à créer des copeaux plus nombreux et plus petits améliore la capacité à traiter le terrain par injection de mousse en augmentant la surface spécifique du marin.

La roue de coupe possède une puissance totale de 1 120 kW et un couple nominal de 4 584 kN.m. Le bouclier, long de près de 13 m est équipé de deux articulations (une active et une passive) contrôlées par des vérins hydrauliques lui permettant d'accepter des courbes d'un rayon minimum de 198 m.

Le tunnelier, les servitudes et la logistique ont été dimensionnés sur la base d'une performance d'excavation de 100 mm/min.

Le train suiveur offre la possibilité de décharger rapidement deux anneaux de voussoirs. Des réservoirs tampons



5
© PHOTOTHÈQUE BESSAC

5- Roue de coupe du tunnelier.

6- Section type du tunnel avec convoyeur continu en voûte.

5- TBM cutting wheel.

6- Typical cross section of the tunnel with continuous roof conveyor.

directement reliés à la centrale de fabrication de coulis bi-composant en surface permettent l'injection en continu du vide annulaire entre les anneaux et le terrain. Enfin, malgré les nombreuses courbes et le diamètre limité du tunnel, BBJV a pris le parti d'utiliser un convoyeur continu, installé en voûte du tunnel, pour transporter le marinage depuis le tunnelier jusqu'à la surface (figure 6).



6
© PHOTOTHÈQUE BESSAC

LES PHASES DE DÉMARRAGE

Le lancement d'une machine de plus de 180 m de long dans un puits de 17 m de diamètre implique une procédure de démarrage très séquencée. En premier lieu, le bouclier, transporté en 9 pièces depuis l'usine de fabrication, est assemblé dans le puits et ripé dans la galerie d'amorce. Ensuite, la première remorque du train suiveur, où sont installées la cabine de pilotage et la pompe de marinage, est descendue dans le puits. Le choix d'une pompe en phase de démarrage séquencé s'explique par une géologie favorable et la difficulté à gérer un convoyeur.

La pompe, positionnée juste derrière la vis, est alimentée en matériaux excavés par l'intermédiaire d'un flexible connecté sous la trappe de vis.

Les matériaux sont ensuite pompés, via une conduite de 200 mm de diamètre, jusqu'en surface, dans un bassin. BBJV a sélectionné une pompe Schwing KSP 80, équipée d'une "rock valve",

capable de pomper les déblais sur près de 400 m en maintenant une vitesse d'excavation autour de 30 mm/min. Pour atteindre ces cadences, BBJV a travaillé méticuleusement sur le conditionnement spécifique des matériaux dans cette phase.

L'objectif est d'amener l'argile vers sa limite de liquidité, sans la dépasser, en ajoutant de l'eau et un tensio-actif (sans air) afin de garantir le pompage sur une longue distance, maintenir le confinement au front et ne pas compromettre l'évacuation du marin par camion. Cette méthodologie innovante permet d'excaver de manière continue en phase de démarrage, à l'inverse des méthodes plus classiques de démarrage (bennes, convoyeurs temporaires).

Le reste des remorques a été installé en surface et connecté au couple bouclier/remorque par un système dit d'ombilics (figure 7) prévu dès la phase de conception du tunnelier.

Le lancement du tunnelier se déroule en 4 phases :

→ **Phase 1 :** Creusement avec le bouclier et la remorque 1 reliés au reste du train suiveur par les ombilics.

→ **Phase 2 :** Installation de 7 remorques, incluant les groupes hydrauliques et retrait des ombilics hydrauliques.

→ **Phase 3 :** Installation de 8 remorques, incluant les armoires électriques principales et les transformateurs et retrait des ombilics électriques. À ce stade, il n'y a plus d'ombilics mais l'évacuation des déblais s'effectue toujours par la pompe à boue.

→ **Phase 4 :** Installation du reste des remorques. La pompe est retirée et le fond de puits est modifié pour l'installation du convoyeur continu.

PRODUCTION ET PERFORMANCES

En configuration définitive, les paramètres de conditionnement des déblais ont été ajustés pour les rendre compatibles avec le système de convoyeur continu. Un marin à la consistance plutôt liquide pour le pompage n'était plus adapté pour un système de convoyeur (débordement aux transitions, glissement sur la bande inclinée, ...).

Un travail rigoureux avec les fournisseurs d'additifs a permis, à partir d'essais en laboratoire, de définir les paramètres d'injection de mousse et obtenir la consistance souhaitée, optimiser les paramètres d'excavation et minimiser l'usure des outils de coupe.

Après l'ajustement de ces paramètres, les équipes de BBJV ont rapidement atteint et dépassé les cadences attendues, creusant en moyenne 34 m par jour en deux postes de 10h avec une production maximale de 64 m sur deux postes. De telles performances ont été rendues possible grâce à l'implication des équipes mais également par :

- L'optimisation de l'ensemble roue de coupe/outils/système de conditionnement qui a permis de limiter le colmatage dans la chambre d'abattage et sur le convoyeur continu ;
- Un système logistique efficace s'appuyant sur deux trains sur rail alimentant le tunnelier et un convoyeur continu ;
- Une maintenance rigoureuse et préventive par du personnel qualifié afin de maintenir un coefficient de disponibilité machine le plus haut possible.

REVÊTEMENT PRIMAIRE

Consécutivement au creusement du tunnel, la pose de voussoirs de 4,11 m de diamètre intérieur (4,62 m de diamètre extérieur) et de 1,50 m de long a constitué le revêtement primaire de la galerie. En phase de conception, il a été décidé de fabriquer 2 types d'anneau universel, un gauche et un droit (figure 8).

La réflexion en amont sur le projet a permis de développer et tester une formulation du béton avec un renforcement par fibres métalliques.

REVÊTEMENT SECONDAIRE

L'objectif de l'ouvrage est de transporter les eaux usées jusqu'à la station



© PHOTOTHÈQUE BESSAC

7- Système de support des ombilics.

8- Présentation des anneaux universels gauches et droits.

9- Déchargement de tuyaux PRV imbriqués durant le transport.

7- Umbilical support system.

8- Appearance of left and right universal rings.

9- Discharging GRP pipes intertwined during transport.

de traitement. Après une analyse des risques et opportunités sur les différents types de revêtement possible pour garantir une durée de vie de l'ouvrage de 100 ans, le client a opté pour la pose de tuyaux en Polyester Renforcé de fibres de Verre (PRV) à l'intérieur des voussoirs en béton.

La dimension importante des tuyaux (3,05 m et 3,35 m de diamètre) permet le stockage des effluents pendant les périodes de maintenance sur la station de traitement. Le choix de 2 diamètres différents a permis également de les transporter imbriqués l'un dans l'autre (figure 9) et optimiser le coût de transport. Chaque tuyau pesant jusqu'à 7 t pour une longueur de 6 m, un outil spécifique automoteur a été conçu et

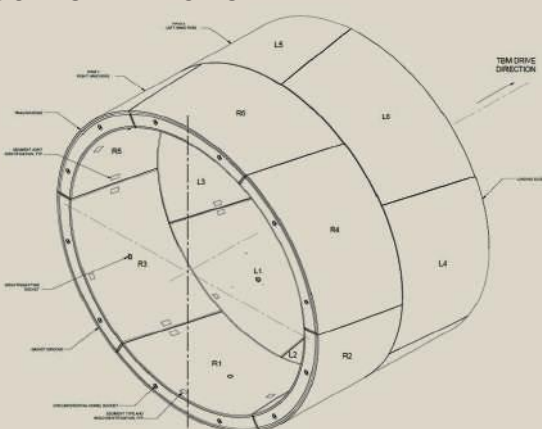
fabriqué pour le transport entre le puits de livraison et le lieu d'assemblage en tunnel. Enfin pour satisfaire la sinuosité du tracé et accommoder des courbes de 244 m de rayon, certains tuyaux ont été fabriqués avec un biseau de 0,75° pour réduire le jeu à moins de 20 mm entre 2 sections à l'extérieur de la courbe.

Le transport des eaux usées produit du sulfure d'hydrogène gazeux (H₂S) qui s'oxyde en acide sulfurique (H₂SO₄) sur les parois des structures. La combinaison humidité/acide rend les réseaux de transport d'eaux usées sujets à des phénomènes de corrosion très importants. Le choix des matériaux en contact avec les effluents s'est donc porté sur des tuyaux PRV constitués de

résine à base de polyester insaturé (structure) et d'un revêtement intérieur et extérieur à base de fibre de verre résistante à la corrosion (E-CR) et de vinylester.

Après l'installation et le blocage des tuyaux PRV à l'intérieur des voussoirs béton, le vide annulaire devra être rempli par un béton cellulaire. Ce remplissage se fera avec un minimum de 8 phases pour réduire les efforts liés à la flottaison du tuyau mais également pour réduire l'élévation de température due à l'hydratation du béton. L'injection du béton cellulaire se fera par des points d'injection de 76 mm de diamètre en acier inoxydable, espacés de 30 m installés sur les tuyaux et testés en usine.

PRÉSENTATION DES ANNEAUX UNIVERSELS GAUCHES ET DROITS



8



9

© PHOTOTHÈQUE BESSAC

10- Ouvrages verticaux de raccordement.

10- Vertical connecting structures.

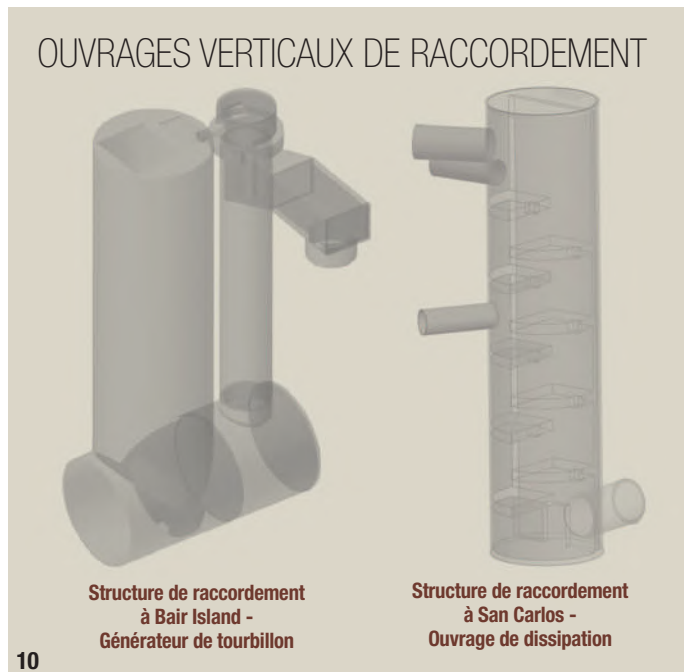
LES OUVRAGES DE RACCORDEMENT

Le nouveau réseau créé se situe majoritairement à une profondeur comprise entre 15 m et 20 m. Le raccordement au réseau existant nécessite la conception, la fabrication et l'installation d'ouvrages dont l'objectif principal est la dissipation de l'énergie liée à la différence de niveau (figure 10).

L'ouvrage de San Carlos permet la dissipation de cette énergie par un système de déflecteurs horizontaux alors qu'à Bair Island, le choix s'est porté sur un système générant un tourbillon sur plus de 12 m de haut. Ces 2 structures seront réalisées en PRV avec les mêmes caractéristiques de fabrication que les tuyaux.

LE " PROGRESSIVE DESIGN AND BUILD "

Ces travaux ont donc été confiés à BBJV sur le principe d'un *Progressive Design and Build*.



L'appel d'offre s'est déroulé sur la base :

→ D'un RFQ *Request For Qualification* où les candidats remettent leurs propositions sur l'organisation du chantier, présentent les intervenants, le personnel clé envisagé, leurs références, leurs performances sécurité et le pro-

gramme sécurité spécifique au GP Project.

SVCW a retenu 3 groupements pour la phase suivante :

→ D'un RFP *Request For Proposal* où chaque candidat présente ses propositions de variantes et innovations, son planning et un prix sur la base d'un design à 15%.

Suite à la phase d'appel d'offre, SVCW a attribué au groupement BBJV la réalisation de la phase 1 qui consistait, en partenariat avec SVCW, à obtenir les permis et autorisations nécessaires, à développer le design jusqu'à 60%, faire des propositions de variantes, définir les principaux matériels, définir le cahier des charges, analyser les risques et opportunités et chiffrer à livre ouvert les travaux de construction. Un des aspects originaux de cette démarche a été de définir avec le client un mécanisme d'*Allowances* permettant d'ajuster, en phase de construction, le montant du marché :

→ Pour des activités qui ne pouvaient pas être quantifiées et/ou chiffrées à l'issue de la phase 1 ;

→ Pour des activités identifiées avec une probabilité faible de se produire. L'objectif de ce mécanisme est d'éviter les réclamations pendant la construction, de définir un mécanisme juste et précis de compensation, de réduire les risques pour le groupement et de réduire et maîtriser les coûts pour le maître d'ouvrage.

À l'issue de la phase 1, BBJV a obtenu pour un montant forfaitaire le contrat pour la phase 2 consistant à finaliser la conception et réaliser les travaux du nouveau réseau qui devraient s'achever mi-2022. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

LONGUEUR D'EXCAVATION : 5 313 m

DIAMÈTRE D'EXCAVATION : 4,96 m

VOLUME D'EXCAVATION (hors puits) : 102 606 m³

QUANTITÉ DE VOUSOIRS : 21 000 u

POIDS DU TUNNELIER : 810 t

DURÉE ESTIMÉE DE CREUSEMENT (avec 2 phases de lancement) : 12,5 mois.

DIAMÈTRE DES TUYAUX PRV INSTALLÉS : 3,05 m et 3,35 m

LONGUEUR DE TUYAUX PRV : 5 330 m

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Silicon Valley Clean Water (SVCW)

GROUPEMENT : Bessac, Inc./Barnard Construction Company, Inc. (BBJV)

BUREAU D'ÉTUDE : Arup North America Ltd.

FOURNISSEUR DU TUNNELIER : Herrenknecht Tunnelling Systems USA, Inc.

FOURNISSEUR DU SYSTÈME DE CONVOYEUR : H&E Logistic USA

FOURNISSEUR DES TUYAUX PRV : Future Pipe Industries, Inc.

FOURNISSEUR DES VOUSOIRS BÉTON : Traylor Shea Precast, AJV

ABSTRACT

BESSAC IN THE HIGH-TECH HEART OF SILICON VALLEY

OLIVIER ROBERT, BESSAC - CYRIL PENOT, BESSAC

Bessac is taking part in the design and construction of a tunnel 5,313 m long and 4.96 m in diameter, and the starting, arrival and connecting shafts. The primary lining consists of fibre-reinforced concrete segments. The lining in contact with the effluents, executed in glass reinforced polyester (GRP), consists of pipes more than 3 metres in diameter and connecting structures more than 15 metres high. These works form part of a programme for renovation of the sewerage network managed by Silicon Valley Clean Water (SVCW), which awarded this contract under a new Progressive Design and Build approach. □

BESSAC, EN EL CORAZÓN TECNOLÓGICO DE SILICON VALLEY

OLIVIER ROBERT, BESSAC - CYRIL PENOT, BESSAC

La sociedad Bessac participa en el diseño y la construcción de un túnel de 5.313 m de longitud y 4,96 m de diámetro, así como de los pozos de inicio, de llegada y de conexión. El revestimiento primario está compuesto de dovelas de hormigón armado fibrado. El revestimiento en contacto con los efluentes, realizado en poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRV), está formado por tubos de diámetro superior a 3 m y bloques de conexión de más de 15 m de altura. Estas obras se inscriben en un programa de renovación de la red de aguas residuales gestionado por Silicon Valley Clean Water (SVCW), que concedió este contrato aplicando un nuevo proceso de Progressive Design and Build. □



1

© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC

CREUSEMENT DE LA GALERIE SAINTE-DÉVOTE À MONACO

AUTEURS : MAXIME STUERGA, INGÉNIEUR MÉTHODES, RAZEL-BEC - YVES COJEAN, INGÉNIEUR ÉTUDES TRAVAUX SOUTERRAINS, RAZEL-BEC - PIERRE-EMMANUEL CHARVET, INGÉNIEUR TRAVAUX SOUTERRAINS, RAZEL-BEC - PASCAL RUIZ, CHEF DE CHANTIER, GÉOBIO

CE CHANTIER DE CREUSEMENT DE LA GALERIE SAINTE-DÉVOTE, CE NE SONT NI LES DIMENSIONS DE L'OUVRAGE, NI LES QUANTITÉS DE DÉBLAIS EXTRAITS QUI EN FONT LA SINGULARITÉ, MAIS BIEN SON ENVIRONNEMENT URBAIN TRÈS CONTRAINT. LA GALERIE PIÉTONNE, D'UNE LONGUEUR DE 80 m, PERMETTANT AUX RIVERAINS DE PASSER SOUS LE BOULEVARD PRINCESSE CHARLOTTE AFIN DE REJOINDRE LA GARE SNCF, A DÛ ÊTRE CREUSÉE " AU MILLIMÈTRE PRÈS " DANS LA ROCHE MONÉGASQUE, TOUT EN GÉRANT LES EMPRISES RESTREINTES, LA CIRCULATION DENSE ET LE BÂTI AVOISINANT.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

À Monaco, la galerie Sainte-Dévote est un tunnel piéton long de 80 m, qui part de l'accès souterrain de la gare de Monaco sous l'avenue d'Alsace, pour ressortir à l'embranchement des boulevards de Suisse et Princesse-Charlotte (figure 1).

L'objectif de la construction d'un tel ouvrage est simple : déporter une partie du flot journalier de voyageurs, dont approximativement 40 % sortent habituellement par le pont Sainte-

Dévote avant d'emprunter le passage piéton du boulevard Princesse-Charlotte pour se rendre à l'est du territoire (figure 3).

Or le boulevard Princesse-Charlotte est l'un des boulevards les plus empruntés de la principauté : pas moins de 25 000 véhicules par jour ! La circulation piétonne sur ce boulevard, spécifiquement aux alentours de la gare, a pour effet de ralentir le flux des véhicules automobiles, tout particulièrement aux heures de pointes.

1- Accès à la galerie Sainte-Dévote depuis le boulevard de Suisse.

1- Access to the Sainte-Dévote gallery from Boulevard de Suisse.

S'il s'agit d'un ouvrage relativement modeste, en comparaison des nombreux tunnels actuellement en cours de construction dans les sous-sols parisiens, ou à celui du tunnel du Fréjus dans la région Auvergne-Rhône-Alpes, il n'en reste pas moins un ouvrage souterrain, avec toutes les contraintes que cela recouvre.

La construction de cette galerie s'est opérée en deux phases successives. La première a consisté à creuser une tranchée ouverte de 28 m de long



2
© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC

avec démarrage et accès au chantier au niveau du boulevard de Suisse. L'emprise est très contrainte, le cadre urbain très dense, qu'il s'agisse des bâtis avoisinants, de la forte circulation sur la zone ou bien des nombreux réseaux faisant partie du tracé.

Tout cela nécessite une préparation de chantier millimétrée, mais aussi une attention particulière à porter aux riverains et usagers. La Principauté et les habitants de Monaco n'en attendent pas moins.

2- Écrans acoustiques mis en place pour minimiser les nuisances aux riverains.

3- Implantation de la galerie.

2- Noise barriers installed to minimize nuisances for local residents.

3- Gallery location.

La seconde phase est réalisée en galerie, en creusement traditionnel et s'étend sur 50 m. Dans ce cadre, les riverains sont moins impactés mais la contrainte de terrain est forte. Monaco est un rocher, il faut s'attendre à un terrain très dur. Par ailleurs, cette galerie est à creuser dans un "chaussepied", parmi les nombreux réseaux et bâtis existants.

En préalable aux opérations de terrassement de la future galerie, les travaux de la première phase de dévoiement

des réseaux à l'angle du boulevard de Suisse et du boulevard Princesse-Charlotte sont réalisés. Quelques interventions préliminaires sont nécessaires :

- Déplacement de l'arrêt de bus "pont Sainte-Dévote" situé devant le palais Armida ;
- Occupation d'une partie de la chaussée aval du boulevard Princesse-Charlotte par les installations du chantier ;
- Neutralisation de quelques places de stationnement en amont du boulevard de Suisse ;
- Installation de nuit, par grutage, des baraquements de chantier sur la toiture terrasse située au-dessus des accès du parking de la gare.

Afin de minimiser l'impact du bruit et, de manière générale, les nuisances aux riverains, des écrans acoustiques provisoires sont placés tout autour de la tranchée (figure 2). Enfin, la proximité des bâtiments existants par rapport à ce chantier requiert une surveillance rapprochée pour détecter leurs éventuels déplacements lors du terrassement, les équipes installent des cibles à plusieurs endroits stratégiques pour le suivi topographique. Les travaux peuvent alors démarrer.

TRANCHÉE OUVERTE EN PLEIN MONACO

D'une longueur de 30 m et d'une profondeur de 10 m, cette tranchée ouverte va permettre de poursuivre ensuite le creusement souterrain de la galerie. ▽

IMPLANTATION DE LA GALERIE



3
© D2I RAZEL-BEC

4- Vue 3D de la tranchée ouverte.

5- Butonnage de la tranchée.

6- Ponts provisoires.

4- 3D view of open-cut excavation.

5- Trench shoring.

6- Temporary bridges.

Elle représente la trémie de sortie de la galerie (figure 4). Elle se situe très proche des immeubles sur le boulevard de Suisse, à proximité de la villa Byron. Elle est réalisée en tranchée, à l'abri d'une berlinoise constituée de micropieux \varnothing 250 mm avec des tubes métalliques \varnothing 178 mm, d'une voile en béton projeté de 10 cm armé d'un treillis soudé et d'un butonnage liernes et de tubes circulaires sur trois niveaux (figure 5).

Les micropieux sont coiffés d'une poutre de couronnement en béton armé sur laquelle sont posés des plateaux de ponts provisoires, le tout dimensionné pour la circulation des poids lourds. Ce boulevard est l'un des plus empruntés de Monaco mais c'est aussi une voie de circulation pour les convois exceptionnels du Grand Prix de Formule 1 transportant les voitures de course. Les ponts provisoires doivent donc "tenir le choc" (figure 6).

Les travaux de terrassement, la pose de butons et le génie civil sont réalisés en sous-cœuvres des ponts provisoires, selon un phasage permettant la libre circulation sur les boulevards de Suisse et Princesse-Charlotte. Après l'évacuation de remblais sur environ 2 m, le terrassement se poursuit au BRH dans le calcaire jusqu'à une profondeur d'environ 10 m (figure 7).

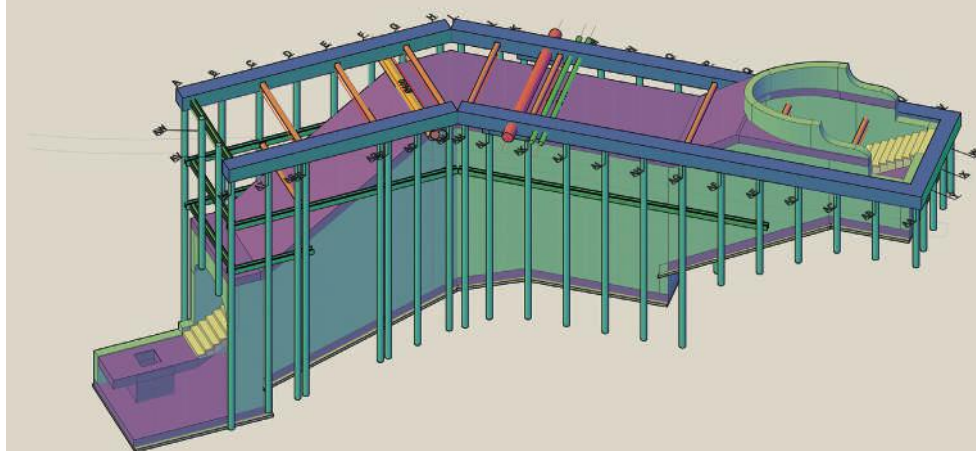
Les réseaux ne pouvant tous être déviés, certains restent en place et traversent la tranchée par des supports aériens (figure 8).

UNE GALERIE À CREUSER "AU MILLIMÈTRE"

L'accès étant maintenant possible, le creusement de la galerie pour rejoindre la gare SNCF de Monaco peut se poursuivre en souterrain afin de minimiser les nuisances pour la circulation. Place à l'équipe des mineurs !

D'une longueur d'environ 50 m, la galerie est creusée sous le boulevard Princesse Charlotte dans un front mixte

VUE 3D DE LA TRANCHÉE OUVERTE



4

© DSI FAZEL-BEC

BUTONNAGE DE LA TRANCHÉE



5

© DSI FAZEL-BEC



6

© PHOTO THÉRIE FAZEL-BEC



7- Travaux de terrassement de la tranchée ouverte.

8- Supportage des réseaux non déviés.

9- Creusement au BHR dans la roche blanche.

10- Section type de la partie creusée en tunnel.

7- Open-cut earthworks.

8- Retaining structure for non-diverted networks.

9- Tunnel driving by hydraulic rock breaker in white rock.

10- Typical cross section of the tunnel-driven part.

composé de remblais de mauvaise qualité en voûte et de calcaires dolomitiques plus ou moins fracturés sur la partie inférieure de l'ouvrage.

Dès le creusement des 20 premiers mètres, les difficultés apparaissent. Le travail se révèle plus compliqué encore que prévu par le géologue.

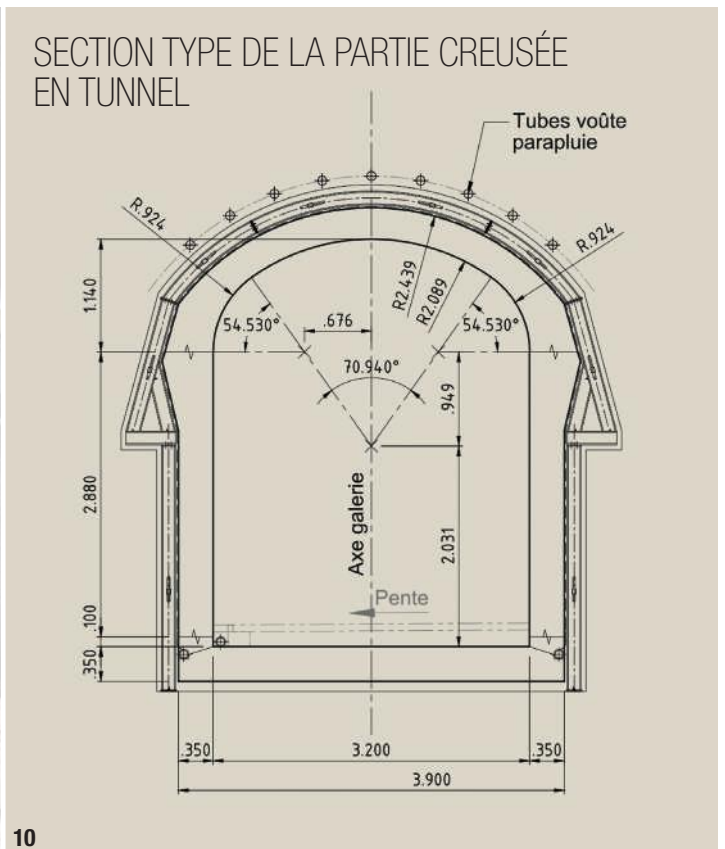
Les équipes sont très vite confrontées à la roche blanche, plus dure et sans faille visible pour attaquer le terrain (figure 9).

Le matériel est fortement éprouvé mais l'expérience des mineurs leur permet d'extraire cette roche très dure puis, par la suite, les matériaux

plus meubles rencontrés. La très faible hauteur de couverture, de l'ordre de 6 m, et le seuil de tassement à ne pas dépasser, fixé à 7 mm, imposent une excavation de la galerie en sections divisées avec la mise en place d'un pré-soutènement composée d'une voûte-parapluie et de boulons en

fibres de verre dans le front de taille (figure 10).

À l'avant du front de taille le pré-soutènement est composé d'une voûte-parapluie en tubes pétroliers métalliques subhorizontaux injectés et de boulons en fibres de verre mis en place en partie supérieure dans le remblai.



Le soutènement est composé de cintres HEB 140 espacés de 1,00 m et d'un blindage en béton projeté. L'équipe de mineurs avance par tranches.

Sur 5 m, la section supérieure est extraite, l'équipe se retire pour la pose des voûtes-parapluie à l'avant, puis réinvestit les lieux afin d'extraire la section inférieure.

Et ainsi de suite pendant les 50 m du tunnel. Cette technique est pratiquée par sécurité compte tenu de la faible couverture, des matériaux environnants et de la limite du seuil de tassement.

Par ailleurs, la réalisation de cette voûte-parapluie en virage serré est une première pour Razel-Bec.

L'entrecroisement des tubes est étudié précisément afin que les forages n'interceptent pas des tubes déjà en place. Cela nécessite un suivi topographique permanent.

Les déblais sont évacués par la trémie réalisée au démarrage de la tranchée ouverte, où seront plus tard installés les escalators permettant l'accès à la galerie (figure 11).

Tout au long du tracé, cette galerie passe à proximité des bâtiments et des ouvrages, elle se faufile littéralement entre les fondations des uns,



© PHOTOThÉQUE RAZEL-BEC

les murs de soutènement des autres et doit aussi se glisser parmi les multiples réseaux non déportés. C'est ainsi qu'arrivé à proximité de la gare SNCF, il faut réellement faire passer ce tunnel au millimètre près, entre un mur de soutènement et le parking souterrain de la Villa les Gaumates (figure 12). L'étanchéité et le génie civil sont réalisés à l'avancement, se suivant de près et parfois-même en co-activité. Les coffrages bois sont fabriqués sur mesure (figure 13).

11- Évacuation des déblais par la trémie.

12- Passage du tunnel à proximité des bâtiments existants.

11- Removal of excavated material by tunnel approach.

12- Tunnel passage near existing buildings.

ÉTANCHÉITÉ DE L'OUVRAGE EN MILIEU RESTREINT

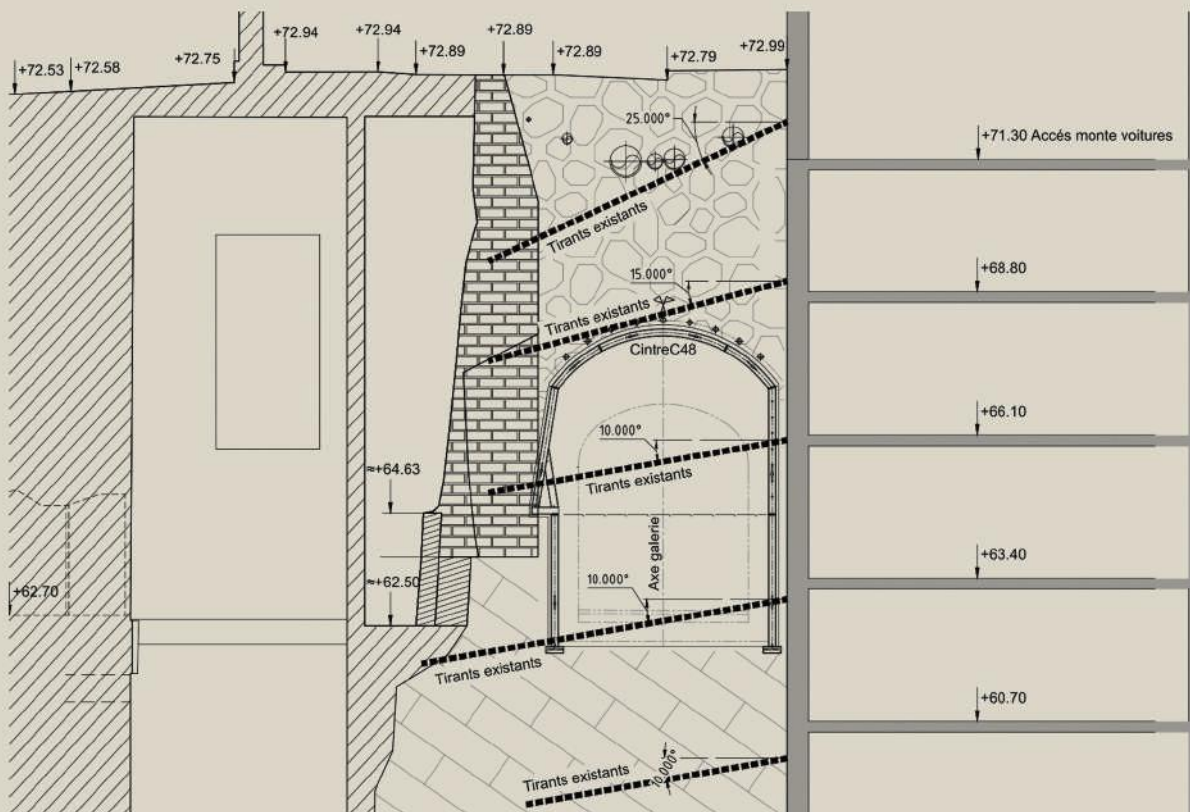
Bien que l'ouvrage soit hors nappe, le client requiert la mise en place d'une étanchéité à l'extrados du revêtement définitif en voûte et en piédroits.

Pour cela, on procède à la pose d'un dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG), composé de 3 couches (figure 14) :

→ Un géotextile de protection anti-poinçonnant de 700 g, placé en 1^{er} couche sur les piédroits et sur la voûte, directement sur le béton projeté, qui vient protéger la géomembrane en PVC.

→ Une géomembrane en PVC translucide d'une épaisseur de 2 mm, soudée directement sur des rondelles en PVC spitées au préalable sur le géotextile, à raison de cinq rondelles par m². Les rouleaux de 40 m² sont déroulés dans le sens de la voûte tout le long de la galerie et les différents lés sont ensuite soudés entre eux à l'aide d'une machine à résistance qui envoie de l'air chaud à 450°-500° et dont il est possible de régler la température de chauffe, la vitesse d'avancement ainsi que la pression des galets d'entraînement.

PASSAGE DU TUNNEL À PROXIMITÉ DES BÂTIMENTS EXISTANTS



13- Mise en place des coffrages bois réalisés sur mesure.

14- Pose de la seconde couche du dispositif d'étanchéité, la géo-membrane translucide.

15- Co-activité génie civil et étanchéité.

13- Placing bespoke wooden formwork.

14- Placing the second layer of the sealing system, the translucent geomembrane.

15- Concurrent civil engineering and sealing work.



© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC

→ Enfin on ajoute une 3^e couche de PVC opaque dont l'objectif est de préserver la membrane lors du bétonnage et du ferrailage.

Entre cette membrane et le béton projeté un drain est placé permettant

la récupération et l'évacuation des eaux de ruissellement jusqu'à l'exutoire.

Ce dispositif d'étanchéité est sécurisé par un principe de compartimentation, c'est-à-dire que la membrane est

divisée en plusieurs compartiments d'environ 200 m² isolés les uns des autres avec une bande d'arrêt d'eau noyée dans le béton et soudée sur la membrane. Dans chaque compartiment, on intègre environ 5 tubes

d'injection qui sont tous collectés au même endroit, accessibles via un boîtier de service, de manière à pouvoir injecter de la résine aqua-réactive si une fuite apparaît dans la membrane. ▷



© PHOTOTHÈQUE RAZEL-BEC





16

© PHOTO THÉÂTRE RAZEL-BEC

Une fois injectée, la résine vient alors se placer entre la membrane et le béton et permet de re-étanchéfier seulement un compartiment de la galerie.

La difficulté de cette phase du chantier consiste à gérer la co-activité dans une galerie piétonne plutôt étroite. Au fur et à mesure que les sections de la galerie sont étanchéifiées, les équipes de génie civil avancent pour procéder au ferrailage et au bétonnage (figure 15).

L'étanchéité de la galerie dure environ 2 mois.

Une fois la galerie terminée, l'étanchéité et le génie civil de la trémie sont réalisés en remontant, puis le butonnage et les ponts provisoires sont déposés pour permettre la pose de l'escalator (figure 16).

16- Vue intérieure de la galerie terminée.

16- Interior view of the completed gallery.

Place ensuite à l'habillage de la galerie. Parée de façades multicolores, marron d'abord, pour rappeler la terre et le caractère souterrain de la gare ferroviaire de Monaco et bleu, ensuite, pour rappeler le ciel azur de la principauté, cette galerie est aujourd'hui empruntée par plusieurs milliers de passagers et riverains, satisfaits de bénéficier d'un accès plus rapide et sécurisé. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

COÛT DE CETTE NOUVELLE LIAISON PIÉTONNE ENTRE LA GARE ET L'EMBRANCHEMENT DES BOULEVARDS DE SUISSE ET PRINCESSE CHARLOTTE : 10 millions d'euros
NOMBRE DE VOYAGEURS QUI TRANSITENT ANNUELLEMENT PAR LA GARE DE MONACO : 6,7 millions
TERRASSEMENT/CREUSEMENT : 1 500 m³ de calcaire
BÉTON PROJETÉ : 1 300 m²
BÉTON ARMÉ : 500 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Direction des travaux publics de Monaco (État de Monaco)
MAÎTRISE D'ŒUVRE : Tractebel Engineering
ENTREPRISE : Razel-Bec (Geobio en sous-traitance pour l'étanchéité)

ABSTRACT

DIGGING THE SAINTE-DÉVOTE GALLERY IN MONACO

MAXIME STUERGA, RAZEL-BEC - YVES COJEAN, RAZEL-BEC - PIERRE-EMMANUEL CHARVET, RAZEL-BEC - PASCAL RUIZ, GÉOBIO

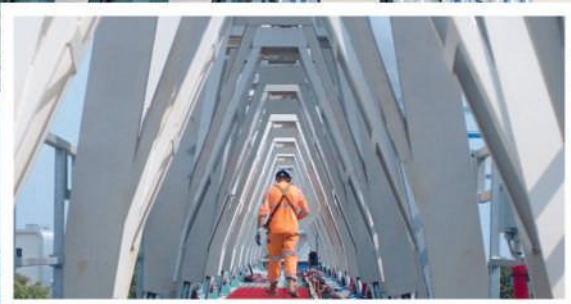
For the Monaco Public Works Department, Razel-Bec constructed a pedestrian gallery 80 metres long to improve the underground access to the Monaco railway station. The structure breaks down into two sections. The first one, 30 metres long, was executed by open-cut excavation. It is now the entrance to the pedestrian gallery. The second section, 50 metres long, was driven underground in separate sections. This work sequencing seemed necessary given the overburden height and subsidence threshold constraints. The specificity and charm of this project lie in the complexity of driving this gallery by weaving in and out of the numerous adjacent structures and underground networks. □

PERFORACIÓN DE LA GALERÍA SAINTE-DÉVOTE EN MÓNACO

MAXIME STUERGA, RAZEL-BEC - YVES COJEAN, RAZEL-BEC - PIERRE-EMMANUEL CHARVET, RAZEL-BEC - PASCAL RUIZ, GÉOBIO

Por encargo de la Dirección de Obras Públicas de Mónaco, Razel-Bec ha realizado una galería peatonal de 80 m de longitud que mejora la comunicación subterránea de la estación de ferrocarriles SNCF de Mónaco. Esta obra está dividida en dos secciones: la primera, de 30 m de longitud y realizada en zanja abierta, es actualmente la entrada de la galería peatonal; la segunda, de 50 m, se perforó bajo tierra en sección dividida. Esta organización por fases resultó imprescindible para superar las restricciones de altura de cobertura y de umbral de asiento. La particularidad y el encanto de esta obra residen en la complejidad de perforar la galería a través de las múltiples construcciones y redes subterráneas vecinas. □

SMA



L'ASSUREUR DEPUIS 160 ANS AU SERVICE DU BTP

Retrouvez tous nos produits d'assurance sur groupe-sma.fr




SMABTP
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

SMA **viE**



Projet Eole, Ile-de-France, France
Réalisation des fondations du lot GC-PUI :
5 puits en parois moulées - Puits Friedland.

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.

Soletanche
Bachy

Construire sur du solide

www.soletanche-bachy.com



SOLETANCHE BACHY