

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

SOLS ET FONDATIONS. PARLONS GEOTECHNIQUE ! MINE DE SALSIGNE. PARI MOULÉE ET BOUCHON INJECTÉ A STRASBOURG. GRANDE FOUILLE URBAINE A MONACO. CALAIS PORT 2015. CONFORTEMENT DES TALUS D'UN SITE INDUSTRIEL DANS LA DROME. VIADUC DE L'AUSTREBERTHE (A150). FRANCHISSEMENT DE LA RIVIERE DES GALETS A LA REUNION. CONGELATION ET JET GROUTING A AULNAY-SOUS-BOIS. FONDATIONS SUR INCLUSIONS RIGIDES A MERIBEL

N°942 JUIN 2018



PAROI MOULÉE ET
BOUCHON INJECTÉ
À STRASBOURG
© KELLER

LES TRAVAUX
FÉDÉRATION
PUBLICS NATIONALE



**VOUS AVEZ
LES DONNÉES.
MAINTENANT VOUS SAVEZ
LES EXPLOITER**

MENSURA GENIUS

Exploitation rapide des nuages de points
(scanners, Drone, Lidar), modélisation du terrain,
calculs de stocks ou des cubatures...



www.geomensura.fr
contact@geomensura.com

Tél. +33 (0)2 40 16 92 60

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
Pierre Aristaghes (Bouygues tp), Erica Calatozzo (Systra), Jean-Bernard Detry (Setec tpi), Philippe Gotteland (Fnfp), Jean-Christophe Goux-Reverchon (Fnfp), Florent Imbert (Razel-Bec), Claude Le Quéré (Egis), Véronique Mauvisseau (Ingerop), Stéphane Monleau (Soletanche Bachy), Jacques Robert (Arcadis), Claude Servant (Eiffage tp), Philippe Vion (Vinci Construction Grands Projets), Nastaran Vivan (Artelia), Michel Morgenthaler (Fnfp)

Ont collaboré à ce numéro
Rédaction
Monique Trancart (actualités notamment),
Marc Montagnon

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

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

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

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

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

RAPPROCHER LES PRATICIENS, LES CHERCHEURS ET LES FORMATEURS : UN ENJEU POUR LA GÉOTECHNIQUE



© DR

L'urbanisation croissante ainsi que le développement des outils numériques confrontent les métiers de la géotechnique à de nouveaux défis.

L'accroissement des populations urbaines conduit à une densification des grandes agglomérations où le sol et le sous-sol deviennent des ressources rares. Dans ces zones de bâti dense et sensible, ce sont les priorités liées à l'aménagement qui gouvernent l'implantation de nouveaux bâtiments et ouvrages et imposent au géotechnicien leurs contraintes. Il doit s'accommoder de terrains et d'un environnement souvent difficiles pour concevoir des fondations, des réseaux de transport, d'assainissement et autres ouvrages souterrains, en préservant l'existant et en minimisant les risques et les coûts.

Comme toutes les professions de la construction, la géotechnique est confrontée à la progression rapide des outils numériques. On peut citer entre autres les systèmes d'information géographique, les logiciels de calcul 3D intégrant des modèles rhéologiques complexes, les techniques d'analyse inverse, les réseaux de neurones. Si cette progression représente une opportunité évidente de progrès, elle ne saurait faire oublier les spécificités de la géotechnique qui traite de processus de construction en interactions étroites avec un matériau naturel multiphasique caractérisé par son histoire, son hétérogénéité, la complexité de son comportement.

De nombreux sondages, observations et essais sont effectués continuellement, notamment dans les

zones urbanisées. Les systèmes d'information géographique, permettant de réunir et synthétiser de manière géolocalisée ces données, constituent potentiellement des outils précieux, à tous les stades d'un projet. Leur développement suppose que soit bien défini le statut de ces données, et qu'elles soient rigoureusement validées et mises en cohérence par des géologues et des géotechniciens, praticiens et chercheurs.

L'ingénieur dispose déjà d'outils puissants de calcul numérique 2D et 3D, intégrant des modèles aptes à décrire les différentes facettes du comportement du sol et permettant de simuler les étapes successives de construction d'un ouvrage en interaction avec son environnement. La puissance de ces outils en plein développement ne devra en aucun cas faire oublier la nécessaire confrontation de ces modèles au comportement des ouvrages sur le terrain, et ce d'autant plus que sont développées de nouvelles techniques de construction pour lesquelles on ne dispose pas de recul suffisant.

La numérisation des techniques d'auscultation permet de collecter, traiter et synthétiser des masses considérables de données sur le comportement des ouvrages géotechniques et leur environnement. Mais, que ce soit en vue d'un retour d'expérience ou pour mettre en œuvre une démarche observationnelle, ces dispositifs ne seront efficaces que s'ils résultent d'une réflexion en amont sur leurs objectifs, afin de définir les observations permettant de réaliser ensuite une analyse critique. Des approches telles que le dispositif CIFRE, associant une entreprise, un laboratoire de recherche et un doctorant, peuvent être très porteuses et fructueuses pour tous les acteurs.

En renforçant la collaboration entre les acteurs du terrain, les chercheurs et les formateurs, la communauté géotechnique pourra répondre plus efficacement aux défis de projets de plus en plus complexes, dans un environnement sensible, en s'appuyant sur les outils numériques nourris par la pratique des géologues et géotechniciens.

RICHARD KASTNER
PROFESSEUR ÉMÉRITE
INSA LYON

SOLS & FON DATIONS

MINÈRE DE SALSIGNE - TRAVAUX DE CONFORTEMENT DU BASSIN DE MONTREDON © GEOS



04 ALBUM

06 ACTUALITÉ



18

**ENTRETIEN AVEC
DOMINIQUE ALLAGNAT
ET LUC BOUTONNIER**

EGIS GÉOTECHNIQUE :
TOUTE L'INGÉNIERIE DU SOL
ET DES MATÉRIAUX

**24 LE PÔLE MATÉRIEL
DE SOLETANCHE BACHY À MONTEREAU**



32

**PARLONS
GÉOTECHNIQUE !**



38

MINE DE SALSIGNE
travaux de confortement
du bassin de Montredon



44

**PAROI MOULÉE ET
BOUCHON INJECTÉ**
pour un grand magasin
à Strasbourg (67)



50

**GRANDE FOUILLE
URBAINE**
Sporting d'hiver
à Monaco



59

CALAIS PORT 2015
dragage, remblaiement
hydraulique et traitements
de terrains



68

**CONFORTEMENT
DES TALUS D'UN
SITE INDUSTRIEL**
à Hauterives dans la Drôme



74

**CONFORTEMENT
D'ANOMALIES KARSTIQUES
PAR JET GROUTING**
viaduc de l'Austreberthe (A150)



81

**NOUVEAU FRANCHISSE-
MENT DE LA RIVIÈRE
DES GALETS**
à La Réunion



86

**CONGÉLATION ET
JET GROUTING DANS LES
SABLES DE BEAUCHAMP**
à Aulnay-sous-Bois



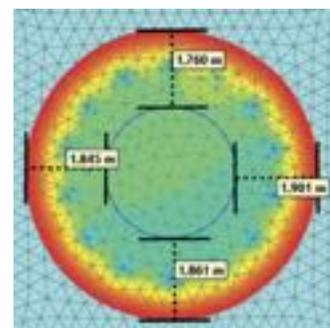
94

MÉRIBEL
fondations d'une résidence
Pierre & Vacances
sur inclusions rigides



GRAND PARIS EXPRESS PUITS D'ESSAI À AULNAY- SOUS-BOIS

SOLETANCHE BACHY France / Sade / Soletanche Bachy Tunnels en groupement ont réalisé un puits d'essai pour le compte de la Société du Grand Paris, son assistant à la maîtrise d'ouvrage Artemis et son maître d'œuvre Egis / Tractebel. Il s'agissait de tester deux techniques d'étanchéification des Sables de Beauchamp sous la nappe : par jet grouting et par congélation. Les avantages et inconvénients de chacune ont été évalués. Les données récoltées ont permis le rétrocalage des modèles numériques. (Voir article page 86).



© GEOTEC

ÉVOLUTIONS TECHNIQUES ET RÉGLEMENTAIRES DE LA PRÉCONTRAINTÉ

La précontrainte pourrait être plus utilisée. Ponts Formation Conseil en a fait le thème d'une journée d'actualité. Au programme : exemples, innovations, bilan économique et technique, réglementation.

« 36 éoliennes sont portées par des tours en béton précontraint de 120 m de haut, dans une ferme pilote au Brésil, depuis 2016⁽¹⁾, a informé Ivica Zivanovic, directeur technique adjoint de Freyssinet lors d'une journée d'actualité de Ponts Formation Conseil⁽²⁾. Nous avons aussi refait les cerces sur plusieurs tronçons d'une conduite d'eau de 500 km en Lybie au début des années 2000. » Ces chantiers témoignent des nouvelles applications de haute technicité de la précontrainte, à côté de nombreux ponts qui, grâce à elle, sont allégés.

« Le bilan quantitatif économique en matériaux - béton et acier - commence à être positif pour la précontrainte par rapport au béton armé à partir d'ouvrages de 7 m de portée, observe Paul Vilar, responsable VSL France chez Bouygues Travaux publics, sur la base d'une liste de réalisations. C'est lié aussi à la baisse des coûts fixes et aux délais plus courts. Dans un hôpital ou un parking, une épaisseur de plancher plus faible diminue les fondations. Les portées plus élevées libèrent l'espace intérieur. » L'enceinte interne de confinement d'une

cuve de réacteur de l'EPR de Flamanville (Manche) devra supporter une pression six fois supérieure à l'atmosphérique.

→ Numéroté les câbles

Pour y résister, trois séries de câbles en précontrainte sont réparties sur l'enveloppe de 68 m de haut. Chaque câble se compose de 54 torons plus 1 de réserve. Les gaines de protection sont métalliques, évasées aux extrémités, avec manchons thermo rétractables, ou en feuillard en horizontal avec manchons vissés. « Nous avons veillé, à réception des pièces, à leur conformité et à leur marquage, a souligné Hervé Blicck, chef de service génie civil des bâtiments chez Edvance. Il faut bien stocker les torons en attente, protéger les têtes de câbles de la corrosion. »

Les innovations en précontrainte portent aussi sur les composants. « Les capots sur les têtes de tirants servent à l'injection, s'ils restent, cela les protège, note Philippe Vion, expert ouvrages d'art chez Vinci Construction Grands Projets. Des capots longs abritent une longueur de brins supplémentaire, utile pour reprendre la tension. Numéroté les câbles per-

mettra de démonter les bons si besoin. Les Japonais utilisent des gaines translucides autour des câbles, ainsi voient-ils la progression du coulis. Il existe du coulis de ciment à base de liant en polymère. Les ouvrages peuvent être en béton fibré ultra performant à la place de l'acier. »

→ Problèmes de corrosion

Les pathologies observées aujourd'hui sur les ouvrages en précontrainte sont liées au vieillissement. « Ce qui pose le plus de problèmes, ce sont les armatures actives victimes de corrosion et les désordres sur les protections (gainnes), » informe Laurent Labourie, expert ouvrages d'art au Cerema de Lille, qui a piloté la refonte du fascicule 32 de l'Itseoa⁽³⁾, guide technique d'application consacré aux ouvrages précontraints. « Nous avons créé un groupe d'échanges spécifique sur les gainnes, ajoute-t-il. Le défaut d'étanchéité, qui se répercute sur celles en PEHD, peut provenir de l'ouvrage d'art, à cause d'un manque d'entretien et de surveillance. Il peut aller jusqu'à la rupture de fils de torons. » ■

⁽¹⁾ Projet soutenu par l'Ademe (PIA), prix innovation Vinci 2017.

⁽²⁾ Les personnes citées sont intervenues à la journée d'actualité "La précontrainte de demain", Ponts Formation Conseil, 13 mars, Paris. Nous n'en publions ici que des extraits.

⁽³⁾ Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art.



Pont de Kayseri (Turquie) où la précontrainte a permis d'optimiser la section et d'adapter la portée (36 m) au milieu urbain.

© FREYSSINET

À CONSULTER

- Eurocode 2, Calcul des structures en béton, NF EN 1992-1-1.
- Pérennité du béton précontraint, Bruno Godart, Ed. Lavoisier, 2015.
- La précontrainte en bâtiment, EGF-BTP, juin 2014 www.egfbtp.com.
- Fascicule 65 du CCTG travaux de génie civil : exécution des ouvrages de génie civil en béton (www.economie.gouv.fr/daj/fascicule-65).
- Itseoa : fascicule 32, ponts en béton précontraint, Cerema 2010.
- Réparation et renforcement des structures par précontrainte additionnelle, guide Stres Fabem 8, 2012.
- Conception des réparations structurales et des renforcements des ouvrages d'art, guide Cerema 2016.
- Etag 13 : guide d'agrément technique européen procédés de précontrainte par post-tension.
- Règles communes produits préfabriqués en béton, norme NF EN 13369 (avril 2018).

EUROCODE 2, FASCICULES 32 ET 65, CERTIFICATION, MARQUAGE

En juin, se termine le travail européen sur la révision de la partie générale de l'Eurocode 2⁽¹⁾, Calcul des structures en béton. « La précontrainte fait l'objet de clauses spécifiques dans les Eurocodes, a précisé Grégory Généreux, responsable études ouvrages d'art au Cerema et secrétaire de la commission de l'Eurocode 2 pour la France⁽²⁾. Elle est aussi mentionnée dans l'Eurocode 0, bases de calcul des structures, comme action permanente. Le dimensionnement de structures précontraintes dépend aussi de l'Eurocode 1, actions sur les structures, et 8, résistance aux séismes. »

En juin 2020, seront terminés la révision de la partie "feu" de l'Eurocode 2 et les nouveaux thèmes. Après enquête, le nou-

veau texte paraîtra en 2023, et les annexes nationales, vers 2024.

→ Marquage CE basé sur certains points

« Les Eurocodes évoluent pour prendre en compte les structures existantes, faciliter leur propre utilisation, prendre en compte les nouveaux matériaux (béton fibré, armatures composites, etc.), développer la robustesse des structures et incorporer les dernières études scientifiques, a ajouté M. Généreux. Des coefficients peuvent changer. »

Produits et services font l'objet de certifications ou de marquages, selon les cas, qui attestent de la constance de leurs performances. Là aussi, des évolutions. Le marquage CE concerne les systèmes ou kits de précontrainte.

Nouveauté : l'entreprise qui veut l'apposer répond à certains points du référentiel (norme ou règlement) sans obligation de répondre à tous. « Les maîtres d'ouvrage doivent vérifier que cela correspond à leurs besoins, » a insisté Jacky Seantier, président de l'Association pour la qualification de la précontrainte et des équipements des ouvrages de bâtiment et de génie civil (ASQPE).

→ Les sous-traitants concernés

Les armatures de précontrainte ne donnent pas lieu à marquage CE mais à une attestation de conformité ASQPE. Les conduits (gainnes-tubes, etc.) dépendent, parfois seulement, de normes. Le coulis de ciment peut être marqué CE s'il fait partie d'un kit, ou être doté d'un agrément technique ou d'une évaluation technique

européens. Sinon, essais spécifiques à prévoir. La mise en œuvre de la précontrainte est certifiée par un référentiel ASQPE qui inclut audits et suivi en entreprise y compris chez les sous-traitants. Face à cette complexité, le fascicule 65 du CCTG travaux de génie civil vient combler les trous, notamment à son chapitre 7 (ex-chapitre 10 de la version antérieure). Mis en conformité avec la norme NF EN 13670/CN, il décrit les contrôles, ce qu'a développé Gilles Givry (Cerema Méditerranée). ■

⁽¹⁾ Norme NF EN 1992-1-1, points 5-10 et 8-10, et section 10 (préfabrication).

⁽²⁾ Les personnes citées sont intervenues à la journée d'actualité "La précontrainte de demain", Ponts Formation Conseil, 13 mars, Paris. Nous n'en publions ici que des extraits.



SEFI-INTRAFOR

NOS FONDATIONS AUJOURD'HUI, CE SONT EUX

**NOS FONDATIONS
DE DEMAIN,
C'EST PEUT-ÊTRE
VOUS !**

REJOIGNEZ-NOUS POUR LE GRAND PARIS

[FONDATIONS.FAYAT.COM/CARRIERES](https://fondations.fayat.com/cARRIERES)



ÉNERGIES RENOUVELABLES : PLUS D'EXPORT

Structurer la filière énergies renouvelables à l'export est une priorité industrielle (ministères de l'Économie, de la Transition écologique et solidaire, de l'Europe et des Affaires étrangères, et Syndicat des énergies renouvelables). Trois clubs internationaux sont déjà créés à Nairobi (Kenya), Abu-Dhabi (Émirats arabes unis) et Jakarta (Indonésie) couvrant des régions où des entreprises françaises exercent déjà.

La commission internationale du Ser s'est réunie pour la première fois en mars. Elle comporte un groupe sur le solaire et un sur les énergies marines renouvelables et l'éolien, et bientôt peut-être un sur la petite et moyenne hydroélectricité.

Le Ser recense avec l'Ademe les installations d'ENR françaises dans le monde (cartographie).

www.savoirfairefrancais-enr.fr

DÉVIATION DU TEIL (ARDÈCHE)

La déviation du Teil (Ardèche), approuvée par le Conseil d'orientation des infrastructures, a obtenu 4,25 millions d'euros de l'État dès 2018.

L'opération, inscrite pour 63,8 millions d'euros au contrat de plan État-région Auvergne-Rhône-Alpes, reçoit 10,9 millions du département. Les travaux sur 4,5 km vont donc commencer.

Le Teil se situe de l'autre côté du Rhône en face de Montélimar (Drôme) sur la RN102, lien entre la RN7 et la RN88 au nord-ouest du département vers Le-Puy-en-Velay (Puy-de-Dôme). Son évitement doit soulager la commune de 6 000 véhicules/jour et fluidifier le trafic.



© LE TEIL

La commune supporte 6 000 véhicules par jour.

GESTION DE L'EAU : DÉVELOPPER LES SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE



© GUILLAUME PADOIGNON/AGENCE FRANÇAISE POUR LA BIODIVERSITÉ

Les roseaux nettoient l'eau. Ici, roselière à Tonnay-Charente (Charente).

□ n matière d'eau, d'assainissement □ et de lutte contre les inondations, les solutions fondées sur la nature (SFN) ont toute leur place, selon les Nations Unies (Onu) qui y consacrent leur rapport annuel sur la mise en valeur des ressources en eau.

Les SFN ont le mérite de répondre à plusieurs problèmes en même temps.

Par exemple, la rétention d'eau dans un sol perméable au moment des pluies génère une meilleure infiltration et favorise le rechargement des nappes, au lieu que la pluie ruisselle, ravine et entraîne des crues. Les eaux qui percolent subsistent déjà une certaine filtration.

Selon le rapport de l'Onu-eau, ces solutions ont leur place à côté des équipements industriels, stations d'épuration des eaux usées et de traitement de l'eau potable, baptisés "Infrastructures grises" et qui, pour le moment, sont en position dominante.

→ 1 % des investissements

Les infrastructures grises existantes vieillissent et sont insuffisantes à l'échelle de la population mondiale. Les SFN, de leur côté, ne représentent que 1 % de l'investissement dans la gestion des ressources en eau.

Environ 3,6 milliards de personnes vivent dans des zones à pénurie d'eau potentielle au moins un mois par an. En 2050, ce pourrait être entre 4,8 et 5,7 milliards, selon l'Onu-eau. De plus, la pollution de l'eau s'est aggravée.

Le manque d'eau dégrade les écosystèmes qui, à leur tour, peuvent accroître l'évaporation, la réduction des stocks souterrains et le ruissellement. Les zones humides doivent être préservées.

Elles jouent le rôle d'éponges et donc de stockage d'eau en surface, de filtres y compris pour des polluants non détectés en stations d'épuration, avant que l'eau n'aille s'accumuler dans les nappes.

La végétation - à condition de bien choisir les variétés - contribue à réduire les sécheresses. Les précipitations sont alimentées jusqu'à 40 % par l'évaporation des plantes malgré qu'elles consomment elles-mêmes de l'eau.

→ Pérou chef de file

Les solutions fondées sur la nature peuvent se développer à condition que les différentes institutions coopèrent, que des recherches rigoureuses soient menées et que les cadres juridique et réglementaire y soient adaptés. Le Pérou, qui a contribué à ce rapport, s'est doté d'une loi en 2014 sur les mécanismes de compensation (financière) pour les services écosystémiques avec obligation d'investir dans les infrastructures vertes.

Sources :

<http://unesdoc.unesco.org/images/0026/002614/261466f.pdf> ou www.unwater.org rubrique publication ; *Le Monde* 22 mars 2018, débats et analyses, article de Martine Valo, page 21. ■

REVITALISER LES CENTRES DES VILLES MOYENNES

Libourne (Gironde, 25 000 habts) a commencé la revitalisation de son centre-ville en 2015 et l'a planifiée jusqu'en 2025. C'est un exemple des 222 villes moyennes sélectionnées par le ministère de la Cohésion des territoires pour bénéficier d'une aide.

L'État estime que « Un cœur de ville moyenne qui se porte bien, c'est l'ensemble du bassin de vie y compris rural, qui en bénéficie ». Pour cela, il faut améliorer les conditions de vie et conforter le pouvoir de ces collectivités à développer un territoire.

Plus de 5 milliards d'euros vont être mobilisés sur cinq ans dont 1 milliard de la Caisse des dépôts, 1,5 d'Action Logement, 1,2 de l'Anah et 700 millions de prêts. Sont impliqués dans ce programme "Action cœur de ville" la mairie,

les partenaires locaux et régionaux, les préfets de département et de région, et le Commissariat général à l'égalité des territoires.

→ Centre-ville élargi

Libourne, situé à 30 km au nord-est de Bordeaux, veut valoriser ses 200 commerces et services, son passé historique (bastide fortifiée), ses ports et berges (4,2 km) sur l'Isle et sur la Dordogne (croisières, plaisance, promenade) et restaurer l'habitat. Elle élargit son centre-ville en incluant les quais, les deux casernes XVIII^e et XIX^e siècles et la friche près de la gare. Piétons et cyclistes sont privilégiés.

→ Moderniser les réseaux

"Libourne 2025" a été estimé à 47 millions d'euros (2016) dont 35 pour la modernisation des réseaux.



© FAYAT

Construction de gradins sur l'esplanade de la République, ancien parking, à Libourne (Gironde) au bord de la Dordogne.

Pour en savoir plus :

http://www.cohesion-territoires.gouv.fr/IMG/pdf/2018.03.27_liste_villes-retenues.pdf. ■

BIM : L'INTEROPÉRABILITÉ DANS LE RAIL



Chantier Egis sur la LGV SEA : pose de longs rails soudés en Gironde (2015).

© EGIS/JEAN-DENIS CHIZAT

L'IFC Rail prend forme. Le groupe international qui planche sur l'interopérabilité des données utilisées par les acteurs d'un projet d'infrastructure ferrée en Bim, s'est réuni pour la 1^{re} fois en janvier en Chine, puis une deuxième fois au sommet technique de Building Smart International (BSI), lors de Bim World fin mars (Grande arche, La Défense). Prochaine rencontre à Singapour, cet été. Y participent des réseaux ferrés : China Rail Bim Alliance (CRBA), SNCF Réseau, Schweizerische Bundesbahnen (Suisse), OBB Infrastruktur (Autriche), Trafikverket (Suède), Finland Transport Authority (Finlande), Rete ferroviaria italiana (Italie, depuis mars). L'Allemagne y est représentée par Deutsche Bahn mais ne contribue plus au financement. Ces acteurs avaient signé un accord en avril 2017 en partenariat avec le projet Min^d(1) et BSI.

→ La Chine, motrice du projet

But du groupe : contribuer à la future IFC 5 qui couvrira toutes les infrastructures - rail, route, ponts et tunnels - et inclura les spécificités du rail : voie, fourniture d'énergie, contrôle des systèmes par télécommunications, signalisation à

côté des domaines communs comme la géologie, la protection de l'environnement, les ouvrages et réseaux, le génie civil. La norme Iso correspondante devrait sortir en 2020-2021.

La Chine est motrice dans cette évolution. « Elle dispose de 127 000 km de voies ferrées dont 25 000 à grande vitesse, a informé Suo Ning de CRBA, présent à Bim World. En 2025, ce sera 175 000 km dont 38 000 en LGV. Nous avons 16 projets en Bim. » L'entreprise de construction China Communication

Construction Company est partie prenante dans BSI.

→ Min^d4Rail en France

« Faire partie d'IFC Rail est une opportunité pour les Européens, » estime Christophe Castaing d'Egis, chef de projet Min^d(2), qui a exposé le projet à Bim World, le 29 mars. En France, relais est pris par Min^d4Rail depuis mai 2017. « Nous avons des infrastructures avec des éléments mobiles dessus, les trains, et avons besoin d'avoir les deux ensemble dans le même outil, indique Patrick Offroy de SNCF Réseau Ingénierie et projets, membre de Minnd4Rail, présent à Bim World. Le point de vue de l'itinéraire est différent de celui de l'entretien des voies. Nous voulons rapprocher les standards de conception de ceux d'exploitation, d'ici à cinq ans. »

→ Convention

De plus, la prise en compte des infrastructures dans le soutien du gouvernement au Bim, à côté du bâtiment, a été confortée par la signature d'une convention entre Building Smart France-Media-construct et Min^d, toujours sur Bim World.

Rappelons que Min^d est un projet dont les livrables assurent la pérennité. Il est financé par la cotisation de ses 69 membres (avril), des revenus exceptionnels comme l'aide de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs dans la préparation de l'IFC tunnels et sous-sols, et des fonds de l'Agence nationale de la recherche.

Pour en savoir plus :

www.minnd.fr, rubrique activités ■

(1) Cf. Travaux n°914, avril-mai 2015, page 8 ; spéciaux Bim : n°917, septembre 2015, pp 14-18, et n°934, juillet-août 2017, pp 22-29.

(2) Christophe Castaing préside le groupe infrastructures de BSI et est membre du comité qui finalise la norme Iso.

OBJECTIFS BIM 2022

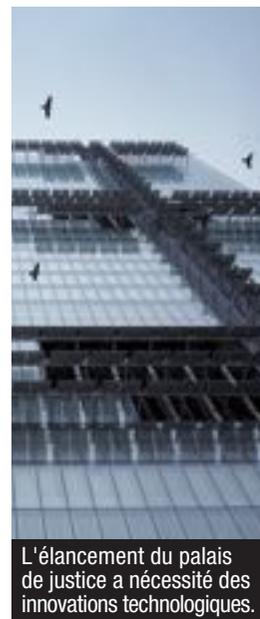
Au salon Bim World, fin mars, plusieurs maîtres d'ouvrage publics ont signé la charte "Objectifs Bim 2022" aux côtés de Julien Denormandie, secrétaire d'État auprès du ministre de la Cohésion des territoires : Société du Grand Paris, RATP, SNCF, Établissement public d'aménagement Paris-Saclay et Grand Paris Aménagement (ex-Agence foncière et technique de la région parisienne, État).

Objectif : généraliser la maquette numérique en 2022. Dans ce but, l'État a élaboré avec la filière du bâtiment une plate-forme collaborative Kroqi destinée à faciliter l'accès des artisans et des petites entreprises aux marchés en Bim.

GRAND PRIX DE L'INGÉNIERIE À SETEC

Setec a remporté le grand prix national de l'ingénierie 2017 aux côtés de Renzo Piano Building Workshop pour le tribunal de Paris dans le 17^e arrondissement, ouvert en avril. Rappelons que ce prix met à l'honneur l'innovation technologique.

Cette précision manquait dans l'actualité de la revue Travaux n°939, janvier/février 2018 (page 7). Nous prions Setec et nos lecteurs de nous en excuser.



L'élancement du palais de justice a nécessité des innovations technologiques.

© MAXIME LAURENT/FPBW

IFC : STANDARD DE COMMUNICATION ENTRE LOGICIELS BIM

Dans un projet en Bim, les partenaires utilisent des applications différentes mais basées sur des formats d'échange communs, les Industry Foundation Classes (IFC), de façon à pouvoir travailler ensemble sur une même maquette numérique.

C'est la question de l'interopérabilité des logiciels qui a motivé la création de Building Smart International en 1995.

La norme IFC (Iso 16739) en est à sa 4^e version (IFC 4). La version 5 est attendue pour 2020-2021.

AMO TRANSPORTS

Systra sera assistant à maîtrise d'ouvrage (AMO) de Marseille pour le téléphérique entre le Vieux port et la basilique Notre-Dame-de-la-Garde*.

Le groupement dont il est mandataire comprend Tim, spécialiste du transport par câble, Transitec Ingénieurs Conseils (études de trafic) et MCL (avocats).

Le téléphérique devrait être mis en service en 2021.

Par ailleurs, le groupe est chargé avec Arcadis de l'AMO systèmes de la future 3^e ligne du métro de l'agglomération de Toulouse, par Tisséo Collectivités et Ingénierie.

La ligne court sur 27 km entre Colomiers (ouest) et Labège (sud).

* Cf. Travaux n°901, novembre 2013, page 14.

QUALIFICATION GABIONS

Quatre entreprises ont obtenu la qualification gabions délivrée par l'Asqual : ATP Environnement, Inexence, Maccaferri et Philip Frères. Cette qualification évalue, selon un référentiel, les moyens techniques et humains, les compétences et l'expérience de l'entreprise. Elle concerne les ouvrages en gabions double torsion ou électro soudés, assemblés et remplis sur chantier.



Chantier à Saint-Étienne (Loire).

NORME GÉOTEXTILES

La nouvelle version de la norme "Utilisation des géotextiles et produits apparentés, systèmes de drainage et de filtration, dimensionnement et éléments de conception" (NF G38-061) est parue, annonce le Comité français des géosynthétiques qui y a contribué. Ont été intégrées au texte de 1993 les normes d'essais actuelles.

www.cfg.asso.fr, newsletter 1^{er} trimestre 2018.

L'INJECTION DE GAZ RENOUVELABLE EN FORTE HAUSSE



© PASCAL LEOPOLD

Production de biométhane à partir de déchets agricoles à Quimper (Finistère, 2017) pour injection.

L'injection de gaz d'origine renouvelable dans le réseau de gaz traditionnel avance à pas de géants. Autorisé depuis 2011, elle a décollé en 2017 avec un volume injecté en hausse de 89%, soit 406 GWh contre 215 en 2016, grâce à 18 nouveaux sites, selon le 3^e panorama du gaz renouvelable 2017, paru en avril⁽¹⁾. Dorénavant, les 44 unités en service

sont capables de produire annuellement 682 GWh à fin 2017 contre 410 à fin 2016. L'écart entre injection réelle et capacité d'injection s'explique par le raccordement en cours d'année.

→ **Objectif atteint en avance**

Par ailleurs, 120 projets sont inscrits dans le registre de gestion des capacités. Ainsi, en données cumulées à fin dé-

cembre 2017, la capacité maximale atteint-elle 8 TWh (milliards de kWh). L'objectif de la Programmation pluriannuelle de l'énergie pour 2023 est donc déjà atteint.

Le biogaz est le plus souvent utilisé pour produire de la chaleur ou de l'électricité sur place. La partie injectée est minoritaire et elle suppose d'épurer le biogaz pour obtenir du biométhane de qualité équivalente à celle du gaz naturel.

→ **Stockable en souterrain**

Depuis 2017, les stockeurs de gaz - Storongy et Teréga (ex-TIGF) - ont autorisé, après études techniques, que du biométhane soit stocké dans leurs installations souterraines. Ainsi production et injection dans le réseau peuvent-elles être dissociées.

Rappelons que le gaz d'origine renouvelable contribue à l'indépendance énergétique de la France. De plus, l'analyse du cycle de vie révèle une économie de 218 kg d'émission de CO₂ par mégawatt-heure de biométhane produit, injecté et consommé en chaleur. L'économie est de 80% quand il remplace le diesel.

Pour en savoir plus :

En savoir plus sur www.enr.fr, rubrique publications. ■

⁽¹⁾ Ces chiffres émanent d'un groupe réunissant GRDF, GRTgaz, SPEGNN, Syndicat des énergies renouvelables, Teréga (ex-TIGF). Cf. Travaux n°924, juin 2016, page 13.

15 PROPOSITIONS EN FAVEUR DE LA MÉTHANISATION

Le développement de la méthanisation issue de la fermentation de déchets de tout type, est inscrit au Plan de libération des énergies renouvelables du gouvernement. Quinze conclusions d'un groupe de travail réuni par Sébastien Lecornu, secrétaire d'État auprès du ministre de la Transition écologique et solidaire, ont été publiées le 26 mars.

→ **Mélanger les déchets**

Le groupe de travail rassemblait des représentants de fédérations professionnelles dont les agricoles, de réseaux et des fournisseurs de gaz, de banques, administrations, collectivités territoriales, des parlementaires et une association environnementale.

Parmi ces propositions, citons l'agrandissement des sites existants, celui des méthaniseurs, la possibilité de mélanger les déchets-ressources, une plus grande exploitation des boues de station d'épuration, un tarif spécial de rachat du gaz pour les installations moyennes (500 kW-1 MW), l'utilisation du bioGNV dans les engins agricoles, la formation dans la filière et la recherche de bonnes pratiques, la simplification des procédures d'installations classées pour la protection de l'environnement.

→ **Un droit à l'injection**

Enfin, le droit à l'injection s'imposerait au gestionnaire du réseau proche d'une production de biométhane. ■



© BENOÎT BOULLEU/VIENNE CONDRIEU AGGLOMÉRATION

La station d'épuration Vienne Sud de Vienne Condrieu agglomération à Reventin-Vaugris (Isère) injecte du biométhane dans le réseau.

PASSERELLE MÉTALLIQUE : TRAIT D'UNION ENTRE CENTRE ET GARE

La passerelle entre le centre-ville de Saint-Omer (Pas-de-Calais) et la gare enjambe d'un trait le canal de Neuffossé. Depuis fin 2017, elle s'emprunte à pied ou en vélo. La Communauté d'agglomération de Saint-Omer a confié sa conception à l'agence d'architectes DWD. Placée avec un léger biais, ses culées sont aussi proches que possible du canal, d'où une seule portée de 50 m, une longueur économe en matériaux et en budget (1,3 million d'euros HT, études et travaux).

→ Fondations profondes

La passerelle est précédée d'une rampe PMR et vélos, et d'un escalier côté centre, et prolongée d'un accès de plain-pied en direction de la gare.

Les fondations sont profondes, en micro-pieux type III ancrés dans les argiles et la craie. Les appareils d'appui sont équipés de taquets limiteurs de course (sismicité 2).

→ Poutre isostatique

La passerelle se situe au-dessus du gabarit fluvial, soit 3,70 m au-dessus des plus hautes eaux. Les architectes - Daniel Vaniche, Bertrand Potel et Nicolas Didier - ont écarté le choix d'un arc qui



La passerelle relie la gare au centre-ville de Saint-Omer (Pas-de-Calais).

« aurait généré d'importantes réactions horizontales dans les fondations. Les structures développant leur inertie par le haut (arc, bow-string, treillis, haubans) nous ont semblé trop prégnantes dans ce site hautement patrimonial et sans doute disproportionnées au vu de la portée relativement modeste de l'ouvrage. »

Le choix s'est donc porté sur une poutre simple isostatique dont l'inertie se développe autant que possible au-dessus du tablier. Avantages : insensibilité de la

structure aux tassements d'appuis, facilité de mise en œuvre voire de remplacement par levage, maintenance simple.

→ Garde-corps cachés par les poutres

Le tablier se compose de poutres latérales avec un platelage inférieur très fin, en tôle raidie recouverte d'enrobé appuyée sur des entretoises métalliques. Les garde-corps se fondent progressivement dans la hauteur des poutres maîtresses. ■

RECYCLER UN ENTREPÔT



De l'ancien entrepôt seront tirées 9 500 t de granulats réutilisés sur place.

Environ 9500 tonnes de granulats 6/20 devraient pouvoir être tirés des décombres de La Maillerie, ancienne filature reconverte en entrepôt pour les 3 Suisses, à cheval sur les communes de Croix et de Villeneuve-d'Asq (Nord), au nord de Lille.

Délaissés en 2013 au profit d'un nouveau site à Hem (Nord), les 33000 m² sur 11 hectares ont été démolis avec la volonté de récupérer le maximum de matériaux (chantier Zéro déchet). Un seul bâtiment est conservé notamment à cause de ses murs très épais.

Seront mis de côté en vue d'une réutilisation : 30 000 tonnes de béton, 10 000 m² de parquet en chêne, 4 500 luminaires et des kilomètres de rayonnage.

→ Plusieurs débouchés locaux

Les lames de parquets seront découpées en fines couches, collées sur une âme en pin et réutilisées sur place. Poutres, racks et luminaires alimenteront un dépôt-vente de matériaux de second-œuvre. Enfin, d'autres déchets serviront à fabriquer des objets, des garde-corps, des étagères employés sur le futur site.

Bouygues Bâtiment Nord-Est a pris en main le projet d'économie circulaire. Il est prévu que le futur quartier qui comprend des logements, des bureaux, une école, des commerces, se termine en 2023-2024.

Le projet est co-développé par Nodi (location immobilière) et Linkcity Nord-Est (filiale développement immobilier de Bouygues Bâtiment Nord-Est). ■

MARCHÉS GRAND PARIS EXPRESS

Eiffage Génie Civil est mandataire du groupement qui a remporté les marchés des lignes 14 nord, 16 et 17 sud du Grand Paris Express, avec Razel Bec, Eiffage Rail, TSO et TSO Caténaires (co-traitants). Montant : 1,84 milliard d'euros HT. De son côté, Vinci Construction prend la tête du groupement chargé de travaux sur la ligne 14 sud, soit un tunnel de 4,6 km, la gare du Kremlin-Bicêtre-Hôpital et cinq puits de ventilation et de secours.

Ce groupement rassemble Dodin Campenon Bernard, mandataire, avec Vinci Construction France, Vinci Construction Grands Projets et Botte Fondations. Spie Batignolles y est associé. Montant du contrat : 400 millions d'euros HT. Durée : cinq ans.

PLUS DE CIMENTS VICAT EN INDE

Vicat a signé des accords avec les gouvernements des États du Karnataka et d'Andhra Pradesh, en Inde, afin d'accroître sa présence dans le pays.

Le groupe, à travers sa filiale Kalburgi Cement, va doubler la capacité de l'usine dans le premier et construire un centre de broyage dans le second.

ACQUISITION EN SUISSE

Alpiq, producteur suisse d'électricité, se sépare de son activité Engineering Services (multi-techniques pour le bâtiment et les infrastructures d'énergie) au profit de Bouygues Construction et de Colas Rail.

La transaction qui pourrait aboutir d'ici la fin de l'année, doit obtenir l'aval des autorités de la concurrence européennes.

VAL-DE-MARNE : VOIE VERTE DE 20 KM

Une coulée verte de 20 km est en cours d'aménagement dans le Val-de-Marne, entre Créteil et Santeny. Elle s'appelle Tégéval car elle compense les nuisances et la perte d'espaces naturels dues au croisement de lignes TGV dans cette zone. La voie, réservée aux piétons, handicapés et cyclistes, coûte 60 millions d'euros TTC (région 60 %, département 40 %).

Démarrée en 2013, elle offre 4,5 km aménagés et 7 accessibles. Elle sera terminée en 2028. Egiom a réalisé le revêtement en béton stabilisé sur 1,2 km à Valenton.



Tronçon de 1,2 km à Valenton (Val-de-Marne).

CIMENTS SPÉCIAUX POUR DEUX PORTS

La première étape de la construction du port de Nador West Med au Maroc comprend des brise-lames, trois terminaux de pétrole en vrac et un terminal à conteneurs (2020). Lafarge Holcim fournit les ciments spéciaux des caissons préfabriqués, des brise-lames et des quais. En Équateur, il intervient dans un port en eaux profondes, dans le delta du fleuve Guayas, près de Guayaquil. Holcim Equateur livre du ciment à haute résistance à la compression et au sulfate pour les piles et quais préfabriqués pour CHEC, ingénierie portuaire de China Communication Construction Company (1^{re} phase du projet achevée en 2019).

INDURA CONTRIBUE AU LANCEMENT DE 4 PLATES-FORMES D'INNOVATION



Port de Salaise-sur-Sanne (Isère), bordé par la zone d'activités Inspira où sera expérimenté le réemploi sur place de matériaux de chantier.

Indura a annoncé en mars sa participation au montage de 4 plates-formes d'innovation. Le cluster, spécialisé dans les infrastructures de transport et de l'énergie, rapproche les entreprises des organismes techniques et scientifiques, ainsi que des maîtres d'ouvrage. Il rassemble 102 acteurs dont 76 entreprises. Les plates-formes sont des réseaux transversaux mettant en commun les ressources techniques et humaines des partenaires. Elles sont mises au service des entreprises afin qu'elles développent de nouveaux produits et mènent des expérimentations.

Les 4 plates-formes concrétisent les dossiers retenus dans l'appel d'offres Irice de la Région Auvergne-Rhône-Alpes auquel ont répondu organismes et entreprises.

→ Risques gravitaires

La première est lancée fin 2018. I-Mast est consacrée aux matériaux pour les infrastructures et le génie civil et vise la durabilité des ouvrages : bétons, produits de récupération, matériaux poreux et respirant, fibres composites et textiles, etc. Sont également impliqués les pôles de compétitivité Techtera, Plastipolis et trois laboratoires lyonnais.

I-Risk devrait aussi démarrer d'ici à la fin de l'année. Ce centre de compétences et de performance sur les risques gravitaires offrira des lieux d'expérimentation aux entreprises du secteur. Indura a initié le projet porté par la Communauté Université Grenoble Alpes et coordonné par l'Université Savoie Mont-Blanc, avec 17 partenaires. Le cluster a embauché une chargée de mission dédiée, Margot Bernard.

→ Zone d'activités exemplaire

Demaart est spécialisée dans les éco-matériaux. Elle devrait se concrétiser en 2019 grâce à la collaboration d'Indura avec Inspira et Provaldemse-Insavalor. Inspira est une zone d'activités qui se veut exemplaire en matière de développement durable. Elle est développée par le Syndicat mixte de la zone industrialoportuaire de Salaise-Sablons (Isère), le 2^e site portuaire de la vallée du Rhône. Indura est partenaire depuis 2016. Provaldemse est une plate-forme d'éco-technologies en dépollution et valorisation matière et énergie.

Enfin, Indura contribue à Acmutep, friche militaire des Fromentaux à Leyment (Ain), chantier-laboratoire de démolition mené par IDfriches, la Communauté de communes de la plaine de l'Ain et le groupe Brunet⁽¹⁾. Fin de la mutation en 2020.

Pour en savoir plus :

www.indura.fr ;
www.espace-inspira.fr ■

⁽¹⁾ Voir *Travaux* n°939, janvier-février 2018, page 11.

UN POTEAU ABSORBE LES VIBRATIONS

La réalisation du Grand Paris Express est l'occasion d'innover. Les immeubles construits à proximité des voies ferrées, notamment près des nouvelles gares, doivent être protégés des vibrations transmises par les trains à travers le sol.

Ingérop a conçu un poteau-ressort pour ces situations. Il est constitué de deux structures porteuses, métalliques, l'une fixée au sol, l'autre au plafond. Elles coulissent l'une dans l'autre jointes par des ressorts, ce qui permet d'encaisser

les vibrations. Le système s'installe sur tous les poteaux d'un niveau, au rez-de-chaussée par exemple.

Cette solution a fait gagner 4000 m² de surface au promoteur d'un bâtiment situé au-dessus d'une gare.

→ Gagner un étage

L'alternative aurait été de prévoir un matelas de boîtes à ressorts sous les poteaux porteurs. L'encombrement de 80 cm de haut, en incluant le génie civil, aurait fait perdre un étage, la hauteur totale du bâti étant limitée. ■



Maquette du principe : la structure jaune et la verte en métal sont porteuses et reliées par des ressorts.

GÉOTHERMIE 2^e GÉNÉRATION



© DALKIA

La chaleur est puisée à l'horizontale à 1 600 m de profondeur.

La ville de Cachan (Val-de-Marne) a décidé de moderniser son réseau de chaleur, en particulier la source géothermique. Ces deux doublets existants - puisage dans l'aquifère et puits de réinjection après prélèvement de la chaleur - remontent à 1984. Elle les remplace par un seul doublet plus performant, à proximité.

Le nouveau doublet a été foré de novembre 2017 à mars. Au lieu d'aller puiser l'eau à 69°C à la verticale dans un aquifère, le forage descend vers la nappe à

1 600 m de profondeur puis se poursuit à un angle de 87° sur 1 000 m environ. Grâce à cette configuration dite sub-horizontale, le débit utile monte à 450-500 m³/h contre 300 m³/h pour un puits vertical ou oblique.

Cette façon de faire est courante dans le monde du pétrole mais n'a jamais été employée en géothermie.

→ Tubes en composite

L'idée vient de la maîtrise d'œuvre GPC Instrumentation Process⁽¹⁾. Le drain introduit dans le forage passe d'un aquifère

à l'autre selon les strates du sous-sol. Les tubes sont en composite de façon à résister à la corrosion de l'eau.

La nouvelle ressource géothermique, l'abandon des anciens puits, le raccordement au réseau et son agrandissement de 11 à 15 km, coûtent 25,4 millions d'euros. L'opération bénéficie d'une subvention de 6,1 millions d'euros (Ademe et Région). Le surcoût par rapport à l'ancienne technique est de l'ordre de 20% mais la récupération de chaleur est plus élevée.

→ Mise en service à l'automne

La ville de Cachan a confié l'installation en délégation de service public au groupement Socachal (gestionnaire) avec Dalkia (exploitant technique, maître d'ouvrage de ce projet).

La nouvelle centrale sera mise en service à l'automne. Elle alimente un réseau qui desservira 7 400 équivalents-logements au lieu de 7 000 précédemment. ■

⁽¹⁾ Cf. Pierre Ungemach, 3^e Geothermal Reservoir Engineering Workshop, Université de Stanford, février 2011.

RÉGÉNÉRER LES BUSES MÉTALLIQUES

Freyssinet et Lafarge Holcim ont développé un béton projeté fibré à ultra hautes performances pour régénérer et renforcer les buses métalliques existantes. Épanché sur 6 cm d'épaisseur en moyenne, le Ductal projeté sur le métal après décapage, conserve davantage le diamètre intérieur de la buse qu'un béton traditionnel (15-30 cm). Il est plus rapide à mettre en œuvre. Sa durabilité et sa résistance sont 100 fois plus élevées, selon ses concepteurs.



© LAFARGE HOLCIM

Le béton projeté BFUP occupe peu d'espace dans les buses.

CRÉATEURS DE SOLUTIONS

- PAROIS MOULÉES / SOUTÈNEMENTS
- PIeux DE FONDATIONS / MICROPIeux
- CLOUS / TIRANTS D'ANCRAGE
- REPRISE EN SOUS-CŒUVRE
- COMBLEMENT DE CARRIÈRES
- TRAITEMENT DE TERRAINS
- SONDAGES DE RECONNAISSANCE
- JET GROUTING
- CONGÉLATION DE SOL
- FONDATIONS DE PYLONES / ÉOLIENNES

BOTTE Fondations
ZAC du Petit Leroy - 5 rue Ernest Flammarion
94659 RUNGIS Cedex
Tél. : 01 49 61 43 00
bottefondations@vinci-construction.fr // www.botte-fondations.fr

AGENDA

ÉVÉNEMENTS

• 26 AU 29 AOÛT

Conception pour la durabilité des infrastructures

Lieu : Delft (Pays-Bas)
www.eventilo.com

• 28 ET 29 AOÛT

Le béton en génie civil

Lieu : Prague (République tchèque)
www.phdsymp2018.eu

• 28 AU 31 AOÛT

Innovations technologiques dans l'ingénierie du nucléaire civil

Lieu : Paris Saclay (Essonne)
www.sfen.org

• 5 AU 7 SEPTEMBRE

4^e conférence internationale Structures en génie civil et matériaux de construction durables

Lieu : Yogyakarta (Indonésie)
http://conference.tsipil.ugm.ac.id/scescm/

• 16 AU 21 SEPTEMBRE

Conférence internationale sur les géosynthétiques

Lieu : Séoul (Corée du Sud)
http://www.11icg-seoul.org

• 17 AU 21 SEPTEMBRE

Systèmes de transport intelligent

Lieu : Copenhague (Danemark)
http://itsworldcongress.com

• 19 AU 21 SEPTEMBRE

40^e symposium International Association for Bridge and Structural Engineering

Lieu : Nantes (France)
www.iabse.org

• 25 ET 26 SEPTEMBRE

8^e assises Port du Futur

Lieu : Paris (FNTP)
www.portdufutur.fr

• 7 AU 11 OCTOBRE

Congrès de la Fédération internationale du béton

Lieu : Melbourne (Australie)
http://fibcongress2018.com

• 10 ET 11 OCTOBRE

4^e congrès Idrim

Lieu : Lille
www.idrim.com

• 16 AU 19 OCTOBRE

67^e congrès de l'industrie minérale

Lieu : Clermont-Ferrand
www.lasim.org

• 28 AU 31 OCTOBRE

Symposium Cycle de vie en génie civil

Lieu : Gand (Belgique)
www.ialcce2018.org

• 7 AU 10 NOVEMBRE

BFUP matériaux et structures

Lieu : Fuzhou (Chine)
http://2018uhpc.fzu.edu.cn/conf/

• 13 AU 15 NOVEMBRE

Rock Slope Stability (symposium C2rop)

Lieu : Chambéry (Savoie)
www.c2rop.fr/symposium-rss-2018/

• 20 AU 22 NOVEMBRE

Salon des maires et des collectivités locales

Lieu : Paris (Porte de Versailles)
www.salondesmaires.com

• 27 AU 30 NOVEMBRE

Pollutec

Lieu : Lyon
www.pollutec.com

FORMATIONS

• 13 ET 14 SEPTEMBRE

Fondamentaux du Bim

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

• 17 AU 19 SEPTEMBRE

Piloter une étude d'impact

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

• 2 ET 3 OCTOBRE

Maintenance et rénovation des infrastructures de tramway

Lieu : Nantes (Loire-Atlantique)
http://formation-continue.enpc.fr

• 3 AU 5 OCTOBRE

Fondamentaux de la technique ferroviaire

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

• 8 ET 9 OCTOBRE

Méthodes rationnelles de dimensionnement et renforcement des chaussées aéronautiques

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

• 22 OCTOBRE

Autorisation environnementale unique : études, procédure, pilotage

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

• 24 AU 26 OCTOBRE

Procédures pour les projets d'infrastructures et leur planning

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

• 15 ET 16 NOVEMBRE

Management de projet en Bim

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

NOMINATIONS

ADEME

Arnaud Leroy succède à Bruno Léchevin comme président de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie.

ANRU

Caroline Bollini est nommée directrice de l'administration, des finances et des systèmes d'information à l'Agence nationale pour la rénovation urbaine. Elle remplace Sarah Lacoche devenue directrice générale adjointe. Elle est remplacée par Céline Gipoulon à la direction de la stratégie et de l'accompagnement des acteurs. À la direction opérationnelle, Benoît Zeller succède à Thierry Asselin qui a rejoint l'Union sociale pour l'habitat en tant que directeur des politiques urbaines et sociales.

CDC BIODIVERSITÉ :

Marc Abadie a été nommé président de la filiale biodiversité du groupe Caisse des dépôts. Il remplace Laurent Piemont, devenu directeur adjoint de la stratégie de la Caisse des dépôts et consignations.

CEREMA

Pascal Berteaud succède à Bernard Larrourou à la direction générale du Centre d'expertise pour les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement.

CPCU

M^{me} Camille Bonenfant-Jeanney est la nouvelle directrice générale de la Compagnie parisienne de chauffage urbain. Elle succède à Marc Barrier.

COLAS

Frédéric Gardes ajoute la direction générale internationale à ses fonctions de directeur général adjoint pour l'Europe du Nord et le Moyen-Orient.

Thierry Le Roch' devient directeur général adjoint pour l'Europe centrale et de l'Ouest sauf France, Royaume-Uni, Irlande.

DALKIA

Sylvie Jéhanno a été nommée PDG de Dalkia, poste qu'elle cumule avec celui de directrice générale, et présidente de Tiru (valorisation de déchets). Elle remplace respectivement Jean-Michel Mazalérat et Jean-Pierre Frémont.

EAU ET BIODIVERSITÉ

Thierry Vatin remplace François Mitteault à la direction de l'eau et de la biodiversité au ministère de la Transition écologique et solidaire.

EIFFAGE CONSTRUCTION

Gilles Dupont succède à Christian Simonian à la direction du développement. Édouard Dubos prend la direction régionale Nord-Ouest.

ÉNERGIES MARINES

Marc Lafosse a été élu président de la commission énergies marines renouvelables du Syndicat des énergies renouvelables à la suite de Frédéric Le Lidec.

GÉOSYNTHÉTIQUES

Sont élus pour la 1^{re} fois au bureau du Comité français des géosynthétiques : François Caquel, 1^{er} vice-président à

la place d'Yves Durkheim ; Benjamin Chevrol, trésorier, à la place d'Hubert Giraud ; Véronique Heili, trésorière adjointe. Le Comité est présidé par Nathalie Touze-Foltz.

GRAND PARIS

Thierry Dallard est pressenti pour remplacer François Poupard (intérim) à la présidence du directoire de la Société du Grand Paris.

LINKCITY ÎLE-DE-FRANCE

Loïc Madeline est nommé directeur général délégué des projets urbains, nouvelle direction de la filiale immobilier de Bouygues Bâtiment Île-de-France. Raphaël Dreux est directeur délégué (logements et multi-produits). David Marquet est directeur général adjoint (programmes logements et multi-produits). Caroline

Vaubourgoin, elle aussi DG adjointe, élargit ses fonctions à l'immobilier d'entreprise et aux projets spéciaux. Lise Mesliand a été nommée directrice déléguée (projets Inventons la Métropole du Grand Paris) et Baptiste Le Brun, directeur territorial.

MALLET

Loïc Taulemesse est directeur général délégué en remplacement de Thierry Le Friant appelé auprès du président du groupe, Jean-Charles Robin.

MÉTROPOLE DU GRAND PARIS

Paul Mourier est nommé directeur général des services de l'intercommunalité qui regroupe, depuis 2016, 123 communes des Hauts-de-Seine, Seine-Saint-Denis et Val-de-Marne et 7 communes d'Essonne et du Val-d'Oise.

PETITES VILLES

Christophe Bouillon préside l'Association des maires des petites villes de France (2500-25 000 habitants) en binôme avec Pierre Jarlier, président délégué. Ils succèdent à Olivier Dussopt nommé secrétaire d'État auprès du ministre de l'Action et des comptes publics.

REN21

M^{me} Rana Adib prend la succession de Christine Lins au secrétariat général de REN21, réseau international d'experts en énergies renouvelables.

SNBPE

Marc Caradec est nommé membre du comité directeur du Syndicat national du béton prêt à l'emploi.

SNPB

Pascal Juyaux remplace Gérard Rosello à la présidence du collège Provence-Alpes-Côte d'Azur du Syndicat national du pompage du béton.

UNION ROUTIÈRE DE FRANCE

Jean Mesqui a été élu président de l'association qui réunit les acteurs de la mobilité, à la suite de Claude Cham.

VNF

Dominique Ritz remplace Alain Monteil à la direction territoriale du bassin de la Seine de Voies navigables de France.

M. Monteil est devenu directeur régional et interdépartemental adjoint de l'équipement et de l'aménagement d'Île-de-France, chargé des routes, en remplacement d'Éric Tanays.

GEO5

Suite de logiciels pour analyse vos projets géotechniques
Semelles / Pieux / Murs / Soutènements / Stabilités

Programme Stratigraphie

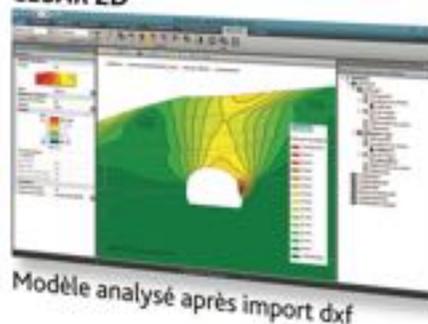


Nouveauté 2018 !

Import des essais in-situ
Création du modèle géologique

2 logiciels à associer
pour créer votre BIM

CESAR 2D



Modèle analysé après import dxf

CESAR^{LCPC}

Logiciel Eléments Finis 2D & 3D
Géotechnique / Tunnels / Hydrogéologie



itech

Editeur de logiciels pour le Génie Civil

8 qual Bir-Hakeim, F-94410 Saint-Maurice

Tél: +33 1 49 76 12 59

www.cesar-lcpc.com

contact@itech-soft.com



© COMEXPOSIUM

INTERMAT

UN SALON EFFERVESCENT ET CRÉATEUR DE RENCONTRES

LE SALON A TÉMOIGNÉ DE LA REPRISE DU SECTEUR DE LA CONSTRUCTION. ONT TRÈS BIEN MARCHÉ : LES VILLAGES, LES RENDEZ-VOUS D'AFFAIRES, LES CONFÉRENCES SANS OUBLIER LES DÉMONSTRATIONS DE MATÉRIEL À L'EXTÉRIEUR. 30% DES VISITEURS VIENNENT DE L'ÉTRANGER.

PROPOS RECUEILLIS PAR MONIQUE TRANCART

Isabelle Alfano
directrice d'Intermat



© COMEXPOSIUM

Intermat, salon international du matériel pour la construction et les infrastructures, s'est tenu du 23 au 28 avril à Paris-Nord Villepinte.

Quel bilan en dressez-vous ?

Le climat a été vraiment bon. Cette 11^e édition s'est tenue dans un contexte de reprise économique, favorable. Des commandes ont été conclues sur place. Une certaine effervescence était perceptible. Exposants et visiteurs étaient contents d'être là.

Quels sont les premiers chiffres de la fréquentation ?

Intermat 2018 a accueilli 1 400 exposants dont 200 de la filière béton sur World of Concrete Europe, un chiffre stable par rapport à 2015. 65% d'entre eux étaient étrangers.

La réorganisation de l'espace a été conçue avec les deux syndicats profes-

sionnels - Cisma⁽¹⁾ et Seimat⁽²⁾ - à qui cette manifestation appartient aux côtés de Comexposium. Elle a été validée par les exposants avant le salon. Au lieu d'avoir 14 grandes familles de matériel, nous avons créé 4 univers correspondant à des expertises : terrassement-démolition ; routes, industries des matériaux et fondations ; bâtiment et filière du béton ; levage, manutention et transports.

Combien de visiteurs sont venus ?

Le salon a attiré 173 300 personnes dont 30% d'étrangers venant de 160 pays. Nous avons eu de nombreuses délégations du Maroc, d'Algérie et de Tunisie. Les pays du pourtour méditerranéen, d'Europe du Sud et d'Afrique sont une cible prioritaire d'Intermat. Fin 2017, nous sommes allés à la rencontre de quatorze pays de la zone Europe, Moyen-Orient, Afrique (Emea) notamment pour les informer des marchés qui pouvaient les intéresser. Nous avons aussi fait 4 déplacements en province. L'Observatoire de la construction, élaboré avant le salon, a recensé les perspectives de développement dans 12 pays.

Quel impact a eu la grève des transports ?

La fréquentation est inférieure à ce que nous aurions pu attendre en d'autres circonstances. Le nombre de visiteurs a baissé de 5% à 173 300 par rapport à 2015 (183 000) et celui des exposants est stable. Les "bons" visiteurs sont quand même venus, les contacts sur les stands ont été nombreux. Les zones extérieures de démonstration ont été très dynamiques.

La mise en relation entre exposants et visiteurs a très bien marché. Ils ont d'abord pris contact sur une plate-forme internet dédiée sur notre site, puis ont concrétisé sur place : 1 500 rendez-vous ont été pris.

Les salons restent un lieu de rencontre important à côté des échanges virtuels.

Oui, et le succès des villages sur Intermat le confirme. Sur le village Start Up conçu avec Eurovia en tant qu'utilisateur, de jeunes entreprises des nouvelles technologies ont créé des liens entre elles et se sont exprimé sur l'agora située au centre. Le village Building Smart (Bim) et celui sur démolition-recyclage ont eux aussi très bien fonctionné avec stands et ateliers.

De quelles nouvelles technologies s'agit-il ?

Plusieurs start-ups offrent des plates-formes d'achat ou de location de matériels en ligne. Nous trouvons aussi l'exosquelette, appareil d'assistance à l'être humain dans l'effort (charge) ou encore le béton connecté⁽³⁾.

Qu'en est-il du forum World of Concrete Europe (Woc Europe) ?

Le Woc Europe, déclinaison européenne d'un concept américain, est un salon dans le salon, avec des stands, un espace de démonstration et des conférences qui ont rencontré plus de succès qu'en 2015.

La journée consacrée aux perspectives sur dix ans de la location de matériel dans différents pays, le 26 avril, a aussi été bien suivie, avec 200 personnes.

Un Intermat se tient à Bangkok (Thaïlande) en septembre et, pour la France, en avril 2021. Que pouvez-vous déjà en dire ?

Nous allons continuer à renforcer nos contacts avec les pays de la zone Emea qui reste notre cible privilégiée. Les nouvelles technologies gagneront du terrain. La mise en relation et les prises de rendez-vous pour les entreprises seront poursuivies. Vu leur succès et leur apport en contenu, les villages seront reconduits ainsi que le World of Concrete Europe. ■

⁽¹⁾ Cisma : Syndicat des équipements pour la construction, les infrastructures, la sidérurgie et la manutention.

⁽²⁾ Syndicat des entreprises internationales de matériels de travaux publics, mines et carrières, bâtiment et levage-manutention.

⁽³⁾ Béton dans lequel est inséré un dispositif RFID qui l'identifie sans contact sur place, activé par un smartphone par exemple.

VILLAGE START-UP

Spécialité des 14 jeunes entreprises du village Start-Up :

- Plates-formes de partage d'équipements
- Plates-formes de suivi de chantier
- Exosquelette
- Gestion des équipements de protection individuelle
- Plans et modélisation 3D
- Béton connecté
- Dalle Led intelligente et connectée

Eiffage Fondations associé à son partenaire italien, réalisera 6 ouvrages du Lot 1 de la Ligne 16 sur les communes de La Courneuve, Le Bourget et Le Blanc Mesnil en Seine Saint-Denis (93).

Ce sont des travaux de paroi moulée et ce traitement de sol qui seront réalisés sur 3 puits de secours, 2 ouvrages d'entonnement et la gare emblématique du Bourget. Les travaux qui démarrent en mai doivent être réalisés sur une période de 18 mois.



Eiffage Fondations réalise actuellement un puits de ventilation pour le prolongement du RER E à l'Ouest (EOLE) à Neuilly-sur-Seine (92).

Ce puits de 17m de diamètre moyen, est composé d'une paroi moulée de 65m de profondeur et de 1m d'épaisseur.

L'emprise disponible pour les installations est limitée à 1000m² exigeant un phasage précis de rotation des engins.

EGIS GÉOTECHNIQUE TOUTE L'INGÉNIERIE DU SOL ET DES MATÉRIAUX

DE LA CONCEPTION À LA CONSTRUCTION ET À LA MAINTENANCE, LES ÉQUIPES « GÉOTECHNIQUE » D'EGIS ACCOMPAGNENT DEPUIS 30 ANS TOUS LES PROJETS AUXQUELS LE GROUPE EST ASSOCIÉ, EN FRANCE COMME À L'INTERNATIONAL. TOUT A COMMENCÉ AVEC L'AUTOROUTE DES TITANS. TOUT CONTINUE AVEC ITER, HINKLEY POINT, LA ROUTE DU LITTORAL, EOLE VERS L'OUEST, L'ANSE DU PORTIER POUR N'EN CITER QUE QUELQUES-UNS. **ENTRETIEN AVEC DOMINIQUE ALLAGNAT, DIRECTEUR D'EGIS GÉOTECHNIQUE ET LUC BOUTONNIER, RESPONSABLE « OUVRAGES & BÂTIMENTS » DU SERVICE INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



DOMINIQUE ALLAGNAT ET LUC BOUTONNIER RETRACENT À GRANDS TRAITS LE PARCOURS D'EXCEPTION DE L'UNE DES ACTIVITÉS DU GROUPE EGIS.

Quelles sont les origines de l'activité Géotechnique au sein d'Egis ?

Lorsque notre entité a été créée dans les années 90, elle comprenait une quinzaine de personnes et constituait un service régional du groupe, centré essentiellement sur les projets autoroutiers. Au sein de l'organisation d'Egis, elle s'est structurée comme le service géotechnique chargé des grands projets.

Tout a vraiment commencé avec la construction de l'autoroute A40 entre Mâcon et Genève, « l'autoroute des Titans », dont le tracé est jalonné d'ouvrages complexes pour lesquels la géotechnique avait un impact déterminant à la fois sur la conception mais aussi sur la réalisation des travaux.

À cette époque, compte tenu de la complexité de l'opération, la direction technique a créé une petite entité - l'embryon de notre activité Géotech-

FIGURE 1 © MARC MONTAGNON - FIGURE 2 © EGIS - FIGURE 3 © EGIS



1- De gauche à droite : Luc Bou-tonnien, res-pon-sable « ouvrages & bâtiments » du service Ingé-nie-rie géotechnique et Dominique Allagnat, direc-teur d'Egis Géotechnique.

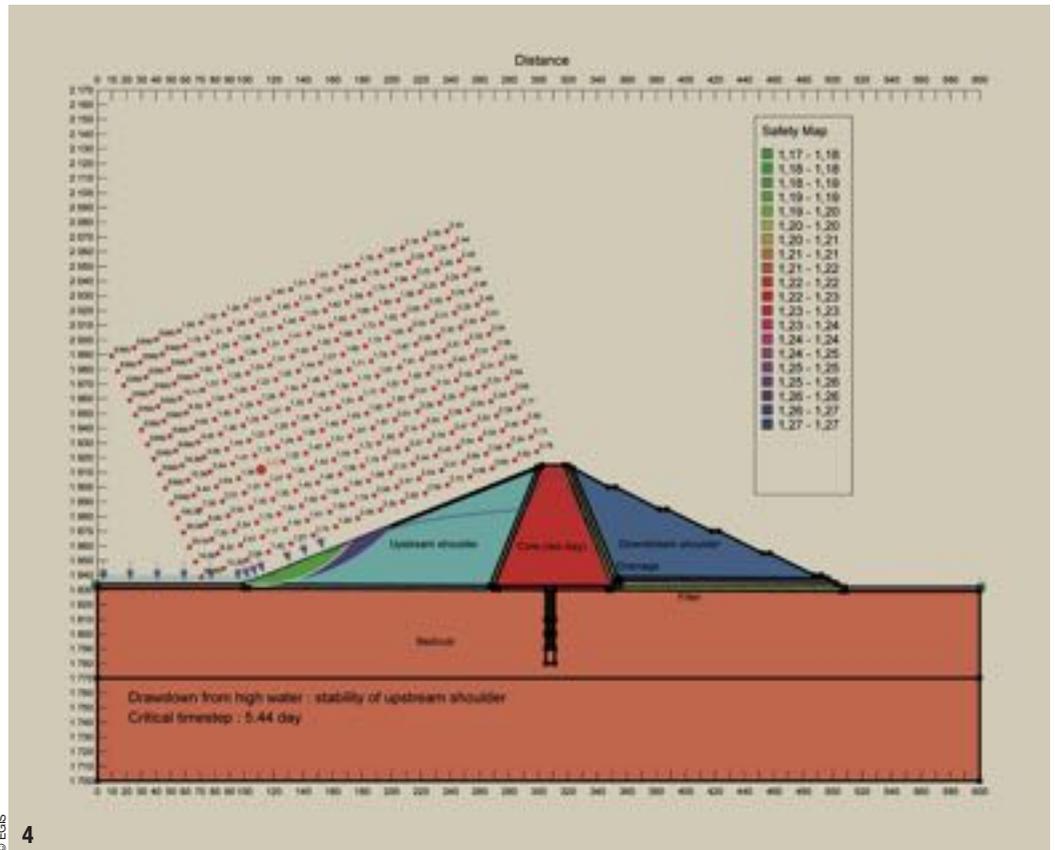
2- Études d'exé-cution de murs de soutènement (murs ancrés et murs en Terre Armée®) pour l'autoroute A41 (Annecy - Genève).

3- Planche de compactage dans le cadre du projet Terre-durable.

4- C'est à Egis que revient la charge de réa-liser les études complètes de tous les ouvrages du barrage de Ruiru II au Kenya.

5- La ligne à grande vitesse Kenitra - Tanger au Maroc demeure une référence importante.

6- Le projet minier de Weda Bay en Indonésie est un exemple des prestations complémentaires proposées par Egis Géotechnique ayant permis d'optimiser le projet.



© EGIS

4

nique - pour la réussite du projet. L'expérience acquise sur l'autoroute A40 a montré l'efficacité de cette organisation pour les projets sensibles et complexes et il a donc été décidé en interne de poursuivre l'aventure sur les grands projets suivants en identifiant cette structure de « géotechnique et matériaux ».

Dans un premier temps, cela a été organisé à la faveur des grands projets rhônalpins - les Jeux Olympiques d'Albertville, l'autoroute Grenoble-Valence, l'autoroute Grenoble-Sisteron - ce qui explique notre installation

dans les Alpes où se situaient les projets les plus complexes.

Par la suite, notre activité s'est beaucoup développée en se diversifiant selon trois axes :

- Diversification géographique, régionale d'abord puis nationale et internationale ;
- Diversification des spécialités à l'intérieur de la géotechnique en développant l'instrumentation, la géophysique, la modélisation hydrogéologique et le laboratoire ;
- Diversification des objets construits, des autoroutes au ferroviaire de

rase campagne puis au ferroviaire urbain, aux barrages, aux ports, aux digues, au bâtiment et à l'industrie, suite à l'intégration du groupe IOSIS.

Par ce biais, nous avons enrichi notre champ d'ouvrages et de prestation d'ingénierie géotechnique.

Cette ouverture nous a d'ailleurs permis de compenser la baisse des investissements dans les infrastructures routières et autoroutières.

Notre croissance est passée progressivement de 15 collaborateurs à 110 aujourd'hui, quasiment homothétique-ment à celle du groupe Egis. ▶

© EGIS

5



© EGIS

6



Quel est l'avantage d'une telle structure ?

Comme nous sommes intégrés depuis longtemps au sein d'un groupe, nous sommes en contact avec les projets et, d'un point de vue géotechnique, nous savons quels sont les attendus du projet.

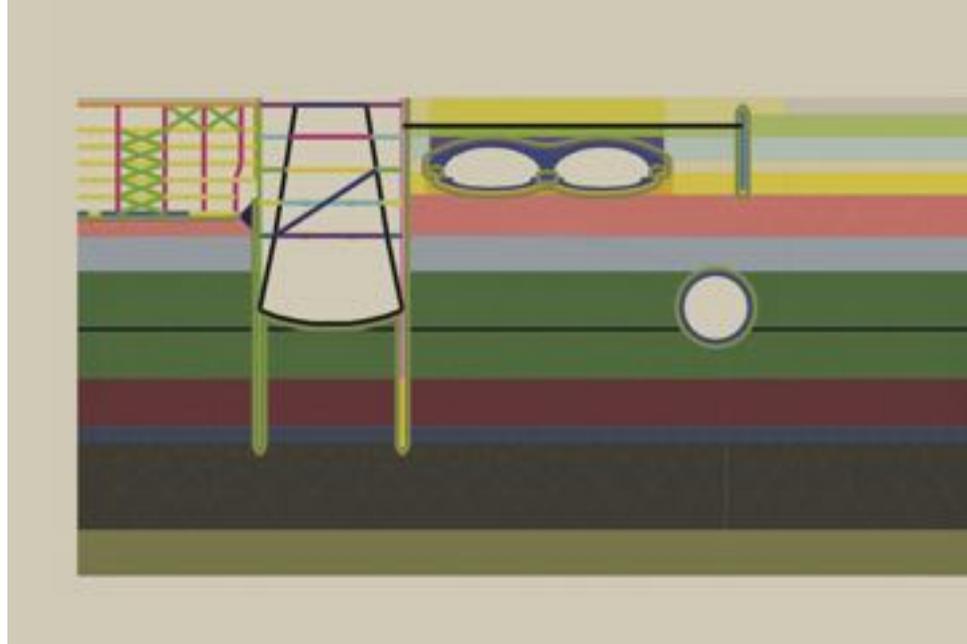
Notre prestation ne se limite pas seulement à la livraison d'une étude géotechnique, elle prend en compte les besoins du projet en termes de gestion des risques et de pérennité.

Ce modèle a d'ailleurs été suivi par nos grands concurrents pour lesquels la géotechnique est maintenant intégrée à l'ingénierie.

En quelques chiffres, que représente l'activité Géotechnique aujourd'hui ?

Notre équipe géotechnique regroupe 110 collaborateurs dont 75 ingénieurs, représentant en 2017 un chiffre d'affaires de 14,2 millions d'euros dont 25% à l'international, soit avec des sociétés du groupe Egis, soit avec des entreprises adjudicatrices de chantiers à l'étranger. Nous intervenons ainsi dans plus de 100 pays dans le monde. Le chiffre d'affaires se répartit à 60% au sein du groupe Egis et 40% en direct pour des clients extérieurs. Nos équipes sont basées à Seyssins, près de Grenoble, où se situe également notre laboratoire certifié COFRAC, mais également en région parisienne (Saint Quentin-en-Yvelines et Montreuil), Lyon et Toulouse.

Nos clients institutionnels sont les maîtres d'ouvrage publics, les collectivités, les syndicats, les communes urbaines et les bailleurs de fonds. Nos clients privés sont les industriels, les concessionnaires et les entreprises de Travaux Publics.



7 © EGIS

Nos secteurs d'activité sont au nombre de six : les infrastructures de transport, le génie civil et les ouvrages d'art, le bâtiment, l'industrie y compris l'industrie nucléaire, l'eau et l'environnement, les domaines aéroportuaire, portuaire, maritime et fluvial.

Comment êtes-vous organisés ?

Nous comptons trois départements spécialisés : ingénierie géotechnique, subdivisé en ouvrages & bâtiments et infrastructures & plates-formes industrielles, instrumentation et pathologie des ouvrages avec adjonction de géophysique et eau souterraine, ingénierie des matériaux et laboratoire qui comprend un laboratoire d'essais et réalise des prestations de contrôle extérieur de travaux.

La répartition du chiffre d'affaires donne une bonne image de la diversité de l'entreprise : 60% en ingénierie géotechnique, 20% en instrumentation et pathologie des ouvrages et 20% en ingénierie des matériaux et laboratoire. L'ensemble de ces domaines de compétence permet d'assurer tous les essais de géotechnique et d'analyses sur les matériaux de construction.

Le suivi des ouvrages tels que tunnels, fondations, soutènements et versants, est assuré par toutes les méthodes

d'auscultation disponibles : inclinomètres, extensomètres, cellules de pression, tassements, convergence, mesures de vibrations.

Nos équipes Géotechnique assurent également des missions de maîtrise d'œuvre d'ouvrages géotechniques particuliers tels que stabilisation de terrain, auscultation de grands remblais, ouvrages de soutènement, drainage de versant, mise en sécurité de falaise ou de déblais rocheux.

Nous intervenons par exemple actuellement sur le projet de barrage de Ruiru au Kenya, qui sera réalisé par Sogea/Satom, dont nous assurerons l'ensemble des contrôles de laboratoire et de l'instrumentation pendant les travaux ainsi que toutes les études de conception géotechnique nécessitées par un barrage en terre avec un noyau argileux.

Lorsque l'ouverture à la concurrence est intervenue pour les chantiers ferroviaires au début des années 2000, nous avons conduit de nombreuses études en tant que maître d'œuvre de RFF pour les TGV Est et Rhin-Rhône puis en tant que maître d'œuvre intégré avec les entreprises pour les LGV Bretagne - Pays de Loire (Eiffage pour BPL) et Sud Europe Atlantique (Cosea pour SEA).

Ceci nous a permis d'acquérir une expertise incomparable dans le domaine ferroviaire, dont les contraintes sont très spécifiques, et de réaliser de nombreuses publications de référence. Cette expérience s'est concrétisée récemment dans l'initiation du projet TERREDURABLE (TERRassements, économiques, Écologiques et DURABLEs) pour l'Agence Nationale pour la Recherche (ANR) dont Egis est le coordonnateur en la personne de Luc Boutonnier et qui associe plusieurs partenaires : l'ENTPE (École Nationale des Travaux Publics de l'État), EDF - (Centre Ingénierie Hydraulique), l'IFSTTAR (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux), le laboratoire ECP LMSSMat (Mécanique des Sols, Structures et Matériaux), le LOMC (Laboratoire Ondes & Milieux Complexes), le laboratoire 3S-R ainsi que les entreprises Valerian et Vinci Construction Terrassement.

Ce projet vise à améliorer la conception des ouvrages en terre en sols fins. En effet, leur conception dispose actuellement de très peu d'outils de dimensionnement prenant en compte le comportement réel des ouvrages et en particulier la non saturation des sols. L'objet du projet Terredurable est



© EGIS

8



© SYMBHI/PHOTEC

9

de proposer de nouveaux outils qui permettront d'améliorer la fiabilité des ouvrages à long terme (durabilité) et d'optimiser leur conception (économie de matériaux nobles). La journée de restitution a eu lieu en juin 2017 mais le travail s'est poursuivi et il est prévu de présenter un guide au premier semestre 2019, rassemblant retour d'expériences et résultats du projet Terredurable.

Pour illustrer la diversité de l'activité Géotechnique et de vos interventions, pourriez-vous balayer succinctement quelques-unes des références récentes les mettant en évidence, en commençant, par exemple par « infrastructures et plateformes » ?

Dans le domaine infrastructures et plateformes, nous pouvons citer deux opérations : la LGV Kenitra-Tanger et le projet Weda Bay en Indonésie.

La LGV Kenitra -Tanger au Maroc, longue de 80 km, en cours d'achèvement, demeure une référence importante car nous avons participé à l'ensemble de sa conception, des études géotechniques de reconnaissance à l'accompagnement des travaux tant au niveau des ouvrages en terre que des fondations des ouvrages d'art, dans des terrains compliqués avec des déblais importants dans les pélites, des matériaux sensibles difficiles à gérer et à travailler.

Le projet minier d'extraction de nickel de Weda Bay en Indonésie est un exemple significatif de l'implication d'Egis dans une opération pour laquelle nous avons proposé des prestations complémentaires à celles prévues à l'origine et qui ont permis d'optimiser le projet.

7- Modélisation de la gare « Porte Maillot » du prolongement d'Éole à l'ouest.

8- Egis assure la maîtrise d'œuvre complète de la nouvelle Route du Littoral à La Réunion.

9- Plateforme de stockage de matériaux pour le projet Isère Amont.

10 & 11- Dans le domaine des ports, l'extension en mer de Monaco dite « l'Anse du Portier » est le projet le plus emblématique d'Egis.

En effet, au-delà des études géotechniques des fondations de l'installation minière et des infrastructures associées - notamment du port pour l'évacuation du minerai - ainsi que de la supervision de sondages géotechniques, se posait le problème de l'importation des matériaux de construction pour réaliser les plateformes. Egis a proposé d'ouvrir une carrière sur l'île pour éviter de transporter les matériaux. C'est finalement cette solution qui a été retenue par le client.

En matière d'ouvrages d'art ?

La Route du Littoral à La Réunion est le projet le plus important en cours. Egis assure la maîtrise d'œuvre complète (conception et contrôle des travaux) de la route du littoral comprenant un viaduc et un remblai en mer ouverte de 12 kilomètres de longueur totale. Pour le viaduc, les équipes géotechniques ont apporté leur expertise en

fondations des grands ouvrages à toutes les étapes clés du projet : reconnaissances des appuis, justification des fondations, visa des études d'exécution. Certains problèmes particuliers ont dû être traités, comme l'hétérogénéité des sols sous certains appuis ou l'analyse du risque de liquéfaction des sables sous les sollicitations cycliques de la houle.

Dans le domaine de la géotechnique urbaine ?

Il est vrai que notre activité connaît un développement important en matière de géotechnique urbaine. Dans le cas de travaux souterrains en site fortement urbanisé, comme la gare Porte-Maillot du prolongement d'Éole à l'ouest, nous intervenons pour la modélisation des terrains afin d'évaluer avec précision les tassements éventuels que pourraient subir les infrastructures et les bâtiments avoisinants. Ceci conduit à modéliser les terrains bien au-delà de l'emprise des ouvrages eux-mêmes. La réalisation de la gare Porte-Maillot est extrêmement complexe puisque l'ouvrage se situe entre le boulevard périphérique, les lignes 1 du métro et A du RER, le parking du Palais des Congrès et son passage souterrain d'accès se développant sous la Porte Maillot elle-même. La construction de la gare proprement dite est rendue encore plus délicate par le fait qu'il s'agira d'un ouvrage enterré mais à ciel ouvert qui nécessitera de ce fait que des précautions tout à fait particulières soient prises lors de l'excavation des terrains : il est prévu à cet effet un système de confortement singulier par un contre-rideau extérieur des murs porteurs de l'ouvrage. C'est le type même d'ouvrage auquel nous sommes confrontés au quotidien. ▶

RECHERCHES & DÉVELOPPEMENTS

Egis Géotechnique affiche une implication forte et reconnue dans de nombreux projets de recherche récents :

- **GEOINOV : géotextiles hautes performances**
- **TERREDURABLE : sols fins non saturés - conception des ouvrages en terre en sols fins**
- **REMOTE : Radar d'Évaluation des Mouvements d'Ouvrages et de Terrain**
- **PERFDUB : approche PERFomantielle de la DURabilité des ouvrages en Béton**
- **NEWTUN : pré-soutènement actif pour le creusement de tunnels par méthode conventionnelle**
- **C2R2OP : Chutes de blocs, Risques Rocheux et Ouvrages de Protection**
- **ARSCOP : nouvelles Approches de Reconnaissances des Sols et de Conception des Ouvrages géotechniques avec le Pressiomètre**
- **BARRAGES & SÉISMES (Projet National qui devrait démarrer fin 2018 début 2019) : optimisation de l'évaluation de la stabilité des barrages au séisme**



© MBACity
10

© MBACity
11

En matière de murs de soutènement, qui relèvent de contraintes similaires, nous avons la capacité de réaliser la totalité des prestations, à la fois géotechniques mais aussi de génie civil. Nous avons, par exemple, réalisé pour l'entreprise Bouygues des études d'exécution pour des ouvrages de soutènement complexes à proximité d'Annecy.

L'activité Géotechnique a connu un développement important dans trois domaines qui ont élargi de façon significative son secteur d'intervention : l'eau et les ports, l'industrie et le bâtiment « lourd ». Quelles références dans ces spécialités ?

Dans le domaine de l'eau, le projet Isère Amont est l'une des opérations en cours dont nos équipes Géotechnique assurent le suivi. Les thématiques géotechniques et matériaux sont très étendues pour ce projet singulier. Par exemple, le recalibrage hydraulique dans le lit de la rivière fournit une ressource en matériaux de différentes natures. L'expérience des grands projets de terrassements a permis de valoriser très largement les différents matériaux disponibles pour la construction des recharges sur les digues existantes ou la création de zones de haut-fond dans d'anciennes gravières pour des aménagements environnementaux. Le projet Isère Amont va d'ailleurs au-delà de la seule protection contre les crues. Il a ainsi cinq objectifs :

- Protéger les zones urbanisables, notamment l'agglomération de Grenoble et les communes en amont pour une crue bicentennale. Le pic de cette crue est écrié en inondant les zones agricoles au-delà de la crue trentennale. L'alimentation se

fait grâce à une série de déversoirs sur les digues le long de l'Isère. Le stockage dans les zones agricoles est optimisé grâce à la construction de digues de deuxième niveau : les merlons.

- Protéger les zones agricoles pour une crue trentennale.
- Promouvoir la restauration environnementale de la rivière et de ses annexes.
- Assurer un équilibre morpho-dynamique.
- Mettre en valeur l'axe vert Grenoble-Pontcharra (29 communes et 300 000 habitants).

Les études ont démarré en 2007 puis les travaux en 2012. Une dizaine de millions d'euros sont investis chaque année dans ce projet dont le coût global est évalué à plus de 100 millions d'euros. L'opération en est actuellement à environ la moitié de sa totalité. Pour information, avant les travaux, si la crue de 1859 se reproduisait, les dommages matériels atteindraient 1 milliard d'euros.

Dans les ouvrages maritimes ou portuaires ?

Dans le domaine des ports, les projets sont en France ou à l'étranger où se situe actuellement la majorité des réalisations. Nous travaillons au côté des équipes Ports sur un certain nombre de projets majeurs comme le Port de Kingston en Jamaïque ou le Polder de Brest mais le projet le plus emblématique

est l'extension en mer de Monaco dite de l'Anse du Portier pour le compte de Bouygues Travaux Publics.

En raison de la rareté du foncier disponible et pour soutenir son développement, la Principauté de Monaco a lancé un nouveau projet d'urbanisation en mer consistant à créer un quartier de 6 hectares, avec une forte ambition concernant le développement durable et la protection de l'environnement. La technique choisie pour réaliser l'infrastructure maritime est celle d'un remblai confiné par une ceinture de 18 caissons trapézoïdaux en béton armé hauts de 27 mètres et pesant 10 000 tonnes chacun, munis de chambres d'amortissement.

Les problématiques géotechniques sont très nombreuses : renforcements de sols, présence d'avoisinants, site à la sismicité forte, planches d'essais pour qualifier les matériaux du remblai et les méthodes pour les densifier, etc.

Dans le domaine des barrages ?

Aux Philippines, nous sommes intervenus avec les équipes Eau en amont du lancement d'un appel d'offres conception/construction pour le barrage de Tayabasan sur le volet études de stabilité et géotechnique.

De l'eau potable "H24" pour les populations de Nairobi ? C'est l'ambition portée par le projet Ruiru II au Kenya, visant à construire un barrage de 55 m de haut, un transfert d'eau brute et une

station de potabilisation pour sécuriser l'alimentation en eau de plus de 300 000 habitants.

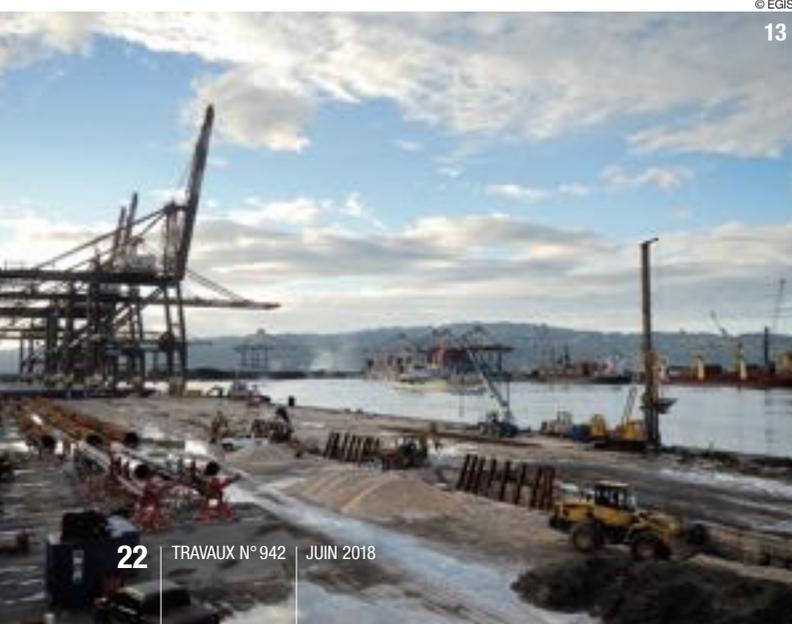
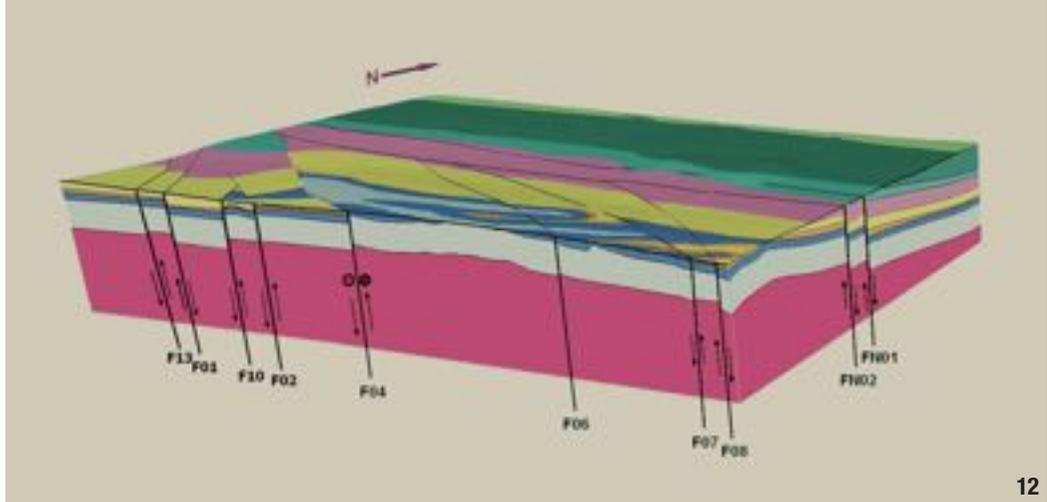
Ce vaste projet comprend la conception du barrage et de ses structures annexes (tour de prise d'eau, évacuateur de crues, route d'accès...), mais aussi du système de transfert de 17 km, d'une station de traitement d'eau d'une capacité de 40 000 m³/j, de deux réservoirs de stockage et des réseaux associés.

C'est à Egis que revient la charge de réaliser les études complètes de tous les ouvrages du projet, des études préliminaires jusqu'aux plans d'exécution, au sein d'un consortium d'entreprises de réalisation du groupe Vinci.

Nous portons les études de stabilité du barrage, la recherche et la validation des ressources en matériaux en collaboration avec l'entreprise chargée des travaux, la mise en place et la gestion du laboratoire de chantier et toute l'instrumentation du barrage.

Et dans l'industrie nucléaire ?

Dans le domaine du bâtiment au sens large et de l'industrie, l'opération de référence est le projet de la centrale nucléaire d'Hinkley Point en Angleterre (EPR), pour lequel nous avons réalisé une modélisation géologique 3D du site ainsi qu'une modélisation numérique 3D de l'ensemble des bâtiments pour évaluer la raideur de sol à prendre en compte pour les calculs d'interaction sol/structures des fondations.



Pour le nucléaire, nous sommes aussi intervenus dans le cadre d'un ouvrage de stockage de déchets nucléaires pour la centrale du Bugey, à proximité de Lyon. Sous un radier de 2 mètres d'épaisseur, il s'agissait, pour des raisons de portance et de résistance sismique, de renforcer le sol par inclusions rigides plutôt que par pieux classiques. Nous avons ainsi installé près de 150 capteurs à fonctionnement automatique pour contrôler les transferts de charge entre le radier, le matelas de répartition, les inclusions et l'horizon porteur en profondeur.

À noter qu'Egis Géotechnique participe régulièrement, pour le compte du CEA, à des projets nouveaux ou de mise à niveau sismique. Elle est aussi directement impliquée dans la mise en œuvre d'instrumentations pour le laboratoire souterrain de l'Andra à Bure, dans la Meuse. À Seyssins, le laboratoire est d'ailleurs équipé d'un banc d'essai où sont testés divers équipements innovants d'instrumentation.

L'hydrogéologie et la géophysique font-elles partie des disciplines en pointe ?

Nous avons une activité hydrogéologique importante, mise en œuvre par exemple sur les chantiers du Grand Paris, qui permet de vérifier la continuité de la transparence hydraulique en dépit de la création de nouvelles infrastructures ainsi qu'un service spécifique de géophysique pour effectuer des mesures en amont de la définition d'un projet : ce que nous avons réalisé au travers d'une campagne de géophysique anticipée pour le barrage de Ruiru au Kenya.

Dans ce même domaine de l'hydrogéologie relatif à la circulation des eaux souterraines, Egis intervient pour le pro-

jet immobilier Part-Dieu 2030 à Lyon. Nous avons réalisé un modèle en 3D de l'ensemble de la ligne concernée par le projet afin d'établir un modèle de gestion dynamique des impacts hydrogéologiques de l'opération. Ce programme devant être réalisé de façon progressive, il importe de vérifier lors de chaque phase que le programme ne perturbe pas la nappe phréatique et, s'il le fait, il convient de trouver des solutions de compensation pour éviter les effets barrage. Un problème identique à celui que l'on doit d'ailleurs résoudre sur les différents chantiers du Grand Paris sur lesquels nous sommes présents.

12- Modèle géologique 3D de l'EPR d'Hinkley Point en Grande Bretagne.

13- Travaux d'extension du port de Kingstom à La Jamaïque.

14- Mesures de géophysique en surface et en forage profond sur l'atoll de Mururoa.

15- Le laboratoire d'Egis Géotechnique à Seyssins, près de Grenoble.

16- Egis Géotechnique est directement impliquée dans la mise en œuvre d'instrumentations pour le laboratoire souterrain de l'Andra à Bure.

En matière de géophysique, pour le CEA, nous sommes intervenus sur l'atoll de Mururoa pour réaliser des mesures de géophysique en surface et en forage profond pour caractériser le sous-sol, élément déterminant pour surveiller la stabilité de la barrière de corail.

Dans l'Ingénierie des matériaux ?

En matière d'ingénierie des matériaux, notre laboratoire de Seyssins nous permet de réaliser 125 essais différents dont 40 couverts par l'accréditation COFRAC. Nous y faisons notamment pour les entreprises des recherches sur les sols traités, sur la durabilité des bétons, sur les bétons, mortiers et coulis spéciaux tels que ceux utilisés pour le bourrage des voussoirs à l'arrière des tunneliers avec, parfois, des spécifications des matériaux difficiles à atteindre.

Dans cette discipline se situe tout ce qui relève du contrôle technique des matériaux du génie civil, à la fois les terrassements et les bétons sur les grands projets.

Nous avons deux références emblématiques dans ce domaine : le réacteur ITER à Cadarache en cours de construction et la réalisation d'un complexe métallurgique de production de nickel à Koniambo en Nouvelle Calédonie.

Sur ces deux projets, en phase d'exécution pour le premier et achevé pour le second, les équipes Géotechnique assurent et ont assuré tous les contrôles extérieurs des travaux.

Pour ITER, cela s'étend de la plateforme elle-même depuis les terrassements jusqu'à la finalisation de l'ouvrage avec notamment le contrôle des bétons spéciaux.

Pour Koniambo, les contrôles étaient plus diversifiés. Nous avons installé un laboratoire sur place et déplacé une équipe d'ingénieurs et techniciens.

Dans quel contexte êtes-vous les plus performants ?

Nous sommes les plus performants quand la géotechnique est intégrée dès l'amont à la conception d'un projet, par exemple pour la construction d'un barrage ou d'une infrastructure en site difficile.

Notre vraie valeur se manifeste lorsqu'elle peut se développer en synergie avec nos partenaires, internes ou externes au groupe.

En effet, les études et prescriptions géotechniques permettent non seulement d'adapter le projet à son environnement géologique pour en limiter les coûts et les risques mais également d'anticiper sur l'évolution de l'ouvrage et d'intégrer des technologies préventives au stade même de la construction (méthode observationnelle). □

COMPÉTENCES ET PRESTATIONS

- Géologie
- Mécanique des sols
- Mécanique des roches
- Hydrogéologie
- Modélisation numérique
- Techniques de travaux spéciaux
- Structures en interaction avec les sols
- Instrumentation & pathologie
- Matériaux du Génie Civil

© MARC MONTAGNON

15



© MARC MONTAGNON

16





1
© SOLETANCHE BACHY

LE PÔLE MATÉRIEL DE SOLETANCHE BACHY À MONTEREAU

REPORTAGE DE MICHEL MORGENTHALER

POUR REMPORTER DES MARCHÉS IL FAUT POUVOIR S'APPUYER SUR DES TECHNIQUES ET DES MOYENS PERFORMANTS. POUR EXÉCUTER ENSUITE LES TRAVAUX SELON LES ENGAGEMENTS PRIS, IL EST PRÉFÉRABLE QUE LES MOYENS, HUMAINS ET MATÉRIELS, SOIENT DISPONIBLES EN NOMBRE SUFFISANT ET QU'ILS SOIENT FIABLES. CES PRINCIPES SONT VOISINS DE CEUX DE L'ART DE LA GUERRE. LE PÔLE MATÉRIEL DE SOLETANCHE BACHY, INSTALLÉ DEPUIS BIENTÔT SOIXANTE-DIX ANS À MONTEREAU, A POUR MISSION DE METTRE À DISPOSITION DES CHANTIERS DES MACHINES QUI FONCTIONNENT. CE N'EST PAS UNE SINÉCURE. LA CONFIANCE DES OPÉRATIONNELS ET, IN FINE, DES CLIENTS EN DÉPEND.

Montereau-Fault-Yonne est une dynamique petite ville de 20 000 habitants, au confluent de l'Yonne et de la Seine à 100 km au sud de Paris, dans le département de la Seine-et-Marne. Elle a été le lieu d'une des dernières victoires de Napoléon contre les Autrichiens en 1814 (figure 2). C'est aussi le siège du pôle Matériel de Soletanche Bachy, à

savoir dépôt, ateliers, bureau d'études matériel, export. La visite est guidée par Olivier Terrier, directeur du SME (Service Matériel EuroFrance), également patron de l'ensemble du site (figure 1). Avant que la visite ne commence, une mise en perspective s'impose. Il était une fois Bachy et il était une fois Solétanche (avec un accent aigu aujourd'hui disparu dans la raison

sociale Soletanche Bachy née de la fusion en 1997).

Bachy a été créée en 1924 par Pierre Bachy (1888-1968), ingénieur de l'École Polytechnique, associé à ses camarade d'école André Thimel et René Postel, tous transfuges de GTM, sous la marque initiale "Sondages-Injections-Forages SIF Entreprise Bachy". Solétanche a été créée en 1948 par

Henri Giron (1905-2005), ingénieur de l'Institut du Nord, avec son associé Ernest Ischy, à partir de la société "SEC (Sondages - Étanchements - Consolidation)" qu'ils avaient acquise en 1944. Bachy et Solétanche, *start-up* avant la lettre, ont toujours été de farouches concurrents même après l'apparition du premier actionnaire commun GTM, se disputant les marchés et faisant la

1- Le site de Montereau. Une partie des effectifs.

2- La bataille de Montereau le 18 février 1814 - victoire de Napoléon sur les Autrichiens.

3- Joint CWS de paroi moulée.

4- Pied de tarière Starsol avec tube d'injection de béton par la base déployé.

5- Hydrofraise à grippeurs.



© GOOGLE 2



3



4



5

course aux innovations techniques. Elles sont l'illustration du principe que la concurrence entre les meilleurs et la stimulation féconde qui en résulte sont de puissants facteurs de progrès. Ce progrès, à terme, bénéficie à toute la profession, y compris à ceux qui se contentent d'attendre que tombent les fruits. Au palmarès des frères ennemis finalement fusionnés citons l'injection de coulis d'étanchéité par tube à manchettes (1959), les murs souterrains en parois moulées (1961 - première paroi moulée en France, impasse d'Antin à Paris, selon un principe imaginé par l'Italien Veder en 1938 et expérimenté par Icos en 1948), le Kelly de forage à la benne (1963), les tirants d'ancrage précontraints (1964), la paroi préfabriquée (1968), l'excavation à l'hydrofraise (1971), l'enregistrement électronique des paramètres du sol (1980), le pieu Starsol (1982) (figure 3), le joint de paroi CWS à waterstop et décoffrage latéral (1984) (figure 4), le contrôle de trajectoire d'outil (1985), la benne à correcteur de trajectoire (1996), l'hydrofraise à grippeurs (figure 5) et le simulateur de conduite d'hydrofraise récemment, etc.

Les deux sociétés ont fusionné en 1997 pour former Soletanche Bachy, entreprise générale de travaux et de technologies du sol. La créativité ne s'est pas tarie, bien au contraire. Cette créativité technique, d'une vigueur exceptionnelle dans le secteur des travaux publics, a été distinguée par 19 prix de l'innovation décernés par la Fédération Nationale des Travaux Publics. Soletanche Bachy gère un portefeuille de 525 brevets en France et à l'international.

Soletanche Bachy se distingue également par sa couverture mondiale très enviable (figure 6), construite au fil des ans depuis 1926, année où Bachy réalisa, sur le barrage de l'oued Beth au Maroc, le premier voile d'étanchéité foré au diamant. Le maillage géographique compte aujourd'hui plus de quatre-vingt filiales et implantations. Les interventions se déroulent dans plus de soixante-dix pays. Depuis longtemps, la part de chiffre d'affaires réalisé hors de France oscille autour de 75%. Cet "empire" est générateur de synergie et source de bienfaits en termes de performances commerciales, de répartition des risques économiques, de capacités logistiques, de moyens matériels et humains et, surtout, d'échanges de savoir-faire.

Le site de Montereau, où Soletanche a installé son dépôt dès l'origine (figures 7 et 8), occupe 14 hectares. ▷

Il héberge aujourd'hui quatre entités du groupe Soletanche Bachy : le Service Matériel EuroFrance (SME), le service Matériel de Soletanche Bachy Fondations Spéciales (nouvelle filiale issue de la fusion de Soletanche Bachy Pieux et de MCCF), la direction Matériel groupe (SBI), le laboratoire des matériaux (figure 9).

Au poste de garde à l'entrée du site, le visiteur se voit privé de sa pièce d'identité et reçoit en échange son badge et son "passeport prévention" (figure 11). Le ton est donné : sûreté et sécurité. Nous sommes reçus par Olivier Terrier (voir encadré), patron du site où travaillent 165 collaborateurs dont 120 relèvent du SME. L'effectif total du SME est de 180 personnes, c'est une entreprise dans l'entreprise.

Ceux qui ont un peu de bouteille et sont des habitués des visites de dépôts d'entreprises de travaux publics, et surtout d'entreprises de fondations, ont certainement quelques souvenirs cauchemardesques de capharnaüms, de tas de rouille épars dans les herbes folles, de bécanes retour de guerre qui tardent à passer sous la douche.

Le spectacle qui s'offre à Montereau est différent. Il fait plutôt penser au salon Intermat du matériel de TP ou au salon EuroSatory de l'équipement de défense. Ce n'est pas très fantaisiste. Mais ça a de la gueule. On a envie d'y travailler. La propreté, l'ordre, le rangement, la prévention sont le *b-a-ba* des mesures

CARTE DES IMPLANTATIONS ET ZONES D'INTERVENTION DE SOLETANCHE BACHY DANS LE MONDE



6

© SOLETANCHE BACHY

6- Carte des implantations et zones d'intervention de Soletanche Bachy dans le monde.

7- Le dépôt de Soletanche à Montereau en 1950.

8- Publicité Soletanche en 1948.

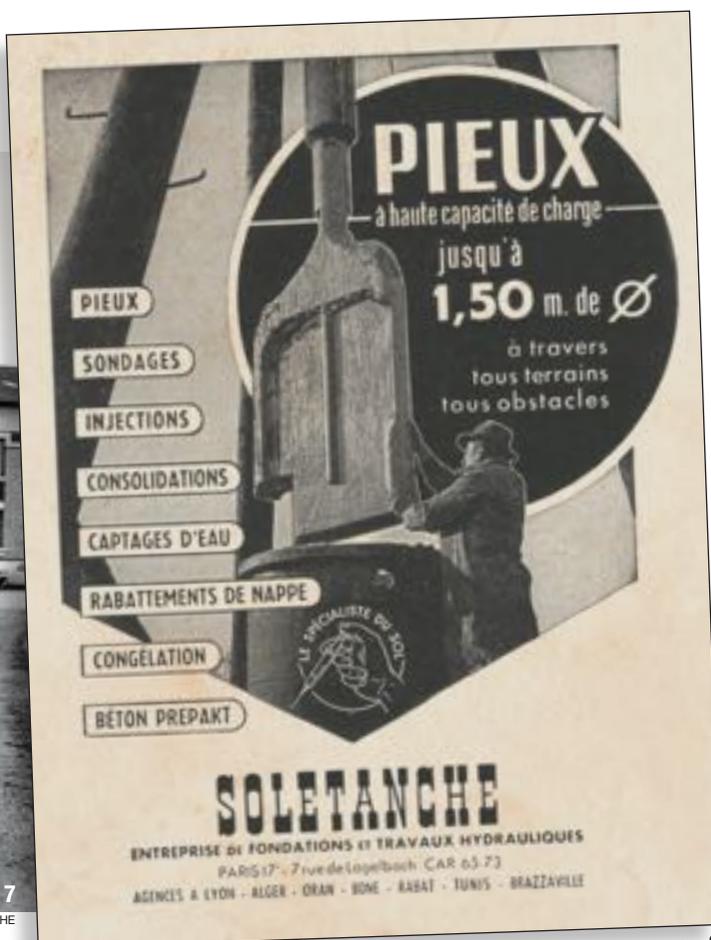
visant la sécurité des personnes et la qualité du travail. Une grande entreprise doit imposer ces pratiques dans tous les domaines et surtout sur ses chantiers et dans ses dépôts, où le risque d'accident physique est évidemment de loin le plus grand. Le balai est un

des premiers instruments de prévention. Rappelons au passage - on ne le répètera jamais assez - le danger élevé qui résulte de l'usage du téléphone portable pendant le travail en milieu exposé, y compris à l'intérieur d'un atelier.



7

© SOLETANCHE



© SOLETANCHE 8



9

© SOLETANCHE BACHY



© MORCENH+ALER

10

OLIVIER TERRIER, DIRECTEUR DU SME

Ce grand garçon de 50 ans (figure 10), d'allure dynamique et avenante, est marathonien et amateur de bière, deux qualités qui sont autant d'excellents gages d'endurance et de convivialité. Ingénieur des Mines de Douai, il a, sur le tard, enrichi sa formation par un diplôme DPME (Dirigeant de PME) à l'Institut Français de Gestion.

Sa carrière se déroule pour l'essentiel dans des entreprises et des métiers liés au matériel mécanique. Il accèdera rapidement à des fonctions de développement puis de direction commerciale et de direction tout court. Les trois grandes étapes de son cursus professionnel sont : 5 ans chez Haemmerlin, 18 ans chez Liebherr, et maintenant chez Soletanche Bachy qu'il a intégrée en avril 2017. C'est en qualité de VSNE (Volontaire du Service National en Entreprise) qu'il met le pied chez Haemmerlin GmbH, qui l'embauchera et où il commencera sa belle carrière, avec le titre de directeur du département levage dans la maison-mère, implantée en Alsace.

Plus tard, chez Liebherr, le grand fabricant allemand de matériel de levage et d'engins de travaux publics, il commence en Autriche comme directeur des ventes France de Liebherr-Werk Nenzing GmbH, dans le domaine de la distribution d'engins de travaux publics, dont il prendra la direction de la filiale française, ce qui l'amènera à revenir en Alsace.

Un de ses grands clients est... Soletanche Bachy. Le voilà à présent, après avoir quitté Liebherr, directeur du SME (Service Matériel EuroFrance) à Montereau-Fault-Yonne, là-même où Napoléon battit les Autrichiens en 1814 (décidément le monde est petit).

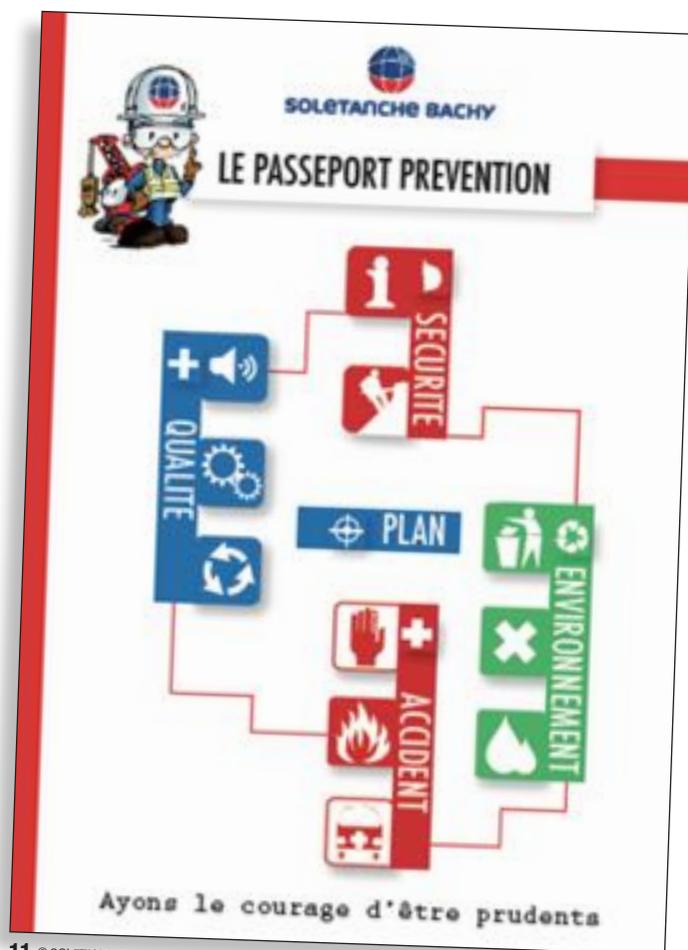
Dans le foyer rayonnant de la fonction matériel de Soletanche Bachy où il règne désormais, le moins qu'on puisse dire est qu'il n'est pas professionnellement dépaysé.

9- Vue aérienne du site en 2018.

10- Olivier Terrier, directeur du SME.

11- La couverture du « passeport prévention » remis à toute personne présente sur le site.

Le risque d'accident mortel par défaut d'attention à cause du téléphone est, hélas, avéré. Le site est certifié ISO 9001, OHSAS18001 et ISO 14001. Sur le parc en plein air (figure 13), c'est grand, c'est aligné, c'est propre. Et c'est impressionnant surtout quand on pense que les machines sont pour la plupart en opération sur les chantiers. En parcourant les parties couvertes, on traverse les différents ateliers, chacun dédié à une spécialité technique (figures 12 et 14 à 19). ▷



11 © SOLETANCHE BACHY



12

© SOLETANCHE BACHY

Il y règne une ambiance curieusement sereine pour un arsenal, qui tiendrait plutôt de celle des ateliers d'Aston-Martin. Bon éclairage, bonne température, postes de travail cloisonnés. Il ne manque que la musique. Les ouvriers sont affairés, mais calmement, et paraissent à l'aise. Beaucoup d'entre eux sont jeunes. Le sol est propre, les combinaisons aussi. Où est passé le cambouis ? Serait-on dans la proche banlieue du nirvana ? Chaussures de sécurité, casque, lunettes, gants, protections auditives,

chaque bipède, y compris le touriste de passage, porte son EPI (équipement de prévention individuelle). Signe des temps, les murs ne sont plus guère égayés par les fameux calendriers qui ont alimenté les fantasmes des générations passées. On dénombre cinq ateliers : petite mécanique et moteurs, grosse mécanique, chaudronnerie, électricité, électronique. En plus le site comporte une cabine de grenailage et de peinture dont la dimension généreuse permet d'accueillir, pour lui refaire une beauté,

12- Chaudronnier à l'œuvre.

13- Vue d'une partie du parc en plein air.

14- Châssis supérieur en préparation à l'Atelier Maintenance mécanique.

15- Fraise en transit pour un "repoufrage de nez".

16- Atelier Construction.

une tourelle de grue sur ses chenilles. Ceci témoigne du souci de la bonne présentation du matériel, dont on sait qu'elle produit des effets positifs autant sur l'image de l'entreprise perçue par ses clients et le public que sur la fierté des collaborateurs, animés par le goût du travail bien fait.

Le département STM (Service Technique Matériel) de la direction technique de Soletanche Bachy conçoit les engins nouveaux ou les améliorations des engins existants (figures 20 et 21).



13

© DOMINIQUE BRUNEAU POUR SOLETANCHE BACHY



14

© SOLETANCHE BACHY



15

© SOLETANCHE BACHY



16

© SOLETANCHE BACHY



© SOLETANCHE BACHY
17

Il travaille pour répondre aux souhaits des opérationnels, qui sont les mieux placés pour définir de quels outils ils ont besoin. Il travaille également à la conception des outils nouveaux destinés mettre en œuvre des techniques innovantes conçues par les ingénieurs de R&D (figures 22 à 26).

Une entreprise de la taille de Soletanche Bachy, opérant dans le monde entier, est un immense et fécond creuset où circulent et se partagent les pratiques, les expériences, les tours de

17- Préparation des équipements électriques de chantier.

18- Montage à blanc des équipements.

19- Zone préparation métaux.

20- Hydrofraise compacte HC05 pour travail sous hauteur limitée.

21- Assemblage avant départ sur chantier.

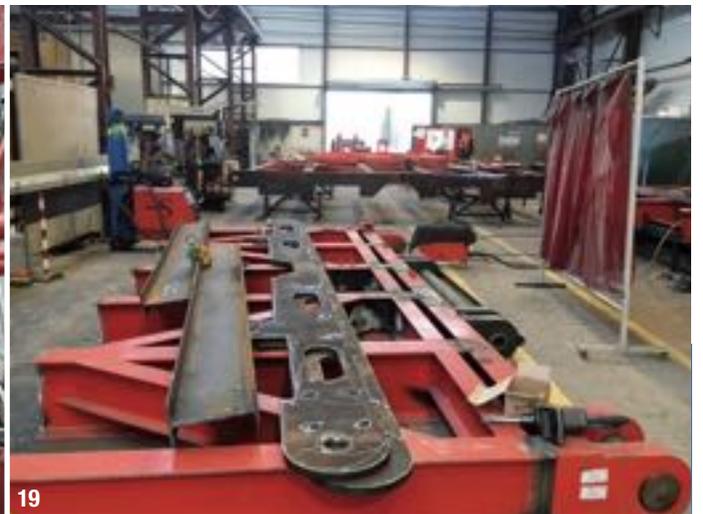
main, les idées créatives. La synergie est totale. L'émulation est vivifiante. Ce groupe jouit d'une culture aux racines anciennes et de riches ressources intrinsèques, qualités qui marquent la différence avec ce qui peut être produit à partir de rien avec seulement des capitaux, en achetant des machines avec leur manuel d'utilisation et des opérateurs de passage. L'esprit de famille qui règne encore dans cette société malgré la taille qu'elle a atteinte, tous les collaborateurs la ressentent et

y puisent équilibre et sécurité. Certains qui ont été tentés de s'en éloigner sont souvent vite revenus.

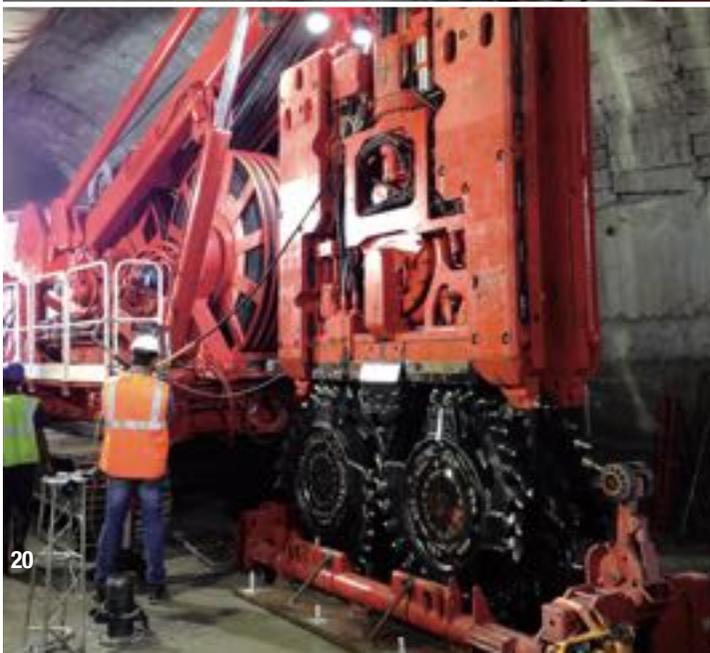
Olivier Terrier est le directeur du SME, à savoir le Service Matériel EuroFrance dédié à la France, Monaco, la Belgique et les DOM-TOM. D'autres organisations pour la gestion du matériel existent dans le groupe, notamment pour les Grands Projets, au Royaume-Uni, à Hong Kong, en Espagne, dans certaines filiales comme Soletanche Bachy Pieux ou Balineau, etc. ▷



© SOLETANCHE BACHY
18



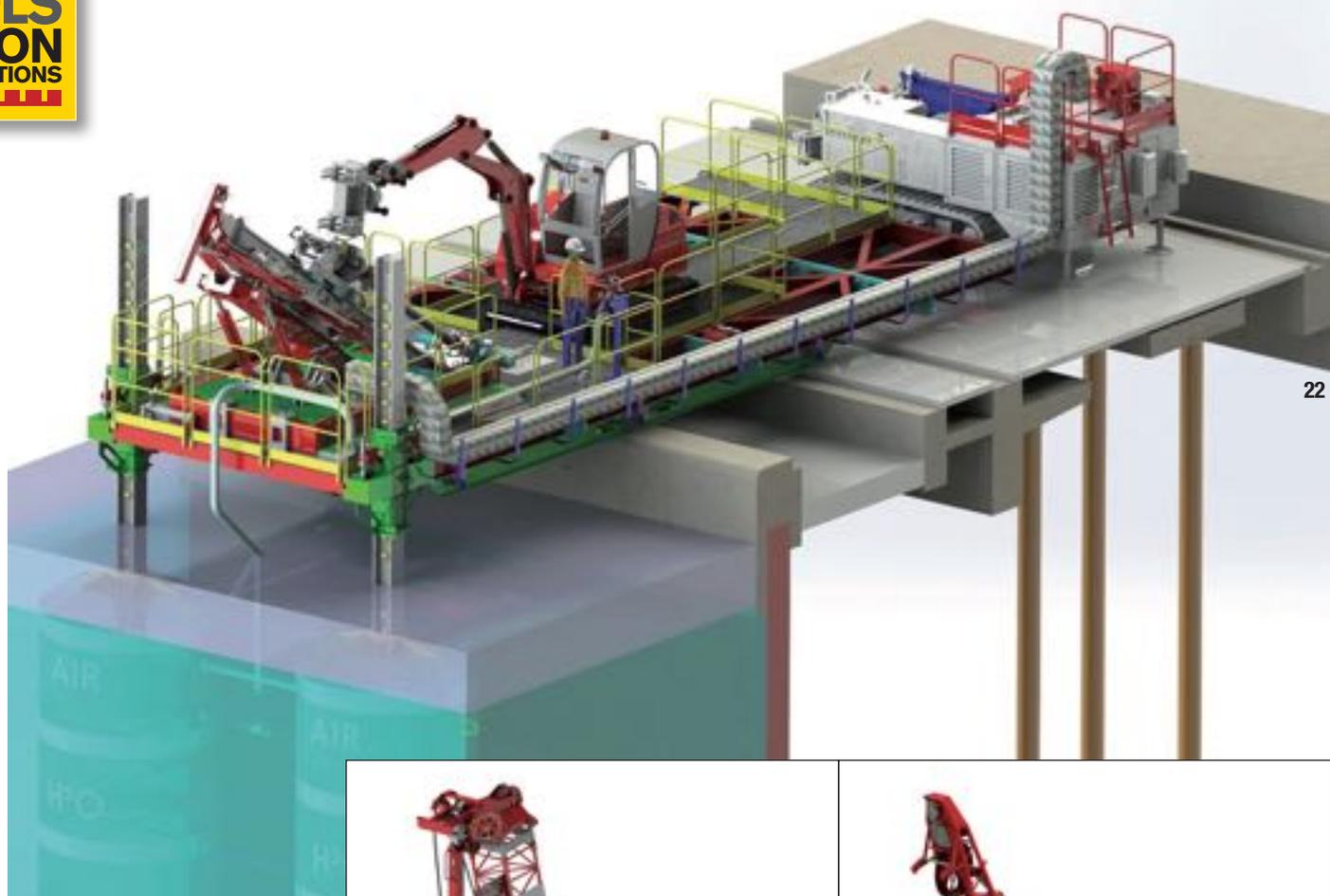
19



© SOLETANCHE BACHY
20



21



22

© SOLETANCHE BACHY

Le SME assure, à la demande, la préparation, la maintenance et la réparation de matériels des autres entités. Selon la logique industrielle moderne, c'est à partir de composants disponibles sur le marché que sont assemblées les machines fabriquées à Montereau, certains éléments pouvant être façonnés sur mesure si besoin, soit en interne, soit chez des sous-traitants. On ne part plus du minerai de fer pour commencer la fabrication d'une foreuse.

Les mécaniciens de chantier qui assurent l'entretien et la réparation des machines sur les chantiers remplissent une fonction très importante dont dépend directement la production. En prévision de la demande pour les chantiers du Grand Paris Express, le SME vient d'augmenter ses effectifs dans cette qualification, à hauteur de 70 mécaniciens.

Comme on a pu le déduire de ce qui précède, Olivier Terrier se déplace souvent à travers le monde et sa carrière lui a donné une bonne maîtrise des langues. Il aurait donc pu conclure aussi bien en allemand ou en anglais qu'en français. Voici, dans la langue de Molière, son mot de la fin : « *Notre mission est d'exécuter les opérations de routine avec autant de soin que si elles étaient exceptionnelles et les opérations exceptionnelles avec autant d'aisance que si elles étaient de routine.* » Et il nous sert au passage une anadiplose (ce n'est ni une maladie ni une curiosité technologique, mais une exquise figure de rhétorique). □



23



24

© SOLETANCHE BACHY



25



26

© SOLETANCHE BACHY

22 à 26- Différentes modélisations 3D.

LES MOYENS DE SOLETANCHE BACHY

EFFECTIF GROUPE : 12 000 dont 1 000 en France
EFFECTIF TOTAL EMPLOYÉ SUR LE SITE DE MONTEREAU : 165
EFFECTIF SME : 179 dont 121 à Montereau
PARC MATÉRIEL GROUPE : 1 000 engins à moteur



ArcelorMittal

ArcelorMittal Palplanches

Solutions complètes pour vos projets de fondations spéciales
palplanches.arcelormittal.com



ArcelorMittal Commercial RPS S.à r.l.
Palplanches
66, rue de Luxembourg
L-4221 Esch/Alzette | Luxembourg
T +352 5313 3105
T +33 (0)3 82 59 11 20
palplanches@arcelormittal.com

ArcelorMittal Sheet Piling (group)



1 05 ©

PARLONS GÉOTECHNIQUE !

AUTEURS : VALÉRIE BERNHARDT, DIRECTRICE GÉNÉRALE DE TERRASOL, PRÉSIDENTE DU CFMS (COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE) - LAURIANE CHALARD, RESPONSABLE COMMUNICATION & RELATIONS PRESSE DE SYNTEC-INGÉNIERIE - FRANÇOIS DEPARDON, DIRECTEUR ADJOINT D'EGIS GÉOTECHNIQUE, ANIMATEUR DU GROUPE DE TRAVAIL CFMS « PROMOTION DE LA GÉOTECHNIQUE » - JACQUES ROBERT, EXPERT D'ARCADIS, PRÉSIDENT DU BUREAU GÉOTECHNIQUE DE SYNTEC-INGÉNIERIE

L'INGÉNIERIE RESTE PEU VOIRE MAL CONNUE DU GRAND PUBLIC EN FRANCE. A FORTIORI L'INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE, COMPOSANTE ESSENTIELLE DE LA CONCEPTION DE TOUTE CONSTRUCTION, EST UNE DISCIPLINE CONFIDENTIELLE, QUI MÉRITE POUTANT D'ÊTRE VALORISÉE À PLUSIEURS TITRES. EN EFFET, ELLE PERMET D'ASSURER LA STABILITÉ DES OUVRAGES, ELLE CONTRIBUE À LA PRÉVENTION DES RISQUES NATURELS ET À LA PROTECTION DE NOTRE ENVIRONNEMENT, ET ELLE PROPOSE UNE LARGE PANOPLIE DE MÉTIERS ET DE DÉBOUCHÉS AUX ÉTUDIANTS QUI S'INTÉRESSENT À LA CONSTRUCTION EN LIEN AVEC LES SCIENCES DE LA TERRE. UNE DISCIPLINE QUI GAGNE DONC À ÊTRE CONNUE !

LA GÉOTECHNIQUE, DISCIPLINE (TROP) CONFIDENTIELLE

« *On ne commande à la nature qu'en lui obéissant* », disait Francis Bacon (1561 - 1626). Ce jugement souligne bien l'étroite relation qui existe entre tout être humain et la nature qui constitue son cadre de vie.

La géotechnique étudie les terrains sous nos pieds, soit pour réaliser un ouvrage ou un aménagement de surface, soit pour exploiter des matériaux ou les eaux souterraines, soit encore pour prévenir les risques naturels ou contribuer à la préservation de l'environnement : elle est donc omniprésente dans notre vie, et a tout pour être

reconnue du grand public. D'autant que l'ignorer conduit souvent à des conséquences désastreuses : le rappel à l'ordre n'est pas toujours aussi clément que celui illustré par la figure 3.

Et pourtant, la géotechnique est par nature invisible, puisque les ouvrages auxquels elle s'intéresse sont souterrains pour la plupart.

Son caractère confidentiel est sans doute lié aussi à la complexité des aspects qu'elle recouvre et à la diversité des métiers qu'elle propose. En effet, la géotechnique est à la fois science de la terre et science de l'ingénieur : elle fait appel à l'observation, à l'expérimentation, aux calculs, au raisonnement inductif et déductif.

1- Table-ronde lors de la demi-journée CFMS / FNTP-UMTM / SYNTEC INGENIERIE du 28 novembre 2017 : " REX sur la norme des missions géotechniques NF P94-500 ".

2- Action de communication " Parlons géotechnique ".

3- L'importance des investigations géotechniques.

1- Roundtable discussion during the CFMS / FNTP-UMTM / SYNTEC INGENIERIE half-day of 28 November 2017: "Feedback on the geotechnical work standard NF P94-500".

2- "Let's talk geotechnics" communication campaign.

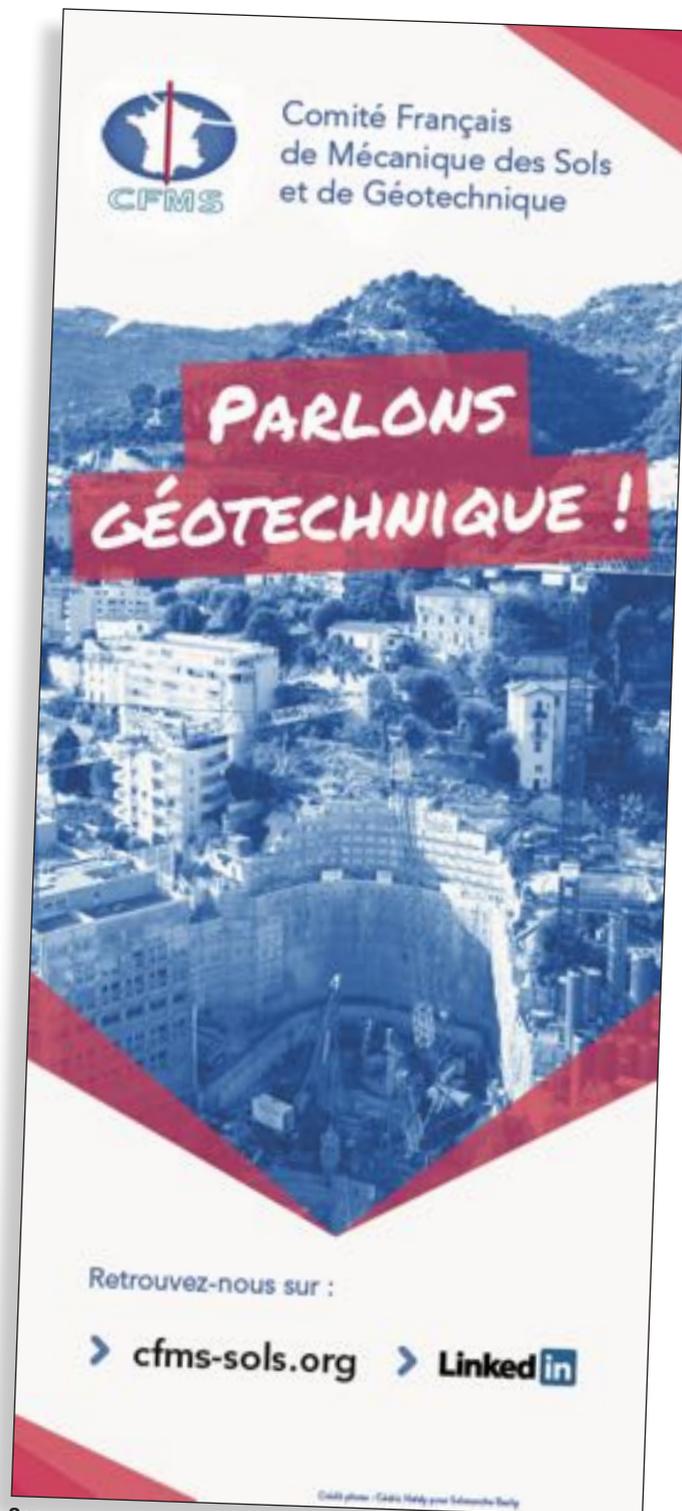
3- The importance of geotechnical investigations.

Il faut donc mobiliser toutes les énergies pour faire la promotion de l'ingénierie géotechnique. Il en est d'ailleurs de même plus largement pour l'ensemble de l'ingénierie, qui fournit des prestations intellectuelles pourtant indispensables à toute activité humaine.

LA PLACE DE LA GÉOTECHNIQUE DANS L'ACTE DE CONSTRUIRE LE CONSTAT

Le constat est malheureusement partagé au sein de la profession géotechnique : le rôle du géotechnicien, ou de l'ingénierie géotechnique, n'est pas toujours (assez) reconnu par les différents intervenants de l'acte de construire : maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, architectes, ingénieries en génie civil, entreprises, etc.

La géotechnique est une composante fondamentale du génie civil et pourtant elle a souvent été cantonnée à la réalisation de sondages de reconnaissance et d'études de sols permettant d'établir un modèle géotechnique du site de construction. La conception des ouvrages géotechniques est parfois limitée à un avant-projet sommaire de fondations, les paramètres géotechniques établis par le géotechnicien étant utilisés dans la suite du projet par des non-géotechniciens, parfois dans des conditions inappropriées.



2 © CFMS



3 © ARCADIS

Or les domaines couverts par l'ingénierie géotechnique sont bien plus larges, tant par la nature des ouvrages concernés (fondations, soutènements, terrassements, interaction sols-structures, tunnels et ouvrages souterrains, ...), que par les types de missions auxquelles le géotechnicien doit être associé : prise en compte des risques naturels, impacts du projet sur l'environnement et les ouvrages avoisinants, gestion des risques, conception en interaction avec l'ingénierie des structures, optimisation des aspects coûts/qualité/délais... Plus le géotechnicien intervient en amont des projets et plus il est mobilisé tout au long du projet, en interface avec les autres acteurs, et mieux il sera en mesure d'apporter sa contribution essentielle aux projets. De plus, l'ingénieur géotechnicien est appelé à prendre sa part de réflexion quant aux enjeux sociétaux : réutilisation des ressources naturelles telles que les déblais de chantier, développement de matériaux/procédés nouveaux et innovants, impact du changement climatique en termes de risques naturels par exemple (instabilités de terrains, effets de la sécheresse, inondations...), énergies nouvelles telles que la géothermie, etc.

Il y va donc de l'intérêt général de valoriser le rôle de l'ingénierie géotechnique dans la conception globale des ouvrages et ce bien au-delà de la conception des seules fondations.

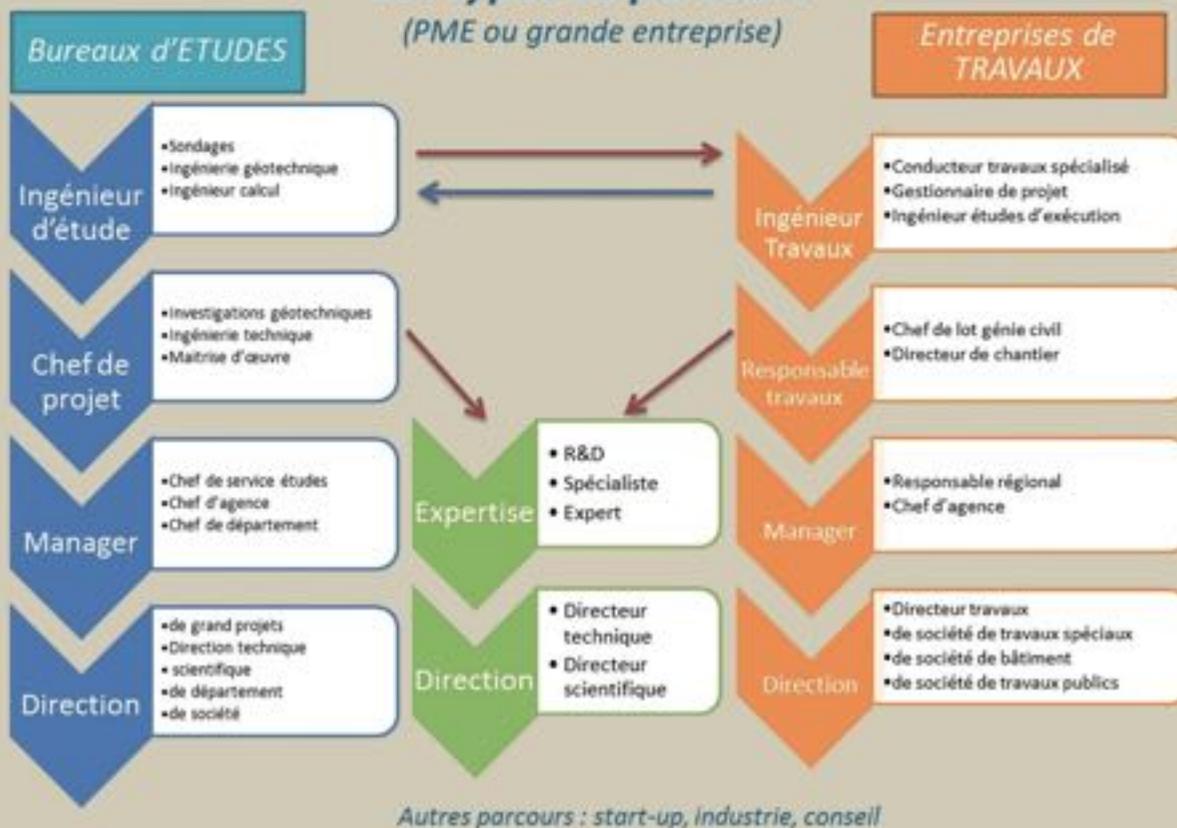
UNE ÉVOLUTION POSITIVE GRÂCE À LA NORME DÉFINISSANT LES MISSIONS D'INGÉNIEURIE GÉOTECHNIQUE

Heureusement, l'apport de la norme française sur les missions d'ingénierie géotechnique (NF P94-500, dans sa version de novembre 2013) a permis un progrès certain dans ce domaine et de réels changements d'attitude des acteurs de la construction.

Cette norme identifie clairement les missions d'ingénierie géotechnique nécessaires à la gestion du risque depuis la conception jusqu'à la réalisation d'un projet (missions G1 en phase préliminaire, G2 en phases avant-projet et projet, G3 pour l'entreprise et G4 pour le maître d'ouvrage en phase travaux), et insiste notamment sur le nécessaire enchaînement de ces missions tout au long du projet.

Une réunion organisée le 28 novembre 2017 par le CFMS, la FNTP, l'UMTM et Syntec-Ingénierie (figure 1) a permis de rassembler environ 200 participants - maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, ▷

Les types de parcours (PME ou grande entreprise)



ingénieries géotechniques, entreprises, contrôleurs techniques et assureurs - pour partager différents retours d'expérience sur l'application de cette norme. Si le consensus est réel sur l'utilité de cette norme, on note encore des réserves sur la bonne application de celle-ci. On observe par exemple régulièrement des manquements dans l'enchaînement de la totalité des missions, qui est pourtant nécessaire pour une bonne maîtrise du risque. En particulier, la phase AVP de la mission G2, généralement présente sur tous les dossiers, n'est pas toujours suivie de la phase PRO au moment du projet. C'est pourtant à ce stade que l'ingénierie géotechnique, après avoir défini les principes généraux de conception des ouvrages géotechniques en phase AVP, doit apporter ses compétences pour la conception finale et le dimensionnement des ouvrages en interaction avec le sol et doit être pleinement intégrée dans les directions de projet au même titre que l'ingénierie de structure et en interaction avec elle. Des difficultés de mise en œuvre de la norme demeurent dans des cadres contractuels spécifiques (PPP, conception-construction), mais une bonne application par tous les acteurs de la construction de sa version actuelle permet déjà de garantir une meilleure prise en compte du risque géotechnique dans la conception et la réalisation des ouvrages.

Des actions de communication, sensibilisation et formation sont donc toujours nécessaires pour que cette norme soit encore mieux appliquée par l'ensemble des acteurs de la construction.

LA PROMOTION DE L'INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE...

Le Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique (CFMS) est une association professionnelle dynamique, dont l'un des objets est justement la promotion de l'ingénierie géotechnique.

Fort des constats ci-dessus, le CFMS s'intéresse notamment aux questions suivantes :

- La place de la géotechnique et de l'ingénierie géotechnique dans l'acte de construire, et le rôle du géotechnicien dans la chaîne d'ingénierie des projets ; avec, en corollaire, l'image de la géotechnique dans les professions du bâtiment et des travaux publics.
- L'image de la géotechnique dans le grand public, et en particulier chez les jeunes, avec en perspective la perception et l'attractivité de la géotechnique dans les cursus universitaires.

Le CFMS a créé en 2015 un groupe de travail dédié à la "Promotion de la géotechnique", chargé d'établir un diagnostic de la situation, d'analyser les différentes problématiques identifiées, et de proposer des actions adaptées.

4- Extrait de la cartographie des métiers en géotechnique établie par le CFMS.

4- Excerpt from the map of geotechnics occupations established by CFMS.

Ce groupe de travail réunit des représentants du CFMS issus de bureaux d'études, d'ingénieries, d'entreprises, de contrôleurs techniques, de l'enseignement et de la recherche, et de laboratoires, ainsi que des représentants de l'USG (Union Syndicale Géotechnique) et du Bureau Géotechnique de Syntec-Ingénierie.

Le groupe de travail a identifié deux axes de réflexion principaux, d'ailleurs fortement liés :

- Comment (re)valoriser la place de la géotechnique et le rôle du géotechnicien dans l'acte de construire ?
- Comment attirer les jeunes vers le métier de géotechnicien ?

Et il est très vite apparu que la communication sur les métiers de la géotechnique, tant vers le grand public, les étudiants, les enseignants que vers le monde professionnel, constituerait un enjeu majeur.

...APRÈS DES PROFESSIONNELS DE LA CONSTRUCTION

La première action mise en place consiste à compléter les constats précédents par un diagnostic plus exhaustif.

Une enquête est ainsi en cours auprès de l'ensemble des acteurs de la construction en interface avec la géotechnique, pour mieux cerner la perception qu'ils ont de cette discipline. Nous invitons d'ailleurs tous les lecteurs de cet article à s'exprimer en répondant à cette enquête, ouverte jusqu'à fin juin 2018, et qui est disponible depuis le site Internet du CFMS (voir encadré). Par ailleurs, une réflexion s'est ouverte en parallèle sur les modalités d'exercice de la profession géotechnique au niveau européen : une étude comparative montre que les situations et évolutions sont variables selon les pays. Par exemple, l'organisation de l'activité géotechnique dans le monde anglo-saxon, où les activités de sondages sont nettement séparées des prestations d'ingénierie géotechnique, est différente de celle que nous connaissons en France. Une piste développée notamment dans les pays du nord de l'Europe consiste à renforcer les procédures de certification ou d'enregistrement des professionnels de la géotechnique, en lien avec l'enseignement, l'expérience professionnelle et la formation continue ; contrairement au système français, dans lequel ce sont



5 © DR

actuellement les sociétés qui disposent des qualifications (OPQIBI par exemple) et qui engagent leur responsabilité.

...AUPRÈS DU GRAND PUBLIC ET DES JEUNES

Une phase préliminaire de diagnostic a permis d'établir un inventaire complet des formations géotechniques en France (en distinguant les formations qui abordent la géotechnique pendant quelques heures, de celles qui dis-

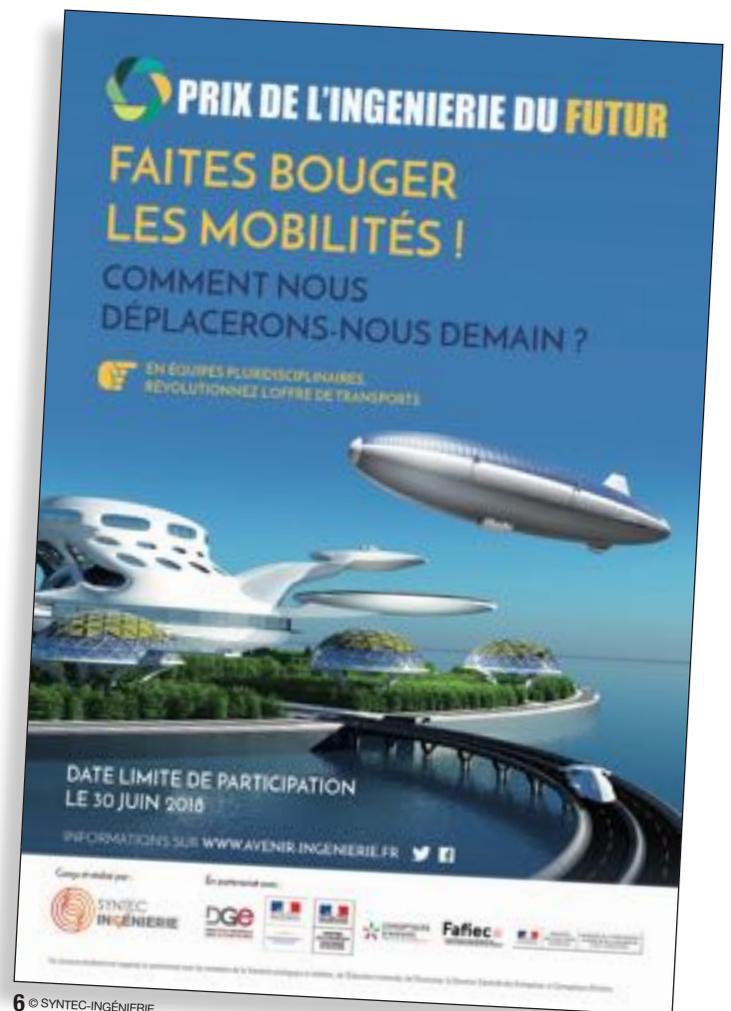
pensent un enseignement spécialisé). Une enquête est là aussi en cours auprès du corps enseignant pour préciser la perception qu'ils ont de notre profession, de ses débouchés en termes d'emplois, et des évolutions qu'ils jugent nécessaires en termes de compétences enseignées et de méthodes d'enseignement pour répondre au mieux à la fois aux besoins de la profession et aux attentes des étudiants.

Il a été établi une "cartographie" présentant les nombreux métiers de la géotechnique, les disciplines scientifiques associées, ainsi que les parcours professionnels possibles (filières études/travaux).

L'accent est mis notamment sur la diversité de nos métiers (figure 4) : sondages et essais (sur site et en laboratoire), conception et modélisation des ouvrages géotechniques, réalisation des travaux, contrôle et suivi, recherche

et développement, expertises, etc. Il ne tient qu'aux géotechniciens de mettre en avant l'attractivité de leurs métiers pour attirer les jeunes talents, en s'appuyant sur les grands projets récents et en cours, sur les grands défis de société à relever (défis énergétiques, environnementaux...), mais aussi sur la reconnaissance internationale - peu connue - de l'excellence de la géotechnique française, tant au niveau académique (enseignement / recherche), qu'au niveau pratique (savoir-faire et innovations des entreprises spécialisées, expertise des ingénieries, etc.). Les salons professionnels, fréquentés notamment par les étudiants d'écoles d'ingénieurs, sont de bonnes occasions de présenter les multiples aspects de la profession auprès des jeunes. Le CFMS a également développé un axe de communication auprès du grand public, au travers de son site Internet, d'une page LinkedIn dédiée (voir encadré), ou encore de l'exposition "Les dessous des grands travaux", au Musée des Arts et Métiers à Paris (figure 5).

Au-delà de ces opérations déjà engagées, les résultats des 2 enquêtes évoquées, dans le monde professionnel et dans celui de l'enseignement, permettront d'identifier de nouvelles pistes d'actions pour améliorer l'image de la profession géotechnique et pour mieux répondre aux attentes spécifiques des professionnels de la construction. ▷



6 © SYNTEC-INGÉNIERIE

5- Affiche de l'exposition "Les dessous des grands travaux" au Musée des Arts et Métiers.

6- Annonce du Prix 2018 de l'Ingénierie du Futur.

7- Campagne "Ambassadeurs de l'Ingénierie".

5- Poster for the museum exhibition "Les dessous des grands travaux" (What is below major works projects) at the Musée des Arts et Métiers.

6- Announcement of the 2018 Prize for Engineering of the Future.

7- "Engineering Ambassadors" campaign.



© SYNTEC-INGÉNIERIE 7



8 © SYNTEC-INGÉNIERIE

Des mesures correctives de communication seront proposées pour mieux illustrer ce que l'ingénierie géotechnique peut apporter aux projets et à la société en général.

SYNTEC-INGÉNIERIE SE MOBILISE POUR PROMOUVOIR LES MÉTIERS DE L'INGÉNIERIE

Au-delà des actions de promotion de l'ingénierie géotechnique menées par le CFMS en lien avec l'USG et le Bureau Géotechnique de Syntec-Ingénierie, Syntec-Ingénierie se mobilise pour la promotion des métiers de l'ingénierie en général.

En effet, avec 53 000 recrutements engagés en 2017, les entreprises d'ingénierie constituent un secteur dynamique et créateur d'emplois. Pourtant, là aussi, le constat est partagé : l'ingénierie reste peu voire mal connue du grand public. Pour valoriser plus largement la profession, ses métiers et ses débouchés, les entreprises d'ingénierie mènent de nombreuses actions en propre et à travers leur fédération professionnelle.

Chaque année, Syntec-Ingénierie organise des événements à Paris et en régions pour mieux faire connaître la profession. Parmi ceux-ci : des forums entreprises/étudiants et jeunes diplômés, des ateliers et conférences thématiques ou encore des rencontres directement dans les écoles et sur les salons professionnels.

Ingénieristes et étudiants sont également invités à participer à deux

concours annuels : le Grand Prix National de l'Ingénierie et le Prix de l'Ingénierie du Futur. Élaborés en partenariat avec le ministère de l'Économie et le ministère de la Transition écologique et solidaire, ces concours visent à promouvoir des projets d'ingénierie d'excellence qui abordent des thématiques d'actualité. Ainsi, le concours étudiants de cette année porte sur les mobilités et invite les ingénieurs en herbe à révolutionner l'offre de transports (figure 6). De plus, Syntec-Ingénierie a lancé cette année l'opération "Ambassadeurs de l'Ingénierie" (figure 7). Cette initiative vise à permettre une meilleure connaissance du secteur et des métiers

8- Initiative "#JeSuisIngénieurE" à l'occasion de la Journée internationale des droits des femmes, le 8 mars 2018.

8- "#JeSuisIngénieurE" initiative on the occasion of International Women's Rights Day, 8 March 2018.

ÉCHANGER SUR LA GÉOTECHNIQUE

- **Sites Internet :** www.cfms-sols.org (CFMS), www.geotech-fr.org (Géotechnique francophone), et www.issmge.org (SIMSG, Société Internationale de Mécanique des Sols et de Géotechnique).
- **Sur LinkedIn :** <https://www.linkedin.com/company/11030822/> (CFMS).
- **Sur YouTube :** https://www.youtube.com/channel/UC8eao6jhpXz4Eo_2aPVSEuA (CFMS).
- **Pour le grand public :** <http://www.cfms-sols.org/presentation/la-geotechnique-cest-quoi> et <https://www.linkedin.com/showcase/11214475/>.
- **Exposition " Les dessous des grands travaux " au Musée des Arts et Métiers à Paris (de l'été 2013 à l'été 2018).**

Les enquêtes du CFMS évoquées dans cet article (auprès des professionnels de l'acte de construire et des enseignants) sont accessibles via le site web du CFMS www.cfms-sols.org.

Enfin, retrouvez les Ambassadeurs de l'Ingénierie sur le site Internet de Syntec-Ingénierie : www.syntec-ingenierie.fr.

de l'ingénierie, en s'appuyant sur un réseau de volontaires. Leur mission : promouvoir l'ingénierie auprès des étudiants dans les écoles, sur les salons, forums..., mais aussi réfléchir aux moyens à mettre en œuvre pour améliorer la connaissance des métiers (projets et supports de communication). À noter également que Syntec-Ingénierie s'engage à encourager la féminisation de la profession et à susciter de nouvelles vocations chez les jeunes et les étudiants. Aujourd'hui, seul 1 ingénieur sur 3 est une femme, alors qu'en filière scientifique, on compte 50% de jeunes filles jusqu'au baccalauréat. À l'occasion de la Journée internationale des droits des femmes, Syntec-Ingénierie a initié, en 2018, une campagne collaborative sur les réseaux sociaux. Les ingénieures, qu'elles soient étudiantes, diplômées ou professionnelles seniors ont été invitées à valoriser leurs compétences le 8 mars sous un hashtag commun #JeSuisIngénieurE. La campagne a rencontré un beau succès et a notamment suscité plus de 344 publications sur Facebook et 700 posts sur Twitter (figure 8).

CONCLUSION

Le chantier de la promotion de la géotechnique est d'actualité.

En effet, la valorisation de l'ingénierie géotechnique est aujourd'hui nécessaire dans l'intérêt de la construction au sens large, afin de concevoir des projets toujours plus ambitieux en maîtrisant les risques sur la sécurité, la qualité, le coût et les délais de

construction, tout en respectant au mieux notre environnement naturel, que nous espérons durable.

Le groupe de travail "Promotion de la géotechnique" du CFMS développe plusieurs pistes d'actions dans ce sens, et cherche d'une part à améliorer la place de la géotechnique dans les projets en favorisant une meilleure communication entre les géotechniciens et l'ensemble des acteurs de la

construction, et d'autre part à renforcer l'attractivité de cette discipline passionnante et exigeante pour permettre le recrutement de jeunes talents.

Les grands chantiers emblématiques en France, tels que les lignes LGV ou le Grand Paris Express, constituent d'excellentes opportunités pour sensibiliser les différents acteurs aux apports de l'ingénierie géotechnique en termes d'optimisation des projets et de contri-

bution à la réflexion sur les grands défis de société (enjeux énergétiques, environnementaux...).

La gestion et le suivi de plus de 6000 sondages de 60 à 90 m de profondeur, la conception de gares enterrées jusqu'à plus de 50 m de profondeur en milieu urbain dense, la réutilisation d'une partie des 45 millions de tonnes de déblais, l'exploitation d'énergie géothermique, la digitalisation des

chantiers : tels sont quelques-uns des défis que la communauté géotechnique s'attache à relever pour le Grand Paris de demain.

Rendez-vous à l'automne 2018 pour une analyse des résultats de nos enquêtes en cours, auprès des professionnels d'une part et des enseignants d'autre part, et les conclusions à en tirer en termes d'action de valorisation de la profession. □

ABSTRACT

LET'S TALK GEOTECHNICS!

VALÉRIE BERNHARDT, TERRASOL / CFMS - LAURIANE CHALARD, SYNTEC-INGÉNIERIE - FRANÇOIS DEPARDON, EGIS / CFMS - JACQUES ROBERT, ARCADIS / SYNTEC-INGÉNIERIE

The role of geotechnical engineering in projects is not now sufficiently recognised in France by the various entities involved in construction activity. Improved integration of geotechnical engineering throughout the process of works design and execution usefully contributes to risk management and project optimisation, and provides an appropriate response to major social issues. The French soil mechanics committee CFMS (Comité Français de Mécanique des Sols) has acted energetically to promote geotechnical engineering with the various construction players. In parallel, the CFMS is developing its promotion activities with the general public and young people, in order to enhance the appeal of this occupation. These activities are supported by the efforts deployed by Syntec-Ingénierie for the promotion of engineering activities in general. □

¡HABLEMOS DE GEOTÉCNICA!

VALÉRIE BERNHARDT, TERRASOL / CFMS - LAURIANE CHALARD, SYNTEC-INGÉNIERIE - FRANÇOIS DEPARDON, EGIS / CFMS - JACQUES ROBERT, ARCADIS / SYNTEC-INGÉNIERIE

Actualmente, el papel de la ingeniería geotécnica en los proyectos no está suficientemente reconocido en Francia por los distintos actores de la construcción. La ingeniería geotécnica, mejor integrada a lo largo del desarrollo del diseño y la ejecución de las obras, contribuye útilmente al control de los riesgos y la optimización de los proyectos, al tiempo que aporta una respuesta pertinente a los grandes desafíos sociales. El Comité Francés de Mecánica de los Suelos (CFMS) se ha movilizado para promocionar la ingeniería geotécnica ante los diferentes actores de la construcción. Paralelamente, el CFMS desarrolla otras acciones de promoción dirigidas al público general y los jóvenes para reforzar el atractivo de la profesión. Dichas acciones se apoyan en la actuación de Syntec-Ingénierie para la promoción de los oficios de la ingeniería en general. □

KIF
KRINGS INTERNATIONAL FRANCE

BLINDAGE DE TRANCHÉES - LOCATION/VENTE

SIÈGE SOCIAL 📍
55 ROUTE D'ALLAUCH
13011 MARSEILLE, FRANCE.

PHONE / +33-491-27.10.20
FAX / +33-491-43.10.92
EMAIL : INFO@KRINGS.COM

DEPOT REGION Idf 77230 JULLY - DEPOT REGION RHONE-ALPES 69520 GRIGNY

WWW.KRINGS.COM



1

© GEOS

MINE DE SALSIGNE - TRAVAUX DE CONFORTEMENT DU BASSIN DE MONTREDON

AUTEURS : STÉPHANE CURTIL, DIRECTEUR, GEOS - PIERRE GUERIN, CHEF DE PROJET, GEOS - LAURENCE ARATHOON, CHEF DE PROJET, BRGM

DES BOUES ARSÉNIÉES ET DIVERS RÉSIDUS LIÉS AU TRAITEMENT DU MINÉRAI D'OR DE LA MINE DE SALSIGNE ONT ÉTÉ STOCKÉS DANS LE BASSIN DE MONTREDON ENTRE 1994 ET 2005. LES TRAVAUX DE CONFORTEMENT DU BASSIN DE MONTREDON AVAIENT POUR OBJECTIF DE STABILISER LA DIGUE OUEST QUI PRÉSENTAIT DES SIGNES D'INSTABILITÉ EN SURFACE AINSI QU'EN PROFONDEUR. TROIS TECHNIQUES ONT ÉTÉ MISES EN ŒUVRE : DRAINAGE SUB-HORIZONTAUX EN PIED DE TALUS, RENFORCEMENT PAR PIEUX ET PURGE SUPERFICIELLE.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

Le bassin de Montredon, localisé sur la commune de Salsigne dans l'Aude, est un ancien bassin de stockage de boues arséniées issues du traitement du minerai de la mine d'or de Salsigne. Un million de m³ de pulpes de concentrés de flottation ont été stockées à par-

tir de 1994. Entre 1999 et 2005, des déchets, résidus de traitement et déblais pollués ont été ajoutés dans le stockage. Les digues du bassin de Montredon sont constituées de matériaux marno-calcaires, schistes compactés et d'une paroi interne en argile. Initialement, l'ouvrage devait être édifié sur une vingtaine de mètres de hauteur.

**1- Vue générale
du chantier.**

**1- General view
of the site.**

Cependant, l'exploitant de l'époque a décidé, à partir de 1997, de continuer à rehausser l'ouvrage jusqu'à 27 m, afin de poursuivre la mise en dépôt des résidus de traitement. Les digues de l'ouvrage, et en particulier la digue Ouest, ont été affectées par plusieurs épisodes d'instabilité plus ou moins profonde durant ces dernières périodes

de rehaussement. À la fermeture du stockage, des glissements superficiels ont également été observés (figure 1). Depuis 2006, le Département Prévention et Sécurité Minière (Dpsm) du Brgm s'est vu confier par l'État une mission de surveillance des anciennes installations minières et de mise en sécurité des sites miniers présentant des risques vis-à-vis des populations. À ce titre, l'Unité Territoriale Après-Mine Sud (Utam Sud) gère notamment les ouvrages localisés dans le département de l'Aude en région Occitanie.

En 2007, il est constaté la persistance de mouvements profonds sous la digue Ouest du bassin de Montredon et la présence d'un mouvement superficiel en sommet de cette même digue.

La maîtrise d'œuvre complète des travaux de confortement du bassin de Montredon a été confiée à Geos Ingénieurs Conseils qui s'est associée à Ecr Environnement pour le suivi des opérations sur site.

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Le bassin de Montredon est situé dans la partie Sud-Ouest de la Montagne Noire à environ 3 km au sud de la mine d'or de Salsigne.

Il est implanté au niveau des calcaires lacustres de Montoliou (Thanétien e2a) et de la série vitrollienne sous-jacente qui sont en totale discordance sur le socle hercynien. La série vitrollienne est constituée de faciès fluvio-deltaïques : argiles vertes et rouges à nodules ou niveaux carbonatés, lentilles et chenaux argilo-graveleux. Ces formations tertiaires sont en position monoclinale avec un faible pendage vers le sud.

2- Carte géologique du secteur.

2- Geological map of the sector.

La figure 2 présente la position du bassin sur la carte géologique de Carcassonne.

En fond de bassin, la totalité des calcaires de Montoliou ont été extraits pour la construction des digues périphériques. Le bassin repose donc sur la série vitrollienne.

Suite aux différentes campagnes d'investigations menées sur le site, les formations géologiques, en place ont pu être identifiées et sont décrites ci-dessous :

→ **Argile C2** : horizon d'argilite gris-vert à brun violacé de comportement potentiellement plastique, située directement sous le bassin ;

→ **Calcaire en place L3** : calcaire dolomitique ou dolomie gris beige à blanc comportant des interlits argileux, repéré sous la digue et la partie supérieure de la butée actuelle ;

→ **Argile C4** : horizon d'argilite gris-vert à brune dans lequel ont été repérés les mouvements de cisaillement ;

→ **S5** : grès dolomitique calcaire maron à noir de faible épaisseur ;

→ **Argile C6** : argile silteuse intercalée de grès, sables, marnes et roches silteuses qui s'amincit vers le nord-est ;

→ **S7** : horizon de sable ou de grès graveleux silteux, gris-vert à violet et parfois argileux ;

→ **Argile C8** : argile silteuse à sableuse du gris violet à rouge ou gris ;

→ **Argile C9** : argile ou marne dure à très dure rouge, gris-violet avec fissures très polies.

On observe, dans cette série, une forte hétérogénéité des formations en termes de granulométrie, de perméabilité et de compacité.

Les couches argileuses situées à proximité de la base du bassin peuvent être le siège de ruptures préférentielles (couche savon).

Les analyses menées dans les rapports au stade des études de faisabilité indiquent l'existence de tels phénomènes dans les couches argileuses sur la base des relevés inclinométriques.

ANALYSE DE LA STABILITÉ AVANT TRAVAUX

La digue Ouest du bassin de Montredon présentait des signes de premières instabilités qui auraient pu donner lieu à d'importants mouvements de masses sans intervention permettant de rétablir une stabilité satisfaisante.

Des instabilités étaient visibles au niveau de la partie sommitale (matériaux glissés sur la figure 3) et l'activité des inclinomètres est preuve d'une certaine instabilité d'ensemble (figure 4).

Une rétro-analyse de la stabilité de la situation avant travaux a été menée pour la partie sommitale et pour la stabilité d'ensemble en considérant un coefficient de sécurité minimal compris entre 1 et 1,5 représentatif des mouvements observés.

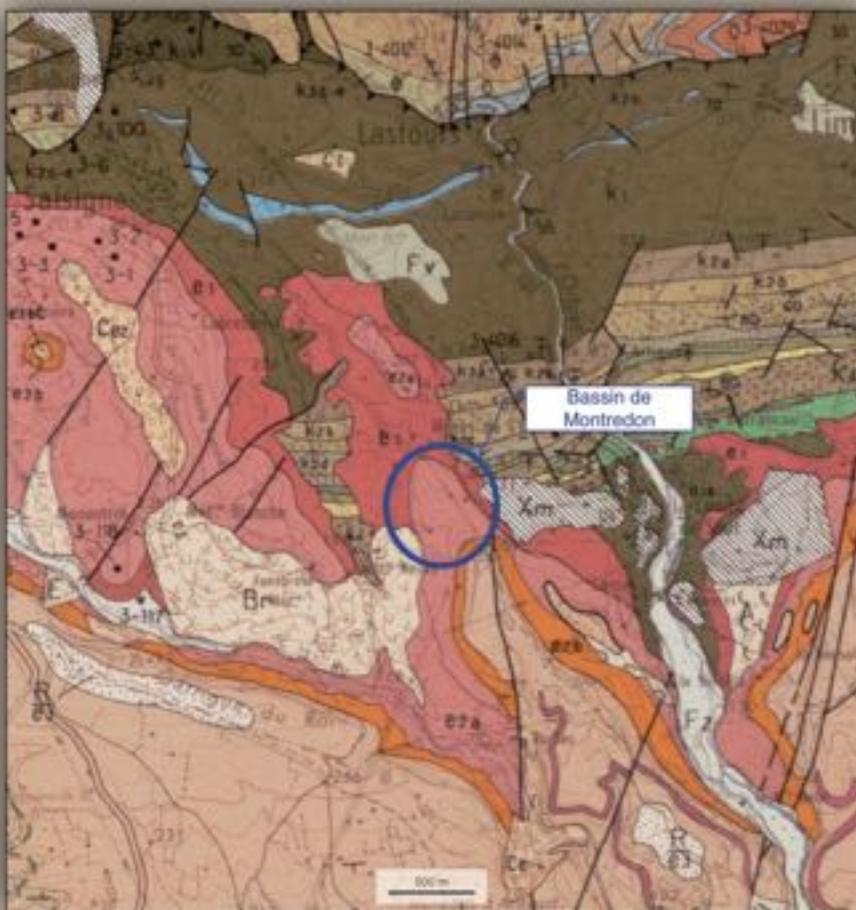
GLISSEMENT SUPERFICIELS

Les glissements superficiels observés en tête de digue sont dus à des rechargements successifs et à une pente trop importante des talus vis-à-vis des caractéristiques des matériaux constitutifs de la digue à cet endroit (matériaux argileux).

La conception initiale de la digue ne prévoyait pas une hauteur de digue si élevée.

Des infiltrations d'eau, depuis le sommet, ont également joué un rôle dans le déclenchement du phénomène. ▷

CARTE GÉOLOGIQUE DU SECTEUR





Les argiles qui constituent la digue en partie haute ne sont pas protégées des intempéries, ce qui implique une dégradation progressive des caractéristiques mécaniques et notamment de la cohésion qui va tendre vers 0. La surface de rupture étudiée correspond au glissement observé sur site.

MOUVEMENT PROFOND

Le glissement profond correspond quant à lui à de faibles déformations

détectées par les inclinomètres mis en place entre 1995 et 2005. La surface de rupture supposée se positionne dans les argiles C4 d'après les mesures inclinométriques. Cette hypothèse est plausible lorsqu'on considère les autres glissements ayant affectés le bassin de Montredon (glissement de la digue Est en 2002 dans le même type de formation).

Les rechargements successifs, une nappe haute à l'intérieur du bassin et

3- Glissement en partie sommitale.

4- Suivi inclinométrique.

3- Landslide on upper part of slope.

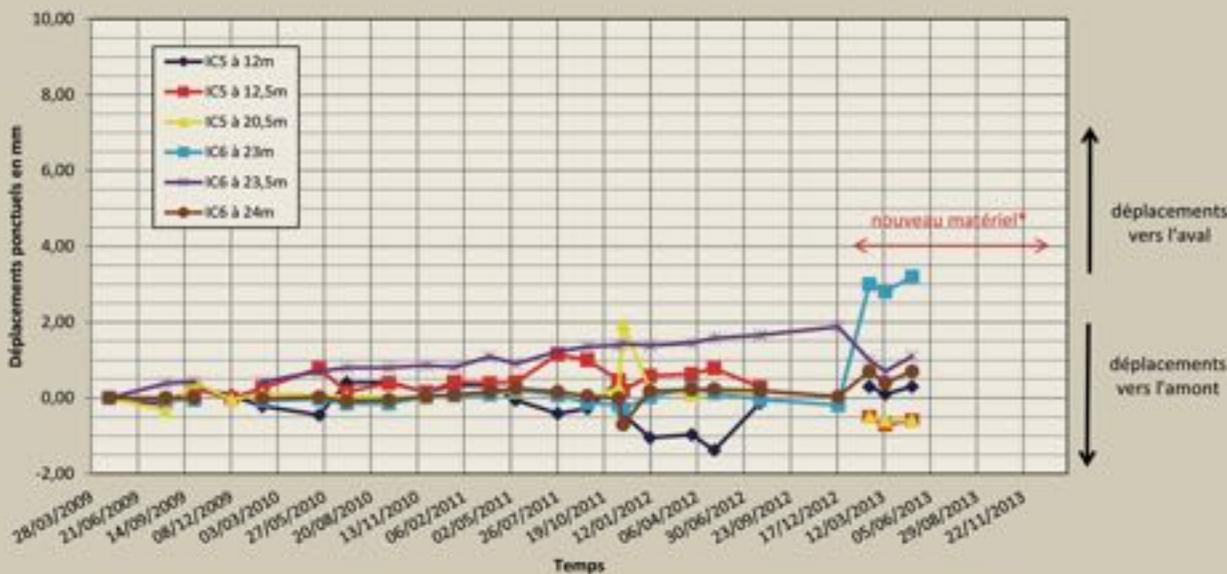
4- Inclinometer monitoring.

une nappe potentiellement en charge sous les couches argileuses sont susceptibles d'être à l'origine du déclenchement de ces mouvements de faible amplitude.

Compte-tenu des faibles déformations mesurées, on considère que la rupture n'est pas encore atteinte sur le flanc Ouest du bassin (déformations très faibles), les mouvements observés étant d'une amplitude correspondant à des ajustements des états de con-

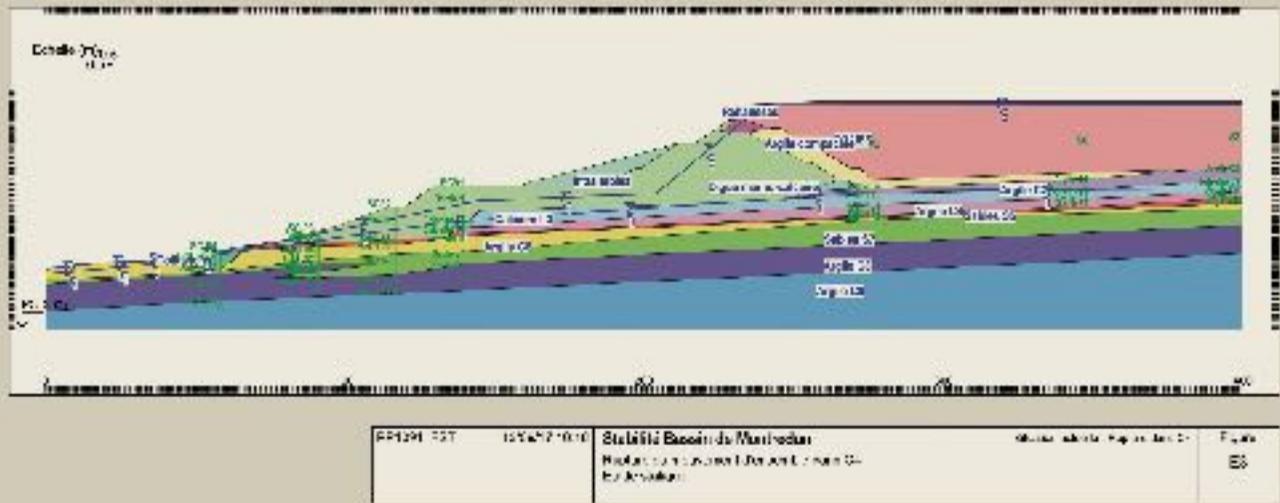
BASSIN DE MONTREDON - INCLINOMÈTRE IC5 ET IC6

Évolution en fonction du temps des déplacements ponctuels en A+A-



*résultats des campagnes de mesure effectuées avec un nouveau matériel comparés à la mesure de référence d'avril 2009 : analyse indicative à interpréter avec précaution; Les valeurs a priori non représentatives, de décembre 2012 (Ginger CIBTP) sur IC5 n'ont pas été intégrées

CALCUL DE STABILITÉ EN RÉTRO-ANALYSE



traînée dans un site ayant un niveau de stabilité précaire.

Conformément aux observations faites sur les piézomètres de suivi de la nappe d'accompagnement des boues au sein du bassin, l'analyse (figure 5) a été réalisée en considérant une nappe haute dans le bassin avec une densité élevée compte tenu de la présence de matériaux lourds dans les boues.

DIMENSIONNEMENT DE LA SOLUTION DE CONFORTEMENT GESTION DE LA NAPPE EN CHARGE SOUS LES ARGILES

L'eau joue un rôle moteur dans le phénomène de glissement observé, en particulier parce que la nappe est potentiellement en charge sous les horizons argileux C4 et C6.

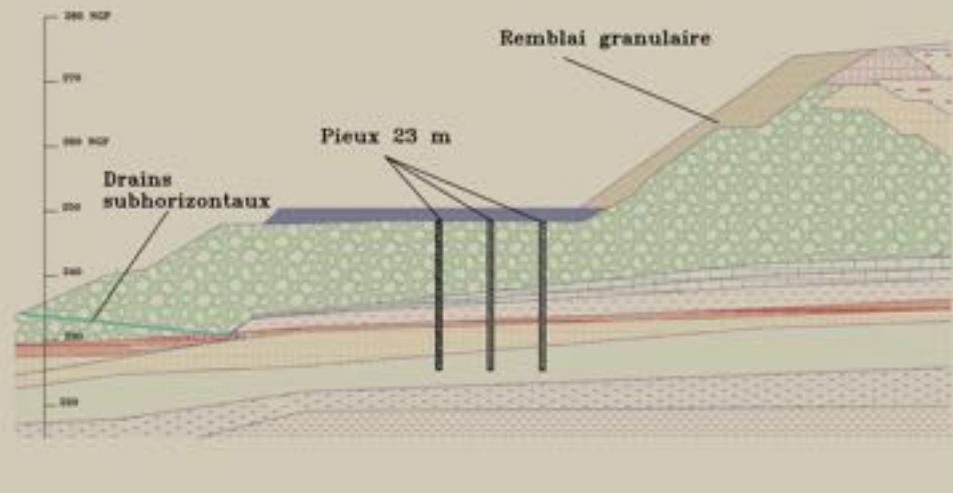
La solution retenue ne comporte pas de chargement du versant par apport massif de matériaux, et ne devrait donc pas induire d'augmentation des pressions hydrostatiques.

Néanmoins, l'installation d'un système de drainage est préconisé en pied de butée existante dans l'objectif de favoriser les écoulements qui s'établissent difficilement dans cette zone.

Cela permettra d'éviter la mise en charge de la nappe située dans les horizons sableux lors d'épisodes pluvieux et participera ainsi à la sécurisation du versant.

Il est proposé la mise en œuvre d'un système composé de 20 drains sub-horizontaux de 15 à 35 m de longueur, répartis sur la largeur du pied de butée (espacement de 8 m entre chaque drain).

SOLUTION TECHNIQUE RETENUE



5- Calcul de stabilité en rétro-analyse.

6- Solution technique retenue.

5- Stability calculation by retro-grade analysis.

6- Technical solution adopted.

CONFORTEMENT POUR LA STABILITÉ GLOBALE

La solution retenue (figure 6) consiste à clouer la masse instable sur le substratum fixe à l'aide d'éléments résistants. Une stabilisation par des clous de faible inertie, résistant principalement à la traction et placés subhorizontalement n'était pas envisageable compte-tenu

de la profondeur de la surface de glissement et de l'importance des masses en mouvement. Un renforcement par pieux de grande rigidité était donc plus adapté à la cinématique du glissement. Ceux-ci ont été mis en œuvre perpendiculairement à la surface de glissement et travaillent essentiellement en flexion/cisaillement compte tenu de leur importante inertie.

L'analyse de stabilité sous Geostab a permis d'évaluer les efforts mobilisés dans les pieux à la rupture par la méthode du multicritère. Le calcul utilise l'ensemble des critères de rupture des interactions sol-inclusion.

L'espacement retenu de 4,0 m permet de se prémunir de l'incertitude liée à la verticalité des pieux. La réalisation de pieux à 23 m de profondeur dans des sols pouvant comporter des blocs risque de connaître des écarts de tra-

jectoire et ainsi obtenir des rapprochements/écartements de pieux modifiant de manière non négligeable le comportement du renforcement localement. Les pieux retenus en phase conception ont les dimensions suivantes :

- Diamètre : 800 mm ;
- Longueur : 23 m ;
- Armature : HEB 500 ;
- 3 lignes de pieux espacées de 8 à 10 m ;
- Espacement de 4 m entre deux pieux d'une même ligne.

Compte tenu de l'hétérogénéité des matériaux rencontrés et notamment la présence d'horizons calcaires, il a été envisagé au stade des études la réalisation de pieux forés avec tubage des formations instables. Cette technique est bien adaptée à la nature des terrains et permet une mise en œuvre aisée des profilés métalliques. ▶



7

© ECR

CONFORTEMENT POUR LA STABILITÉ DE LA PARTIE SOMMITALE

La sécurisation de la partie sommitale de la digue s'effectue par la purge des matériaux glissés ou en équilibre précaire et par la mise en œuvre d'un remblai de renforcement. Cette opération vise à reprofiler le sommet de l'ouvrage de manière à garantir définitivement sa stabilité.

Le remblai est constitué de matériaux granulaires drainants.

Les caractéristiques géotechniques suivantes sont proposées :

- $c' = 5 \text{ kPa}$;
- $\phi' = 30 \text{ kPa}$;
- $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$.

RÉALISATION DES TRAVAUX

Fin 2016, le groupement Botte Fondations/Vinci Construction Terrassement est retenu pour la réalisation des travaux. Ceux-ci se sont déroulés

entre avril et octobre 2017. La stabilité du site avant travaux étant précaire, un phasage précis des travaux a été nécessaire pour garantir à tout moment la stabilité.

TRAVAUX PRÉPARATOIRES

La première étape a été la réalisation des travaux préparatoires suivants (figure 7) :

- Une plate-forme de travail avant réalisation des pieux afin d'assurer une assise et une circulation satisfaisante à la machine employée. Ils ont nécessité le dégagement provisoire de la plateforme, les matériaux purgés ont été stockés en dehors de la zone travaux puis étalés sur la plateforme après exécution des pieux.
- Une piste d'accès pour la réalisation des drains subhorizontaux. Cette piste a été conservée pour permettre l'entretien des drains.

7- Travaux préparatoires.

8- Forage des pieux.

9- Mise en place d'une cage armature.

7- Preparatory work.

8- Pile drilling.

9- Installation of a reinforcing cage.

RÉALISATION DES DRAINS

Les drains subhorizontaux ont été réalisés depuis la piste par la technique du forage Odex avec tubage du forage à l'avancement.

Les drains mis en place ont une longueur comprise entre 19 et 35 m pour un diamètre de 100 mm.

La réalisation des drains en premier lieu permet d'assurer l'absence de mise en

charge de la nappe sous les argiles à l'origine des mouvements.

Lors de l'exécution des drains, il n'a été rencontré que très peu d'eau ce qui est cohérent avec la pluviométrie très faible au moment des travaux (nappe basse). Il a toutefois été observé lors du soufflage d'un drain une remontée d'eau dans un drain voisin, signe du bon fonctionnement des drains et de la présence d'un aquifère.

Les drains sont connectés à un fossé au niveau de la piste afin de canaliser les écoulements vers le système de collecte des eaux déjà existant.

RÉALISATION DES PIEUX

Le groupement d'entreprise a proposé la mise en œuvre de pieux à la tarière creuse de diamètre 1 000 mm équipés de cage d'armature fournissant un niveau de résistance équivalent au système retenu en phase conception.



8



9

© GEOS



10

© ECR

Ce choix risqué, compte tenu de la présence d'éléments résistants (horizons calcaires), a été possible grâce à l'utilisation d'une foreuse très puissante (Fundex 2800) et de tarières de type III renforcées (figure 8).

Le forage des pieux s'est déroulé sans difficulté pour chacun des 86 pieux y compris à travers les horizons calcaires.

La technique présentait un second risque relatif à la mise en œuvre des cages d'armatures dans le béton frais sur une hauteur de 23 m.

Le groupement a dû procéder à plusieurs tests de formulation de béton afin de pouvoir assurer une bonne mise en œuvre des cages sans refus prématurés (figure 9).

Les déblais issus du forage des pieux ont été conservés sur site et répartis de manière homogène sur la plateforme en fin d'opération afin de limiter les évacuations de matériaux à l'extérieur du site (rien n'a été sorti à l'exception des déchets du chantier) et d'augmenter les forces résistantes participant à la stabilité de la digue.

10- État final après travaux.

10- End state after works.

RÉALISATION DU REMBLAI SOMMITAL

Les travaux de remblaiement (correspondant à la mise en œuvre de remblais granulaires en partie sommitale) ont été réalisés après les travaux de pieux car ils apportent une charge supplémentaire défavorable vis-à-vis de la stabilité générale. Le remblai a été mis en œuvre par le bas par couches

compactées. Les terrains glissés ont été préalablement décapés sur toute l'épaisseur décomprimée. Des redans d'ancrage ainsi qu'une bêche en pied ont été réalisés avant mise en œuvre du remblai. Les eaux drainées par le remblai sont récoltées dans la bêche et évacuées via des épis drainants.

Afin de limiter l'impact environnemental, tous les matériaux granulaires ont été produits par la carrière située au voisinage immédiat du site. Ce choix d'entreprise était en accord avec la charte environnementale du chantier. L'instrumentation existant (inclinomètres, piézomètres et plots topographiques) a été conservée dans la

mesure du possible ou remplacée le cas échéant afin de permettre de continuer à suivre les déplacements ou l'absence de déplacement des terrains suite à la réalisation des travaux.

Le site a ensuite été remis en état (figure 10) et a fait l'objet d'une végétalisation par projection hydraulique pour éviter l'érosion lors d'épisodes pluvieux. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : DREAL Occitanie

MAÎTRE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉ : Brgm

MAÎTRE D'ŒUVRE : Geos Ingénieurs Conseils / Ecr Environnement

GROUPEMENT D'ENTREPRISES : Botte Fondations / Vinci Construction Terrassement

PRINCIPALES QUANTITÉS

TRAVAUX DE DRAINAGE :

- 20 drains Ø 100 mm
- 515 m

TRAVAUX DE PIEUX :

- 86 pieux Ø 1 000 mm
- 2 000 m
- 1 700 m³ de béton
- 175 000 t d'armatures

TRAVAUX DE TERRASSEMENTS :

- 6 000 m³ de déblai
- 10 000 m³ de remblai

ABSTRACT

SALSIGNE MINE - CONSOLIDATION WORK ON THE MONTREDON BASIN

STÉPHANE CURTIL, GEOS - PIERRE GUERIN, GEOS - LAURENCE ARATHOON, BRGM

Consolidation work on the Montredon basin involved installing subhorizontal drains, reinforced piles 23m long, and granular backfill. The purpose of these works was to intercept any rise in the aquifer under the layers of clay, stabilise the dyke against the deep movement detected on the inclinometers, and restore the surface stability of the upper slope which suffered a landslide. The work has been completed and instrumentation of the site will make it possible to confirm that the movements have stopped. □

MINA DE SALSIGNE: OBRAS DE REFUERZO DE LA CUENCA DE MONTREDON

STÉPHANE CURTIL, GEOS - PIERRE GUERIN, GEOS - LAURENCE ARATHOON, BRGM

Las obras de refuerzo de la cuenca de Montredon han consistido en la instalación de drenajes sub-horizontales, pilotes armados de 23 m de longitud y terraplenes granulares. Las obras tenían como objetivo interceptar eventuales crecidas del manto situado bajo las capas arcillosas, estabilizar el dique frente al movimiento profundo observado en los inclinómetros y restablecer la estabilidad superficial de la cima del talud, que ha sufrido un deslizamiento. Las obras se han llevado a cabo correctamente y la instrumentación del emplazamiento permitirá confirmar la interrupción de los movimientos. □



1

© KELLER

PAROI MOULÉE ET BOUCHON INJECTÉ POUR UN GRAND MAGASIN À STRASBOURG (67)

AUTEURS : LEENA VEERASAMY, RESPONSABLE MARKETING, KELLER FONDATIONS SPÉCIALES - ANTHONY BARBERI, DIRECTEUR D'AGENCE STRASBOURG, KELLER FONDATIONS SPÉCIALES

KELLER FONDATIONS SPÉCIALES RÉALISE UNE PAROI MOULÉE ET UN BOUCHON INJECTÉ DANS LE CADRE DES TRAVAUX DE FONDATIONS POUR LE MAGASIN PRIMARK QUI S'IMPLANTE À L'ANGLE DU QUAI KELLERMANN ET DE LA RUE DU NOYER AU CENTRE-VILLE DE STRASBOURG. LE BÂTIMENT À QUATRE ÉTAGES SERA POSÉ SUR UN PARKING SOUTERRAIN DE TROIS NIVEAUX. SON EMPRISE AU SOL SERA D'ENVIRON 2 300 m².

LE CONTEXTE GÉNÉRAL

Le site était anciennement occupé par d'anciens ouvrages dont notamment un parking enterré sur un niveau, aujourd'hui démoli. Le projet prévoit la construction d'un bâtiment de type R+5 comportant trois niveaux de sous-sol (figure 2). Le niveau RDC du projet sera calé à la cote $\pm 0.00 = 140,35$ IGN69. Le niveau R-3 sera calé à la cote 131,5 IGN69, soit à environ 9 m de profondeur par rapport au niveau des rues actuelles. Le bâtiment sera mitoyen d'ouvrages existants. Ces contraintes ont fait l'objet de multiples cas

d'études afin de proposer un dimensionnement sur mesure.

Le site est situé dans le quartier central de l'Homme de Fer où circulent piétons, tramways, bus, automobiles et vélos (figure 1). Les ateliers ont été placés côté rue et ont nécessité un débord de 3 m. Un plan de circulation a été défini avec la ville de Strasbourg afin de réorganiser la circulation des bus et des voitures dans un sens unique, et une passerelle a été installée le long du canal pour les piétons.

Les travaux ne doivent perturber ni les riverains ni les clients des hôtels

1- Vue générale du chantier.

1- General view of the site.

voisins. Des capteurs étaient posés sur les immeubles à proximité afin de s'assurer que les bruits des travaux ne dépassaient pas les seuils d'émission autorisés. Un arrêté municipal autorisait les ateliers de l'entreprise à travailler de 07h30 à 17h30.

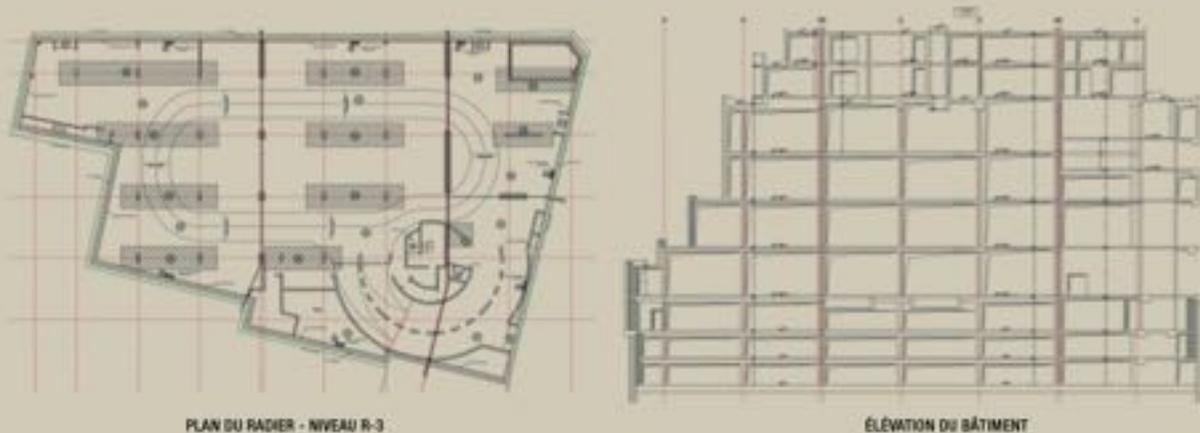
CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Les investigations géotechniques menées par Fondasol ont mis en évidence la présence de remblais surmontant localement des limons de très faible compacité, puis des alluvions graveleuses +/- sableuses de bonne à excellente compacité (figure 3).

La présence de passages sableux de très bonne compacité vers 12 m de profondeur est signalée vers les cotes 129 à 127.

Au cours des campagnes de reconnaissance, un niveau d'eau a été relevé à partir de la cote 135,6 IGN69.

VUE EN PLAN DU RADIER (NIVEAU R-3) AINSI QU'UNE ÉLÉVATION DU BÂTIMENT



PLAN DU RADIER - NIVEAU R-3

ÉLÉVATION DU BÂTIMENT

2

© KELLER

La nappe phréatique dans ce secteur est sujette à des fluctuations saisonnières.

La réglementation parasismique française indique que la commune de Strasbourg est en zone sismique de catégorie d'importance III. Par conséquent, les règles sismiques s'appliquent au projet.

TRAVAUX

Conformément aux préconisations du géotechnicien, Keller a proposé la réalisation d'une paroi moulée associée à un bouchon injecté, qui aura les fonctions suivantes :

→ En phase provisoire, ou de chantier : Soutènement des terres et reprise des poussées hydrauliques. L'écran associé au bouchon assurera l'étanchéité provisoire de la fouille.

→ En phase définitive : Soutènement des terres et reprise des poussées hydrauliques. L'écran sera dimensionné comme relativement étanche au sens du DTU 14.1. Aucun revêtement d'étanchéité n'est prévu. La paroi moulée servira également de structure porteuse en reportant les charges de la structure dans les sables et graviers très denses constituant la couche d'ancrage.

Fichée à 15 m de profondeur en bordure des trois avenues et à 12 m le long des bâtiments existants, la paroi moulée bloquera les arrivées d'eau latérales sur 225 m et le bouchon injecté, les remontées en sous-face. Le débit résiduel sera capté par quatre puits de pompage busés, puis évacué vers le Rhin. Le radier du bâtiment pourra être coulé au sec.

2- Vue en plan du radier (niveau R-3) ainsi qu'une élévation du bâtiment.

3- Sondage typique issu de la campagne géotechnique.

2- Plan view of the foundation raft (basement level 3) and elevation view of the building.

3- Typical geotechnical campaign borehole.

EXÉCUTION DES TRAVAUX DE PAROI MOULÉE

Ce procédé de soutènement et de fondations profondes a été déployé pour les murs du parking.

Keller s'installe sur le site du projet le 20 mars pour commencer à couler les murettes guides de l'atelier en bordure du quai Kellermann et le long de la rue Marbach.

L'atelier de paroi moulée, composé d'une centrale de fabrication de bentonite et d'un porteur 70 t (Liebherr

HS 8100) équipé d'une benne à câbles, est installé sur une plateforme de travail remblayée à hauteur de la rue.

Le premier panneau (figure 4) de 6,70 m de large et 0,62 m d'épaisseur est foré le 5 avril.

Au cours du forage, les parois de l'excavation sont stabilisées grâce à de la boue bentonitique.

Les panneaux de paroi moulée sont réalisés depuis deux plateformes de travail, ils descendent à la cote 124,80 NGF.

Lorsque le forage est terminé, la bentonite est envoyée vers le dessableur (figure 5) pour être recyclée. Une boue neuve ou recyclée est ensuite réinjectée dans le panneau excavé.

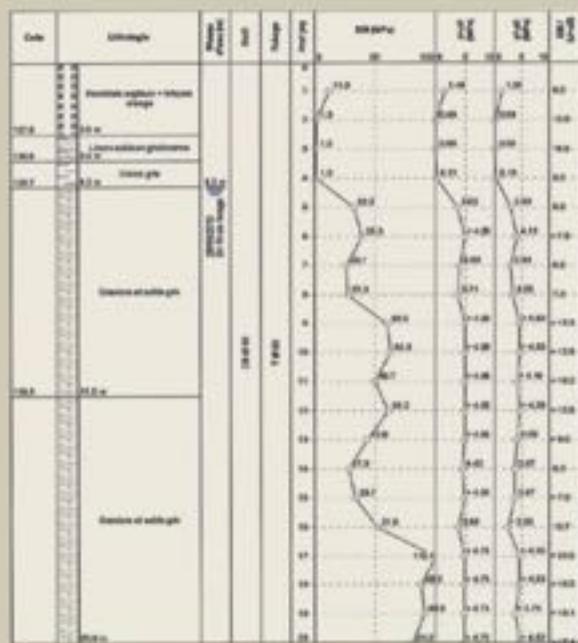
Enfin, deux profilés métalliques type porte-joints munis de bandes d'arrêt d'eau type « waterstop », ainsi que les cages d'armature de 3 m de large (figure 6), sont descendus dans le fond de fouille à l'aide d'une grue de 40 t.

Le bétonnage de la fosse est réalisé au tube plongeur. Une dizaine de toupies livrent entre 50 à 70 m³ de matériaux nécessaires au coulage de chaque panneau.

La cadence envisagée est d'un ou deux panneaux par jour. Afin de tenir le planning serré des travaux de fondations (quatre mois) et de respecter le planning global du chantier, Keller a préparé et a organisé chacune de ces opérations.

En effet, il faut gérer la co-activité avec les autres corps de métier : les terrassiers qui excaveront la boîte de fondation et les spécialistes du gros œuvre qui couleront la poutre de cou-

SONDAGE TYPIQUE ISSU DE LA CAMPAGNE GÉOTECHNIQUE



3

© KELLER



4

© KELLER

EXÉCUTION DES TRAVAUX D'INJECTION

Une fois la paroi en place, l'excavation est faite jusqu'au premier niveau de sous-sol.

Keller réalise un bouchon injecté mixte silicate-ciment provisoire d'un mètre d'épaisseur sous le futur radier. Cette technique permet les terrasse-

ments sous la nappe et limite la venue des eaux dans la fouille. Après la préparation des canules, chaque point de battage permet de mettre en place 2 points d'injections à 11,70 m de profondeur.

L'étanchéité est créée par l'injection successive d'un coulis de ciment-bentonite et de gel de silicate.

4- Excavation d'un panneau.

5- Recyclage par le dessableur.

4- Excavation of a panel.

5- Recycling by desander.

Ce bouchon mixte est plus performant qu'un bouchon réalisé en injection de coulis de ciment répétitive et sélective (IRS).

Les canules sont mises en place par une foreuse Bauer RG 19 équipée d'un vibrofonneur (Bauer MR 125 V). Le rythme élevé de mise en place permet à Keller de réaliser 1 600 points de



5

© KELLER



6

© KELLER

forage disposés sur une maille serrée (1,50 m x 1,30 m) dans les délais prévus au marché.

EXÉCUTION DES TRAVAUX DE TIRANTS D'ANCRAGE ET DE BUTONS

Une fois le bouchon terminé, les puits de pompage sont installés puis la boîte

6- Mise en place de la cage d'armature.
7- Emplacement des tirants et des butons.

6- Installing the reinforcing cage.
7- Location of anchors and struts.

est excavée jusqu'au niveau du troisième sous-sol à 10 m de profondeur, de manière à pouvoir couler le radier. En phase d'excavation, la paroi moulée est ancrée provisoirement au terrain avec une ligne de 26 tirants de 11 et 15 m (figure 7).

Les tirants d'ancrage ont été réalisés en technique auto-forante ; cela consiste

à utiliser une barre d'ancrage comme barre de forage, l'extrémité étant équipée d'un taillant perdu et l'injection étant simultanée au forage.

Chaque tirant est composé de deux parties distinctes : une partie libre où le tirant est protégé par une gaine en plastique, qui permet l'allongement du tirant au moment de la mise en tension, et une partie scellée de longueur adaptée aux caractéristiques du terrain. Dans les angles, des butons sont mis en place en remplacement des tirants. Le butonnage (figure 8) est composé de tubes métalliques de diamètre 600 mm et 800 mm soudés à des platines incorporées à la paroi moulée.

CONTRÔLES

Les points de contrôle sont mis en œuvre à chaque phase de la production. Des essais d'écrasement ont été programmés avec la société ABC (contrôle externe) afin de certifier la bonne résistance du béton utilisé pour la réalisation de la paroi moulée.

La société Rincant réalise des essais soniques sur 4 panneaux de paroi moulée.

L'ensemble des résultats atteste l'homogénéité du béton dans les panneaux et affirme leurs conformités.

Les tirants sont réalisés par l'entreprise sous-traitante Tes Technifor et testés par la société D-Géo.

Les tirants d'ancrage sont mis en tension jusqu'à la charge d'épreuve puis bloqués à une valeur de pré-tension, ▢

EMPLACEMENT DES TIRANTS ET DES BUTONS



© KELLER

7



8

© KELLER

leur conformité est confirmée par les valeurs de fluage jugées satisfaisantes (inférieur à 1,5 mm).

Un suivi topographique est également réalisé pendant le terrassement et jusqu'à la réalisation du radier pour suivre et valider les déplacements calculés.

Les déplacements mesurés sont inférieurs à 15 mm conformément à ce

qui est attendu dans la note de calculs de Keller.

MOYENS MIS EN ŒUVRE

L'équipe est composée de 10 personnes pour la paroi moulée, 7 personnes pour le bouchon injecté, 4 personnes pour les tirants et le butonnage et 2 personnes pour les finitions et le rabotage.

8- Mise en place des butons.

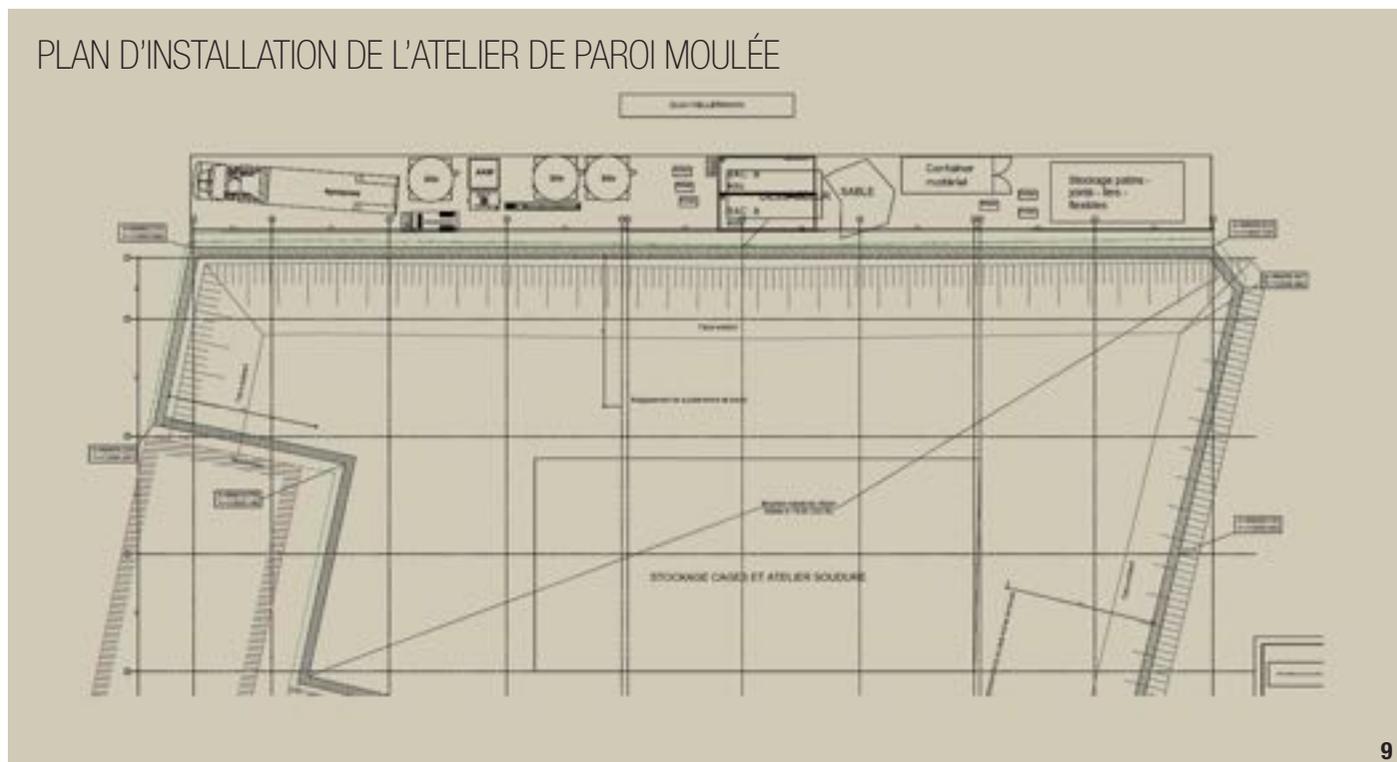
9- Plan d'installation de l'atelier de paroi moulée.

8- Placing struts.

9- Layout drawing of diaphragm wall equipment.

Deux conducteurs de travaux et un ingénieur ont préparé le projet et l'encadrent sur toute sa durée (six mois). Les matériels mis en œuvre pour la bonne exécution des travaux de paroi moulée (figure 9) sont : 1 porteur Liebherr type HS 8100 équipé d'une benne (62 cm) à câble type Stein, 3 silos à boue de 60 m³ + 1 silo à poudre de 40 m³, une station de malaxage

PLAN D'INSTALLATION DE L'ATELIER DE PAROI MOULÉE



9

© KELLER



© KELLER

de coulis type AKM, un dessableur, 7 pompes. Pour la réalisation des bouchons injectés, le matériel consiste en 1 vibrofonneur, 2 silos, 2 bacs tampons, 2 containers d'injection avec 6 pompes.

10- Vue de la fouille ouverte.

10- View of open-cut excavation.

PRINCIPALES QUANTITÉS

LINÉAIRE PAROI : 215 m
SURFACE PAROI MOULÉE VUE : 1 700 m²
PROFONDEUR DE LA PAROI : 12 à 15 m
BÉTON : 2 300 m³
ACIER : 150 t
INJECTION BOUCHON : 500 t de ciment silicate

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Financière Valim
MAÎTRE D'ŒUVRE : Denu & Paradon
BUREAU D'ÉTUDES STRUCTURES : Serue Ingénierie
BUREAU DE CONTRÔLE : Bureau Veritas
ENTREPRISE GÉNÉRALE : L'Alsacienne du Bâtiment
BUREAU D'ÉTUDES DE SOL : Fondasol
FONDATIONS SPÉCIALES : Keller Fondations Spéciales
TERRASSEMENTS : Lingenheld TP
ARMATURES : Straub GmbH
BÉTON : Eqiom Bétons
MICROPIEUX : Tes Technifor
PUITS DE POMPAGE : Delta Services

ABSTRACT

DIAPHRAGM WALL AND GROUT PLUG FOR A LARGE STORE IN STRASBOURG (67)

LEENA VEERASAMY, KELLER FONDATIONS SPÉCIALES - ANTHONY BARBERI, KELLER FONDATIONS SPÉCIALES

For the construction of a six-storey building having three basement levels, 4 metres underground below the aquifer in the Strasbourg city centre, Keller Fondations Spéciales, the French subsidiary of Keller Group, performed diaphragm wall and grout plug work by a mixed silicate-cement technique. With these processes it was possible to produce a permanent earth retaining structure and relative waterproofing - permanent for the walls, temporary for the plug - to allow execution of the infrastructure foundation raft in dry working conditions. □

PANTALLA DE HORMIGÓN Y TAPÓN INYECTADO PARA UNOS GRANDES ALMACENES DE ESTRASBURGO (67)

LEENA VEERASAMY, KELLER FONDATIONS SPÉCIALES - ANTHONY BARBERI, KELLER FONDATIONS SPÉCIALES

En el marco de la construcción de una obra P+5, con tres niveles de sótano enterrados a 4 m por debajo de la capa freática del centro de la ciudad de Estrasburgo, Keller Fondations Spéciales, filial francesa de Keller Group, ha realizado unas obras de pantalla de hormigón y tapón inyectado utilizando una técnica mixta de silicato-cemento. Estos procedimientos han permitido lograr una contención definitiva de la tierra y una estanqueidad relativa (definitiva para las pantallas, provisional para el tapón) con objeto de permitir la realización de la solera de la infraestructura en condiciones de trabajo en seco. □

CONCLUSION

Les travaux de fondations réalisés pour permettre l'excavation des infrastructures de ce bâtiment à quatre étages a donné satisfaction du point de vue des exigences du client et des contraintes liées à l'existant (figure 10). De plus, dans un contexte très urbain, la nuisance pour les avoisinants a été bien maîtrisée. La technique de paroi moulée a pour avantage d'émettre un niveau sonore modéré et pas de vibrations pendant l'exécution.

Le gros challenge technique était de rabattre l'eau de 4 m sur une surface de 2 300 m² et d'atteindre un débit d'eau résiduel très faible, inférieur à 50 m³/h. L'une des spécificités de ce chantier était de travailler sur trois niveaux. Il a fallu s'organiser et établir un phasage de terrassement avec une banquette afin de pouvoir accéder aux différentes étapes des travaux.

La présence de bâtiments avec des modes de fondations différents et la situation du chantier en hyper-centre ont conduit à adapter les travaux en conséquence. □

LA GRANDE FOUILLE URBAINE DU SPORTING D'HIVER À MONACO

AUTEUR : CHRISTINE MORLOCK, CHEF DE PROJET - INGÉNIEUR GÉOTECHNICIEN, ARCADIS

LA RECONSTRUCTION DU SPORTING D'HIVER DE MONACO A NÉCESSITÉ LA DÉMOLITION DU BÂTIMENT EXISTANT AVEC NIVEAUX DE SOUS-SOL ET LA RÉALISATION D'UNE FOUILLE D'ENVIRON 30 m DE HAUTEUR. POUR LE TERRASSEMENT DE LA FOUILLE ONT ÉTÉ RÉALISÉES DES PAROIS DE SOUTÈNEMENT ANCRÉES DE TYPE MONÉGASQUE TIRANTÉE EN TÊTE PUIS PAROI CLOUÉE. LA PARTICULARITÉ DE CETTE PAROI EST QUE LE VOILE DÉFINITIF EST RÉALISÉ AU FUR ET À MESURE DU TERRASSEMENT. LE GROUPEMENT RAZEL-BEC - JB PASTOR, ACCOMPAGNÉ D'ARCADIS EN MISSION G3 ET E&G EN BUREAU D'ÉTUDES STRUCTURE A ÉTÉ EN CHARGE DE L'EXÉCUTION DES TERRASSEMENTS GÉNÉRAUX ET DES SOUTÈNEMENTS.



1 © RAZEL-BEC

PRÉSENTATION DU PROJET ET DE SON ENVIRONNEMENT

L'infrastructure du Sporting d'Hiver à Monaco est divisée en deux parties :

→ L'infrastructure propre du bâtiment comprenant 7 niveaux enterrés soit une hauteur de terrassement de l'ordre de 30 m (FF = +19.75 NGM pour un terrain naturel variant de +45 NGM à +52 NGM) ;

→ La rampe d'accès le long du parking Boulingrins (FF = +22.90 NGM).

Le groupement d'entreprises avait à sa charge les soutènements du périmètre de la fouille indiquée sur la figure 2, soutènements qui sont en mitoyenneté avec :

→ Le parking Boulingrins au nord-est ;
→ La galerie technique de l'avenue des Beaux-Arts au sud-est ;

**1- Vue générale
du chantier.**

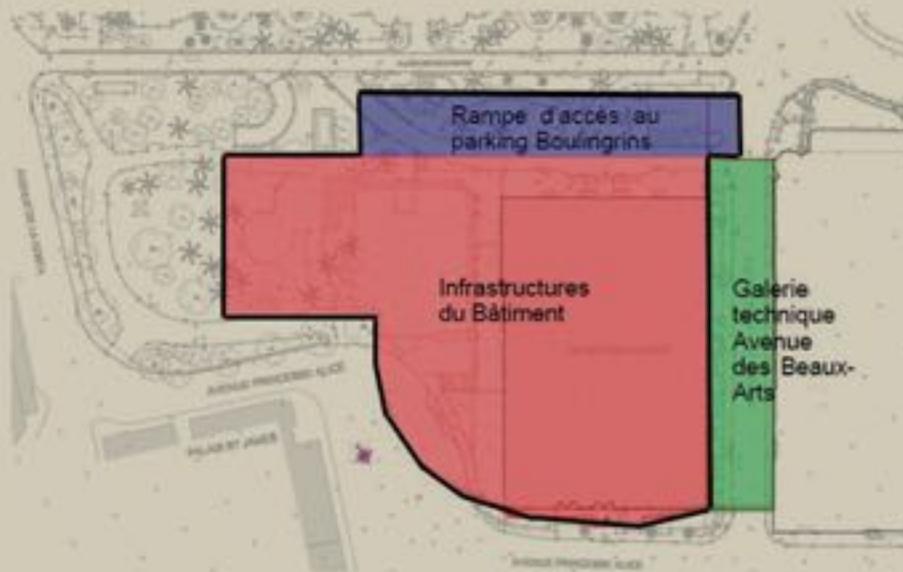
**1- General view
of the site.**

→ Le jardin public avec un arbre classé (figus) à l'angle nord-ouest.

L'ouvrage se situait en plus à proximité de bâtiments d'habitation de grande hauteur avec sous-sols : le palais Saint James et la Sun Tower (figure 1).

Le contexte très urbanisé et la présence des mitoyens a nécessité d'imposer des seuils très bas pour les déplacements de la paroi :

PRÉSENTATION DU PÉRIMÈTRE DE LA PAROI



2- Présentation du périmètre de la paroi.
3- Élévation de la paroi.

2- Appearance of the wall perimeter.

3- Elevation view of wall.

- 10 mm toute hauteur lorsque la paroi est située à moins de 10 m des fondations d'un bâtiment existant ;
- 15 mm en tête et 25 mm en ventre lorsque la paroi est située à plus de 10 m des fondations d'un bâtiment existant.

CONCEPTION DU PROJET

Du point de vue géologique, le projet se situe au sein du massif calcaire du Jurassique supérieur qui est réputé karstique. Les faciès en présence sont :

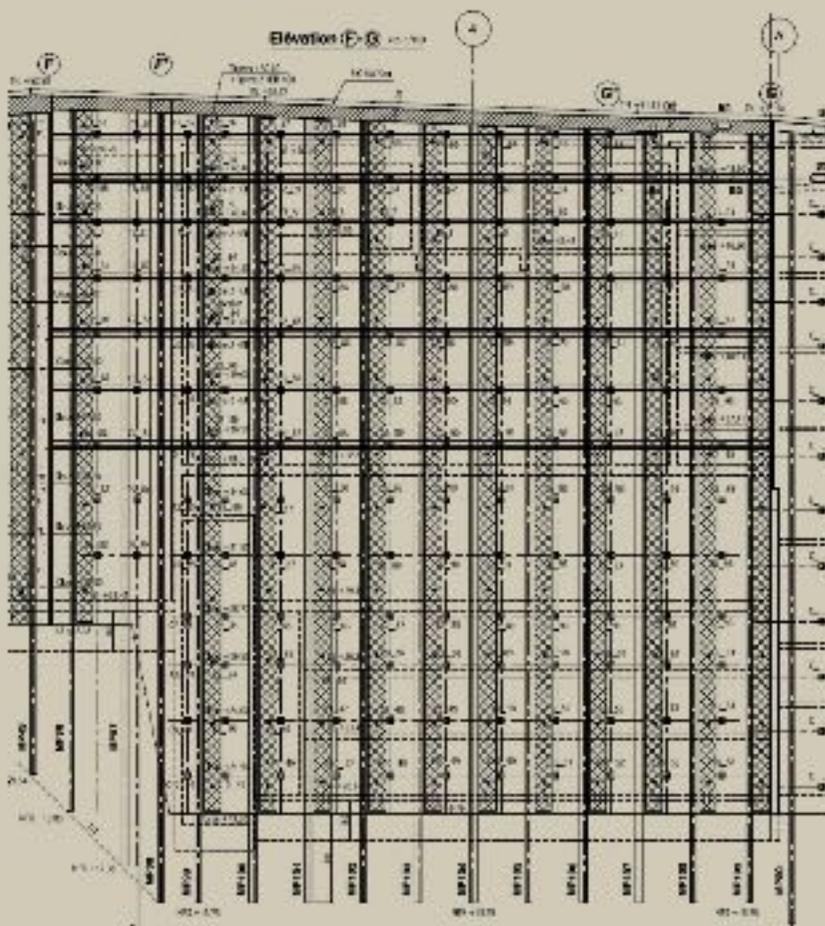
- Faciès A : les remblais de couverture constitués d'argiles caillouteuses et les remplissages des karsts (argile et/ou sable) ;
- Faciès C : Calcaire peu à moyennement fracturé et karstifié ;
- Faciès D : Calcaire massif et peu fracturé.

Le principe constructif du soutènement était de réaliser en tête une paroi composite composée de micropieux tubulaires verticaux ancrés sous le fond de fouille et d'un voile définitif en béton tirant en tête par deux à trois lignes de tirants actifs puis par des clous. Le voile définitif en béton coffré est mis en œuvre au fur et à mesure du terrassement. Il est suspendu verticalement sur les têtes des micropieux et tenu horizontalement par les ancrages (clous et tirants). Les figures 3 et 4 présentent une élévation et une coupe de la paroi. En partie supérieure, dans certaines zones, un voile en béton projeté a été réalisé. Le voile définitif est réalisé a posteriori, après la mise en place d'une étanchéité.

En phase définitive, le voile repose sur le radier de fondation et, après la réalisation des planchers, les tirants sont détendus.

Contre terre, des bandes de drainage verticales ont été mises en œuvre sur environ 50% de la surface, afin de ne pas avoir de charge d'eau à reprendre par le soutènement.

ÉLÉVATION DE LA PAROI



4- Coupe de la paroi.

5- Profil en long géologique issu de l'interprétation des coupes de forage des micropieux.

4- Cross section of wall.

5- Longitudinal geological profile based on interpretation of micropile drilling cross sections.

La justification de la paroi a été faite selon la démarche suivante :

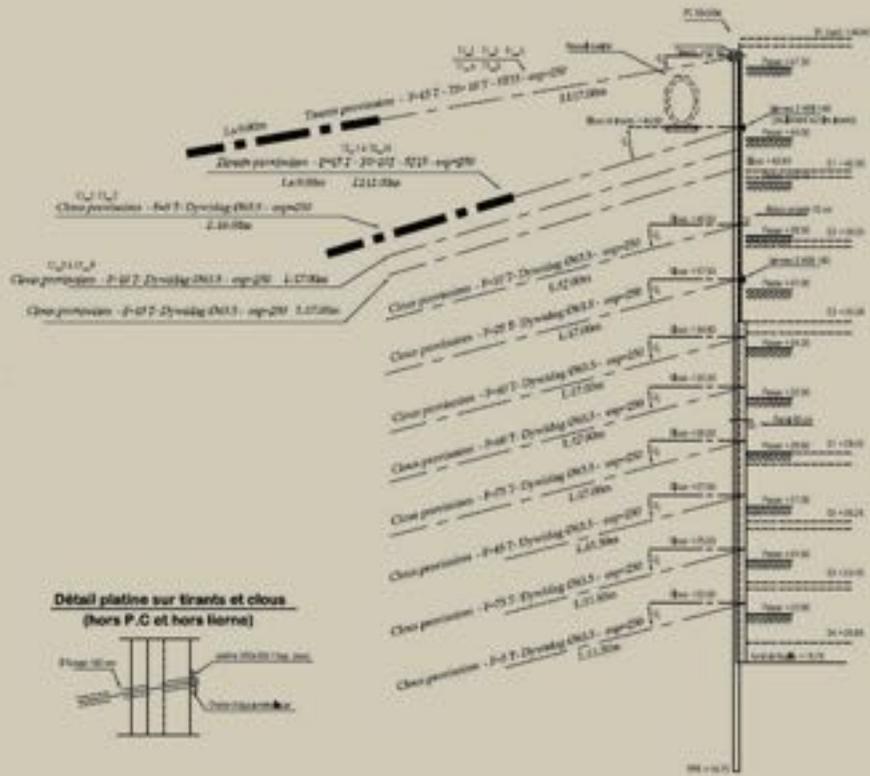
- Calcul en élastoplasticité (à l'ELS selon la méthode Miss à l'aide du logiciel Rido) dans les sols meubles de couverture sur la hauteur du faciès A plus 4 m (marge sécuritaire).
- Calcul au grand glissement (à l'ELU selon la méthode de Bishop à l'aide du logiciel Talren) pour chaque passe de terrassement jusqu'au fond de fouille (y compris dans le faciès D).

L'épaisseur du faciès A, en surface, était de l'ordre de 5 m et au-delà, la répartition entre le faciès C et le faciès D était très variable d'un point à un autre en fonction du degré de karstification du massif calcaire. Cette hétérogénéité de faciès a été un point délicat à traiter dans la définition des coupes lithologiques des profils de calcul.

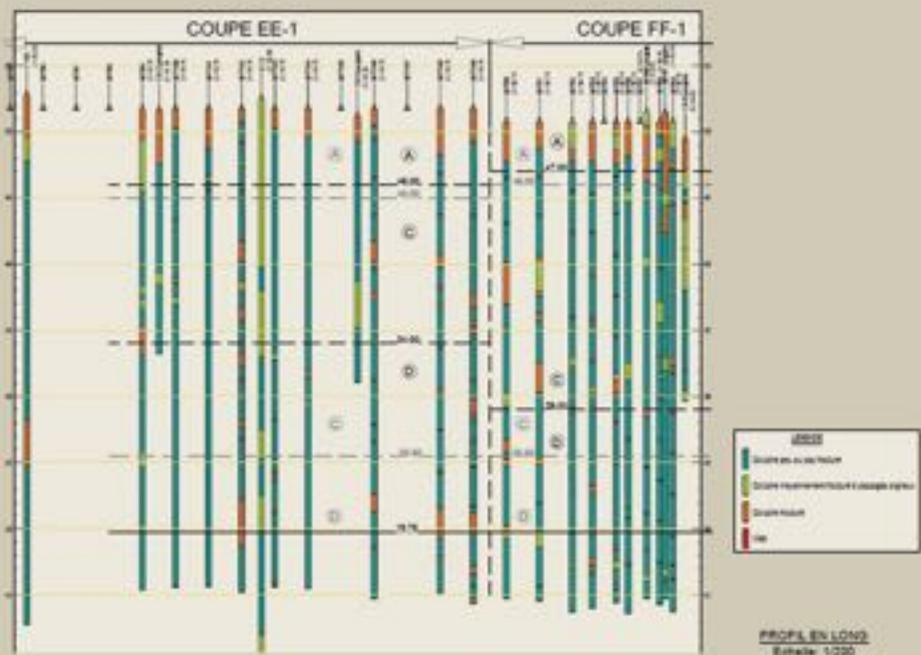
Les coupes lithologiques des profils de calcul ont été établies, dans un premier temps, à partir des sondages géologiques réalisés dans le cadre de la mission géotechnique de conception G2 phase projet et à partir de la campagne de reconnaissance complémentaire réalisée dans le cadre de la mission géotechnique d'exécution G3. Par la suite, les coupes lithologiques ont été reprises après analyse des enregistrements de paramètres de forage des micropieux et les dimensionnements des clous et tirants ont été optimisés quand cela était possible. Cette analyse des enregistrements des paramètres de forage et la mise à jour des données géotechniques a constitué le point fort dans le processus du suivi géotechnique d'exécution.

Les principales caractéristiques des micropieux et des ancrages sont :

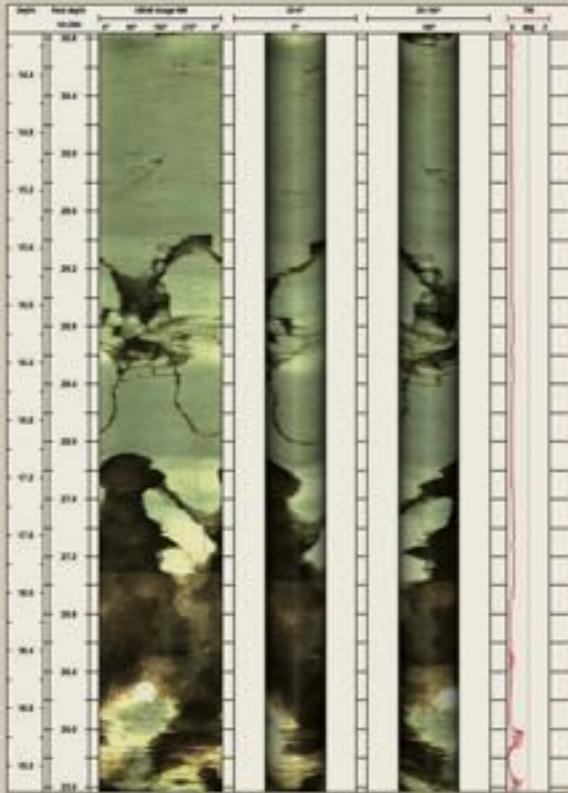
COUPE DE LA PAROI



PROFIL EN LONG GÉOLOGIQUE ISSU DE L'INTERPRÉTATION DES COUPES DE FORAGE DES MICROPIEUX



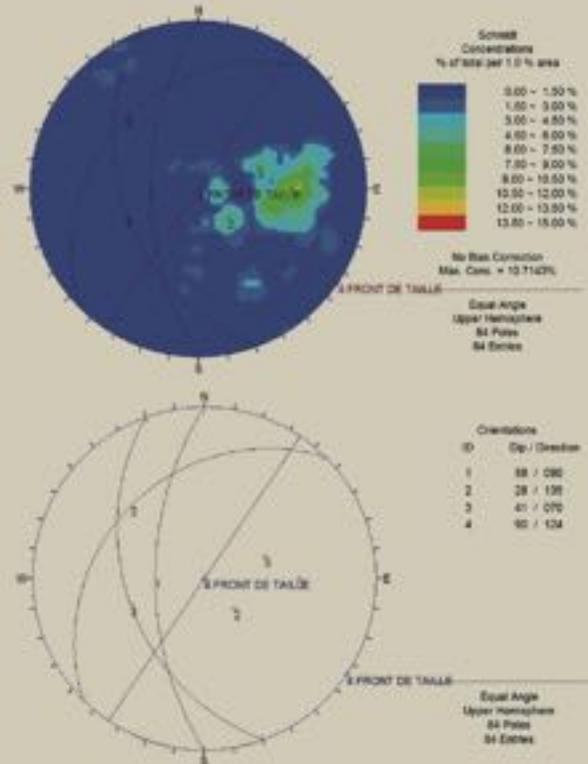
EXEMPLE D'IMAGERIE DE PAROI



6

© SOL ESSAIS

STÉRÉOGRAMME DE SCHMIDT



7

© ARCADIS

→ Micropieux :

- Diamètre de forage : 300 mm
- Tube : diamètre extérieur 168,3 mm, épaisseur 30 mm
- Limite élastique : $\sigma_e = 560$ MPa
- Longueur : 11,95 à 35,75 m

→ Tirants :

- Diamètre de forage : 165 mm
- Armature : 5T15
- Longueur libre : 4 à 17 m
- Longueur scellée : 3 à 9 m

→ Clous :

- Diamètre de forage : 150 mm
- Diamètre de l'armature : 32 à 63,5 mm
- Limite élastique de l'armature : 1528 kN
- Longueur : 8 à 17 m

Le parement en béton coffré a une épaisseur de 0,40 m, celui en béton projeté de 0,10 m.

Les micropieux ont été vérifiés en portance et en flexion composée selon les réglementations en vigueur dans la principauté, ainsi qu'au flambement sur une hauteur libre correspondant à une hauteur de terrassement, à l'aide des abaques de Souche.

Les tirants et les clous ont été justifiés vis-à-vis de la résistance de l'acier de l'armature et vis-à-vis du scellement.

EXECUTION DES MICROPIEUX ET OPTIMISATION DES LONGUEURS DES ANCRAGES

La foration des micropieux et l'enregistrement des paramètres de forage ont permis de réaliser un profil en long géologique comme cela est présenté dans la figure 5 et de reprendre les dimensionnements des parois.

Une optimisation des longueurs des clous a ainsi pu être faite. ▷

6- Exemple d'imagerie de paroi.

7- Stéréogramme de Schmidt.

8- Terrassement, forage, scellement des clous et ferrailage du voile.

6- Example of wall imaging.

7- Schmidt stereogram.

8- Earthworks, drilling, nail fixing and shear wall reinforcement.



© FAZEL-BEC

8

Dans certaines zones, le calcaire massif peu fracturé et peu altéré (faciès D) étant présent sur la majorité des forages des micropieux, une étude de géologie structurale a été réalisée en plus de l'étude de stabilité au grand glissement réalisée initialement.

Cette étude a consisté, dans un premier temps, à analyser les données structurales pour définir les principales familles de discontinuités (orientation, ouverture des fractures, remplissage ou non). Ces données structurales sont issues des imageries de parois réalisées dans les sondages carottés (figure 6).

Dans un deuxième temps, une analyse structurale à l'aide de diagrammes de Schmidt a permis de définir en fonction des familles de discontinuité et des orientations des talus, le risque de glissement plan et de formation de dièdres instables (figure 7).

Par la suite, en fonction de la fracturation du massif, le maillage, le type et la longueur des boulons d'ancrage (clous) ont été définis en considérant une approche de mécanique des roches (à l'aide du logiciel Swedge de Rocscience).

Sur le chantier, le confortement le plus important déduit des deux approches menées (stabilité en équilibre limite d'une paroi clouée et stabilité des dièdres instables) a été retenu et mis en œuvre.

Dans tous les cas, les clous avaient une longueur minimale de 8 m.

**ADAPTATIONS
EN COURS D'EXÉCUTION**

Le soutènement est réalisé par passes de 2,50 m de hauteur.

Après la réalisation des micropieux, les terrassements sont réalisés en dégageant les tubes des micropieux, les tirants ou clous sont forés, puis la voile en béton coffré est mis en œuvre. Ce voile, constituant aussi la voile définitive devant résister au séisme, est fortement ferrillé (figure 8).

Des contraintes d'exécution ont dû être traitées au fur et à mesure du chantier. Les plus contraignantes ont été les suivantes :

- Proximité du palais Saint James et de la tour Sun Power : limitation des longueurs des clous ;
- Découverte de plusieurs karsts non remplis au droit de certains micropieux ;
- Présence d'un ovoïde sous l'avenue de la Princesse Alice ;
- Présence d'un arbre classé (figus) au niveau de l'angle rentrant de la fouille au nord.



© ARCADIS

À proximité du palais Saint James au nord-ouest, les longueurs de tirants et des clous devaient être limitées du fait de la présence des sous-sols du bâtiment à une distance de 18 m. Ainsi les tirants avaient une longueur totale de 18 m mais inclinés à 20°, les clous eux étaient plus courts (L = 8 m) du fait de l'optimisation due à présence dans cette zone de calcaire massif peu fracturé.

À proximité de la Sun Tower, la longueur des tirants et des clous a dû être limitée à 14 m.

La rencontre de karsts francs (vides) au droit de certains micropieux est problématique pour la stabilité de la paroi et l'exécution des clous. À la demande de la maîtrise d'œuvre et du géotechnicien

9- Adaptation de la paroi pour tenir compte du ficus.

10- Élévation et coupe de l'adaptation constructive au niveau du ficus.

9- Adaptation of the wall to allow for the fig tree.

10- Elevation and cross section view of construction adaptation at the fig-tree level.

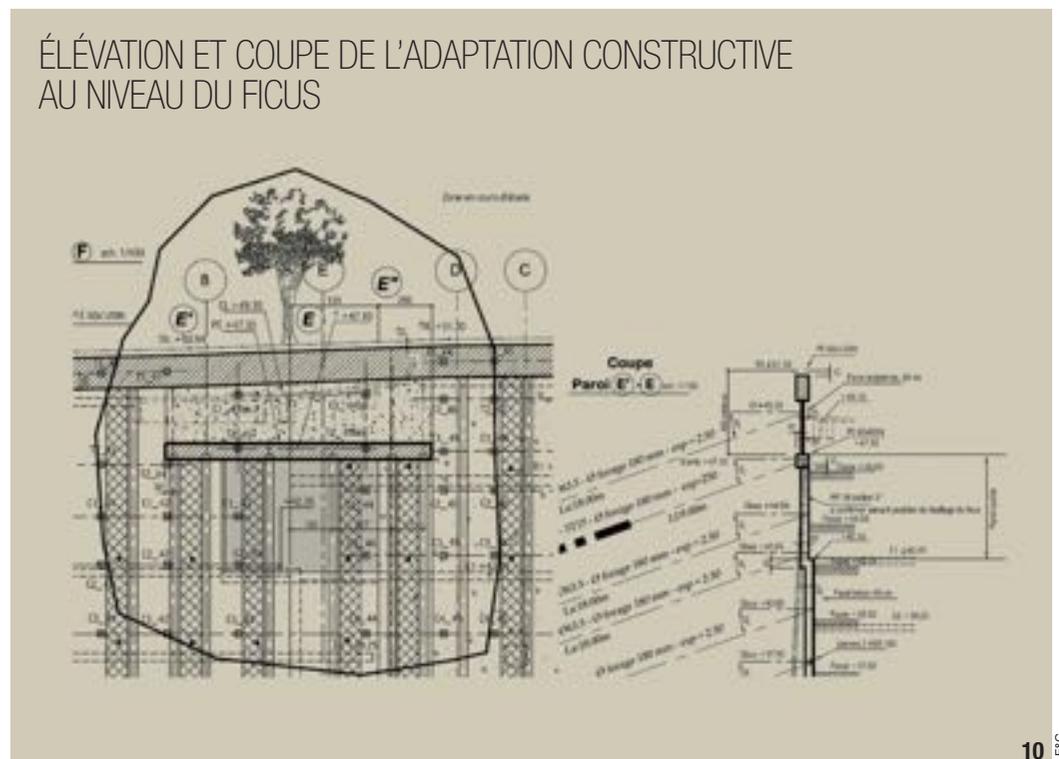
en charge de la mission G4, a été mise en place une méthodologie appliquée en cours de terrassement pour reconnaître à l'avance l'étendue des karsts et en assurer le remplissage au coulis. Cette méthodologie était la suivante :

- Injection de coulis de ciment lors de la foration des micropieux. Cette première phase d'injection n'a pas toujours permis de combler entièrement le karst.
- Lorsque le niveau de terrassement se situait 1 m au-dessus de la profondeur du karst, des sondages de reconnaissance ont été réalisés de part et d'autre du micropieux, légèrement inclinés vers intérieur du massif calcaire, sur une longueur de 15 m.

- Quand le terrassement se situait sur la hauteur des karsts, des forages horizontaux courts (de l'ordre de 1,5 m) ont été faits pour s'assurer qu'aucun karst n'était présent derrière, la présence de karst pouvant générer des efforts supplémentaires sur la paroi.

Des vides ont été aussi rencontrés lors de la foration des tirants et des clous et traités par l'injection du coulis de scellement.

Un autre point délicat a été d'intégrer la présence d'un arbre classé (figus) dans la conception et la réalisation du soutènement. Cet arbre se situait juste derrière le soutènement et il était interdit de forer des micropieux verticaux





11

© RAZEL-BEC

ou des tirants sur les deux premiers mètres afin de ne pas fragiliser le système racinaire de l'arbre.

Le principe constructif (figures 9 et 10) a été de réaliser, sur les 2 premiers mètres, une paroi clouée accrochée à une poutre de couronnement puis de réaliser le soutènement normal (micropieux + clous + béton coffré) à partir de 2 m de profondeur. Une poutre de couronnement supplémentaire a été réalisée en tête des micropieux.

Des tirants ont été réalisés aux extrémités de la poutre de couronnement supérieure.

11- Rampe d'accès au chantier.
12- Vue générale de la fouille.

11- Site access ramp.
12- General view of the excavation.

Une autre contrainte est apparue quand l'entreprise a voulu forer les micropieux à partir d'une plateforme située à -2,0 m.

Les micropieux étaient prévus avec une inclinaison de 3°/v du fait de la présence de la paroi clouée supérieure, mais la présence des branches de l'arbre empêchait de redresser le mât de la machine : de ce fait les micropieux ont dû être réalisés avec une inclinaison de 15°/v. Une vérification de la reprise des efforts verticaux (par les micropieux) et horizontaux (par les clous) a été menée.

Au droit de l'avenue de la Princesse Alice, la présence d'un ovoïde a contraint l'entreprise à supprimer la première ligne de tirants et de ponter la zone en réalisant une poutre de couronnement très rigide et ancrée aux extrémités par des tirants actifs. De plus, il fallait respecter une déformation maximum de 15 mm au niveau de la paroi compte tenu de la présence de l'ovoïde. Une autre difficulté consistait à réaliser la rampe d'accès à la fouille qui devait évoluer en fonction de l'avancement du chantier et de la profondeur des terrassements. ▷



© RAZEL-BEC

12

Cette rampe étant implantée au sein du calcaire massif et peu fracturé, une analyse structurale a été faite et une géométrie adaptée des talus (hauteur, pente et risberme horizontale) a été définie pour assurer la stabilité des talus rocheux et ainsi assurer la sécurité des personnes travaillant sur le chantier (figure 11).

CONTRÔLE ET SUIVI

Pendant le chantier (figure 12), de nombreux contrôles et suivis ont été réalisés pour s'assurer de la stabilité de la paroi et des mitoyens. Pour cela, ont été mis en place :

- Des inclinomètres ;
- Des cibles topographiques en tête de paroi puis régulièrement sur la paroi ;
- Des cibles topographiques sur les façades des bâtiments mitoyens.

Ces cibles étaient relevées de façon continue à l'aide d'un théodolite automatique, avec un système d'alarme en cas de dépassement du seuil de vigilance.

Les mouvements étaient analysés de façon hebdomadaire par l'entreprise et la maîtrise d'œuvre.

Aucun mouvement significatif n'a été observé pendant les travaux.

Les seuils de déplacement imposés dans le CCTP n'ont jamais été atteints. D'autre part, des essais de contrôle sur les clous ont été menés conformément au CCTP et selon la norme NF P94-153. Ils étaient tous conformes.

CONCLUSION

Ce chantier était complexe tant du point de vue de la conception (différentes approches pour le dimensionnement des soutènements, voile définitif réalisé en descendant au fur et à mesure de la réalisation des terrassements) que de l'exécution (aléa géologique avec



13- Essai de contrôle de clou.

13- Nail inspection test.

présence de karsts, adaptation pour tenir compte d'un ovoïde et d'un arbre classé), dans un contexte urbain dense et dans un délai très court.

La mission complète d'étude et suivi géotechniques d'exécution G3, comprenant en particulier l'exploitation des paramètres de forage et les relevés géologiques sur place, a permis une adaptation optimisée des soutènements au contexte géotechnique réellement rencontré. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- VOLUME DE DÉBLAIS TERRASSÉS : 147 000 m³**
- MICROPIEUX : 3 700 m**
- TIRANTS : 2 900 m**
- CLOUS : 16 000 m**
- VOLUME DE BÉTON POUR LE VOILE DE LA PAROI : 2 700 m³**

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE : Société des Bains de Mer**
- MAÎTRE D'ŒUVRE : Tractebel (ingénierie) Alexandre Giraldi (architecte)**
- Sol Essais (mission géotechnique G4)**
- ENTREPRISE LOT 1.10 (TERRASSEMENTS - SOUTÈNEMENTS - GÉNÉRAUX) : Razel-Bec - JB Pastor & Fils**
- INGÉNIERIE GÉOTECHNIQUE (MISSION GÉOTECHNIQUE G3) : Arcadis**
- INGÉNIERIE STRUCTURE (EXÉCUTION) : E&G**

ABSTRACT

MAJOR URBAN EXCAVATION FOR THE SPORTING D'HIVER PROJECT IN MONACO

CHRISTINE MORLOCK, ARCADIS

The excavation executed for reconstruction of the Sporting d'Hiver building in Monaco was about thirty metres deep and was supported by a composite wall consisting of vertical tubular micropiles anchored under the bottom of cut, with top anchoring by two to three rows of prestressed tie rods and then nails. The permanent shear wall in shuttered concrete was installed as the earthworks progressed, vertically suspended from the micropile heads and horizontally nailed by anchoring executed in a karstified and fractured limestone mass. The anchoring design was optimised. During the works, additional construction adaptations were designed after detecting the presence of karsts, an ovoid and a protected tree. □

LA GRAN EXCAVACIÓN URBANA DEL SPORTING D'HIVER EN MÓNACO

CHRISTINE MORLOCK, ARCADIS

La excavación realizada para la reconstrucción del edificio Sporting d'Hiver de Mónaco, de unos treinta metros de profundidad, contaba con una pantalla de contención de material composite, formada de micropilotes tubulares verticales anclados bajo el lecho de zanja, fijada frontalmente por dos a tres líneas de tirantes activos y clavos. El muro definitivo, de hormigón encofrado, se construye al ritmo del movimiento de tierras, suspendido verticalmente sobre los cabezales de los micropilotes y clavado horizontalmente mediante los anclajes, de dimensiones optimizadas, realizados en un macizo calcáreo carstificado y fracturado. Durante la obra se estudiaron adaptaciones constructivas complementarias dada la presencia de formaciones cársticas, un ovoide y un árbol catalogado. □

PAR NUMÉRO : 15€ AU LIEU DE 25€

VILLE ET PATRIMOINE

927



OUVRAGES D'ART

+ SUPPLÉMENT "SPÉCIAL 100 ANS" OFFERT

932



TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

937



INTERNATIONAL

928



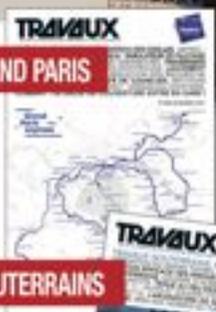
SOLS ET FONDATIONS

933



SPÉCIAL GRAND PARIS

938



GARES & STATIONS

929



SPÉCIAL BIM 2

934



TRAVAUX SOUTERRAINS

939



TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX

930



VILLE ET PATRIMOINE

935



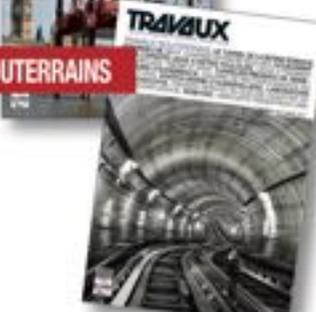
OUVRAGES D'ART

940



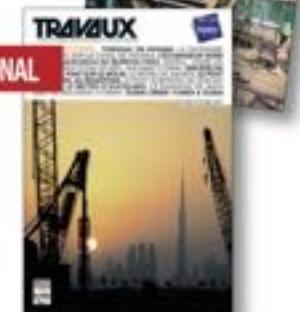
TRAVAUX SOUTERRAINS

931



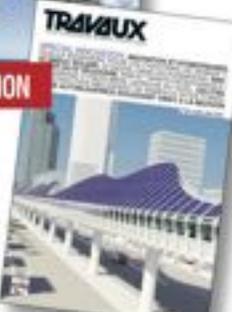
INTERNATIONAL

936



SPÉCIAL INNOVATION

941



*Offre valable jusqu'au 31/12/18 - comete@comet.com - décembre 2017



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) :

- 927 x 932 x 937 x
 928 x 933 x 938 x
 929 x 934 x 939 x
 930 x 935 x 940 x
 931 x 936 x 941 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 31/12/18 et hors frais port (exemple pour un numéro : 5,00€ d'envoi France, 12,00€ d'envoi Europe et 12,50€ d'envoi étranger hors Europe). Conformément à la loi « Informatique et 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



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° 943 « Énergie »
- TRAVAUX n° 944 « Maintenance des infrastructures »



Bertrand COSSON

Tél. 01 42 21 89 04

b.cosson@rive-media.fr

CONSULTEZ **TRAVAUX** SUR INTERNET
revue-travaux.com

Vous pourrez :

- Télécharger gratuitement l'article du mois
- Vous abonner en ligne
- Accéder à la présentation de la revue
- Consulter 18 ans d'archives de la revue
- Compléter votre collection



1
© BOUYGUES TP

CALAIS PORT 2015 : DRAGAGE, REMBLAIEMENT HYDRAULIQUE ET TRAITEMENTS DE TERRAINS

AUTEURS : LUC MOSCONE, MANAGER DE PROJET POUR L'INGÉNIERIE INTÉGRÉE, ARCADIS - ANGELO VAN TONGEREN, GÉOTECHNICIEN, RESPONSABLE INGÉNIERIE, JAN DE NUL - BÉNÉDICTE MERCIER, GÉOTECHNICIENNE, RESPONSABLE CONTRÔLE EXTERNE TERRASSEMENT, BOUYGUES TP

CONFIÉE EN CONCEPTION-RÉALISATION À UN GROUPEMENT D'ENTREPRISES EN FÉVRIER 2015, LA PREMIÈRE PHASE DU PROJET CALAIS PORT 2015 SERA LIVRÉE EN JANVIER 2021. LES PREMIÈRES ANNÉES DE CONSTRUCTION ONT DONNÉ LA PART BELLE AUX OUVRAGES MARITIMES AVEC NOTAMMENT LA CONSTRUCTION D'UNE PARTIE DE LA NOUVELLE DIGUE, LE DRAGAGE DU FUTUR BASSIN, LA RÉALISATION DES TERRE-PLEINS GAGNÉS SUR LA MER ET LE DÉBUT DE LA CONSTRUCTION D'UN DES TROIS NOUVEAUX POSTES D'ACCOSTAGE POUR FERRIES. LE PRÉSENT ARTICLE REVIENT SUR LES ENJEUX LIÉS AU DRAGAGE, AUX REMBLAIEMENTS HYDRAULIQUES ET AUX TRAITEMENTS DES TERRAINS.

CONTEXTE DU PROJET

Le projet Calais Port 2015 s'inscrit dans le cadre d'un programme d'investissement important, lancé en 2007 par la Région Hauts-de-France, visant à redonner aux ports de Boulogne-sur-Mer et Calais les moyens de leur développement sur le long terme. Il s'agit d'adapter l'actuel premier port passagers français aux évolutions futures attendues, telles que l'augmentation de la taille des navires, la croissance continue des trafics et l'évolution des modes de transport des marchandises.

1- Refoulement hydraulique en arc-en-ciel dans le casier R4.

1- Hydraulic rainbowing into compartiment R4.

La Région a désigné comme concessionnaire des deux ports la Société d'Exploitation des Ports du Déroit (Sepd) qui a alors subdélégué la conception, la réalisation et le financement de la phase 1 du projet Calais Port 2015 à la Société des Ports du Déroit (Spd). En tant que maître d'ouvrage, la Spd a confié au groupelement composé des sociétés des groupes Bouygues, Spie Batignolles et Jan de Nul la conception et la réalisation des ouvrages de la première phase du projet Calais Port 2015.

Ce projet comprend notamment :

- Des digues et perrés de protection en enrochements (environ 4,8 km de linéaire) dont la digue principale de 3,3 km délimitant le nouveau bassin de 90 ha pour l'accueil des navires ;
- 65 ha de terre-pleins dont 44 ha gagnés sur la mer par remblaiement hydraulique de sables dragués (plateformes du Terminal Transmanche Nord) ;
- 3 nouveaux postes d'accostage pour ferries ;

→ L'aménagement des superstructures portuaires et la refonte de tous les accès avec notamment 31 bâtiments et 8 ouvrages d'art.

Le présent article porte plus particulièrement sur :

- Les travaux de dragage et de remblaiement hydraulique ;
- Les traitements des remblais hydrauliques ;
- Les enjeux du projet vis-à-vis des tassements des terre-pleins.

TRAVAUX DE DRAGAGE ET DE REMBLAIEMENT HYDRAULIQUE

Ces travaux se sont déroulés en 2 étapes.

1^{re} PHASE DE REMBLAIEMENT HYDRAULIQUE

Cette première phase, qui s'est globalement déroulée en juillet et août 2016, a consisté à draguer les souilles de la digue principale et du perré Est et à remblayer hydrauliquement le casier R3b (environ 800 000 m³), délimité au nord par un cavalier provisoire préalablement construit (zone blanche de la figure 3).

Pour cela, la drague à désagrégateur *Hondius* (*Cutter Suction Dredger*, CSD), d'une puissance totale de 8 330 kW, a été mobilisée.

Le principe de fonctionnement d'une CSD est illustré par la figure 4. Ce type de drague permet de refouler les sols

ou roches (ici le sable), préalablement découpés par la tête rotative du désagrégateur placée au bout du bras, directement vers les casiers de remblaiement, via des conduites flottantes et/ou immergées, puis des conduites terrestres. Les opérations à terre sont organisées de façon à minimiser l'arrêt de la drague, qui fonctionne idéa-

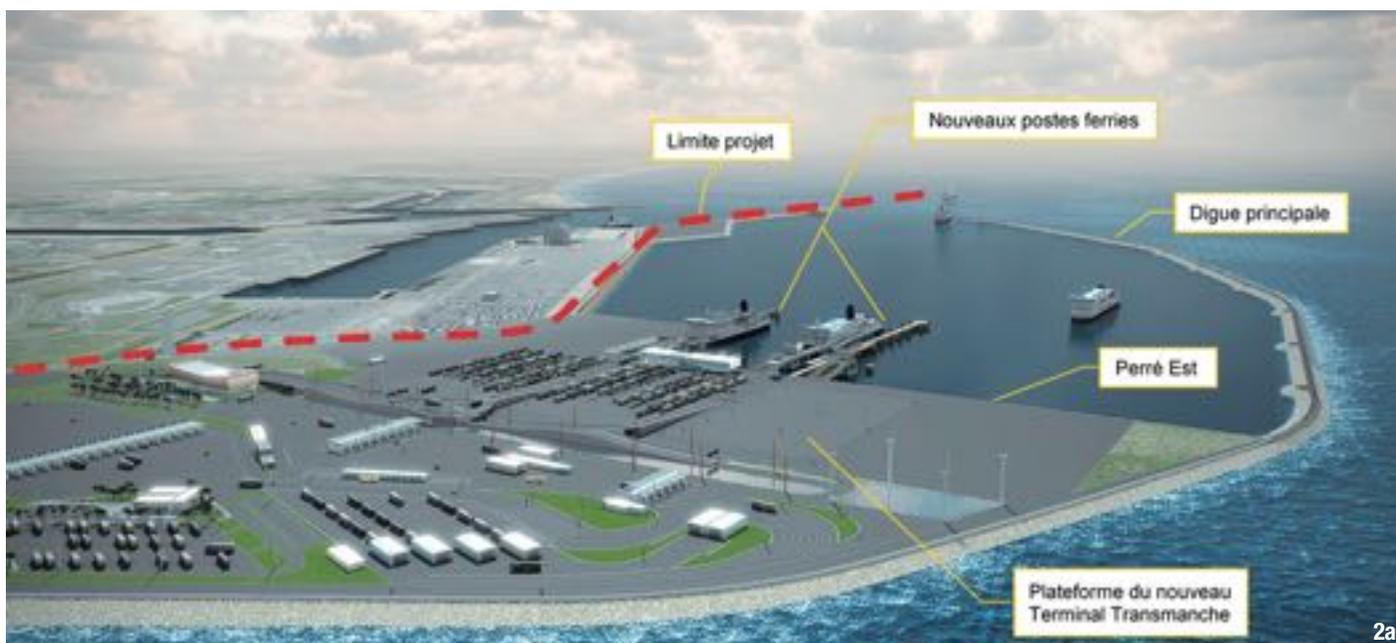
lement par postes 24h/24h, 7j/7j. Pour les travaux demandant plus de précision, comme le nettoyage des souilles de la digue principale, une drague rétrocaveuse (*Backhoe dredger*, BHD), telle que le *Gian Lorenzo Bernini*, a été utilisée. Cette drague, remorquée à l'endroit voulu par un remorqueur auxiliaire, est ancrée à l'aide de trois pieux et travaille par plots successifs. Le transport des matériaux excavés vers le lieu de dépôt se fait à l'aide de chaland.

2- Illustrations du projet Calais Port 2015.

2- Illustrations of the Calais Port 2015 project.

2^e PHASE DE REMBLAIEMENT HYDRAULIQUE

Cette 2^e phase a débuté après la fermeture du grand casier délimité par



2a

© BOUYGUES TP



2b

© BOUYGUES TP

LES ZONES DE REMBLAIS HYDRAULIQUES DU PROJET



© ARCADIS

3

le perré Est et la digue principale (remblais R2, R3a et R4, bleu, vert et violet sur la figure 3) et du casier délimité par le perré Ouest (remblai R1, rose sur la figure 3).

L'ensemble du futur bassin, ainsi que le chenal d'accès ont été dragués au cours de cette 2^e phase à des cotes comprises entre -9,5 m Cote Marine (CM) et -11 m CM.

Les sables ont été refoulés dans les casiers (environ 3 200 000 m³). Les préchargements nécessaires ont

3- Les zones de remblais hydrauliques du projet.

4- Principe de fonctionnement d'une drague à désagrégateur.

3- Hydraulic backfill areas of the project.

4- Operating principle of a cutter dredger.

été directement mis en place lors de ce remblaiement hydraulique.

Une autre drague CSD, le *Fernão de Magalhães*, a été mobilisée pour ce dragage.

Cette drague d'une puissance de 23520 kW a permis une production supérieure comparée au *Hondius* et l'opération n'a duré que 2 mois environ (avril et mai 2017).

Simultanément, le BHD *Gian Lorenzo Bernini* a continué le dragage des souilles de la digue principale.

TRAITEMENTS DES REMBLAIS HYDRAULIQUES CONCEPTION DES TRAITEMENTS

La définition des traitements de terrain au sens large, que ce soient les terrains en place ou les remblais hydrauliques, repose sur :

→ Le respect des objectifs de tassements imposés par le cahier des charges du projet (cf. dernier chapitre) ;

→ L'atteinte d'un objectif minimal de densification des remblais.

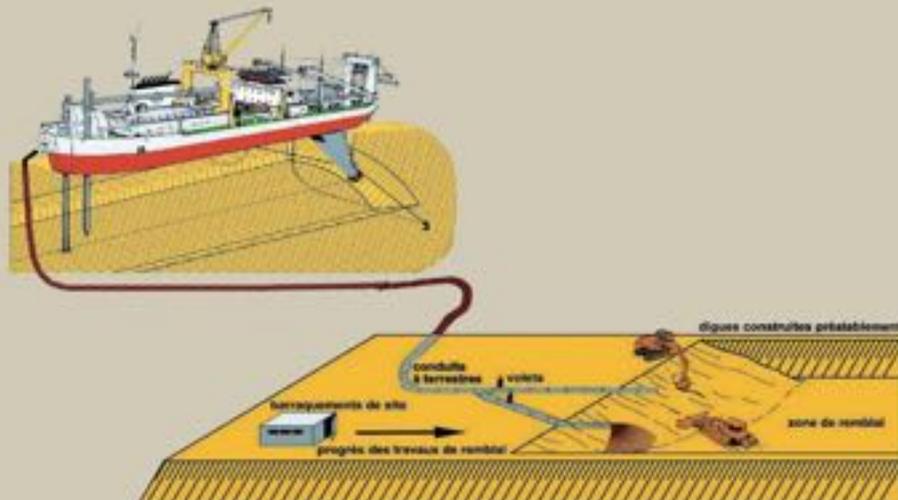
Pour les terrains en place, une campagne de reconnaissance géotechnique a été réalisée en 2015 par le Concepteur-Réalisateur (CR) sur terre et en mer (au moyen d'une barge auto-élevatrice).

Elle a permis de dresser le modèle géotechnique global du site, constitué des Sables Flandriens reposant sur l'Argile des Flandres.

Avec une épaisseur d'environ 40 m et un toit entre 30 et 35 m par rapport au niveau futur du projet ($\approx +10,5$ m CM), les Argiles des Flandres sont une argile raide, surconsolidée et assez homogène.

Les Sables Flandriens, bien qu'essentiellement sableux et assez denses, peuvent présenter quant à eux un faciès assez compressible constitué d'une succession d'horizons sableux, silteux et argileux, nommé SSAL par la suite.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE DRAGUE À DÉSAGRÉGATEUR



© JDN

4



5

© JDN

En plan, SSAL se présente sous la forme d'une bande d'orientation globalement Est-Ouest englobant une large partie des terre-pleins gagnés sur la mer.

D'épaisseur maximale d'environ 10 m, son toit se situe à environ -10 m CM. Cette formation est progressivement remplacée par un sable silteux au niveau de l'ancienne plage au sud et au niveau de la transition entre les remblais R4b et R4a au nord.

Des préchargements de terrains ont été mis en place sur les remblais R2, R3 et R4b afin de consolider SSAL en anticipation des futures charges apportées par l'exploitation du port, avec une marge de sécurité : les niveaux de

préchargement compris entre +12 et +14,5 m CM ont été définis en fonction des caractéristiques de SSAL.

Les remblais hydrauliques mis en place afin de réaliser les terre-pleins gagnés sur la mer sont d'épaisseur assez variable :

- Quasi nulle au niveau de l'ancienne plage au sud du projet (remblai R3b) ;
- De l'ordre de 16,5 m par rapport au niveau futur du projet à +10,50 m CM, au niveau de R4a, (présence d'une fosse d'érosion à -6 m CM) ;
- De l'ordre de 10,5 m au niveau du raccordement entre le perré Est et la Digue principale, au nord (présence d'un banc de sable).

5- Dragage à désagrégateur Fernão de Magalhães.

6- Organisation des conduites de refoulement terrestre dans le casier R2, R3 et R4.

5- Fernão de Magalhães cutter dredger.

6- Organisation of onshore discharge pipes in compartments R2, R3 and R4.

Les traitements des remblais hydrauliques ont été définis de façon à atteindre les objectifs de densité relative minimale préalablement définis et sont fonction de :

- L'épaisseur des remblais à traiter ;
- La nature de ces remblais. La campagne de reconnaissance du bassin à draguer (sondages au pénétromètre statique - CPT - et carottés courts réalisés au moyen de bâtis fond de mer) a permis de caractériser la nature du gisement et définir les stratégies de dragage : essentiellement des sables avec quelques passages silteux.
- La méthode et les conditions de mise en œuvre des remblais par



6

© BOUYGUES TP



© BOUYGUES TP
7

refoulement notamment vis-à-vis des niveaux de marées, qui conditionnent la densification des remblais. Cette densification est due à l'action combinée du compactage hydraulique du refoulement hors d'eau et du passage répété des chenilles des bulldozers étalant au fur et à mesure le mélange sable (30%) + eau (70%) dans le casier.

CONTRÔLE DE LA COMPACTÉ DES REMBLAIS HYDRAULIQUES

La compacté des remblais hydrauliques est vérifiée au moyen de sondages CPT.

Un profil de résistance de pointe (q_c) minimal a été établi en phase conception de façon à respecter un objectif de densité relative (D_r).

Sur le chantier, une campagne CPT de référence (environ 1 CPT/1000 m²) a été réalisée sur l'ensemble des remblais hydrauliques au plus tôt un mois après le refoulement (afin de laisser les remblais se mettre en place et dissiper les surpressions interstitielles) pour cartographier les zones de remblais à densifier et en définir les modalités de traitement.

7- Atelier de vibrocompactage avec aiguilles vibrantes en tandem en cours de traitement.

7- Vibratory compaction equipment with vibroflots in tandem during the treatment.

Après traitement (par vibrocompactage et/ou par compactage dynamique) ou absence de traitement (pour les zones de remblais hydrauliques ayant déjà atteint leur objectif de compacté), une campagne CPT de réception est réalisée (environ 1 CPT/200 m²). Le cas échéant, des traitements complémentaires sont réalisés si les objectifs de compacté ne sont pas atteints, puis une nouvelle campagne de CPT est effectuée sur les zones concernées. On note que la démarche de vérification d'une densité relative (D_r) objectif pour un sable apparaît assez usuelle, mais

se heurte aux difficultés de mesure de ce paramètre. D_r est d'ailleurs souvent obtenue de manière indirecte par l'utilisation de corrélations reliant q_c et D_r , établies par des travaux de recherche sur des sables propres spécifiques à partir d'un très grand nombre d'essais (la corrélation de Jamiolkowski & al. 2001 a été retenue pour le projet). Néanmoins, ces corrélations ne sont pas forcément parfaitement adaptées au sable d'un chantier en particulier, ni à la présence ponctuelle de fines. De façon à fiabiliser l'analyse, une vérification complémentaire en termes de tassements, par transcription des profils q_c en profils de tassements instantanés sous application des charges d'exploitation et de tassements différés a été mise en place.

TRAITEMENT PAR VIBROCOMPACTAGE (VC)

Lors de ce traitement, le sol est liquéfié localement à l'aide de *vibroflots* (aiguilles oscillantes équipées de mécanismes pour projeter des jets d'eau et d'air, voir figure 7), et ainsi compacté par les charges des couches sus-jacentes.

Les modes opératoires et les paramètres (pressions, décharges des jets et énergie investie dans le sol) dépendent des conditions locales. Ainsi, plusieurs plots d'essai ont été réalisés afin de définir ces paramètres. Le choix final s'est basé sur l'efficacité des traitements, mais surtout sur la compacté résultante, qui a été contrôlée à l'aide de CPT effectués 7, 14 et 28 jours après traitement.

Finalement, un maillage triangulaire de 4,4 m de côté a été retenu. Afin d'optimiser la production, une opération en tandem a été menée : 2 aiguilles suspendues à la même grue sont descendues simultanément jusqu'à la base des remblais hydrauliques à traiter. Les vibreurs utilisés présentent une puissance de 230 kW/vibreur. Des compresseurs et des pompes garantissent l'apport de l'air et de l'eau pour les jets. Pour faciliter la liquéfaction des couches non saturées, des pompes puissantes ont été utilisées. Pour les zones concernées, le traitement a été effectué à travers les préchargements afin d'optimiser le planning. Le vibrocompactage de la totalité des remblais a duré 6 mois avec deux ateliers de traitement. ▷

TRAITEMENT PAR COMPACTAGE DYNAMIQUE (CD)

Dans les zones où l'épaisseur des remblais hydrauliques n'est pas trop importante, le compactage dynamique a pu être utilisé. Ce traitement a permis d'obtenir des résultats similaires au vibrocompactage en termes de compacité des remblais, mais avec un meilleur rendement.

Le CD consiste en une densification des sols sableux via la chute d'une masse lourde. À Calais, une masse cylindrique en acier de 21 t a été utilisée. Elle est hissée par une grue et retombe en chute libre. En répétant les chutes, les sols peuvent être liquéfiés et compactés. Un aperçu de ce dispositif est présenté en figure 8.

Comme pour le vibrocompactage, le mode opératoire a été déterminé à l'aide d'un plot d'essai. Afin d'atteindre les performances escomptées, il a été retenu 5 coups au même point pour une hauteur de chute de 20 à 25 m avec un maillage carré de 5 m de côté. Cette méthode a servi de compactage primaire dans des zones où l'épaisseur de remblais refoulée ne dépassait pas 7 m (notamment R1 et R3b). Dans les zones où le vibrocompactage en traitement primaire n'a pas permis d'atteindre les objectifs, le compactage dynamique a été utilisé en traitement complémentaire. À noter que des améliorations du remblai ont été constatées jusqu'à 11 m de profondeur.

TRAITEMENT PAR COMPACTAGE LOURD DE SURFACE

Les techniques de compactage profond (comme CD et VC) ne permettent pas de compacter les couches superficielles. Au contraire, elles les décompactent généralement sur 1 à 2 m. C'est pourquoi un traitement complémentaire par compactage superficiel est nécessaire.

À Calais, un compacteur à bille polygonale oscillante (type V6), bille de 26 t, a été utilisé pour compacter les couches superficielles. Pour faciliter l'accès de ce compacteur lourd, un compacteur à bille pesant 19 t (type V5) est utilisé pour niveler les terrains au préalable. Le nombre de passes, défini à l'aide d'un plot d'essai, a été de 4 passes pour obtenir une compacité optimale des couches superficielles.

LES ENJEUX DU PROJET VIS-À-VIS DES TASSEMENTS CRITÈRES DE TASSEMENT

Les critères de tassements, imposés par le programme fonctionnel pour

l'ensemble des terre-pleins sont des critères en cours d'exploitation des plateformes :

- Tassement élastique instantané absolu maximal de 1 cm sous application des charges d'exploitation ;
- Tassements absolus différés pour la plateforme en exploitation inférieurs à 5 cm pour une durée de service de 25 ans avec un maximum de 0,5 cm par an (1 cm étant accepté pour la première année d'application des charges d'exploitation).

Au droit des ouvrages d'art ou de la voie de sortie du port (la « dorsale »), ces critères sont remplacés par des critères plus adaptés.

DÉMARCHE DE CONCEPTION

En termes de dimensionnement, la démarche suivante a été appliquée afin de vérifier les critères de tassements :

8- Traitement par compactage dynamique.

9- Compacteur lourd BW226 à bille polygonale.

8- Dynamic compaction treatment.

9- Heavy BW226 compactor with polygonal roller.



8

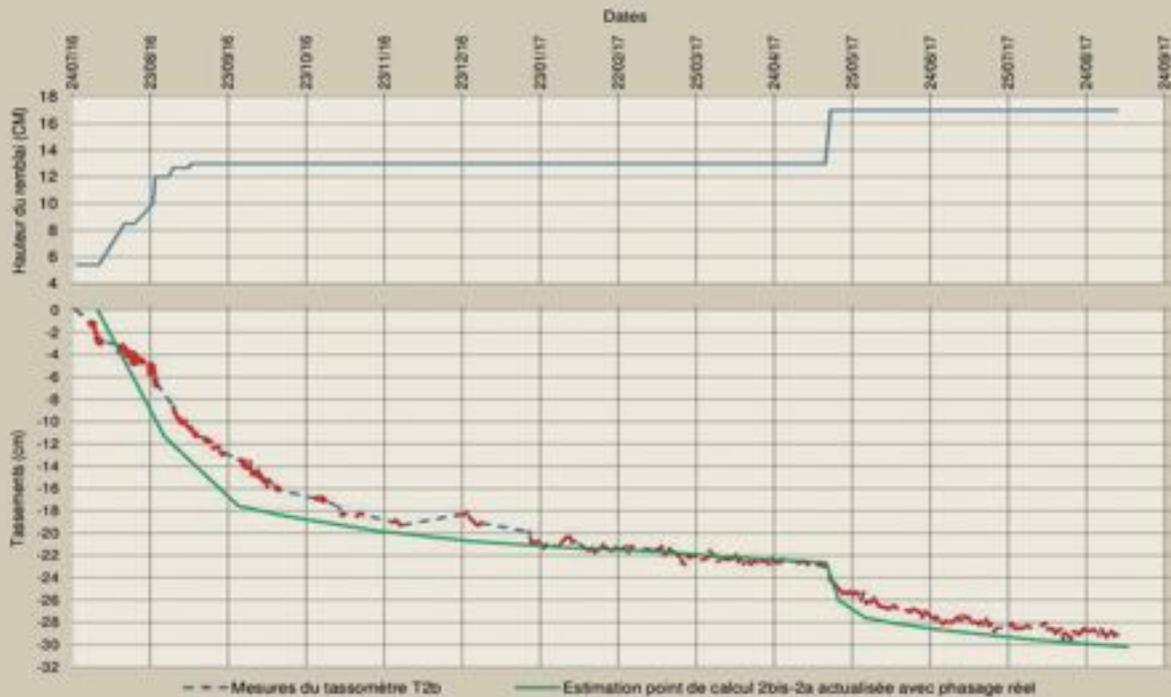
© ARCADIS



9

© BOUYGUES TP

COMPARAISON ENTRE ESTIMATIONS DE TASSEMENTS AU DROIT D'UN POINT DE CALCUL ET MESURES D'UNE CHAÎNE TASSOMÉTRIQUE, APRÈS RECALAGE



© AFRCADIS
10

- Élaboration de modèles géotechniques pour l'estimation des tassements sur la base de l'ensemble des reconnaissances du projet pour chacun des remblais ;
- Estimation des tassements à partir de ces modèles ;
- Comparaison des estimations avec les critères définis ;

- Le cas échéant, réalisation d'une seconde estimation après prise en compte d'un traitement de terrain adapté (préchargement, traitement par VC ou CD, etc.) et nouvelle comparaison des résultats avec les critères définis.
- Un plan de traitement de terrain a été défini en phase d'études de con-

ception à partir de cette démarche. Les critères de tassements définis par le programme fonctionnel seront vérifiés par le suivi, pendant l'exploitation des terre-pleins, de bornes de tassements réparties sur l'ensemble des plateformes. Néanmoins, il convient de s'assurer en cours de travaux que ces critères,

définis à moyen et long terme pendant l'exploitation du port, seront bien respectés. À cet effet, la démarche adoptée consiste à vérifier la validité des hypothèses prises en compte pour estimer les tassements (et plus généralement la validité des modèles de calcul) par la comparaison entre : ▷

10- Comparaison entre estimations de tassements au droit d'un point de calcul et mesures d'une chaîne tassométrique, après recalage.

11- Plaque de tassement mise en place sur le chantier.

10- Comparison between settlement estimates at a calculation point and the measurements of a settlement metering system, after resetting.
11- Settlement plate installed on the site.



© JDN 11a



11b



12a

→ L'évolution des tassements estimée dans les différentes notes de calcul et,

→ Les mesures de tassements obtenues in situ pendant la durée du chantier par les dispositifs de suivi mis en place au cours des 2 phases de remblaiement hydraulique.

Cette comparaison des tassements et, le cas échéant, le recalage des modèles de calcul permettent de conforter les extrapolations faites à moyen et long terme pendant l'exploitation des terre-pleins. Un plan d'instrumentation pour le suivi des tassements des terre-pleins au cours du chantier a été établi afin de pouvoir réaliser cette comparaison et suivre les préchargements de terrain. Ce suivi repose essentiellement sur des plaques de tassement réparties sur l'ensemble des remblais hydrauliques, complétées par des dispositifs plus spécifiques.

La figure 10 montre un exemple de comparaison entre les estimations de tassements au droit d'un point de calcul après recalage du phasage de mise en

place des remblais, avec les mesures d'une chaîne tassométrique.

INSTRUMENTATION MISE EN PLACE

Différents dispositifs sont utilisés sur le projet pour suivre les tassements des remblais hydrauliques.

Les plaques de tassements

Il s'agit de tiges métalliques supportées par une plaque. Elles sont mises en œuvre au niveau fini des remblais ou des préchargements au niveau des terre-pleins, enterrées sous 2 m de remblai, laissant apparaître les 50 derniers centimètres de tiges.

Le relevé topographique des plaques (coordonnées X, Y, Z) est réalisé chaque semaine et permet de suivre l'évolution des tassements. Les mesures topographiques de précision (au millimètre) sont réalisées à la station totale (dispositif de mesure associant un théodolite et un distancemètre).

Les chaînes tassométriques

Elles permettent de suivre l'évolution des tassements absolus et différentiels



12b

© BOUYGUES TP

12- Extensomètres magnétiques - à gauche : réalisation d'un relevé avec bague de lecture - à droite : tubes PVC équipés de bagues.

12- Magnetic extensometers - on the left: taking a reading with a reading ring - on the right: PVC tubes fitted with rings.

pendant et après la mise en œuvre des remblais.

Initialement au nombre de 4, elles ont été mises en place avant remblaiement hydraulique, au niveau de l'ancienne plage, au droit de zones préchargées. Le principe est le même qu'un tassomètre hydrostatique (boules tassométriques) si ce n'est que le système de prise de mesures est automatisé. Les cellules tassométriques sont enterrées sous le remblai, reliées entre elles par un tube rempli de fluide et connectées à un capteur de référence.

Ce capteur est situé en dehors de la zone de remblai afin de ne pas subir son influence et le tout est relié à une centrale d'acquisition qui permet

PRINCIPALES QUANTITÉS

INVESTISSEMENT : 675 M€ en travaux

SURFACE DES TERRE-PLEINS : 65 ha dont 44 ha créés sur la mer

VOLUME DE DRAGAGE (REMBLAIS HYDRAULIQUES) : 4 millions m³

TRAITEMENT PAR VC : surface traitée : 265 000 m² ;

points de traitement (y compris reprises) : 17 000 u

TRAITEMENT PAR CD : surface traitée : 162 000 m² ;

points de traitement (y compris reprises) : 16 000 u

CAMPAGNES CPT DE CONTRÔLE DES REMBLAIS HYDRAULIQUES (AVANT ET APRÈS TRAITEMENT) : 3 500 u ; 35 000 m

PRINCIPAUX INTERVENANTS

AUTORITÉ CONCÉDANTE : Région Hauts-de-France

CONCESSIONNAIRE : SEPD (CCI Côte d'Opale, CCI région Nord de France, CDC Infrastructure, Meridiam)

MAÎTRE D'OUVRAGE : Société des Ports du Détroit (SPD)

ASSISTANCE À MAÎTRISE D'OUVRAGE : Egis

GROUPEMENT CONCEPTEUR-RÉALISATEUR (CR) : Bouygues TP, Bouygues TPRF, Spie Batignolles Génie Civil & Nord, Valérian, Colas Nord Est, Jan de Nul

INGÉNIERIE INTÉGRÉE AU CR : Arcadis

d'enregistrer les mesures en continu selon un pas de fréquence choisi et programmé.

Les extensomètres magnétiques en forage

Ils permettent de suivre l'évolution des tassements à partir d'un point d'ancrage situé au fond du forage dans les

Argiles des Flandres. Il s'agit de tubes PVC descendus en forage. Ces tubes sont équipés de bagues magnétiques disposées sur des manchons pouvant coulisser afin de suivre les déformations du terrain. Le calepinage des bagues est déterminé à partir de la géologie des terrains et des résultats

des sondages CPT. Sur le projet, les extensomètres sont constitués de 9 à 10 bagues.

Les mesures sont réalisées chaque semaine manuellement. Une sonde magnétique suspendue à un mètre-ruban est descendue en fond de forage entre 40 et 50 m de profondeur

puis est remontée progressivement. Au passage de chaque bague, un son est émis : la mesure pour une bague est la profondeur relevée sur le ruban au 1^{er} son lors de la remontée de la sonde. Le principe est répété pour les autres bagues du tube en remontant la sonde. □

ABSTRACT

CALAIS PORT 2015: DREDGING, HYDRAULIC BACKFILLING AND GROUND TREATMENT

LUC MOSCONE, ARCADIS - ANGELO VAN TONGEREN, JAN DE NUL - BÉNÉDICTE MERCIER, BOUYGUES TP

The first phase of the Calais Port 2015 project, awarded to a consortium under a Design and Build contract in February 2015, will be delivered in January 2021. It involves, in particular, construction of the new breakwater, dredging of the future dock, and execution of quayage won from the sea. For the dredging work, two cutter dredgers and one backhoe dredger were deployed. For the quayage and a compressible horizon of in-situ ground, soil improvement works (preloading, vibratory compaction, dynamic compaction and heavy surface compaction) were performed in order to comply with settlement levels not to be exceeded during the first 25 years of operation. Checks were performed by static penetration tests and settlement measurement during the works to adjust design calculation models allowing extrapolation of settlement to 25 years. □

CALAIS PORT 2015: DRAGADO, TERRAPLENADO HIDRÁULICO Y TRATAMIENTOS DE TERRENOS

LUC MOSCONE, ARCADIS - ANGELO VAN TONGEREN, JAN DE NUL - BÉNÉDICTE MERCIER, BOUYGUES TP

La primera fase del proyecto Calais Port 2015, cuyo diseño y realización fueron confiados a un consorcio de empresas en febrero de 2015, se entregará en enero de 2021. Consta principalmente de la construcción del nuevo dique, el dragado del futuro depósito y la realización de los terraplenes ganados al mar. Las obras de dragado han movilizado dos dragas con desagregador y una draga retroexcavadora. Se han llevado a cabo mejoras en los suelos de los terraplenes y en un horizonte compresible de terrenos existentes para respetar, durante los 25 primeros años de explotación, unos umbrales máximos de asiento: precargas, vibrocompactado, compactado dinámico y compactado pesado de superficie. Los controles se han realizado mediante ensayos de penetración estática y medición de los asentamientos durante las obras para ajustar los modelos de cálculo y permitir una extrapolación a 25 años de los asentamientos. □

Pour assurer la stabilité des ouvrages et le renforcement des sols
Freyssinet offre des solutions d'ancrage ainsi que des services associés aux entreprises de fondations spéciales et de confortement.

www.freyssinet.com

Foreva



1



2



3

© ARCADIS

© ARCADIS

CONFORTEMENT DES TALUS D'UN SITE INDUSTRIEL À HAUTERIVES DANS LA DRÔME

AUTEUR : BRUNO MASMEJEAN, GÉOLOGUE GÉOTECHNICIEN, ARCADIS

STORENGY, FILIALE DU GROUPE ENGIE, EXPLOITE UN SITE DE STOCKAGE SOUTERRAIN DE GAZ NATUREL AU SUD-EST DE LA VILLE D'HAUTERIVES (26). DES INSTABILITÉS DE TERRAIN DE TYPE GLISSEMENTS SUPERFICIELS SONT APPARUES AU COURS DE LA MISE EN SERVICE DU SITE. AVANT DE REPRENDRE SON EXPLOITATION, STORENGY A DONC FAIT EXÉCUTER DES TRAVAUX DE CONFORTEMENT DES TERRAINS ET LE TRAITEMENT DES RAVINEMENTS AFFECTANT LES TALUS.

CONTEXTE

Le site est constitué de cinq plateformes établies en déblai-remblai sur un versant penté d'environ 13 à 20% (8 à 12°) vers le nord-est. Un grand nombre de talus, en déblais ou en remblais, présente des instabilités et/ou des ravinements liés à des pentes trop raides et à des circulations d'eau souterraines.

Le sous-sol est constitué d'argiles et de cailloutis appartenant au niveau supé-

rieur de la formation de Chambaran (cailloutis polygénéiques emballés dans une matrice argilo-limoneuse ou argilo-sableuse) du Pliocène et reposant sur la molasse sablo-gréseuse du Miocène. On distingue principalement des limons à tendance sableuse et des limons à tendance argileuse. Ces terrains se classent principalement selon le GTR en A2 et A3 (sables fins argileux, limons argileux et argiles ou limons très plastiques). Les sondages ont révélé une

- 1- Zone 13, glissement.
- 2- Zone 9, partie amont.
- 3- Zone 4, glissement superficiel.

- 1- Zone 13, slippage.
- 2- Zone 9, upstream part.
- 3- Zone 4, surface slippage.

grande hétérogénéité du sous-sol tant verticalement qu'horizontalement avec des interfaces de couches variables. Les caractéristiques pressiométriques sont relativement homogènes sur l'ensemble du site avec une compacité croissante au-delà d'une dizaine de mètres de profondeur sous le TN. Tous les sondages pressiométriques et quelques sondages pénétrométriques ont rencontré une couche peu compacte d'épaisseur pluri-métrique



© AFRCADIS
4

vraisemblablement sableuse entre 4 et 7 m de profondeur. Les observations de terrains montrent que les talus de pente inférieure à une trentaine de degrés ne présentent pas de signe d'instabilité. Les investigations effectuées lors des différentes études du site n'ont pas mis en évidence de niveau de nappe proprement dit, mais des circulations d'eau localisées dans des horizons

4- Zone 9, réalisation des épis.

5- Zone 9, état final.

4- Zone 9, execution of spur dykes.

5- Zone 9, end state.

plus perméables pas nécessairement continus. En période pluvieuse, du fait de la faible perméabilité des terrains, le site est sujet à un fort ruissellement. Dans les zones peu protégées par la végétation, les phénomènes de ravinement se développent quelle que soit la pente et sont parfois même plus développés sur les pentes les moins raides. Les remblais nécessaires à la réalisa-

tion des plateformes ont été réalisés avec les matériaux du site pour partie traités à la chaux. Les glissements les plus importants se localisent dans ces remblais. Les principales zones de glissement sont les suivantes :

LE TALUS DE REMBLAI DE LA PLATEFORME H05 (ZONE 9).

À la suite du constat de son instabilité, cette zone a fait l'objet de travaux de terrassement en 2014, principalement avec la mise en œuvre de tranchées drainantes. Malgré ces aménagements, des signes d'activité du glissement et des instabilités superficielles du talus étaient encore observés (figure 2). Un glissement en masse et peu profond s'établit entre le pied de la plateforme H05 et le ruisseau bordant le site à l'aval. Il s'apparente presque à un fluage des terrains dû à la nature argileuse du sous-sol et à la présence de venues d'eau qui diminuent fortement les caractéristiques mécaniques des argiles.

LE TALUS DE REMBLAI DE LA PLATEFORME H07 (ZONE 13)

Le talus en remblai du côté aval de cette plateforme était le siège d'un glissement circulaire s'étendant en crête sur une longueur de 80 m avec un rejet vertical qui atteignait 2 m (figure 1). ▷



© AFRCADIS
5

La surface de glissement a été identifiée à l'interface entre les terrains mis en remblai et le sol en place.

La base du glissement correspond sensiblement au pied de remblai et n'atteint pas le ruisseau dont la berge se situe entre 2 et 4 m du pied de remblai.

La hauteur du talus est comprise entre 2 et 7 m environ.

LA BUTTE DE STOCKAGE DES TERRES (ZONE 4)

Lors des travaux d'aménagement, les terrains de déblais ont été stockés en tas de hauteur voisine de 7 m.

Les talus de cette butte étaient affectés par des arrachements superficiels (figure 3) du fait de pentes trop raides.

RÉALISATION DES TRAVAUX

La consultation a été lancée en novembre 2015 et le DCE a été envoyé aux 6 candidats retenus en décembre 2015.

Les offres ont été remises fin avril 2016. Il s'en est suivi une phase d'alignement technique et de négociation. Le marché a été attribué au groupement Bouygues-Dtp (mandataire)/Cheval, début septembre 2016.

Les travaux ont démarré en octobre 2016 avec les études d'exécution et les travaux préparatoires (dégagement des emprises, mise en place



6

© ARCADIS

de clôture provisoires, aménagement des accès).

Les travaux de terrassement ont débuté début novembre 2016 par la zone 13, le glissement ayant emporté une partie du chemin de ronde du site interdisant l'accès des engins aux autres zones et notamment à la zone 9.

Le délai contractuel fixée à fin avril 2017 a été respecté.

La mise en production a pu commencer avec la mise en gaz des installations d'injection des cavités puis leur remplissage.

6- Zone 9, glissement en phase travaux.

7- Zone 13, travaux de terrassement.

6- Zone 9, slippage in works phase.

7- Zone 13, earthworks.

DESCRIPTION DES TRAVAUX DE CONFORTEMENT

Pour assurer la stabilité à long terme des plateformes, des travaux de terrassement ont été engagés sur l'ensemble du site. Tous les talus de pente supérieure à 30° ont été couchés et les deux glissements importants ont été traités par substitution, épis drainants et masque. En complément, une reprise globale du réseau d'assainissement a été nécessaire pour assurer une collecte optimale des eaux de ruissellement et pour éviter leur infiltration en



7

© ARCADIS



© ARCADIS
8

profondeur préjudiciable au vu de la nature du sous-sol.

ZONE 9

Objet d'un glissement lent des 5 à 6 premiers mètres d'argile saturée, cette zone a été confortée par la mise en place de 20 épis drainants profonds de 4 à 5 m, de 3 m de largeur et espacés de 5 m (entre axe de 8 m). Ces épis, constitués de concassés de carrière de granulométrie 100/400 mm emballés dans un géotextile anti-contaminant, permettent d'assurer un

8- Zone 13, terrassement de la bêche.

9- Zone 13, état final.

8- Zone 13, earthworks for the cutoff wall.

9- Zone 13, end state.

drainage des eaux dans l'épaisseur de terrain en mouvement et d'augmenter les caractéristiques mécaniques du sous-sol par un fretage d'ensemble (figures 4 et 5). À leur extrémité aval, des drains de diamètre 150 mm évacuent les eaux ainsi collectées dans une tranchée drainante.

La partie haute du talus a été confortée par un masque en enrochements. Durant les travaux, il est apparu des amorces de glissement qui ont obligé l'entreprise à réduire la largeur des terrassements et à réaliser

les épis par plots alternés (figure 6). Avec les intempéries, la zone est vite devenue impraticable. Un blocage et un empierrement des pistes d'accès avec du concassé 20/300 ont donc été nécessaires pour assurer la traficabilité.

ZONE 13

Le glissement se développait sur une largeur en tête voisine de 80 m. La hauteur du talus atteignait 7 m. Après l'enlèvement des terrains glissés et l'aménagement de redans, un matelas drainant constitué de concassé de carrière (20/300 mm) a été mis en place à l'interface entre le terrain naturel et le remblai de façon à assurer une continuité hydraulique entre l'amont de la plateforme et le pied de talus.

Le remblai a été reconstitué par la mise en œuvre d'un remblai en matériaux graveleux drainant 0/80 mm (10600 m³) correctement compactés bloqué en pied par une bêche d'ancrage (figures 7 à 9).

Des enrochements de protection ont été disposés en pied de remblai le long du ruisseau qui borde celui-ci.

ZONE 4

Ce dépôt de terre, d'une hauteur voisine de 6 à 7 m, était limité par des talus dont la pente pouvait atteindre 36°. De ce fait, les talus les plus raides présentaient des arrachements et des amorces de petits glissements. ▷



© ARCADIS
9



10

© ARCADIS

Pour réduire les risques de glissement et assurer la stabilité de ce dépôt, les pentes de talus ont été adoucies selon une pente de 30° et la hauteur des talus unitaires a été réduite par la création d'une risberme de 2 m de largeur positionnée à 3 m sous la crête actuelle de talus (figure 10).

Pour limiter le volume de terrain à évacuer et limiter ainsi le nombre de camions, une partie des déblais (environ 2000 m³) a été mise en remblai sur la plateforme sommitale de ce dépôt.

ENSEMBLE DU SITE

Les talus, principalement de déblai, qui présentaient une pente supérieure à 30° ont été adoucis et une végétalisation systématique (22 000 m²) a été réalisée à l'issue des travaux de terrassement.

La dimension écologique et la notion de développement durable ont été prises en compte tout au long du projet tant en phase de conception (des solutions de terrassements ont été préférées aux confortements par soutènement) qu'en phase travaux. Pendant les travaux,

10- Zone 4, état final avant végétalisation.

11- Barriérage et mise en défens.

10- Zone 4, end state before revegetation.

11- Installation of barriers and prohibition of access.

des mesures spécifiques concernant la faune et la flore ont donc été prises et suivies par l'écologue. En particulier vers le ruisseau bordant tout l'est du site dans lequel des batraciens avaient été observés et où le projet a été modifié (création d'une tranchée drainante parallèle au ruisseau) pour ne pas être soumis à la loi sur l'eau.

Les travaux ont été conduits de manière à conserver l'intégrité des berges.

Une barrière anti-franchissement doublée d'une mise en défense a été positionnée à 2 m de la berge (figure 11).



11

© ARCADIS



© ARCADIS

12

Un bassin de décantation avec des filtres à paille a été aménagé pour recueillir toutes les eaux de drainage et de ruissellement du chantier avant leur rejet dans le ruisseau. Ce bassin a ensuite été aménagé pour être conservé. Les arbres les plus importants, susceptibles d'accueillir des chauves-souris et des oiseaux, ont été protégés. Une partie des arbres coupés a été mise en tas à proximité d'une zone humide préexistante reconstituée pour servir de refuge aux animaux (figure 12) : préalablement, les végétaux de cette zone humide avaient été mis en jauge en vue de leur réimplantation. Des tubes inclinométriques, des piézomètres et des cibles topogra-

12- Zone humide réaménagée.

12- Reclaimed wet area.

phiques disposées selon des profils en travers ont été mis en place pour le suivi des deux principales zones de glissement. Aucun mouvement significatif n'a été détecté à ce jour, un an après la fin des travaux : le site peut être considéré comme étant stabilisé. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Storengy
ASSISTANCE À MAÎTRISE D'OUVRAGE : Cnr
MAÎTRISE D'ŒUVRE : Arcadis
ENTREPRISE : Bouygues TP

PRINCIPALES QUANTITÉS

DÉBLAIS GRANDE MASSE : 23 300 m³
DÉBLAIS DE REPROFILAGE : 5 300 m³
REMBLAIS : 20 900 m³
ÉPIS DRAINANTS : 6 900 m³
MATELAS DRAINANT : 2 100 m³
MASQUE DRAINANT : 2 800 m³
ENROCHEMENTS : 770 m³
FOSSÉS ENHERBÉS : 490 m
CANIVEAUX BÉTON : 900 m

ABSTRACT

CONSOLIDATION OF THE EMBANKMENT OF AN INDUSTRIAL FACILITY AT HAUTERIVES IN THE DRÔME REGION

BRUNO MASMEJEAN, ARCADIS

The embankments of a natural gas underground storage facility in the Drôme region of France were affected by numerous faults (gullying, stripping, slippages). The excessively steep embankment slopes were softened, the rainwater network was reworked and the two slippage zones were consolidated. For one of the zones, the slipped backfill was drained and replaced with a free-draining backfill after placing a drainage blanket at its base and creating a base cutoff wall. For the other zone, twenty drainage spur dykes were executed for combined reinforcement and drainage of the ground. The facility has been stabilised, as attested by the inclinometer measurements and topographic surveys performed over a period of one year after work completion. □

REFUERZO DE LOS TALUDES DE UNA PLANTA INDUSTRIAL EN HAUTERIVES, EN LA DRÔME

BRUNO MASMEJEAN, ARCADIS

Los taludes de una planta de almacenamiento subterráneo de gas natural en el departamento francés de la Drôme estaban afectados por numerosos problemas: abarrancamientos, arrancamientos, deslizamientos. Se han suavizado las pendientes excesivas de talud, se ha recuperado la red de aguas pluviales y se han reforzado las dos zonas de deslizamiento. En una de ellas, se ha purgado el terraplén que había sufrido un deslizamiento y se ha sustituido por un terraplén drenante, previa instalación de un colchón drenante en su base y un remate inferior. En la otra zona, la realización de veinte espigas de drenaje ha permitido un zunchado horizontal asociado a un drenaje de los terrenos. El emplazamiento ha quedado estabilizado, como revelan las mediciones inclinométricas y los levantamientos topográficos llevados a cabo durante un período de un año tras la finalización de las obras. □


1

© GEOS

CONFORTEMENT D'ANOMALIES KARSTIQUES PAR JET GROUTING : VIADUC DE L'AUSTREBERTHE (A150)

AUTEURS : STÉPHANE CURTIL, DIRECTEUR, GEOS INGÉNIEURS CONSEILS - ARNAUD JUIGNET, INGÉNIEUR, GEOS INGÉNIEURS CONSEILS - ALAIN SALEH, CONDUCTEUR DE TRAVAUX PRINCIPAL, SEFI-INTRAFOR - PASCAL GOUZENNE, DIRECTEUR DE TRAVAUX, RAZEL-BEC

DANS LE CADRE DE LA CONSTRUCTION DE L'AUTOROUTE A150, EN NORMANDIE, UNE ANOMALIE DE TYPE KARSTIQUE A ÉTÉ MISE EN ÉVIDENCE LORS DE SONDAGES DE CONTRÔLE AU DROIT DE L'UNE DES PILES DU VIADUC DE L'AUSTREBERTHE, SOUS LES PIEUX DE FONDATION. CETTE SITUATION NE PERMETTANT PAS DE GARANTIR LA PÉRENNITÉ DES FONDATIONS DE L'OUVRAGE, L'ALÉA DÉCOUVERT SE DEVAIT D'ÊTRE TRAITÉ : APRÈS ANALYSE DES DIFFÉRENTES OPTIONS DE RENFORCEMENT POSSIBLES, UNE SOLUTION DE CONFORTEMENT AU MOYEN DE COLONNES DE JET GROUTING A ÉTÉ MISE EN ŒUVRE.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

Le projet autoroutier, constitué d'un linéaire de 18 km entre Barentin et Yvetot, relie les deux tronçons existants de l'A150, ce qui assure la jonction entre les autoroutes A28 et A29 (bouclage de la liaison entre Rouen et le Havre par le nord de la Seine). Il implique la construction de quatorze ouvrages d'art

dont le plus considérable est le viaduc de l'Austreberthe.

Ce viaduc, long de 480 m pour une hauteur au-dessus du sol atteignant 40 m, traverse la vallée de l'Austreberthe, un affluent de la Seine, sur la commune de Villers-Écalles. Il s'agit d'un ouvrage en structure mixte, poutres charpente métallique et dalle béton armé, sur sept appuis (figure 2) :

**1- Prélèvement
de spoils pour
essais.**

**1- Spoil
sampling for
tests.**

deux culées (C0 et C6) et cinq piles (P1 à P5). Il est lancé depuis la culée C6 en trois phases.

La pile P5, implantée sur le versant Sud-Est de la vallée, est fondée superficiellement.

Les autres appuis sont fondés sur des pieux, ancrés dans la craie (quatre pieux Ø 1 400 pour les culées et six pieux Ø 1 800 pour les piles).



© GIE A150
2

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Le projet s'inscrit dans le contexte du plateau de Caux, qui forme un vaste entablement crayeux, recouvert en surface par des limons. Le substratum est constitué par la craie à silex du Crétacé supérieur (épaisseur maximale voisine de 250 m) présentant une altération plus ou moins marquée (craie altérée à fracturée), généralement en tête de la formation. La craie est surmontée par des formations résiduelles à silex (argiles à silex) qui affleurent en bord de plateau, tandis que le substratum apparaît sur les versants. Le plateau crayeux est profondément entaillé par la vallée de l'Austreberthe, qu'enjambe le viaduc. Des alluvions, déposées

2- Viaduc de l'Austreberthe.

3- Remplissage de l'anomalie et craie sous-jacente.

4- Log des enregistrements des paramètres de forage de jet grouting.

2- Austreberthe viaduct.

3- Filling of the anomaly and underlying chalk.

4- Log of jet grouting drilling parameter recordings.

par la rivière, en tapissent le fond. Dans ce contexte géologique, des poches de dissolution et cavités karstiques sont fréquemment rencontrées au sein de la craie. Elles peuvent contenir un remplissage de formations résiduelles à silex, accompagnées parfois de sables et de limons argileux. L'altération karstique peut également prendre la forme d'une dissolution partielle de la craie accompagnée d'une réduction de ses caractéristiques mécaniques. Ces phénomènes constituent un aléa important pour la construction. De plus, le risque d'interférence du projet avec des puits et des chambres souterraines anciennement utilisées pour l'extraction de la craie est également présent.

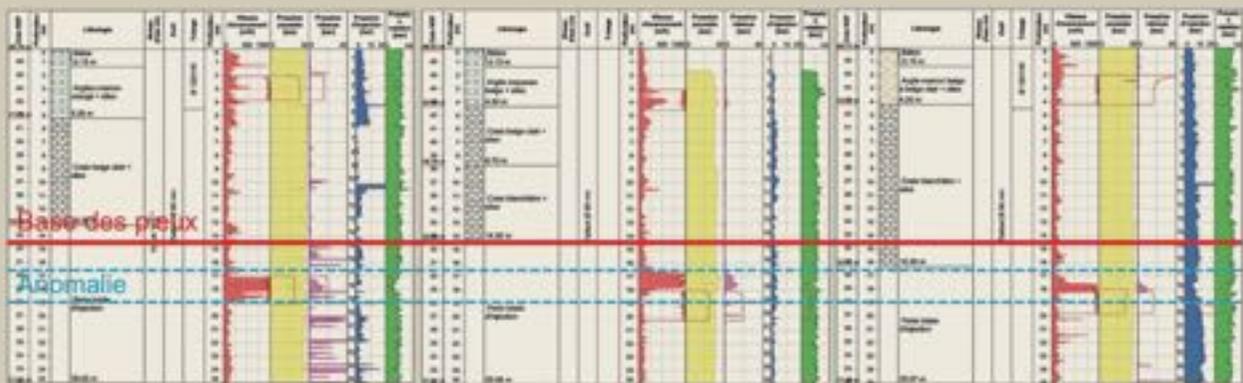
Ces anciennes marnières, dont l'orifice est généralement comblé, provoquent parfois des effondrements localisés.

ANOMALIE KARSTIQUE

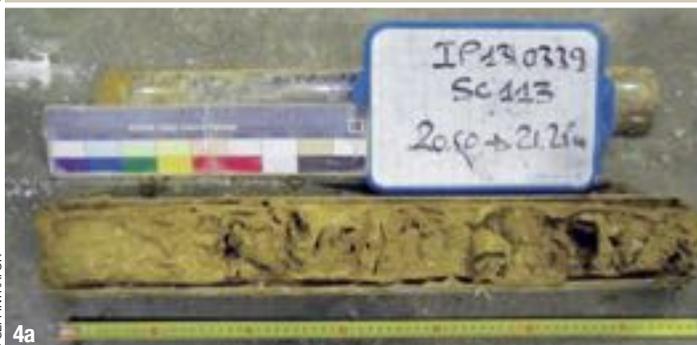
La découverte d'anomalies karstiques préalablement à la réalisation de la culée C0 a conduit le GIE A150 à réaliser une campagne approfondie de sondages de contrôle sur les autres appuis de l'ouvrage, dont les fondations étaient déjà réalisées.

Ces sondages complémentaires (forages de type destructif) ont mis en évidence la présence d'une anomalie dans la craie au niveau de la pile P1. L'examen des enregistrements des paramètres de forage et de leurs variations (augmentation de la vitesse d'avance et de la pression de retenue de l'outil, diminution de la pression d'injection et du couple de rotation) ont en effet permis d'identifier une zone fortement décompressée, ne correspondant cependant pas à un vide franc (figure 3). Ces observations ont été confirmées par des essais pressiométriques et par un sondage carotté (figure 4) qui a montré la présence, au sein de la craie, d'un matériau de remplissage silteux à limoneux contenant des débris de silex.

REPLISSAGE DE L'ANOMALIE ET CRAIE SOUS-JACENTE



© FONDASOL
3



© SEF-INTRAFOR
4a



4b

L'anomalie a été localisée environ 2 m sous la base des fondations de la pile (pieux de 14,5 m de longueur) sur une épaisseur comprise entre 0,5 m et 2 m. Compte tenu de la faible distance entre le toit de l'anomalie et la base des pieux, une solution de confortement se devait donc d'être mise en œuvre afin d'assurer la pérennité de l'ouvrage.

SOLUTIONS ENVISAGÉES

Les efforts étant particulièrement importants en pointe des pieux, le principe de confortement qui a été retenu était de reporter l'application de ces efforts en profondeur, dans la craie saine. Pour cela, différentes solutions techniques ont été envisagées :

- Ajout de micropieux de renforcement de la fondation ;
- Réalisation d'une campagne d'injections classiques de coulis ;
- Réalisation d'injections solides dans la zone de l'anomalie identifiée ;
- Ajout de colonne de jet grouting traversant l'anomalie et assurant le transfert des charges en profondeur. C'est finalement la dernière solution, le jet grouting, qui a été choisie car elle apparaissait comme la plus adaptée au

contexte tant géologique que technique. Il s'agit d'un procédé d'injection à haute pression d'un coulis de ciment qui permet de réaliser des colonnes de sol-ciment par déstructuration en place du terrain sous l'effet des pressions d'injection. Le diamètre et la résistance à la compression des colonnes pouvant être obtenus par cette méthode sont compatibles avec les contraintes à faire transiter à travers l'anomalie sans poinçonner la craie. En l'occurrence, les études ont démontré que la réalisation de quatre colonnes de 1,2 m de diamètre sous chaque pieu, avec une résistance à la compression de 5 MPa, permettait de justifier la stabilité de la pile, malgré la présence de l'anomalie. La figure 5 présente l'implantation des colonnes au voisinage des pieux, sous la semelle de liaison. Les inclinaisons des forages permettent de venir inscrire les colonnes de jet grouting dans le cône de diffusion des efforts en pointe de pieux

DESCRIPTION DU CHANTIER

Les travaux de confortement ont été réalisés par Sefi-Intrafor. Le programme initial du chantier était donc de réaliser 24 colonnes de jet grouting de 4 m de

hauteur permettant un recouvrement de 1 m minimum de part et d'autre de l'anomalie afin d'assurer son traitement complet, y compris si la géométrie de l'anomalie venait à ne pas être exactement celle attendue.

L'installation de chantier de l'entreprise a pris place à côté de la pile : atelier de forage (foreuse Beretta T41), centrale à coulis, pompes, bacs, ...

La technique employée pour l'exécution des colonnes de jet grouting est celle du jet double à l'air. Un filet d'air concentrique au jet de coulis améliore l'action de celui-ci. Lors de l'exécution, une partie du sol traité remonte en surface sous forme de *spoils* (mélange de sol déstructuré et de coulis) et la partie résiduelle se mélange au coulis pour former la colonne. Le coulis de ciment

utilisé a été dosé avec un rapport C/E égal à 1 pour 750 kg/m³ de ciment de manière à garantir la résistance finale des colonnes.

Afin que les colonnes soient positionnées sous les pointes des pieux, les travaux doivent commencer par une phase de forages, inclinés entre 5 et 8°, de part et d'autre de la pile.

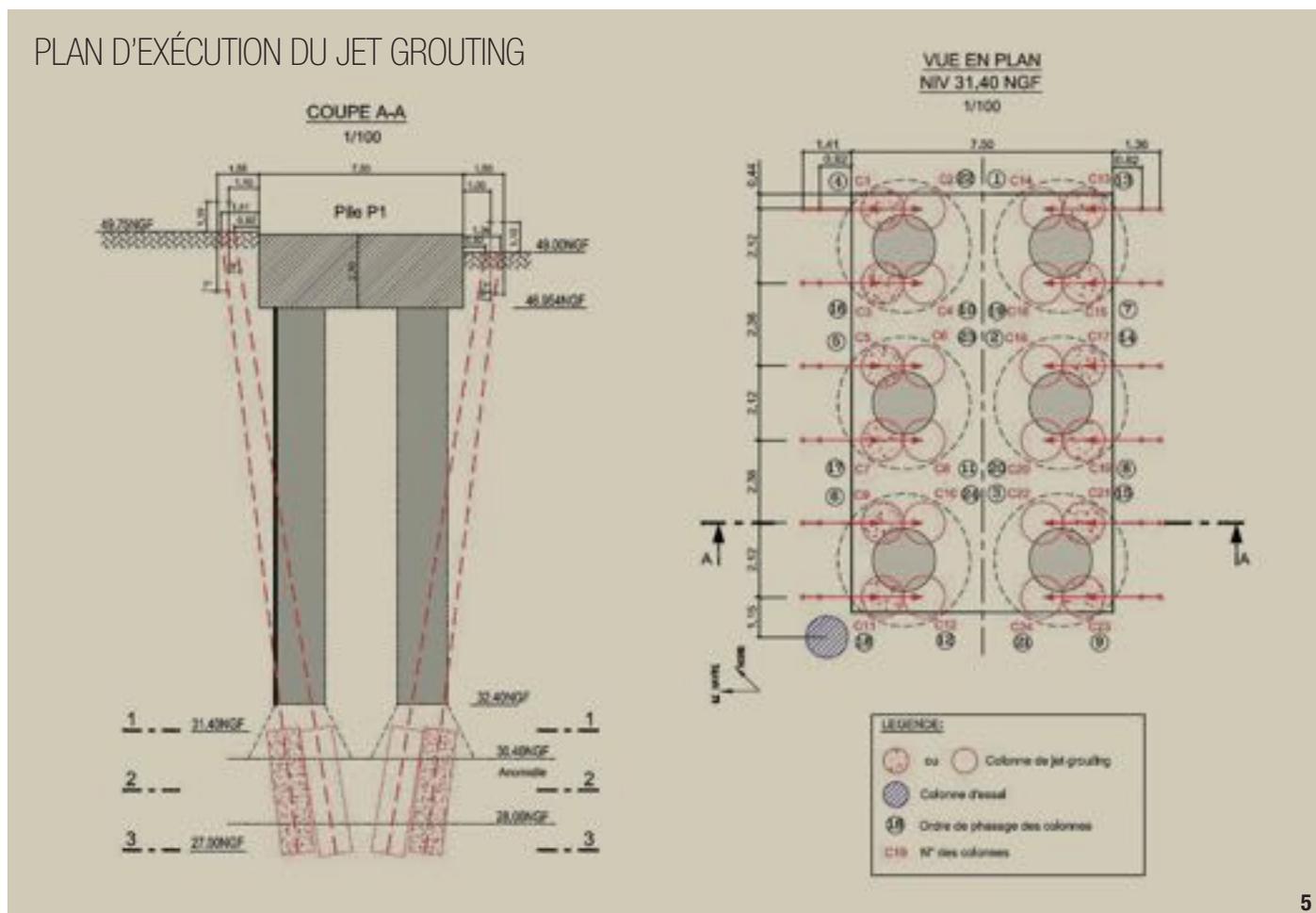
Dans un premier temps, les forages sont descendus jusqu'à 17 m de profondeur (base des pieux) en diamètre Ø 200 et équipés de tubes PVC Ø 160, scellés par un coulis de gaine, pour faciliter la remontée des *spoils* et donc le contrôle en continu de la qualité de l'exécution de l'ouvrage.

Dans un second temps, les forages sont poursuivis en diamètre plus petit (Ø 114) jusqu'à 27 m de profondeur. Ils servent de sondages de reconnaissance pour confirmer la position de l'anomalie par l'analyse des paramètres de forage.

Enfin, le jet grouting est réalisé depuis le bas de la colonne vers le haut. Le moniteur de jet (pièce tubulaire placée à l'extrémité des tiges de forage et comportant les buses d'injection - figure 6) est descendu dans le forage,

5- Plan d'exécution du jet grouting.

5- Jet grouting working drawing.





6- Tête de forage et de jet grouting.
7- Unité de contrôle du jet grouting.

8- Mesure de la densité des spoils.

6- Drilling and jet grouting head.

7- Jet grouting control unit.

8- Spoil density measurement.

à la base de la zone à injecter. L'injection se fait en remontant pas à pas, avec un temps de station à chacun d'eux de manière à garantir le diamètre final des colonnes. Le processus d'exécution de la colonne est piloté automatiquement : le réglage des différents paramètres (débits de coulis et pressions des fluides, pas de remontée, temps de station, vitesse de rotation) se fait au moyen d'une unité de contrôle (figure 7) selon un protocole qui a préalablement été validé par la réalisation d'une colonne d'essai sur le même site.



PLOT D'ESSAI

Avant d'entamer les travaux, un plot d'essai a été réalisé afin de vérifier la validité des paramètres de jet grouting choisis vis-à-vis des objectifs à atteindre :

- Pression de coulis : 450 bars ;
- Débit de coulis : 280 L/min ;
- Pression d'air : 9 bars ;
- Temps de station : 10 s ;
- Pas de remontée : 3 cm ;
- Vitesse de rotation : 55 tr/min.

L'analyse des paramètres du forage de reconnaissance a permis de confirmer la position de l'anomalie vers 21 m de profondeur. Les contrôles qui ont été effectués afin de vérifier le respect des objectifs fixés pour le confortement des sols sont les suivants :

- Contrôles des caractéristiques physiques et de résistance sur le coulis et sur les *spoils* ;
- Contrôle du diamètre de la colonne après exécution.

Les contrôles sur le coulis et les *spoils* consistent en des essais de compression à 7, 14 et 28 jours sur des échantillons prélevés en sortie de centrale pour le coulis et lors du jet grouting pour les *spoils*. Des mesures de densité (figure 8) sont également effectuées sur le coulis et les *spoils* (figure 1).

Après exécution, le diamètre de la colonne est contrôlé par la méthode du cylindre électrique. L'entreprise Soldata était en charge de cette prestation. Cette méthode permet de déterminer le diamètre d'une colonne de jet grouting avec une précision de l'ordre de 10% en utilisant la différence de résistivité entre les matériaux constitutifs de la colonne et le sol.

Un profil de résistivité du sol vierge est réalisé avant l'exécution de la colonne : la sonde de mesure est introduite dans le forage de reconnaissance tubé et rempli d'eau. Après réalisation de la colonne, le forage de reconnaissance est exécuté à nouveau, cette fois, à travers la colonne, et un nouveau profil de résistivité est mesuré. Cette mesure est effectuée lorsque la colonne est fraîche car, sa résistivité étant alors faible, le contraste avec la résistivité plus élevée du sol va permettre de déterminer le diamètre de la colonne (figure 9).

Les résultats du plot d'essai ont permis de valider les paramètres d'exécution proposés. L'objectif de résistance à la compression de 5 MPa a été atteint sur les *spoils* dès 7 jours (résistance obtenue à 28 jours supérieure à 20 MPa). La densité des *spoils* a augmenté de façon significative au niveau de l'anomalie : valeurs mesurées supérieures à 1,6 (densité du coulis : 1,5), ce qui montre que le mélange sol-ciment s'est effectivement fait. Ce mélange était d'ailleurs aisément visualisable (*spoils* plus épais).

Enfin, la mesure au cylindre électrique a montré que le diamètre de la colonne atteint 1,2 m au niveau de l'anomalie.

DÉROULEMENT DU CHANTIER

Le succès du plot d'essai a validé les différents paramètres utilisés et les travaux de confortement ont alors été lancés. Le chantier s'est déroulé suivant le phasage présenté plus haut (figure 5) avec tout d'abord la phase de forages (équipement et reconnaissance - figure 10). Les paramètres de forage ont été analysés par Sefi-Intrafor et Geos pour déterminer les cotes définitives de réalisation des colonnes de jet grouting. Selon les données d'enregistrement de forages, il a été décidé

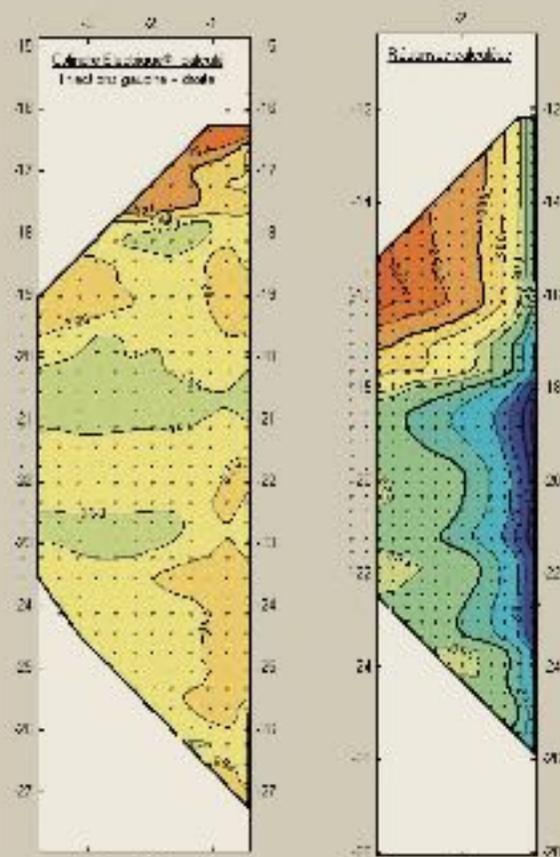
9- Profils de résistivité mesurés avant et après réalisation de la colonne de jet grouting.

10- Remontées des spoils épaissis.

9- Resistivity profiles measured before and after execution of the jet grouting column.

10- Thickened spoil rising.

PROFILS DE RÉSISTIVITÉ MESURÉS AVANT ET APRÈS RÉALISATION DE LA COLONNE DE JET GROUTING



9

© GEOS



10

© GEOS



constructeur, afin de détecter d'éventuels tassements ou déformations induits par les travaux de jet grouting. Cette mesure a été doublée avec la mise en place de dispositifs de contrôle visuel immédiat (niveaux et pendules) pour permettre à l'entreprise un contrôle continu des éventuels déplacements.

BILAN DES TRAVAUX

Les résultats de l'ensemble des essais de contrôle ont tous été satisfaisants vis-à-vis des seuils requis. Les travaux engagés ont donc bien permis de conforter les fondations de la pile P1 du viaduc (figure 12) vis-à-vis de la problématique posée par la présence d'une anomalie karstique sous la base des pieux. La technique du jet grouting s'est montrée très bien adaptée au contexte géologique et aux contraintes techniques. □

de modifier la hauteur des colonnes qui a été portée à 4,5 m avec un positionnement en altitude homogène afin d'assurer un traitement complet de l'anomalie et un fonctionnement mécanique efficace du confortement du massif.

La réalisation des 24 colonnes a ensuite nécessité huit jours de travail, avec un phasage pour permettre la prise du ciment de chaque colonne avant la réalisation des colonnes adjacentes. Compte tenu des conditions particulières de cette intervention de confortement des sols sous une fondation déjà construite, les contrôles (résistance à la compression et densité) sur le coulis et les *spoils* ont été renforcés et réalisés de manière systématique sur l'ensemble des colonnes. Un contrôle

11- Niveau pour contrôle visuel immédiat.
12- Pile P1.

11- Level gauge for immediate visual check.
12- Pier P1.

de diamètre par la méthode du cylindre électrique a été effectué sur les trois premières colonnes afin de s'assurer que le diamètre visé et validé par la colonne d'essai était bien reproduit. En complément, un contrôle topographique régulier de la pile (figure 11) à été mené par le groupement de

PRINCIPALES QUANTITÉS

FORAGES DE DIAGNOSTIC AVANT TRAITEMENT : 600 m

NOMBRE DE PIEUX RENFORCÉS : 6 u

NOMBRE DE COLONNES DE JET GROUTING : 24 u

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Albea

GROUPEMENT CONCEPTEUR-CONSTRUCTEUR : GIE A150 (Razel-Bec / Nge)

INGÉNIERIE INTÉGRÉE : Ingerop-Razel-Nge / Geos Ingénieurs Conseils

RÉALISATION DU JET GROUTING : Sefi-Intrafor

CONTRÔLE DU DIAMÈTRE DES COLONNES : Soldata

ABSTRACT

REHABILITATION OF KARSTIC ANOMALIES BY JET GROUTING: AUSTREBERTHE VIADUCT (A150)

STÉPHANE CURTIL, GEOS INGÉNIEURS CONSEILS - ARNAUD JUIGNET, GEOS INGÉNIEURS CONSEILS - ALAIN SALEH, SEFI-INTRAFOR - PASCAL GOUZENNE, RAZEL-BEC

When a karstic anomaly was discovered under the tip of foundation piles on pier P1 of Austreberthe viaduct over the A150 motorway, a geometric and geomechanical diagnosis campaign had to be undertaken to assess its possible impact on the structure's safety. Given the lateral extension of this anomaly and its proximity to the pier foundation, compensatory measures had to be taken, which, after examining the various possible options (micropiles, injection, solid injection, jet grouting, etc.), took the form of a jet grouting treatment capable of ensuring the transfer of loads to the healthy substratum. The works were designed and executed taking into account the geometric accessibility constraints imposed by the piles and the pier tie plate. □

REFUERZO DE ANOMALÍAS CÁRSTICAS POR JET GROUTING: VIADUCTO DEL AUSTREBERTHE (A150)

STÉPHANE CURTIL, GEOS INGÉNIEURS CONSEILS - ARNAUD JUIGNET, GEOS INGÉNIEURS CONSEILS - ALAIN SALEH, SEFI-INTRAFOR - PASCAL GOUZENNE, RAZEL-BEC

Tras descubrirse una anomalía cárstica bajo la punta de los pilotes de cimentación de pila P1 del viaducto del Austreberthe, en la A150, ha sido preciso realizar una campaña de diagnóstico geométrico y geomecánico para poder apreciar su eventual impacto en la seguridad de la construcción. La extensión lateral y la proximidad de la anomalía con los cimientos de la pila han obligado a aplicar medidas compensatorias que, previo análisis de las distintas opciones posibles (micropilotes, inyecciones, inyecciones sólidas, jet grouting, etc.), han consistido en un tratamiento por jet grouting capaz de garantizar la transferencia de cargas hacia el sustrato sano. Las obras han sido diseñadas y ejecutadas teniendo en cuenta las restricciones geométricas de accesibilidad impuestas por los pilotes y la losa de enlace de la pila. □



**PRO BTP,
LE MEILLEUR DE LA
PROTECTION SOCIALE**

SANTÉ
PRÉVOYANCE
RETRAITE
ÉPARGNE
ASSURANCES
ACTION SOCIALE
VACANCES

PRO BTP
GROUPE



1

© SOLETANCHE BACHY

NOUVEAU FRANCHISSEMENT DE LA RIVIÈRE DES GALETS À LA RÉUNION

AUTEUR : SYLVAIN FORRAY, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE

DEPUIS LE PRINTEMPS 2017, SOLETANCHE BACHY A MENÉ LES TRAVAUX DE FONDATION DU NOUVEAU PONT DE LA RN1 FRANCHISSANT LA RIVIÈRE DES GALETS. CES TRAVAUX, RÉALISÉS SUR LES BERGES, MAIS AUSSI DANS LE LIT MINEUR DE LA RIVIÈRE, ONT MOBILISÉ PLUSIEURS ATELIERS DE FONDATION EN 3 POSTES DE TRAVAIL, L'OBJECTIF ÉTANT DE TERMINER L'ENSEMBLE DES TRAVAUX DANS LE LIT MINEUR AVANT LA SAISON CYCLONIQUE. LA PRISE EN COMPTE DE CES PHÉNOMÈNES MÉTÉOROLOGIQUES A DES CONSÉQUENCES IMPORTANTES, DU DIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE JUSQU'AU MÉTHODES ET AU PLANNING DE RÉALISATION DE CE DERNIER.

L'agence réunionnaise de Soletanche Bachy France réalise, depuis le printemps 2017, les travaux de fondation du nouveau pont de la RN1 franchissant la rivière des Galets (figure 1).

La rivière des Galets est l'une des rivières les plus importantes de La Réunion et constitue un obstacle natu-

**1 - Vue d'ensemble :
rive droite - pile P4,
paroi moulée et
culée C5.**

**1 - General view:
right bank - pier P4,
diaphragm wall and
abutment C5.**

rel remarquable entre l'ouest de l'île et la capitale, sur un axe économique majeur. Son débit varie selon les événements climatiques, de quelques m³/s à 3500 m³/s en cas de cyclone. La largeur du lit est d'environ 430 m. Le franchissement actuel, constitué de 2 ponts (datant des années 40 et des années 80), a une durée de

vie résiduelle très limitée malgré les nombreux travaux de confortement réalisés depuis une dizaine d'années. En effet, le niveau bas des fondations superficielles est presque atteint, avec un affouillement progressif du lit de la rivière et des affouillements en phase de crue pouvant atteindre plusieurs mètres.

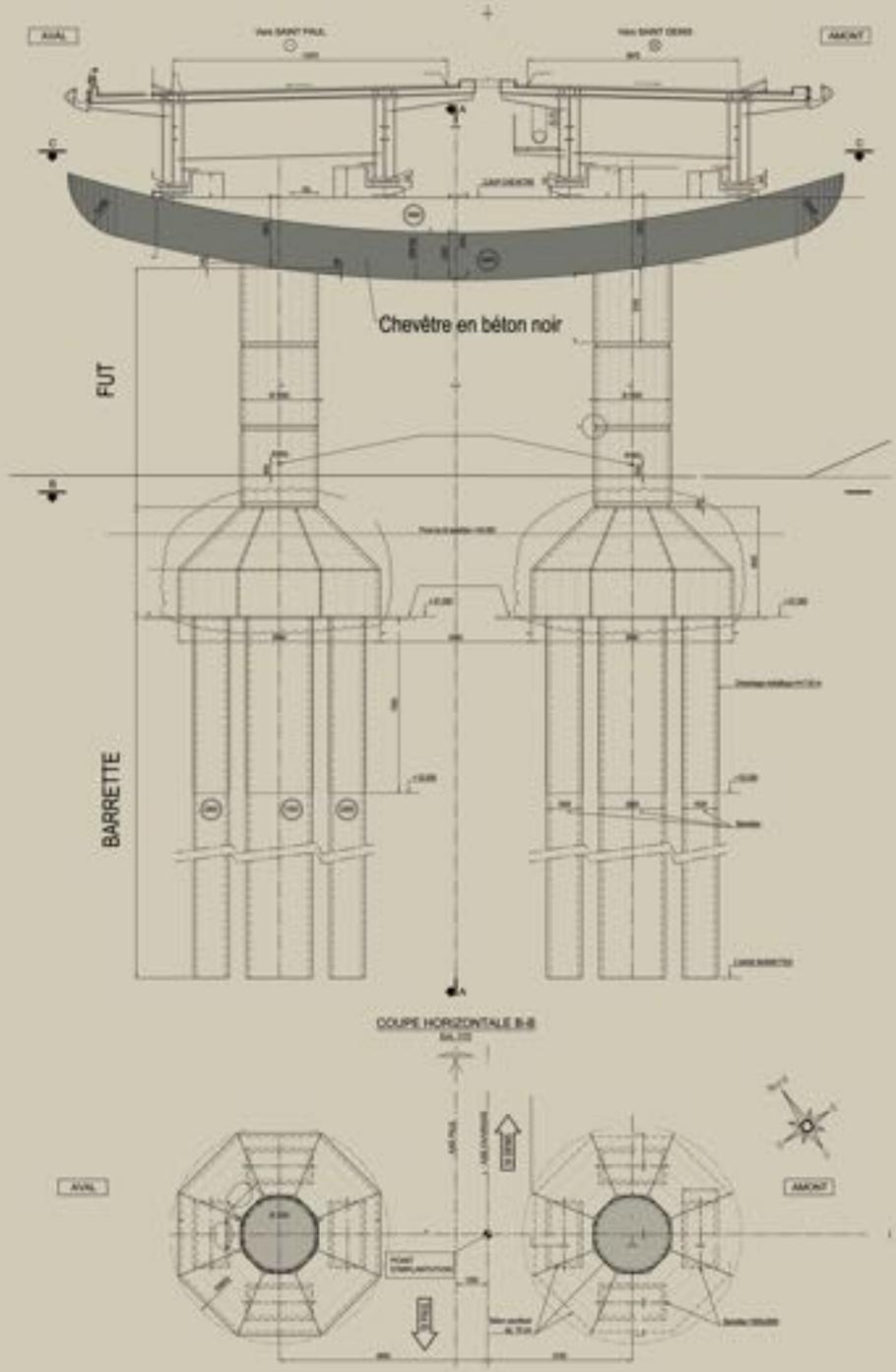
COUPE SUR OUVRAGE

Le plus ancien des deux ponts a d'ailleurs déjà été interdit aux poids lourds, qui doivent maintenant faire un détour et emprunter un autre ouvrage à quelques kilomètres de là. Le remplacement de ces deux ouvrages constitue donc une priorité majeure pour le réseau routier réunionnais. Le nouveau pont est fondé sur 40 barrettes d'épaisseur 1500 mm et d'une profondeur allant de 24 à 37 m. De plus, une paroi moulée de 100 m de long et 30 m de hauteur doit protéger la culée en rive droite (figures 2 et 3).

CONCEPTION

Les études de conception ont été longues, afin de bien prendre en compte les contraintes liées au site :
 → D'un point de vue environnemental, le site est sensible : la rivière comporte quelques espèces de poissons endémiques. Le corridor de la rivière des Galets constitue un couloir de passage stratégique pour les pétrels et les puffins, deux espèces d'oiseaux endémiques et protégées. Enfin, plusieurs puits de pompage d'eau potable se trouvent dans le périmètre immédiat de la zone de travaux.

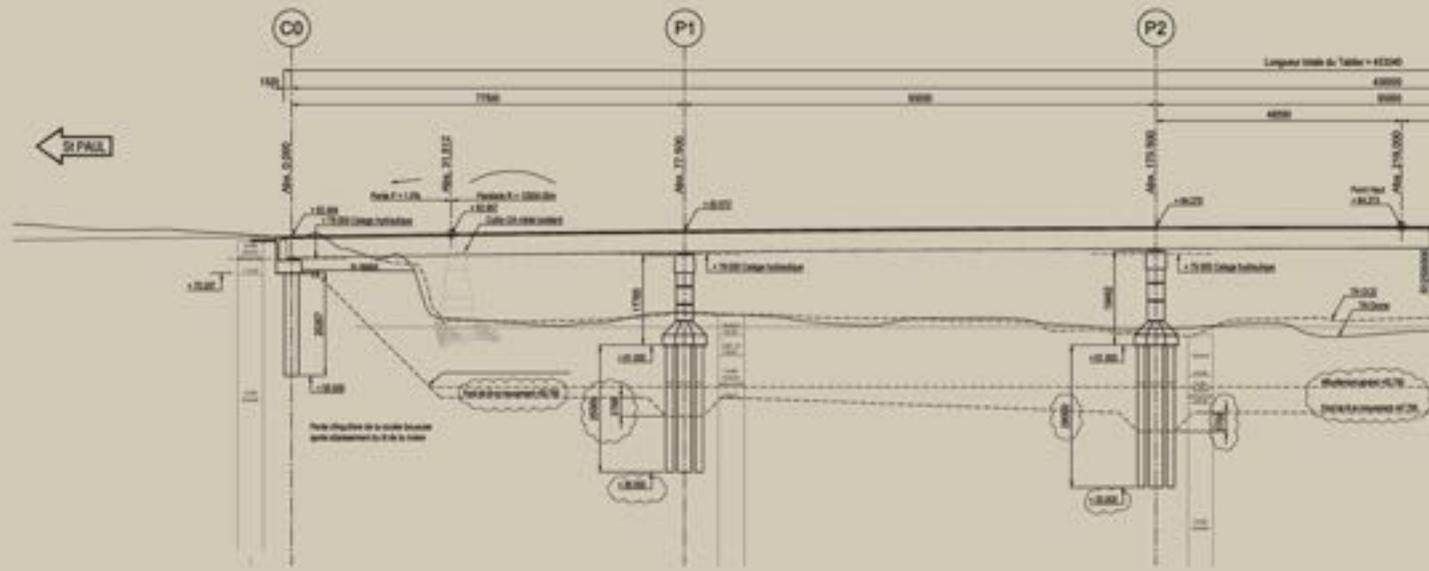
- 2- Coupe sur ouvrage.
- 3- Vue en long de l'ouvrage.
- 2- Cross section on structure.
- 3- Longitudinal view of the structure.



2

© SOLETANCHE BACHY

VUE EN LONG DE L'OUVRAGE



3

© SOLETANCHE BACHY

→ Afin de dimensionner un ouvrage durable, il est nécessaire d'estimer l'évolution ultérieure du lit de la rivière, en particulier le niveau le plus bas qu'atteindra le lit. De plus, la présence dans le cours d'eau des obstacles que constituent les piles de pont a un impact sur les écoulements et sur les phénomènes d'affouillement localisés. Des études en laboratoire ont été menées par Artelia et la Région Réunion, afin d'envisager différentes géométries de piles, de barrettes et de protections de berge.

→ En termes de conception, le cas cyclonique est très pénalisant. En effet, les poussées hydrodynamiques, qui s'appliquent sur une hauteur considérable et avec une vitesse importante, sont à l'origine d'efforts latéraux très importants dans les piles et, en particulier, dans les barrettes de fondation. Le choc des objets charriés par le courant (troncs, voitures...) ajoute encore une circonstance très défavorable.

→ Pour pallier les chocs et les dégradations que subira l'ouvrage, deux protections sont mises en œuvre : la prise en compte d'une épaisseur sacrificielle de 15 cm de béton sur les barrettes, semelles et piles de pont, non prise en compte dans les calculs - et la mise en œuvre d'une protection physique en tête des barrettes de fondation, à savoir une chemise métallique perdue de 7,5 m de hauteur.



4
© SOLETANCHE BACHY

4- Hydrofraise au travail.

4- Hydrofraise at work.

GÉOLOGIE DU SITE ET CHOIX DES ENGINS DE FORAGE

La géologie du site est hétérogène. En surface et en rive droite, les alluvions de la rivière des Galets génèrent des difficultés d'exécution pour les fondations. Ces alluvions basaltiques ont une granulométrie très étalée, allant de bancs de sables très fins cimentés à des horizons de galets et blocs très crus (avec des blocs de plus d'un mètre).

La perforation des barrettes de la culée en rive droite et de la paroi moulée a été réalisée à l'aide de 2 ateliers de type benne à câbles, dans les alluvions très compactes.

En rive gauche, les alluvions laissent place à une coulée boueuse très compacte, quasi rocheuse, incluant quelques blocs basaltiques au sein de la matrice. Dans la coulée boueuse, la perforation est réalisée avec une Hydrofraise (figure 4).

Avec la présence d'horizons très perméables, des travaux préalables d'injection ont été réalisés pour réduire les pertes de boues attendues. Ils concernaient l'ensemble des appuis concernés par les alluvions.

INSTALLATION DE CHANTIER

Les installations techniques (centrale de fabrication et traitement des boues et coulis) ont été construites sur les berges de la rivière entre les 2 ponts existants.

En effet, cette situation les met à l'abri des crues de la rivière.

Des travaux de nuit ont permis de créer des accès routiers au terre-plein central de la RN1.

La boue et le coulis de ciment transitent par des conduites qui partent des berges, et vont jusqu'aux engins de forage situés en rivière, à 450 m de distance.

Les engins de forage évoluent sur des plates-formes étanches en béton et enrobés : cela permet de travailler en sécurité et de contenir les éventuelles fuites de produits polluants (gazoil, huile hydraulique, etc.).

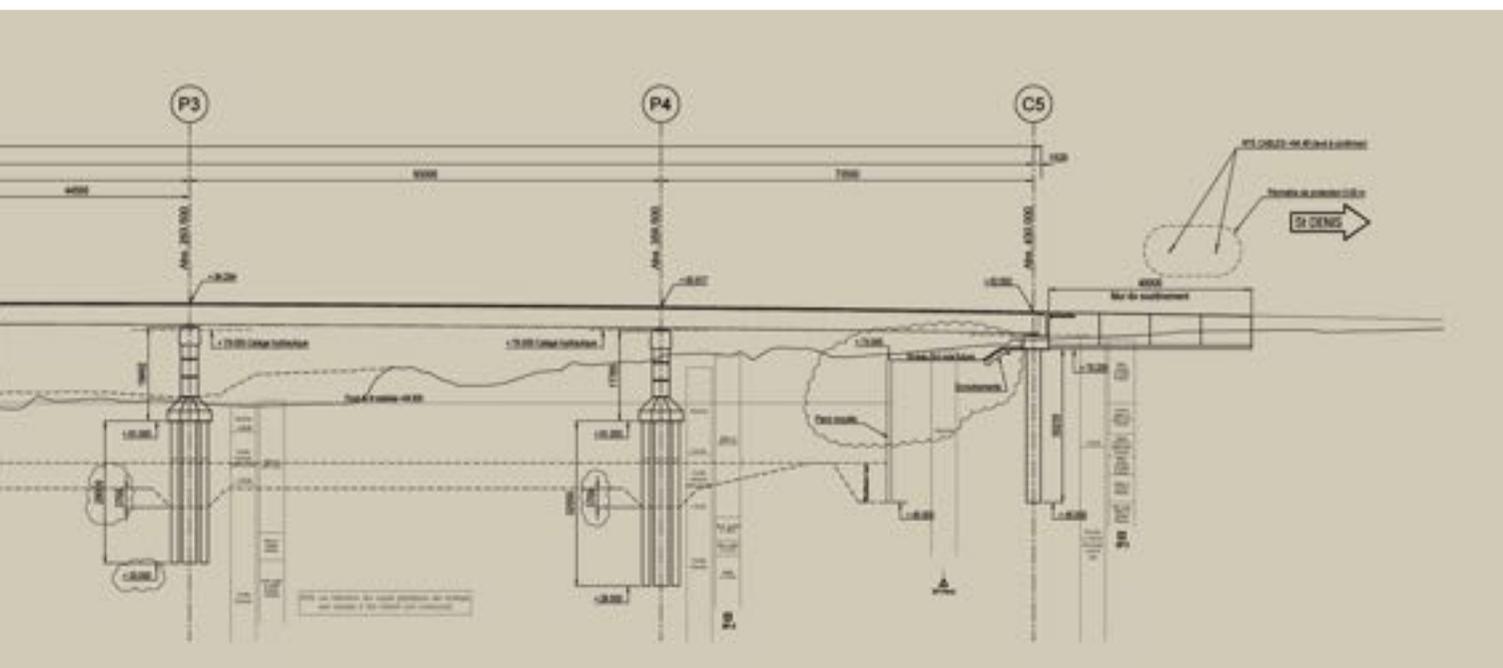
MÉTHODES SPÉCIFIQUES

Dans la préparation du chantier, deux points importants ont nécessité une préparation spécifique :

Réalisation de la paroi moulée sous le pont existant : le marché prévoit la réalisation de la paroi moulée sous le pont métallique.

Or, le niveau du terrain naturel est situé à 5 m sous le tablier du pont. Il était donc nécessaire de terrasser pour augmenter cette hauteur, tout en ne fragilisant pas les existants.

En effet, la paroi moulée est très proche de la culée de ce pont dont la cote de fondation est inconnue ainsi que de la première pile. ▷





5



6

© SOLETANCHE BACHY



7

© SOLETANCHE BACHY

5- Paroi moulée sous hauteur réduite sous l'ouvrage existant.

6- Mise en place des cages d'armatures de barrettes.

7- Mise en place d'un chemisage.

5- Diaphragm wall under a small clearance height under the existing structure.

6- Placing barrette reinforcement cages.

7- Installing a casing.

La plate-forme a donc été réalisée au plus juste pour les dimensions de la grue d'excavation : hauteur minimale pour manier la benne à câbles, emprise au sol réduite au minimum, calepinage des cages d'armatures adapté à la hauteur sous crochet disponible (figure 5). De plus, il faudra dans une deuxième phase rehausser cette paroi moulée avec un voile en béton armé pour revenir au niveau initial, qui est aussi le niveau supérieur du soutènement final.

Équipement des barrettes de fondation : les barrettes en rivière sont soumises à des contraintes exceptionnelles.

En effet, les actions défavorables conjuguées lors d'un cyclone (crue, chocs d'embâcle, affouillement localisé et vent sur le tablier) rendent cette situation dimensionnante.

Les ratios d'armatures atteints sont très élevés (320 kg/m³). Le poids des armatures (33 t, pour 36 m de hau-

teur et une section 2,35 x 1,05 m) implique l'utilisation d'une grue de forte capacité : ici, une grue mobile de 130 t, avec double treuil, a été utilisée pour basculer et assembler les cages (figure 6).

Surtout, la mise en place d'une chemise métallique a nécessité la création d'appareux de levage spécifiques : la chemise doit être mise en place à une altitude très précise, parfois 5 m sous

le niveau de la plate-forme. Son poids (5 t) et la nécessité de maintenir un enrobage entre la cage et la chemise ne permettent pas de l'intégrer facilement à la cage d'armatures (figure 7). Il a donc été décidé de mettre en place et de suspendre le chemisage avec un palonnier et des suspentes sur mesure, puis de descendre les armatures à travers la chemise. Le palonnier est récupéré le lendemain pour être réutilisé.

PLANNING DES TRAVAUX

Comme expliqué ci-dessus, la saison cyclonique représente une contrainte importante pour ce chantier : les travaux sont tout simplement interdits en rivière de janvier à mars et la survenance d'un cyclone important peut avoir des répercussions dramatiques sur le planning des travaux.

Dès l'étude du projet, la maîtrise du planning et les marges liées aux travaux à réaliser dans le lit de la rivière constituent le fil rouge.

D'abord, au démarrage des travaux, les créations de pistes et plates-formes n'ont pu débuter avant le mois d'avril. Un chenal provisoire a été mis en place, afin de canaliser la rivière et de réduire les risques de crues.

Au fil des remises de plates-formes, l'injection de ciment doit avoir lieu pour réduire les perméabilités du terrain. Les trois ateliers de fondation ont donc démarré les uns après les autres.

PRINCIPALES QUANTITÉS

PAROI MOULÉE : 2 900 m² (profondeur 30 m, épaisseur 1,00 m)

BARRETTES : 3 700 m² (profondeur maxi 36,5 m, épaisseur 1,5 m)

FORAGES D'INJECTION PRÉALABLE : 7 400 m

FORAGES DE DÉCOMPRESSION POUR LA PAROI MOULÉE : 10 800 m

ARMATURES : 1 200 t, avec un ratio maximal de 320 kg/m³ pour les barrettes les plus sollicitées

BÉTON : 10 000 m³

Afin de garantir la fin des barrettes de fondation dans le bas du lit de la rivière, les travaux ont dû être menés 24h/24, 5 jours par semaine, de septembre à mi-décembre. Cette mobilisation importante a permis d'éviter 3 mois de coupure dans les travaux et le risque d'attendre la remise en état des pistes et des plates-formes de travail.

La réalisation de la paroi moulée sous le pont existant avant la coupure de Noël est l'autre contrainte importante de ce planning. □

Plus d'informations sur le projet sur :
www.nouveaupontrivieredesgalets.re

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Région Réunion

MAÎTRE D'ŒUVRE : Région Réunion

ENTREPRISE PRINCIPALE : groupement Soletanche Bachy France - Gtoi - Matière - Demathieu Bard

ABSTRACT

NEW CROSSING OVER THE GALETS RIVER ON REUNION ISLAND

SYLVAIN FORRAY, SOLETANCHE BACHY

The Reunion Region is currently replacing the structure on highway RN1 crossing the Galets River with a new three-lane dual-carriageway bridge. This bridge is supported on deep foundations (barrettes) executed in the river bed. Soletanche Bachy is in charge of these barrettes and a diaphragm wall to protect one of the abutments. Given the diverse types of ground encountered, two types of drilling machines had to be used: cable grabs and a Hydrofraise. The project is strongly impacted by cyclone phenomena, both in its design (exceptional load cases with very high accidental forces) and in worksite organisation. The challenge was met and the barrettes in the river were able to be completed before the Christmas holidays and the start of the cyclone season. □

NUEVO CRUCE DEL RÍO DE GALETS EN LA REUNIÓN

SYLVAIN FORRAY, SOLETANCHE BACHY

La región de La Reunión está sustituyendo actualmente replace el paso de la RN1 sobre el río de Galets por un nuevo puente de 2x3 carriles. Esta obra se sustenta sobre unas guías instaladas sobre el lecho del río. Soletanche Bachy se encarga de realizar esas guías y una pantalla de hormigón para proteger uno de los estribos. Los diferentes terrenos hallados han obligado a utilizar dos tipos de maquinaria de perforación: cucharas de cable y una hidrofresadora. El proyecto se ve muy afectado por los fenómenos ciclónicos, tanto en su diseño (cargas excepcionales con esfuerzos accidentales muy elevados) como en la organización de la obra. La empresa ha superado el desafío y ha logrado terminar las guías en el río antes de las vacaciones de Navidad y el inicio del período de ciclones. □

terrassol
setec
L'ingénierie géotechnique à forte valeur ajoutée
www.terrassol.com

INGÉNIERIE LOGICIELS

» Conception, Maîtrise d'oeuvre, Expertise

Développement, Assistance technique, Formation «

Terrassol est un leader reconnu dans le domaine de l'ingénierie géotechnique, en France comme à l'étranger.

Parmi nos références récentes en France : Grand Paris Express, Eole, Port de Brest, Barrages Aisne et Meuse, Projet Cigéo, Kourou Ariane 6, Soufflerie de l'Onera, Tour Trinity, Projet Lyon Part-Dieu...

Et à l'étranger : Aéroport des Maldives, Dubaï Creek Harbour Tower, Ligne à Grand Vitesse HS2, Réservoirs Al-Zour, Pénétrante de Tizi Ouzou, TER de Dakar, Baie de Cocody, Transgambia Bridge, Cap Lopez...



Paris
Tél : +33 (0)1 82 51 52 00
Fax : +33 (0)1 82 51 52 99
Email : info@terrassol.com

Lyon
Tél : +33 (0)4 27 85 49 35
Fax : +33 (0)4 27 85 49 36
Email : lyon@terrassol.com

Maroc
Tél : +212 (0)51 25 53 89
Fax : +212 (0)51 03 64 00
Email : telmaki@terrassol.com

Tunisie
Tél : +216 71 23 63 14
Fax : +216 71 75 32 68
Email : info@terrassol.com.tn



© SOLETANCHE BACHY

CONGÉLATION ET JET GROUTING DANS LES SABLES DE BEAUCHAMP À AULNAY-SOUS-BOIS

AUTEURS : IBRAHIM ASRI, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE - JONATHAN ROT, INGÉNIEUR GÉOTECHNIEN, GEOTEC - HASAN ALDAYEH, INGÉNIEUR GÉOTECHNIEN, GEOTEC - ALEXANDRE GIROUX, INGÉNIEUR GÉOTECHNIEN, EGIS

DANS LE CADRE DE LA LIGNE 16 DU GRAND PARIS EXPRESS, DE NOMBREUX RAMEAUX VONT ÊTRE CREUSÉS EN MÉTHODE TRADITIONNELLE DANS LES SABLES DE BEAUCHAMP EN PRÉSENCE D'UNE NAPPE PHRÉATIQUE. CE PUIS D'ESSAIS, RÉALISÉ À AULNAY-SOUS-BOIS POUR LE COMPTE DE LA SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS, PERMETTRA DE MIEUX CONNAÎTRE LE COMPORTEMENT DE CES SABLES LORS DU CREUSEMENT, SOIT À L'ABRI D'UN MASSIF EN JET GROUTING, SOIT À L'ABRI D'UN MASSIF DE TERRAIN CONGELÉ.

PRÉSENTATION DE LA L16

Le projet du Grand Paris Express consiste à construire 4 nouvelles lignes de métro (Lignes 15, 16, 17 et 18), représentant une longueur de 200 km et 68 nouvelles gares.

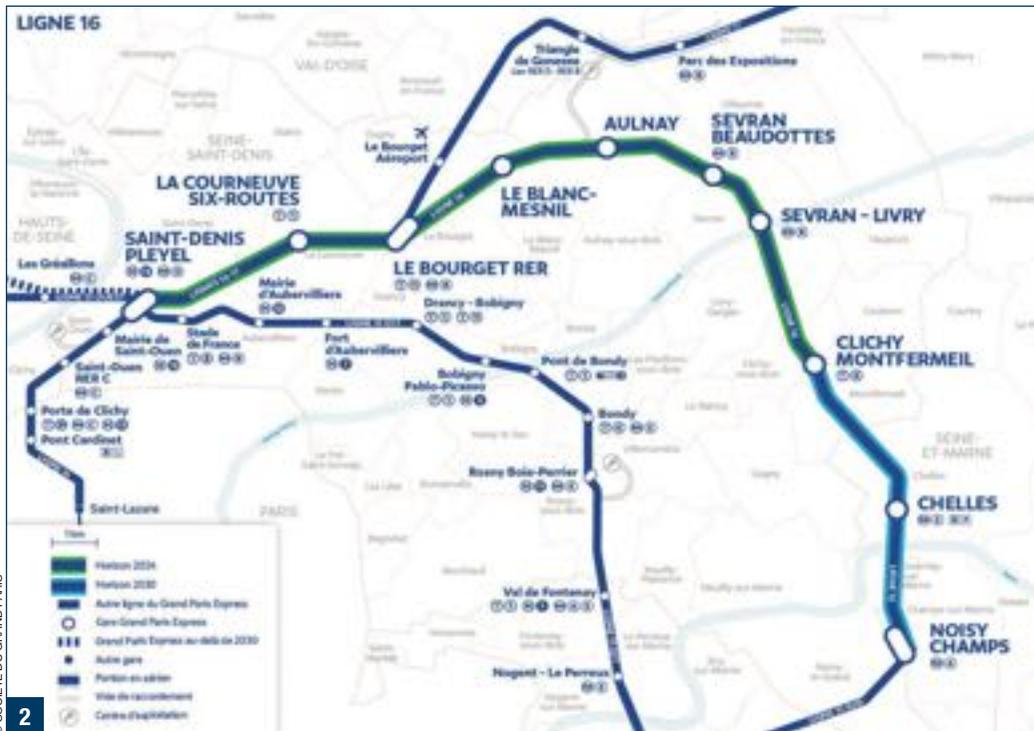
La Ligne 16 (figure 2) permettra de relier les gares de Saint-Denis-Pleyel et de Noisy-Champs. Elle s'étend sur

29 km de long et traverse 10 gares jusqu'à 30 m de profondeur et 39 ouvrages annexes (ventilation, accès aux secours, démarrage ou sortie de tunnel). La connexion entre le tunnel et ces ouvrages annexes (rameaux) sera réalisée en traditionnel après un traitement pour étanchéifier les sols. Les rameaux du projet L16 s'inscri-

1- Forages horizontaux pour congélation avec foreuse de petit gabarit.

1- Horizontal drilling for ground freezing with small driller.

vant principalement dans les Sables de Beauchamp, la Société du Grand Paris a investi dans un puits d'essai situé dans l'emprise de la future gare d'Aulnay-sous-Bois. Les travaux ont été confiés au groupement Soletanche Bachy France/Sade/Soletanche Bachy Tunnels, la maîtrise d'œuvre étant assurée par le groupement Egis/Tractebel



et l'assistance à maîtrise d'ouvrage par Artemis. Cet ouvrage de reconnaissance géotechnique exceptionnel est constitué d'une paroi moulée circulaire et de deux rameaux situés 5 m sous la nappe (figure 3). Des travaux et des sondages ont été menés dans les conditions réelles de l'exécution du projet L16. Le contexte géologique du projet est celui de la plaine de France avec des formations superficielles reposant sur les Calcaires de Saint-Ouen (SO), les Sables de Beauchamp (SB), les Marnes et Caillasses (MC) et le Calcaire grossier (CG).

Les objectifs de ce puits d'essais consistent à parfaire la connaissance géotechnique des Sables de Beauchamp, à mesurer le comportement des ouvrages, à valider des méthodes de traitement in situ, à proposer des paramètres de dimensionnement à l'issue de rétro analyses et à tester le modèle avec des paramètres mesurés sur l'ensemble du projet.

DÉROULEMENT DES TRAVAUX

Le puits d'essai a été réalisé en paroi moulée circulaire armée d'épaisseur 80 cm sur une profondeur de 25 m, l'ancrage se faisant dans les Marnes et Caillasses. Le diamètre intérieur du puits mesure 7,5 m.

Une jupe injectée a dû être mise en œuvre sous la paroi moulée sur une longueur de 15 m, afin, compte tenu de la perméabilité des Marnes et

2- Emplacement de la Ligne 16.

3- Schéma du puits d'essai d'Aulnay-sous-Bois.

2- Location of Line 16.

3- Diagram of the Aulnay-sous-Bois test shaft.

Caillasses, de réduire les arrivées d'eau par le fond de fouille.

Les forages d'injection ont été réalisés dans les tubes de réservation préalablement posés dans les cages d'armatures de la paroi. Ils ont traversé les Marnes et Caillasses et ont été ancrés d'un mètre dans le Calcaire grossier. Ils ont été équipés de tubes à manchettes (espacement de 50 cm) qui ont permis l'injection d'un coulis bentonite/ciment. Le débit final de pompage a permis de

mener à bien le terrassement du puits. Il a ensuite été procédé aux travaux d'étanchement du rameau 1 en vue de son ouverture après le terrassement du puits. La méthode utilisée est celle du jet grouting double, à l'aide de colonnes verticales mises en place depuis la surface. Ce procédé consiste en l'injection sous haute pression d'un coulis de ciment entouré par un jet d'air concentrique qui améliore son rayon d'action. Une quarantaine de colonnes sécantes, d'un diamètre moyen de 2 m environ, ont été réalisées dans les Sables de Beauchamp afin d'obtenir l'objectif d'étanchéité.

Préalablement, un plot d'essai de paramétrage d'énergie de jet grouting avait été mené, afin de caractériser le diamètre et les déviations des colonnes. Cette phase d'essai a permis de définir une gamme d'énergie corrélée à des diamètres garantis, et de s'assurer ainsi du bon comportement de cette technique dans les Sables de Beauchamp. Le contrôle des diamètres durant le plot d'essai a été possible grâce à la méthode géophysique Cyljet de mesure tomographique développée par Sixense Soldata, filiale de Soletanche Freyssinet. Une sonde de mesure est descendue dans un tube installé dans la colonne. Un courant électrique est envoyé dans le terrain et les différences de potentiel sont mesurées. Il est ainsi possible de déterminer la géométrie de la colonne car le coulis a une résistivité très différente de celle des sols en place.

En outre, le marché prévoyait de forer une colonne dans le puits d'essai, afin de pouvoir l'observer et la mesurer, lors du terrassement.

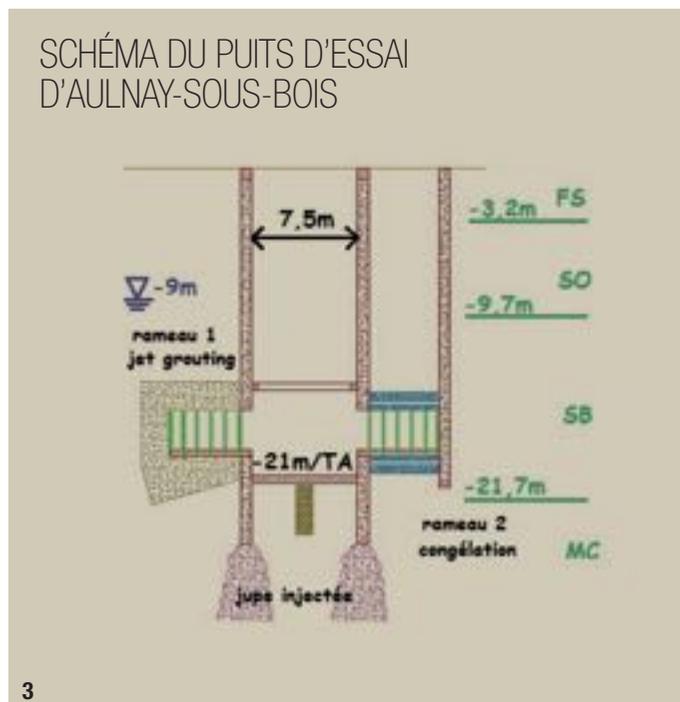
Enfin, un autre aspect important concernait la mesure des déviations des forages de jet : il était crucial de connaître le sens et l'ampleur de la déviation du forage en temps réel.

Il était ainsi nécessaire, en fonction de la profondeur du traitement et de la déviation des forages, de réaliser localement des colonnes d'un diamètre plus important, afin de conserver le recouvrement entre colonnes adjacentes nécessaire à l'étanchéité du massif de jet.

Le terrassement du puits s'est fait en plusieurs passes, à l'aide d'une pelle « caméléon » en surface et d'une mini-pelle au fond de fouille :

→ Terrassement pour équiper les instruments horizontaux (tassomètres et élongamètres) ;

→ Terrassement par passe de 1,5 m jusqu'en fond de puits pour équiper les sondes de congélation du rameau 2.



3 © EGIS



4 © SOLETANCHE BACHY

Un radier en béton armé d'épaisseur 60 cm, avec joints hydrogonflants à l'interface avec la paroi moulée, a ensuite été coulé en fond de puits. Des mesures piézométriques et de convergence du puits ont été réalisées pendant le creusement.

De même, des échantillons de sol ont été prélevés pour des caractérisations physico-chimiques en laboratoire.

Les forages horizontaux nécessaires à la congélation ont été mis en place à l'aide d'une foreuse de petit gabarit depuis les entrailles du puits (figure 1). Étant donnée la charge de la nappe phréatique, les forages ont été réalisés sous sas.

- La réalisation de ces forages a respecté la séquence suivante :
- Carottage de la paroi moulée ;
 - Mise en place d'un dispositif de sas permettant de contenir l'eau dans le forage ;
 - Forage à l'outil perdu ;

→ Mise en place d'un tube métallique scellé dans le terrain avec injection de l'espace annulaire.

La congélation du rameau 2 a consisté à faire circuler un fluide frigorigère à travers les sondes disposées autour de la galerie, ces sondes étant reliées

en série les unes aux autres (figure 4). L'objectif est d'obtenir une épaisseur de terrain congelé à une certaine température.

Dans ce projet, la congélation a nécessité deux phases : une phase de mise en froid à l'azote et une phase de

maintien du froid à l'aide d'un fluide, le Temper.

Les sondes sont des tubes en inox qui ont été posés dans les tubes métalliques des forages horizontaux.

Les tubes inox sont ensuite connectés aux sources de froid :

4- Circuit de congélation.

5- Installation de congélation.

6- Rameau 2 de congélation ouvert.

4- Ground freezing circuit.

5- Ground freezing installation.

6- Ground freezing addit 2 open.



5

© SOLETANCHE BACHY



6

© CHRISTOPHE FILLIEULE POUR SOLETANCHE BACHY



© CHRISTOPHE RILLIÈRE POUR SOLEILNACHE BACHY

7- Rameau 1 de jet grouting en cours de creusement et vue du puits.

7- Jet grouting addit 1 during excavation and view of the shaft.

→ À une citerne d'azote pendant la phase de mise en froid (circuit ouvert) ;

→ Puis au groupe frigorifique envoyant le Temper (circuit fermé).

La phase de mise en froid à l'azote consiste à envoyer de l'azote liquide (-196°C) dans le circuit de congélation. L'azote liquide circule dans le tube

PRINCIPALES QUANTITÉS

PROFONDEUR DU Puits : 20,8 m
DIAMÈTRE INTÉRIEUR DU Puits : 7,50 m
VOLUME DE BÉTON DE PAROI MOULÉE : 732 m³
ARMATURE PAROIS MOULÉES : 23,4 t
VOLUME DE TERRASSEMENT DU Puits EXCAVÉ : 855 m³
FORAGE POUR JUPE INJECTÉE : 266 m
TERRAIN TRAITÉ PAR INJECTION (JUPE INJECTÉE) : 1 288 m³
DIAMÈTRE MOYEN DES COLONNES DE JET GROUTING : 2 m
FORAGE JET GROUTING : 1 141 m
VOLUME DE COULIS DE JET GROUTING : 1 281 m³
LONGUEUR DES GALERIES : 5 m (deux unités)
HAUTEUR DE GALERIE : 3,20 m
LARGEUR GALERIE : 3 m
VOLUME DE TERRASSEMENT DES GALERIES : 94 m³
SONDES DE CONGÉLATION : 96 m
VOLUME D'AZOTE LIQUIDE : 120 m³

inox ; un échange thermique se produit entre les tubes inox, provoquant un retour de l'azote à l'état gazeux en sortie principale. L'azote ressort à une température d'environ -80°C traduisant l'apport de frigories dans le terrain. Durant cette phase de mise en froid, l'auscultation des sondes de températures dans le terrain permet de contrôler la température du sol et l'épaisseur de l'anneau de glace en temps réel. De même, le contrôle visuel des drains permet de visualiser la continuité de cet anneau.

Le maintien du froid se fait grâce à l'envoi d'un fluide frigorigène (Temper) à une température avoisinant les -30°C. Ce fluide est refroidi par l'intermédiaire d'un groupe frigorifique (figure 5).

Le Temper est envoyé dans le circuit de congélation pendant une certaine durée avant l'ouverture de la galerie, le temps que la phase d'équilibre thermodynamique soit atteinte. En effet, le passage de l'azote au Temper comporte une forte variation thermique qui s'inscrit dans une zone de transition turbulente. L'ouverture du rameau de congélation (figure 6) a nécessité une adaptation à l'entrée de la galerie du fait de l'apport de chaleur lié à la ventilation du puits. En effet, un sas d'isolation thermique a dû être mis en place afin de limiter les déperditions de froid au moment de l'ouverture du rameau.

La galerie en forme de fer à cheval a été creusée à l'aide d'une fraise par passes d'un mètre. Chaque passe a été soutenue par des cintres métalliques. Le marché ne prévoyait pas de blindage (béton projeté ou bois), afin de pouvoir observer le fluage du rameau sur une période de 2 mois.

Plusieurs essais in situ ont été réalisés dans l'enceinte de la galerie :

→ Prélèvements d'échantillons de sol congelé pour analyse en laboratoire ;

→ Essais au vérin plat afin de déterminer les contraintes de cisaillement.

De même, la galerie a fait l'objet d'auscultation :

→ Mesures de contraintes à différentes sections ;

→ Mesures de convergences de la galerie et du puits ;

→ Mesures de tassement en galerie et en surface ;

→ Mesures de déformation pendant le creusement.

L'ouverture du rameau de jet grouting (figure 7) a suivi exactement le même mode opératoire. Cependant, toutes les passes de terrassement ont été blindées avec du bois.

De même, la galerie a subi le même type d'essais et d'auscultations, avec cependant la réalisation d'essais de chargement à la plaque en plus.

MODÉLISATION ET INSTRUMENTATION

Afin de suivre en continu l'évolution des déplacements au droit des galeries d'essais et du puits lors des différentes phases de travaux (traitement par jet grouting ou congélation, terrassement des galeries, phases d'observation), la société Solexperts a mis en place un dispositif d'instrumentation informatisé. Le dispositif d'instrumentation (figure 8) a compris à l'identique pour chaque galerie, un suivi des nivellements de surface par prismes, trois inclinomètres/tassomètres à mi-longueur des galeries, un tassomètre horizontal situé un mètre au-dessus de la voûte des galeries, un extensomètre dans l'axe d'allongement des galeries, deux profils de mesures de convergence par cordes vibrantes sur les cintres des galeries. Des mesures manuelles de convergence dans les galeries ont également complété ces dispositifs de mesures. Plus spécifiquement au droit de la galerie de congélation, un dispositif de suivi en continu de la température a été installé en forage au sein du massif de sol gelé ou au contact des éléments (tubes de congélation ou dans la paroi moulée).

Ce dispositif (figure 9) a comporté 14 sondes sur les têtes de congélateur, 2 sondes en paroi, 1 sonde dans le fluide frigorigérique, 2 sondes en surface et en puits et 6 sondes en forage.

Les 6 sondes en forage furent composées de 3 sondes longitudinales et 3 sondes disposées en biais dans l'épaisseur de l'anneau de sol gelé. Chacune des sondes a été équipée de plusieurs capteurs de température espacés régulièrement selon leurs longueurs.

OBJECTIFS DES MODÉLISATIONS NUMÉRIQUES

Dans le cadre du puits d'essais, Geotec a réalisé des modélisations numériques aux éléments finis de rétrocalage thermique de la galerie congelée et mécanique des deux galeries. L'objectif principal a été d'établir des modèles numériques reflétant les résultats de l'instrumentation sur la base de données d'entrée issues de l'analyse de l'ensemble des résultats des essais réalisés sur site et en laboratoire et ce, selon les différentes phases d'exécution des travaux.



8 © SOLEXPERTS

MODÉLISATION THERMIQUE DE LA GALERIE CONGELÉE

La modélisation numérique liée au rétrocalage thermique de la galerie congelée a été réalisée à l'aide du module Thermal du logiciel Plaxis 2D selon trois coupes transversales et une coupe longitudinale à la galerie d'essais. Ce logiciel a permis de prendre en compte l'évolution des paramètres thermiques des sols selon la température et la formation de glace, la teneur en eau libre dans les sols gelés selon

8- Vue en plan du dispositif d'auscultation.

9- Implantation des équipements de suivi de température.

8- Plan view of detailed analysis system.

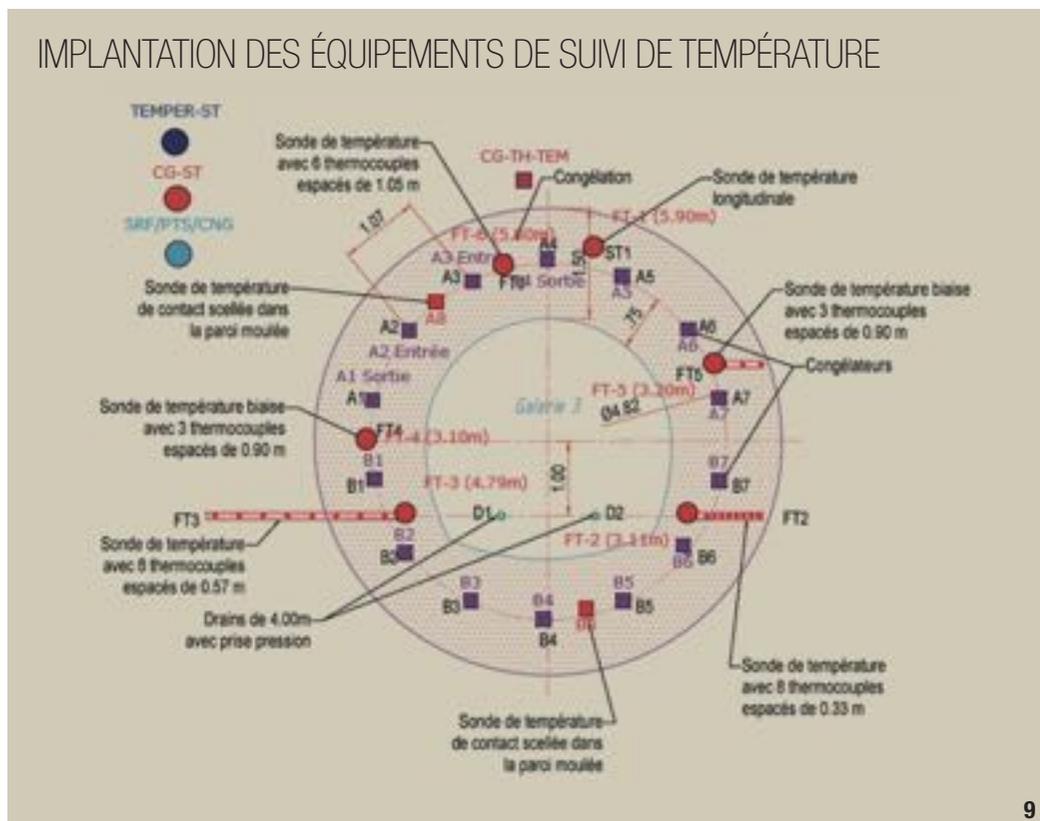
9- Layout of temperature monitoring equipment.

la température, ainsi que la chaleur latente émise lors du changement de phase de l'eau de l'état liquide à solide. L'établissement du modèle numérique a initialement nécessité la définition des plages de variation des différentes grandeurs physiques prises en compte dans les calculs thermiques, à savoir les propriétés physiques du sol (poids volumique sec, porosité, saturation), les propriétés thermiques du sol non gelé (conductivité et capacité thermique), ainsi que la teneur en eau libre dans les sols gelés. Cette synthèse a été possible grâce aux essais réalisés préalablement aux travaux de congélation sur sols gelés en laboratoire.

Au sein du modèle thermique, les sondes de congélation ont été modélisées comme des points de températures imposées sur la base de la température enregistrée par le dispositif d'auscultation durant l'expérience.

Le rétrocalage du modèle thermique a été réalisé pour chaque sonde sur la base d'une analyse comparative des températures relevées et des données du modèle numérique lors des phases de mise en froid à l'azote liquide et d'entretien au Temper (figure 10).

Ces analyses comparatives de rétrocalage ont ainsi permis de valider les paramètres thermiques à retenir au sein des Sables de Beauchamp traités par congélation.



9 © SOLEXPERTS

La réalisation d'une coupe longitudinale a permis de modéliser l'effet de bord observé à l'issue de la mise en froid des Sables de Beauchamp à l'azote liquide.

En effet, au démarrage de la phase d'entretien au Temper, des écarts de températures importants ont été observés selon l'axe d'allongement de la galerie.

Les températures les plus élevées ont été observées à proximité des parois moulées (puits et tympan), tandis que les températures les plus froides furent concentrées à mi-longueur de la galerie. Le puits, par renouvelle-

ment constant de l'air via la ventilation, ainsi que le tympan dans une certaine mesure, se sont comportés comme des sources de chaleur qui tendaient à réchauffer le massif de sol gelé par ses deux extrémités.

À l'issue du rétrocalage, l'exploitation du modèle numérique thermique a permis de préciser l'épaisseur de sols gelés pour un temps et une température donnés. Des études paramétriques ont également été menées, afin d'évaluer l'incidence sur la congélation de la variabilité des différents paramètres thermiques des Sables de Beauchamp (figure 11).

MODÉLISATIONS MÉCANIQUES DES GALERIES D'ESSAIS

Les modélisations numériques liées au rétrocalage mécanique des deux galeries ont été réalisées en symétrie plane 2D sur la base d'une coupe transversale à mi-longueur des galeries (figure 12).

Les sols non traités par jet-grouting ou congélation ont été modélisés selon une loi de comportement de type Hardening Soil Model. Les Sables de Beauchamp traités par congélation ou jet-grouting ont été modélisés selon une loi élastoplastique parfaite Mohr-Coulomb. Les paramètres d'entrée des différentes

lois de comportement ont été déterminés à partir de la synthèse des essais in situ et en laboratoire.

La géométrie du massif traité par jet-grouting correspond aux travaux réalisés. Pour le traitement par congélation, les épaisseurs de Sables de Beauchamp gelés à des températures inférieures à -10°C et à -5°C ont été déterminées à partir des résultats de la modélisation thermique rétrocalée (figure 13).

Le rétrocalage des modèles numériques a été réalisé sur la base d'une analyse comparative des relevés de l'instrumentation et des données des modèles numériques selon les phases de creusement et d'observation des galeries.

Au droit de la galerie congelée, le gonflement et le déplacement latéral des sols observés lors de la phase de mise en froid à l'azote liquide ont également été pris compte dans le cadre du rétrocalage du modèle.

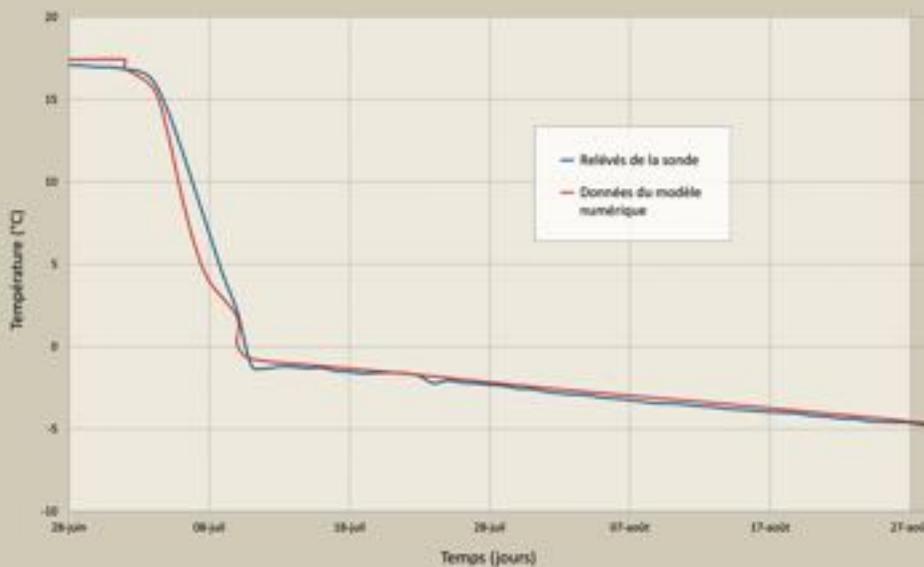
Une déformation volumique des Sables de Beauchamp gelés a été appliquée au sein du modèle numérique d'un pourcentage correspondant au taux de gonflement lié au gel mesuré en laboratoire (figure 14).

CONCLUSION

Les travaux réalisés dans le cadre du puits d'essais ont atteint les objectifs d'étanchement des Sables de Beauchamp au sein des deux galeries. ▷

EXEMPLE D'ANALYSE COMPARATIVE DE RÉTROCALAGE

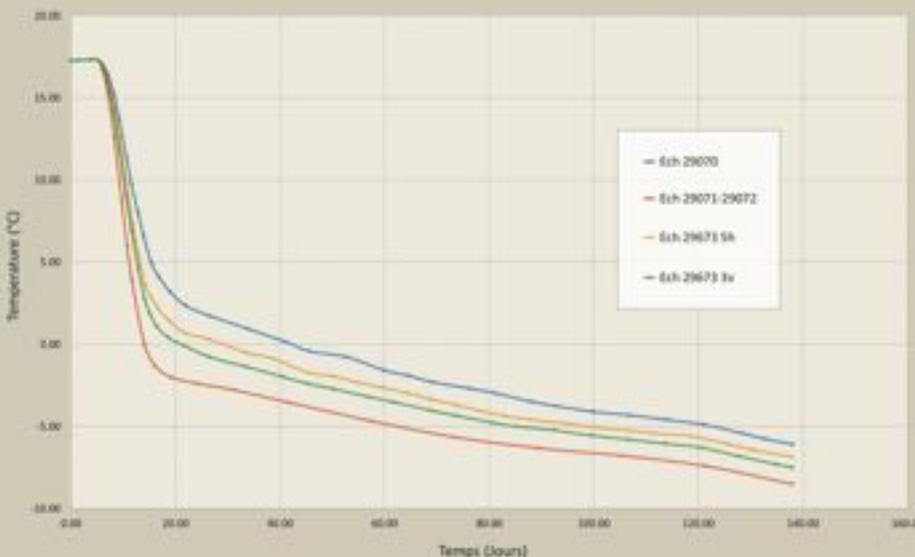
au droit de la sonde FT2-8



10

EXEMPLE D'ÉTUDE PARAMÉTRIQUE

relative aux différentes teneurs en eau libre mesurées dans les SB gelés



11

10- Exemple d'analyse comparative de rétrocalage au droit de la sonde FT2-8.

11- Exemple d'étude paramétrique relative aux différentes teneurs en eau libre mesurées dans les SB gelés.

10- Example of back calculation comparative analysis at the level of probe FT2-8.

11- Example of parametric study relating to the various free water contents measured in frozen Beauchamp Sands.

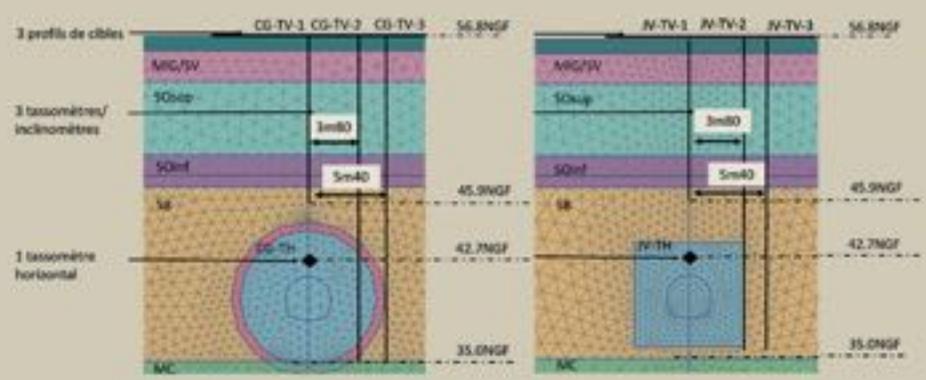
12- Vues des modèles numériques congélation (à gauche) et jet grouting (à droite) et des dispositifs d'auscultation associés.

13- Principe de modélisation de l'anneau de congélation, à gauche $T < -10^{\circ}\text{C}$, à droite $T < -10^{\circ}\text{C}$ en bleu et $-5^{\circ}\text{C} < T < -10^{\circ}\text{C}$ en rose.

14- Extrait des déplacements du sol issu du modèle numérique à l'issue de la mise en froid.

VUES DES MODÈLES NUMÉRIQUES

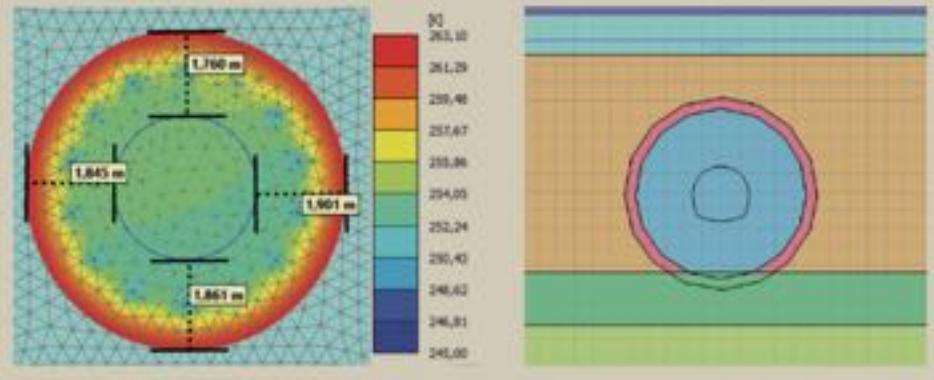
Congélation (à gauche) et jet grouting (à droite) et des dispositifs d'auscultation associés



12 © GEOTEC

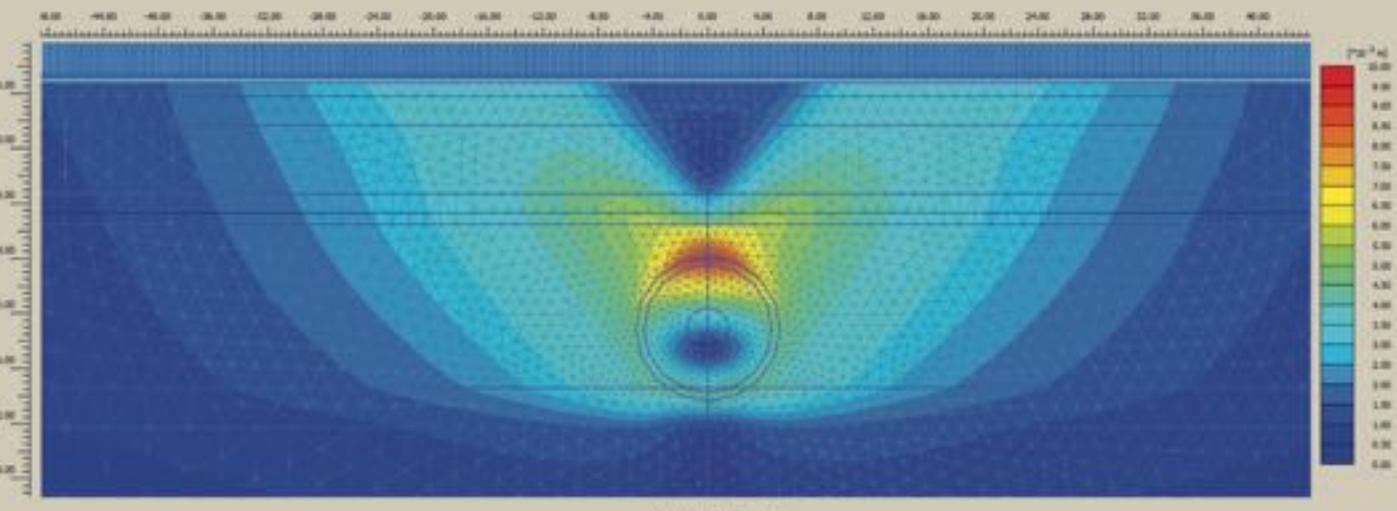
PRINCIPE DE MODÉLISATION DE L'ANNEAU DE CONGÉLATION

À gauche $T < -10^{\circ}\text{C}$, à droite $T < -10^{\circ}\text{C}$ en bleu et $-5^{\circ}\text{C} < T < -10^{\circ}\text{C}$ en rose



13 © GEOTEC

EXTRAIT DES DÉPLACEMENTS DU SOL ISSU DU MODÈLE NUMÉRIQUE À L'ISSUE DE LA MISE EN FROID



14 © GEOTEC

Les données nécessaires à l'établissement des modèles numériques de rétrocalage ont été acquises grâce à l'auscultation mise en œuvre, dont la qualité et le suivi jouent un rôle majeur. Les rétrocalages des modèles numériques ont permis de valider les paramètres inhérents au dimensionnement des travaux d'étanchement par congélation et jet grouting au sein des Sables de Beauchamp.

Le puits d'essais constitue un retour d'expérience enrichissant en termes d'avantages/inconvénients associés à chacune des deux méthodes pour la construction future des ouvrages du Grand Paris. C'est également une expérience qui permettra de mieux comprendre et anticiper le comportement des sols lors de la congélation, méthode peu utilisée en France ces dernières années. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Société du Grand Paris
ASSISTANCE À LA MAÎTRISE D'OUVRAGE GÉNÉRALE : Artemis
MAÎTRISE D'ŒUVRE : groupement Egis / Tractebel
ENTREPRISE : groupement Soletanche Bachy France / Sade / Soletanche Bachy Tunnels
BUREAU D'ÉTUDES GÉOTECHNIQUES : Geotec
INSTRUMENTATION ET SURVEILLANCE : Solexperts

ABSTRACT

GROUND FREEZING AND JET GROUTING IN THE BEAUCHAMP SANDS AT AULNAY-SOUS-BOIS

IBRAHIM ASRI, SOLETANCHE BACHY - JONATHAN ROT, GEOTEC - HASAN ALDAYEH, GEOTEC - ALEXANDRE GIROUX, EGIS

For Line 16 of the 'Grand Paris Express' metro project, a test shaft was executed at Aulnay-sous-Bois. The purpose of this exceptional geotechnical reconnaissance structure was to test waterproofing techniques in the Beauchamp Sands, in real-world conditions. From the bottom of excavation of a circular shaft executed by the diaphragm wall technique, two galleries were accordingly driven in a soil treated beforehand by jet grouting and ground freezing. For each gallery, phased digital models were produced by the finite element method, fed with detailed analysis monitoring and laboratory test measurements. □

CONGELACIÓN Y JET GROUTING EN LAS ARENAS DE BEAUCHAMP, EN AULNAY-SOUS-BOIS

IBRAHIM ASRI, SOLETANCHE BACHY - JONATHAN ROT, GEOTEC - HASAN ALDAYEH, GEOTEC - ALEXANDRE GIROUX, EGIS

En el marco del proyecto de la Línea 16 del proyecto de red de transporte público Grand Paris Express, se ha realizado un pozo de ensayo en Aulnay-sous-Bois. El objetivo de esta obra de reconocimiento geotécnico excepcional era probar, en condiciones reales, las técnicas de estanqueidad en las arenas de Beauchamp. Desde el fondo de zanja de un pozo circular, realizado en pantalla de hormigón, se han perforado dos galerías en un suelo previamente tratado por jet grouting y congelación. Cada galería ha sido objeto de modelizaciones digitales divididas por fases con elementos finitos, basadas en las mediciones del seguimiento de auscultación y de los ensayos de laboratorio. □



Membre du Réseau Compétit 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 **7 400 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 [nous contacter](#)

Par téléphone :

pour les entreprises : 01.70.38.07.70

pour les salariés : 01.70.38.07.77

Serveur vocal (24h/24) : 01.70.38.09.00





© FRANKI FONDATIONS

MÉRIBEL - FONDATIONS D'UNE RÉSIDENCE PIERRE & VACANCES SUR INCLUSIONS RIGIDES

AUTEURS : ALEXANDRE BEAUSSIER, INGÉNIEUR PRINCIPAL, TERRASOL - THOMAS BOIZARD, RESPONSABLE TRAVAUX SPÉCIAUX, FRANKI FONDATION - PIERRE ROZE, INGÉNIEUR TRAVAUX, FRANKI FONDATION

DESSERVIE PAR QUATRE NIVEAUX DE SOUS-SOLS, LA RÉSIDENCE PIERRE ET VACANCES S'INSCRIT DANS UN CONTEXTE MONTAGNEUX OÙ LES PROBLÉMATIQUES GÉOTECHNIQUES SONT COUPLÉES AUX CONTRAINTES CLIMATIQUES ET TOURISTIQUES RÉDUISANT LES PÉRIODES PROPICES AUX TERRASSEMENTS. DANS CE CONTEXTE, LES CHOIX DE CONCEPTIONS ET DE MÉTHODES ONT ÉTÉ MENÉS DANS UNE OPTIQUE DE FIABILISATION DES DÉLAIS, CONDUISANT À RETENIR DES FONDATIONS SUR INCLUSIONS RIGIDES.

LE PROJET ARCHITECTURAL

Situé à Méribel-Centre, le poumon des cinq hameaux de la station, le projet Hévana se devait de respecter la tradition architecturale générale de la station, composée de chalets individuels et collectifs parfaitement intégrés dans cet environnement montagnard.

En concevant cet ensemble de 95 appartements comme un village de pierre du pays et de bois, l'architecte Christian Rey-Grange a eu à cœur d'allier tradition et modernité, élégance et authenticité.

Les besoins fonctionnels de ce village dans le village : locaux techniques, parkings..., sont assurés par le biais d'un vaste sous-sol d'extension 50 x 65 m²

environ, réparti sur deux à quatre niveaux et mutualisé entre les différents bâtiments.

UN CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE DÉLICAT

L'ouvrage, situé au sein du vallon du Doron des Allues, est implanté sur un ancien parking aérien, gagné par remblaiement au-dessus du cours d'eau après sa canalisation dans les années 1980. Cette situation ajoute une forte composante anthropique à la complexité géologique naturelle du site ; formée d'un placage de moraines d'épaisseur variable surmontant le socle schisteux d'âge Stéphanien. En détail, sur la base des reconnais-

sances de phase projet réalisées par le biais de sondages pressiométriques, carottés et pénétrométriques (pénétration dynamique), au droit du site a pu être mis en évidence sous le terrain actuel le contexte suivant :

1- L'Hévana, Méribel - vue générale du chantier.

1- Hévana, Méribel - general view of the project.

- Une épaisseur variable (de 0 à 12 m) de remblais superficiels limono-argileux à blocs peu consistants et aux faibles caractéristiques géotechniques ;
- Une épaisseur variable (de 2 à 20 m) de remblais de nature caillouteuse-argileuse à blocs. En dépit de leur variabilité de composition et d'épaisseur, ces matériaux médiocres présentent des caractéristiques mécaniques relativement homogènes à l'échelle de l'ouvrage ;
- Des moraines argilo-caillouteuses à gravo-limoneuses à blocs présentant une frange altérée en tête puis un corps de formation très compact ;



2

© FRANKI FONDATIONS

→ Enfin certains sondages ont intercepté le substratum schisteux très compact.

Les caractéristiques mécaniques retenues dans les différents horizons sont fournies tableau 1.

Dans ce contexte, ont été identifiées les problématiques géotechniques suivantes :

→ Variabilité des épaisseurs de terrain (qu'il s'agisse des remblais de comblement du vallon ou des moraines) ;

→ Variabilité de la composition de remblais (zones de matériaux ouverts, passes de matériaux pulvérulents, risqué de blocs...);

2- Vue générale de la fouille.

3- Foration des pieux parisiens.

4- Foration des tirants.

2- General view of the excavation.

3- Drilling Parisian piles.

4- Drilling tie anchors.

→ Risque de présence d'enrochements en base de remblai (ouvrages de protection de berges du Doron des Allues avant remblaiement) ;

→ Présence de blocs de matériaux raides cristallins dans les moraines ;

→ Dureté du substratum schisteux ;

→ Possibilité de circulations erratiques au sein des matériaux de remblais et moraines.

En outre, au niveau des versants entourant le site, la carte géologique met en évidence la présence de glissements de terrain dans les moraines, laissant craindre, au droit du site, la présence de formations en limite d'équilibre.

UN CONTEXTE MONTAGNEUX IMPOSANT LES CADENCES

Situé à 1 430 m d'altitude dans un haut lieu du tourisme de sports d'hiver, l'environnement ne laisse qu'une fenêtre de tir restreinte pour la réalisation des travaux de sol et fondations. Avec un démarrage en mai 2017, l'objectif était la réalisation des soutènements, des terrassements, des fondations et de deux niveaux d'infrastructure avant fin novembre 2017, début de la trêve hivernale.

Ainsi, le choix des types de soutènements et fondations, et des méthodologies de réalisation a grandement été impacté par cette contrainte de planning.

TABLEAU 1 : CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES DE DIMENSIONNEMENT

Facès	γ [kN/m ³]	E_m [MPa]	P_t [MPa]	α [-]	c' [kPa]	ϕ' [°]
Remblais existants de surface	18	4	0.3	2/3	5	27
Corps des remblais existants	18	8	0.8	1/2	2	32
Moraine altérée à légèrement consolidée	20	15	1.5	1/2	5	35
Moraine consolidée et/ou schistes	22	45	4.5	1/2	10	35

© TERRASOL

RÉALISATION DES SOUTÈNEMENTS

Les terrassements généraux de la fouille (figure 2) nécessaires à l'atteinte du niveau des planchers d'infrastructure ont été réalisés par le biais de techniques variant sur l'emprise de l'ouvrage au gré de la hauteur à terrasser et de l'éloignement aux avoisinants du projet. ▷



3

© FRANKI FONDATIONS



4



PAROIS PARISIENNES

De par la présence d'éléments filants de forte inertie mis en œuvre préalablement au début des terrassements, cette technique permet de limiter des déformations en arrière de la fouille. Ainsi, se prêtant bien à la réalisation des soutènements dans les zones avec des avoisinants ainsi que pour de fortes hauteurs de fouille, cette technique a été mise en œuvre sur un linéaire de 202 m de la fouille, pour une surface de 2 000 m² de parement.

La présence de zones de faible tenue au sein des remblais et moraines, zones dont la faiblesse peut être exacerbée par des circulations phréatiques locales, a imposé le recours à une stabilisation des terrains à la foration des pieux. Si la présence de matériaux très ouverts dans lesquels les pertes de boue peuvent s'avérer conséquentes a conduit à écarter la solution de stabilisation à la boue, le recours à des techniques de tarière creuse a été écarté en raison de l'aléa de bloc (et enrochements). Ainsi, l'entreprise s'est tournée vers une technique de pieux forés sous tubage provisoire, technique paraissant la plus flexible au vu de la variété des outils de foration pouvant être mis en œuvre (tarière, bucket, trépan, carottier).

Pour mener à bien la réalisation des 92 pieux de la paroi parisienne forés en Ø 820 mm sur des profondeurs de 3,5 à 22 m, ont été mobilisés un atelier Liebherr LB28 et un atelier Bauer MBG24 (figure 3). En dépit des difficultés de foration rencontrées, liées notamment à la présence de grands blocs rocheux compacts et abrasifs faisant fondre les outils, les ateliers sont venus à bout des quelques 1 500 m de pieux en 6 semaines.

En attendant leur butonnage définitif sur les planchers d'infrastructure, la tenue des parois a été assurée par le biais de deux à sept lits de tirants précontraints, autoforés en 110 et 130 mm de diamètre (figure 4) et injectés de manière globale et unitaire (IGU). Ils ont été mis sous tension une semaine après la fin des opérations d'injection.

Comme pour les pieux, les opérations de forage ont été mises en difficulté par les blocs rocheux.

5- Réalisation des parois clouées.

6- Modèle structure des fondations - flèche des radiers.

5- Execution of soil-nailed walls.

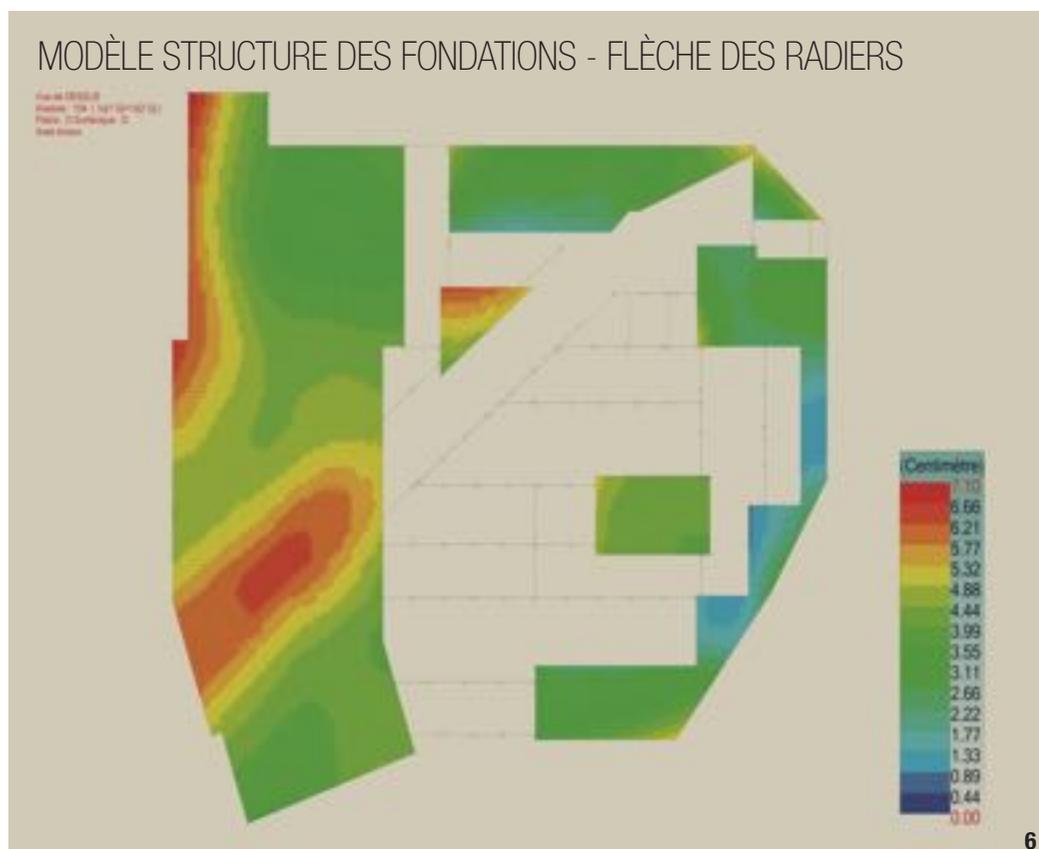
6- Foundation structure model - foundation raft deflection.

PAROIS CLOUÉES

Sur les zones moins sensibles de la fouille, les terrassements ont été réalisés à l'abri de parois clouées provisoires (figure 5). In fine, 1 300 m² de parement soutenus par quelques 9 000 m de clous autoforants ont été réalisés pour le cadre du chantier.

CONCEPTION ET RÉALISATION DES FONDATIONS

Les variations de la cote d'interface entre remblai et moraine à l'échelle



de la fouille, ainsi que la présence de décrochés structuraux dans les niveaux de sous-sols, sont à l'origine de brusques fluctuations des conditions géotechniques sous le niveau inférieur des infrastructures ; celui-ci reposant directement sur les moraines en partie Ouest et sur une épaisseur résiduelle de remblais pouvant dépasser 10 m dans la zone Est.

Au vu de la compressibilité des remblais (tableau 1), leur variation d'épaisseur et notamment sa brutalité au droit des décrochés structurels ne se prêtait pas à la réalisation de fondations superficielles, solution à l'origine de tassements différentiels incompatibles avec la structure.

Ainsi, dans les zones de remblai rémanent, s'imposait soit la réalisation de fondations profondes, soit la mise en œuvre d'amélioration de sol ; deux solutions nécessitant la mise en œuvre d'éléments de fondation dans le sol, opération compliquée dans les types de terrains attendus.

LES ALÉAS DE LA SOLUTION DE FONDATION SUR PIEUX...

Le pré-dimensionnement d'une solution de fondation profonde a mis en évidence la nécessité de recourir à des éléments de gros diamètre (de 600 mm à 1 200 mm) ancrés dans les moraines, voire, pour certains appuis, dans le substratum schisteux.

7- Cote de base des remblais par krigeage et détermination des zones de calcul.

7- Base level of backfill by kriging and determination of calculation areas.

En raison des aléas de blocs dans les remblais et les moraines et de la présence de bancs très indurés dans les schistes, l'ancrage requis est incompatible avec des techniques de tarière creuse, obligeant le recours à des techniques de pieux forés stabilisés (boue ou tubage).

Par rapport aux pieux à la tarière creuse, ces techniques permettant de modifier l'outil d'abattage au gré des conditions de sol, s'avèrent nettement plus faibles en termes de cadence de réalisation et sont moins performantes en terme de résistance en fût et en pointe (obligeant donc à rallonger les pieux, et donc réduire encore les cadences).

...CONDUISENT À RETENIR UNE SOLUTION D'INCLUSIONS RIGIDES

En dépit de la problématique de tassement de la couche de remblais, plus liés aux épaisseurs (variables) de cet horizon qu'à sa déformabilité propre,

ces formations anthropiques possèdent des caractéristiques de résistance moyennes (tableau 1) permettant de justifier, en portance, des taux de travail ELS de l'ordre de 350 kPa.

Ainsi, sous des fondations chargées à moins de 350 kPa, les inclusions ne sont pas nécessaires à la portance des terrains sous la fondation, mais uniquement au contrôle des tassements (inclusions de domaine 2 au sens des recommandations ASIRI). Elles peuvent être donc être simplement posées au toit des moraines sous-jacentes.

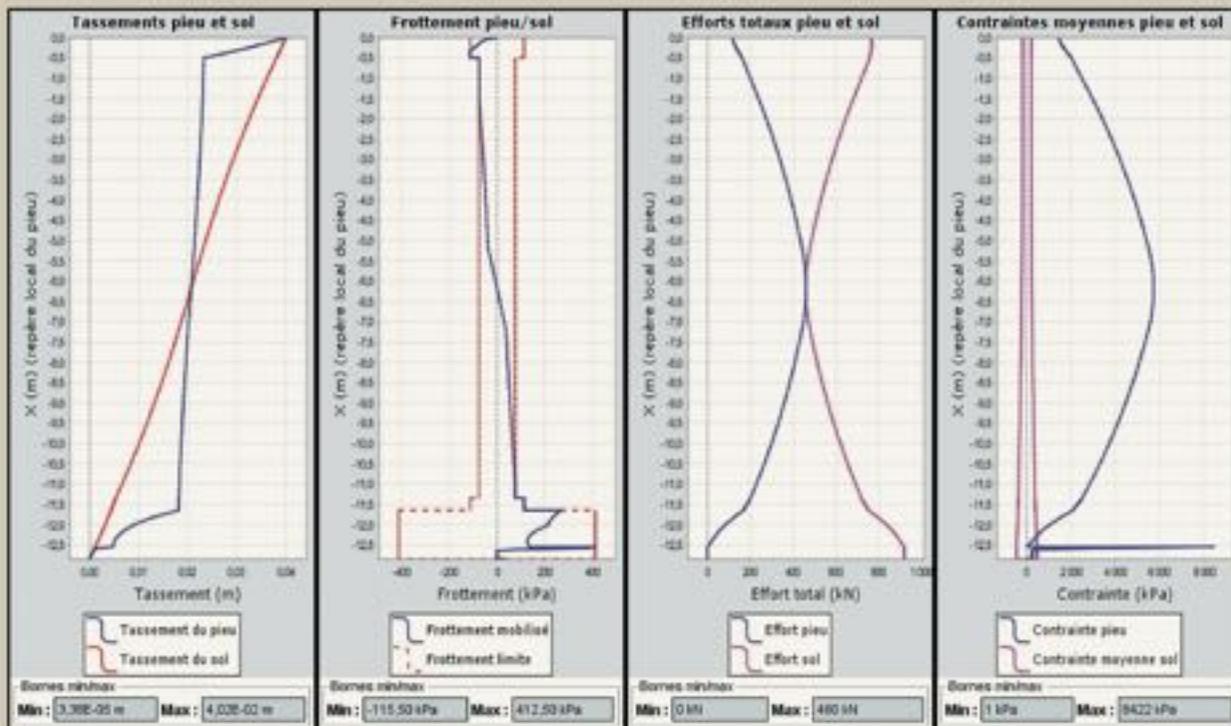
Malgré la multiplication du nombre d'éléments de fondation à inclure dans le sol et du linéaire total de foration, la solution amélioration de sol est donc apparue moins risquée en termes de réalisation : diamètre de perforation réduit, inclusions arrêtées en base des remblais, conséquence d'un refus prématuré de la foration nettement réduite par rapport à un pieu. C'est donc cette option qui a été retenue pour le bâtiment. ▷

COTE DE BASE DES REMBLAIS PAR KRIGEAGE ET DÉTERMINATION DES ZONES DE CALCUL



COMPORTEMENT D'UNE INCLUSION DANS SA MAILLE (FoXta module Taspie+)

Courbes principales



8

© FRANK FONDATIONS

CONCEPTION DES FONDATIONS - MISE EN PLACE D'UNE INTERACTION SOL/STRUCTURE

L'enjeu de la conception des fondations est une homogénéisation des tassements de la structure tout en veillant à ne reporter aucune charge sur le dallot de couverture du Doron des Allues et à limiter les contraintes sous les fondations dans les zones d'inclusions.

L'atteinte de cet objectif a nécessité la mise en œuvre d'une interaction sol/structure réalisée par le biais d'itérations entre un modèle structurel Eléments Finis des fondations réalisé sous Robot (figure 6) et un modèle géotechnique, décrivant le comportement du sol sous l'effet des charges de structure.

ZONAGE GÉOTECHNIQUE

L'interface entre remblais et moraines a pu être définie par krigeage sur la base des sondages géotechniques de phase Projet et du relevé planimétrique et altimétrique du dallot (figure 7). Après sa validation par superposition à l'imprécis plan topographique de la parcelle levé préalablement à la canalisation du cours d'eau, cette interface, associée aux cotes des niveaux inférieurs d'infrastructure a servi de base à la défini-

tion de quinze zones géotechniques sur l'ensemble la parcelle.

INTERACTION SOLS STRUCTURE

Sur la base de calculs de tassement menés à l'aide du module Taspie+ du logiciel Foxta par des méthodes de maille élémentaire et de monolithe équivalent (figure 8), ont été définies, au sein de chaque zone et pour les différentes plages de contraintes attendues sous les fondations, des maillages visant à homogénéiser les tassements. Traduits en terme de carte de raideurs, ces résultats ont été communiqués au bureau d'étude structure, lui permettant de recalculer une descente de charge. Au bout de neuf itérations entre modèles de structure et géotechniques au cours desquelles certaines semelles ont été élargies, d'autres rajoutées, les mailles d'inclusions élargies ou resserrées, a émergé une solution de fondations basée sur un radier en partie Nord du projet où les épaisseurs de remblais sont les plus conséquentes, et des semelles filantes en partie Sud du bâtiment. Ces fondations superficielles sont assistées par 720 inclusions de diamètre 320 mm dont l'objet se limite à la réduction des tassements et 14 inclusions de diamètre 520 mm

8- Comportement d'une inclusion dans sa maille (FoXta module Taspie+).

8- Behaviour of an inclusion in its mesh (FoXta module Taspie+).

nécessaires à la portance des semelles dans une zone particulièrement chargée du projet.

Dans la zone de radier où l'aléa sur la profondeur des remblais était le plus important, les mailles ont été définies sur la base d'une progression géométrique de raison 1,4 (2 x 2 m, 1,4 x 1,4 m, 1 x 1 m), de manière à pouvoir, lors de l'exécution, en cas d'anomalie géologique, modifier localement le plan d'exécution sans impacter tout le calepinage.

RÉALISATION DES INCLUSIONS

Démarrée en septembre 2018, la foration des quelques 730 inclusions a été réalisée à la tarière creuse à l'aide de

2 ateliers Llamada P85 et P90, et s'est achevée en octobre 2018 (figure 9). Globalement, le choix d'une mise en œuvre à la tarière creuse s'est avéré judicieux ; la puissance de la machine s'avérant suffisante pour traverser les remblais et assurer le faible ancrage recherché au toit des moraines.

Néanmoins, en partie Nord-Est du projet, la présence des blocs de gros diamètres, identifiés comme des enrochements de protection des berges du Doron des Allues préalablement à sa couverture, a imposé le recours à une technique de foration au marteau fond de trou (figure 10). En raison de l'avancement des infrastructures, l'atelier a dû être descendu dans la fouille par grutage (figure 11). Du fait du faible diamètre de la perforation et de l'absence d'eau, aucune instabilité de trou n'a été à déplorer pour ces 170 inclusions. In fine, les travaux d'amélioration de sol ont été entièrement terminés au 20 octobre 2017 ; et la libération des emprises par zone, pour mener de front amélioration de sol et génie civil des infrastructures, a permis de respecter l'engagement d'un butonnage des parois sur les infrastructures en décembre 2017, soit avant le début de l'arrêt hivernal.



9

© FRANKI FONDATIONS

CONTRÔLE DES INCLUSIONS

Si, à la foration, un fort contraste de comportement était visible au passage des remblais aux moraines, du fait de l'hétérogénéité des remblais et du faible ancrage des inclusions dans les moraines, cette interface est difficilement identifiable sur les paramètres de foration.

Ainsi, dans les quelques zones où les cotes de pointe d'inclusions étaient sensiblement supérieures à la cote de l'interface entre remblais et moraines déterminée dans le cadre des études d'exécution, la nature et la compacité de la couche d'ancrage ont été contrôlées par le biais de 13 sondages géo-

9- Foration des inclusions à la tarière creuse.

10- Foration des inclusions au marteau fond de trou.

9- Drilling inclusions by hollow flight auger.

10- Drilling inclusions by down-the-hole hammer.

techniques (sondages destructifs en 63 mm, et sondages au pénétromètre statodynamique).

Enfin, conformément aux spécifications des recommandations ASIRI, le comportement des inclusions a été validé par le biais d'essais de chargement sur inclusions isolées.

d'inclusions réellement mises en œuvre, le projet de fondation a entièrement été re-justifié sur la base du dossier d'exécution des ouvrages : ré-évaluation des raideurs, des descentes charge, puis justification des différents états limites définis par les recommandations ASIRI.

CONTRÔLE DU PROJET DE FONDATION

Pour finir, au vu de la sensibilité de la descente de charge aux évolutions des raideurs mise en évidence lors du déroulé de l'interaction sol structure et des remises en cause locales des géologies de calcul par les longueurs

CONCLUSION

Du fait des fortes contraintes engendrées par les aspects climatiques et contextuels (travaux en plein cœur de zone touristique), le chantier de l'Hévana représente un cas typique de conception guidée par la fiabilisation des plannings. ▷



© FRANKI FONDATIONS

10



Les spécificités géotechniques du site étant peu favorables à la réalisation d'éléments de fondation profonde de grosse section, la conception des soutènements s'est orientée vers une solution mixte : parois lutéliennes dans zones de forte hauteur de terrassement et les zones à proximité d'avoisinants sensibles, parois clouées dans les zones moins sensibles aux déplacements.

11- Grutage de l'atelier de foration au marteau fond de trou.

11- Crane handling of the down-the-hole hammer rig.

Vis-à-vis des fondations, la conception s'est orientée vers une solution d'inclusions rigides permettant de limiter des diamètres de perforation et les longueurs d'ancrage dans les terrains les plus difficiles (moraines et schistes). En dépit de la lourdeur de l'interaction

sol/structure, ayant nécessité neuf itérations pour aboutir au design final, cette option s'est avérée adaptée puisqu'ayant permis une montée des infrastructures sur 3 niveaux, prérequis au butonnage des parois sur les planchers de structure avant l'arrêt de chantier hivernal. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

PAROIS PARISIENNES : 92 pieux Ø 820 mm / 1 500 m de foration / 1 000 m³ de béton / 100 t d'acier / 3 300 m² de parement, 8 500 m de tirants

PAROIS CLOUÉES : 1 300 m² de parement / 9 000 m de clous

TERRASSEMENT : 55 000 m³

INCLUSIONS : 735 inclusions de 2 à 12 m de longueur pour un total foré de 4 100 m et une quantité totale de béton de 400 m³ :

- 556 inclusions Ø 320 mm forées à la tarière creuse
- 14 inclusions Ø 520 mm forées à la tarière creuse
- 164 inclusions Ø 320 mm forées au marteau fond de trou

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Méribel les ravines premium

ARCHITECTE : Christian Rey-Grange

MAÎTRE D'ŒUVRE EXÉCUTION : Sctb

BET STRUCTURE : Plantier

BET GÉOTECHNIQUE G2/G4 : Equaterre

BUREAU DE CONTRÔLE : Alpes Contrôles

OPC : Sti Ingénierie

FONDATIONS SPÉCIALES ET SOUTÈNEMENTS : Franki Fondation

GROS ŒUVRE : Gibello - BP Construction

TERRASSEMENTS/VRD : Rtp

BET GÉOTECHNIQUE EXE PAROIS (G3) : Dimensions.Exe

BET GÉOTECHNIQUE EXE FONDATIONS (G3) : Terrasol

ABSTRACT

MERIBEL - FOUNDATIONS OF A PIERRE & VACANCES RESIDENCE ON RIGID INCLUSIONS

ALEXANDRE BEAUSSIER, TERRASOL - THOMAS BOIZARD, FRANKI FONDATION - PIERRE ROZE, FRANKI FONDATION

The high-prestige Hévana residence, located in a very touristy mountainous region, will consist of a real estate complex in wood and stone resting on two to four infrastructure levels. The geotechnical environment of the infrastructure consists of ground with blocks, not very compact and of abruptly varying thickness, on top of more or less compact moraines and hard shales. The infrastructure had to be executed within a short completion time required by the shortness of the summer season, faced with a geology not well suited to the execution of piles. Due to this constraint, the solution opted for consisted of shallow foundations assisted by rigid inclusions. This option made it possible to execute the building foundations in strict compliance with deadlines. □

MERIBEL: CIMIENTOS DE UNA RESIDENCIA PIERRE & VACANCES SOBRE INCLUSIONES RÍGIDAS

ALEXANDRE BEAUSSIER, TERRASOL - THOMAS BOIZARD, FRANKI FONDATION - PIERRE ROZE, FRANKI FONDATION

Situada en una zona montañosa muy turística, la residencia de alto standing Hevana estará formada por una edificación de piedra y madera sustentada sobre 2 a 4 niveles de infraestructura. Las infraestructuras se inscriben en un entorno geotécnico compuesto de terrenos con bloques poco compactos, de un espesor que varía bruscamente, que coronan morrenas más o menos compactas y esquistos duros. Deberían realizarse en los ajustados plazos que impone la brevedad del período estival, en presencia de una geología que se presta mal a la realización de pilotes. Esta restricción ha llevado a optar por una solución de cimientos superficiales asistidos por inclusiones rígidas. Esta alternativa ha permitido realizar la cimentación del edificio respetando estrictamente los plazos. □

Assurer ses risques professionnels, c'est bien.
Être conseillé et accompagné, c'est mieux !

Avec SMABTP, à chaque métier son contrat sur mesure et son conseiller spécialisé.

Votre conseiller expert vous recommande **ATOUTP** qui couvre tous les risques des **entreprises de TP** en un seul contrat : pour la protection de toutes vos activités et de vos engins en circulation ou au travail. L'offre s'adapte et se module à chaque type de chantier et en fonction du profil de votre entreprise. Vous obtenez aussi un soutien et des aides dans vos démarches de prévention des accidents.

Et parce que chaque profession est unique, nous déclinons nos solutions d'assurance par métier depuis près de 160 ans.



Notre métier : assurer le vôtre

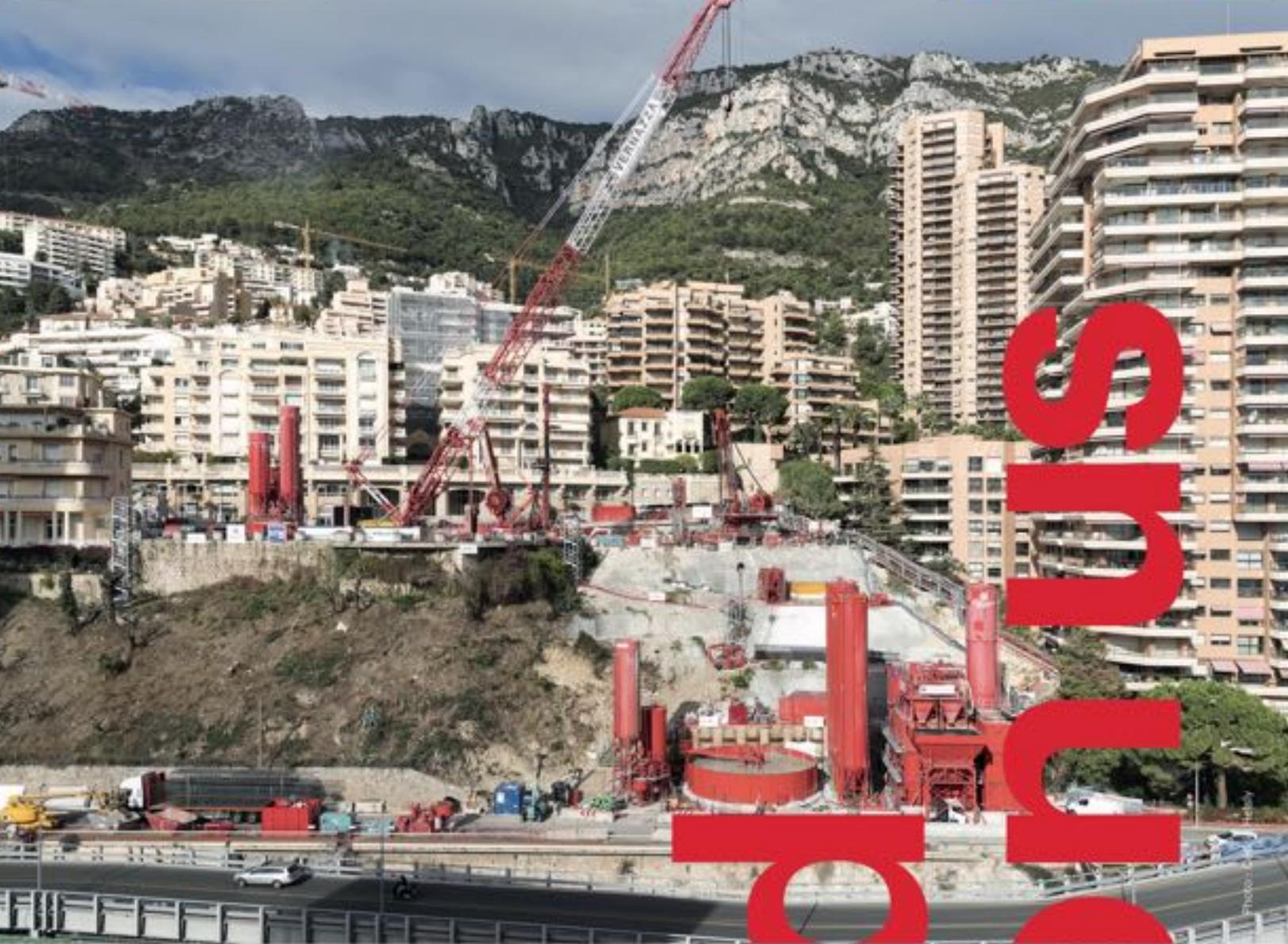


Découvrez toutes nos solutions d'assurance de personnes (dirigeants et salariés), de biens professionnels et d'activités.

www.groupe-sma.fr


SMABTP
BÂTIR L'AVENIR AVEC ASSURANCE

SMABTP, société mutuelle d'assurance du bâtiment et des travaux publics, société d'assurance mutuelle à cotisations variables, entreprise régie par le Code des assurances
BCS PARIS 775 684 764 - 8 rue Louis Armand - CS 7201 - 75738 Paris Cedex 15



Testimonio II
Monaco

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.

Construire sur du solide

www.soletanche-bachy.com



SOLETANCHE BACHY