

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

SOLS & FONDATIONS. TERMINAL GNL DUNKERQUE : TALUS, RESERVOIRS. IMMEUBLE PUSHED SLAB. LGVEE : TRAITEMENT CHEVELU DE GYPSE, SOLS KARSTIQUES ET COMPRESSIBLES. PARKING SULZER NICE. TIRANTS PORT DE LIMAY. MASSY CAMPUS. COUVERTURE VOIES SNCF PARIS XIII. GLISSEMENT A8 BORNE ROMAINE. LGV SEA : LA FOLIE. GEOSYNTHETIQUE SUR INCLUSIONS RIGIDES. CENTRE BUS LAGNY-LE GARANCE. JET GROUTING LUXEMBOURG. DEVIATION SAINT-JOSEPH LA REUNION

N° 897 JUIN 2013



COUVERTURE DES
VOIES SNCF PARIS 13^e:
ILÔT T7 SEMAPA
© CÉDRIC HELSLY POUR
SOLETANICHE BACHY



ON SE COMPREND MIEUX QUAND ON EST DE LA MÊME FAMILLE



PRO BTP,
groupe paritaire
de protection
sociale à but
non lucratif,
est né de la
famille du BTP
pour mieux
la protéger.



Directeur de la publication
Patrick Bernasconi**Directeur délégué**
Rédacteur en chef
Michel Morgenthaler
3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 03
Email : morgenthalerm@fnfp.fr**Comité de rédaction**
Hélène Abel (Ingérop), Jean-Bernard
Datry (Setec), Michel Duviard (Egis),
Laurent Guilbaud (Saipem), Ziad
Hajar (Eiffage TP), Florent Imberty
(Razel-Bec), Louis Marracci
(Bouygues TP), Stéphane Monleau
(Soletanche Bachy), Jacques
Robert (Arcadis), Claude Servant
(Eiffage TP), Philippe Vion (Systra),
Michel Morgenthaler (FNTP)**Ont collaboré à ce numéro**
Rédaction
Monique Trancart, Marc Montagnon**Service Abonnement et Vente**
Com et Com
Service Abonnement TRAVAUX
Bât. Copemic - 20 av. Édouard Herriot
92350 Le Plessis-Robinson
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22
Fax : +33 (0)1 40 94 22 32
Email : revue-travaux@cometcom.frFrance (10 numéros) : 190 € TTC
International (10 numéros) : 240 €
Enseignants (10 numéros) : 75 €
Étudiants (10 numéros) : 50 €
Prix du numéro : 25 € (+ frais de port)
Multi-abonnement : prix dégressifs
(nous consulter)**Publicité**
Emmanuelle Hammaoui
9, rue de Berri
75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 41
Email : ehmmaoui@fnfp.fr**Site internet : www.revue-travaux.com****Réalisation et impression**
Com'1 évidence
Immeuble Louis Vuitton
101, avenue des Champs-Élysées
75008 PARIS
Tél. : +33 (0)1 82 50 95 50
Email : contact@com1evidence.comLa revue Travaux s'attache, pour l'information
de ses lecteurs, à permettre l'expression de
toutes les opinions scientifiques et techniques.
Mais les articles sont publiés sous la
responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se
réserve le droit de refuser toute insertion, jugée
contraire aux intérêts de la publication.Tous droits de reproduction, adaptation, totale
ou partielle, France et étranger, sous quelque
forme que ce soit, sont expressément réservés
(copyright by Travaux). Ouvrage protégé ;
photocopie interdite, même partielle
(loi du 11 mars 1957), qui constituerait
contrefaçon (code pénal, article 425).Editions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0116 T 80259
ISSN 0041-1906

PARIS ACCUEILLE LE 18^e CONGRÈS INTERNATIONAL DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE DU 2 AU 6 SEPTEMBRE 2013



© DR

Le Comité français de mécanique des sols et de géotechnique (CFMS) accueillera le prochain Congrès international de mécanique des sols et de géotechnique (18^e CIMSG).

En effet, cet événement quadriennal de la Société internationale de mécanique des sols et de géotechnique (SIMSG) aura lieu à Paris du 2 au 6 septembre 2013, au Palais des congrès de la porte Maillot (www.issmge2013.org). C'est donc une occasion unique de parler dans ces colonnes de la SIMSG (ISSMGE en anglais ; voir www.issmge.org).

La SIMSG est la société savante qui regroupe dans le monde les géotechniciens (ingénieurs, enseignants, chercheurs) des maîtres d'ouvrage, des entreprises, des bureaux d'études et des universités, qui s'intéressent aux problèmes des sols liés aux fondations et à la construction. Elle regroupe 86 Sociétés membres, représentant près de 20 000 membres individuels. La Société membre pour la France est le CFMS (voir www.cfms-sols.org). Il comprend à l'heure actuelle 463 membres individuels et 54 membres collectifs.

Le Président de la SIMSG, élu pour quatre ans, est assisté de six vice-Présidents régionaux représentant l'Afrique, l'Amérique du Nord, l'Amérique du Sud, l'Asie, l'Australasie et l'Europe.

Le Président actuel est un Français établi au Texas : Jean-Louis Briaud. Le vice-Président Europe est Tchèque : Ivan Vanicek.

La SIMSG organise des congrès régionaux et internationaux quadriennaux. Le premier congrès international a eu lieu en 1936 aux États-Unis ; en 1961, il se déplaçait à Paris où il revient pour la seconde fois en 2013. La France sera ainsi le premier pays à avoir accueilli deux fois l'événement ! Les congrès européens les plus récents ont eu lieu à Madrid (2007) et à Athènes (2011).

La SIMSG a instauré des Comités Techniques internationaux (TC) ou régionaux (RTC) qui travaillent dans de nombreux thèmes qui intéressent plusieurs pays. Elle édite une revue scientifique et un bulletin, propose un réseau social professionnel et a développé des séminaires en ligne. Elle a également récemment créé une Fondation. Il est à noter que pour le Congrès de Paris les TC sont responsables des nombreuses sessions plénières (les conférences honorifiques) et de l'ensemble des sessions de discussion et des ateliers attachés à leurs thèmes.

Le CFMS et la SIMSG sont des forums d'échanges extrêmement utiles à la profession. La pratique de la géotechnique est un art difficile dont la maîtrise conditionne la bonne réussite de nombreux projets de construction. Les échanges d'expériences et la connaissance des outils dans ce domaine sont primordiaux ! Lors des réunions techniques ou des sessions de congrès, les praticiens évoquent les problèmes rencontrés dans leurs projets réels et décrivent leurs solutions, les chercheurs confrontent en public leurs théories et leurs apports à la pratique et les enseignants y puisent la matière de leurs cours en constante adaptation.

Les diverses publications permettent de garder la trace de ces débats captivants !

ROGER FRANK
PROFESSEUR DE L'ÉCOLE DES PONTS
VICE-PRÉSIDENT DE LA SIMSG POUR L'EUROPE (2005-2009)
MEMBRE DU BUREAU DE LA SIMSG (2009-2013)

LISTE DES ANNONCEURS : PRO BTP, 2^e DE COUVERTURE - FRANKI, P.9 - KELLER FRANCE, P.11 - CNETP, P.18 - SMA BTP, P.23 - 18^e CONGRÈS INTERNATIONAL DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE, P.29 - LE CNAM, P.95 - SPIE FONDATIONS, 3^e DE COUVERTURE - SOLETANCHE BACHY, 4^e DE COUVERTURE

Photo couverture : Hydrofraise compacte « Latine » de Soletanche Bachy. Couverture des voies SNCF Paris 13^e. Ilôt T7 SEMAPA.

SOLS & FON DATIONS



AUTOROUTE A8 : SECOURS DE LA BORNE ROMAINE, SECURISATION D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN PROFOND © VERAN

	004 ALBUM
	008 ACTUALITÉ
	020 ENTRETIEN AVEC PHILIPPE GUILLERMAIN L'EXPERTISE PAR VOCATION
	024 PIEUX OUEST : TOUS LES PIEUX, RIEN QUE LES PIEUX
	030 TRAITEMENT ANTILQUÉFACTION SOUS TROIS RÉSERVOIRS GNL À DUNKERQUE
	037 PUSHED SLAB : UN BÂTIMENT HQE SUR DE SOLIDES FONDATIONS
	042 LES DIFFICULTÉS DE DÉTECTION ET LE TRAITEMENT D'UN CHEVELU DE GYPSE DISSOUS DANS DES MARNES GYPSEUSES. APPLICATION AU LOT 42 DE LA LGVEE - L'ASSISE DU REMBLAI 506
	047 STABILISATION DES TALUS DE LA PLATE- FORME DU TERMINAL MÉTHANIER DE DUNKERQUE
	054 455 PLACES SOUTERRAINES AU CŒUR DU CENTRE HISTORIQUE NIÇOIS
	062 RÉHABILITATION DE 340 TIRANTS ACTIFS AU PORT DE LIMAY
	068 MASSY CAMPUS : GESTION D'UN SOUTÈNEMENT SINGULIER
	074 FONDATIONS DE LA COUVERTURE DES VOIES SNCF DE L'ÎLOT T7 À PARIS 13 ^e
	080 AUTOROUTE A8 : SECTEUR DE LA BORNE ROMAINE, SÉCURISATION D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN PROFOND
	086 ESTACADE DE LA FOLIE, MAÎTRISE DE L'ALÉA CAVITÉ SUR UN OUVRAGE DE LA LGV SEA
	090 RENFORCEMENT DE PLATE-FORME DE TRANSFERT DE CHARGE SUR INCLU- SIONS RIGIDES PAR GÉOSYNTHÉTIQUE
	096 CENTRE BUS DE LAGNY-LE GARANCE : UN BUTONNAGE AUX DIMENSIONS EXCEPTIONNELLES
	101 RENFORCEMENT DE SOL PAR JET GROUTING POUR LA SURÉLÉVATION D'UN BÂTIMENT À ESCH-SUR-ALZETTE AU LUXEMBOURG
	106 SECTION CENTRALE DE LA DÉVIATION DE SAINT-JOSEPH - ÎLE DE LA RÉUNION
	112 LGV EST-EUROPÉENNE, PHASE 2 : RENFORCEMENT DES SOLS KARSTIQUES ET COMPRESSIBLES





L'ALBUM

RÉSERVOIRS **GNL** À DUNKERQUE : TRAITEMENT ANTI- LIQUÉFACTION PAR VIBROCOMPACTAGE

POUR la réalisation de 3 réservoirs de stockage de gaz naturel liquéfié (GNL) sur le site du terminal de Dunkerque, le risque de tassement dû à la liquéfaction d'une couche de sol en profondeur et à l'hétérogénéité des remblais hydrauliques a nécessité une amélioration des sols. La technique utilisée est celle du vibrocompactage avec apport de ballast et contrôle au pénétromètre statique. Les travaux ont été réalisés par Soletanche Bachy Pieux. (voir article page 30)



© CÉDRIC HELSLY POUR SOLETANCHE BACHY



LGV

**EST-EUROPÉENNE,
PHASE 2 :
RENFORCEMENT
DES SOLS
KARSTIQUES ET
COMPRESSIBLES**

LES sols compressibles ou karstiques détectés sous des remblais ou sous des assises d'ouvrages d'art ont nécessité des travaux de renforcement préalables. GTS a proposé et mis en œuvre différentes techniques, seules ou associées, adaptées aux configurations rencontrées : drains, injections de comblement, inclusions rigides, pieux. Le forage des pieux dans les formations dolomitiques très dures a été effectué au moyen d'un marteau-fond-de-trou de diamètre 1 016 mm.

(voir article page 112)



LES GÉOTEXTILES MULTIPLIENT LEURS APPLICATIONS EN GÉNIE CIVIL

La confiance dans les géosynthétiques grandit. Leur champ d'application s'élargit encore, en particulier dans le renforcement de sol, ce dont ont témoigné les 9^e rencontres sur ce thème, à Dijon, en avril.



Renforcement par géosynthétique du remblai d'accès à un viaduc sur le projet de ligne à grande vitesse en Moselle.

Quatre cents personnes ont assisté aux 9^e rencontres géosynthétiques à Dijon (Côte-d'Or) du 9 au 11 avril. « C'est un très bon score, » se félicite Yves Durkheim, vice-président du Comité français des géosynthétiques, organisateur. « Les formations, qui se tiennent la veille des rencontres, ont attiré 80 participants, c'est aussi très bon, » ajoute-t-il. La participation des entreprises a augmenté de 15-20%. Le président du Comité des géosynthétiques marocain créé en 2013, a fait le déplacement.

Les géomembranes, utilisées depuis vingt ou quarante ans selon les familles, ont acquis la confiance des marchés et continuent d'ouvrir des niches techniques particulières. « Ces matériaux restent nouveaux dans le sens où il y a toujours des innovations, précise Yves Durkheim. Les entreprises restent concentrées, dans un univers économique annoncé comme difficile. C'est une profession qui ne plonge pas en terme de volume. »

→ En bandes, avec fibre optique

Les 9^e rencontres témoignent de l'évolution des matériaux. Après avoir servi à séparer des couches, à du renforcement et à de l'étanchéité, ils se sont implantés dans le drainage en remplacement de couches filtrantes et granulaires. Puis, le renforcement est devenu plus perfectionné avec des fonctions de parachute (éboulement) et de géotextiles avertisseurs de désordre.

Aujourd'hui, ils interviennent dans la vie d'un ouvrage. À Dijon, a été présentée

l'utilisation de géotextiles en bandes supports de fibre optique. Dans le cas exposé, le fond en géomembrane d'un bassin de stockage d'effluents industriels de 30 ha montrait des signes d'affaissement. Après reprise de la zone à risque, une couche à fibre optique - 3 000 m de long et près de 6 000 points de mesure - a été installée en dessous pour suivre les mouvements du sous-sol et détecter l'occurrence de cavités de grande taille.

Les 50 conférences de Dijon étaient réparties en sept sessions dont deux retiennent davantage notre attention ici⁽¹⁾ : fondations et soutènements, et infrastructures de transport. Signalons dans la première, la modélisation du renforcement par inclusions rigides des sols compressibles. Grâce à elle, il est possible de prédire le comportement d'un matériau et de le dimensionner à partir d'un outil. « Le logiciel donne un moyen aux bureaux d'études de s'emparer de ces techniques car ils vont savoir les calculer, » explique Yves Durkheim.

→ Réduire la déformation d'une chaussée

Les rencontres témoignent du travail de fond réalisé en renforcement avec les géosynthétiques. Par exemple, a été présentée « l'expérimentation en vraie grandeur de remblais techniques sujets à cavités potentielles renforcés par géosynthétique » ou comment une géomembrane peut assurer pour un temps la traficabilité d'une chaussée, c'est-à-dire réduire sa déformation due à un

effondrement souterrain. Cette expérimentation s'inscrit dans le projet Géonov labellisé par deux pôles de compétitivité (Techtera et Fibres) et doté d'un budget de 3,5 millions d'euros dont 1,5 apporté par l'État au titre d'un appel de la Direction générale de la compétitivité de l'industrie et des services (2010). Sept partenaires y collaborent avec MDB Texinov, chef de file. Les géosynthétiques sont aussi utilisés dans les remblais de ligne ferroviaire à grande vitesse, comme par exemple, à Sarraltroff (Moselle) dans le remblai d'accès au viaduc au-dessus de la Sarre. Dans ce cas, des nappes en géotextile tissé constitué de câbles polyester haute ténacité viennent renforcer le matelas de répartition qui transfère les charges du remblai vers les inclusions rigides.

→ La durabilité des matériaux

à l'étude

Un autre cas de renforcement, cette fois dans des zones à risques de cavités karstiques, a été développé sur un tronçon de l'autoroute A36 (Doubs). Il s'agit ici d'un géotextile à structure tissée-

tricotée-tramée en polyester haute ténacité associé à un géotextile tissé. « L'étanchéité par géotextile, bien que ce soit une application ancienne, reste très importante notamment en ouvrages de construction routiers pour la protection de l'environnement (bassins), rappelle Yves Durkheim. La problématique porte sur la durabilité des matériaux car il faut que les nappes qui se situent dessous soient protégées de toute pollution. » Cette question a été abordée notamment dans une étude sur la durabilité des géomembranes en bitume élastomère exposées sur site depuis six à trente ans. Les conclusions - maintien des performances hydrauliques et mécaniques sur trente ans d'un produit en particulier - restent à confirmer par une étude indépendante.

Pour en savoir plus :
www.cfg.asso.fr ■

⁽¹⁾ Autres sessions : ouvrages pour la protection de la ressource en eau ; installations de stockage de déchets ; études et essais ; ouvrages pour la protection de l'environnement ; durabilité.



Structure tissée-tricotée-tramée en polyester haute ténacité associée à un tissé pour renforcer une zone à risque de cavité karstique (A36).

DE L'IMPORTANCE DE LA POSE

Les géomembranes contribuent à la protection de l'environnement à condition de rester en bon état, autrement dit, étanches. Selon Didier Croissant, ingénieur d'étude à l'Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement (Irstea), « les géosynthétiques bentonitiques (GSB) sont souvent méconnus par les poseurs et les maîtres d'ouvrage et ne sont pas mis en place dans les règles de l'art, constate-t-il au cours d'expertises menées par le laboratoire de l'Irstea. Un défaut de pose est fréquemment la cause du problème rencontré. (...) Nos études attestent de l'importance de la recherche sur la qualité de la pose et du suivi des recommandations du Comité français des géosynthétiques en la matière. »

Les GSB, utilisés depuis plus de vingt ans en couverture de stockage de déchets, le sont depuis plus récemment en barrière étanche dans les ouvrages hydrauliques. L'intervention de l'Irstea aux rencontres de Dijon (voir ci-contre) portait sur l'examen de leur comportement quelques années après leur pose sur quatre digues de retenue d'eaux pluviales étanchées par ces matériaux, recouverts de terre végétale contenant des morceaux de silex et des racines, dans l'agglomération du Havre (Seine-Maritime).



EXPERTS EN FONDATIONS



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

Fort des 4 entreprises de son pôle Fondations, le groupe Fayat dispose d'une gamme complète de solutions techniques pour tous les types de fondations et de travaux de consolidation des sols. Les 4 sociétés Fayat Fondations apportent ainsi à leurs clients toute leur expertise en fondations spéciales et le savoir-faire de leurs équipes sur des chantiers d'envergure comme sur des travaux de proximité.



UN COMMISSARIAT REMPLACE LE CENTRE D'ANALYSE STRATÉGIQUE

Le Commissariat général à la stratégie et à la prospective (CGSP) remplace le Centre d'analyse stratégique (décret du 22 avril). La nouvelle structure qui reste rattachée aux services du Premier ministre doit apporter son concours au gouvernement pour la détermination des grandes orientations de la nation et des objectifs sur les plans économique, social, culturel, environnemental ainsi que sur la préparation des réformes décidées par les pouvoirs publics. Le CGSP coordonne les travaux de huit conseils d'orientation ou hauts conseils : retraite, emploi, famille, avenir de l'assurance maladie, financement de la protection sociale, industrie, études prospectives et d'informations internationales. Signalons parmi les dernières publications du Centre d'analyse stratégique, les trois volets sur la gestion durable de l'eau (2013) ainsi que les documents sur l'ouverture à la concurrence du transport ferroviaire de voyageurs et sur le TGV dans le monde (2011).

PROPOSITIONS POUR UN SYSTÈME FERROVIAIRE PLUS PERFORMANT



© LUDOVIC GRA PHOTOTHÈQUE SNCF

Les régions veulent être propriétaires des matériels qu'elles paient. Ici, TER Rhône-Alpes entre Lyon et Roanne (Loire).

généralisé une dette de plus de 31 milliards d'euros et un déficit annuel de 1,5 milliard. Les assises du ferroviaire fin 2011 avaient remis en cause l'organisation existante et appelé à « l'indispensable rétablissement de l'équilibre économique du système. »

→ Retour du politique

« Il ne s'agit pas de retourner au passé (...). Aucune des parties prenantes ne souhaite aller dans cette direction, » écrit M. Bianco. Ceci étant dit, l'organisation proposée dans les deux rapports suppose le grand retour du politique dans les décisions sur le ferroviaire avec, aux côtés de l'État, le parlement et les régions.

Le rapport de Jacques Auxiette contient nombre de propositions donnant aux régions une place reflétant leur implication dans les transports ferrés régionaux : être autorités coordinatrices de l'intermodalité, maîtres d'ouvrage des projets de proximité, gérer les gares d'intérêt régional ou local, être propriétaires des matériels qu'elles financent, fixer les tarifs des trajets en TER, percevoir un versement transport, etc.

→ Trains à 200 km/h sur voies existantes

En matière économique, les investissements liés aux lignes à grande vitesse (LGV) sont critiqués dans le rapport de Jean-Louis Bianco.

Sans remettre en cause les quatre prolongements de LGV d'ici à 2017, il estime que « une priorité absolue doit être donnée sur la durée du plan décennal de retour à l'équilibre et de stabilisation de la dette, à la rénovation du réseau existant (...), en premier lieu pour les trains de la vie quotidienne qui concernent 90 % des voyageurs. (...) Sur certaines liaisons d'équilibre du territoire (NDLR : ex-trains Corail), il faut développer une nouvelle offre de transport, s'articulant autour de trains circulant à 200 km/h, utilisant le plus souvent possibles les voies existantes. (...) Ce maillon entre les TER et les TGV permettrait aux métropoles et territoires actuellement non reliés au réseau à grande vitesse d'envisager des solutions moins onéreuses et plus rapidement disponibles. »

Le rapport Bianco prévoit un cadre unique pour les personnels, constitué d'un décret avec les règles communes à la branche ferroviaire, assorti d'une convention collective nationale. ■

LES RÉGIONS PARTIES PRENANTES DE LA NOUVELLE ORGANISATION

La refonte du système ferroviaire proposée par Jean-Louis Bianco et Jacques Auxiette (voir ci-contre) consisterait, du côté de l'État, à former un pôle public ferroviaire comprenant un « établissement mère » chargé d'assurer la cohérence technique, économique et sociale du pôle, un gestionnaire d'infrastructure unifié (GIU) et un opérateur de transport non qualifié de SNCF mais de « transporteur », opérateur historique dont la particularité « doit être reconnue ». Les régions seraient représentées dans le conseil d'administration des trois entités.

Le GIU regrouperait tous les services de gestion du réseau ferré : activités de Réseau ferré de France, SNCF Infra et la direction des circulations ferroviaires de la SNCF⁽¹⁾. Il serait chargé de développer, entretenir et exploiter le réseau. Il en serait propriétaire, en conserverait la dette, à résorber par les recettes de la SNCF.

Afin de ne pas retomber dans l'opacité reprochée à la SNCF, l'Autorité de régulation des activités ferroviaires verrait ses pouvoirs renforcés.

⁽¹⁾ Cf. Travaux décembre 2012, page 12.

« Impasse opérationnelle, impasse économique » : là nous a conduit la séparation en 1997 de Réseau ferré de France et de la SNCF, selon Jean-Louis Bianco, dans son rapport remis au Premier ministre en avril. L'ancien ministre des transports a été chargé par le gouvernement en novembre 2012 d'une mission de concertation sur le projet de réforme du système ferroviaire. Parallèlement, Jacques Auxiette, président de la commission transports de l'Association des régions de France, devait formaliser les attentes de ces collectivités en tant qu'autorités organisatrices des services régionaux de voyageurs. Les deux rapports contiennent des recommandations dont le gouvernement peut s'inspirer dans le projet de loi qui sera débattu au Parlement à la fin de l'année. Selon les deux auteurs, les décisions prises à la fin des années 1990 ont



Fondations Spéciales

info



w w w . k e l l e r - f r a n c e . c o m

Keller Fondations Spéciales SAS
Siège Social

2 rue Denis Papin
CS 69224 Duttlenheim
67129 Molsheim Cedex

Tél. : 03 88 59 92 00

Fax : 03 88 59 95 90

e-mail : direction@keller-france.com

www.keller-france.com

Appuyez-vous sur nos points forts

- ◆ Une expertise géotechnique mondialement reconnue
- ◆ Des techniques de fondations profondes et d'amélioration de sols adaptées à vos projets commerciaux, industriels, urbains et d'infrastructures

Amélioration et renforcement de sol :

Colonnes à Module Mixte CMM[®], inclusions rigides type INSER[®], Induction Hydraulique[®], Colonnes ballastées, vibrocompactage, compactage dynamique, Colonnes Ballastées Injectées CBI[®], drains verticaux, colonnes chaux-ciment (Deep Soil Mixing DSM)

Fondations et soutènements :

Pieux, micropieux, parois de soutènement et fouilles urbaines clés en main

Injections :

Injection solide (compaction grouting, CHS), bouchons injectés, Soilfrac[®], jet grouting Soilcrete[®]

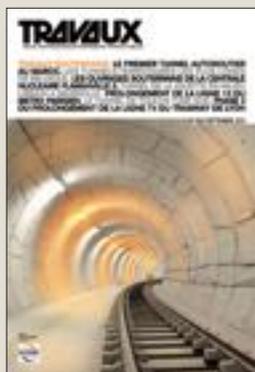


COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION DE TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS



882 - PATRIMOINE & REHABILITATION



883 - TRAVAUX SOUTERRAINS



884 - INTERNATIONAL



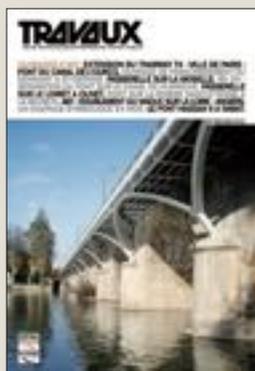
885 - ROUTES ET TERRASSEMENTS



886 - VILLE DURABLE - ENERGIE - URBANISME



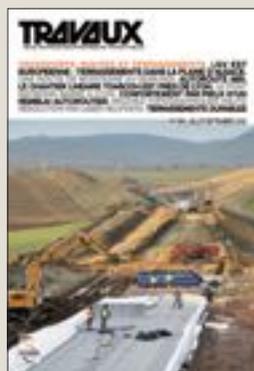
887 - EAU, BIODIVERSITE & INFRASTRUCTURES



888 - OUVRAGES D'ART



889 - SOLS & FONDATIONS



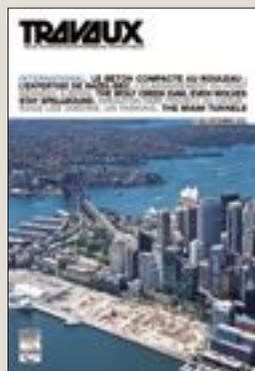
890 - TRANSPORTS, ROUTES ET TERRASSEMENTS



891 - PATRIMOINE & REHABILITATION



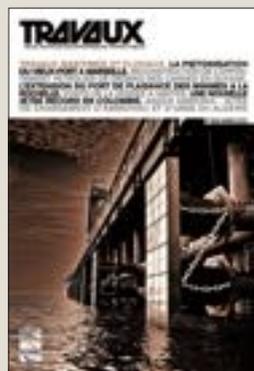
892 - LGV RHIN-RHÔNE



893 - INTERNATIONAL



894 - TRAVAUX SOUTERRAINS



895 - TRAVAUX MARITIMES ET FLUVIAUX



896 - OUVRAGES D'ART

BON DE COMMANDE

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) :

- 882 x ___ 883 x ___ 884 x ___
 885 x ___ 886 x ___ 887 x ___
 888 x ___ 889 x ___ 890 x ___
 891 x ___ 892 x ___ 893 x ___
 894 x ___ 895 x ___ 896 x ___

Soit un montant total de :

_____ numéros x 25 € = _____ €

(Pour une commande de plus de 20 numéros le prix passe de 25 € à 20 € l'unité. Pour plus de 100 numéros commandés le prix est de 17 € l'unité. Pour les auteurs de la revue le prix est de 15 € l'unité.)

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 ESI

ATTENTION : tous les règlements doivent être libellés exclusivement à l'ordre de ESI

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

Date, signature et cachet de l'entreprise obligatoire

SECOND PROJET DE CANAL SEINE NORD EUROPE EN 2014

Le projet du Canal Seine Nord Europe (SNE) doit être revu. Ainsi en a décidé Frédéric Cuvillier, ministre des Transports, après avoir lu le rapport que lui a remis le Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD) en mars.

Le rapport explique que son coût n'est pas acceptable en l'état actuel, considérant l'impact de la crise sur le niveau du trafic, d'une part, et les conditions de financement du partenariat public privé (PPP) qui se seraient durcies depuis les premières estimations en

2006, d'autre part. Le ministre a donc décidé l'arrêt de la procédure de PPP qui serait un frein à l'optimisation des coûts. Il confie à Rémy Pavros, député, la remise à plat des aspects techniques du dossier. Un nouveau projet devrait être présenté à la Commission européenne au premier semestre 2014 afin d'en obtenir des subventions. Selon Voies navigables de France, maître d'ouvrage du canal et qui a réalisé les études, le coût de l'ouvrage de 106 km de long par 54 de large, aurait pu augmenté depuis 2006,

passant de 4,3 milliards d'euros à 4,7 environ, le reste de la hausse - plus de 2 milliards - étant imputable au remboursement de l'emprunt et au versement de loyers liés au PPP⁽¹⁾. Par ailleurs, les travaux ont déjà commencé pour un montant de 300 millions d'euros dont le surbaissement de l'autoroute A29 terminé en 2011⁽²⁾. ■

⁽¹⁾ Cf. interview d'Alain Gest, président de VNF, *Gazette des communes*, 23 avril.

⁽²⁾ Voir *Travaux* mai 2011, page 8.



Le passeur de rives du SMSO fonctionne à la demande entre Lavacourt (Yvelines) et Vétheuil (Val-d'Oise).

APPEL À PROJETS NAVETTES FLUVIALES

Parmi les mesures récentes en faveur du transport fluvial prises par Frédéric Cuvillier, ministre des transports, figure un appel à projets mobilité durable pour les transports urbains collectifs qui, pour la première fois, inclut la création de navettes fluviales.

Des trajets de ce type existent déjà. Les Mureaux (Yvelines) avaient mis en place des bateaux pour traverser la Seine, l'été, de 2004 à 2012. Toujours sur la Seine, le Syndicat mixte d'aménagement, de gestion et d'entretien des berges de la Seine et de l'Oise (54 communes) a réactivé en 2009 le bac entre Lavacourt (Yvelines) et Vétheuil (Val-d'Oise), au nord de Mantes-la-Jolie (Yvelines). Ce passeur de rives fonctionne à la demande le week-end du printemps à l'automne. Le SMSO a un projet entre Rosny-sur-Seine et Guernes (Yvelines), ce qui évite un grand détour.

LUTTER CONTRE L'INFLATION NORMATIVE

Les rapports fleurissent avec le printemps. Alain Lambert et Jean-Claude Boulard ont remis le leur, sur la lutte contre l'inflation normative, au Premier ministre, en mars. Par "normes", il faut comprendre "textes réglementaires" qui pèsent sur les collectivités locales. Sont donc exclues 99 % des normes publiées par l'Afnor, d'application volontaire. Les états généraux de la démocratie territoriale (Sénat, octobre 2012) avaient souligné la nécessité de les alléger, ce dont se chargent le Comité interministériel pour la modernisation de l'action publique avec la Commission consultative d'évaluation des normes. Les deux rapporteurs avaient pour mission « d'évaluer les normes existantes et les conditions de leur maintien, de leur abandon ou de leur aménagement. »

Les collectivités voient dans certaines réglementations une perte de temps génératrice de dépenses. « Retrouver le sens des proportions entre dérégulation générale et un État paralysé par le droit, c'est le souci de MM. Lambert et Boulard. Tous les acteurs concernés doivent se mettre en mouvement pour passer de l'intégrisme à l'assouplissement normatif. »

→ Le département, autorité environnementale ?

La première partie du rapport (60 pages) s'attache à l'allègement. La solution rapide consiste à élargir la capacité d'interprétation des textes obligatoires puisque « l'interprétation est un composante de notre droit sans laquelle il n'y aurait pas de jurisprudence. » Exemple d'une "interprétation

facilitatrice des normes" : savoir si une construction en zone de protection d'un site classé est, ou non, de nature à porter atteinte à ce site « couvre une large marge d'appréciation. »

Selon eux, le préfet de département est mieux placé que celui de région pour interpréter les normes, et il serait plus adapté comme autorité environnementale.

Le titre de la seconde partie du rapport (23 pages) - *Maîtriser le flux ou comment arracher les normes du désordre dans lequel elles prospèrent* - semble juger sévèrement la situation actuelle. MM. Lambert et Boulard considèrent que « traiter de l'empilement des normes, c'est s'intéresser à un sujet sociétal. » Ils dénoncent la tentation de vouloir se mettre à l'abri de tous les risques et de toute "réclamation". ■

CHARTRE RISQUE ROUTIER

La Fédération nationale des travaux publics reconduit pour quatre ans la charte de prévention du risque routier signée en 2009, les accidents de la route étant la deuxième cause de décès dans le secteur. Elle s'entoure de l'Organisation professionnelle de prévention du bâtiment et des travaux publics, et de l'Association de promotion et de suivi de la sécurité routière en entreprise.

SITE INTERNET RISQUES NATURELS

L'Observatoire national des risques naturels, créé en 2012, dispose d'un portail internet (www.onrn.fr) avec un annuaire des acteurs de la gestion des risques naturels, le recensement des bases de données publiques sur des territoires précis ainsi que, sous forme d'une cartographie, les dommages indemnisés de 1995 à 2010, les enjeux en matière d'inondation, et l'avancement des mesures de prévention.

VALLÉE DE LA SEINE : DÉLÉGUÉ INTER-MINISTÉRIEL

Un délégué interministériel au développement de la vallée de la Seine est créé auprès du Premier ministre⁽¹⁾. Chargé du comité directeur du même nom, il définit les conditions d'élaboration du schéma stratégique pour l'aménagement et le développement de cette vallée avec les collectivités territoriales concernées, les chambres consulaires, les conseils économiques, sociaux et environnementaux, le GIE Haropa (ports), Voies navigables de France et Réseau ferré de France.

⁽¹⁾ Source : *Gazette des communes*, 23 avril.

HOBAS EN PAYS FRANCOPHONES

Hobas France renforce sa présence dans les pays francophones. Déjà présent au Maghreb et en Afrique, il crée une filiale au Québec et une agence commerciale pour couvrir la Belgique et le Luxembourg. Le fabricant de canalisations en polyester renforcé de fibres de verre y voit des opportunités de gros projets. Le manque d'entretien des réseaux lui laisse entrevoir des marchés pour ses produits dont certains s'installent sans tranchée en réhabilitation.

SPIE PLUS PRÉSENT AUX PAYS-BAS

Spie reprend la société Infrastructure, Services & Projets (IS&P) au groupe hollandais KPN, sous réserve de l'approbation des organismes officiels et des comités d'entreprises. Le spécialiste en services d'énergie et de télécommunications renforce ainsi son activité en connectivité numérique (installation, maintenance, gestion d'infrastructures de communication câblées ou par ondes). IS&P, qui réalise 100 millions d'euros de chiffre d'affaires par an, deviendra Spie-ICS et restera partenaire de KPN.

BRUIT ROUTIER DÉPARTEMENTAL

L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie donne jusqu'au 30 juin pour se porter candidat à l'appel à projets sur le traitement des points noirs du bruit du réseau routier départemental, communautaire et communal.

ATMB INVESTIT 35 MILLIONS D'EUROS EN 2013



Sur la RN205, protection contre les éboulements dans la descente des Egratz.

Autoroutes et Tunnel du Mont-Blanc (ATMB) va investir 35 millions d'euros en 2013, soit 24 millions sur l'Autoroute blanche (A40 Chamonix-Mâcon), 7 millions sur la Route blanche (RN205) et 4 millions dans le tunnel dont elle est concessionnaire avec la société italienne SITMB (exploitant GEIE-TMB). ATMB poursuit son plan d'action environnemental (2012-2020) : réduction du bruit, consommation raisonnée d'eau et d'énergie, limitation des déchets et optimisation du déneigement. Par exemple, les climatiseurs à gaz du tunnel seront remplacés avant l'été par des modèles utilisant les eaux froides récupérées sur place (coût : 800 000 euros à partager entre les partenaires

français et italiens). Les 41 camions de déneigement sont progressivement renouvelés avec des modèles moins polluants. L'assainissement des eaux usées de sa base du Fayet (Haute-Savoie) qui déneige et sale les 20 km jusqu'au tunnel six mois par an, a été refait. En 2015, débutera la construction d'un hangar à sel. Le centre d'entretien et le poste de contrôle de Bonneville (Haute-Savoie), actuellement en chantier, seront des bâtiments à basse consommation d'énergie et autonomes en eau à 80 % grâce à la récupération des eaux de toiture. Leur construction devrait s'achever respectivement en 2014 et 2015. Coût : 17 millions d'euros (2010-2014).

Au rayon des travaux neufs : la passerelle en bois pour randonneurs au-dessus du torrent de la Creusaz près du tunnel (470 000 euros en 2013 avec la SITMB).

L'entretien des ouvrages d'art accapare une part non négligeable des investissements. La mise aux normes des tunnels du Châtelard et des Chavants sur la RN205 en Haute-Savoie va durer de fin 2013 à fin 2014 pour 4,4 millions d'euros (études depuis 2010). Sur l'A40, 4 millions seront dépensés cette année, dont une partie au viaduc de Bellegarde-sur-Valsérine (Ain) : renforcement de structure par des câbles de précontrainte, étanchéité, chaussée résistante aux épisodes de gel-dégel.

→ Casquette ancrée à 15 m

La sécurité génère également nombre de travaux. La protection aux éboulements de la descente des Egratz sur la RN205, débutée en 2011 par la pose de 20 000 m² de grillage et écrans pare-blocs, se poursuit par la construction d'une casquette de 100 m de long ancrée à 15 m dans la roche. Coût : 4,4 millions d'euros (2010-2014). Les équipements de sécurité sont complétés et modernisés : refuges et caméras supplémentaires, éclairage en rideau de leds aux entrées d'abris, pilotage plus performant, panneaux lumineux, etc. ATMB investit avec la SITMB dans 4 nouveaux camions incendie à 800 000 euros l'unité. À ce prix, les véhicules transportent 12 000 m³ d'eau (au lieu de 4 000 m³ précédemment) et peuvent faire demi-tour dans le tunnel. ■

LA BEI PRÊTE 500 MILLIONS D'EUROS À RTE

Réseau de transport d'électricité (RTE) a obtenu un prêt de 500 millions

d'euros de la Banque européenne d'investissement pour financer sept projets de développement du réseau à haute et très haute tension en France jusqu'à 2016. Un premier emprunt de 300 millions d'euros a été signé fin mars. Le second, de 200 millions, sera signé l'année prochaine. De 2012 à 2016, RTE investit près de 8 milliards d'euros dont 1,2 milliard apporté par la BEI sur la même période. Les travaux visent à assurer la qualité de la fourniture en électricité, à sécuriser l'approvisionnement et à mieux intégrer la production d'énergies renouvelables dans le réseau.

Plus de 580 km de lignes seront construits et 275 km, renforcés. Ils incluent l'achèvement du projet Cotentin-Maine (EPR et alimentation du Grand-Ouest), la modernisation du réseau entre Lyon et Montélimar (Drôme) et la sécurisation de l'alimentation électrique de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Depuis 2009, la BEI accorde des prêts à RTE. L'interconnexion France-Espagne dont le tunnel vient d'être percé, bénéficie d'un emprunt de 350 millions d'euros sur 700 millions que devrait coûter la ligne de 65 km (2014), accordé à Inelfe, filiale de RTE et de Red Eléctrica de España. ■



Déroulage de câble en région Provence-Alpes-Côte d'Azur afin d'en sécuriser l'alimentation électrique, un des chantiers actuels de RTE.

PASSEZ VOTRE PUBLICITÉ DANS **TRAVAUX** POUR UN MAXIMUM D'IMPACT SUR LES ACTEURS DE LA PROFESSION DES TRAVAUX PUBLICS

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

VIADUC DE MILLAU © CEMM

■ NOTRE LECTORAT

41 % - Maîtres d'ouvrage, Maîtres d'œuvre, Bureaux d'études, Laboratoires de recherche, Architectes, Conseils généraux et régionaux, Collectivités locales et territoriales.

5 % - Enseignement.

54 % - Entreprises : Grands groupes / PME.

■ ÉDITEUR



Travaux est une publication de la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP) qui regroupe 20 Fédérations régionales et 17 syndicats professionnels des travaux publics.

■ DIFFUSION

9 à 10 numéros par an, de 70 à 100 pages, diffusés par abonnement - distribution dans les manifestations professionnelles, mise à disposition du public dans les institutions officielles.

Trage : 2 000 exemplaires.

Diffusion internationale : 1 800 exemplaires.

■ LIGNE ÉDITORIALE

Travaux est un mensuel technique et professionnel qui s'adresse à tous les acteurs de la profession des travaux publics : entreprises, bureaux d'études, maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, fabricants de matériel, chercheurs, étudiants, importateurs, exportateurs, etc. Les articles sont rédigés par des directeurs de projets, des ingénieurs et chefs d'opération, ainsi que par des autorités scientifiques. Chaque numéro comporte un éditorial signé par une personnalité et, le plus souvent une interview d'une autre personnalité et un reportage sur une entreprise ou un fournisseur indépendant. Plusieurs pages d'actualités et un calendrier des manifestations viennent compléter l'information.

NOS TARIFS 2013

Surface	Prix (HT)	Format (L x H)	
2 ^e couverture*	3 390 €	215 x 315 mm	
3 ^e couverture*	2 980 €		
4 ^e couverture*	3 660 €		
Page*	2 650 €	215 x 315 mm	
1/2 page	1 630 €	185 x 121 mm	
1/4 page	1 150 €	90,5 x 121 mm	
Encart	Recto/Verso	2 680 €	
	4 pages	4 110 €	Nous consulter
Publi rédactionnel	1 page	2 690 €	
	2 pages	5 315 €	Nous consulter
Répertoire des fournisseurs	Rubrique	102 €	Par ligne/rubrique/an
	Module	235 €	Par cm/colonne/an

* Prévoir 5 mm de fond perdu sur les 4 côtés et ne pas mettre de texte ou logo à moins de 15 mm des bords gauche et droite

■ RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES

Remise des éléments d'impression : 5 semaines avant parution.

Documents d'impression acceptés dans les formats : PDF, JPEG, Photoshop EPS ou TIFF (sans compression) avec une définition de 300 dpi.

Délai d'annulation : 2 mois avant parution.

Frais techniques (PAO) : à la charge de l'annonceur. Nous pouvons nous charger de la réalisation de votre annonce avec les éléments que vous nous remettez. Ces travaux sont dans ce cas facturés en sus, avec la première parution. Forfait pour la modification d'une adresse, d'un numéro de téléphone, etc. : 63 € HT.

- **Dégressifs de surface** :
- - 2 à 4 pages : 6 %
- - 5 à 7 pages : 9 %
- - 8 à 10 pages : 12 %
- **Emplacement préférentiel** : + 15 %
- **Dégressifs d'insertions** :
- - 2 à 4 insertions : 3 %
- - 5 à 7 insertions : 6 %
- - 8 à 10 insertions : 9 %
- **Règlement** : 30 jours, à l'ordre de :
- ESI, 9 rue de Berri - 75008 Paris.
- **Conditions de vente sur demande.**

VOTRE CONTACT

Emmanuelle Hammaoui, chef de publicité
9, rue de Berri - 75008 Paris - France
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 41 - Email : ehammaoui@fnfp.fr

COLAS RAIL EN TUNISIE

Colas Rail vient de remporter deux marchés en Afrique du nord.

Avec Siemens et l'entreprise tunisienne Somatra-Get, la société va participer à la construction des deux premières lignes du réseau ferroviaire rapide de Tunis, soit 20 km.

Le contrat se monte à 145 millions dont 86 pour Colas qui réalisera les travaux de voie, de caténaire, d'alimentation électrique, installera le système de télésurveillance et d'acquisition de données, le dépôt et l'intégration du lot système. Les travaux devraient durer quatre ans à partir de 2014.

Le projet est financé par l'État tunisien et un consortium international comprenant, entre autres, la Banque européenne d'investissement, l'Agence française du développement et KfW, établissement bancaire allemand.

Au Maroc, Colas Rail Maroc remporte avec Egis Rail, la conception-construction de la ligne de train à grande vitesse entre Tanger et Kenitra (185 km de voies doubles). Colas capte 124 millions d'euros sur les 136 du contrat. Le chantier ne devrait pas tarder puisque l'ouverture est prévue en 2016 après trois ans et demi de travaux.

ELITHIS SE DÉVELOPPE EN SUISSE

Le groupe français Elithis, spécialisé en efficacité énergétique⁽¹⁾, entre à hauteur de 75 % dans le capital de deux bureaux d'études suisses.

Energie Concept, situé dans le canton de Fribourg (Suisse romande), connaît bien les réseaux de chaleur et la production d'énergie renouvelable. Rigot + Rieben (canton de Genève) est spécialisé dans les énergies nouvelles renouvelables.

⁽¹⁾ Cf. Travaux, mars 2010, page 14.

SOCOTEC CRÉE UNE SOCIÉTÉ SPÉCIALISÉE EN INFRASTRUCTURE

Le groupe Socotec, spécialisé dans la maîtrise des risques techniques et l'amélioration des performances, accroît son activité dans les infrastructures. À côté de ses missions de contrôle dans le bâtiment, il a déjà développé son expertise dans les ouvrages d'art et cherche à conforter ce secteur. Il vient donc de créer la société indépendante Socotec Infrastructure pour y abriter cette part de son activité et a pris une participation de 40 % dans Rincenc BTP, spécialiste en analyses, essais, inspections, assistance technique, recherche et développement pour des acteurs du génie civil, des travaux publics et du bâtiment. Rincenc réalise un chiffre d'affaires de 21 millions d'euros (2012), emploie 280 collaborateurs et dispose de 7 agences à l'international. Socotec emploie 5 000 personnes, réalise 475 millions d'euros de chiffre d'affaires (2012) et exerce dans 40 pays.



Le groupe Socotec est chargé du contrôle externe du viaduc de Boème sur la ligne LGV Sud Europe Atlantique.

© MICHEL GARNIER/USEA

La nouvelle société Socotec Infrastructure sera dirigée par Yves Bozzi. Elle s'articule autour de 4 départements : contrôle des études ; contrôle des travaux ; inspections et diagnostics ; mesures. Ce dernier département

travaille en partenariat avec Rincenc BTP qui comprend sept pôles : auscultation de chaussées, matériaux de chaussées, environnement, ingénierie et instrumentation, essais et matériels d'essais non destructifs, recherche et expertise. ■

29 BARRAGES VNF MODERNISÉS PAR VINCI CONCESSIONS

Vinci Concessions est l'attributaire pressenti du contrat de partenariat pour la reconstruction de 29 barrages manuels de Voies navigables de France (VNF) situés dans les départements de la Meuse, des Ardennes, de la Marne et de l'Oise. Le contrat entre dans la phase de mise au point pour une signature au plus tard en octobre. Il concerne le financement, la conception, la construction, l'exploitation, la maintenance et la régénération des barrages et de leurs équipements. VNF a d'abord fait travailler quatre groupements dans le cadre d'un dialogue compétitif (appel à candida-

tures de 2010) : Bouygues Travaux Publics Régions France, NGE, Spie Batignolles, TPCI et Vinci Concessions. Les offres finales des candidats avaient été remises en janvier.

La proposition de Vinci Concessions a été choisie parce qu'elle comprend une mise en service progressive des ouvrages entre 2017 et 2020, une solution technique à base de barrages gonflables à eau, et la réalisation de centrales hydroélectriques sur la Meuse, option de l'appel à concurrence qui apporte des revenus par la vente d'électricité. Estimé à 200 millions d'euros en 2010, le projet porterait



Ouvrage de Vauxrot sur l'Aisne, près de Soissons (Aisne).

© VNF

sur une somme inférieure encore en discussion.

→ Automatisation

Vingt-trois des 29 barrages se situent sur la Meuse entre Commercy (Meuse) à l'ouest de Nancy, et Givet (Ardennes) près de la frontière belge. Six barrages à rénover se trouvent sur l'Aisne au nord de Reims (Marne) jusqu'à Compiègne (Oise). Leur reconstruction pour les moderniser et les automatiser est inscrite dans le contrat d'objectifs et de performance de VNF 2011-2013. Elle doit offrir des conditions de travail moins pénibles et moins dangereuses au personnel qui y intervient. Elle devrait améliorer la gestion hydraulique et sécuriser les niveaux d'eau pour l'alimentation en eau potable et le refroidissement de centrales nucléaires. Des passes à poissons seront incorporées. ■



© VNF-NANCY

Barrage de Givet (Ardennes), sur la Meuse, près de la frontière belge.

FAUX-PLAFOND EN VAGUES À PARIS-AUSTERLITZ

Les dessous des gares doivent être cachés. À la gare d'Austerlitz à Paris, tuyaux, gaines, réseaux de câbles et d'assainissement courant le long des quais disparaissent derrière un faux-plafond. Au-dessus, une dalle de 22 000 m² recouvre les voies ferrées avec construction d'un bâtiment, dans le cadre du projet Zac Rive gauche. Le faux-plafond, dont le prototype a été conçu en 2009, devrait être totalement posé fin 2013. Il a été élaboré par Lagarrigue-Préfa (Aveyron) qui en livre les composants au fur et à mesure. Les coques de forme incurvée sont suspendues à la structure de la couverture des quais par des barres de précontrainte rigides. Elles forment des vagues entre les poteaux coulés sur place et arborent la même teinte de béton blanc (ciment Lafarge). Outre les réseaux, elles abritent le dispositif extracteur de fumées de la sécurité incendie de l'immeuble. Elles font également office de parois coupe-feu grâce à des joints entre coques et des enrobages d'acier avec cales à béton homologués. Elles ont aussi dû obtenir l'agrément de la SNCF (maître d'ouvrage délégué). « Il fallait

prendre en compte les dérives de charges avec essais de résistance et de mise en tension effectués par la SNCF, pour des sollicitations des structures, pondérées à plus de 130 ou 150% de ce qu'elles pourraient encaisser, valeurs variables à cause des sections renforcées au niveau de l'immeuble construit sur la dalle, » explique Pascal Carlos, président de Lagarrigue-Préfa.

→ **Coques : 12 000 euros pièce**

L'entreprise de préfabrication, sous-

traitance de Bouygues TP, dispose en usine de plusieurs ponts roulants facilitant la manutention et le démolage des coques de béton. Celles-ci mesurent 3 à 8 m de long sur 15 à 18 cm d'épaisseur, soit un poids moyen de 8,5 tonnes et un coût de 12 000 euros. Le transport des 21 000 m² de coques de l'Aveyron jusqu'à Paris a nécessité 600 voyages en semi-remorque avec toutes les protections aux chocs et aux salissures. ■



Les coques de béton blanc jouent aussi le rôle de paroi coupe-feu.

© LAFARGE FRANCE

7 000 m² DE FAÇADES ET TOITURES PLANTÉES

Les 7 000 m² de toitures et façades végétalisées du centre commercial Beaugrenelle à Paris constituent probablement la plus vaste surface de toit planté dans la capitale. Les terrasses de trois bâtiments ont été recouvertes de 40 cm de terre dans laquelle pousse la végétation. Un système récupère les eaux de pluie pour l'arrosage.

Des ruches doivent y être installées. Cet aménagement témoigne de la politique en faveur de la biodiversité de Gecina, société d'investissement immobilier, qui s'est entourée de spécialistes comme Gondwana et Raphia. L'introduction de végétation contribue à mieux intégrer les bâtiments sur dalle datant des années 1970 dans leur

environnement, les bords de Seine. Dix tours les accompagnent. Le centre commercial fait l'objet d'une rénovation de 450 millions d'euros pour le rendre plus attractif. Sa nouvelle configuration dont la conception a été confiée à l'agence d'architecture Valode & Pistre, ouvre cet automne. Elle vise les certifications environnementales HQE et Breeam (Royaume-Uni).

L'ambiance intérieure est tempérée grâce aux façades habillées d'une double peau en verre recouverte d'une résille triangulaire métallique évoquant la Tour Eiffel.

Chaque bâtiment se développe autour d'une cour centrale recouverte d'une verrière.

Les trois pôles déploient 45 000 m² reliés par des passerelles. L'un est dédié à la mode, à la maison, à la culture et aux loisirs ; le deuxième, à la restauration avec quelques vues sur la Seine et aux loisirs ; le troisième, aux commerces de proximité, réinstallés depuis 2008. ■



Le centre commercial Beaugrenelle (Paris) rouvre cet automne après 450 millions d'euros de travaux.

© GECINA

TOUR DE 200 m À LYON

La construction de la plus haute tour de Lyon démarre. En 2015, l'Incity devrait accueillir des bureaux sur plus de 44 000 m². La flèche métallique qui surplombe ses 40 niveaux culmine à 200 m. GFC Construction, mandataire du groupement, et Bouygues Bâtiment Île-de-France la construisent pour un montant de 124 millions d'euros. Le maître d'ouvrage, Sogelym Dixence, a confié la conception à Valode & Pistre et AIA architectes.

Le nouvel édifice vise le label Bâtiment basse consommation et les certifications environnementales HQE (française) et Breeam (britannique) au niveau excellent. Il est habillé d'une façade double peau composée d'un double vitrage intérieur et d'un simple vitrage extérieur limitant les besoins en chauffage et en climatisation, et fournissant quantité d'éclairage naturel.

Il est bâti sur l'emplacement de l'ancienne tour UAP déconstruite par Bouygues Construction.



La tour Incity sera terminée en 2015.

© VALODE & PISTRE ET AIA ARCHITECTES



Membre du Réseau Congés Intempéries BTP

CAISSE NATIONALE DES ENTREPRENEURS DE TRAVAUX PUBLICS

Au service de la Profession des Travaux Publics

Nos missions :

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

La CNETP regroupe **7 200 entreprises** de Travaux Publics et assure le calcul et le versement de prestations dues à plus de **265 000 salariés**.

Nos coordonnées :

- **Par courrier :**
31 rue le Peletier - 75453 PARIS CEDEX 09
- **Par Internet :** www.cnetp.fr
- **Par fax :** 01.70.38.08.00
- **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



SCHÉMAS DIRECTEURS D'ÉCLAIRAGE ROUTIER

L'ouvrage sur les schémas directeurs d'éclairage d'un réseau routier paraît en deux versions : la première, coordonnée par Cyril Chan, destinée aux gestionnaires du réseau national non concédé et qui vient de sortir ; la seconde : un guide à paraître à l'attention de ceux des autres réseaux routiers.

La direction des infrastructures de transports du ministère de l'Écologie a jugé nécessaire d'établir un document prenant en compte les évolutions en matière de sécurité, d'équipements de la route et de véhicules, et de réglementation. Par exemple, la norme EN 13201 sur l'éclairage public fournit une classification des voies avec les

performances visuelles à atteindre. Par ailleurs, les économies d'énergie et la protection de l'environnement (nuisance nocturne) influent aussi sur les choix de matériel et sur la gestion des points lumineux.

Collection Références n°131,
www.certu.fr ■



AMÉNAGER LA VILLE SANS OUBLIER LES PIÉTONS

Après les pistes et stationnements cyclables, voici comment aménager l'espace urbain pour les piétons. Rien ne sert d'encourager la marche si elle relève du parcours du combattant ou s'avère franchement désagréable.

L'ouvrage *Vers une marche plaisir* du Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les

constructions publics (Certu), invite à porter un autre regard sur la ville à travers des exemples à l'étranger. La démarche passe par les questions « *Est-ce une ville hospitalière pour la marche ? Comment offrir de meilleures conditions pour qu'elle le devienne ?* » Le livre, coordonné par Sonia Lavadihno (École polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse) et Yves Winkin

(École normale supérieure lettres et sciences humaines, Lyon), se veut une boîte à outils dans laquelle puiser les dispositifs, parfois simples ou inattendus, qui donneront envie d'aller à pied et apaiseront la cohabitation entre usagers de l'espace public.

Collection Dossiers n°248,
www.certu.fr ■



AGENDA

ÉVÉNEMENTS

• 1^{er} AU 3 JUILLET

**L'humanité du jardin :
de l'enclos au territoire,
Rencontres André Le Nôtre**

Lieu : Versailles

www.rencontres-andre-lenotre.fr

• 2 AU 5 SEPTEMBRE

**18^e congrès international
de mécanique des sols
et de géotechnique**

Lieu : Paris

www.cfms-sols.org

• 24 AU 26 SEPTEMBRE

**Préventica, santé et sécurité
au travail**

Lieu : Lyon

www.preventica.com

• 24 AU 27 SEPTEMBRE

**Ponts et structures
de grande portée**

Lieu : Kolkata (Inde)

www.iabse.org

• 30 SEPTEMBRE AU 2 OCTOBRE

**Bétons fibrés à ultra hautes
performances**

Lieu : Marseille

www.afgc.asso.fr

• 7 AU 9 OCTOBRE

**Hydro (colloque et salon
sur l'énergie hydraulique)**

Lieu : Innsbruck (Autriche)

www.hydropower-dams.com

• 8 ET 9 OCTOBRE

**Les ouvrages d'art au service
de la mobilité durable**

Lieu : Toulouse

www.afgc.asso.fr

• 4 AU 8 NOVEMBRE

Interclima et Elec

Lieu : Paris Nord Villepinte

www.interclimaelec.com

FORMATIONS

• 1^{er} ET 2 JUILLET

**Énergies renouvelables dans
le bâtiment : technologies,
applications, coûts**

Lieu : Toulouse

www.formations.lemoniteur.fr

• 10 SEPTEMBRE

**Financement de projets
énergies renouvelables**

Lieu : Paris

www.metrol.fr

• 24 AU 27 SEPTEMBRE

**Méthodologie de montage
de parcs éoliens en France
et analyse globale de projets**

Lieu : Bonneval (Eure-et-Loir)

www.metrol.fr

• 15 AU 17 OCTOBRE

**Démantèlement
des installations nucléaires**

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

• 22 ET 23 OCTOBRE

**Fondations et travaux spéciaux :
technologies**

Lieu : Paris

<http://formation-continue.enpc.fr>

• 28 OCTOBRE

**Prestations de services sites
et sols pollués**

Lieu : Paris

www.lne.fr

NOMINATIONS

AGENCE EUROPÉENNE
DE SÉCURITÉ AÉRIENNE :

Le conseil d'administration a élu Patrick Ky, directeur exécutif, pour remplacer Patrick Goudou en septembre.

BOUYGUES CONSTRUCTION :

Philippe Fabié a été nommé directeur général délégué aux activités de Bouygues Bâtiment Île-de-France.

CERTU :

Christian Curé est le nouveau directeur du Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques.

DÉBAT PUBLIC :

Christian Leyrit préside la Commission nationale du débat public chargée des débats des grands projets d'infrastructures.

GRDF :

Sandra Lagumina est la nouvelle directrice générale de Gaz Réseau Distribution France.

LYON TURIN
FERROVIAIRE :

Hubert du Mesnil remplace Patrice Raulin à la présidence de la société LTF, maître d'ouvrage études et travaux de reconnaissance de la section frontalière de la liaison Lyon-Turin.

MARITIME :

Arnaud Leroy, député, est chargé d'une mission de réflexion sur la compétitivité des transports et services maritimes français auprès du ministre des Transports.

MONUMENTS
HISTORIQUES :

Didier Durand a été élu président du Groupement français des entreprises de restauration de monuments historiques. Il succède à Jaques Wermuth.

SCOP :

Jacques Petey a été réélu à la tête de la Fédération des scops du BTP.

SNCF :

Guillaume Pépy a été reconduit à la présidence pour cinq ans.

SOCOTEC :

La nouvelle activité infrastructure du groupe est présidée par Yves Bozzi.

STRATÉGIE
ET PROSPECTIVE :

Jean Pisani-Ferry prend la tête du Commissariat général à la stratégie et à la prospective, organisme qui remplace le Centre d'analyse stratégique.

TRANSPORTS :

Raphaël Chambon devient directeur adjoint du cabinet du ministre délégué aux Transports, à la Mer et à la Pêche, suite au départ de François Poupard à la régie municipale de l'eau de Paris.

VOIES NAVIGABLES
DE FRANCE :

Alain Monteil remplace Jean-Baptiste Maillard à la direction territoriale Bassin de la Seine.

L'EXPERTISE PAR VOCATION

DE LA MÊME MANIÈRE QUE L'ON DEVIENT MUSICIEN PAR AMOUR DE LA MUSIQUE OU MÉDECIN PAR VOCATION, IL EST POSSIBLE DE DEVENIR EXPERT EN GÉOTECHNIQUE PAR PASSION. TEL EST LE CAS DE PHILIPPE GUILLERMAIN, L'UN DES RARES EN FRANCE, DANS LE DOMAINE DE LA CONSTRUCTION, À DISPOSER DE LA DOUBLE CASQUETTE D'EXPERT AUPRÈS DES COMPAGNIES D'ASSURANCE ET EXPERT JUDICIAIRE AUPRÈS DES COURS D'APPEL. **ENTRETIEN AVEC PHILIPPE GUILLERMAIN, EXPERT D'ASSURANCE ET EXPERT JUDICIAIRE.** PROPOS RECUEILLIS PAR MARC MONTAGNON



© MARC MONTAGNON

1

CETTE DOUBLE CASQUETTE D'EXPERT AUPRÈS DES COMPAGNIES D'ASSURANCE ET EXPERT JUDICIAIRE AUPRÈS DES COURS D'APPEL, IL L'ASSUME COMPLÈTEMENT APRÈS PLUS DE 30 ANS DE CARRIÈRE, PASSÉS SOUS LE SIGNE DE LA COMPÉTENCE ET DE L'INTÉGRITÉ, CE QUI LUI VAUT D'ÊTRE CONSIDÉRÉ DANS LE MONDE DE L'EXPERTISE COMME L'UN DES GRANDS SPÉCIALISTES TANT EN STRUCTURE QU'EN MÉCANIQUE DES SOLS. UN MÉTIER QU'IL MAÎTRISE PARFAITEMENT ET DONT IL MET EN ÉVIDENCE LES TENANTS ET ABOUTISSANTS AVEC TOUTE LA PASSION QUI L'ANIME DEPUIS SES DÉBUTS DANS L'EXPERTISE EN 1983.

En quoi consiste l'expertise dans le domaine de la construction ?

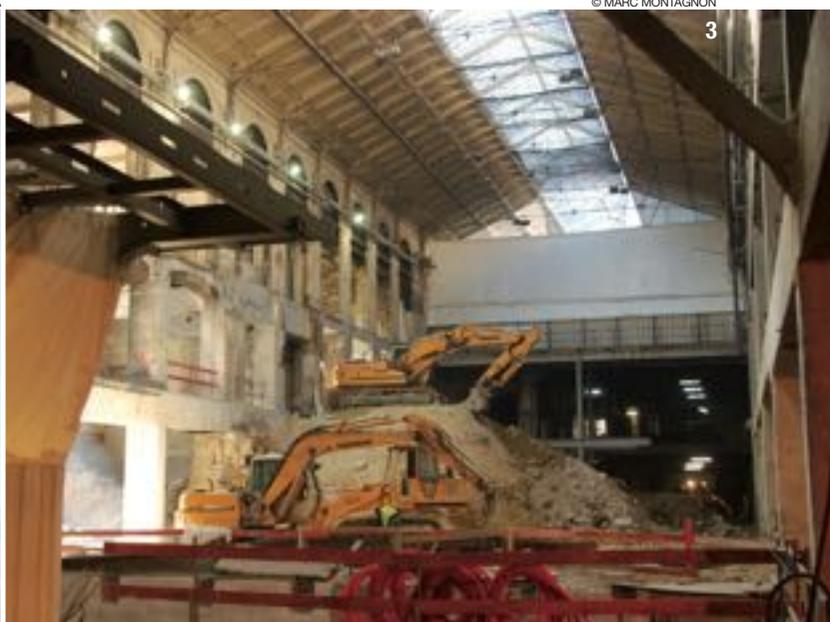
Le principe est simple : un client d'une compagnie d'assurance déclare un sinistre, soit dans un cadre amiable, soit dans un cadre judiciaire.

Dans le premier cas, on essaie d'en trouver les causes, les remèdes, d'en évaluer les coûts et de définir les partages de responsabilité. Dans le contexte d'une procédure judiciaire, cela revient à défendre



© EPADESA

2



© MARC MONTAGNON

3

les intérêts de l'assuré et, par voie de conséquence, de son assureur. Le métier d'expert présente donc ces deux facettes : lorsque le dossier est traité à l'amiable, il revêt un caractère complet tout autant techniquement que s'agissant des responsabilités ; lorsqu'il s'agit d'un contentieux, le métier consiste à défendre les intérêts de l'assuré et de son assureur, en recherchant notamment des solutions techniques pérennes au moindre coût. On peut avoir des désordres à l'ouvrage en cours de construction, ou après réception, mais également aux voisins en cours de construction, voire après réception.

Plusieurs cas de figure peuvent se présenter et relèvent de cadres juridiquement différents, ce qui fait d'ailleurs l'un des intérêts de ce métier, quel que soit le domaine dans lequel on intervient.

Que l'on soit expert judiciaire ou expert auprès d'une compagnie d'assurance, le métier est sensiblement le même puisqu'il concerne toujours des désordres qu'il faut analyser, dont il faut trouver les causes et les remèdes, chiffrer les conséquences matérielles et les préjudices immatériels et donner un avis technique sur les imputations des intervenants. Dans le premier cas, le rapport est établi à la demande de la justice, dans le second cas, à la demande de la compagnie d'assurance.

Le fait d'exercer comme vous cette double activité est-il fréquent ?

Je dirai simplement que les conclusions d'une expertise technique objective ne dépendent pas de la qualité du donneur d'ordre. Seule l'impartialité et la compétence de l'expert comptent.

PHILIPPE GUILLERMAIN

Philippe Guillermain a une double formation : une formation initiale d'ingénieur-structure, obtenue à l'ESTP (promotion B76) qu'il a complétée, après un cours passage en entreprise sur des chantiers de génie civil, par un DEA en mécanique des sols passé à l'Université de Paris 6 (Jussieu) en 1977, suivi d'un doctorat d'ingénieur, toujours à Paris 6, obtenu en 1979, dans le même domaine.

L'idée de faire de l'expertise remonte à son plus jeune âge. Son père était expert judiciaire et l'avait convaincu, alors qu'il était littéraire de formation et qu'il a conservé sa passion pour les livres et la lecture, de l'intérêt tout particulier de cette fonction.

Après cette formation universitaire de haut niveau, il intègre, entre 1979 et 1983, d'abord l'entreprise SGE pendant quelques années, puis le CEBTP au service « sols et fondations » au sein duquel il se forme notamment à la procédure des essais de laboratoire, avec l'objectif déjà affirmé de faire de l'expertise.

C'est ainsi que, dès 1983, il débute l'expertise pour les compagnies d'assurance en créant son propre cabinet, aidé par les précieux conseils de son père.

Il devient expert judiciaire près la cour d'appel de Paris en 1988, tout en conservant son métier d'expert pour les compagnies d'assurance, par affinité, mais aussi par la volonté de conserver la quinzaine de collaborateurs que comprend déjà son cabinet.

Fin 2012, afin de se recentrer sur son métier, Philippe Guillermain prend la décision de passer la main et de céder le Cabinet Guillermain, à un groupe d'investisseurs. Il poursuit depuis son activité comme expert indépendant avec les mêmes donneurs d'ordre.

1- Philippe Guillermain.

2- Les futures Tours Hermitage à La Défense.

3- Chantier de rénovation de la gare Saint-Lazare à Paris (Spie SCGPM).

4- Le nouveau stade du Havre (Vinci Construction).

5- Hôtel Melia à La Défense (Botte Fondations).

Pour vous, un expert en géotechnique, qu'est-ce ?

C'est quelqu'un qui a à la fois une solide base scientifique et un minimum d'expérience professionnelle. Un jeune ingénieur, après 5 à 7 ans d'expérience professionnelle, arrive à un niveau où il peut démarrer l'expertise professionnelle, avec des dossiers d'importance limitée.

Dans la masse des dossiers qu'un expert doit traiter, il y a une « granulométrie de dossier » très différente d'une affaire à une autre.

Il faut adapter le choix de l'expert, en fonction de sa formation et de son expérience au dossier qu'on lui confie.

Envoyer un expert surdiplômé sur des petits dossiers est sans intérêt tant pour lui que pour la profession, que ce soit un expert d'assurance ou un expert judiciaire, car cela peut conduire à un certain dégoût de cette tâche.

De la même manière, confier un dossier difficile à un expert peu expérimenté présente également un risque : devant la complexité de la tâche, il va faire appel à un « sapiteur », c'est-à-dire à un spécialiste dans un domaine particulier, en principe dans une autre spécialité que la sienne.

Et le fait de la part de certains experts, qu'ils soient d'ailleurs « amiable » ou « judiciaire » de recourir de façon presque systématique à des sapiteurs, risque d'aboutir souvent à une dérive : l'expert sous-traite, de fait, sa mission, ce qui n'est pas concevable. Ce genre de dérive est rencontré précisément lorsque l'on cale mal la pathologie à examiner avec la formation de l'expert, qu'il soit amiable ou judiciaire.

Mais il est vrai que la désignation d'un expert n'est pas une chose simple.

Comment un expert judiciaire est-il désigné ?

Les juges disposent, par cour d'appel, de listes d'experts référencés par spécialité qui leur permettent d'orienter leur choix. Cette liste n'est que consultative c'est-à-dire qu'un juge peut à tout moment, en son âme et conscience, désigner l'expert de son choix pris hors de la liste, s'il considère qu'il est « le spécialiste » dans son domaine. ▶

© MARC MONTAGNON



© MARC MONTAGNON



En effet, dans certaines spécialités très pointues, notamment en géotechnique, qui est pourtant une des constituantes importantes de la construction, il existe des domaines qui ne sont pas très bien représentés ni dans les listes d'experts judiciaires, ni dans celles des compagnies d'assurance.

Où se situent les problèmes que vous êtes amenés à traiter le plus fréquemment dans le secteur de la construction ?

Dans le métier du bâtiment, l'eau est l'ennemi majeur de la construction. Tous les problèmes liés à l'étanchéité au sens large génèrent beaucoup de sinistres. Ils peuvent concerner l'étanchéité des toitures, c'est-à-dire des structures, tout aussi bien que celle des ouvrages enterrés, généralement plus liés à la géotechnique.

Ils constituent une grande catégorie de sinistres qui sont souvent très coûteux.

Pour vous donner quelques chiffres : chez les assureurs en construction, 80 % des dossiers de sinistres génèrent 20 % des dépenses de réparation, les 20 % restant générant 80 % des sommes payées par les assurances. La géotechnique se situe dans les 20 % de ces dossiers coûteux, car si la géotechnique ne génère pas énormément de dossiers, elle fait partie des domaines qui concernent les sinistres les plus lourds.

Dans les sinistres liés à des problèmes géotechniques, en dehors de l'eau, quelles sont les causes les plus fréquentes de dégâts ?

Si l'eau est toujours un facteur moteur, les grands sinistres de géotech-

nique au sens large sont de natures diverses. En effet, la géotechnique n'est pas une science unique et comprend plusieurs branches : pour en citer quelques unes, vous avez la mécanique des sols, la géologie, l'hydrogéologie... qui constituent des domaines dans lesquels vous ne pouvez pas, sauf à manquer de modestie, vous prétendre spécialiste de chacun d'eux.

Par exemple, je suis spécialiste de mécanique des sols mais je ne me prétends pas géologue et encore moins hydrogéologue, bien que ces métiers, de toute évidence, soient complémentaires.

Pour quelle raison avez-vous opté pour la mécanique des sols ?

Ma formation initiale ayant été une formation « structures », il m'a paru intéressant de relier les problèmes de structure aux problèmes de sols.

Parce que, finalement, un tassement de fondations est le résultat d'une interaction entre le sol et la structure. Ces problèmes d'interaction m'ont tout de suite intéressé et, du fait de ma formation « structure », j'ai pu assez facilement passer de cette première formation à la seconde et d'en faire deux compétences complémentaires.

Nous sommes assez peu nombreux en France à pouvoir à la fois analyser le sol et analyser une structure, tout simplement parce qu'il est nécessaire de faire des études longues pour maîtriser les deux sujets.

Cela n'empêche pas les experts géologues de disposer d'un champ d'activité étendu. Lorsque vous constatez un glissement de terrain sur lequel n'est posée aucune structure et qu'il

est dû à des causes purement géologiques, dans ce cas précis, les géologues sont plus à même de traiter le sujet qu'un mécanicien des sols comme moi. Le géotechnicien au sens large que je suis peut d'ailleurs être amené à prendre un spécialiste hydrogéologue comme « sapiteur », pour une partie du sujet pour lequel je ne dispose pas de toutes les compétences techniques.

Vous intervenez donc aussi bien sur les problèmes de mécanique des sols que de superstructure ?

Absolument. Mon domaine d'intervention c'est essentiellement l'instabilité des constructions qui regroupe d'ailleurs différents types de sinistres : les tassements, les glissements de terrain, les effondrements - il y en a malheureusement quelques uns - ainsi que tous les problèmes d'arrivée d'eau dans les sous-sols...

Quand vous examinez une structure, les désordres qu'elle a subis ont presque toujours plusieurs causes.

Ce qui est important pour le donneur d'ordre, c'est de faire ressortir la cause prépondérante et, éventuellement,

une ou deux causes aggravantes. Une trop grande multiplicité des causes conduit souvent à des difficultés de traitement des dossiers.

6- Tranchée couverte Aurégia-Castelleretto à Monaco.

7- Torre Reforma à Mexico (Cimesa).

Quels sont les sinistres les plus marquants pour lesquels vous avez été consulté ?

J'ai eu l'opportunité de participer au traitement des deux plus gros sinistres depuis l'existence de la garantie décennale.

Le plus important jamais constaté en France est l'effondrement de l'aérogare 2E de l'aéroport Roissy - Charles de Gaulle. Cette immense coque s'est affaissée en quelques minutes et l'expertise a mis en évidence que l'effondrement était dû, non pas à un problème de sol, mais à des défauts de structure.

Ce sinistre a marqué la profession ainsi que le monde de l'assurance car il a impacté profondément les comptes des réassureurs, qui, dans le cas de sinistres d'une telle ampleur, sont les véritables payeurs. D'autant qu'il s'est doublé, outre le dossier lié à la garantie décennale, d'un dossier de responsabilité civile pure (préjudices d'exploitation).

Le deuxième sinistre d'envergure est celui de la ZAC Saint-André dans les quartiers Nord de Marseille, qui a démarré par un glissement de terrain affectant un collège et des maisons. Les désordres ont été tels qu'ils ont nécessité également la démolition (sans reconstruction) d'un complexe de cinémas ainsi que confortement d'une partie du centre commercial. Le sinistre s'est étendu à un parking « vérinable » pour lequel les tassements ont largement dépassé les prévisions. La cause du sinistre mise en évidence par les diverses expertises était l'effondrement de la structure du sol dès lors que l'eau circule à l'intérieur.

Ces deux très gros sinistres ont marqué la décennale. □

© SERVICE DES TRAVAUX PUBLICS DE MONACO



6

© CIMESA



7

Avez-vous prévu l'imprévu ?



Êtes-vous sûr d'être bien assuré pour toutes vos opérations
relevant ou non de l'assurance obligatoire ?

Êtes-vous réellement couvert de l'acquisition
du terrain jusqu'à 10 ans après réception ?

Des spécialistes de la construction
répondent-ils à vos besoins ?

SMABTP, partenaire privilégié des collectivités locales.



Retrouvez-nous sur
www.smabtp.fr



1

© PIEUX OUEST

PIEUX OUEST TOUS LES PIEUX, RIEN QUE LES PIEUX

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

PIEUX OUEST EST L'UNE DES CES PME RÉGIONALES INDÉPENDANTES ET FAMILIALES QUI A SU S'IMPOSER AU FIL DES ANNÉES, DEPUIS 1979, ET SURTOUT PERDURER FACE À LA CONCURRENCE DES MAJORS EN SE SPÉCIALISANT ET EN OPTIMISANT SON SAVOIR-FAIRE DANS L'UNE DES GRANDES SPÉCIALITÉS DES FONDATIONS SPÉCIALES : LES PIEUX. C'EST AINSI QUE, DU MICROPIEUX EN ACIER DE 150 À 200 MM DE DIAMÈTRE AU PIEU À LA TARIÈRE CREUSE DE 400 À 1 200 MM JUSQU'À 35 M DE PROFONDEUR, ELLE EST EN MESURE DE PROPOSER UNE RÉPONSE TOUJOURS ADAPTÉE AU PROBLÈME À RÉSOUDRE, DE LA MAISON INDIVIDUELLE OU DE LA CAGE D'ASCENSEUR AU BÂTIMENT INDUSTRIEL ET À LA LIGNE DE TRAMWAY.

Olivier Goudenège, directeur technique de Pieux Ouest, nous brosse le portrait de l'entreprise dans son actualité de 2013, avec la complicité de son père, Max Goudenège, le fondateur de Pieux Ouest, pour le chapitre historique, qui débute en 1979, voici près de 35 ans.

L'ESPRIT D'INDÉPENDANCE

En effet, c'est en janvier 1979 que Max Goudenège a créé Pieux Ouest à Tours, où l'entreprise est toujours établie dans de belles installations modernes et fonctionnelles, après avoir fait son premier chantier à titre personnel à Nogent-le-Rotrou en décembre 1978.

1- Chantier de 550 pieux de l'usine Safran d'Itteville dans l'Essonne avec deux foreuses de 450 ch.

À noter que la présidente-directrice générale était déjà, à l'époque, Françoise Goudenège, son épouse, est qu'elle est toujours aujourd'hui, plus active que jamais, à la tête de l'entreprise.

Max Goudenège, de son côté, a quitté les fondations spéciales pour occuper



2 © MARC MONTAGNON



3 © MARC MONTAGNON



4 © PIEUX OUEST

2- Olivier Goudenège, directeur technique de Pieux Ouest.

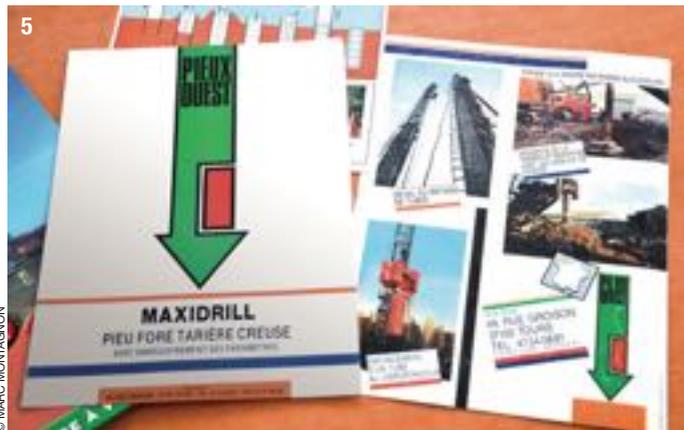
3- Max Goudenège, fondateur de l'entreprise en janvier 1979.

4- Françoise Goudenège, P-DG de Pieux Ouest.

5- La première plaquette publicitaire de l'entreprise.

6- Pôle de cancérologie de l'hôpital de Poitiers : 350 pieux de 400 à 800 mm jusqu'à 35 m de profondeur.

7- Un chantier à Ambès en 1989 avec, au premier plan, une pelle à câble NCK Rapier.



© MARC MONTAGNON

une retraite évidemment active dans l'immobilier d'entreprise.

Cet ingénieur ESTP 64 a d'ailleurs su transmettre à son fils la fibre d'entrepreneur puisqu'Olivier Goudenège est ingénieur ESTP, promotion 90.

Pour en revenir aux origines, au sortir de l'ESTP, Max Goudenège fait ses premières armes aux Ponts et Chaussées entre 1964 et 1966 et participe à l'élaboration et à la construction des premiers ouvrages d'art à voussoirs

préfabriqués, notamment ceux du pont de Courbevoie et de l'île de la Jatte à Neuilly-sur-Seine. Il suit ainsi la préfabrication des voussoirs à Choisy-le-Roi et leur mise en œuvre à l'aide des bigues à vapeur de grande capacité de l'entreprise Courbot.

Après son service militaire, il intègre début 67 l'entreprise Paumelle, une société familiale dans laquelle il reste jusqu'à la création de Pieux Ouest. Chez Paumelle, il intervient dans la

région parisienne, dans le Nord et en Haute-Normandie et participe à de très nombreux chantiers de pieux battus, technique la plus rapide et la plus économique à l'époque. Mais il contribue également à l'élaboration des premiers pieux à la tarière continue et réalise notamment des essais comparatifs avec la technique des pieux battus pour juger de la capacité des machines mises en œuvre à l'époque et des résultats obtenus.

Paumelle est ainsi la première entreprise à avoir mis en service en France une machine en tarière continue. Cela se passait en 1968.

« Bien que performantes, précise Max Goudenège, les seules machines que nous utilisions étaient équipées de tables de rotation de faible puissance et disposaient d'un couple limité. Elles permettaient malgré tout de réaliser 1 m à 1,50 m de profondeur de plus qu'avec la technique des pieux battus à refoulement ».

De plus, les premières machines sont mises en route avec une logistique et des équipes sensiblement allégées par rapport à celles exigées pour les pieux battus, d'où un prix de revient nettement inférieur pour un résultat technique tout aussi satisfaisant.

Paumelle lui confie alors, fin 1972, la direction de l'agence de Tours, qui gérait 15 départements.

Sous son impulsion, son activité progresse très rapidement à telle enseigne que Max Goudenège se retrouve quelques années plus tard à superviser une zone d'influence de 35 départements, répartis sur l'ensemble de la façade atlantique. Il demande alors, de manière à disposer d'une forme d'indépendance plus affirmée, d'être filialisé comme c'était déjà le cas des agences Paumelle de Lyon et de Marseille, ▷



© PIEUX OUEST



7



8



9



10



11

© PIEUX OUEST

© PIEUX OUEST

ce qui lui est refusé, Tours étant considérée comme trop proche de Paris : l'agence de Tours dépendait d'ailleurs du dépôt de Bobigny. Son désir d'indépendance prend le dessus et il se sépare de Paumelle fin 78 pour créer Pieux Ouest. 35 ans plus tard, l'entreprise a réalisé plus de 7 000 chantiers de pieux, au rythme moyen de 300 par an dans toute la France.

DEUX SPÉCIALITÉS DE BASE

En 2013, Pieux Ouest emploie 40 personnes et a réalisé en 2012 un chiffre d'affaires de 11,5 millions d'euros. Il faut noter que ce chiffre a progressé de façon ininterrompue de la création jusqu'en 2007, pour atteindre

16,7 millions d'euros puis descendre à 15,5 millions d'euros en 2008, du fait des circonstances économiques difficiles, qu'ont d'ailleurs rencontrées pendant cette période la plupart des entreprises de Travaux Publics.

Depuis 2009, il tourne autour de 11 à 12 millions d'euros ce qui correspond, selon Olivier Goudenège, à la juste taille de l'entreprise dans un marché qui demeure très concurrentiel.

L'activité de Pieux Ouest tourne autour de deux spécialités qui en constituent le cheval de bataille : les pieux à la tarière creuse et les micropieux.

Les uns et les autres représentent en permanence une douzaine de chantiers avec une répartition de 20% pour les micropieux et 80% pour les pieux à la tarière creuse.

Au total, Pieux Ouest réalise en moyenne 300 chantiers par an avec des variations en fonction du marché, dont la taille « standard » se situe autour de 40 à 50 pieux dans des diamètres de 400 à 700 mm et d'une durée de 10 à 15 jours.

Le choix de l'une ou de l'autre des techniques répond à plusieurs critères qui dépendent de la taille du chantier ou des conditions de son exécution : micropieux pour la construction de mai-

8- Chantier de fondations des poteaux porte-caténaires du tramway de Tours : 265 pieux en diamètre 600 et 800 mm.

9- Trois ateliers sont mobilisés pour un chantier de pieux à la tarière creuse sous hauteur limitée de bâtiment industriel au Havre en 1994.

10- Chantier de pieux forés tubés à Bordeaux en 1990.

11- Chantier de réfection des gradins du stade Robert Bobin à Bondoufle, dans l'Essonne, réalisé avec des foreuses compactes.

sons individuelles ou la restructuration même lourde de construction avec des conditions d'implantation très exigeuses, nécessitant de ce fait, des matériels de mise en œuvre compacts, montés en configuration « hauteur limitée », pieux à la tarière lorsque la nature du sous-sol l'exige et que l'implantation permet la mise en œuvre de foreuses de grand gabarit.

DES CHANTIERS QUELQUEFOIS INATTENDUS

Pieux Ouest exerce ces deux activités principalement dans la région parisienne au sens large, le Centre et l'Ouest, partiellement le Nord jusqu'à la Lorraine et, occasionnellement, au sud d'une ligne Bordeaux-Lyon avec des incursions ponctuelles pour répondre à la demande de clients fidèles.

« Par exemple, nous avons réalisé l'année dernière un chantier de plus de 100 pieux à Martignes pour suivre un client, indique Olivier Goudenège. En 2012, nous sommes intervenus sur le chantier de l'usine Safran d'Itteville dans l'Essonne pour un chantier de 550 pieux. Nous avons actuellement le chantier de l'hôtel Oceania, près de Roissy, de 450 pieux. Nous allons démarrer dans la zone industrielle du

LES COMPÉTENCES

- Tous types de pieux
- Pieux à la tarière creuse
- Pieux forés tubés
- Micro-pieux
- Renforcement de sol
- Inclusions rigides

Havre, pour une plateforme frigorifique de stockage de surgelés, un chantier de 500 pieux, après avoir réalisé les pieux de la première tranche voici déjà 8 ans ». Mais il arrive également à Pieux Ouest d'intervenir sur des chantiers de très petite dimension : par exemple, 4 micropieux pour les fondations d'un ascenseur ou 10 à 15 micropieux pour un pavillon.

En fait, Pieux Ouest est présent sur tous les marchés qui nécessitent la réalisation de pieux, notamment, sur le marché des maisons individuelles pour lesquels une équipe est affectée quasiment en permanence à la réalisation des fondations d'une quarantaine de construction par an, pratiquement une par semaine, un peu partout en France. Ses capacités d'adaptation et la diversité de son parc de matériel lui permettent de traiter des chantiers que l'on

peut considérer comme inattendus. C'est avant tout grâce à son bureau d'études et méthodes intégré qu'elle peut se placer sur certaines affaires où on ne l'attend pas forcément :

« Nous sommes intervenus dans les caves de Pommery, à Reims, avec des machines électriques, à 25 m de profondeur, poursuit-il.

Tout récemment, nous avons également mis en œuvre des machines électriques pour un chantier dans l'usine Nestlé de Boué, dans l'Aisne, où toute émission de CO₂ était bannie pour ne pas perturber la chaîne de production ».

« Lorsque le chantier l'exige, nous savons nous plier aux contraintes particulières d'exécution requises sur certains sites ».

Certaines interventions sont même sophistiquées : pour le pôle de cancérologie de l'hôpital de Poitiers, par

exemple, où Pieux Ouest a réalisé 350 pieux de 400 à 800 mm de diamètre jusqu'à 35 m de profondeur, pour lesquels chaque forage était précédé d'un sondage destructif.

Il arrive qu'elles se déroulent dans des conditions très contraignantes en raison de l'environnement. Sur le chantier du tramway de Tours, en 2011 et 2012, l'entreprise est intervenue pour l'ensemble des fondations des poteaux porte-caténaires, en pleine voirie, dans des zones très urbanisées et où les transferts de machines ne pouvaient être effectués que de nuit.

Sur le bâtiment de maintenance du même tramway, ce sont plus de 500 pieux qui ont également été réalisés par l'entreprise tourangelle.

« L'une des autres particularités du chantier du tramway, précise à ce sujet Olivier Goudenège, est qu'il s'étendait

sur une longueur de 10 km et a donc consisté de fait en une succession de 22 petits chantiers représentant un total de 265 pieux en diamètre 600 mm et 800 mm, en fonction des types de mâts. Ceci a nécessité pour chaque chantier le transfert des ateliers, avec des contraintes très importantes en ce qui concerne les nuisances apportées aux riverains et à l'environnement immédiat ».

« Certains pieux ont même été réalisés dans des conditions très difficiles en raison de la multitude des réseaux enterrés qui devaient être protégés avec le plus grand soin ».

Chantier atypique que celui du tramway, par voie de conséquence, nécessitant une logistique complexe et traité avec des matériels d'encombrement moyen, voire réduit, sous protection de sondages au droit de chaque pieu, ▷

12- Reprise des fondations d'une maison individuelle avec une foreuse à pupitre de commande indépendant.

13- En 2008, chantier de 1 000 pieux pour les fondations du magasin Ikea de Tours.

14- Foreuse « satellite » électrique développée par EMO au travail à 30 m de profondeur dans les caves de champagne de Pommery à Reims.

15- L'une des foreuses compactes Sedidril pour les chantiers de micropieux.



avec des mises en place des machines délicates tant en raison de la densité des constructions environnantes que de la présence des réseaux et des contraintes de circulation.

Autre chantier atypique : celui de la rénovation des gradins du stade Robert Bobin à Bondoufle, dans l'Essonne. L'entreprise y a mis en œuvre des foreuses très compactes qui étaient déplacées en permanence, parfois à l'aide d'une grue mobile, d'un rang de gradin à l'autre pour forer au total quelque 50 micropieux de diamètre 200 mm.

DES MACHINES ET DES HOMMES

Qu'il s'agisse de chantiers de micropieux de quelques unités ou de chantiers de plusieurs centaines de pieux, toutes les interventions sont assurées par ce qu'il est convenu d'appeler des « ateliers » c'est-à-dire des machines spécifiques avec leurs équipes dédiées en personnels compétents.

C'est ainsi que, pour les pieux, Pieux Ouest dispose de 12 ateliers à la tarière creuse, développés ou modifiés à partir de porteurs existants, et se répartissant en deux générations de foreuses : des foreuses de grande puissance de 450 ch et des foreuses conventionnelles de 200 ch qui ont évolué tout au long de l'existence de l'entreprise.

« Un atelier de tarière creuse, précise le directeur technique, c'est une pompe à béton, une machine de pieux et son équipement en vis ainsi que les hommes chargés de leur exploitation. Ce type de machine doit tourner en permanence. Elle doit être accompagnée de toute la logistique en hommes et en outillage assurant son bon fonctionnement ».

Pour les micropieux, l'entreprise utilise différents types de porteurs. Les premiers, les plus récents, au nombre de 6, sont des foreuses Soilmec de 8 tonnes et des Commacchio MC400, les seconds sont des machines de beaucoup plus petit gabarit, des foreuses Seditrill et Apageo de 2,5 tonnes, avec différentes configurations de hauteur, largeur, longueur et puissance.

Par ailleurs, Pieux Ouest a développé dans l'atelier de sa filiale EMO des machines électriques ainsi que des « satellites » c'est-à-dire des têtes de forage déportées que l'on vient ancrer dans le sol, commandées par un pupitre indépendant, avec une source d'énergie hydraulique également indépendante, d'origine soit thermique, soit électrique. Ces satellites constituent des machines d'une très grande mobilité

LES MOYENS

- 12 ateliers de tarière creuse**
- 8 ateliers de micro-pieux**
- 2 foreuses rotatives**
- 2 semi-remorques porte-engins**
- 2 000 m² d'atelier**
- 2 hectares de stockage de matériel**



16



17



18

© MARC MONTIGNON

qu'il est très aisé de déplacer à la main dans les sous-sols ou dans les sites très exigus.

UN MAÎTRE-MOT : FIABILITÉ

« Toutes les machines spéciales, précise Olivier Goudenège, ont été développées par EMO autour d'un maître-mot, valable aussi bien pour les machines standard que pour les foreuses spéciales : la fiabilité. »

« Cette dernière est assurée par deux mécaniciens opérant à partir de deux fourgons-ateliers qui se déplacent d'un chantier à un autre dans toute la France : l'année dernière, ils ont ainsi réalisé près d'une centaine d'interventions aussi bien d'entretien que de dépannage ».

Lorsque la panne est légère, la réparation est réalisée sur chantier. Lorsqu'elle nécessite une intervention plus lourde, la machine est rapatriée à Tours et échangée. Ceci explique les raisons pour lesquelles dix personnes sont affectées en permanence à l'atelier de Tours, ce qui est beaucoup pour une petite entreprise. Ces mécaniciens ne sont pas intégrés à l'effectif de Pieux Ouest mais dépendent d'une entité « matériel » chargée de l'entretien et du développement des machines - EMO - dont le client exclusif est Pieux Ouest. Par ailleurs, pour disposer de foreuses encore mieux adaptées aux exigences nouvelles ou spécifiques des chantiers, Pieux Ouest est en train de développer avec EMO une troisième génération de machines utilisant une nouvelle

16- Le siège social, les bureaux et l'atelier de Pieux Ouest et EMO à Tours.

17- L'atelier de 2 000 m² de Pieux Ouest et EMO dans lequel sont développées les nouvelles foreuses ou les machines spéciales.

18- Stockage des vis pour les ateliers de pieux à la tarière creuse.

à la chaîne cinématique des porteurs et des foreuses ». Le développement de cette nouvelle génération est déjà avancé puisque le choix du moteur Diesel a été fait et que le prototype du porteur est actuellement en cours de fabrication dans l'atelier de EMO. Lorsque Max Goudenège a fondé Pieux Ouest en 1979 en concentrant sur la spécialité qu'il connaissait le mieux - les pieux - il s'était donné pour objectif de devenir un vrai professionnel dans cette spécialité, plus difficile qu'on ne pourrait le soupçonner vu de l'extérieur, car soumise aux aléas du sous-sol. 35 ans plus tard, la ligne directrice est maintenue avec succès en dépit des concentrations d'entreprises et d'une concurrence très vive.

Max Goudenège était également animé par une volonté affirmée d'indépendance. Pieux Ouest, PME familiale discrète de Touraine, poursuit son chemin, en toute indépendance et sans tapage, mais en sachant répondre présent sur les chantiers qui lui sont confiés. □

motorisation ainsi que des composants hydrauliques et mécaniques de conception récente.

VERS LA TROISIÈME GÉNÉRATION... DE FOREUSES

« Nos développement actuels, poursuit à ce sujet Olivier Goudenège, visent à réduire la consommation et à améliorer l'insonorisation des machines, dans un souci de meilleure intégration aux exigences en matière de respect de l'environnement ».

« Au stade actuel du projet, la réduction de consommation serait de 47 l/h à 23 l/h tout en disposant d'une puissance moins importante - 330 ch contre 550 ch précédemment - mais largement suffisante et mieux adaptée

3 CHIFFRES-CLÉS

300 chantiers par an dans toute la France

Plus de 7 000 chantiers à ce jour

35 ans d'existence en 2014



Comité Français
de Mécanique des Sols
et de Géotechnique



Société Internationale
de Mécanique des Sols
et de Géotechnique



Paris, France

18^{ÈME} CONGRÈS INTERNATIONAL DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE

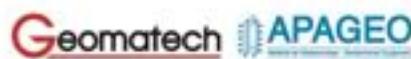
→ www.paris2013-icsmge.org

DÉFIS ET INNOVATIONS EN GÉOTECHNIQUE



2-6 septembre 2013

Partenaires :



Secrétariat d'organisation :



ORGANISATEUR PROFESSIONNEL DE CONGRÈS
36, rue Anatole France - 92084 Levallois-Perret Cedex - France
www.lepublicsysteme-pco.com - Fax : +33(0)1 70 84 68 61

1- Ateliers
Bottom feed.

1- Bottom
feed plant.

© CÉDRIC HELSLY POUR
SOLETANCHE BACHY



TRAITEMENT ANTILIQÉFACTION SOUS TROIS RÉSERVOIRS GNL À DUNKERQUE

AUTEURS : MARIE LEBRETON, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY PIEUX - BRUNO SIMON, DIRECTEUR SCIENTIFIQUE, TERRASOL - DOMINIQUE MICHEL, DIRECTEUR PÔLE FONDATIONS, SERVICE INGÉNIERIE, BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

LE PROJET CONSISTE EN LA RÉALISATION DE TROIS RÉSERVOIRS DE STOCKAGE DE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ (GNL) SUR LE SITE DU TERMINAL MÉTHANIER DE DUNKERQUE, UNE AMÉLIORATION DES SOLS SOUS RÉSERVOIRS A ÉTÉ RÉALISÉE POUR LE TRAITEMENT ANTI LIQÉFACTION DES HORIZONS DE SABLES SILTEUX LÂCHES ET POUR L'HOMOGENÉISATION DES REMBLAIS HYDRAULIQUES, LA TECHNIQUE UTILISÉE EST CELLE DU VIBROCOMPACTAGE AVEC APPORT DE BALLAST.

LE PROJET-INTERVENANTS

La filiale d'EDF, Dunkerque LNG, a confié au consortium ENTREPOSE Projets et BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS la réalisation des réservoirs de stockage de Gaz Naturel Liquéfié (GNL) sur le site du terminal méthanier de Dunkerque ; le marché comprend l'ingénierie, le procurement, la construction et les essais pour la mise en service de 3 réservoirs de stockage de GNL d'une capacité nette de 190 000 m³ chacun.

Chaque réservoir a une dimension de 92 m de diamètre par 50 m de haut soit l'équivalent en volume de 70 piscines olympiques.

BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS est en charge du génie civil des réservoirs et ENTREPOSE Projets de la partie mécanique et des systèmes ; ces réservoirs de type « intégrité totale » sont composés de 2 cuves l'une à l'intérieur de l'autre ; la plus grande est en béton et protège des agressions extérieures ; la plus petite est en acier spécial (9 % de nickel) et contient le GNL à -163°C ; cette température est maintenue grâce à une isolation entre les 2 cuves.

Terrasol a assuré la maîtrise d'œuvre géotechnique de la phase de conception jusqu'à la validation des travaux d'amélioration de sol en phase exécution.

Soletanche Bachy Pieux a réalisé les travaux d'amélioration de sols sous réservoirs.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE-GÉOTECHNIQUE

Le contexte géologique-géotechnique général au droit du site du projet peut être décrit par la stratigraphie suivante :
→ Les remblais hydrauliques en surface, mis en œuvre lors des travaux d'extension du port de Dunkerque depuis 1964 ; la zone dit de « Cilpon » où sont implantés les réservoirs a été achevée en 1983 ; ces remblais hydrauliques ont une épaisseur comprise entre 6 et 15 m.

→ Les remblais hydrauliques ont été mis en œuvre au dessus des Sables Flandriens formant le fond marin ; il s'agit de dépôts quaternaires marins ou lagunaires, constitués d'une alternance de sables fins et de fines inclusions argileuses ; leur puissance est de 15 à 20 m.

→ Les Sables Flandriens recouvrent l'Argile de Flandres d'âge Yprésien, formation repère à l'échelle régionale ; il s'agit d'une argile très homogène, consistante, surconsolidée, très plastique et très peu perméable ; sa puissance est réputée être de l'ordre de 100 m ; son toit est situé environ 30 m sous la surface.

LES CONDITIONS DE SITE - RISQUES IDENTIFIÉS

La stratigraphie est marquée par la forte puissance de l'Argile de Flandres susceptible d'engendrer des tassements différés importants, pouvant

affecter le comportement des ouvrages. Les analyses géotechniques préalables ont également mis en évidence un risque de tassement sous les réservoirs consécutif à la liquéfaction de niveaux localisés à la base des remblais hydrauliques et dans une couche lâche au sein des Sables Flandriens. L'hétérogénéité reconnue des remblais hydrauliques entraînait également un risque pour les tassements des ouvrages.

Enfin, lors de la construction du port de Dunkerque dans les années 70, aucune opération de dépollution pyrotechnique n'a été menée préalablement au remblaiement des plateformes ; des engins explosifs étaient susceptibles d'être présents dans les premiers mètres par rapport au terrain naturel et également dans le remblai constitué.

Les paragraphes suivants présentent les analyses et solutions retenues pour pallier les différents risques identifiés.

SYNTHÈSE GÉOTECHNIQUE – CAMPAGNE COMPLÉMENTAIRE

Au stade de l'offre, l'analyse géotechnique s'est appuyée sur les pénétromètres statiques disponibles principalement à proximité du réservoir sud. Ces éléments ont permis d'identifier et caractériser les différentes couches en référence à la classification de Robertson (basée sur la résistance de pointe normalisée $Q = (q_c - \sigma_{v0}) / \sigma'_{v0}$ et le coefficient de frottement $F = f_s / (q_c - \sigma_{v0})$) et aux relations de Jamiolkowski ou Baldi

permettant d'évaluer la densité relative des niveaux sableux. Ces interprétations s'accordaient aux données d'identification également disponibles (granulométrie, teneur en eau).

Les reconnaissances illustrées au travers des figures 2 et 3 ont mis logiquement en lumière l'épaississement des remblais hydrauliques en direction du nord, en parallèle à l'approfondissement des différents horizons identifiés au sein des Sables Flandriens. Une couche peu épaisse et de faibles caractéristiques à la base des remblais sous les réservoirs nord et central est apparue marquer la trace de l'ancien rivage.

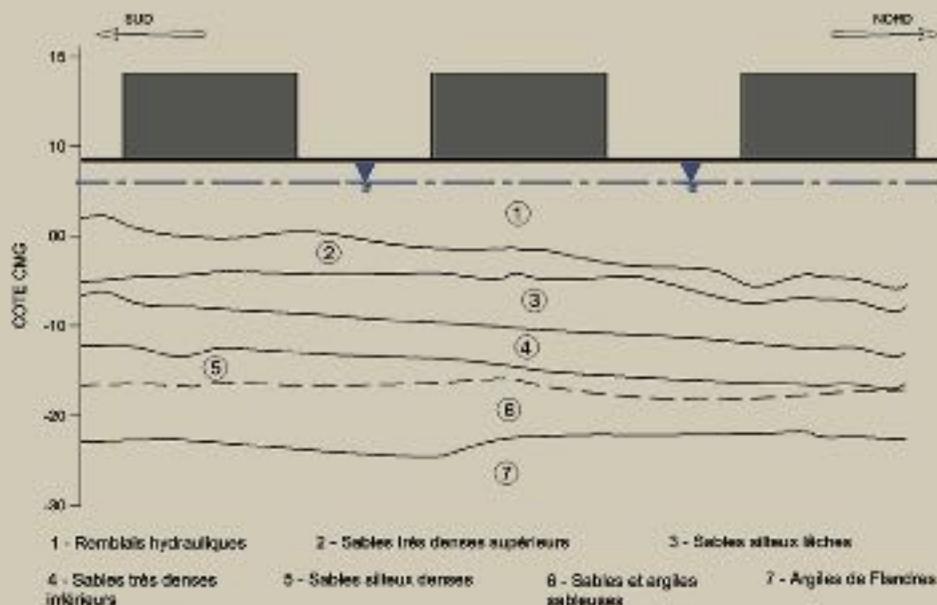
Les Sables Flandriens sont apparus dans un état de compacité élevée (densité relative 70 % à 90 %) hormis un horizon intermédiaire plus silteux, atteint vers 15 m de profondeur avec une épaisseur totale d'environ 5 m, dont la compacité était faible à moyenne (DR 40 à 60 %) et dont la teneur en fines pouvait dépasser 20 %.

Le programme de reconnaissance complémentaire proposé lors de la remise de l'offre comprenait pour chaque réservoir :

→ 1 sondage carotté de 50 m de longueur dans l'axe du réservoir, avec diagraphie Gamma-Ray et prélèvement d'échantillons intacts ;

→ 12 sondages au pénétromètre statique avec pointe piézocône (CPTU) de 35 mètres de longueur avec essais de dissipation ;

PROFIL GÉOTECHNIQUE SCHÉMATIQUE NORD-SUD sous les trois réservoirs



2

© TERRASOL

2- Profil géotechnique schématique nord-sud sous les trois réservoirs.

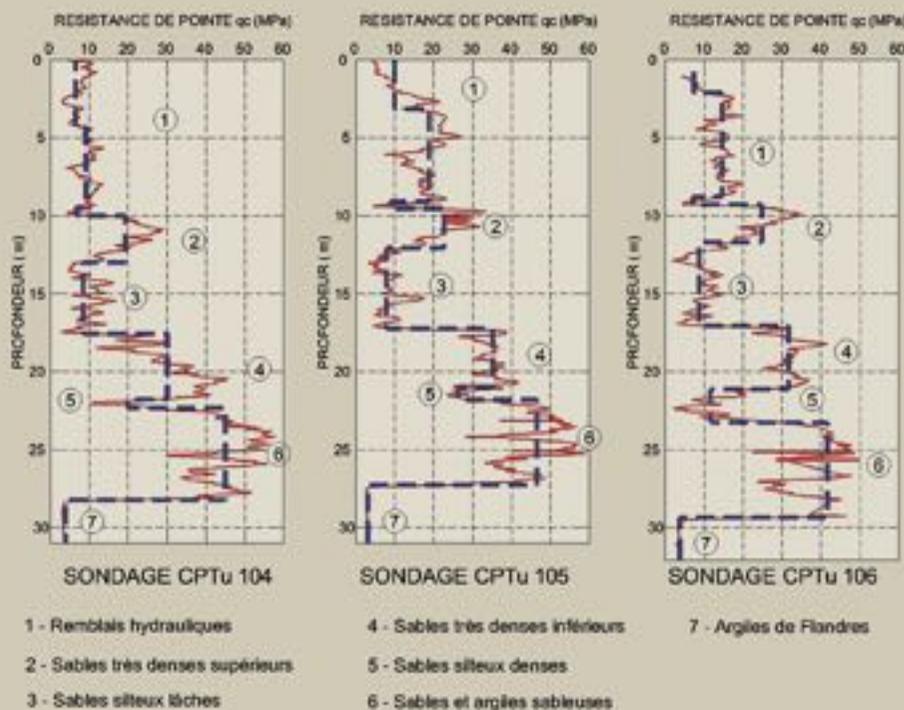
3- Exemples de courbes pénétrométriques illustrant la stratigraphie reconnue sous le réservoir Nord.

2- Schematic North-South geotechnical profile under the three tanks.

3- Examples of penetrometer curves illustrating the recognised stratigraphy under the North tank.

EXEMPLES DE COURBES PÉNÉTRIMÉTRIQUES

illustrant la stratigraphie reconnue sous le réservoir Nord



3

© TERRASOL

voile extérieur et un point placé à 15 m de distance.

La caractérisation de l'Argile de Flandres, formation repère à l'échelle régionale, revêtait une grande importance pour la vérification des tassements attendus sous les réservoirs.

Les valeurs des paramètres nécessaires à cette analyse ont été déterminées, dès le stade de l'offre, par deux approches parallèles et distinctes : calage à partir des résultats des reconnaissances spécifiques au projet (principalement essais triaxiaux avec « bender element », essais de colonne résonante et essais cross-hole) et calage à partir des tassements de la centrale de Gravelines, en vis-à-vis du projet de terminal méthanier sur la rive opposée du bassin de l'Avant-port Ouest, dont les chroniques sur une période d'environ 30 ans étaient mises à disposition des candidats.

Ces deux approches ont conduit à des distributions comparables de module avec la profondeur, ce qui a conforté le modèle de calcul des tassements des réservoirs mis en œuvre par la suite.

Au stade de l'offre, un modèle de calcul aux éléments finis a été élaboré pour le réservoir Nord, dont les conditions sont les plus défavorables. Le modèle a ensuite été actualisé durant les études d'exécution pour intégrer les nouvelles reconnaissances puis appliqué au cas du réservoir sud.

→ 1 sondage carotté de 35 mètres de longueur réalisé au droit d'un des CPTU.

Enfin il était prévu de réaliser au centre du réservoir central, un dispositif pour essai cross-hole destiné à la mesure des vitesses de cisaillement V_s jusqu'à 100 m de profondeur.

Ces travaux réalisés par FUGRO en 2010/2011 ont été précédés d'une phase de sécurisation pyrotechnique préliminaire basée à la fois sur des investigations gradiométriques en surface ainsi que sur des sondages pénétrométriques avec pointe magnétocône (CPTm) descendus à 15 m de profon-

deur et exécutés à l'aplomb de chaque point de sondage de reconnaissance.

ÉTUDE DES TASSEMENTS

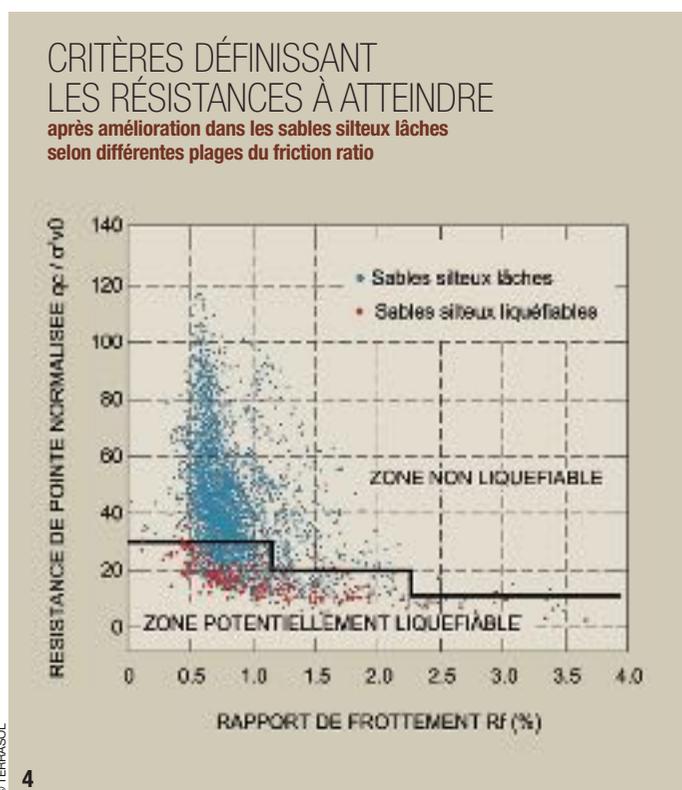
Les critères de tassement à respecter concernaient le tassement différentiel : 1/500 entre le centre et le bord du réservoir et moins de 9 cm entre le

4- Critères définissant les résistances à atteindre après amélioration dans les sables silteux lâches selon différentes plages du friction ratio.

5- Trois ateliers de vibrocompaction avec apport de ballast sur la surface d'un réservoir.

4- Criteria defining strength values to be achieved after soil improvement in the loose silty sands according to various friction ratio ranges.

5- Three vibratory compaction plants with the addition of ballast on the surface of a tank.



Le modèle axisymétrique, réalisé avec le logiciel Plaxis 2D, est étendu jusqu'à la base de l'Argile des Flandres. Le phasage reproduit la construction du réservoir, y compris l'opération de clavage différé entre les zones centrale et périphérique du radier, la phase d'hydrotest puis l'exploitation pendant 50 ans. Les lois de comportement adoptées sont aptes à décrire le phénomène d'écroutissement des

couches sableuses, les déformations à volume constant de la couche d'Argile de Flandres durant la construction et l'hydrotest puis le phénomène de consolidation différée. Des éléments plaque modélisent le radier d'épaisseur variable ainsi que la jupe périphérique. Tous les calculs ont été conduits sans prendre en compte l'amélioration du sol. L'édification du réservoir Nord entraîne un tassement de 5 cm au centre et

11 cm au bord. Les tassements complémentaires subis à la fin de la phase hydrotest sont de 27 cm au centre et 16 cm au bord. Des valeurs comparables sont obtenues en simulant un remplissage complet du réservoir après 50 ans de service. Le tassement différentiel cumulé bord/centre n'excède pas 6 cm. Le rebond entre les conditions de remplissage maximal et minimal du réservoir demeure compris

entre 11 et 13 cm au centre du réservoir. Un écart de 2 cm est observé entre les réservoirs Nord et Sud.

Le modèle a également permis de démontrer que l'interaction entre deux réservoirs voisins demeurait faible et n'excédait pas 2% de l'amplitude totale des tassements attendus.

ANALYSE DU RISQUE DE LIQUÉFACTION ET COMPORTEMENT SOUS SÉISME

Le risque de liquéfaction a été évalué en exploitant les essais de pénétromètre statique selon la méthode décrite par les recommandations NCEER publiées en 2001 ; cette méthode permet de prendre en compte l'influence bénéfique de la teneur en fines.

Le niveau de sécurité visé est celui prescrit par l'Eurocode 8 soit un coefficient minimal 1,25 entre la résistance au cisaillement cyclique CRR et le cisaillement cyclique normalisé CSR. L'analyse a permis d'identifier 3 ensembles de niveaux liquéfiables sous le séisme SSE (Safe Shutdown Earthquake) : passages lâches rencontrés dans les remblais hydrauliques, zones peu compactes marquant la transition remblais hydrauliques-terrains en place, passages lâches dans l'horizon peu compact des Sables Flandriens. En croisant l'analyse basée sur les pénétromètres avec les essais d'identification, il apparaît que les niveaux liquéfiables sont caractérisés par un passant à 50% voisin de 0,2 mm, un passant à 10% inférieur à 0,1 mm et un coefficient d'uniformité compris entre 2 et 4 ; ▷



En complément, les impédances dynamiques modélisant le contact radier/sol ont été évaluées par Géodynamique et Structures pour servir de paramètres d'entrée aux calculs structurels des réservoirs sous sollicitations dynamiques menés par le Bureau d'Études de BOUYGUES TP et la capacité portante des réservoirs sous séisme a été vérifiée selon les principes de l'Eurocode 8. C'est dans ce cadre, dans un climat d'échanges constructifs avec Dunkerque LNG et son Assistance à la Maîtrise d'Ouvrage COFIVA, qu'a été réalisé le dimensionnement de l'amélioration de sol.

DIMENSIONNEMENT DE L'AMÉLIORATION DE SOL – OBJECTIFS

Les tassements calculés demeurant limités (de l'ordre de 30 cm, dont la moitié environ dans les niveaux sableux et moins de 2 cm dans la couche de sables lâches, géotechniquement la plus défavorable), et acceptables pour l'ouvrage ; le traitement de sol n'a pas été motivé par la problématique « tassement d'ensemble ».

Il était par contre indispensable d'assurer une homogénéité d'assise aux ouvrages, compte tenu de l'identification de certaines poches de « faiblesses localisées » dans les remblais hydrauliques. L'amélioration devait garantir une certaine homogénéisation au sein de ces dépôts, pouvant s'exprimer par l'objectif d'une valeur minimale de densité relative dans la couche.

L'objectif principal de l'amélioration demeurait de maîtriser les tassements consécutifs au développement du phénomène de liquéfaction dans les niveaux sensibles. Il a en effet été montré que ceux-ci pouvaient atteindre presque la moitié des tassements d'ensemble attendus avec de grandes disparités transversales. En l'absence de traitement contre le risque de liquéfaction, les tassements différentiels auraient pu dépasser le critère de 1/500.

Les principes de l'amélioration recherchée dans chacune des couches à traiter résultent des objectifs précédents :
 → Remblais hydrauliques : atteindre le coefficient de sécurité requis vis-à-vis de la liquéfaction au droit des niveaux les plus sensibles et contrôler la dispersion totale des caractéristiques sous l'emprise de chaque réservoir (homogénéisation) ;
 → Transition remblais hydrauliques-ancien rivage et horizon lâche des Sables Flandriens : atteindre le coef-



© CÉDRIC HELSIV POUR SOLETANCHE BACHY

ficient de sécurité requis vis-à-vis du risque de liquéfaction au droit de tous les niveaux sensibles.

En parallèle, il était reconnu que les niveaux devant être traités dans les remblais et à l'interface avec l'ancien rivage entraient dans les catégories des sols pouvant être améliorés par vibro-compactage. À l'inverse, les teneurs en fines supérieures à 15% reconnues dans les sables lâches montraient que le vibro-compactage seul y serait d'efficacité réduite, ce qui conduisait à prévoir en complément une incorporation de matériau granulaire (colonnes ballastées).

Une plage des taux d'incorporation à atteindre était proposée pour la réalisation de plots d'essai au démarrage des travaux.

La maille définitive du traitement par colonnes ballastées devait être choisie

6- Descente de l'aiguille vibrante dans le sol à traiter.

7- Le godet bascule afin de déverser le ballast dans la trémie située en partie haute du tube.

6- Lowering the vibrating needle into the soil to be treated.

7- The bucket is tilted to pour the ballast into the hopper located at the top of the tube.

en vérifiant que la résistance de pointe obtenue entre les colonnes atteignait une valeur suffisante pour assurer la sécurité requise vis-à-vis de la liquéfaction. Ces critères ont été exprimés sous la forme d'une courbe $q_c = f(z)$ à atteindre au sein des remblais hydrauliques (pauvres en fines) et sous la forme d'un rapport minimal q_c / σ'_{v0} fonction du friction ratio R_f à la base des remblais hydrauliques et dans la couche des sables silteux lâches (figure 4).

LES TRAVAUX D'AMÉLIORATION DE SOL SOUS RÉSERVOIRS

Les travaux d'amélioration de sol ont été confiés par BOUYGUES TP à SOLETANCHE BACHY PIEUX, entreprise spécialisée dans les travaux de fondations profondes par pieux et dans les travaux d'amélioration de sol.

TABLEAU A : CARACTÉRISTIQUES DES TRAITEMENTS ADOPTÉS POUR LES 3 RÉSERVOIRS SOIT ENVIRON 4 500 POINTS Y COMPRIS LES FONDATIONS DE GRUES À TOUR

Réservoir	Maille	Corps des remblais hydrauliques	Base des remblais hydrauliques	Sables silteux lâches	Profondeur maximale de traitement (m)	Profondeur tête colonne ballastée (hauteur VC) (m)	Longueur colonne ballastée (m)
Nord	2,5 x 2,5 m	VC*	VC*	800 mm (8%)	20,5	15,5	5
Central	2,5 x 2,5 m	VC*	VC*	600 mm (4,5%)	19,5	13,5	6
Sud	2,5 x 2,5 m	VC*	VC*	600 mm (4,5%)	17,5	12,5	5

VC* : vibro-compactage



© CEDRIC HELSLY POUR SOLETANCHE BACHY

8

La technique choisie pour les travaux d'amélioration de sol est celle du vibrocompactage avec apport de ballast. Cette technique mixte présente l'avantage de pouvoir traiter avec le même outillage des sables par vibrocompactage et des couches limoneuses par incorporation de ballast (figure 5).

La technique du vibrocompactage consiste à insérer dans le sol à traiter, jusqu'à la profondeur requise, une aiguille vibrante.

L'aiguille descend dans le sol par l'effet de son propre poids et des vibrations, combiné à l'action d'un fluide de lançage. Ce fluide est composé d'un mélange d'eau et d'air sous pression. Le fluide est acheminé jusqu'au nez du vibreur qui constitue la partie basse de l'aiguille (figure 6).

Une fois la profondeur maximale atteinte, le ballast est incorporé via un tube jusqu'au vibreur. On parle alors de technique « Bottom feed ». Le ballast est compacté par passes successives de façon à former une colonne ballastée sur la hauteur de la couche de sol concernée par le risque de liquéfaction. Dans les couches de sable sus-jacentes, l'aiguille est ensuite remontée par passes de 50 cm afin de compacter le sable. Le cratère qui se forme au droit de l'aiguille au fur et à mesure du compactage est remblayé avec le sable propre constituant la plateforme de travail (figure 1).

L'aiguille vibrante de type « Bottom feed » est composée d'un vibreur élec-

8- Un opérateur ajuste les paramètres du fluide de lançage : proportion d'eau et d'air, débit, pression ; en temps réel en fonction de la réponse de l'aiguille vibrante au passage des différentes couches de sol.

8- An operator adjusts the launching fluid parameters (proportions of water and air, flow rate, pressure) in real time, according to the response of the vibrating needle when passing through the various soil layers.

trique de type V23 situé en sa partie basse et alimenté par un groupe électrogène externe de 350 kVA. Le vibreur est couplé à un tube d'apport du ballast. Dans la partie haute du tube se trouve une trémie dans laquelle le ballast est mis en place à l'aide d'un godet bascu-

lant montant et descendant à l'aide de câbles. Cette trémie est fermée par une guillotine dont l'ouverture est commandée par l'opérateur en cabine. Le godet basculant est lui-même chargé depuis la plateforme à l'aide d'une chargeuse sur pneus. L'ensemble du dispositif est suspendu à une grue à flèche treillis sur chenille. Le choix de la taille de la grue est défini en fonction de la profondeur du traitement et des caractéristiques du sol à traiter. Le fluide de lançage est un mélange d'eau et d'air comprimé délivré par une pompe haute pression et un compresseur. L'eau est puisée dans la nappe via une installation composée de puits de pompage, bassins et bacs de stockage et de pompes. Le mélange de l'eau et de l'air se fait au niveau de la machine dans un mélangeur contrôlé manuellement en temps réel par un opérateur. Une pelle sur chenille permet le remblaiement des cratères formés au fur et à mesure du compactage et le nivellement de la plateforme de travail (figure 7).

Sous les réservoirs de gaz, le traitement mis en œuvre présente les caractéristiques suivantes :

- Maillage carré de 2,5 m de côté ;
- Profondeur moyenne : 19,5 m ;
- Incorporation de ballast : 3 tonnes par point de façon à former des colonnes ballastées de 4 m de hauteur et de 70 cm de diamètre.

Ces caractéristiques ont été déterminées à l'issue d'une planche d'essais qui a été réalisée au démarrage du

chantier. Pour les travaux d'amélioration de sol par vibrocompactage, cette phase d'essais est nécessaire afin d'étalonner les paramètres de travail et de vérifier que le traitement prévu permet d'obtenir l'amélioration souhaitée des caractéristiques du sol.

La planche d'essais est constituée de 5 configurations de 12 points permettant de tester 3 maillages, 2 diamètres et 2 hauteurs de colonnes ballastées. Pour chaque configuration, 4 essais pénétrométriques sont réalisés avant traitement, et 5 essais pénétrométriques après traitement.

L'analyse des résultats des essais au pénétromètre statique permet ainsi de définir les caractéristiques du traitement sous la surface des réservoirs. Le démarrage du chantier avec les phases d'essais et de mise au point est déterminant pour la réussite du chantier. Bien que similaires, les sols sableux se comportent différemment sous l'effet des vibrations selon leur nature (granulométrie, niveau d'eau, influence des marées, sol naturel ou d'origine anthropique). Les experts du groupe SOLETANCHE BACHY sont mobilisés sur chantier pendant cette phase afin de définir les paramètres de réalisation qui permettront de réaliser un traitement de sol de qualité avec une productivité élevée.

Sur ce chantier, la difficulté majeure tenait à l'étalonnage des paramètres du fluide de lançage : la proportion d'air et d'eau ; les débits et pression du fluide à chaque étape de la réalisation du point de traitement. Une variation, même faible, des caractéristiques du sol nécessitait une adaptation en temps réel des paramètres du fluide.

SOLETANCHE BACHY PIEUX a opté pour un calibrage manuel en temps réel de ces paramètres (figure 8).

Une fois les différents paramètres d'exécution définis, les points de traitement sont réalisés les uns à la suite des autres selon un rythme précis. Chaque opération est chronométrée et les paramètres de réalisation sont suivis en temps réel sur un ordinateur de bord et enregistrés, puis contrôlés, par un ingénieur qualité. Chaque point de traitement fait l'objet d'un contrôle précis et rigoureux de chacune de ses caractéristiques.

Pour la réalisation de l'amélioration sous la surface des 3 réservoirs, jusqu'à 3 ateliers fonctionnant 24h/24h ont été mobilisés. Ce qui a permis de réaliser les travaux dans un délai de 5 semaines par réservoir (figure 9 et tableau A).



CONTRÔLES RÉALISÉS – VALIDATION

Les essais de pénétromètres statiques (CPT) ont été utilisés systématiquement pour le contrôle du traitement de sol par vibro-compactage avec apport de ballast ; les 3 réservoirs ont fait l'objet de 136 contrôles par CPT représentant des densités moyennes de 1 CPT/200 m² environ ; les CPT de contrôle réalisés en continu 3 semaines environ après l'achèvement des différentes zones de travaux ont permis de valider et de réceptionner le traitement de sol sous réservoirs.

CONCLUSION

Une reconnaissance de sol adaptée au droit de chacun des réservoirs ainsi qu'une étude spécifique et détaillée des problématiques de tassement et de liquéfaction de sols ont permis d'élaborer un système de fondations sous réservoirs performant permettant

9- Le chantier à la tombée de la nuit, au démarrage du 3^e poste.

9- The construction site at night-fall, at the start of the third work shift.

la maîtrise des tassements pendant la durée de vie de l'ouvrage. La technique retenue du vibrocompactage avec apport de ballast dans les couches en profondeur présente l'avantage de pouvoir traiter avec le même outillage les différents horizons suivant des modes opératoires maîtrisés. L'utilisation du pénétromètre statique (CPT) a permis d'affiner le modèle géotechnique et de contrôler les travaux d'amélioration de sols. □

PRINCIPALES QUANTITÉS (3 réservoirs)

VIBROCOMPACTAGE AVEC APPOINT DE BALLAST

POINTS DE TRAITEMENTS : 4 500 u

MAILLE CARRÉ : 2,50 x 2,50 m

PROFONDEUR MOYENNE : 19,50 m

INCORPORATION DE BALLAST : 3 t / point soit 13 500 t

CONSOMMATION D'EAU : 63 000 m³

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Dunkerque LNG (Groupe EDF)

ASSISTANT MAÎTRE D'OUVRAGE : COFIVA ingénierie (Groupe EDF)

ENTREPRISES : Consortium ENTREPOSE Projets et BOUYGUES Travaux Publics

SOUS-TRAITANT GÉOTECHNIQUE : TERRASOL

SOUS-TRAITANT GÉODYNAMIQUE : Géodynamique et Structures

SOUS-TRAITANT TRAVAUX D'AMÉLIORATION DE SOLS : SOLETANCHE BACHY PIEUX

ÉTUDES D'EXÉCUTION : Bureau d'Études BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS

ABSTRACT

ANTI-LIQUEFACTION TREATMENT UNDER THREE LNG TANKS AT DUNKIRK

M. LEBRETON, SOLETANCHE BACHY - B. SIMON, TERRASOL - D. MICHEL, BOUYGUES

The project involves the construction of three liquefied natural gas (LNG) storage tanks on the site of the Dunkirk terminal. Geotechnical analysis identified a risk of settlement under the tanks due to liquefaction of a deep soil layer and the heterogeneous nature of the hydraulic backfills. Soil improvement under the tanks was therefore performed through anti-liquefaction treatment of the loose silty sand horizons and homogenisation of the hydraulic backfills; the technique used was vibratory compaction with the addition of ballast. Geotechnical analysis and the supervision of soil improvement works were supported by use of the cone penetrometer test (CPT). □

TRATAMIENTO ANTI-LICUEFACCIÓN BAJO TRES DEPÓSITOS DE GNL EN DUNKERQUE

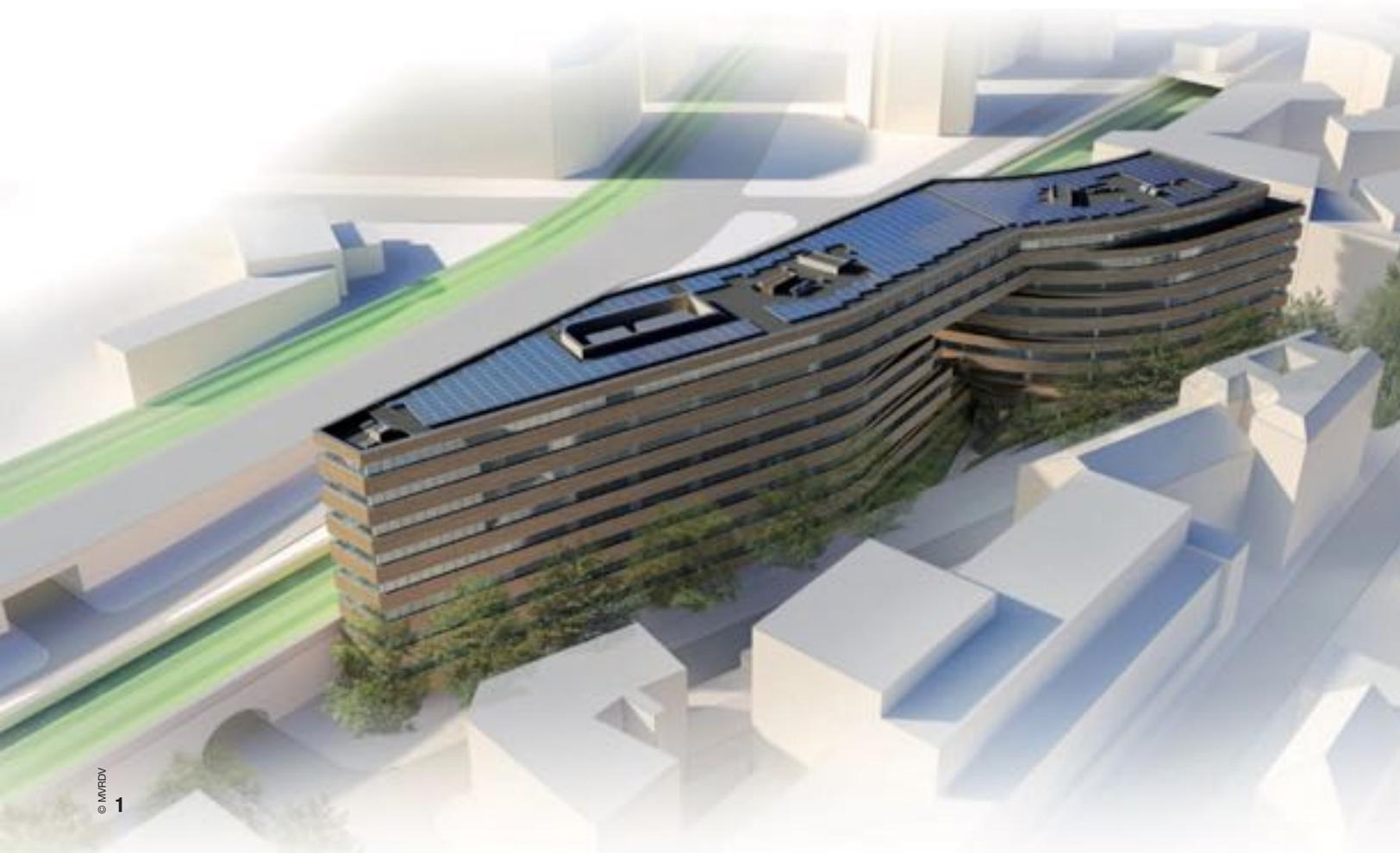
M. LEBRETON, SOLETANCHE BACHY - B. SIMON, TERRASOL - D. MICHEL, BOUYGUES

El proyecto consiste en la realización de 3 depósitos de almacenamiento de gas natural licuado (GNL) en las instalaciones de la terminal de Dunkerque. El análisis geotécnico puso de manifiesto un riesgo de hundimiento bajo los depósitos debido a la licuefacción de un estrato de terreno situado en profundidad y a la heterogeneidad de los rellenos hidráulicos. Así pues, se ha realizado una mejora de los suelos bajo los depósitos para el tratamiento anti-licuefacción de los horizontes de arenas limosas sueltas y para la homogeneización de los rellenos hidráulicos; la técnica utilizada es la de la vibrocompactación con aportación de balasto; el análisis geotécnico, así como el control de los trabajos de mejora de suelo se basaron en la utilización del penetrómetro estático (CPT). □

PUSHED SLAB : UN BÂTIMENT HQE SUR DE SOLIDES FONDATIONS

AUTEUR : FABRICE VOLPILIERE, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOTRAISOL FONDATIONS

AU SEIN DU PREMIER ÉCOQUARTIER DE PARIS, SOTRAISOL FONDATIONS A MIS EN ŒUVRE DIVERSES TECHNIQUES POUR RÉALISER LES FONDATIONS D'UN IMMEUBLE DE 17 500 M² : PIEUX LUTÉCIENS AVEC TIRANTS ET PIEUX BERLINOIS AVEC BUTONS POUR 2 500 M² DE SOUTÈNEMENT EN BÉTON PROJETÉ. BORDÉ PAR DES VOIES FERROVIAIRES, UN PONT ET UN BÂTIMENT EN CONSTRUCTION, LE PROJET PUSHED SLAB A ÉTÉ ÉLABORÉ AVEC UNE VIGILANCE PARTICULIÈRE SUR LES MÉTHODES D'EXÉCUTION ET LE CONTRÔLE DU COMPORTEMENT DES OUVRAGES DE SOUTÈNEMENTS, AFIN DE GARANTIR LA PARFAITE INTÉGRITÉ DES OUVRAGES À PROXIMITÉ.



© MVRDV 1

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

D'ici 2014, ce sont un EHPAD, des logements étudiants et familiaux, une crèche, un parc et un immeuble de bureaux et commerces qui sortiront de terre sur la ZAC de Rungis, entre le parc Montsouris et la porte d'Italie, à la frontière sud de la capitale. L'immeuble de bureaux et de com-

merces de 6 étages a été imaginé par l'architecte néerlandais WINY Maas. Ce bâtiment, certifié HQE et BBC, a été baptisé le Pushed Slab en raison de sa forme particulière due à une poussée déformant les niveaux jusqu'à ce qu'ils cèdent et laissent apparaître Paris : l'architecte a en effet « cassé » la droiture du bâtiment avec ses pouces ! (figure 1).

1- Vue générale du Pushed Slab (visuel architecte).

1- General view of the Pushed Slab (architect's illustration).

CONTEXTE GÉOTECHNIQUE ET CHOIX TECHNIQUES

Cette opération se place dans un contexte géotechnique impliquant une couverture superficielle composée de remblais sur une épaisseur variable (0 à 4 m), des alluvions de la Bièvre sur la partie est du projet (de 3 à 5 m), des calcaires grossiers inférieurs, des argiles plastiques ainsi que des marnes ▷



© EIFFAGE CONSTRUCTION

et calcaires de Meudon (figure 3). La côte du fond de fouille étant 34.85 NVP, les terrains rencontrés en fond de terrassement étaient donc les calcaires grossiers sur la majeure partie du site et les alluvions de la Bièvre sur la partie est. Les études de sol faisaient état d'une lame d'eau circulant au dessus des

argiles plastiques, dans les calcaires grossiers. La solution technique initiée par Fugro dans sa mission géotechnique de type G2 (berlinoise) et retenue par Sotraisol Fondations est une paroi de soutènement type lutécienne pour les zones où l'encombrement de paroi était supérieur à 85 cm, et de type berlinoise pour les autres parois.

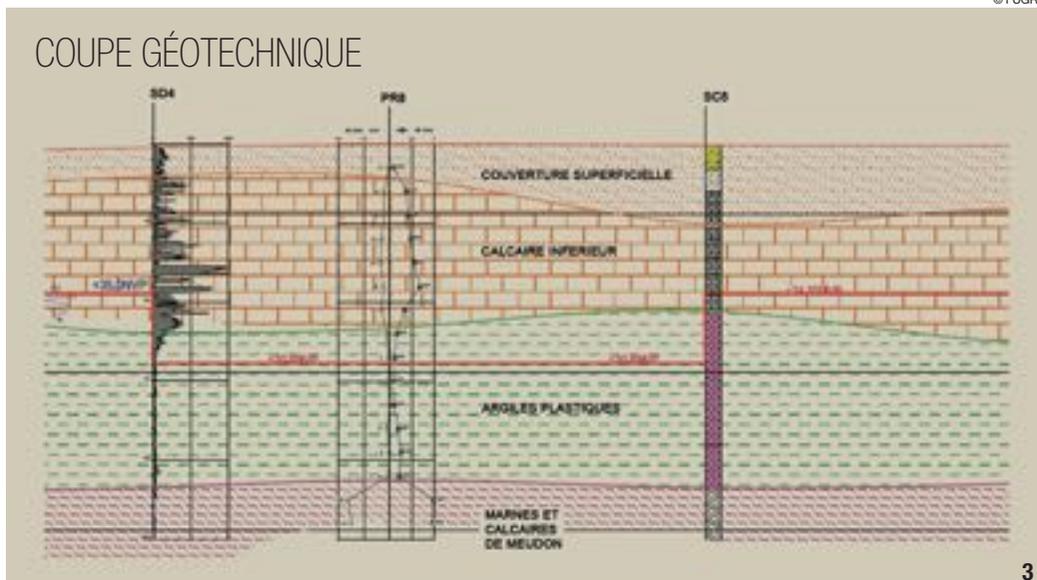
2- Le chantier en phase de pieux.
3- Coupe géotechnique.

2- The construction site in the piling phase.
3- Geotechnical cross section.

Les appuis de parois étant constitués de butons métalliques ou de tirants dans les zones où l'autorisation était obtenue. Une voile en béton projeté constitue les voiles périmétriques des voiles de sous-sol. Les fondations du bâtiment sont de type pieux forés simples tubés jusque dans les argiles afin de « couper » l'eau lors de leur réalisation.

© FUGRO

COUPE GÉOTECHNIQUE



3

LE PHASAGE

Pas moins de 17 coupes de calcul différentes (pour le soutènement) ont été réalisées afin de pouvoir appréhender au mieux les paramètres géométriques, géotechniques et contextuels. Le phasage de principe a été défini de la manière suivante :

- 1- Réalisation des pieux de soutènements et des pieux porteur (avec des arases de bétons de 8 mètres par rapport à la plateforme de travail pour les pieux porteurs.
- 2- Réalisation des voiles en béton projeté jusqu'à 41 NVP.
- 3- Réalisation du 1^{er} lit de tirant à 41,5 NVP ou pose du premier lit de butons.
- 4- Réalisation des voiles en béton projeté jusqu'à 37 NVP.



© EIFFAGE CONSTRUCTION
4

- 5- Réalisation du 2^e lit de tirant à 37,5 NVP.
- 6- Réalisation des voiles en béton projeté jusqu'au fond de fouille.
- 7- Réalisation du bâtiment jusqu'au plancher haut du rez-de-chaussée.
- 8- Détente des tirants 1^{er} et 2^e lits.

LA RÉALISATION DES PIEUX

Les pieux ont été réalisés en juin et juillet 2012.

Deux machines de forage ont mis en œuvre les 270 pieux.

Trois types de pieux ont été réalisés :

→ 48 pieux berlinois, composés de profilés métalliques type HEA 340, de diamètre 800 mm et de longueur 25 m ;

→ 112 pieux lutéciens, armés sur toute la hauteur, de diamètre 800 mm et de longueur 25 m ;

→ 110 pieux intérieurs de fondations, de diamètre pouvant aller jusqu'à 1 100 mm, à 30 m de profondeur.

Les pieux étaient ancrés dans les marnes de Meudon. Ils ont donc été réalisés à l'abri d'un tubage foncé dans le sol jusque dans les argiles afin de pouvoir forer et bétonner les pieux à sec. Le tube était retiré juste après le

4- Le chantier en phase de terrassement - fin du soutènement.

4- The construction site in the earthworks phase - end of the retaining structure.

bétonnage. Il est à noter qu'afin de limiter toute décompression des terrains à proximité des voies de la Petite Ceinture, la SNCF imposait la mise en place de ce tube, même en l'absence de venue d'eau, sur l'ensemble des pieux de soutènement situés à moins de 8 mètre des voies (figure 2).

LES APPUIS : TIRANTS ET BUTONS

BUTONS
Sur certains profils des parois berlinoises et lutéciennes, un butonnage provisoire a été mis en œuvre afin de maîtriser les déplacements des parois sous la pression des terres. Selon les plans d'exécution, le butonnage était soit horizontal en angle de paroi à paroi,

soit vertical fondé sur des semelles en béton, ancrées sous le fond de fouille dans les calcaires grossiers.

Les butons étaient constitués de tubes métalliques de diamètres 350 à 700 mm et de longueur pouvant aller jusqu'à 20 m. Ils s'appuyaient sur des liernes en béton armé intégrées aux voiles ou sur des liernes métalliques externes composées de profilés métalliques.

Au global ce sont 50 tonnes d'acier qui ont été mises en œuvre en butons et liernes.

LES TIRANTS

Une campagne d'essais de tirants a d'abord été menée afin de valider la traction admissible des scellements, et valider la méthodologie d'exécution des tirants. La technique retenue pour la réalisation des 40 tirants était la suivante :

→ Forage des tirants en rotation simple (tige tricône) sous fluide de perforation (coulis léger), avec un diamètre de perforation de 180 mm ;

→ Mis en œuvre du coulis de gaine en fin de forage ;

→ Mise en place de l'armature, constituée d'un tube d'injection et de

5 câbles (T15s) capables de supporter les charges de service de 90 tonnes ;
→ Réalisation d'une injection de type « injection globale unitaire » pour finaliser le scellement.

LES VOILES EN BÉTON PROJETÉES

Les voiles en béton projeté ont été réalisés par voie sèche. 2 900 m² de voiles de 25 cm d'épaisseur, armés à 90 kg/m³, ont permis de stabiliser les terres lors de l'avancée des terrassements (38 000 m³). Les travaux de voile et de terrassement ont démarré fin juillet et se sont poursuivis jusqu'à mi-octobre 2012.

À mi-hauteur du terrassement, des aiguilles filtrantes ont été mises en œuvre (par ERF, sous-traitant d'Eiffage). Elles ont été complétées par des tranchées drainantes en pied de paroi pour rabattre la nappe sous le fond de fouille et permettre de couler les semelles des butons et le réseau de longrines au sec (figure 4).

L'ISOLATION ACOUSTIQUE

Le futur bâtiment étant situé à proximité d'une voie ferroviaire (voie dite de la « Petite Ceinture »), un produit ▷

antivibratoire a été mis en place afin de réaliser une coupure vibratoire entre le bâtiment et le sol.

Le produit résiliant, soumis à une compression appliquée par la poussée des terres à l'arrière du soutènement, a été mis en œuvre sur la hauteur vue de la paroi de soutènement du côté SNCF et sur le retour perpendiculaire du côté du pont de la Poterne des Peupliers. Les équipes se sont donc employées à trouver des solutions pour réussir une coupure vibratoire à l'arrière des pieux et des voiles.

COUPURE VIBRATOIRE DERRIÈRE LES PIEUX

Pour des raisons de mise en œuvre sur les cages d'armature cylindriques, un conditionnement des isolants en rouleaux a été choisi au lieu d'un conditionnement habituel en plaques moins adapté. Une préparation spécifique des cages était nécessaire, avec l'ajout d'écarteurs sur la partie concernée par l'isolant. Sur les écarteurs, des filants en acier étaient soudés. Les deux couches de produit alors fixées sur les filants assurant ainsi l'enrobage des armatures des pieux. Enfin, pour assurer un maintien optimum, le produit était cerclé tout les 50 cm (figures 5 à 8).

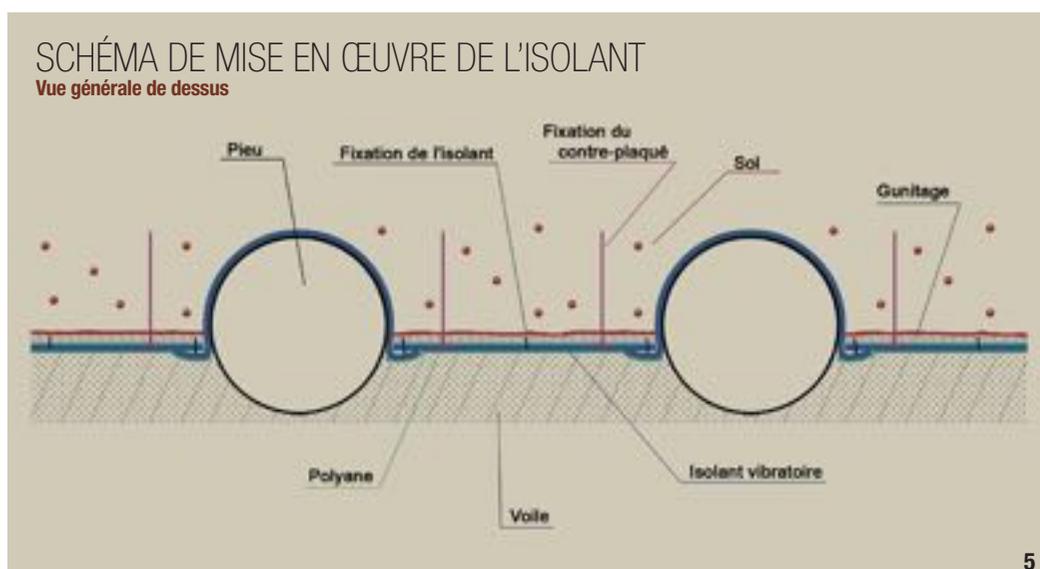
COUPURE VIBRATOIRE À L'ARRIÈRE DES VOILES

Après avoir terrassé chaque panneau, un gunitage était réalisé afin de réduire les irrégularités du support. Le gunitage consiste en la projection d'une faible couche de béton projeté non armé (ou très faiblement). Un contre plaqué de faible épaisseur était ensuite appliqué sur le gunitage frais, fixé à l'aide de « T » en acier, scellés dans le terrain au travers du gunitage frais. L'isolant était appliqué sur le contreplaqué, puis fixé

au contreplaqué par vissage ou clouage. Les continuités avec l'isolant posé à l'arrière des pieux sont assurées par un chevauchement de l'isolant situé derrière les pieux et des plaques qui sont appliquées derrière les voiles. Enfin, un polyane ou un géotextile était agrafé à l'isolant afin de le protéger du béton projeté. Le voile est ensuite réalisé : ferrailage puis bétonnage (figure 9). Ces procédés, imaginés par les équipes Sotraisol, ont été validés lors de la réalisation d'une tête de série (figure 10).

CONTRÔLES DES OUVRAGES ET DE SON COMPORTEMENT

Le chantier présentant non seulement des voies SNCF à proximité, un ouvrage d'art (pont de la Poterne des Peupliers) mais aussi une hauteur de soutènement importante, Sotraisol a mis en place un suivi du comportement de l'ouvrage et des contrôles encore plus complets qu'habituellement. En effet, en plus des essais traditionnels sur les tirants (4 essais préalables, 3 essais de contrôles et



5

© SOTRAISOL FONDATIONS

5- Schéma de mise en œuvre de l'isolant - vue générale de dessus.

6- Schéma de mise en œuvre de l'isolant - vue de dessus.

7- Photographie d'un pieu avec l'isolant.

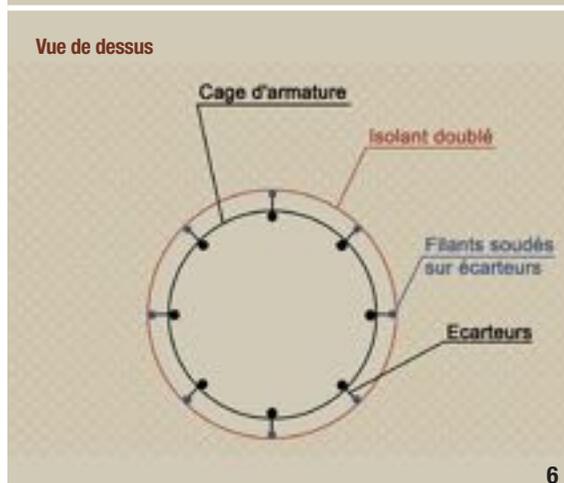
8- Schéma de mise en œuvre de l'isolant - vue en 3D.

5- Diagram showing placing of insulating material - general plan view.

6- Diagram showing placing of insulating material - plan view.

7- Photograph of a pile with the insulating material.

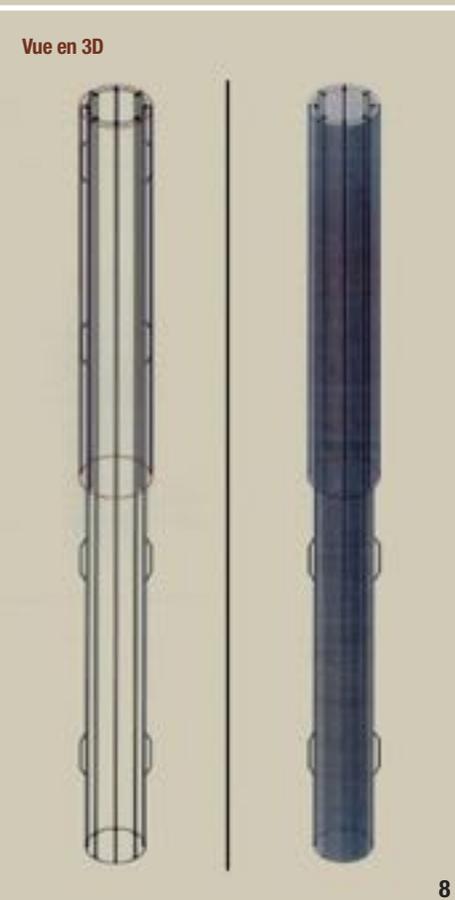
8- Diagram showing placing of insulating material - 3D view.



6

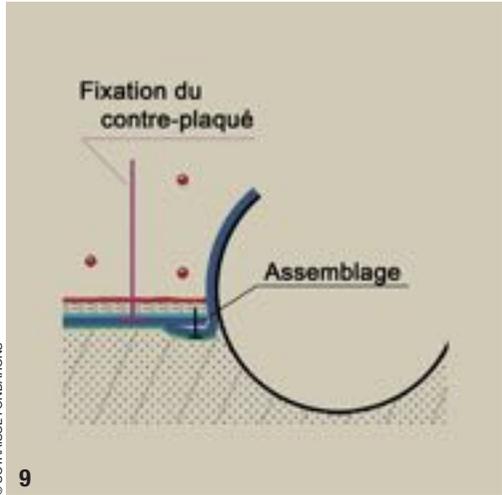


7



8

© SOTRAISOL FONDATIONS



9- Détail de mise en œuvre du produit anti-vibratoire.
10- Mise en place de l'isolant derrière les voiles.

9- Detail view of placing of the anti-vibration product.
10- Placing insulating material behind shear walls.

40 essais de réception) un suivi topographique conséquent et un suivi inclinométrique ont été réalisés.

LE SUIVI TOPOGRAPHIQUE

Pour le suivi topographique, des cibles ont été mises en place tout au long du périmètre de l'ouvrage.

Positionnées en tête de parois, ces cibles étaient collées sur la poutre de couronnement. En complément, Sotraisol a positionné sur plots bétons, au niveau de la zone concernée par la voie SNCF, des cibles supplémentaires en arrière de la paroi à une distance de 1 m, 3 m et 5,5 m par rapport au soutènement.

Une dernière cible par profil a été mise en place directement sur le rail (à environ 9 m).

Les mesures prises permettaient de vérifier l'atténuation des mouvements à l'arrière du soutènement et donnaient le déplacement réel du rail tout au long des travaux.

Ce sont donc 5 profils de mesures de cinq cibles chacun, soit 25 points mesures, qui ont permis de contrôler les mouvements occasionnés par les travaux sur la zone SNCF. Deux cibles

supplémentaires ont également été mises en place sur l'ouvrage d'art (pont de la Poterne des Peupliers) et 7 cibles sur le reste des soutènements, portant à 34 le nombre de cibles topographiques.

Les cibles ont été relevées en X-Y-Z par un géomètre à chaque phase de calcul et au minimum chaque semaine, soit 20 relevés et 680 contrôles topographiques sur la durée du chantier.

SUIVI INCLINOMÉTRIQUE

Trois pieux de soutènement situés sur les zones critiques ont été équipés de tubes inclinométriques.

Chaque phase de travaux, du démarrage des terrassements à la détente des tirants, a été mesurée.

Au fur et à mesure de l'avancement de travaux, les mesures inclinométriques et topographiques ont ainsi été confrontées aux valeurs calculées et aux valeurs admissibles de déplacements définis par la SNCF.

Pour chaque type d'ouvrage, les seuils admissible et les seuils d'intervention étaient définis comme tels : 20 mm sur la paroi coté SNCF, 10 mm sur le plot en arrière de la paroi et 4 mm sur la

voie SNCF et l'ouvrage d'art. Un seuil d'alerte avait été défini, de manière à prévenir des déplacements anormaux s'ils se déclenchaient. À l'atteinte du seuil d'alerte les causes des déplace-

ments pouvaient être recherchées et des méthodes d'intervention mises en place. Jamais les seuils d'alerte n'ont été dépassés pendant la durée du chantier. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : ICADE PROMOTION TERTIAIRE

MAÎTRE D'ŒUVRE D'EXÉCUTION : ICADE ARCOBA

MISSION GÉOTECHNIQUE DE TYPE G4 : FUGRO

BUREAU DE CONTRÔLE : VERITAS

COORDINATEUR SPS : QUALICONSULT

ENTREPRISE : EIFFAGE CONSTRUCTION

ENTREPRISE DE FONDATIONS : FAYAT FONDATIONS (SOTRAISOL FONDATIONS et FRANKI FONDATION)

PRINCIPALES QUANTITÉS

270 pieux : 48 berlinois, 112 lutéciens, 110 pieux de structure

50 tonnes de butons et liernes mis en œuvre

40 tirants IGU

2 900 m² de voiles en béton projeté

1 000 m² d'isolant acoustique

ABSTRACT

PUSHED SLAB: AN HQE BUILDING ON SOLID FOUNDATIONS

FABRICE VOLPILIERE, SOTRAISOL FONDATIONS

In the first eco-district of Paris, Sotraisol Foundations employed various techniques to execute the foundations of a 17,500 m² building: Lutecian type piles with tie anchors and Berlin type piles with stays for 2500 m² of shotcrete retaining structure. Bordered by railway tracks, a bridge and a building undergoing construction, the Pushed Slab project was designed paying special attention to execution methods and inspection of the behaviour of retaining structures, in order to ensure the perfect integrity of the nearby structures. □

PUSHED SLAB: UN EDIFICIO ALTA CALIDAD MEDIOAMBIENTAL SOBRE CIMENTOS SÓLIDOS

FABRICE VOLPILIERE, SOTRAISOL FONDATIONS

En el primer ecobarrio de París, Sotraisol Foundations ha utilizado diferentes técnicas para realizar los cimientos de un edificio de 17.500 m²: pilotes luteciana con tirantes y pilotes berlina con codales para 2.500 m² de contención de hormigón proyectado. Borneado por vías ferroviarias, un puente y un edificio en construcción, el proyecto Pushed Slab ha sido realizado prestando especial atención a los métodos de ejecución y al control del comportamiento de las estructuras de contención, con objeto de garantizar la perfecta integridad de las estructuras cercanas. □

LES DIFFICULTÉS DE DÉTECTION ET LE TRAITEMENT D'UN CHEVELU DE GYPSE DISSOUS DANS DES MARNES GYPSEUSES

APPLICATION AU LOT 42 DE LA LGVEE - L'ASSISE DU REMBLAI 506

AUTEURS : ALAIN CUCCARONI, DIRECTEUR DU PROJET LGVEE, RFF - MICHEL THIERY, DIRECTEUR GRANDS PROJETS, ARCADIS - MATTHIEU BORT, CHEF DE PROJET, ARCADIS

DANS LE CADRE DE LA MISSION DE MAÎTRE D'ŒUVRE DES TRAVAUX DE RÉALISATION DU TOARC LOT 42 DE LA LGVEE ENTRE PARIS ET STRASBOURG CONFIEE PAR RFF AU GROUPEMENT SYSTRA/ARCADIS, ARCADIS A ÉTÉ AMENÉ À TRAITER LE CAS D'ASSISES DE REMBLAIS SUR DES MARNES CONTENANT DU GYPSE SACCHAROÏDE PLUS OU MOINS DISSOUS. L'HÉTÉROGÉNÉITÉ DE COMPACITÉ DE CET HORIZON A DONNÉ LIEU À LA MISE EN ŒUVRE D'UNE MÉTHODOLOGIE DESTINÉE À LIMITER LES QUANTITÉS DE TRAITEMENT TOUT EN GARANTISSANT UNE SÉCURITÉ À LONG TERME DE LA PLATEFORME FERROVIAIRE.



© PHOTOTHÈQUE ARCADIS

CONTEXTE

Le lot 42 du tronçon G de la Ligne à Grande Vitesse Est Européenne s'inscrit dans un contexte de topographie vallonnée correspondant aux contreforts ouest du massif des Vosges. Le tracé recoupe en particulier la vallée du Bruch via un grand remblai, noté

RBT506 (figure 2), d'une longueur de 1 800 m et d'une hauteur variant de 5,3 à 11,2 m. La vallée présente des épaisseurs d'alluvions compressibles limoneuses à argileuses de l'ordre de 2 à 3 m surmontant des Marnes Bariolées gypsifères, elles-mêmes en recouvrement d'un substratum dolomitique

1- Ensemble du remblai 506.

1- The whole 506 embankment.

(Zone Supérieure Dolomitique ZSD). L'objet de cet article est de relater l'historique des reconnaissances et des travaux au droit de la partie de ce remblai (506 A) du fait de la rencontre de nombreux passages plus ou moins décomprimés et de vides francs au sein des Marnes Bariolées.

L'aléa cavité est naturellement une préoccupation majeure de RFF sur l'ensemble du projet LGVEE, de par les incertitudes importantes qui en résultent et les conséquences tant en termes de délais que de coûts que cet aléa peut représenter dans un chantier de terrassement.

HISTORIQUE DES RECONNAISSANCES DE TERRAIN

RECONNAISSANCES RÉALISÉES EN PHASE CONCEPTION

Lors des études de conception, à partir de 1999, les reconnaissances suivantes ont été réalisées :

- Sondages carottés (5 u), forages destructifs (8 u), sondages pressiométriques (10 u), pénétromètres statiques (6 u) et scissomètres (2 u) pour l'établissement du Dossier Géologique, Géotechnique et Hydrogéologique du lot ;
- Enquêtes documentaires, examens de photos aériennes et visites de terrain concernant l'aléa cavité proprement dit. Dès ce stade, le contexte géologique général surtout, et quelques rares indices de décompression, ont permis de classer le RBT506 comme étant à risque faible à moyen vis-à-vis de l'aléa cavité.

RECONNAISSANCES COMPLÉMENTAIRES EN PHASE DE RÉALISATION

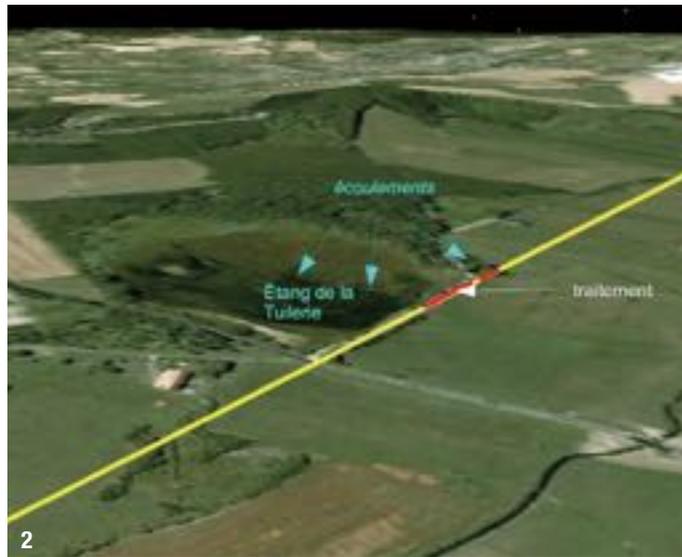
L'Entreprise a réalisé, en début de phase Exécution, une phase d'investigations qui a comporté :

- 18 sondages au pénétromètre statique de type piézocône ;
- 7 sondages carottés.

Ces sondages ont été réalisés en zone de remblai courant. Ils ont mis en évidence l'existence de cavités dans les Marnes Bariolées et au contact avec la ZSD ainsi que l'existence de niveaux décomprimés répartis de façon aléatoire au sein des marnes. Ces anomalies n'avaient été repérées auparavant que sous l'ouvrage d'art 42135.

La réalisation de drains verticaux afin d'accélérer les délais de consolidation des alluvions compressibles a également été source d'informations pour la caractérisation des marnes :

- Elles sont en général très compactes et surconsolidées mais peuvent comporter localement des passages très décomprimés (fonçage très facile des drains très localement jusqu'au toit de la ZSD) ;
- Une chute de la lance de fonçage a été constatée au PK358+891. Un sondage destructif réalisé à proximité



2 © SOURCE GOOGLE 2007

2- Vue aérienne du site du remblai 506.

3- Affaissement visible en surface le 09/12/10 au PK358+891.

2- Aerial view of the 506 embankment site.

3- Subsidence visible on the surface on 09/12/10 at PK358+891.

immédiate a mis en évidence un vide entre 1 et 7 m de profondeur. Un fontis a débouché au jour quelques semaines plus tard (figure 3).

Ces éléments nouveaux et d'autres remontées de fontis ont conduit à un important complément de reconnaissance :



3 © PHOTOTHÈQUE ARCADIS

- 90 sondages destructifs avec enregistrement de paramètres ;
- Des mesures d'EM34 (mesures électromagnétiques) généralisées à la totalité du remblai ;
- Des mesures par panneaux électriques sur 400 m dans le secteur de l'étang de la Tuilerie ;
- 32 sondages destructifs complémentaires entre les PK358+530 et 358+610.

INTERPRÉTATION DES RECONNAISSANCES DE SOLS COMPLÉMENTAIRES

D'après l'ensemble des reconnaissances effectuées, les Marnes Bariolées sont principalement marno-argileuses et contiennent du gypse sous deux formes :

- De manière diffuse en cristaux et/ou en lentilles de gypse saccharoïde au sein des marnes (figure 4) ;
- Et/ou en bancs épais (gypse saccharoïde) principalement à l'in-

terface entre les marnes et la ZSD. Au plan hydrogéologique les Marnes Bariolées sont argileuses, très peu perméables, saturées. La nappe de la ZSD est normalement captive sous les marnes mais les eaux profondes et faiblement minéralisées de la ZSD peuvent remonter à la faveur des zones faillées.

Le gypse, rencontré sous forme diffuse ou massive, a donc été soumis et reste soumis à des phénomènes de dissolution. Ces phénomènes ont en outre favorisé la création d'un réseau d'écoulement souterrain à la base des Marnes Bariolées.

SYNTHÈSE ET DÉTERMINATION DU MODE DE TRAITEMENT

L'ensemble des reconnaissances et des événements survenus en cours de travaux ont montré que les terrains d'assise du RBT506 comportaient de nombreuses anomalies liées à la dissolution du gypse au sein des marnes. On distingue deux types d'anomalies :

- Des vides francs (dissolution totale d'une masse de gypse). Ces vides, correspondant à des chutes d'outil, sont remplis d'eau plus ou moins chargée ou remplis de terrain complètement remanié sans consistance. Elles se situent essentiellement dans les terrains gypseux à la base des marnes vers 10 m de profondeur environ et représentent un risque important pour la LGV.

Les effets de voûte actuellement développés peuvent en effet à terme diminuer jusqu'à être insuffisants pour reprendre le poids du remblai, donnant lieu à une remontée de fontis jusqu'à la plateforme ferroviaire. L'IN3278 §2.3.9.3. (référentiel RFF) impose de traiter toute cavité découverte : « Les cavités sont comblées chaque fois que cela est possible et compatible avec le risque lié à la modification des circulations d'eaux souterraines » ;

- Des zones décomprimées (dissolution partielle de lentilles ou de filons de gypse ou décompression par remontée de fontis). Ces zones présentent des caractéristiques mécaniques non nulles, mesurables mais des vitesses d'avancement de l'outil très importantes.

Compte-tenu de ces anomalies, le maître d'œuvre a requalifié le niveau de risque :

- Risque important par suite de constat de vides sur les 3 zones suivantes (RBT506A) :

- Zone 1 : du PK357+790 au PK357+970 sur 180 m, ▷



© PHOTO THÉQUE ARCADIS

© PHOTO THÉQUE ARCADIS

4- Gypse saccharoïde au sein des Marnes Bariolées.

5- Vide traité au sein des Marnes Bariolées.

6- Forage en pied de remblai.

7- Centrale d'injection SPIE.

4- Saccharoid gypsum in the variegated marls.

5- Treated void in the variegated marls.

6- Drill hole at the base of the embankment.

7- SPIE jet grouting plant.

- Zone 2 : du PK358+530 au PK358+610 sur 80 m,
- Zone 3 : du PK358+710 au PK358+870 sur 160 m.

→ Risque moyen sur le reste du linéaire par suite du constat de zones décomprimées locales (RBT 506B).

SOLUTIONS PROPOSÉES PAR LE MAÎTRE D'ŒUVRE

Pour le remblai courant, les objectifs à atteindre étaient :

- 1- D'éviter la rupture brutale au niveau des voies, par remontée dans le remblai d'un éventuel fontis formé à partir d'une cavité non comblée ;
- 2- De limiter les déformations sous la plateforme ferroviaire à des valeurs admissibles vis-à-vis du référentiel RFF ;
- 3- D'instrumenter l'ouvrage pour gérer le risque résiduel de dissolution ultérieure du gypse et les tassements associés à cette dissolution.

L'objectif n°1 a fait l'objet d'une procédure de comblement gravitaire des cavités au coulis chargé.

L'objectif n°2 a fait l'objet d'une procédure de mise en œuvre d'un géosynthétique de renforcement.

L'objectif n°3 a fait l'objet d'une proposition de suivi de la piézométrie et de la géochimie des eaux souterraines pour l'estimation du risque de dissolution future et de suivi au géoradar d'un

géotextile à bandes d'aluminium pour quantifier les tassements associés à cette dissolution.

Pour les ouvrages d'art, afin d'éviter tout désordre sous les ouvrages, un traitement par injections de comblement des vides repérés et un renforcement du sol par inclusions rigides a été réalisé. Le renforcement du sol par inclusions rigides devait en outre permettre de se dispenser de la réalisation de pré-chargements.

PRÉCONISATIONS DE TRAITEMENT DES VIDES FRANCS

Comme indiqué auparavant, 3 zones principales de traitement des vides ont été distinguées :

- Du PK357+760 au PK357+980 (220 m) ;
- Du PK358+530 au PK358+610 (80 m) ;
- Du PK358+700 au PK358+880 (180 m).

Le principe de traitement mis en œuvre a été le suivant :

- Maillage : carré de 7 m de côté (maillage primaire), pouvant être réduit à 5 m (maillage secondaire) puis 3,5 m (maillage tertiaire) si les absorptions le nécessitent ;
- Profondeur des forages : 15 m minimum et pénétrant de 1 m dans les terrains résistants. Les forages ont été réalisés en 120 mm de diamètre

maximum et sont équipés d'un tube perforé (crépines) de 60 mm de diamètre environ ;

→ Injection gravitaire clavée sous faible pression au tube injecteur, en remontant, d'un mortier bentonite-ciment-sablon.

La résistance des coulis est au minimum de 1 MPa à 90 j.

Le but était de remplir correctement les vides, y compris ceux d'ouvertures faibles, sans que le coulis ne se propage loin du forage. C'est pourquoi le choix d'un coulis un peu épais avec des mailles resserrées s'est imposé. En outre, la pression d'injection a été scrupuleusement limitée pour éviter le claquage des terrains et le cheminement du coulis très en dehors des emprises du remblai.

Une deuxième phase de traitement (injection des zones décomprimées sous plus forte pression) était prévue pour venir compléter ces traitements si les résultats n'étaient pas satisfaisants c'est-à-dire si des déformations significatives et évolutives étaient encore mesurées après les deux à trois mois de mise en place du remblai. Cette phase n'a pas été mise en œuvre.

GÉOSYNTHÉTIQUE DE RENFORCEMENT À LA BASE DU REMBLAI

En dehors des zones traitées par injection de comblement, les zones

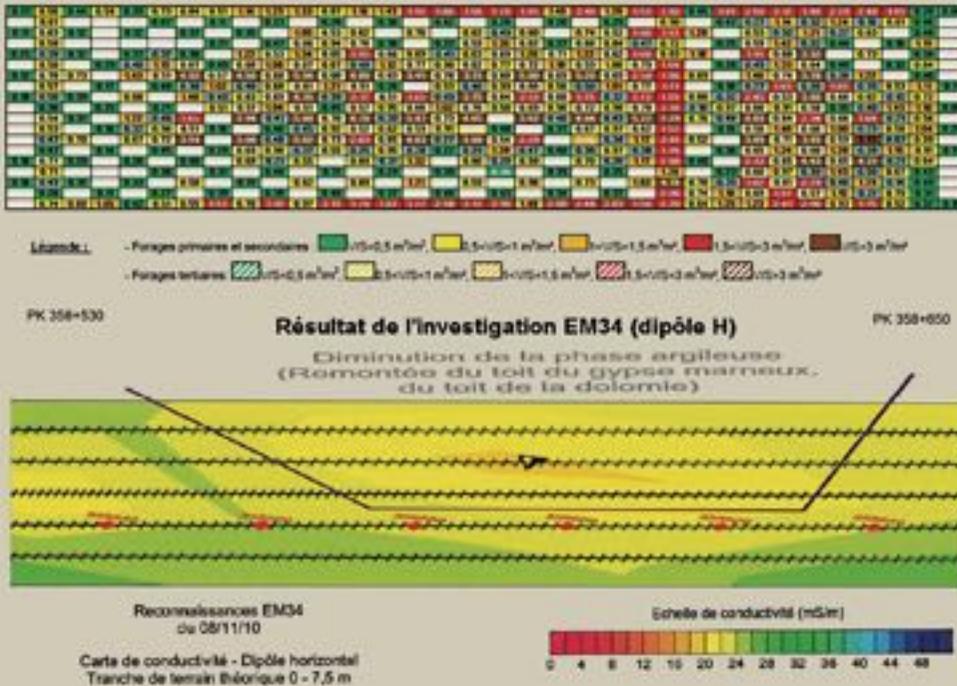
décomprimées sont « traitées » par la mise en place d'un géosynthétique de renforcement placé au sein d'un matelas (épaisseur > 1 m) en matériau dilatant ($\phi > 43^\circ$) fortement compacté à la base de remblai. Le type de géosynthétique finalement retenu est GEOLON PET 800 de chez TENCATE qui permet d'absorber sans rupture un fontis remontant à la base du remblai de 3 mètres de diamètre sous la hauteur maximale de remblai.

Le but de ce dispositif, destiné à diminuer les risques ultérieurs de déformation, est de jouer un rôle d'amortisseur au niveau de la plateforme ferroviaire (effet « parachute » à la base du remblai en cas d'apparition d'un vide), et ainsi de diminuer et d'étaler les déformations.

SÉQUENCE DES TRAVAUX

Les injections pouvaient être réalisées, soit avant la montée du remblai, soit après. Ces deux options ont fait l'objet d'une analyse technico-économique comparative. Finalement, la solution d'un traitement depuis le haut du remblai terminé a été retenue car elle était plus favorable vis-à-vis du respect du planning de l'opération, même si elle conduisait à des difficultés de réalisation (réalisation d'injections dans les talus du remblai) et à des longueurs à forer plus importantes (figure 6).

RÉPARTITION V/S SOUS-ZONE 1 RBT 506



8

EXTRAIT DU SYNOPTIQUE DES TRAVAUX (sous-zone 1)

PK début	358.300	358.340	358.360	358.380	358.400	358.420	358.440	358.460	358.480	358.500	358.520	358.540	358.560	358.580	358.590	358.610	358.630	358.650	358.670	358.690	358.710	358.720	
PK fin	358.340	358.360	358.380	358.400	358.420	358.440	358.460	358.480	358.500	358.520	358.540	358.560	358.580	358.590	358.610	358.630	358.650	358.670	358.690	358.710	358.720		
pes (m)	10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	10	20	20	10	20	10	20	10	20	10	10	20	
Interprétation anomalies	Zones d'anomalies																						
	Zones décomprimées																						
	Traitement																						
	Traitement complément																						
	Géosynthétique																						
	Inclusions rigides																						
zone instrumentée	profilomètres, CPI, tensomètres																						

9

CONTRÔLES

En dehors des contrôles classiques des injections de remplissage des vides (contrôles des volumes et des pressions), il est intéressant d'aborder les contrôles à mettre en œuvre pour suivre le comportement du remblai pendant les travaux et pendant la vie de l'ouvrage.

En phase travaux

Le suivi des mouvements du remblai a été réalisé par 10 profilomètres et 10 CPI répartis tout au long du RBT 506. La fréquence de mesure a été la suivante :

→ Pendant la montée des remblais : quotidiennement ;

8- Répartition V/S sous-zone 1 RBT 506.

9- Extrait du synoptique des travaux (sous-zone 1).

8- Volume/surface ratio of sub-zone 1 RBT 506.

9- Excerpt from the block diagram of works (sub-zone 1).

- Pendant un mois après la fin de montée du remblai : hebdomadairement ;
- Jusqu'à la pose de la voie : mensuellement ;
- Ensuite : tous les 3 mois pendant un an, puis une fois par an.

En phase d'exploitation

Une partie de l'instrumentation mise en œuvre pour suivre l'évolution des déformations du terrain pendant la phase travaux pouvant ne plus être opérationnelle en phase d'exploitation, un géosynthétique équipé de bandes aluminium disposé sous les voies (interface PST/CDF) permettra par la suite en phase d'exploitation d'effectuer des

mesures de déformation de la plateforme par relevés radar. Les modalités et la fréquence du suivi des éventuelles déformations seront définies avec le futur mainteneur de la ligne LGV (GID SNCF).

LE DÉROULEMENT DU CHANTIER

L'entreprise GUINTOLI, mandataire du groupement a choisi de confier les travaux de traitement à 2 entreprises spécialisées (SPIE et GTS).

Nous présentons dans cet article le traitement de la sous-zone 1 réalisé par SPIE :

- Traitement initialement prévu du PK 358+530 au PK 358+610 (80 ml) ;
- Réalisation des forages entre le 04/10/2011 et le 11/04/12 ,
- Réalisation des injections entre le 07/11/2011 et le 13/04/12.

Les figures 1 et 7 illustrent la centrale d'injection et une vue générale du remblai.

SUIVI DES QUANTITÉS DE TRAITEMENT ET PRÉVISION D'ACCOSTAGE

Pour ces travaux délicats, ARCADIS a eu en charge de suivre le comportement du traitement d'assise du remblai par une analyse en continu, afin d'estimer, pour RFF, l'accostage en termes financiers et de délais. L'interprétation a été conduite en suivant le taux d'incorporation de coulis défini par :

$V/S = (\text{Volume injecté au droit d'un forage}) / (\text{Surface de terrain affectée à ce forage})$

Le taux d'incorporation est exprimé en $[m^3/m^2]$. Il peut être assimilé à une hauteur équivalente cumulée de vides ou de terrains fortement décomprimés exprimée en $[m]$.

RÉPARTITION DES V/S POUR LA SOUS-ZONE 1

La répartition observée est synthétisée en figure 8, ainsi que l'image obtenue au cours des reconnaissances antérieures à l'EM34 Polarisation horizontale qui avait donné quelques contrastes en partie centrale de la zone sans que cela soit vraiment flagrant (la polarisation verticale ne donne absolument rien).

Pour la sous-zone 1, les principales quantités sont les suivantes :

- Surface de la zone : 5 586 m²,
- V/S moyen : 0,95 m³/m²,
- V/S minimum : 0,04 m³/m²,
- V/S maximum : 5,47 m³/m².

Le taux d'incorporation est très variable sur cette zone. ▷

On remarque en particulier qu'au droit de 17 forages, le taux d'incorporation est supérieur à 3 m³/m². Ces 17 forages (6% du nombre total de forages) représentent un volume cumulé de 1 040 m³ (21% du volume total). Ces anomalies particulièrement importantes, traitées en forages primaires, sont davantage situées au centre de la zone qu'en limite de zone ce qui confirme qu'elles ne correspondent pas à des pertes de coulis à l'extérieur des emprises à traiter, même si la bordure sud-est a fait l'objet tout de

même d'absorptions encore significative. Pour cette raison, une extension de 35 m vers l'est a été décidée en cours de chantier.

Le taux d'incorporation moyen qui a été mis en évidence (0,95 m³/m²) est bien supérieur à ce qui pouvait être déduit des résultats de la reconnaissance (0,40 m³/m² mais en se basant sur un maillage des forages beaucoup plus lâche que celui réalisé en phase EXE). Au droit de la sous-zone 1, la répartition par quantiles (valeur d'un quantile =

0,25 m³/m²) des taux d'incorporation selon la zone considérée est donnée dans la figure 10.

Les 6 premiers quantiles rassemblent plus de 80% des valeurs du taux d'incorporation. Les valeurs élevées (supérieures à 2 m³/m²) ne correspondent qu'à des vides importants très localisés. La répartition du taux d'incorporation est centrée sur une valeur comprise entre 0,25 et 0,5 m³/m² qui représenterait l'ouverture moyenne des vides au sein des Marnes Bariolées.

EFFICACITÉ DU TRAITEMENT

L'efficacité du traitement a été appréciée à l'issue des travaux de traitements par les suivis de tassements (profilomètres et tassomètres), les stabilisations des mesures de CPI, la réalisation de sondages de contrôles destructifs avec enregistrements de paramètres, à raison d'un sondage pour 1 000 m² mais aussi par la réalisation de sondages carottés permettant de visualiser la pénétration du coulis (figure 5).

Pour ce qui concerne les mesures de tassements, ces derniers ont atteint des valeurs de l'ordre de 12 à 13 cm dont 4 cm environ notés pendant la réalisation des travaux de traitement.

De plus, une expertise hydrogéologique (suivi piézométrique et mesures de conductivité) a conclu à l'absence d'incidence notable sur les écoulements souterrains à l'issue des traitements réalisés. □

RÉPARTITION EN QUANTILES DES TRAITEMENTS RBT 506 SOUS-ZONE 1

quantiles (m ³ /m ²)	Sous-zone 1
0.00 à 0.25	13.59%
0.25 à 0.50	27.83%
0.50 à 0.75	21.04%
0.75 à 1.00	9.06%
1.00 à 1.25	4.85%
1.25 à 1.50	4.83%
1.50 à 1.75	1.88%
1.75 à 2.00	1.24%
2.00 à 2.25	2.91%
2.25 à 2.50	0.97%
2.50 à 2.75	1.29%
2.75 à 3.00	0.97%
3.00 à 3.25	0.97%
3.25 à 3.50	0.32%
3.50 à 3.75	0.65%
3.75 à 4.00	1.29%
4.00 à 4.25	0.32%
4.25 à 4.50	0.32%
4.50 à 4.75	0.32%
4.75 à 5.00	0.32%
5.00 à 5.25	0.65%
5.25 à 5.50	0.32%

10

**10- Répartition
en quantiles des
traitements RBT
506 sous-zone 1.**

**10- Breakdown
into treatment
quantiles, RBT
506 sub-zone 1.**

PRINCIPALES QUANTITÉS

REMBLAI RBT 506 : 770 000 m³ incluant le comblement de 70 000 m³ de purge, 170 000 m³ de matériau ZI, 425 000 m³ de remblai, 50 000 m³ de PST et 15 000 m³ de CDF

Partie 506A (zone de traitement systématique)

NOMBRE DE FORAGES D'INJECTION : 3 600 u

TOTAL LINÉAIRE FORAGES : 73 000 m

TOTAL COULIS CHARGÉ : 36 000 m³

DÉLAI DE TRAITEMENT GLOBAL : 13 mois

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : RFF

MAÎTRE D'ŒUVRE : Groupement SYSTRA/ARCADIS

ENTREPRISE PRINCIPALE : GUINTOLI/NGE

ENTREPRISES DE TRAITEMENT DE TERRAINS : GTS et SPIE Fondations

ABSTRACT

DIFFICULTIES FOR DETECTION AND TREATMENT OF FIBROUS GYPSUM DISSOLVED IN GYPSEOUS MARLS

APPLICATION TO WORK SECTION 42 OF THE EAST EUROPEAN
HIGH-SPEED TRAIN LINE - THE FOUNDATION OF EMBANKMENT 506

ALAIN CUCCARONI, RFF - MICHEL THIERY, ARCADIS - MATTHIEU BORT, ARCADIS

As part of a project management assignment on works for the execution of TOARC project phase 42 for the East European High-Speed Train Line between Paris and Strasbourg, awarded by RFF to the SYSTRA/ARCADIS consortium, ARCADIS had to deal with the case of embankment foundations on marls containing more or less dissolved saccharoid gypsum. Given the heterogeneous compactness of this horizon, a methodology was employed to limit the quantities treated while ensuring long-term security for the railway track subgrade. □

LAS DIFICULTADES DE DETECCIÓN Y EL TRATAMIENTO DE UNA ZONA DE YESO DISUELTO EN MARGAS YESOSAS

APLICACION AL LOTE 42 LGVEE (LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD
DEL ESTE EUROPEO) - LA CAPA INFERIOR DEL TERRAPLÉN 506

ALAIN CUCCARONI, RFF - MICHEL THIERY, ARCADIS - MATTHIEU BORT, ARCADIS

En el marco de una misión de dirección de obra de los trabajos de realización del TOARC lote 42 de la LGVEE entre París y Estrasburgo confiada por RFF a la agrupación SYSTRA/ARCADIS, ARCADIS ha tenido que tratar el caso de capas inferiores de terraplenes sobre margas que contienen yeso sacaroide más o menos disuelto. La heterogeneidad de compactad de este horizonte dio lugar a la aplicación de una metodología destinada a limitar las cantidades de tratamiento garantizando al mismo tiempo una seguridad a largo plazo de la plataforma ferroviaria. □



1

© DK LNG - HOPI PRODUCTION

STABILISATION DES TALUS DE LA PLATEFORME DU TERMINAL MÉTHANIER DE DUNKERQUE

AUTEURS : GEORGES BONFORT, DIRECTEUR DE TRAVAUX, MENARD - PHILIPPE GRAILLE, RESPONSABLE MAÎTRISE D'ŒUVRE, ARCADIS - FRÉDÉRIC CARON, CHEF DE PROJET, GRAND PORT MARITIME DE DUNKERQUE

DANS LE CADRE DE L'AMÉNAGEMENT DES INFRASTRUCTURES MARITIMES DU TERMINAL MÉTHANIER SOUS MAÎTRISE D'OUVRAGE DU GPMD, IL S'EST AVÉRÉ NÉCESSAIRE DE STABILISER, VIS-À-VIS DU RISQUE SISMIQUE, LES TALUS SOUS-MARINS EN PÉRIPHÉRIE DE LA PLATEFORME DU TERMINAL OPÉRÉ PAR DUNKERQUE LNG, GROUPE EDF. LE CONFORTMENT, RÉALISÉ PAR VOIE MARITIME ET TERRESTRE, S'ÉTEND SUR UNE SUPERFICIE DE 9 HECTARES ET JUSQU'À DES PROFONDEURS DE 26 M. IL REPOSE SUR LE VIBROCOMPACTAGE DES HORIZONS LIQUÉFIABLES AVEC OU SANS MISE EN ŒUVRE DE COLONNES BALLASTÉES.

UN TERMINAL MÉTHANIER À DUNKERQUE

Un nouveau terminal méthanier est en construction depuis 2011 dans l'avant-port Ouest de Dunkerque. Porté par trois maîtres d'ouvrage, Dunkerque

LNG pour le Terminal en lui-même, le GPMD pour les infrastructures portuaires et GRT gaz pour le raccordement, il offrira fin 2015, à sa mise en service, une capacité de stockage de 13 Gm³/an (20% de la consommation

1- Vue générale du terminal.

1- General view of the terminal.

française et belge) et accueillera les plus gros méthaniers de 270 000 m³ de capacité. Les installations s'étendent sur une plateforme de 56 Ha dont un tiers est gagné sur la mer par remblais hydrauliques. ▷

Elles comprennent trois réservoirs de 90 m de diamètre, les unités de regazéification, les conduites cryogéniques, les installations de sécurité (pomperies, torchères, etc.), le tunnel et le puits de pompage pour l'amenée d'eau chaude en provenance de la centrale nucléaire de Gravelines, eau chaude permettant le processus de regazéification du GNL. Une darse protégée, draguée à la cote -15 CMG, accueille l'apportement des méthaniers (figure 1).

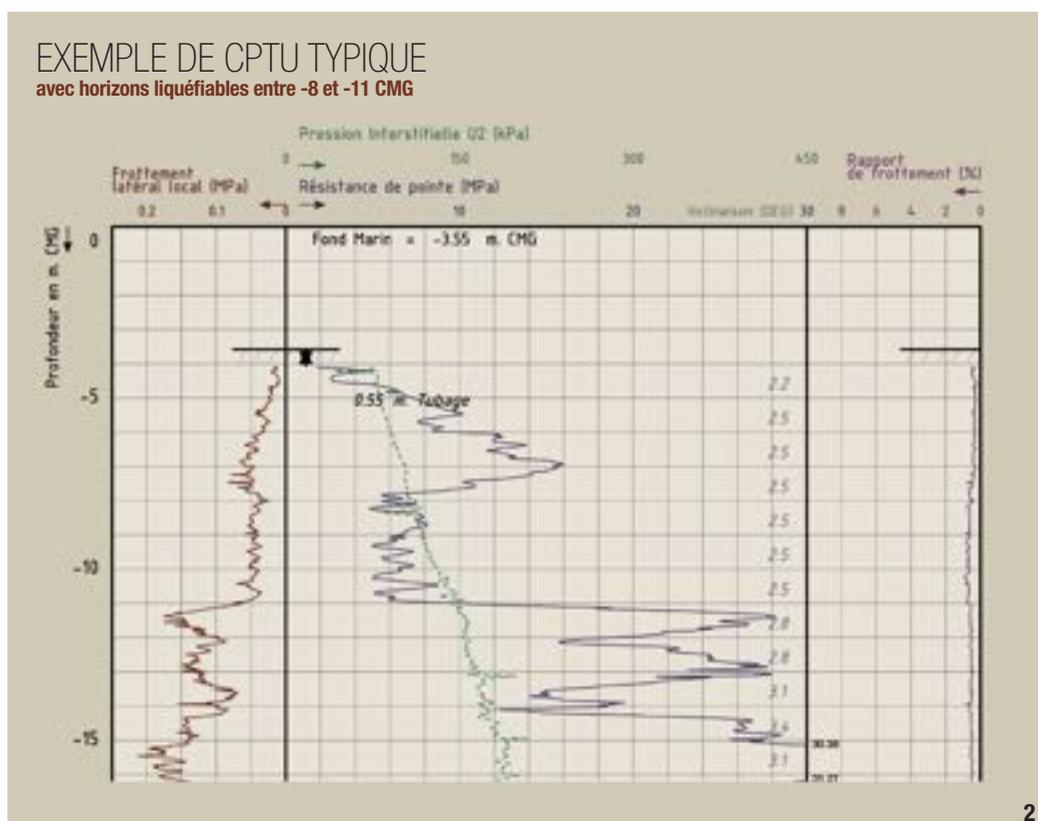
LE CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Les travaux de dragage pour la constitution de la darse à -15 CMG, les remblais hydrauliques pour la constitution des plateformes à la cote +10 CMG et les talus sous-marins les délimitant s'insèrent tous au sein des sables Flandriens.

On pourra simplifier en résumant le contexte géotechnique à 30 m de sable surmontant l'argile des Flandres rencontrée à partir de la cote -23 CMG mais ces sables fins à moyens, relativement comparables d'un point de vue identification, présentent de nombreux lits plus silteux et moins compacts de puissance décimétrique à métrique (résistance de pointe q_c de 4 MPa à 18 m de profondeur).

Ces horizons plus lâches pouvant être surmontés d'horizons très compacts ($q_c > 30$ MPa).

Une campagne de reconnaissance, maritime et terrestre, essentiellement basée sur un maillage grossier d'une vingtaine de sondages pénétrométriques judicieusement couplés à quelques pressiomètres et sondages carottés a permis de bâtir un modèle géotechnique suffisamment fiable.



POURQUOI CONFORTER ?

La majorité des ouvrages d'infrastructure du terminal relèvent des installations dites à « risque spécial ». Leur stabilité doit pouvoir être justifiée sous l'effet d'un séisme dit « Séisme Majoré de Sécurité ». L'aléa sismique dimensionnant y est caractérisé par une accélération nominale en surface de 0,3 g. Les talus sous-marins dressés au sein des sables présentent une hauteur de 25 mètres et les contraintes géométriques de la darse et de la plateforme ne permettent pas de trop

2- Exemple de CPTu typique avec horizons liquéfiables entre -8 et -11 CMG.
3- Atelier nautique pour les CPTu.

2- Example of typical CPTu with liquefiable horizons between -8 and -11 CMG.
3- Nautical equipment for CPTus.

adoucir leur pente. Or, leur stabilité est primordiale :

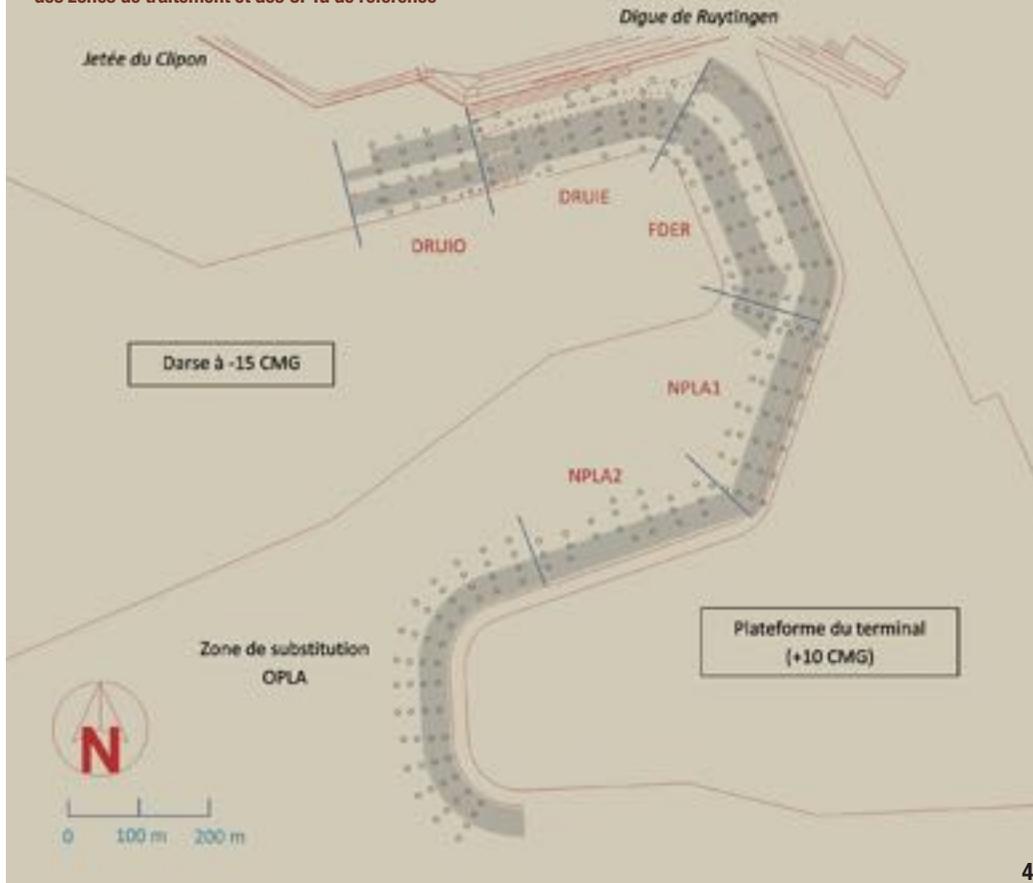
→ Au Nord, zones DRUIE et DRUIO, pour éviter toute déstabilisation des pieux de l'apportement et garantir la tenue à poste du méthanier au cours du séisme ;

→ À l'Est, zones FDER pour garantir la stabilité des conduites cryogéniques en tête ;

→ Au Sud, zones NPLA1/2 et OPLA, pour maintenir confinés les remblais hydrauliques constitutifs de la plateforme et prévenir tout phénomène de

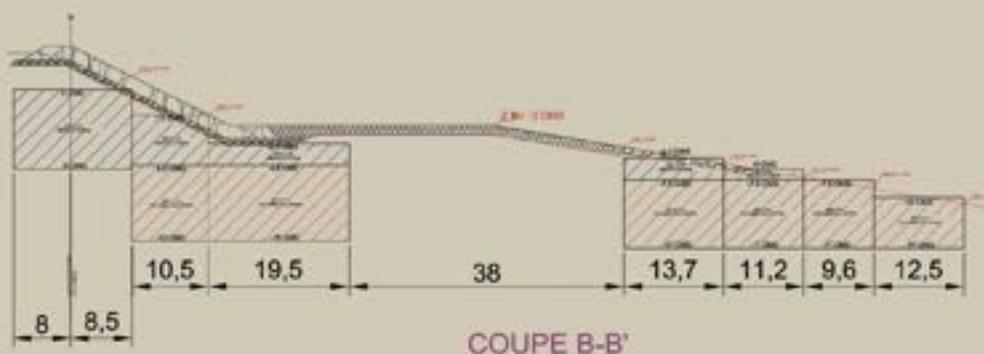


VUE EN PLAN GÉNÉRALE des zones de traitement et des CPTu de référence



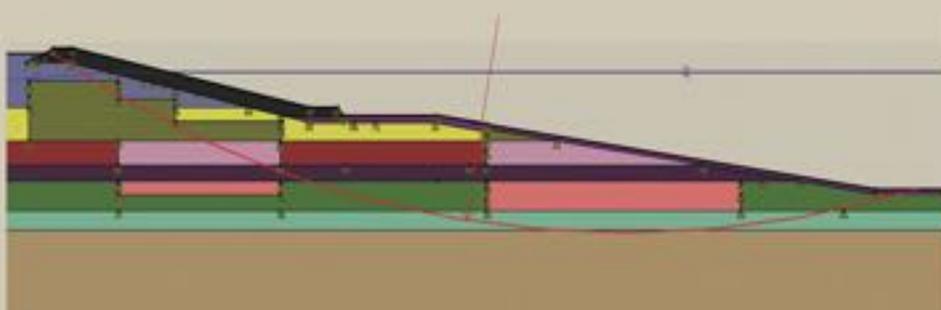
4

SECTION FDER - COUPE TYPE DES TRAITEMENTS (partie inférieure avec colonnes ballastées)



5

CALCUL DE STABILITÉ ET CERCLE POTENTIEL DE GLISSEMENT



6

« lateral spreading » (glissement latéral généralisé à la faveur d'une liquéfaction des sols).

La stabilité des talus est particulièrement affectée par la liquéfaction des horizons les moins compacts (perte de résistance au cisaillement par augmentation de la pression interstitielle), et ceci d'autant plus que l'aléa sismique est sévère et que les dragages ont tendance à décharger significativement les pieds de talus.

PRÉDIMENSIONNER ET OPTIMISER

Sur la base des reconnaissances préliminaires, l'analyse des potentiels de liquéfaction a permis de définir en plan 6 zones de traitement aux emprises et besoins distincts et jugées homogènes. Sachant qu'il n'apparaissait pas raisonnable de chercher à améliorer la totalité de la zone, il a été recherché l'extension latérale minimale permettant de conférer au talus la stabilité minimale requise règlementairement (Eurocode 8). Transversalement, l'optimisation a porté sur le rescindement des zones traitées en plusieurs plots distincts en admettant alors la liquéfaction des zones non traitées. ▷

4- Vue en plan générale des zones de traitement et des CPTu de référence.

5- Section FDER - Coupe type des traitements (partie inférieure avec colonnes ballastées).

6- Calcul de Stabilité et cercle potentiel de glissement.

4- General plan view of the treatment areas and reference CPTus.

5- FDER section - Typical cross section of treatments (lower part with ballasted columns).

6- Stability calculation and potential slip circle.



7

© HAPPY DAYS POUR GPMD

Ceci permettant ainsi de limiter l'ampleur des instabilités susceptibles d'affecter les talus. Ces études ont été conduites à partir de calculs de stabilité au grand glissement en analyse pseudo-statique. Elles ont été validées par une analyse temporelle sur modèle élasto-plastique. Ce dernier a permis de montrer qu'en dépit des optimisations faites, les déplacements induits au sein des talus restaient acceptables (inférieurs à 20 cm).

En termes de choix des méthodes d'amélioration, le caractère trop silteux des horizons les plus critiques (teneur en fines > 10%) ne permet pas de recourir au seul vibrocompactage. La mise en œuvre de colonnes ballastées au sein de ces horizons spécifiques agit en tant qu'élément rigidifiant complété par l'effet favorable d'un drainage partiel de l'horizon liquéfiable.

TRADUIRE LES ENJEUX POUR LE CONTRAT DE TRAVAUX

À l'aléa naturellement lié à la géotechnique s'ajoute celui lié au caractère maritime des travaux (directement lié pour les traitements par voie maritime ou indirectement lié pour ceux par voie terrestre qui dépendent des plateformes par remblais hydrauliques de dragage). Dans ce contexte, pour la rédaction du contrat de travaux, le Maître d'œuvre s'est attaché :

→ À bien cadrer le phasage général en ayant au préalable bien imaginé l'enchaînement des diverses tâches de traitement/dragage/travaux d'enrochements. Ceci pour permettre de communiquer aux autres intervenants les différentes dates de libération

7- Vue de la zone des travaux effectués par voie terrestre.

8- Comparaison des résistances avant et après traitement.

7- View of the area of works performed by land.

8- Comparison of strengths before and after treatment.

d'emprise ou de mises à disposition ;

→ À laisser cependant une certaine latitude dans le choix des procédés de traitement afin de permettre aux entreprises spécialisées d'exprimer leur savoir-faire avec le matériel qu'elles maîtrisent ;

→ À permettre dans le marché un certain potentiel d'adaptation pour la géométrie et le type de traitement afin de pouvoir tirer avantage de conditions plus favorables à l'analyse d'une campagne d'investigation réalisée systématiquement et imposée au marché en préalable ;

→ Et enfin à inciter à une optimisation des délais.

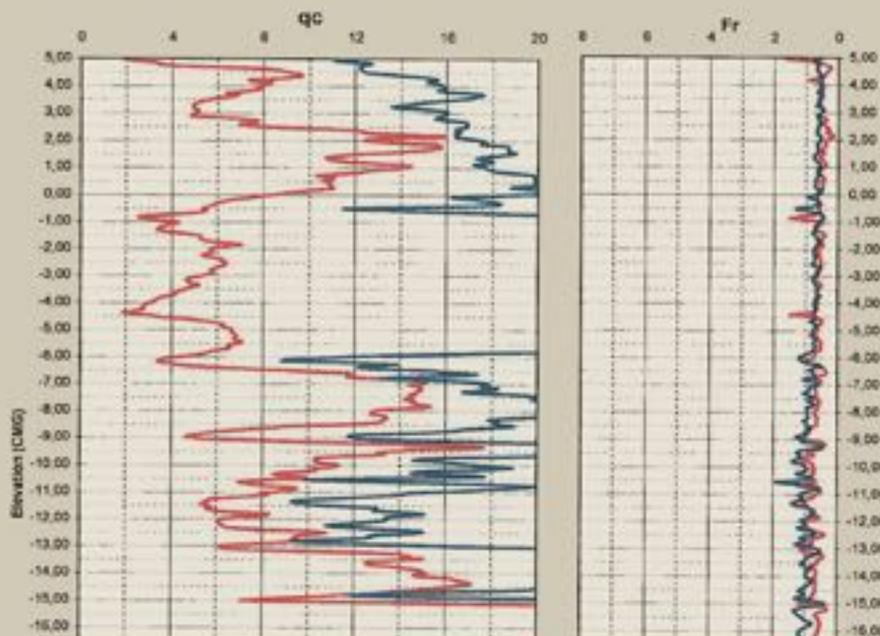
LA RÉPONSE DE MENARD EN GROUPEMENT

L'appel d'offre, lancé en juillet 2011 avec 4 groupements pré-qualifiés, a permis de retenir le groupement SODRACO - COLAS - BOUYGUES - MENARD.

Le marché a été notifié fin novembre 2011 avec une période de préparation de seulement un mois.

Les nombreuses réunions de mise au point au sein du groupement pour

COMPARAISON DES RÉSISTANCES AVANT ET APRÈS TRAITEMENT



8



9

© HAPPY DAYS POUR GPMD

gérer au mieux les nombreuses interfaces ont permis de proposer une offre la plus complète possible. Ainsi, outre le caractère parfaitement intégré des travaux de traitement au sein de l'ensemble des autres travaux du groupement, l'offre technique se distinguait notamment sur les points suivants :

→ Construction de la digue de protection du poste précédant légèrement les travaux de traitement par voie maritime et protégeant la zone ;

→ À partir de la campagne de référence et des plots d'essais, définition a priori des hauteurs de traitement relevant du seul vibrocompactage de celles nécessitant l'ajout localisé de colonnes ballastées ;

→ Recours à une méthode éprouvée pour la réalisation des colonnes ballastées (alimentation par le haut, voie humide).

LA CAMPAGNE DE RÉFÉRENCE ET L'OPTIMISATION DES CONFORTEMENTS

Afin de définir avec précision les modèles géotechniques et de connaître plus finement la composition des horizons du sous-sol, une campagne de référence a été effectuée quelques semaines avant la réalisation des travaux de traitement de sol. Cette campagne est composée principalement de pénétromètres statiques avec mesure de la pression interstitielle (CPTu) sur une profondeur d'environ 35 m afin d'investiguer le sous-sol jusqu'aux « Argiles des Flandres ». Au final, ce sont plus de 270 CPTu (dont 80 par voie nautique) qui ont été réalisés selon des profils à 4 ou 6 CPT espacés de 40 m (figures 2 & 3).

9- Ateliers terrestres sur FDER et maritime sur DRUIO.

10- Vue d'un atelier terrestre en fonctionnement.

9- Land equipment on FDER and maritime equipment on DRUIO.

10- View of terrestrial equipment in operation.

Une série de carottages avec prélèvement d'échantillons a été réalisée. Des essais d'identification en laboratoire effectués sur les échantillons ont

permis de fiabiliser la caractérisation des divers horizons.

En corrélant les résultats obtenus des CPTu et des carottages, les modèles géotechniques ont été affinés et ont été utilisés par la suite pour la réalisation des calculs de stabilité des talus sous sollicitations sismiques.

Cette campagne a permis de confirmer et quantifier précisément 2 particularités qui ont entraîné une optimisation importante des travaux de traitement de sol :

→ NPLA1 / NPLA2 : L'épaisseur des horizons liquéfiables était plus faible que dans les parties courantes généralement de l'ordre de 20 m. Ce faisant, le temps nécessaire pour réaliser le traitement s'en trouve diminué et un gain (financier et sur le planning global) a pu en être tiré.

→ OPLA : Cette zone, initialement prévue pour être partiellement traitée

par voie maritime montrait une épaisseur de terrains liquéfiables bien plus faible (environ 4-5 m). De plus, étant donnée la géométrie du talus, il a été possible de remplacer les travaux de traitement de sol par une substitution des sols en place par un matériau insensible à l'eau et de bonne qualité géo-mécanique (du Tout Venant provenant des carrières du Boulonnais). Cette substitution présente l'avantage (autre financier) d'être moins sensible aux phénomènes climatiques (vent, vagues) et a permis de sécuriser le planning (figures 4, 5 & 6).

LES PLOTS D'ESSAI

Après réalisation de la campagne de référence, 2 plots d'essais ont été effectués. Chaque plot d'essai a consisté en la réalisation de quelques dizaines de points de traitement selon des maillages triangulaires variables (de 2,80 m à 4 m) en utilisant la technique qui semblait la mieux adaptée. Pour cela, les CPTu de la campagne de référence ont été analysés et les emplacements de chaque plot d'essai choisis pour être représentatifs de l'ensemble des futures zones de traitement. Au vu du comportement du sol lors de la pénétration de l'aiguille vibrante dans le sol, les débits et pression d'air et d'eau qui seront utilisés tant lors du forage que lors de la phase de traitement de sol ont été à ce stade définis.

À l'issue de ces plots d'essai, des sondages de type CPTu sont effectués dans les points de traitement et dans les emplacements situés en inter-maillage des points de traitement afin de s'assurer de l'efficacité du traitement. ▷



10

© PHOTOTEQUE ARCADIS


11

© HAPPY DAYS POUR GPMD

En comparant les résultats des CPTu de la campagne de référence avec les améliorations constatées, il a été possible de réaliser une « cartographie » du sous-sol montrant les horizons qui seront compactés en utilisant la technique du vibrocompactage seul et ceux nécessitant un traitement par vibrocompactage avec apport de matériaux (colonnes ballastées par méthode voie humide et top feed) (figure 8).

DÉROULEMENT DU CHANTIER, MATÉRIEL, CADENCES

ATELIER DE TRAITEMENT DE SOL
Chaque atelier de traitement de sol est constitué des éléments suivants :

- Grue à treillis type Liebherr HS 895 ;
- Aiguille vibrante électrique (V23) de 35 m de marque VibroServices ;
- Un générateur électrique qui alimente l'aiguille vibrante ;
- Pompe de lancement à haute pression qui permet d'alimenter l'aiguille vibrante en eau pour permettre une bonne pénétration dans le sol ;
- Compresseur, également indispensable pour assurer une bonne pénétration et un traitement du sol dans son ensemble ;
- Une chargeuse sur pneu pour approvisionner le ballast nécessaire pour la réalisation des colonnes ballastées (ballast de type 30-60 mm).

En termes de personnel, outre l'opérateur de grue et le conducteur de

chargeuse, une personne est affectée par atelier pour approvisionner le fuel, assister dans les déplacements de l'atelier etc...

TRAVAUX PAR VOIE TERRESTRE

La majeure partie des travaux se sont faits par voie terrestre (80 % de la surface) depuis une plateforme temporaire réalisée par refoulement hydraulique par le co-traitant mandataire SODRACO. À l'issue des travaux de traitement, cette plateforme est démantelée par la drague et refoulée en dehors du port en pleine mer. Au total, 3 ateliers ont été mobilisés pour permettre la réalisation des travaux dans la période impartie (figures 7, 9 & 10). Ces travaux se sont effectués en 2 postes, 5J/7, mobilisant plus de 40 personnes sur toute la durée du chantier.

TRAVAUX PAR VOIE MARITIME

Une zone sous le futur appontement se situe à un emplacement où la profondeur du fond marin s'est avérée trop importante pour pouvoir réaliser une plateforme terrestre. De ce fait, les travaux de traitement de sol se sont fait depuis des barges flottantes qui sont équipées d'ancres afin de pouvoir les stabiliser pendant les travaux (figure 11). Les fonds étaient cependant insuffisants pour garantir le tirant d'eau à toute heure de la marée. Une souille draguée y a été aménagée.

11- Vues des ateliers maritimes en fonctionnement.

11- Views of maritime equipment in operation.

Étant donné le marnage important (de l'ordre de 6 m selon les coefficients de marée), les équipements ont dû être prévus pour pouvoir fonctionner dans toutes les configurations possibles. Une instrumentation spécifique a été installée à bord des grues afin de pouvoir gérer en temps réel la position (X-Y-Z) de l'aiguille vibrante dans le sol. Au vu des délais, 2 ateliers ont été installés à bord de la barge principale et étaient alimentés depuis une barge auxiliaire à l'aide d'un convoyeur à bande. Par ailleurs, la zone en question se trouvait au niveau de l'entrée de l'avant port ouest, qui est particulièrement exposée aux vagues et la houle venant de l'ouest. En cas de mauvaises conditions, il était nécessaire de ramener les équipements à quai. La distance entre le quai d'embarquement et la zone de travail était conséquente (plusieurs km), ce qui a néces-

sité de rendre autonome l'installation à bord.

Le ballast nécessaire à la réalisation des colonnes ballastées était chargé à bord d'une barge auxiliaire depuis un quai et amené quasi quotidiennement sur la zone des travaux.

Ces travaux nécessitent une infrastructure assez lourde (35 personnes à temps plein) afin d'assurer une production en continu (7J/7, 24H/24) dans des conditions optimales.

DURÉE DES TRAVAUX

Les travaux se sont effectués sur une période totale de 10 mois. Les 2 premiers mois ont été consacrés à la réalisation des plots d'essai, à la campagne de référence ainsi qu'à la préparation et l'amenée des équipements maritimes. Les travaux maritimes ont duré 3 mois tandis que ceux par voie terrestre ont duré 8 mois. Au vu des avancements constatés, il a été décidé de mobiliser un troisième atelier ce qui a permis de terminer les travaux quelque peu en avance.

LES CONTRÔLES

Les contrôles ont été effectués à l'aide de 157 CPTu (dont 34 par voie nautique) qui étaient réalisés quelques semaines après les travaux afin de permettre aux pressions interstitielles de se dissiper (figure 12). Ces essais permettent de s'assurer que les critères

de compacité du sol sont conformes aux hypothèses des calculs effectués. Dans le cas où les critères ne sont pas atteints, une seconde phase de compactage était alors réalisée en inter maille des points déjà effectués. Une couche en particulier dans la zone traitée par voie maritime (DRUIO) a fait l'objet d'un traitement complémentaire inter-mailles car ses caractéristiques après la première phase n'atteignaient pas les spécifications requises en termes de sécurité vis-à-vis du potentiel de liquéfaction.

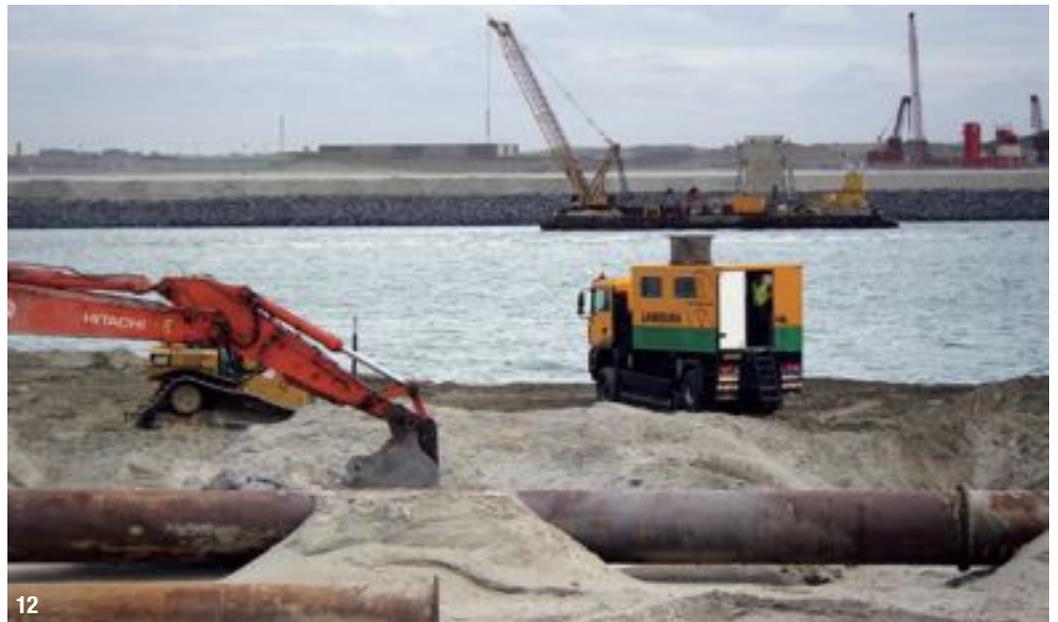
LES DIFFICULTÉS RENCONTRÉES

APPROVISIONNEMENT EN EAU

Les travaux de vibrocompactage ont nécessité des quantités journalières d'eau assez élevées (quelques dizaines de m³/h). Bien que ces travaux se situent en bordure de mer, il n'était pas possible de pomper l'eau directement car en fonction de la marée et dû au fait que la plage est très peu pentue (de l'ordre de 10/1), le front d'eau pouvait se situer parfois à plus de 500 m des zones de travail. Ainsi, il a fallu mettre en place un réseau de pointes filtrantes afin d'assurer un approvisionnement en continu des ateliers.

AGRESSIVITÉ DU SEL ET DU SABLE

Le chantier s'est déroulé en front de mer dans une zone connue pour ses conditions météorologiques capricieuses. Ainsi, des vents assez forts étaient fréquents et des coups de vents plus violents (de l'ordre de 130-140 km/h) ont été observés, rendant la tenue du chantier plus rude qu'à l'habitude. Le matériel a été mis à rude épreuve par le sel et le sable particulièrement fin. Des équipes mécaniques renforcées et des entretiens plus fréquents ont été indispensables au bon déroulement du chantier.



12
© PHOTOTÉQUE ARCADIS

12- CPT de contrôle au sein des travaux de refoulement.

12- Control CPT in discharge works.

DIFFICULTÉ DE FORAGE

Une zone en particulier présentait une couche de sable extrêmement compacte de plusieurs mètres située à 15 m de profondeur. Il fallait la traverser afin de traiter une couche liquéfiable sous-jacente. Ce phénomène a eu un impact considérable sur les productions et la décision de mobiliser un atelier additionnel a dû être prise afin de compenser cette baisse de cadence. Lors du franchissement de cette couche, les aiguilles vibrantes sont elles aussi sollicitées et leur usure prématurée. □

LES TRAITEMENTS EN QUELQUES CHIFFRES

SURFACE TRAITÉE (VIBROCOMPACTAGE ET COLONNES BALLASTÉES) : 9,0 ha

LINÉAIRE DE VIBROCOMPACTAGE : 170 000 m

LINÉAIRE DE COLONNES BALLASTÉES : 70 000 m

TERRAIN TRAITÉ PAR COLONNES BALLASTÉES : 590 000 m³

SONDAGES PÉNÉTROMÉTRIQUES : 426 pour 11 700 m au total

MONTANT DES TRAVAUX DE TRAITEMENT : 12,4 M€

DURÉE DES TRAVAUX DE TRAITEMENT : 8 mois

PRINCIPAUX INTERVENANTS POUR LES TRAVAUX D'INFRASTRUCTURE PORTUAIRE

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Grand Port Maritime de Dunkerque

MAÎTRISE D'ŒUVRE : ARCADIS

GROUPEMENT D'ENTREPRISES : SODRACO / COLAS / MENARD / BOUYGUES TPRF

COORDONNATEUR SPS : APAVE

ABSTRACT

STABILISATION OF PLATFORM EMBANKMENTS FOR THE DUNKIRK LNG TANKER TERMINAL

GEORGES BONFORT, MENARD - PHILIPPE GRAILLE, ARCADIS - FRÉDÉRIC CARON, GRAND PORT MARITIME DE DUNKERQUE

As part of maritime infrastructure development for the LNG Tanker Terminal for the contracting authority GPMD, it proved necessary to stabilise against seismic risk the undersea embankments on the edge of the platform of the terminal operated by Dunkerque LNG, of the EDF Group. The consolidation work, carried out by sea and land, spreads over an area of 9 hectares and down to depths of 26 m. It is based on vibratory compaction of the liquefiable horizons with or without the installation of ballasted columns. □

ESTABILIZACIÓN DE LOS TALUDES DE LA PLATAFORMA DE LA TERMINAL METANERA DE DUNKERQUE

GEORGES BONFORT, MENARD - PHILIPPE GRAILLE, ARCADIS - FRÉDÉRIC CARON, GRAND PORT MARITIME DE DUNKERQUE

En el marco del acondicionamiento de las infraestructuras marítimas de la Terminal Metanera, debido al riesgo sísmico, bajo la dirección de obra del GPMD, fue necesario estabilizar los taludes submarinos en la periferia de la plataforma de la terminal operada por Dunkerque LNG, Grupo EDF. La consolidación, realizada por vía marítima y terrestre, abarca una superficie de 9 hectáreas y profundidades de hasta 26 m. Se basa en la vibrocompactación de las zonas licuables con o sin la utilización de columnas de balasto. □



© SEFI-INTRAFOR

455 PLACES SOUTERRAINES AU CŒUR DU CENTRE HISTORIQUE NIÇOIS

AUTEUR : CHRISTOPHE ALLEMOZ, CHARGÉ D'AFFAIRES TRAVAUX, SEFI-INTRAFOR

PROPOSER DANS LE « VIEUX-NICE » UN PARKING POUVANT ACCUEILLIR LES RIVERAINS ET LES TOURISTES QUI FRÉQUENTENT CE QUARTIER POPULAIRE, TELLE EST LA FINALITÉ DU PROJET DU PARKING SULZER POUR L'AGGLOMÉRATION NICE CÔTE D'AZUR. POUR L'ENTREPRISE ADJUDICATRICE DU MARCHÉ, RAZEL-BEC, L'OBJECTIF ÉTAIT DONC DE CONSTRUIRE 6 NIVEAUX DE SOUS-SOL « EN TAUPE » EN 18 MOIS, EN MINIMISANT LES NUISANCES AU VOISINAGE, SUR UNE EMPRISE RESTREINTE DANS LE PROLONGEMENT DE LA PROMENADE DES ANGLAIS. SEFI-INTRAFOR S'EST VU CONFIER TOUS LES TRAVAUX DE FONDATIONS NÉCESSAIRES À L'ACCOMPLISSEMENT DU PROJET : JET GROUTING, PAROI MOULÉE, POTEAUX PRÉ-FONDÉS PROVISOIRES ET BUTONS.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU PROJET

L'emplacement du futur parking, situé quai des États-Unis, résume à lui seul l'envergure des travaux. De nombreux projets d'aménagement engagés par la ville à proximité du chantier ont généré la fermeture du Parc Auto du Paillon

début 2012. Pour compenser cette capacité d'accueil déficiente, la municipalité a opté pour la place Sulzer, afin d'édifier un parking souterrain indispensable à la vie du quartier (figure 2). Le Maître d'Ouvrage, Interparking, agissant par délégation de Service Public par la Communauté Urbaine de

Nice Côte d'Azur, en assure le financement et l'exploitation à partir du 2^e semestre 2013.

Au final, l'infrastructure sera recouverte d'un espace vert. Ce parc, en harmonie avec l'urbanisme environnant, sera un axe privilégié pour se rendre de la plage au centre-ville.

L'emprise du chantier, d'environ 50 mètres par 50, avec un dénivelé de -2 mètres du sud au nord, se délimite de la manière suivante :

→ Au sud, le quai des États-Unis avec ses 2 x 2 voies qui séparent le chantier de la plage.

→ Au nord, la rue piétonne Saint Fran-

- 1- Forage de la paroi moulée contre le mitoyen - À l'arrière plan, équipement du ferrailage entre les bracons du contrefort.
- 2- Plan de situation du projet.
- 3- Présentation du projet.

- 1- Diaphragm wall drilling against the adjoining structure - In the background, equipment for reinforcing bars between buttressing stays.
- 2- Location drawing of the project.
- 3- Overview of the project.



© VILLE DE NICE

çois de Paule, prisée des promeneurs, avec en face de l'emprise, la Mairie.

→ À l'ouest, l'étroite rue Sulzer, condamnée en partie par les installations de chantier.

→ À l'est, des mitoyens composés d'immeubles anciens.

Aucune restriction de circulation sur le Quai des États-Unis n'a été accordée par la municipalité qui souhaitait garder les 2 voies de circulation. Hormis une partie de la rue Sulzer et le trottoir Quai des États-Unis, le chantier s'est donc organisé pour s'installer dans

les limites définies par l'emprise de chantier.

La volonté de la ville de respecter ses engagements auprès de ses concitoyens quant à la mise en service de ce parking, notamment en termes de délais, ont conduit à définir un planning continu de travaux. Cette disposition, indispensable à la vie économique du chantier, a occasionné une gestion particulière du flux de piétons pendant les périodes festives et estivales.

La solution technique retenue, terrassement en taupe à l'abri d'une paroi

moulée, est issue d'une conception initiée par Razel-Bec avec une profondeur de terrassement de près de 20 mètres côté quai des États-Unis. Si la solution d'un terrassement à ciel ouvert entre les parois moulées n'était guère envisageable, il n'en demeure pas moins que l'impact visuel des travaux s'en trouve par conséquent, minimisé vis-à-vis des riverains (figure 3).

LES TRAVAUX PRÉALABLES

Les travaux ont officiellement démarré le 2 janvier 2012 par la prise de pos-

session du terrain. Sur le tracé de la paroi moulée, une œuvre monumentale métallique de 30 mètres de haut a dû être déplacée.

En parallèle de cette opération, les sondages à la pelle mécanique ont révélé l'existence de nombreux vestiges qu'il a fallu purger.

Réaliser ces travaux pendant les festivités du Carnaval de Nice ont également compliqué l'avancement programmé du chantier, qu'il a fallu gérer en fonction des fermetures du quai des États-Unis à la circulation.



DÉPLACEMENT DE L'ŒUVRE

Cette sculpture, les Neuf Lignes Obliques, œuvre de Bernar Venet, artiste niçois, symbolise le 150^e anniversaire du rattachement de Nice à la France, et mesure près de 30 mètres de haut pour un poids de près de 60 tonnes.

La paroi moulée ne pouvait se faire sans son déplacement. Le jour programmé, une grue mobile de 300 tonnes a déplacé l'œuvre de quelques mètres en l'enlevant de l'emprise du chantier pour la poser sur le terre-plein central du quai des États-Unis, fermé à la circulation pour l'occasion, où elle a trouvé sa place définitive (figure 4).

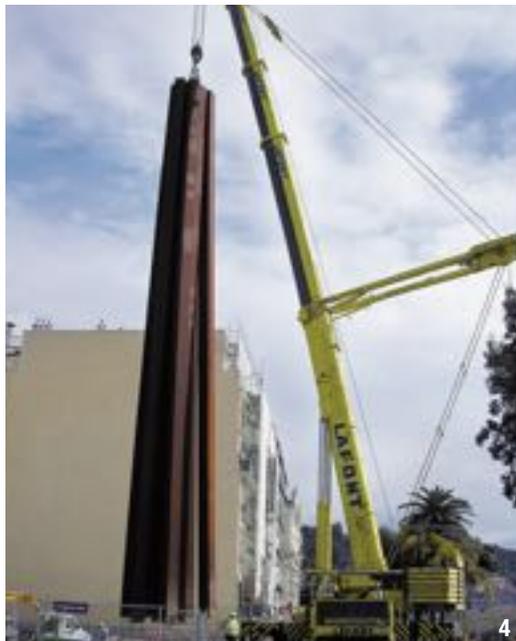
PURGES RUE SULZER CÔTÉ OUEST

Sur le tracé de la paroi moulée, tout le long de la rue Sulzer, à 1 mètre sous la chaussée, les vestiges d'une ancienne galerie de 2 mètres de diamètre, constituée de maçonneries, ont été découverts.

Pour permettre le forage de la paroi moulée, nous avons purgé entièrement cet ouvrage, puis remblayé la fouille en grave-ciment dosée à 3% de ciment. Cette opération s'est faite par plots de 10 mètres de long pour éviter d'affouiller les terrains en place.

PURGES RUE SAINT FRANÇOIS DE PAULE ET QUAI DES ÉTATS-UNIS CÔTÉS NORD ET SUD

Sur ces deux artères, nous avons découvert en lieu et place de la paroi moulée un ancien mur de 1,20 à 1,50 mètres de large pour 4 mètres de profondeur côté rue Saint François de Paule et 6 mètres côté quai des États-Unis, compte tenu du dénivelé entre les deux rues. Nous avons utilisé la même



méthodologie que précédemment en procédant par plots successifs, mais dans le cas du quai des États-Unis, des blindages « grande profondeur » ont été loués.

En effet, sous le trottoir côtoyant les purges, les remblais en tête étaient extrêmement bouillants avec nombre de concessionnaires, dont le gaz.

Il était impératif de blinder la fouille, afin de ne pas déstructurer les couches de terrains entourant les réseaux au droit de ces fouilles et de pouvoir remblayer dans de bonnes conditions de sécurité (figure 5).

SONDAGES LE LONG DES MITOYENS CÔTÉ EST

Sur le dernier côté de l'ouvrage, le long des mitoyens, les sondages ont mis en

4- Déplacement de la sculpture.

5- Purge de l'existant par plots - Vue de la tenue de la grave ciment du plot précédent.

6- Extrait du phasage de la reprise du contrefort.

4- Moving the sculpture.

5- Removal of the existing structure by sections - View of the resistance of the cement treated base material of the previous section.

6- Excerpt of work sequencing for buttress underpinning.

évidence des débords de fondations à 3 mètres de profondeur.

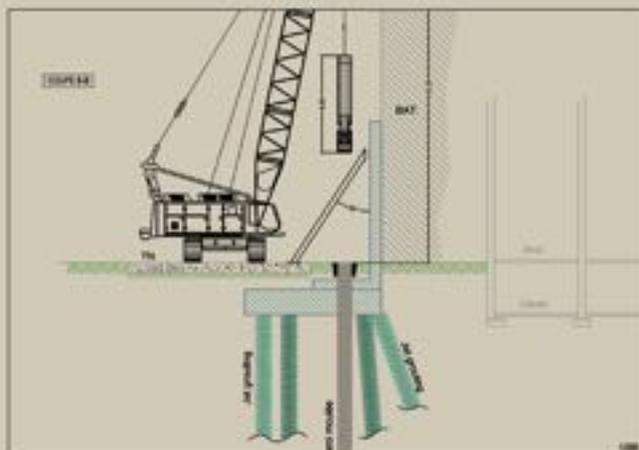
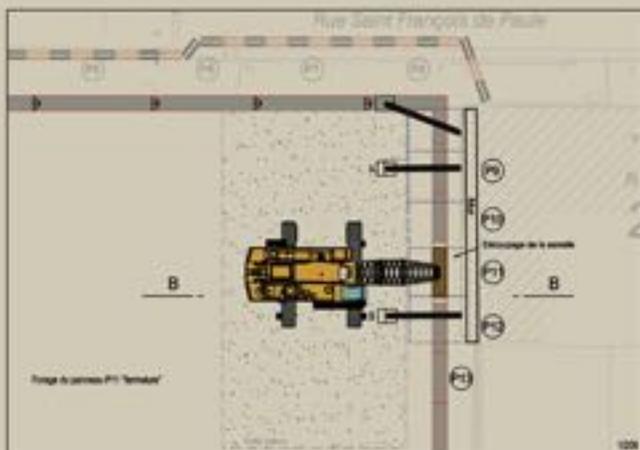
Ces bâtiments étant très sensibles aux vibrations en raison de leur « grand âge », nous avons décalé la paroi moulée de 50 cm pour échapper à ces excroissances.

LES TRAVAUX DE CONFORTEMENT - UN CHANTIER DANS LE CHANTIER

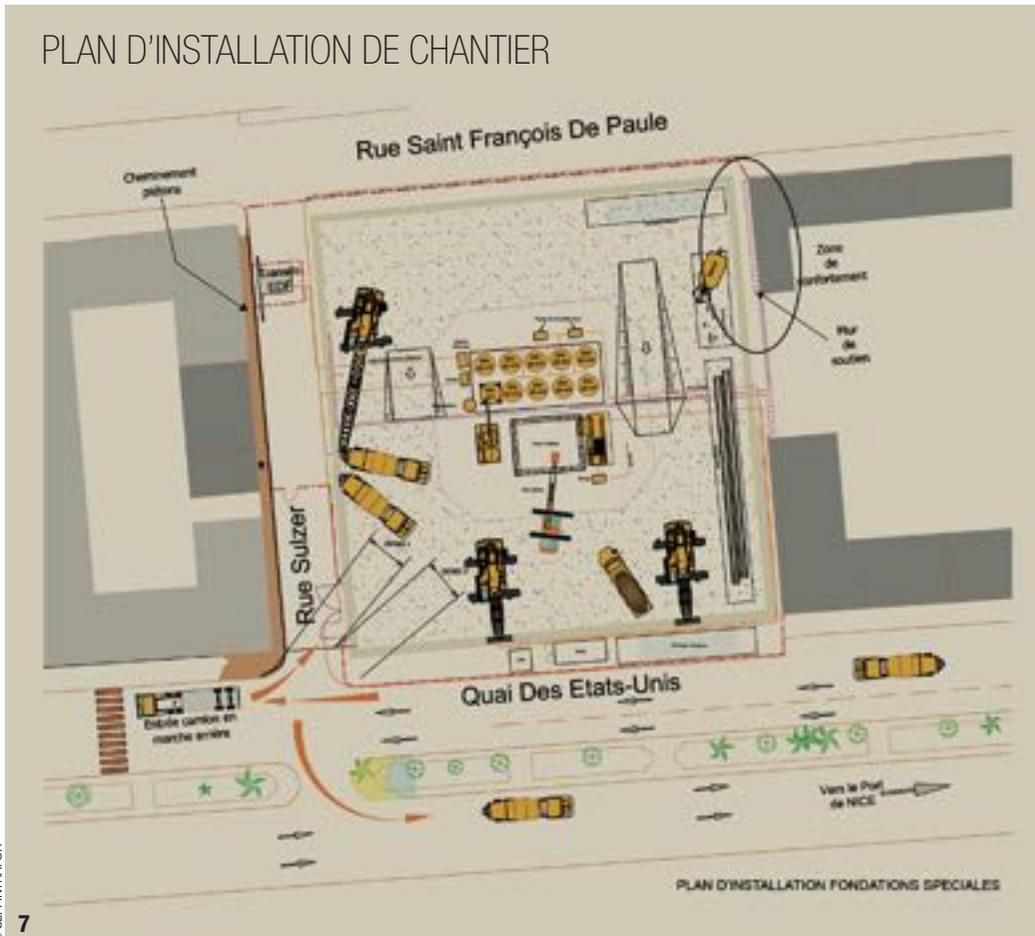
Nous avons évoqué plus avant la présence d'immeubles mitoyens.

Ces bâtiments pittoresques, emblématiques du « Vieux-Nice », doivent faire l'objet d'une surveillance particulière lorsque des travaux de grande ampleur sont effectués à proximité. Dans l'angle nord-est du projet, le pignon de l'im-

EXTRAIT DU PHASAGE DE LA REPRISE DU CONTREFORT



PLAN D'INSTALLATION DE CHANTIER



meuble mitoyen a retenu toute notre attention.

Déjà fragilisé par des travaux au cours des décennies précédentes, le pignon est tenu par un contrefort en béton armé en « L ».

La semelle en béton armé du « L » repose sur un massif également en béton armé. Cet ouvrage dépend directement de la Communauté Urbaine de Nice Côte d'Azur.

Le tracé de la paroi moulée traverse ces deux structures.

Une solution palliative, permettant de maintenir ce contrefort pendant la phase « paroi moulée », a été mise au point en concertation avec les parties impliquées (figure 6).

Pour maintenir l'assise du contrefort de part et d'autre de la paroi moulée, 34 colonnes de Jet Grouting de 1 mètre de diamètre ont été réalisées sous la semelle de l'ouvrage de confortement.

Vue en plan, sur la longueur du mur de confortement, le panneautage de la paroi moulée a été aménagé pour ne réaliser que des panneaux unitaires de 2,80 mètres (largeur de l'outil de forage) afin de ne pas décompresser les terrains en place et de minimiser les temps de forage.

En fonction de ce panneautage, 3 bracons inclinés à 33° ont été installés pour maintenir le contrefort.

Selon l'ordre de réalisation des panneaux, ces bracons sont déplacés de manière à toujours soutenir le contrefort et permettre le forage du panneau suivant tout en tenant compte de la cinématique de la grue de forage et de l'accès au bétonnage (figure 1).

Les travaux de Jet Grouting se sont déroulés en amont des travaux de paroi moulée.

Une surveillance, à l'aide d'une instrumentation asservissant la pompe d'injection en fonction des soulèvements, a été déployée au droit des colonnes de Jet Grouting mises en œuvre. ▷

7- Plan d'installation de chantier.

8- Un site optimisé.

7- Site layout plan.

8- An optimised site.





9

© SEFH-INTRAFOR

LES TRAVAUX DE PAROI MOULÉE

C'est l'ouvrage principal de notre marché de fondations spéciales.

Il s'agit d'une enceinte périmétrique de 50 mètres de côté environ, donc un linéaire de 200 m pour une profondeur de 37 mètres côté quai des États-Unis. Cette phase s'est déroulée de mi-avril à début juillet 2012.

Les épaisseurs de paroi moulée sont de 82 cm pour la zone nord (rue Saint François de Paule) et de 102 cm (côté quai des États-Unis) réparties à 50/50.

LES MOYENS - GRUES ET INSTALLATIONS

L'installation de la centrale à boue se situait au centre du chantier, sur 2 plates-formes d'altimétrie différente. La gestion des 2 mètres de dénivelé se faisant par le biais de 2 rampes (figure 7).

Pour résoudre l'équation du planning, nous avons réalisé la paroi moulée avec 2 grues de forages équipées de bennes à câbles.

Cette accumulation d'engins sur la plate-forme exigüe a demandé une organisation quotidienne stricte des approvisionnements et du phasage de réalisation des panneaux (figure 8).

→ Centrale à boue d'une capacité de stockage de 600 m³ devant permettre l'alimentation en boue des 2 grues de forage.

→ Coffrage des joints water-stop d'une longueur de 30 ml.

9- Déplacement de la grue de forage - Bétonnage d'un panneau.

10- Équipement du ferrailage d'un panneau le long du Quai des États-Unis.

9- Movement of the drilling crane - Concreting a panel.

10- Fitting reinforcing bars for a panel along Quai des États-Unis.

→ Grue de manutention sur chenilles, de 100 tonnes avec 40 m de flèche.

→ 2 grues de forage LIEBHERR 853 équipées de benne à câbles.

→ 2 camions sous benne pour l'évacuation des déblais vers la fosse de stockage.

→ 1 pelle pour la gestion des déblais.

OBLIGATIONS CONTRACTUELLES

Toujours dans l'optique de ménager les riverains, le marché imposait des horaires de travail de 7h à 20h, peu compatibles avec des travaux de paroi moulée, d'où les 2 grues de forage

pour bétonner un panneau par jour. L'entrée de chantier était également imposée, comme le montre le plan d'installation, avec une entrée des camions en marche arrière. Cette pratique a nécessité le poste permanent « d'hommes trafic » pour canaliser les piétons qui empruntaient le trottoir de la

rue Sulzer et gérer la circulation au droit de cette entrée.

Les plus grands panneaux avaient un volume de 300 m³ : entre les « toupies béton », les évacuations de déblais et les livraisons d'armatures, nous avions entre 80 et 100 camions/jours. Une cadence de production très



10

© SEFH-INTRAFOR



© SEFI-INTRAFOR

11

11- Préparation de l'estacade pour le terrassement en taupe - Aperçu des butons d'angle.

12- Forage des pieux / poteaux pré-fondés au travers de maçonneries existantes.

13- Équipement d'un poteau pré-fondé à l'abri d'un tubage.

11- Preparation of the structure for underground earthworks - Glimpse of the angle stays.

12- Drilling piles / drilled-shaft columns through existing masonries.

13- Fitting a drilled-shaft column sheltered by tubing.

contraignante en période estivale (figures 9 et 10). La ville imposait également un itinéraire camions, puisque la « Promenade des Anglais » leur était interdite.

Le passage par le Port de Nice était une obligation en venant de la voie rapide, même parcours pour le retour.

LE CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Contrairement à d'autres sites à la géologie bouleversée dans le secteur de Nice, nous avons trouvé des couches de terrains homogènes, malgré quelques bancs durs rencontrés épisodiquement.

La décomposition est la suivante :

→ De 0 à 5 mètres de profondeur : des remblais.

→ De 5 à 17 mètres : des galets et sables moyens.

→ De 17 à 37 mètres : des sables argileux grossiers graveleux.

La nappe phréatique en phase chantier se situe à 6 m de profondeur.

LE PHASAGE DES PAROIS MOULÉES

L'enjeu essentiel de la réussite du chantier résidait dans le phasage de réalisation des panneaux. Il fallait tout à la fois :

→ Occuper une grue de forage équipée de benne à câbles sur la paroi en épaisseur 82 cm.

→ Occuper une grue de forage équipée de benne à câbles sur la paroi en épaisseur 102 cm.

→ Réceptionner les armatures (préfabriquées à l'extérieur du chantier) dès 7h du matin, puisque la place disponible sur le site permettait seulement de réceptionner les cages prévues pour le coulage du jour. En raison des horaires imposés, nous avons également des cages de grandes largeurs pour minimiser le temps de mise en place. Ces armatures étaient acheminées chaque matin par convois exceptionnels de 1^{ère} catégorie.

→ Gérer la réalisation des panneaux au droit du contrefort.

→ Optimiser les livraisons de béton en fonction des horaires, sachant qu'un groupement de fournisseurs béton nous desservait. Ce groupement avait été constitué suite :

- à leur charge de travail sur la région niçoise, avec des centrales béton disponibles à partir de 16h ;
- à l'itinéraire imposé ;
- aux volumes des panneaux ;
- à la circulation au droit du chantier ;
- à l'éloignement des centrales béton. ▷



© SEFI-INTRAFOR

12



13

LE PHASAGE FONDATIONS - GÉNIE CIVIL

La coordination des bureaux d'études a permis de conclure un phasage précis qui se décomposait comme suit :

- 1- Reprise par Jet Grouting du mur de confortement.
- 2- Réalisation de la paroi moulée.
- 3- Réalisation des poteaux pré-fondés métalliques provisoires.
- 4- Terrassement à ciel ouvert pour la dalle du -1 avec pose des butons.
- 5- Coulage dalle -1.
- 6- Terrassement en taube pour coulage plancher -3 avec soutien par pré-fondés provisoires.
- 7- Coulage plancher -3.
- 8- Terrassement en taube pour coulage plancher -5 avec soutien par pré-fondés provisoires.
- 9- Coulage plancher -5.
- 10- Terrassement en taube pour coulage radier -6 avec soutien par pré-fondés provisoires.
- 11- Coulage radier du niveau -6.
- 12- Poteaux niveaux -6, -5 et -4.
- 13- Coulage plancher -4.
- 14- Poteaux niveaux -3 et -2.
- 15- Coulage plancher -2.
- 16- Retrait des poteaux pré-fondés provisoires de tous les étages.

En parallèle des terrassements, pose des butons et rabotage de la paroi moulée (figure 11).

L'extraction des matériaux au cours des terrassements se faisait par l'intermédiaire de trémies aux niveaux -1, -3 et -5, trémies qui étaient également butonnées.



14

© SEFI-INTRAFOR

LES POTEAUX PRÉ-FONDÉS

Pour les poteaux pré-fondés, Sefi-Intrafor a sous-traité ces travaux à Franki Fondation, entité de Fayat Fondations, spécialisée dans la réalisation de pieux de soutènement ou de fondations quelle que soit la méthodologie préconisée.

Pour notre chantier, la technique consistait à forer un pieu sous boue à l'abri d'un tubage provisoire.

Lorsque la profondeur de forage était atteinte (27 mètres en moyenne), un tube métallique d'un diamètre inférieur

14- Des moyens mutualisés.

15- Aperçu des poteaux pré-fondés pendant les terrassements en taube.

14- Pooled resources.

15- Glimpse of the plunge in columns during under-ground earth-works.

au forage était mis en place dans le forage.

Le pied de ce poteau était bétonné dans la foulée, à l'aide d'un tube plongeur, après son calage en tête.

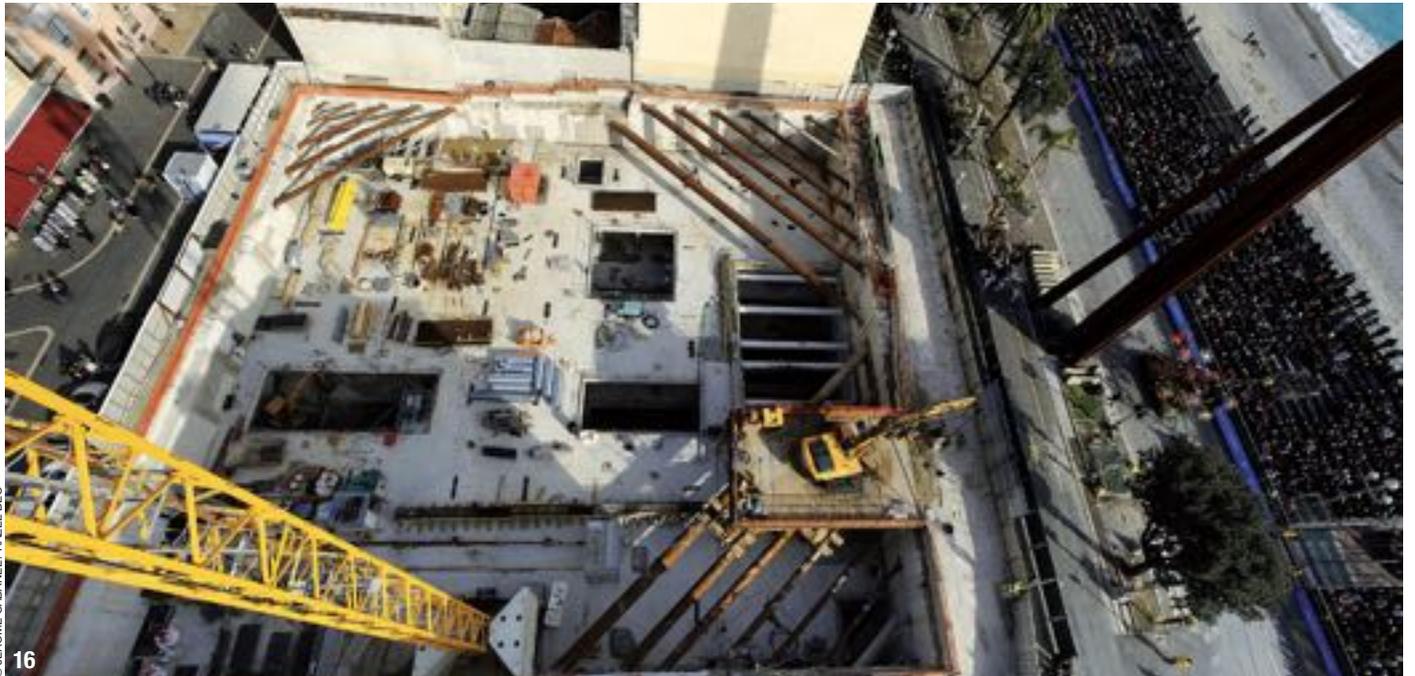
Le tubage provisoire était ensuite retiré le lendemain après avoir pris soin de remplir l'espace annulaire avec un matériau noble (figures 12 et 13).

Pour des raisons d'optimisation, Franki Fondation a gardé l'installation de centrale à boue et la grue de manutention de 100 tonnes mises en place par Sefi-Intrafor (figure 14).



15

© JÉRÔME CABANEL / RAZEL-BEC



© JÉRÔME CABANEL / RAZEL-BEC

16

36 poteaux pré-fondés métalliques provisoires de 500 à 600 mm ont ainsi été posés entre juillet et août 2012 (figure 15).

CONCLUSION

Depuis, Razel-Bec a pris possession totale de l'emprise du chantier pour le

16- Vue générale de la fouille pendant le Carnaval de Nice en février 2013.

16- General view of excavations during the Nice Carnival in February 2013.

terrassement et le génie civil. En juin 2013, l'ouvrage offrira 2 500 m² de places de stationnement sur 6 niveaux de sous-sol. Ce nouveau parking répond aux besoins de la collectivité dans un cadre touristique très fréquenté. Les acteurs de ce projet de 18,6 M€ ont répondu aux attentes de

la ville en matière de sensibilisation des riverains. Les infrastructures, coiffées par l'Esplanade Sulzer, se devineront au travers de l'entrée du parking ou des édicules de sortie. Ce chantier, atypique dans sa construction, a été réalisé sur 18 mois avec vue sur la « Baie des Anges » (figure 16). □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- MAÎTRE D'OUVRAGE :** Déléataire de Service Public : Interparking
- MAÎTRE D'ŒUVRE :** Jean-Michel Battesti Architectes et associés
- MAÎTRE D'ŒUVRE GÉOTECHNIQUE :** Sols-Essais
- BUREAU DE CONTRÔLE :** Apave
- COORDINATEUR SPS :** Degaine Ingeniering
- ENTREPRISE DE GÉNIE CIVIL :** Razel-Bec Agence de Carros
- ENTREPRISE DE FONDATIONS :** Sefi-Intrafor avec Franki Fondation en sous-traitance pour les poteaux pré-fondés

PRINCIPALES QUANTITÉS

- REMBLAI EN GRAVE-CIMENT :** 2 000 m³ (Razel-Bec)
- JET GROUTING :** 34 colonnes de 20 m
- PAROI MOULÉE :** 6 600 m² de forage (50% en 82 cm et 50% en 102 cm), 7 000 m³ de béton, 600 t d'armatures
- POTEAUX PRÉ-FONDÉS MÉTALLIQUES PROVISOIRES :** 36 unités de 27 m, forage de 1 000 à 1 200 mm (Franki Fondation)
- BUTONS :** 50 t
- VOLUME DE TERRASSEMENT :** 48 000 m³ (Razel-Bec)

ABSTRACT

455 UNDERGROUND PARKING SPACES IN THE HEART OF THE HISTORICAL CENTRE OF NICE

CHRISTOPHE ALLEMOZ, SEFI-INTRAFOR

The Sulzer car park project aims to provide the old centre of Nice with a parking lot that can receive nearby residents and the tourists who visit this popular district of the Nice Côte d'Azur urban area. For the contractor awarded the contract, Razel-Bec, the aim was therefore to build six basement levels by underground earthworks in 18 months, while minimising nuisances in the neighbourhood, on a restricted land area which is an extension of the "Promenade des Anglais". Sefi-Intrafor was awarded all the foundation works necessary for project performance: jet grouting, diaphragm wall, temporary columns cast in drilled shafts, and shoring. □

455 PLAZAS DE APARCAMIENTO SUBTERRÁNEAS EN PLENO CENTRO HISTÓRICO DE NIZA

CHRISTOPHE ALLEMOZ, SEFI-INTRAFOR

Proponer en el "casco antiguo de Niza" un parking que pueda acoger a los vecinos y a los turistas que frecuentan este barrio popular es la finalidad del proyecto del parking Sulzer para la aglomeración urbana Niza Costa Azul. Así pues, para Razel-Bec, la empresa adjudicataria del contrato, el objetivo era construir 6 niveles de subsuelo "en topo" en 18 meses, minimizando las molestias a los vecinos, en un terreno limitado en la prolongación del Paseo de los Ingleses. Se han confiado a Sefi-Intrafor todas las obras de cimientos necesarias para la realización del proyecto: Jet Grouting, muro pantalla, postes precimentados provisionales y codales. □



1

© PORTS DE PARIS-LES 4 VENTS

RÉHABILITATION DE 340 TIRANTS ACTIFS AU PORT DE LIMAY

AUTEURS : JOSEPH DJOBEIR, TECHNICO-COMMERCIAL, DSI-ARTÉON - LAURENT EXBRAYAT, RESPONSABLE GÉOTECHNIQUE, DSI-ARTÉON - JEAN PICHON, RESPONSABLE D'OPÉRATIONS, PORTS DE PARIS

DANS LE PORT DE LIMAY-PORCHEVILLE (YVELINES), 340 TIRANTS D'ANCRAGE ACTIFS DATANT DE 1982 ONT ÉTÉ RÉHABILITÉS AU LIEU DE LES CHANGER, POUR UN COÛT QUATRE FOIS MOINDRE. CETTE PREMIÈRE A NÉCESSITÉ UN DIAGNOSTIC APPROFONDI, DES INVESTIGATIONS POUSSÉES, DES ESSAIS ET CALCULS, AVANT DE LANCER LE CHANTIER À GRANDE ÉCHELLE.

Une réhabilitation aussi poussée de tirants d'ancrage, c'est une première pour Ports de Paris et pour DSI-Artéon, spécialiste en précontrainte et géotechnique, société française du groupe Dywidag-Systems International connu pour sa gamme de systèmes de renforcement et d'ancrages. Pas moins de 340 tirants actifs viennent d'être remis aux normes et pérennisés sur la plate-forme multimodale de Limay-Portcheville (Yvelines) en bordure de Seine, à proximité de Mantes-la-Jolie (figure 2).

La construction du premier quai du port, en palplanches avec tirants, remonte à 1982. Les *Recommanda-*

tions concernant le calcul, l'exécution et le contrôle des tirants d'ancrage applicables à l'époque dataient de 1977. En 1995, elles ont été modifiées par le Comité français de mécanique des sols et des travaux de fondations et sont connues aujourd'hui sous l'appellation TA 95. Les prescriptions relatives à la protection contre la corrosion ont alors été renforcées. Les règles de calcul des longueurs de scellement ont également évolué.

Le maître d'ouvrage, après avoir constaté des défaillances du système d'ancrage sur certains quais du port, décide en 2010 de faire réaliser un diagnostic approfondi. Le rapport remis

1- Plate-forme portuaire multimodale de Limay-Portcheville, la troisième en importance gérée par Ports de Paris.

1- Limay-Portcheville multimodal port platform, the third largest managed by Ports de Paris.

par DSI-Artéon confirme le mauvais état de certains tirants - 13 cassés et de la corrosion sur de nombreuses têtes. En 2011, une méthode d'analyse est mise au point et une procédure de réparation des têtes de tirants est appliquée sur quelques-unes. En 2012, sont lancés des travaux à grande échelle, sur 340 tirants. L'objectif de Ports de Paris est de pérenniser l'ouvrage et de faire face en toute sécurité à l'accroissement du taux d'utilisation de l'avant-bec de l'entrepôt A4 et du transfert de granulats de la voie ferrée vers le fleuve. Il a besoin de s'assurer que le terre-plein supporte bien une surcharge de 6 tonnes par mètre carré (figure 3).

ANOMALIES VISIBLES À L'ŒIL NU

En 2010, les anomalies sont visibles à l'œil nu à l'entrée du port sur le quai nord du canal de rejet de la centrale EDF de Porcheville et sur le quai ouest de la darse : arbustes qui poussent entre palplanches à l'endroit des barres (figure 4), têtes tombées ou très rouillées (figure 5). Il n'existe aucune cellule de contrôle de tension sur le quai ouest de la darse alors que les recommandations de 1995 le préconisent désormais. Sur ce quai, la tension d'un tirant sur deux est alors contrôlée et rehaussée à 38 tonnes (tension résiduelle) là où elle s'avère insuffisante. Certaines têtes n'ayant pas supporté l'opération, la remise en tension est interrompue. La première vérification par DSI-Artéon sur 157 tirants révèle que 28 tirants seulement ont pu être rétablis à une tension de 38 tonnes, 12 sont cassés, les autres se trouvant

2- Le quai ouest est celui de la partie gauche de la darse. Le quai nord du canal de rejet de la centrale EDF se trouve sur le petit bras parallèle à la Seine à droite de l'entrée du port.

2- The western pier is in the left-hand part of the dock. The northern pier of the EDF power station's discharge channel is located on the small arm parallel to the Seine on the right-hand side of the port entrance.

à une tension inférieure à 38 tonnes (figure 6). La stabilité du quai est alors étudiée par Fondasol qui assiste techniquement le maître d'ouvrage. Il en ressort que la surcharge admissible de 6 tonnes/m² au départ, baisse à 3 tonnes en cas de rupture d'un tirant et tombe à 0 avec deux tirants consécutifs hors d'usage. Le bureau d'études détermine que la tension résiduelle à appliquer sera de 30 tonnes, la tension de service, de 40 tonnes (sous la charge), et la tension d'essai de 50 tonnes afin de tester la résistance de l'ancrage, scellement inclus.

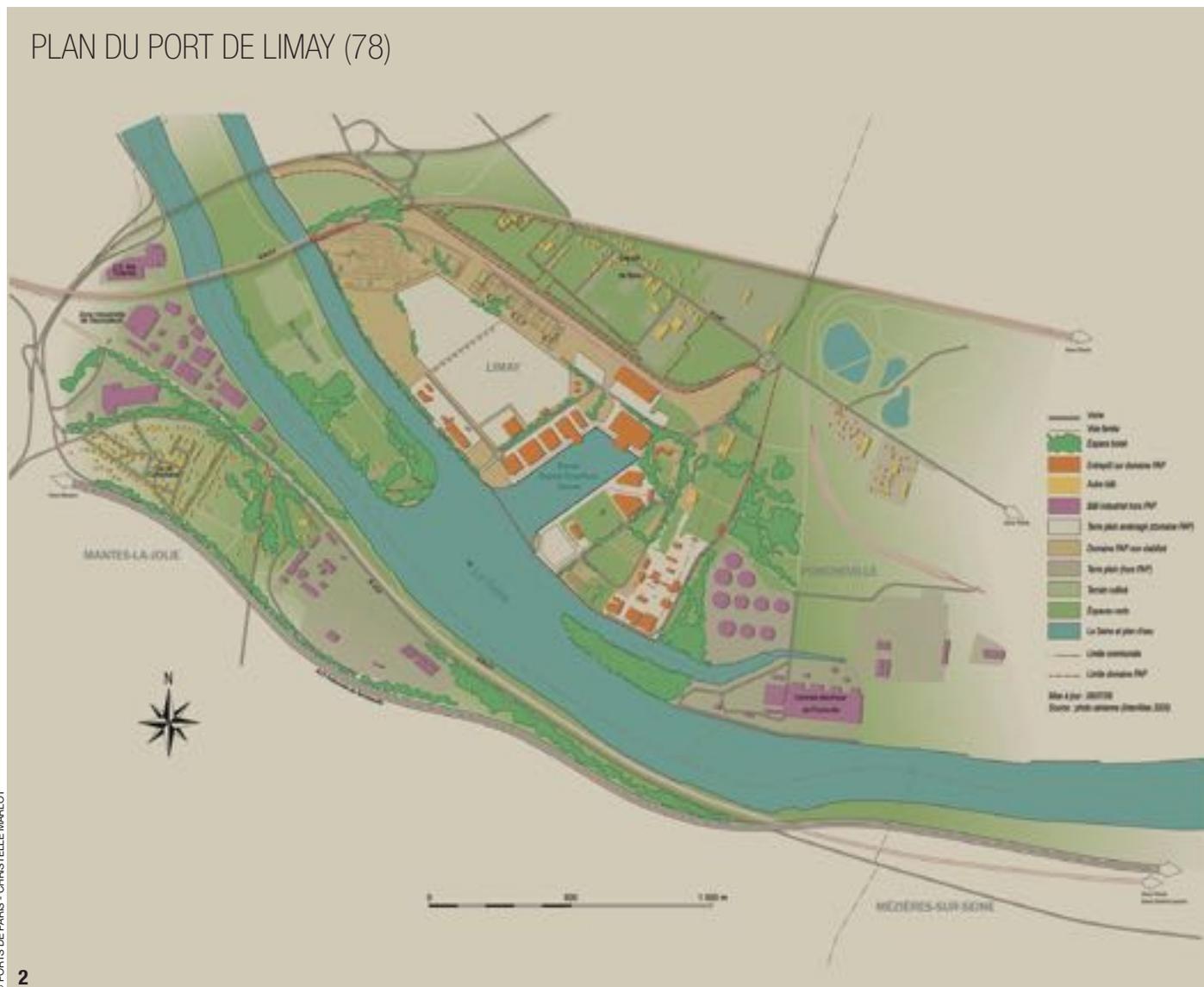
FROTTEMENT PALPLANCHE-TIRANT ET FLÉCHISSEMENT DE LA BARRE

Début 2011, Ports de Paris procède à une inspection visuelle générale des deux quais et répertorie les tirants. Au total, il dénombre 23 tirants cassés. Il commande alors une seconde

mission à DSI-Artéon pour la mise au point d'une méthode d'investigation et de réparation sur un échantillon de six tirants du quai ouest dont un à tête cassée. Lors du test sur ce dernier, il est apparu qu'il était en contact avec la palplanche. Ce frottement, qui a pu précipiter sa dégradation, témoigne d'un fléchissement de la barre dû au tassement du remblai. Cette hypothèse a été confirmée au stade suivant de la réhabilitation.

À mi-2011, les douze tirants cassés restants sur le quai ouest et celui du quai nord sont réparés par les sociétés EMCC et DSI-Artéon (sous-traitante). C'est l'occasion d'approfondir les observations. Les têtes, en l'absence de protection P2 recommandée dans les TA 95, sont fragilisées par la corrosion. Les ancrages ne sont pas remis en cause à ce stade, sauf dans un cas où une rupture à 1 m de la tête est constatée. ▷

PLAN DU PORT DE LIMAY (78)



TRAVAIL À PLUSIEURS ÉQUIPES SUR LE PONTON

Fort des informations recueillies lors des deux premières phases, le maître d'ouvrage lance un appel d'offres en 2012 pour le remplacement des têtes et la remise en tension des 331 tirants non traités sur le rideau de palplanches du quai ouest et des 9 cassés restants sur celui du quai nord. L'espacement entre tirants est de 1 m. Le chantier, confié à Grands Travaux Spéciaux (GTS), mandataire, avec DSI-Arteon cotraitante, se plie à plusieurs contraintes. Le port reste en exploitation, d'où une intervention par tronçon de quai afin de ne pas perturber l'activité. Les têtes de tirants doivent rester hors d'eau, ce qui implique de travailler en période de basses eaux du fleuve. Le chantier va durer quatre mois de juillet à fin octobre 2012.

Pour tenir les délais, il fallait trouver un moyen de travailler rapidement, à plusieurs équipes. Recourir à une nacelle comme au premier stade du diagnostic ou à un bateau unique comme utilisé par EMCC lors de la réparation des tirants cassés en 2011, ne permettait pas d'obtenir une cadence suffisante pour 340 tirants.

3- Le Port Autonome de Paris constate des défaillances sur ses quais visibles à l'œil nu.

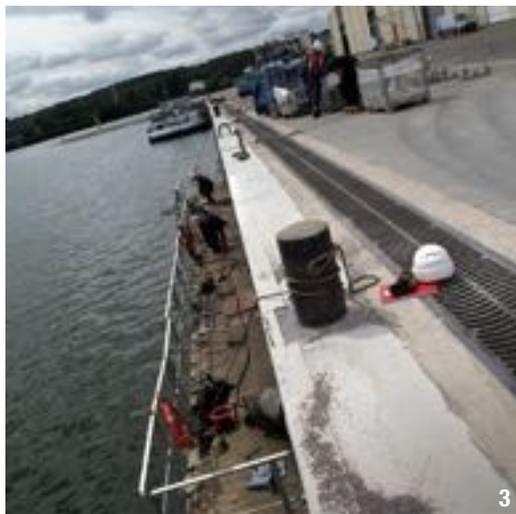
4- Des arbustes ont poussé à l'endroit des tirants.

5- Des tirants sont en mauvais état, corrodés ou à tête cassée.

3- Port Autonome de Paris detects failures on its piers that are visible to the naked eye.

4- Shrubs have grown at the location of the tie anchors.

5- Some tie anchors are in poor condition, corroded or with a broken head.



3



4



5a



5b



5c



5d

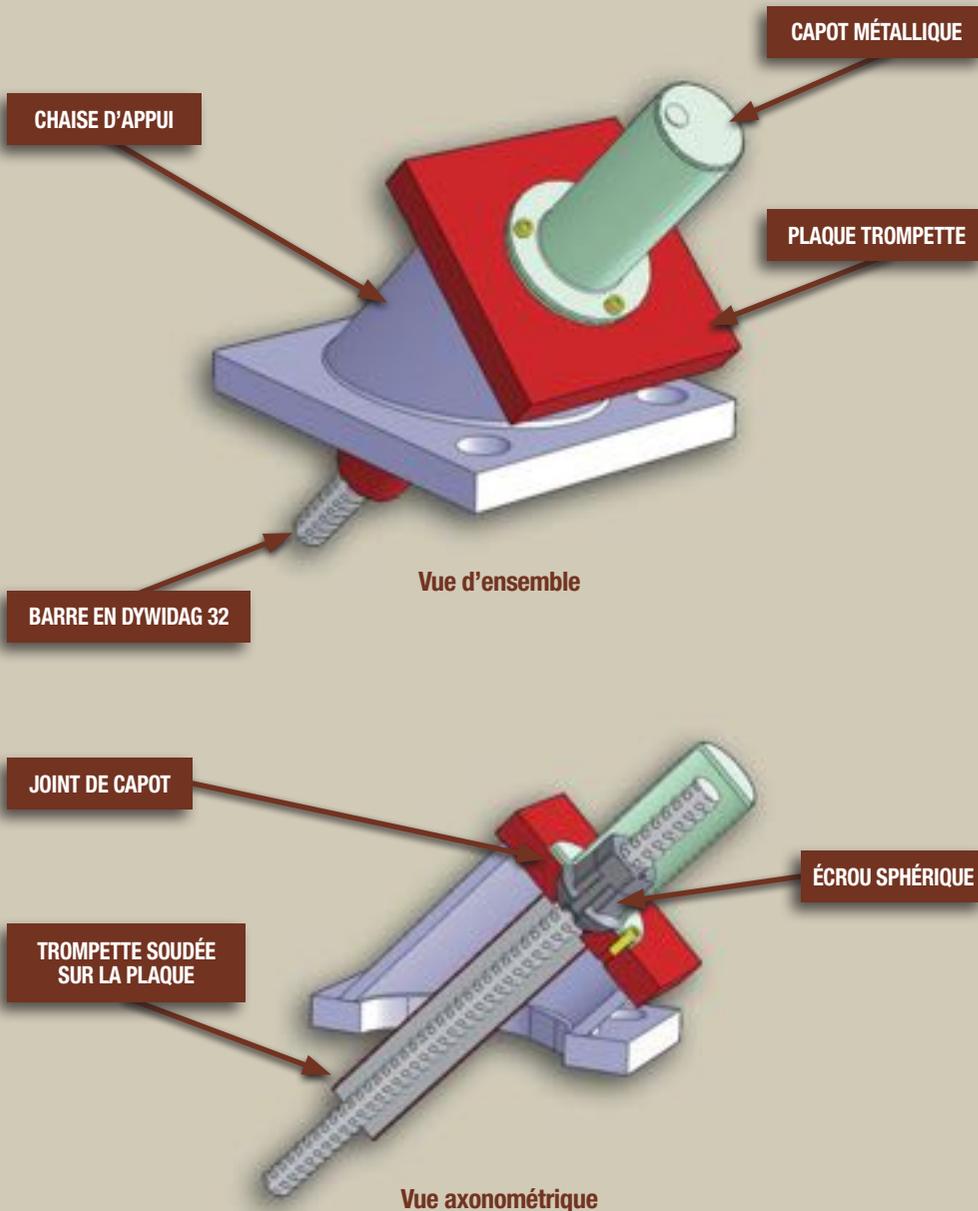
© DSI-ARTEON

© DSI-ARTEON

© DSI-ARTEON



PRINCIPAUX COMPOSANTS D'UNE TÊTE DE TIRANT



6- Une nacelle a donné accès au niveau des tirants lors du diagnostic initial.
 7- Quatre personnes travaillent parallèlement grâce aux deux pontons, en phase travaux.
 8- Principaux composants d'une tête de tirant.

6- An aerial basket gave access to the tie anchor level during initial diagnosis.
 7- Four people work at the same time thanks to two pontoons, in the works phase.
 8- Main components of a tie-anchor head.

GTS et DSI-Artéon optent pour deux pontons de 12 m de long mis bout à bout (24 m) cernés d'un garde-corps et fixés par un aimant aux palplanches (figure 7). Cette solution convient en l'absence de courant et de vagues. Les monteurs accèdent aux pontons par les échelles existantes sur le quai. Sous chaque tête de tirant, est installé un bac métallique pour récupérer les déchets.



OBJECTIFS DES TRAVAUX

Les calculs d'exécution réalisés par Valétudes déterminent qu'il est possible de détendre deux tirants simultanément s'ils sont espacés de 5 m au minimum. De cette façon, le quai peut résister à 1 tonne/m² nécessaire aux engins de chantier. Il faut aussi se prémunir d'un éventuel tirant cassé non détecté. Voici les principaux objectifs des travaux :

- Absence de contact entre palplanche et tirant ;
- Changement des chaises d'appui sur la palplanche (figure 8) pour une mise en tension en sécurité ;
- Mise en place d'une protection à la corrosion P2 (selon recommandations TA 95) comprenant notamment un capot traité anticorrosion recouvrant la tête, une plaque d'appui équipée d'un tube trompette empêchant le contact barre/palplanche et confinant la cire de protection ;
- Installation de cellules de contrôle qui permettent le suivi de la tension et la détection de ruptures pendant la durée de vie de l'ouvrage ;
- Utilisation de capots démontables et d'une tête autorisant une remise en tension (article 7.23 des recommandations TA 95) ;
- Essai de mise en tension à 50 tonnes sur tous les tirants afin de vérifier la résistance des barres et de valider les longueurs de scellement d'origine ;
- Mise à une tension résiduelle uniforme à 30 tonnes sur toute la longueur des quais concernés.

9- Le desserrage des écrous a eu lieu sans casse grâce à une clé dynamométrique.

10- Les anciennes chaises d'appui étaient démontées avant tout essai de traction.

11- Découpe de la palplanche au droit du tirant n°118.

12- Mise en tension résiduelle à 30 tonnes.

13- Vérin pour essai et mise en tension.

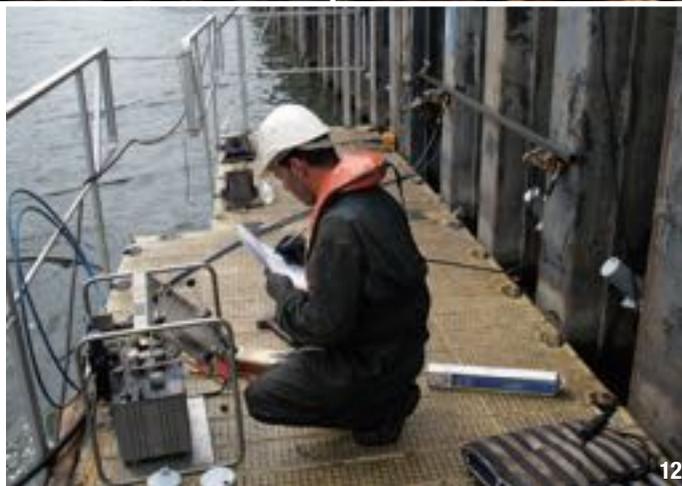
9- The nuts were loosened without breaking them, using a torque wrench.

10- The former supporting chairs were dismantled before any tensile test.

11- Cutting out the sheet piling at the level of tie anchor No. 118.

12- Residual tensioning at 30 tonnes.

13- Jack for testing and tensioning.



DÉMONTAGE, MODIFICATIONS ET REMONTAGE SANS CASSE

Les opérations de démontage, traitement et remontage sont réalisées avec précaution pour éviter des casses supplémentaires. Voici comment elles se sont succédé sur le port de Limay :

- Démontage des capots sur les têtes et récupération de l'ancienne cire de protection de la barre ; nettoyage et passivation de la barre ;
- Dégrippage des écrous avant leur desserrage par clé dynamométrique (figure 9) ;

→ Démontage de l'ancienne chaise d'appui sur la palplanche avant tout essai de traction, grâce à quoi les barres fléchies ont retrouvé une position rectiligne avant nouvelle mise sous tension, supprimant ainsi les efforts parasites (figures 10 et 11) ;
 → Essai de traction sur les barres à 50 tonnes à l'aide de la clé dynamométrique sauf pour celles équipées d'une

cellule de contrôle où elle est remplacée par un vérin ;
 → Remontage des chaises neuves avec le tube trompette ;
 → Mise en tension résiduelle à 30 tonnes (figures 12 et 13) ;
 → Remplissage du tube trompette et du capot avec de la cire ;
 → Remplissage de la chaise avec de la mousse ;

→ Fixation du capot ;
 → Pose des 20 cellules de contrôle de tension sur les tirants qui en comportent.

SOLUTION LA MOINS COÛTEUSE

À Limay-Porcheville, Ports de Paris a opté pour le remplacement des têtes endommagées plutôt que de celui des tirants en entier. En effet, replacer de

nouvelles barres d'ancrage à proximité des anciennes semblait très difficile vu la densité d'implantation des tirants (1/m). Si les barres cassées près de la tête ont pu être réparées par manchonnage, une cassure plus profonde demande une autre solution. C'est le cas sur 3 tirants du port de Limay pour lesquels d'autres travaux doivent être envisagés.

La réhabilitation de 340 tirants précontraints sur le port de Limay revient à 1 500 euros HT l'unité, frais fixes compris. À comparer avec les 6 000 euros/unité des tirants neufs du chantier de Ports de Paris à Bruyères-sur-Oise (Val-d'Oise) en 2011.

Il apparaît très important, à l'avenir, compte tenu de l'âge de certains quais, de renforcer leur suivi et de développer une politique préventive d'entretien, en particulier en ce qui concerne la corrosion des têtes et la traction dans les tirants, ce en quoi les cellules de contrôle sont une aide précieuse. □



14- Le port accueille une activité de transfert de granulats du train aux péniches.

14- Port activity involves transferring aggregates from the train to barges.

850 000 TONNES PAR AN SUR LE PORT

Le port de Limay-Porcheville (Yvelines) est la troisième plate-forme multimodale (voie ferrée, fleuve, route) sur onze gérées par Ports de Paris. Il occupe 125 ha à l'emplacement d'une ancienne carrière, loués à des entreprises et des industriels. Il abrite du stockage de céréales, de la récupération de ferraille et de papier, des biocarburants, des entrepôts, des bureaux, un terminal à conteneurs depuis 2007, etc., auxquels s'ajoute le transfert de granulats du train aux péniches (figure 14). En 2012, y ont été chargées ou déchargées 850 000 tonnes de marchandises.

Il comprend 1 700 m de quais aménagés, avec 4 m de tirant d'eau. Le quai ouest où ont eu lieu la majeure partie des travaux sur les tirants, est stabilisé par des palplanches du type L2S de 14 m de long par 0,50 m, surmontées d'une poutre de couronnement en béton armé de 60 cm de large. Les tirants actifs forés sont des barres Dywidag (DSI) de 32 mm de diamètre, en acier 85/105 avec un ancrage de 5 m. Ils sont espacés d'un mètre avec, alternativement, un angle d'inclinaison par rapport à la verticale de 40° (13,50 m de long) ou de 50° (12,50 m).

REPÈRES

3 ÉTAPES : diagnostic des tirants (2010), investigation approfondie avec travaux ponctuels (2011), chantier à grande échelle (2012)

4 MOIS DE CHANTIER : juillet-octobre 2012

533 000 EUROS HT : réhabilitation de 340 tirants, y compris études, installation de chantier, cellules de contrôle, accès aux tirants

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE, MAÎTRE D'ŒUVRE : Ports de Paris (agence de Bougival, Yvelines) ; assistance à maîtrise d'ouvrage calculs en amont : Fondasol

GROUPEMENT TITULAIRE DU MARCHÉ : Grands Travaux Spéciaux (GTS), mandataire ; DSI-Artéon, cotraitant

SOUS-TRAITANTS : SAS Valétudes ; D-Geoservice

ABSTRACT

RENOVATION OF 340 PRESTRESSED TIE RODS IN LIMAY PORT

J. DJOBEIR, DSI-ARTÉON - L. EXBRAYAT, DSI-ARTÉON - J. PICHON, PORTS DE PARIS

Ports de Paris had 340 anchor ties renovated on its port platform at Limay-Porcheville (Yvelines region), following an investigation campaign on the piers most affected by corrosion. By installing monitoring cells it will be possible, in future, to better check the condition of the piers' tie anchors. This is a first for the client and for DSI-Artéon which renovated the prestressed tie rods. The contractors had to act carefully when checking the tension or performing retensioning so as to not to worsen the condition of the heads and tie anchors. The project required extensive preliminary engineering work before four months' work on the construction site. □

REHABILITACIÓN DE 340 TIRANTES ACTIVOS EN EL PUERTO DE LIMAY

J. DJOBEIR, DSI-ARTÉON - L. EXBRAYAT, DSI-ARTÉON - J. PICHON, PORTS DE PARIS

Ports de Paris a fait réhabiliter 340 tirants d'ancrage Ports de Paris ha hecho rehabilitar 340 tirantes de anclaje en su plataforma portuaria de Limay-Porcheville (Yvelines), después de una campaña de investigación de los muelles más afectados por la corrosión. La instalación de de células de control permitirá, a partir de ahora, controlar mejor el estado de los tirantes de los muelles. Se trataba de una primicia para el promotor, así como para DSI-Artéon que rehabilitó los tirantes activos. Los participantes tuvieron que actuar con precaución durante las verificaciones de tensión o las puestas en tensión para no agravar el estado de las cabezas y de los tirantes. La operación dio lugar a importantes estudios previos antes de la realización de la obra de cuatro meses. □



1
© CHANTIER MASSY CAMPUS

MASSY CAMPUS : GESTION D'UN SOUTÈNEMENT SINGULIER

AUTEURS : ÉLODIE BRUNET-MANQUAT, INGÉNIEUR ÉTUDES GÉOTECHNIQUES, EIFFAGE CONSTRUCTION - OLIVIER PAL, DIRECTEUR DU BE GÉOTECHNIQUE, EIFFAGE CONSTRUCTION

LA RÉALISATION DE L'INFRASTRUCTURE DU FUTUR SIÈGE DE CARREFOUR À MASSY A REPRÉSENTÉ L'UN DES ENJEUX MAJEURS DU PROJET. OUTRE LES DIMENSIONS SINGULIÈRES DE L'ENCEINTE EN PAROI MOULÉE (17 M DE HAUTEUR VUE SUR 18 500 M²), LES CONTRAINTES GÉOTECHNIQUES, HYDROGÉOLOGIQUES, ENVIRONNEMENTALES ET LE CONTEXTE URBAIN ONT EU DES INCIDENCES DIRECTES SUR LE DIMENSIONNEMENT DU SOUTÈNEMENT. LES DÉLAIS IMPARTIS POUR ATTEINDRE LE FOND DE FOUILLE ÉTANT COURTS (SEULEMENT 8 MOIS), UNE CONSTANTE RECHERCHE D'ADÉQUATION ENTRE LES RISQUES IDENTIFIÉS ET LEUR MAÎTRISE A ÉTÉ CONDUITE TOUT AU LONG DU PROJET POUR LE FIABILISER. CECI S'EST TRADUIT EN PHASE TRAVAUX PAR UNE GESTION ADAPTÉE DES INTERFACES ET UN SUIVI RENFORCÉ DU COMPORTEMENT DE L'OUVRAGE.

DÉFINITION DES ENJEUX ET DES ATTENTES POUR LE SOUTÈNEMENT

Le futur siège mondial de Carrefour, désigné sous le nom de projet « Massy Campus », consiste en la réalisation d'un ensemble de 4 bâtiments, à usage de bureaux :

- De type R+4 à R+6 ;
- Comportant 5 niveaux de sous-sol, dont 4 utilisés comme parking et 1 double niveau en rez-de-jardin dédié à un show-room.

Inscrit dans une démarche de développement durable, l'ouvrage vise la certification NF Bâtiments tertiaires Démarche HQE® (programmation, conception et réalisation) et le label

BBC Effinergie (Bâtiment Basse Consommation).

La réalisation de l'infrastructure a représenté l'un des enjeux majeurs du projet tant du point de vue technique que des délais impartis.

Le volume enterré s'inscrit dans une boîte trapézoïdale dont la section avoisine les 18 500 m² pour près de 17 m de hauteur soutenue, soit plus de 300 000 m³ de terres excavées (figure 1). L'exécution de l'enceinte, ainsi que l'atteinte du fond de fouille devaient rester dans un planning relativement court d'environ 8 mois. Les terrassements ont été réalisés à l'abri de parois moulées, permettant de répondre aux différentes exigences du projet.

1- Vue aérienne du chantier, travaux de terrassement en cours.

1- Aerial view of the site with earthworks in progress.

La paroi moulée assure la reprise des poussées (terrains, nappes, surcharges). Elle est stabilisée :

- En phase provisoire par 3 lignes de tirants d'ancrage et des butons d'angle ;

- En phase définitive par les planchers butonnants.

Les contraintes de déplacement pour le soutènement ont été définies en intégrant la présence d'avoisnants sensibles à proximité immédiate du chantier, à savoir :

- Déplacement horizontal en tête de paroi ≤ 20 mm ;
- Déplacement horizontal en ventre de paroi ≤ 35 mm ;
- Tassement sous les avoisnants ≤ 15 mm.

La paroi moulée a également une fonction structurelle puisqu'elle reprend en phase définitive les descentes de charges de la future structure. Sa fiche est donc calculée en fonction

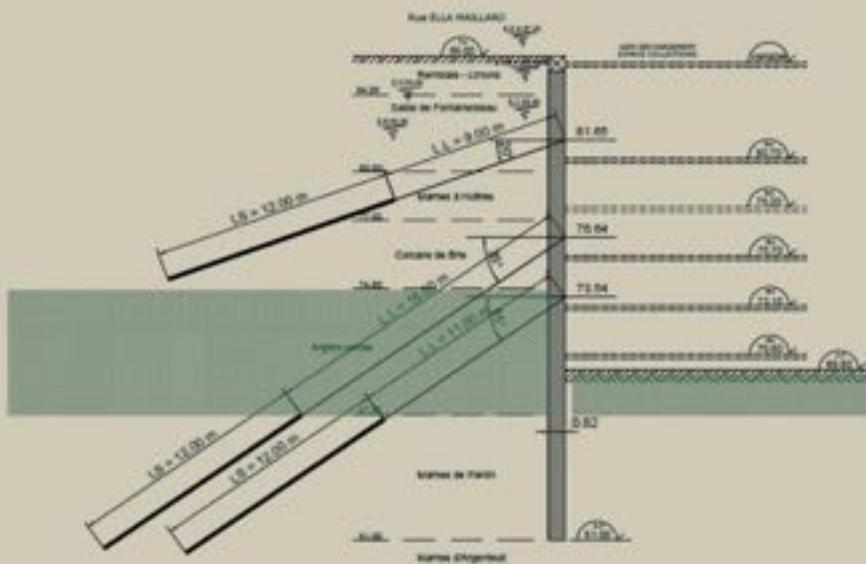
CONTEXTE GÉOTECHNIQUE AU REGARD DU SOUTÈNEMENT

Configuration avec avoisinant (établi à partir de plans d'exécution SEFI-SPIE)



2

Configuration sans avoisinant à proximité immédiate (établi à partir de plans d'exécution SEFI-SPIE)



3

de la portance du sol. Enfin, le projet est implanté dans le quartier d'affaires Atlantis de Massy qui fait l'objet d'une requalification de la ZI polluée en une zone d'habitation et de tertiaire. Compte tenu de ce passé industriel et de la transformation vers des usages plus sensibles, de fortes contraintes environnementales et sanitaires étaient à prendre en compte. Notamment la présence de polluants volatils au sein des nappes a conduit à la réalisation d'un cuvelage complet de l'ensemble de l'infrastructure avec un revêtement par cristallisation et d'un vide sanitaire. Pour le dimensionnement de la paroi moulée, ceci se traduit par la limitation des contraintes en service.

Par ailleurs, pendant toute la phase travaux d'infrastructure, l'ensemble des eaux collectées au niveau de la fouille a fait l'objet d'un traitement préalable avant rejet.

OPTIMISATION DU PROJET DE SOUTÈNEMENT SUIVANT LES DIFFÉRENTES CONTRAINTES INHÉRENTES AU PROJET

Compte tenu des délais impartis pour les phases de soutènement et de terrassement, tout l'enjeu de l'optimisation du projet a consisté en une constante recherche d'adéquation entre les risques identifiés et leur maîtrise ; le but visé étant de fiabiliser au maximum le délai.

Contexte géotechnique

Un contexte géotechnique sensible a été mis en évidence au travers des différentes campagnes de reconnaissance. Les différentes contraintes associées ont à la fois été prises en compte dans le dimensionnement du soutènement et lors de son exécution. Sur la base de la succession lithologique, les problématiques majeures identifiées ont été les suivantes :

- Des remblais et limons en tête contenant des blocs de fondations existantes de l'ancien bâtiment démolé ayant nécessité l'emploi d'engins de terrassement plus puissants ;
- Des sables de Fontainebleau bouillants sous nappe imposant une vigilance

2- Contexte géotechnique au regard du soutènement, configuration avec avoisinant (établi à partir de plans d'exécution SEFI-SPIE).

3- Contexte géotechnique au regard du soutènement, configuration sans avoisinant à proximité immédiate (établi à partir de plans d'exécution SEFI-SPIE).

2- Geotechnical environment of the retaining structure, configuration with neighbouring area (established on the basis of SEFI-SPIE construction drawings).

3- Geotechnical environment of the retaining structure, configuration without neighbouring area in the immediate vicinity (established on the basis of SEFI-SPIE construction drawings).

toute particulière sur la stabilité des matériaux lors de l'exécution des panneaux (gestion de la remontée de la benne, emploi de boues chargées...) ou du forage des ancrages ;

→ Des marnes à Huitres et du calcaire de Brie présentant des passages très compacts pouvant diminuer les cadences de réalisation des panneaux de paroi moulée effectués à la benne preneuse ;

→ Des argiles vertes de Romainville à caractère gonflant et fluage prépondérant dont l'incidence est explicitée ci-après ;

→ Des marnes de Pantin à pouvoir gonflant mais dans une moindre mesure que les argiles vertes ;

→ Des marnes d'Argenteuil à forte dominante argileuse.

Les caractéristiques mécaniques des différents horizons rencontrés sont reportées dans le tableau 1.

Comme le montrent les figures 2 et 3, le fond de fouille recoupe l'horizon des argiles vertes de Romainville. ▷

Ces matériaux étant sensibles à l'eau, des dispositions de drainage (de type tapis drainant) ont été mises en œuvre à l'avancement dès l'atteinte du fond de fouille de sorte à garantir la traficabilité des engins, notamment pour la réalisation des pieux de fondation, et à préserver les caractéristiques de butée en pied de la paroi.

Pour le dimensionnement de la paroi moulée, la prise en compte d'une surconsolidation dans ce type de matériau a conduit à retenir un rapport égal à 1 entre les contraintes verticales et horizontales ($K_0 = 1$), ce qui majore les poussées.

Mais la contrainte majeure pour le soutènement a été de garantir le scellement et la capacité des ancrages. Compte tenu du fluage prépondérant des argiles vertes de Romainville, un scellement dans ces horizons était exclu. Pour les zones avec avoisinants à proximité immédiate (figure 2), des ancrages de grande longueur (plus de 35 m pour le 1^{er} lit) ont été nécessaires. Par contre, pour les zones sans avoisinant (figure 3), le poids des terres constitué par les terrains de couverture permettait un confinement suffisant pour optimiser la longueur des ancrages et proposé un scellement des ancrages limité aux couches supérieures, constituées des marnes à Huitres et du calcaire de Brie.

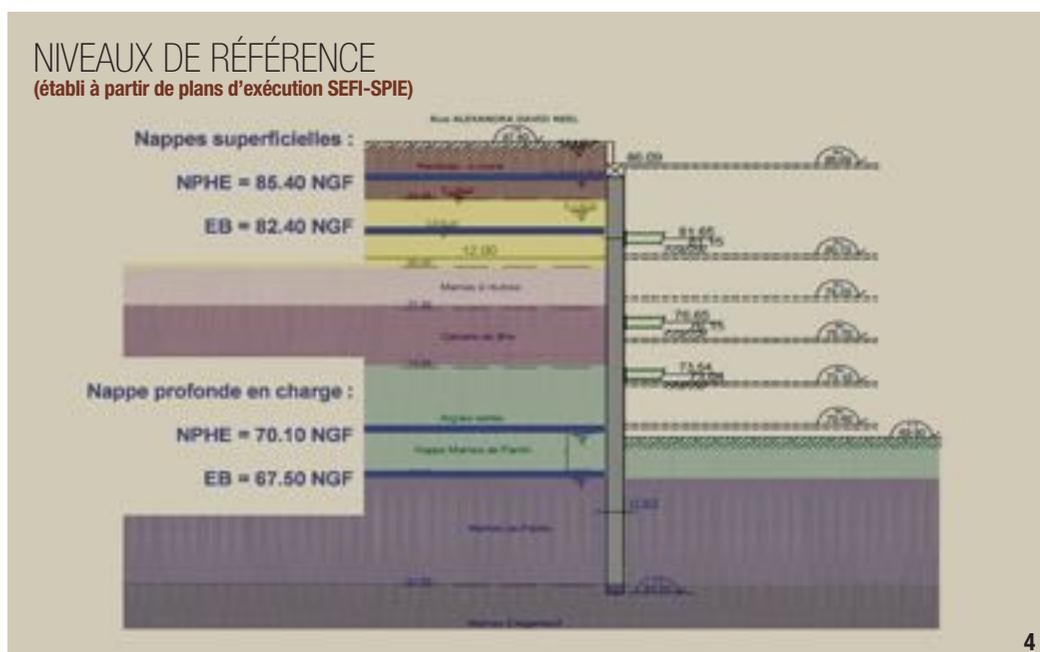
Des essais d'arrachement préalables ont permis de confirmer les valeurs de frottement latéral mobilisables pour chacun des horizons d'ancrage. Et au fur et à mesure de l'avancement, des essais de contrôle et un suivi des efforts dans certains ancrages ont été réalisés. En termes de fondations, on peut par ailleurs spécifier que le caractère gonflant des argiles vertes a induit la réalisation d'un plancher porté avec un vide résiduel de 35 cm pour absorber le soulèvement à long terme (sur les 60 cm totaux estimés et dont une partie s'est produite pendant les terrassements), et la prise en compte d'un frottement négatif sur les pieux de fondation.

Contexte hydrogéologique

Le site est caractérisé par la présence de 3 horizons aquifères distincts, au sein :

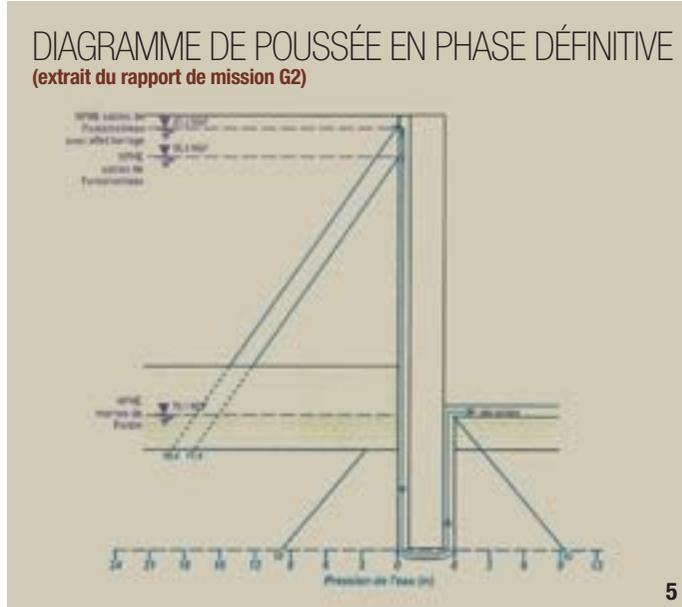
- Des sables de Fontainebleau ;
- Du complexe de Brie ;
- Des marnes de Pantin et d'Argenteuil.

Pour le dimensionnement du soutènement, les nappes superficielles des sables de Fontainebleau et du complexe de Brie ont été considérées



4- Niveaux de référence (établi à partir de plans d'exécution SEFI-SPIE).
5- Diagramme de poussée en phase définitive (extrait du rapport de mission G2).

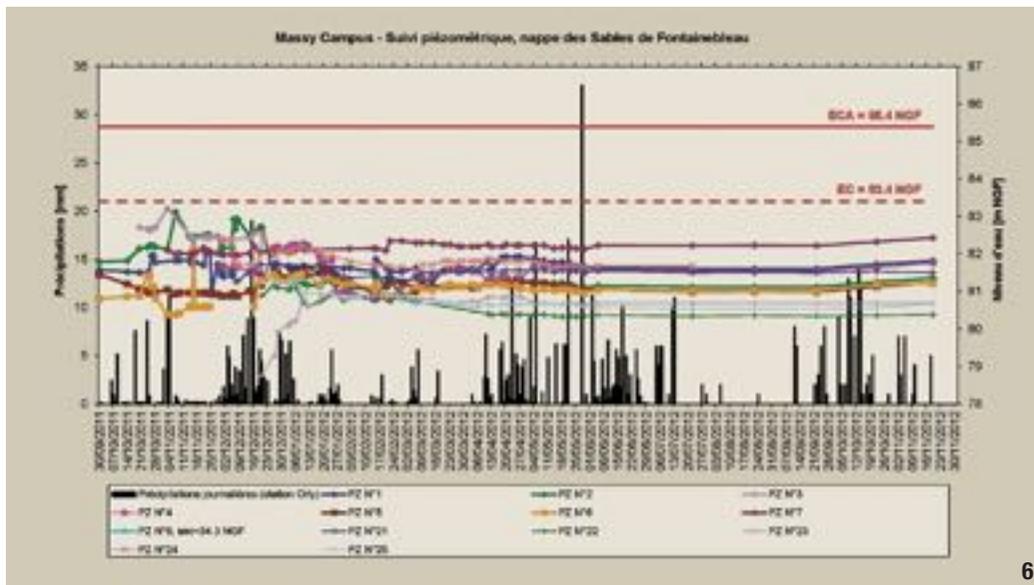
4- Reference levels (established on the basis of SEFI-SPIE construction drawings).
5- Thrust diagram in final phase (excerpted from the G2 mission report).



comme appartenant au même sous ensemble. L'aquifère des marnes de Pantin et d'Argenteuil forme un deuxième niveau de nappe, dissocié du premier ensemble et mis en charge par la présence des argiles vertes constituant un bouchon étanche. Les différents niveaux de référence associés à ces nappes sont présentés sur la figure 4. Le diagramme des poussées retenu en conception (figure 5) tient compte d'une perte de charge dans les argiles vertes. Cette hypothèse a fait l'objet d'un suivi tout particulier en phase travaux pour vérifier la non mise en communication des nappes et confirmer l'absence d'un diagramme de poussée triangulaire sur toute la hauteur de la paroi nettement plus pénalisant.

Un gradient hydraulique dirigé W-E a été mis en évidence. Vis-à-vis de l'écoulement des nappes superficielles, la paroi moulée renforcée par la présence du bouchon des argiles vertes constituent une vraie barrière étanche. L'impact de l'effet barrage sur les avoisinants n'étant pas admissible (remontée du niveau d'eau d'environ 1,80 m, conduisant à une inondation des caves et garages des existants), la mise en œuvre d'une tranchée drainante périphérique était nécessaire pour rendre l'ouvrage de soutènement le plus transparent possible. Cette tranchée réalisée sur 6 m de profondeur au sein des sables de Fontainebleau et sur les 3 côtés de l'ouvrage capte les eaux en amont hydraulique et les rejette en aval hydraulique. Un drain collecteur situé à

la base de la tranchée et penté d'environ 1 % vers l'aval hydraulique assure le bon acheminement des eaux ; des regards réguliers permettent l'accès et l'entretien du drain. Le point bas de ce système de drainage est placé de telle sorte que le rabattement engendré reste au moins toujours égal au niveau des eaux basses historiquement connues pour garantir l'absence de désordres sur les avoisinants. Les niveaux d'eau à l'arrière de la paroi constituent des poussées considérables : pour avoir un ordre de grandeur, la hauteur d'eau maximale initiale appliquée sur la hauteur de la fouille est de 15,60 m, ce qui représente une poussée de 1217 kN/m. La reprise de ces poussées a une incidence directe sur le dimensionne-



6

ment des tirants d'ancrages dont on a déjà vu que la présence des argiles vertes et les contraintes imposées par les avoisinants en termes d'occupation les rendent déjà peu classiques. Une optimisation a été trouvée en tenant compte de systèmes d'écrêtement des niveaux d'eau en phase provisoire :

→ Aux ELS, le niveau de référence chantier EC a pu être ramené à une cote de 83.40 NGF pour les nappes superficielles contre 85.40 NGF initialement prescrit. Ceci a pu être validé du fait de l'écrêtement passif induit par la tranchée drainante (effet de rabattement) et la mise en œuvre en complément d'événements au niveau de la paroi. Compte tenu des délais impartis, un système actif avec mise en place de pompes à déclenchement automatique était également prévu pour accélérer le cas échéant le rabattement suite à une remontée intempestive des niveaux d'eau pendant toute la durée des travaux d'infrastructure.

→ Par contre, en cas de remontée accidentelle du niveau d'eau à la cote

6- Exemple du suivi piézométrique au sein de la nappe des sables de Fontainebleau couplé avec le suivi pluviométrique de la station météo d'Orly.

6- Example of piezometric monitoring in the Fontainebleau sand layer combined with rainfall monitoring from Orly weather station.

85.40 NGF, le soutènement était dimensionné de telle sorte qu'aux ELU accidentels, la stabilité n'était pas remise en cause (notamment la capacité des ancrages).

Pour la phase définitive, les niveaux de référence ont bien évidemment été maintenus :

→ En phase définitive aux ELS, un niveau NPHE à 85.40 NGF pour les nappes superficielles et 70.10 NGF pour la nappe profonde ;

→ En phase définitive accidentelle en cas de colmatage de la tranchée et d'effet barrage, une remontée des nappes superficielles à la cote 87.20 NGF.

MÉTHODES ET INTERACTIONS PENDANT LA PHASE TRAVAUX

De fortes contraintes d'interaction entre les lots ont dû être gérées en phase travaux.

→ Elles concernent tout d'abord la forte interaction entre les terrassements et les déplacements de la paroi. Cet effet a été identifié dès les calculs réalisés en amont du chantier et a conduit l'Entreprise générale à confier une mission de pilotage des terrassements à l'Entreprise de travaux spéciaux. Pour pouvoir avancer les terrassements au

sein de la fouille pendant la réalisation des ancrages et évacuer un maximum de volume des terres excavées, des banquettes de 15 m de large minimum pendant le forage des tirants et réduite à 10 m lors de la mise en tension ont été définies, sans que la butée de la paroi ne soit remise en cause.

→ Un phasage particulier entre la réalisation de la tranchée drainante périphérique et les panneaux de paroi moulée a été défini de sorte à :

- éviter les risques de colmatage et engager la pérennité de la tranchée drainante lors de la réalisation des panneaux de paroi moulée ;
- empêcher la création d'un effet barrage vis-à-vis de l'incidence sur les avoisinants une fois la boîte étanche fermée.

Les panneaux de la paroi moulée ont donc été réalisés dans un premier temps, rapidement suivi de la réalisation de la tranchée drainante ; le plus difficile étant d'ajuster au mieux la mobilisation de la tranchée (engin exceptionnel) en fonction de la cadence d'avancement des panneaux de paroi moulée. → De même l'interaction entre la tranchée drainante et le premier lit d'ancrages a entraîné le tubage d'un certain nombre de forages pour garantir la pérennité de la tranchée.

→ Le phasage des terrassements a été mené de telle sorte que les matériaux sous nappe situés au-delà de la cote 82.00 NGF soient évacués une fois l'enceinte terminée ; ceci pour limiter les apports d'eau, plus particulièrement dans les sables de Fontainebleau. L'épuisement des matériaux saturés s'est ensuite fait au fur et à mesure de l'avancement des terrassements.

→ L'interaction entre le lot soutènement et le lot gros-œuvre portait quant à elle principalement sur :

- le dimensionnement de la paroi moulée et le transfert des efforts vers les planchers butonnants ; ▷

TABLEAU 1 : CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES DES MATÉRIAUX EN PLACE

Horizon	Toit de la couche [NGF]	Poids volumique humide γ_h [kN/m ³]	Poids volumique déjaugé γ' [kN/m ³]	Cohésion à long terme c' [kPa]	Angle de frottement à long terme ϕ' [°]	Module pressiométrique E_m [MPa]	Pression limite P_l [MPa]	Coefficient rhéologique α [-]
Remblais / limons	86.00	18	10	0	25	5	-	1/2
Sables de Fontainebleau	84.00	19.5	11	0	35	16	1.6	1/3
Marnes à Huitres	80.00	21	11	0	32	20	2	1/2
Calcaire de Brie	77.50	20	10	5	37	20	2	1/2
Argiles vertes	74.00	19	10	10	15	30	1.8	2/3
Marnes de Pantin	67.50	20	11	10	30	40	4	1/2
Marnes d'Argenteuil	61.00	20	11	10	32	30	3	1/2

- les conditions de liaison structurale ;
- l'étanchéité à garantir ;
- le positionnement des butons d'angle par rapport aux trémiés, aux planchers et aux pieux de fondation ;
- les tolérances d'implantation de la paroi moulée : la déviation verticale autorisée se limitait à 1 %, soit seulement 17 cm sur la hauteur vue de la paroi.

MISE EN PLACE D'UN SUIVI RENFORCÉ JUSQU'À ATTEINTE DU FOND DE FOUILLE

Compte tenu des enjeux, un important dispositif d'auscultation a été mis en œuvre pour s'assurer à la fois du bon comportement du soutènement et de l'absence d'incidence sur les avoisinants. Il comportait à la fois :

- L'ensemble de l'auscultation mise en œuvre pour le suivi de la paroi moulée : cibles topographiques, inclinomètres et cales dynamométriques ;
- Le suivi des piézomètres et des Cellules de Pression Interstitielle (CPI) ;
- Et l'auscultation au droit des avoisinants.

Pour permettre une meilleure interprétation, l'ensemble des mesures se sont faites de manière synchronisées. À chaque relevé ont donc été mis en correspondance :

- Les déplacements de la paroi moulée (topographie + inclinomètre) ;
 - Les déplacements des avoisinants, ainsi que leur état d'avancement dans la mesure où certains étaient en fin de construction ;
 - Les variations piézométriques et niveaux de pression dans les CPI, mis au regard de la pluviométrie ;
 - Les efforts dans les ancrages.
- L'ensemble des mesures était bien évidemment également associé à l'état d'avancement des terrassements.

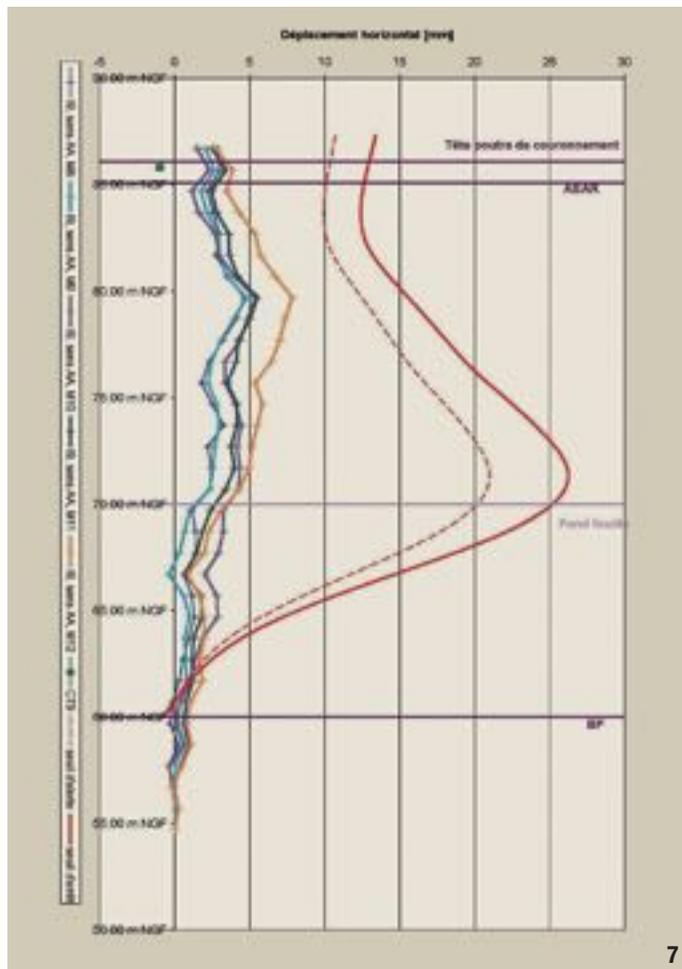
Suivi des niveaux d'eau

L'objet du suivi des niveaux d'eau portait principalement sur :

- Les variations possibles des nappes superficielles des Sables de Fontainebleau et du Complexe de Brie ;
- La confirmation des hypothèses de poussées d'eau entrées dans les études d'exécution ;
- La vérification de l'efficacité du dispositif de drainage amont.

Pour ce faire, plusieurs équipements ont été mis en œuvre :

- 11 piézomètres dit « courts », descendus jusqu'en tête des Marnes à Huitres et crépinés sur toute la hauteur dans les Sables de Fontainebleau ;



7

7- Exemple du suivi inclinométrique.

7- Example of clinometric monitoring.

- 5 piézomètres dit « moyens », descendus au sein des calcaires de Brie et uniquement sélectif dans cet horizon (c'est-à-dire uniquement crépinés dans le Complexe de Brie puis présence d'un bouchon d'argile sur le restant de la hauteur) ;
- 2 piézomètres dit « longs », descendus dans les Marnes d'Argenteuil et sélectifs uniquement dans les horizons des Marnes de Pantin et d'Argenteuil (c'est-à-dire uniquement crépinés dans ces horizons puis présence d'un bouchon d'argile sur le restant de la hauteur), de sorte à obtenir le niveau de la nappe profonde ;

→ 2 piézomètres dit « de référence » situés hors de l'emprise du chantier, en amont hydraulique et supposés hors de l'influence du système d'écrêtement, le but étant d'avoir des niveaux de référence sur ce qui arrive côté amont pour la nappe superficielle des Sables de Fontainebleau ;

→ 6 CPI positionnées au sein des Argiles vertes (x4) et dans les Marnes de Pantin (x2) pour confirmer la perte de charge attendue au sein des Argiles vertes.

L'ensemble de ces équipements a été réparti sur le chantier en amont et aval hydraulique, avec une concentration plus forte du suivi en amont hydraulique à proximité immédiate des bâtiments avoisinants. L'implantation des équipements tenait par ailleurs compte, le cas échéant de la position des panneaux de paroi moulée, de la tranchée drainante périphérique et/ou des futurs ancrages de la paroi et du risque de déviation. Aux vues des objectifs fixés, les piézomètres au sein de la nappe des Sables de Fontainebleau présentaient également la particularité d'être positionnés soit en amont de la tranchée drainante, soit entre la tranchée drainante et la paroi moulée. Pour acquérir un maximum d'informations et conforter au plus vite les hypothèses de calculs, une partie de la réalisation des équipements s'est faite avant réalisation de la paroi moulée. Les piézomètres concernés ont donc de nouveau été soufflés après que le panneau adjacent a été coulé. L'état des équipements a aussi fait l'objet d'un contrôle après forage et injection des ancrages. Malgré une attention permanente pour les conserver, certains équipements ont dû être refaits.

De manière générale, le suivi piézométrique a montré que :

- Les niveaux d'eau de référence pour la phase chantier (EC) n'ont pas été dépassés aussi bien pour les nappes superficielles (figure 6) que la nappe profonde ;
- Les relevés des niveaux d'eau ont toutefois pu être perturbés localement par la réalisation des panneaux de paroi moulée, puis par l'exécution des forages des ancrages : apparition de pics de variation ponctuels et locaux ayant complètement disparu à l'arrêt des travaux de forage ;
- Vis-à-vis des avoisinants, le cadre des niveaux d'eau historiquement connus a été respecté ;

En parallèle du suivi piézométrique, un suivi pluviométrique de la station météo la plus proche (c'est-à-dire celle d'Orly) a été mené. Il a mis en évidence une corrélation entre le niveau de la nappe superficielle des Sables de Fontainebleau et des évènements pluvieux d'importance (figure 6).

Comportement de l'ouvrage de soutènement

Pour s'assurer que le comportement de la paroi restait conforme à celui

QUELQUES CHIFFRES

- Boîte trapézoïdale 124 m x 165 m x 128 m ht, soit près de 18 500 m².
- Terrassements sur une hauteur de près de 17 m, soit environ 300 000 m³ de terres excavées.
- Paroi moulée : 82 cm d'épaisseur, 25 m de hauteur moyenne pour les panneaux, soit plus de 11 000 m³ de béton théorique.
- Délai de réalisation pour le soutènement et les terrassements : 8 mois environ.

attendu, l'instrumentation suivante a été mise en place au droit du soutènement :

→ 20 cibles de visées topographiques en tête de paroi ;

→ 4 inclinomètres, 1 par côté de la boîte ;

→ 12 cales dynamométriques, en parallèle des inclinomètres et à raison d'une cale au niveau de chacun des 3 lits d'ancrage par panneau suivi.

Des seuils d'alerte et d'arrêt sur les mesures de déplacement de la paroi moulée avaient par ailleurs été fixés au CCTP ; ce qui définissait les fuseaux de comportement de l'ouvrage :

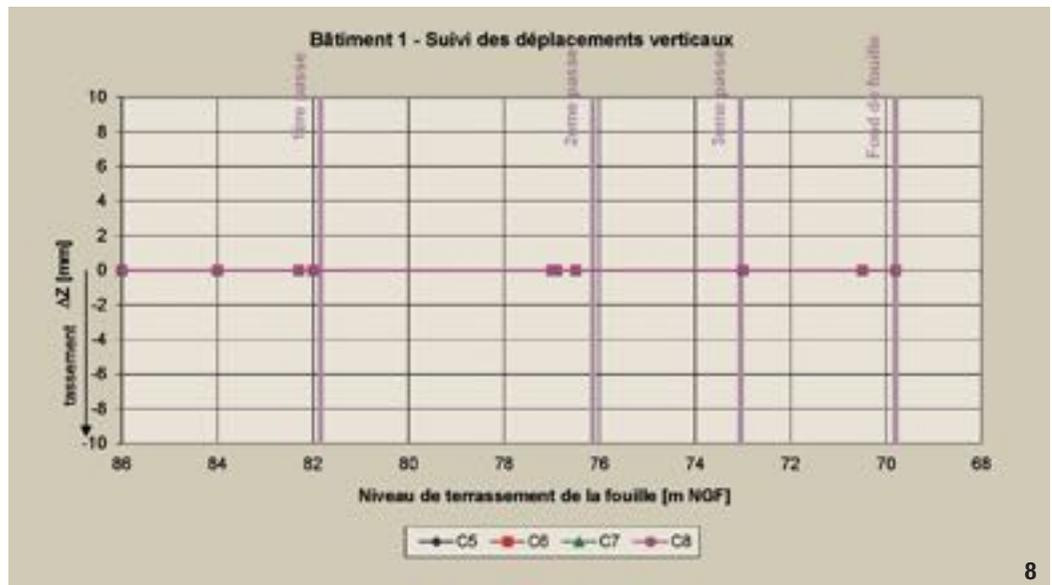
→ Seuil d'alerte atteint à 80 % de la valeur du calcul théorique pour la passe concernée, à partir de laquelle les mesures devaient être relevées plus régulièrement ;

→ Seuil d'arrêt atteint pour la valeur du calcul théorique pour la passe concernée.

Une mesure dite « zéro » de l'ensemble des cibles et des inclinomètres a été effectuée avant le démarrage des terrassements. Les cellules de mesures des efforts dans les ancrages ont quant à elles été installées au fur et à mesure de l'avancement du chantier.

Les mesures au droit de la paroi ont montré un déplacement horizontal significativement plus faible que celui attendu (figure 7).

On peut déjà avancer le fait que les niveaux d'eau mesurés se sont avérés au moins 1 m sous le niveau de référence pour les calculs théoriques, ce qui réduit d'autant les poussées. On peut supposer également que les autres sollicitations (poussée des terres, bâtiments avoisinants, surcharges...) ont été moindres que celles prises en considération dans les calculs. Dans la mesure où les précontraintes étaient très élevées dans les tirants d'ancrage



(de 1000 à 1500 kN), elles ont certainement fortement contribué à la limitation des déplacements.

Double suivi des déplacements avoisinants/paroi

Le projet étant situé dans un cadre urbain, la présence de bâtiments existants tout autour de l'enceinte a dû être intégrée, et ce d'autant plus que les terrassements ont atteint une profondeur bien supérieure à celle du niveau de fondations de ces existants. Il était donc important de vérifier que l'impact des travaux sur les avoisinants était admissible. C'est pourquoi en parallèle du suivi des déplacements de la paroi moulée, des cibles topographiques en (X, Y, Z) ont été placées sur les façades des existants.

La mesure dite « zéro » de l'ensemble des cibles a été effectuée avant le démarrage des terrassements.

Aux termes de l'auscultation, aucune incidence significative n'a été relevée au droit des existants (figure 8).

8- Exemple du suivi des tassements au droit d'un existant.

8- Example of settlement monitoring at the level of an existing structure.

CONCLUSION

La gestion de ce soutènement singulier s'est faite sur la base d'une constante recherche d'adéquation entre les risques identifiés et leur maîtrise, et ce tout au long du projet. Dès la phase de mise au point du projet, les différentes contraintes géotechniques, hydrogéologiques, environnementales et urbaines ont été intégrées et confrontées au planning. La maîtrise du délai en phase exécution résulte quant à elle de l'auscultation et des contrôles renforcés mis en place. □

LES ACTEURS DU PROJET

- **MAÎTRE D'OUVRAGE :**
COLMABU SAS
ASSISTANT MO :
SESAME Conseil
- **ARCHITECTE :**
ATELIER 115
- **MOE D'EXÉCUTION :**
CETBA Ingénierie
STRUCTURE :
SCYNA 4
GÉOTECHNIQUE :
GDMH
HYDROGÉOLOGIE :
BURGEAP
- **BUREAU DE CONTRÔLE :**
SOCOTEC
- **ENTREPRISE GÉNÉRALE :**
EIFFAGE Construction
SOUTÈNEMENT :
SEFI Intrafor et SPIE Fondations

ABSTRACT

MASSY CAMPUS: MANAGEMENT OF AN EXCEPTIONAL RETAINING STRUCTURE

ÉLODIE BRUNET-MANQUAT, EIFFAGE - OLIVIER PAL, EIFFAGE

Execution of the infrastructure for Carrefour's future head office in Massy was one of the major project challenges. In addition to the exceptional dimensions of the diaphragm wall enclosure (17-metre height with a view over 18,500 m²), geotechnical, hydrogeological and environmental constraints and the urban environment had a direct influence on the sizing of the retaining structure. Since the time assigned to reach the bottom of excavation was short (only eight months), a constant endeavour was made to control identified risks throughout the project to enhance its reliability. In the works phase this took the form of appropriate interface management and heightened monitoring of the structure's behaviour. □

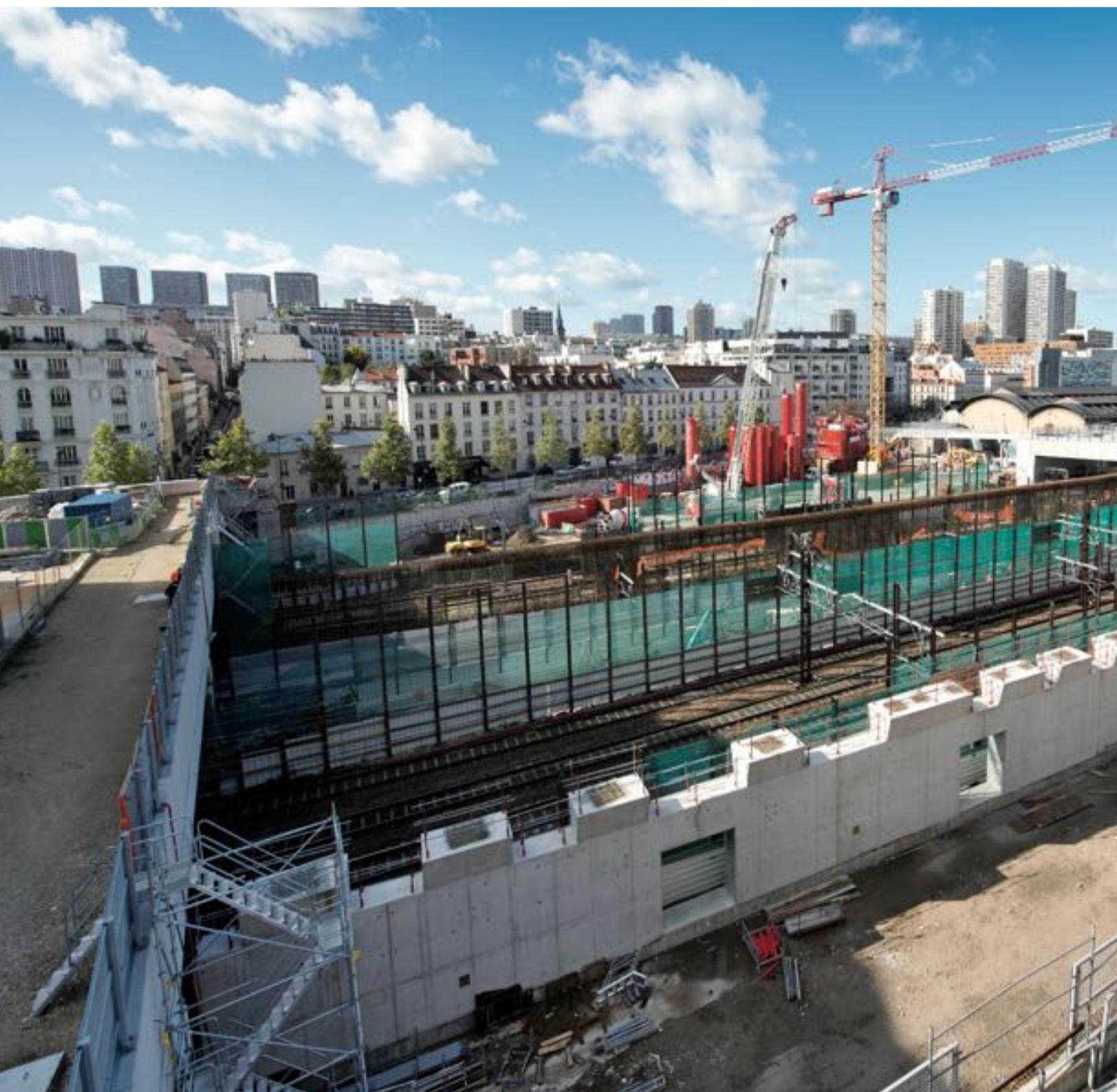
MASSY CAMPUS: GESTIÓN DE UNA CONTENCIÓN SINGULAR

ÉLODIE BRUNET-MANQUAT, EIFFAGE - OLIVIER PAL, EIFFAGE

La realización de la infraestructura de la futura sede de Carrefour en Massy representó uno de los mayores retos del proyecto. Además de las singulares dimensiones del recinto en muro pantalla (17 m de altura vista en 18.500 m²), las limitaciones geotécnicas, hidrogeológicas, medioambientales y el contexto urbano incidieron directamente en el dimensionamiento de la contención. Dado que los plazos establecidos para llegar al fondo de la excavación eran breves (sólo 8 meses), a lo largo de todo el proyecto se buscó una constante adecuación entre los riesgos identificados y su control, para fiabilizarlo. Durante las obras, esto se reflejó en una gestión adaptada de las interfaces y un mayor control del comportamiento de la estructura. □

FONDATEMENTS DE LA COUVERTURE DES VOIES SNCF DE L'ÎLOT T7 À PARIS 13^e

AUTEUR : STÉPHANIE OLLIVIER, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE



LE CHANTIER DE LA DALLE T7 S'INSCRIT DANS LE CADRE GÉNÉRAL DE LA COUVERTURE DES VOIES SNCF SUR LE SECTEUR AUSTERLITZ / TOLBIAC / MASSENA DANS LE 13^e ARRONDISSEMENT DE PARIS. LA SEMAPA A CONFIE LA RÉALISATION DE CETTE DALLE AU GROUPEMENT D'ENTREPRISES BOUYGUES TP – SPIE BATIGNOLLES TPCI – DG CONSTRUCTION ET SOLETANCHE BACHY FRANCE (EN CHARGE DE L'ENSEMBLE DES FONDATIONS). LE CONTEXTE EXIGU ET LA PROXIMITÉ DES VOIES SNCF ONT RENDU NÉCESSAIRE UNE ADAPTATION DES MÉTHODES ET DES MOYENS MATÉRIELS.



1
© CÉDRIC HELSLEY POUR SOLETANCHE BACHY

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DU CHANTIER

De la gare d'Austerlitz au périphérique, le long de l'avenue Pierre Mendès France, le 13^e arrondissement de Paris est en pleine transformation. En effet, depuis plus de 10 ans, la SEMAPA, en collaboration avec la SNCF, mène les travaux d'aménagement nécessaires à la couverture des voies dans le but d'augmenter la capacité d'accueil des habitants, des entreprises et des commerces.

L'îlot T7 succède donc à l'îlot T8, dont les bâtiments sont en cours d'achèvement. L'objectif de Soletanche Bachy France, pour ce chantier, consiste à réaliser les deux derniers appuis de fondations (sur cinq au total), file A et file F, non exécutés pendant les travaux de l'îlot T8 et permettant la construction de la dalle de couverture. Le premier appui, file A (côté rue du Chevaleret), est adjacent à une voie de service ; il se compose de 30 barrettes et d'une paroi moulée à contrefort de 90 m (figure 2). Les contreforts se justifient par le fait que cette paroi servira aussi de soutènement au futur parking souterrain qui sera construit dans un prochain marché. Trente-huit barrettes sont enfin à réaliser pour l'appui file F, qui est l'appui central de la dalle.

La situation géographique de ce dernier est particulière, car il n'est pas accessible par voie « routière ». Il est situé en contrebas de la passerelle Charcot (pont piéton) et de la dalle T8 et se retrouve enclavé entre la voie fermée de circulation Province-Paris du RER C et une voie de service.

CHOIX DU MATÉRIEL

L'Hydrofraise « Latine » a été choisie pour réaliser le chantier de T7. En effet, compte tenu de la nature des terrains à traverser, et surtout de l'ancrage des fondations des appuis (jusqu'à 10 m dans les calcaires sains en file A), l'Hydrofraise s'est imposée comme l'outil le plus adapté. Ensuite, la taille des emprises de l'appui file F a nécessité un porteur de largeur minimale, et donc une Hydrofraise compacte (figure 3).

TRAVAUX PRÉPARATOIRES DE PROTECTION DES VOIES SNCF

Préalablement aux travaux de paroi moulée et barrettes, une phase préparatoire s'avérait indispensable, afin de se mettre à l'abri du risque ferroviaire dû à la proximité des voies SNCF (circulation des trains et risque électrique). Ces travaux se sont déroulés d'avril à juillet 2012. Les deux files d'appui sont situées à moins de 5 m des caténaires et, conformément aux règlements de la SNCF, des protections lourdes ont dû être installées le long des voies exploitées afin de permettre l'évolution des engins de chantier pour les fondations profondes et l'ensemble du génie civil dans des conditions de sécurité (figure 5).

Pour cela, des micropieux berlinois (forages équipés de profilés métalliques) ont été réalisés entre les voies et les appuis. Ces micropieux avaient une double fonction :

- 1- Les fondations des poteaux de protection ;
- 2- Le support de paroi berlinoise au moment du terrassement des semelles des appuis.

Au total, 150 micropieux berlinois de diamètre 300 mm et de longueur moyenne 6 m ont été nécessaires, 60 sur la file A et 90 sur la file F.

Cette phase présente la particularité suivante : l'exécution doit se faire sous interruption ferroviaire, dans une plage horaire restreinte (de 1h15 à 4h du matin cinq jours sur sept). Afin de respecter le délai imparti, trois ateliers de forage ont été mobilisés.

TRAVAUX PRÉPARATOIRES FILE F

L'appui de la file F est un couloir d'une longueur de 120 m et de largeur variable (4,30 m à 5,20 m entre les protections).

Il a d'abord fallu s'assurer de la compatibilité de l'emprise, à l'endroit le plus étroit, avec le gabarit et la cinématique de l'Hydrofraise. Pour cela, les équipes du service matériel de l'entreprise ont reproduit la future emprise avec l'implantation de la barrette. Le résultat s'est révélé concluant !



© CÉDRIC HELSELY POUR SOLETANCHE BACHY

Les voies de service en contrebas de la file F sont dans une trémie dont l'un des piédroits délimite le futur appui de la file F. Cette trémie est un ouvrage très ancien, dont peu d'éléments structurels subsistaient. Des campagnes de reconnaissances diverses (auscultations radars, sondages destructifs...) ont été menées pour obtenir le maximum de renseignements. Il s'avère que ce piédroit a été dimensionné uniquement pour

supporter le poids des terres qu'il retient. Par conséquent, l'effort induit par les 80 t de l'Hydrofraise Latine évoluant sur et à proximité de cet ouvrage pouvait le mener à la ruine (figure 4). Pour résoudre ce problème, une dalle sur micropieux a été mise en place : ainsi les efforts ne sont pas transmis au piédroit. Cette dalle d'épaisseur 50 cm fera également office de murette guide pour les barrettes. Au total, 115 micropieux entre 150 et 200 mm de dia-

2- Travaux de la file A.

3- Hydrofraise Latine.

4- Coupe type au droit de la file F.

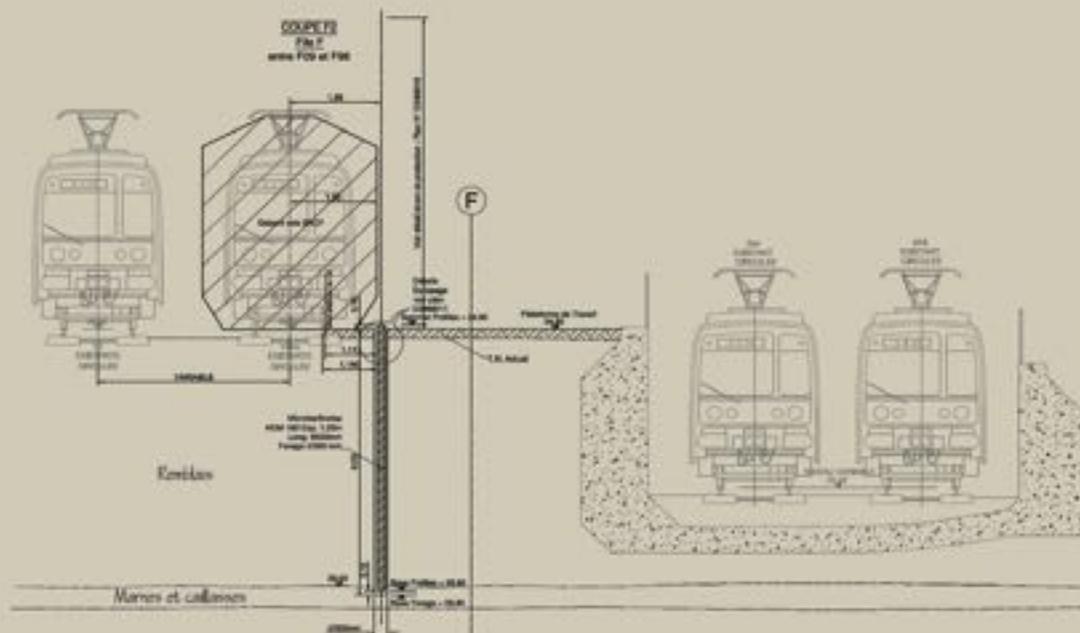
2- Works on row A.

3- "Latine" hydrofraise.

4- Typical cross section at the level of row F.

mètre et de longueur moyenne 13 m ont été exécutés. Deux ateliers furent mobilisés (figure 6) ; l'un d'entre eux, travaillant avec la méthode Hi'drill, a traversé les 6 m de béton du piédroit et a permis de s'affranchir d'un atelier de carottage. Une dalle (figure 7) a ensuite été mise en oeuvre (30 t d'acier et 200 m³ de béton). L'exécution de cette dalle a duré 8 semaines, de début octobre à fin novembre 2012.

COUPE TYPE AU DROIT DE LA FILE F



4



5



6

GRUTAGE DE L'HYDROFRAISE

L'amenée de l'Hydrofraise Latine sur la file F, est rapidement devenue une priorité dans la préparation du chantier. Deux possibilités se présentaient : la traversée des voies SNCF ou le grutage. La traversée des voies présentait un fort risque, dû aux contraintes ferroviaires. Elle aurait nécessité un lourd aménagement sur quatre voies principales, un temps de traversée de moins de 3 heures qui ne laissait aucune marge de manœuvre en cas d'aléas mécaniques. De plus, la hauteur sous caténaires était très proche du gabarit de l'Hydrofraise. Le grutage s'est donc imposé comme étant la solution la plus sûre. La distance la plus courte entre la file A et la file F

5- Vue des protections.

6- Réalisation des micropieux de la file F.

7- Coupe de la dalle en file F.

5- View of protection systems.

6- Execution of row F micropiles.

7- Cutting the slab in row F.

imposait une portée de 40 mètres. Il fallait cependant impérativement limiter le poids du corps de l'Hydrofraise. Pour cela, la poutre, la flèche, les enrouleurs hydrauliques, l'enrouleur à boue, ainsi que les deux chenilles furent démontés pour obtenir un poids final à gruter de 33 tonnes (figure 8). C'est une grue de 700 tonnes qui assura le transfert de nuit et sous interruption des voies SNCF.

DÉROULEMENT DES TRAVAUX FONDATIONS

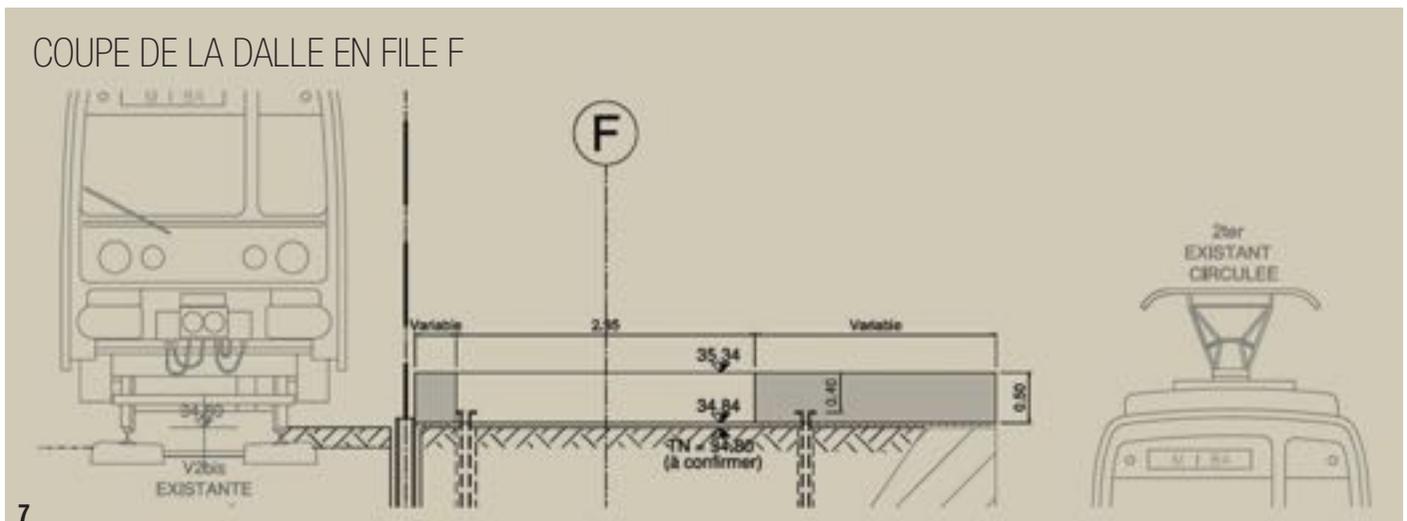
Le chemin critique du chantier étant l'appui de la file F, ce sont les travaux préparatoires de la dalle qui ont commandé le démarrage des fondations de la file A, afin d'assurer l'enchaînement

des tâches. La file A a donc démarré le 15 septembre 2012 par l'exécution des 2 800 m² de parois et barrettes.

À la fin de cette première phase de travaux, alors que les derniers coulages de la dalle de la file F étaient en cours, l'équipe de chantier a procédé aux travaux de préparation et à l'aménagement des installations pour le basculement sur la file F. Une fois l'Hydrofraise mise à nu, la grue de 700 t a investi le chantier dans la nuit du 26 au 27 novembre 2012. À 1h du matin, tous les voyants étaient au vert pour le grutage, puis l'opération s'est déroulée rapidement et sans accroc (figure 9). À 4h du matin, le porteur avait retrouvé ses chenilles et était prêt à être de nouveau équipé. Chaque élément fut remonté depuis la passerelle Charcot à l'aide d'une grue de 130 t.

Dernière étape : la réalisation des barrettes de la file F. La proximité des voies SNCF et l'exiguïté de la file F ont imposé des adaptations de méthode et de phasage. Les avant-trous ont été faits au moyen d'une mini-pelle équipée d'un godet articulé permettant l'excavation dans tous les sens, outil idéal pour la taille de l'emprise à notre disposition. Une fois les premiers avant-trous faits, la mise en place sur la première barrette dans la zone la plus étroite de l'emprise a validé grandeur nature le plot d'essai réalisé quelques mois auparavant. À l'avancement, l'emprise s'élargissait, mais les mises en place restaient néanmoins chirurgicales (figure 10). L'équipement des armatures était le point le plus critique, car la situation de la file F n'autorisait aucune amenée pendant la journée. Cela ne pouvait se faire que de nuit, sous interruption des voies SNCF, du mardi au samedi entre 1h30 et 3h50. ▷

COUPE DE LA DALLE EN FILE F



7

Une grue de 200 t, aidée d'une grue de 50 t pour basculement des cages, permettait de franchir les 35 mètres de voies SNCF qui séparaient la file F de la zone de stockage des armatures (figures 11 et 12). Enfin, les bétonnages se firent à l'aide d'une pompe à béton positionnée sur le pont Charcot. Le pompage du béton de fondation sur une distance de 100 mètres avait pu être validé lors d'un essai de pompage réalisé au moment du coulage du dernier plot de la plate-forme de l'Hydrofraise. Un chariot rotatif assurait les manutentions nécessaires lors du bétonnage. Le phasage des barrettes

LES CHIFFRES

TRAVAUX PRÉPARATOIRES EXÉCUTÉS
D'AVRIL À NOVEMBRE 2012

150 micropieux berlinois, soit 900 m de forage en diamètre 300 mm

115 micropieux type II, soit 1 500 m de forage

48 micropieux type II, soit 700 m pour la voie de grue

APPUIS FILE A ET FILE F EXÉCUTÉS
DE SEPTEMBRE 2012 À JANVIER 2013

90 ml de paroi moulée à contrefort d'épaisseur 1,20 m et de profondeur 18 m

68 barrettes d'épaisseur 1,20 m et de profondeur variant de 9 à 15 m

8- Hydrofraise mise à nu.

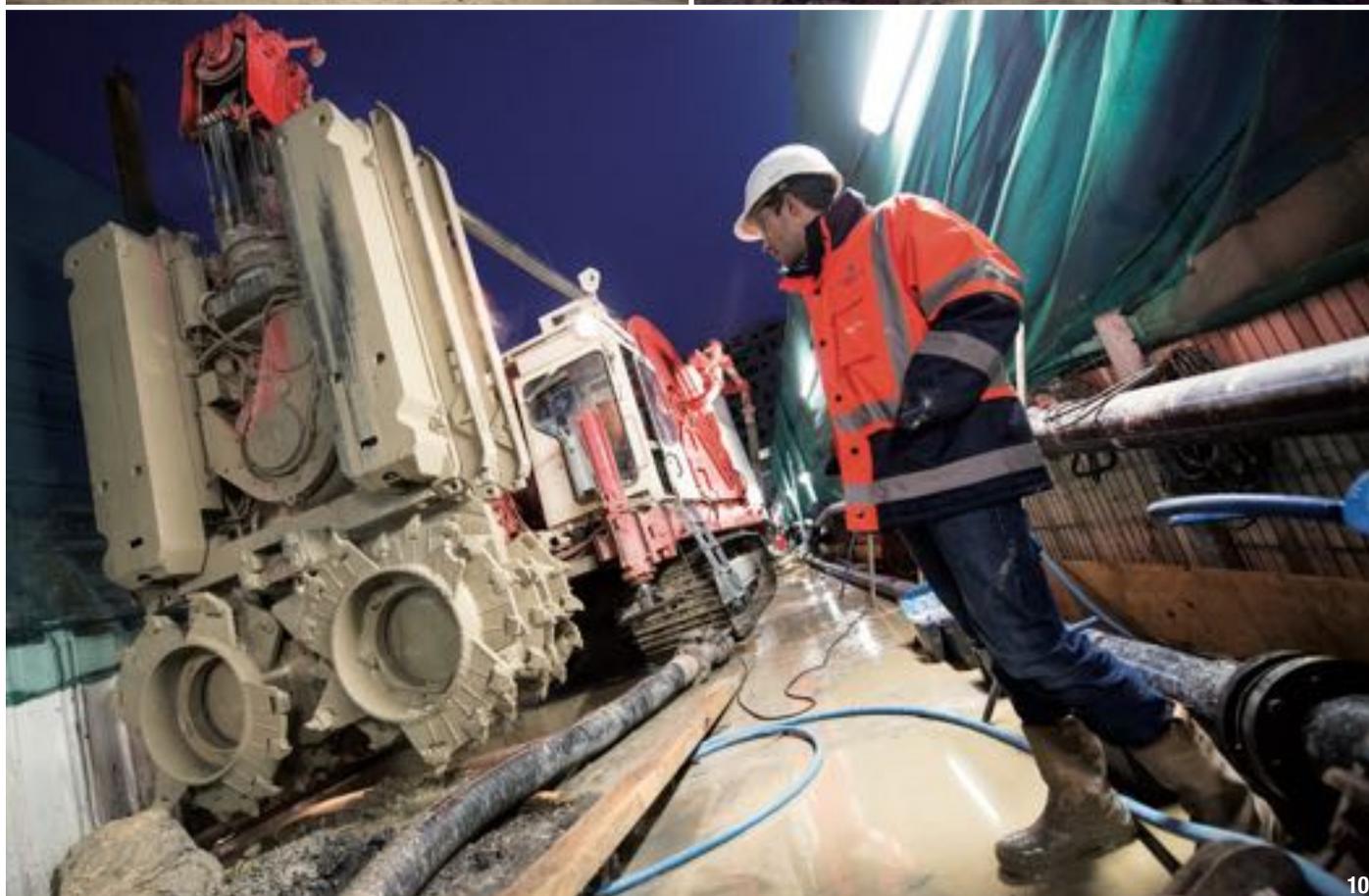
9- Grutage de l'Hydrofraise.

10- Évolution de l'Hydrofraise dans la file F.

8- Bared hydrofraise.

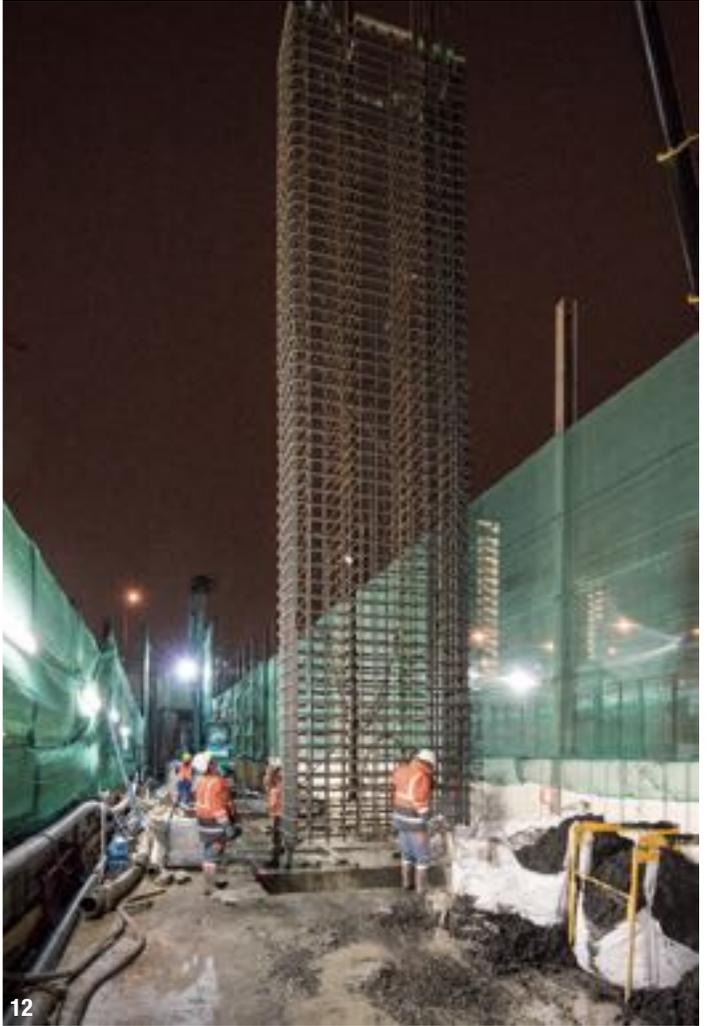
9- Hoisting the hydrofraise.

10- Movement of the hydrofraise in row F.



© CEDRIC HELSLEY POUR SOLETANCHE BACHY

© CEDRIC HELSLEY POUR SOLETANCHE BACHY



s'est donc articulé autour des travaux nocturnes. L'excavation se faisait du lundi au vendredi, de 7h à 22h, et le bétonnage du mardi au samedi. Chaque poste était essentiel pour le bon déroulement du suivant. L'équipe de jour s'employait à donner le maximum de barrettes au poste de nuit pendant que ce dernier assurait non seulement l'équipement, mais aussi la préparation des avant-trous et du bétonnage. Un vrai travail d'équipe ! Les travaux de fondations se sont achevés conformément au planning, le 8 janvier 2013. □

11- Grutage des cages.
12- Mise en place des cages d'armatures.

11- Hoisting reinforcing cages.
12- Placing concrete reinforcing cages.

LES INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : SEMAPA

MAÎTRISE D'OUVRAGE DÉLÉGUÉE : SNCF Direction déléguée aux opérations nouvelles

MAÎTRISE D'ŒUVRE : SNCF Direction de l'ingénierie - Cellule opérationnelle ATM

GROUPEMENT GC : BOUYGUES TP (Mandataire) - SPIE BATIGNOLLES TPCI - DG CONSTRUCTION

CO-TRAITANT POUR LES TRAVAUX DE FONDATIONS : SOLETANCHE BACHY FRANCE

ABSTRACT

FOUNDATIONS FOR ROOF COVERING OF THE RAILWAY TRACKS OF UNIT T7 IN PARIS 13^e

STÉPHANIE OLLIVIER - INGÉNIEUR TRAVAUX

The T7 slab project comes within the general framework of roof covering for the railway tracks in the Austerlitz/Tolbiac/Massena sector in the 13th arrondissement of Paris. SEMAPA awarded the contract for execution of this slab to the Bouygues TP – Spie Batignolles TPCI – DG Construction and Soletanche Bachy France consortium (in charge of all the foundations). Given the cramped environment and the closeness of the railway tracks, the methods and equipment used had to be adapted. □

CIMENTOS DE LA CUBIERTA DE LAS VÍAS DE LA SNFF DEL ISLOTE T7 EN PARÍS DISTRITO 13

STÉPHANIE OLLIVIER - INGÉNIEUR TRAVAUX

La obra de la losa T7 se inscribe en el marco general de la cubierta de las vías de la SNFF en el sector Austerlitz / Tolbiac / Massena en el distrito 13 de París. La SEMAPA confió la realización de esta losa a la agrupación de empresas BOUYGUES TP - SPIE BATIGNOLLES TPCI - DG CONSTRUCTION y SOLETANCHE BACHY FRANCE (encargada del conjunto de los cimientos). El contexto exiguo y la cercanía de las vías la SNFF hicieron necesario adaptar los métodos y los medios materiales. □



© CÉDRIC HELSLY

AUTOROUTE A8 : SECTEUR DE LA BORNE ROMAINE SÉCURISATION D'UN GLISSEMENT DE TERRAIN PROFOND

AUTEUR : MEHDI BENHABBARI, INGÉNIEUR TRAVAUX, SOLETANCHE BACHY FRANCE

LE SITE DE L'OUVRAGE D'ART N°54, SITUÉ AU DROIT DU LIEU-DIT « LA BORNE ROMAINE », EST LE SIÈGE DEPUIS PLUS DE VINGT ANS D'UN LENT ET INEXORABLE GLISSEMENT DE TERRAIN AFFECTANT LA CHAUSSÉE NORD DE L'AUTOROUTE A8. EN ATTENDANT LE PERCEMENT D'UN TUNNEL DE 800 M DE LONG QUI VA CONDUIRE, À TERME, AU DÉPLACEMENT DE L'AUTOROUTE, LA ZONE A ÉTÉ STABILISÉE PAR UN DOUBLE ÉCRAN BERLINOIS (B1, B2 - FIGURE 1) ANCRÉ SOUS LA LIGNE DE GLISSEMENT DONT LA PREMIÈRE LIGNE (B1) EST MAINTENUE EN TÊTE PAR UNE FILE D'ANCRAGES PASSIFS. DANS CETTE ZONE, ON NOTE ÉGALEMENT LA PRÉSENCE DU RÉSEAU DE GAZ ALIMENTANT TOUT L'EST DU DÉPARTEMENT DES ALPES MARITIMES ET LA PRINCIPAUTÉ DE MONACO, RÉSEAU ACTUELLEMENT EN COURS DE DÉPLACEMENT.

CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

La portion d'autoroute concernée est située entre Nice et Monaco, dans le talus aval de l'autoroute A8 au droit du lieu-dit « La Borne Romaine ». C'est d'ailleurs lors de la construction du tronçon autoroutier au cours des

années 70, lorsque deux antiques bornes romaines de la Via Aurelia ont été déterrées, que le site a ainsi été nommé.

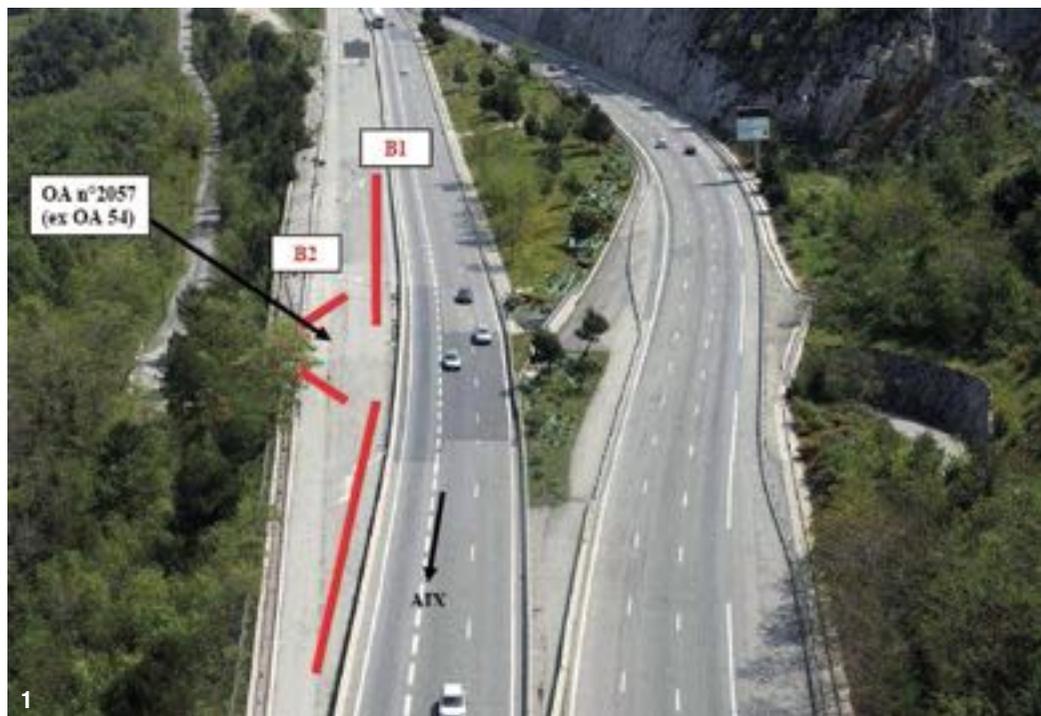
Dans cette zone, le paysage est constitué de chaînons orientés est-ouest, limités en amont par une ligne de crêtes marquée par le mont Camps-

de-l'Allée et la cime de la Forna plus à l'est. Le versant est dans une fourchette d'altitude située entre 696 (fort de la Revère en amont) et 193 dans le vallon de Laghet en aval.

L'autoroute A8 est calée sur un épaulement entre une topographie assez raide en amont (calcaire d'âge juras-

sique) et moins raide en aval, composée de marnes et de marno-calcaires du Crétacé.

Elle est située sur un versant en pente assez forte (30 à 40° sous l'horizontale), constituant un ubac, où le soleil est absent lors de la saison hivernale. Le site de la Borne Romaine présente



1
© ESCOTA

une géologie soumise à des variations spatiales très sensibles, liées en majorité aux conditions tectoniques.

La série stratigraphique identifiée s'avère très variable, tant sur le plan vertical que sur le plan horizontal :

→ Éboulis de pentes et colluvions constitués de blocs cyclopéens de taille métrique, cimentés ou non par un liant argilo-sableux et d'épaisseur variable ;

→ Marnes cénomaniennes altérées ;
→ Marnes cénomaniennes compactes, localement rocheuses.

Le toit des marnes constitue globalement le plan de glissement.

Leur caractère imperméable accentue d'ailleurs le risque d'activation du glissement lors des périodes de fortes précipitations, lorsque l'aquifère a tendance à se recharger dans l'horizon des ébouils et colluvions, en se déversant au-dessus des marnes cénomaniennes étanches.

La conjonction des pendages, les accidents subméridiens, et la présence des marnes imperméables ont créé les conditions d'apparition du grand glissement de la Borne Romaine (localisé jusqu'à 21 m de profondeur par rapport à la chaussée existante - figure 2). L'évolution du glissement depuis les dernières décennies va conduire au déplacement de l'Autoroute 8 vers l'amont et son encastrément dans les calcaires avec le futur projet de tunnel situé à proximité du péage de la commune de La Turbie (06).

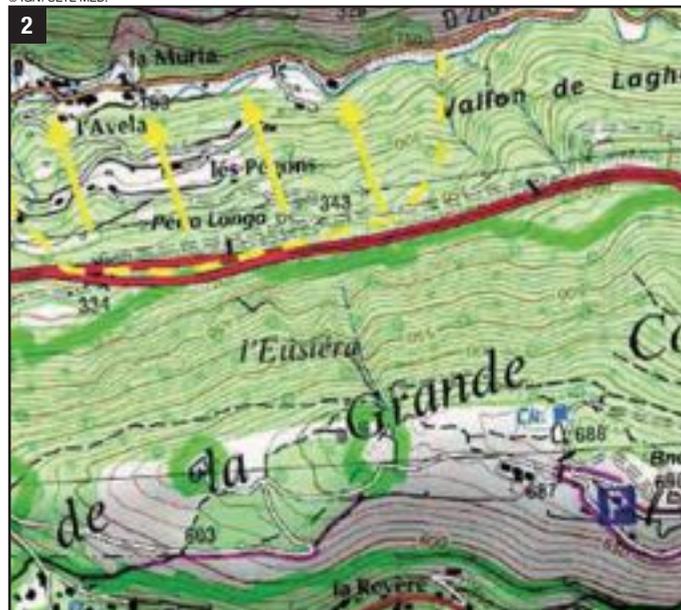
1- Vue aérienne du site de la Borne Romaine.

2- Plan de situation.

1- Aerial view of the Borne Romaine site.

2- Location drawing.

© IGN/CETE MED.



REPRISE DES MOUVEMENTS

Dans les premiers mois de l'année 2009, l'analyse des données topographiques et inclinométriques a mis en évidence une reprise des mouvements et une possible réactivation du grand glissement de la Borne Romaine. Ces mesures étaient confortées par l'apparition de nouveaux désordres visibles en partie supérieure de la chaussée autoroutière (tassement, fissuration des GBA et de la chaussée).

Compte tenu du volume de sol à stabiliser et de la profondeur du glissement, le CETE MÉDITERRANÉE a proposé un

confortement par un double rideau :

→ Une première berlinoise tirantée B1 (de longueur 120 m) protège la chaussée circulée : elle est constituée de pieux de 670 mm de diamètre, espacés d'un mètre intégrant pour armature un profilé métallique HD 320x245 de 355 MPa de limite élastique. Ces pieux sont encastrés de 3,5 m dans les marnes compactes et ont une longueur de 25,5 m. La berlinoise est retenue en tête par des tirants passifs, situés à 1,50 m de profondeur par rapport au terrain naturel. Leur diamètre de forage est de 170 mm de diamètre, et l'armature est constituée de tubes pétroliers N80 de 127 mm de diamètre et de 12,5 mm d'épaisseur. La limite élastique des tubes est de 550 MPa. Ces tirants espacés de 2 m viennent ancrer les pieux en partie supérieure et ont une longueur de 31 m.

→ Une deuxième berlinoise B2 (2 fois 12 m) complète la protection de l'ouvrage : elle est constituée de pieux de 670 mm de diamètre, espacés de 1,20 m intégrant pour armature un profilé métallique HD 320x300 de 460 MPa de limite élastique. Ces pieux sont encastrés de 5 m dans les marnes compactes et ont une longueur de 30 m.

Les deux écrans de soutènement ont été dimensionnés, de sorte que l'on puisse reprendre un déconfinement du sol imputable à l'évolution du glissement à l'aval de la berlinoise, sur 10 m de hauteur.



LES TRAVAUX

Les travaux ont été confiés par ESCOTA au groupement Soletanche Bachy France - Soletanche Bachy Pieux au début de l'année 2011.

Débutés au cours de l'été 2011, les travaux se sont achevés un an plus tard, au mois d'août 2012.

CONSTRUCTION DES PIEUX

Préalablement à la réalisation des pieux, il a fallu procéder à un rabotage partiel de la chaussée, afin de rattraper l'inclinaison de la chaussée en vue de créer une plateforme stable pour l'intervention des foreuses.

La difficulté de réalisation des pieux consistait à définir une méthode qui permettait de traverser des horizons géologiques très hétérogènes en évitant toute décompression du terrain. La méthode de forage se décompose en trois étapes :

→ Préforage des blocs au marteau fond de trou ;

→ Remplissage du forage au moyen d'un remblai liquide constitué d'un

matériau fin et homogène avec un liant hydraulique ;

→ Après respect du temps de séchage du remblai, reforage du pieu en méthode traditionnelle jusqu'à l'ancrage dans les marnes compactes de couleur grise, puis bétonnage.

Les préforages constituent la première étape de forage du pieu. Il s'agit de perforer les terrains de couverture (remblais, colluvions) à l'aide un marteau fond de trou de gros diamètre (ϕ 729 mm). L'ensemble (tiges de forage, taillant, marteau) est monté sur une foreuse de pieu de type F16, à l'abri d'un tube pour assurer le maintien des parois du forage (figures 3 et 4). Une couronne fixée en partie inférieure permet d'aléser le forage.

Le marteau casse les blocs et concasse les graviers et les terrains rencontrés. Les cuttings sont remontés en surface au moyen d'un flux d'air. Comme on peut le voir sur la figure 5, pas moins de trois compresseurs de 30 000 l/mn (pression 25 bars) sont nécessaires à la remontée des cuttings et à la pres-

3- Refoulement des déblais.

4- Prise de vue de la foreuse F16.

5- Prise de vue des 4 compresseurs 30 000 l/mn - 25 bars alimentant le marteau fond de trou.

3- Discharging excavated material.

4- Shot of the F16 driller.

5- Shot of the four 30,000-litre/mn, 25 bar compressors powering the down-the-hole drill.

sion utile au fonctionnement du marteau fond de trou ; le quatrième est un compresseur de « secours ».

À la fin du forage, un tube métallique de diamètre 660 mm et d'épaisseur

10 mm est descendu dans le forage. Celui-ci est rempli de remblai liquide avant extraction du tube.

Un dispositif de protection situé en haut de la machine, autour du collecteur de déblais, a permis de maîtriser les projections de déblais. Un petit jet d'eau intégré servait à humidifier les cuttings pour les faire tomber par gravité au pied de la foreuse. Le chantier étant situé en bord d'autoroute, il était indispensable d'éviter toute projection sur les voies circulées. Les déblais sont ensuite évacués en décharge.

Après un temps de durcissement suffisant du remblai liquide (2 jours minimum), le pieu est reforé en diamètre 670 m en méthode traditionnelle, au moyen d'une foreuse MAIT 240 (figures 6 et 7).

Les parois du terrain sont maintenues sur la longueur préforée par la gaine de remblais liquide ; en dessous les marnes se tiennent bien.

L'absence d'eau dans les forages a permis de mettre en place le profilé métallique dans le forage avant béton-



6



8



7

FIGURE 6 © ALTITUDE - FIGURE 7 © VERAN - FIGURE 8 © SOLETANCHE BACHY

nage. Ce qui permet de s'affranchir de contraintes d'exécution délicates, telle que la vibration du profilé dans le béton. Un profilé HD 320x300 pèse 320 kg par mètre, soit un poids de 9,6 t pour un élément de 30 m. Au total, pour les 120 pieux de la berlinoise B1 et les 22 pieux de la berlinoise B2, 948 tonnes d'acier ont été installées dans le terrain.

Les trois premiers mètres (partie visible - figure 8) ont reçu une protection contre la corrosion qui consiste en une métallisation à chaud de 120 µm d'épaisseur, doublée de l'application d'une peinture de protection (système C4ZNV 651).

Les profilés métalliques sont manutentionnés à la grue, en un seul élément de 30 m. Ils sont ensuite descendus dans le forage après la mise en place d'un guide (figure 9).

On veille ainsi à :

- Caler les paires de profilés à la même altimétrie pour la mise en place des liernes ;
- Vérifier la verticalité du forage ;

6- Prise de vue de la MAIT 240.

7- Forage d'un pieu à la MAIT 240.

8- Profilés métalliques HD métallisés à chaud sur les trois premiers mètres.

6- Shot of the MAIT 240.

7- Drilling a pile hole with the MAIT 240.

8- HD steel sections galvanized over the first three metres.

→ Centrer le profilé dans le pieu pour assurer l'enrobage.

Le pieu est ensuite bétonné à la colonne - figure 10). Les profilés étant métallisés sur les trois premiers mètres,

il est formellement interdit de réaliser des soudures. Il fallait alors anticiper la protection de cette partie visible en vue des terrassements pour la mise en place des liernes.

C'est pourquoi, lors du bétonnage du pieu, le béton est arrêté 2 mètres sous le terrain naturel (hauteur terrassée). Un contreplaqué est mis en place contre l'aile du profilé et seul la partie située côté terre est remplie de béton pour assurer le soutènement. Côté fouille, il est mis en place du sable qui est facilement enlevé lors des terrassements.

SUMI OBSERVATIONNEL

Compte tenu de l'environnement ultrasensible du site (figure 11) avec la circulation autoroutière maintenue sur les voies en amont de la berlinoise B1, un suivi topographique de la zone était indispensable, en particulier lors de la réalisation des préforages au marteau fond de trou.

Le débit d'air important (3 compresseurs de 30 000 l/mn), combiné aux

terrains de tête mal compactés et au glissement de terrain existant, nécessitait un suivi régulier de la zone.

Pour ce faire, nous avons installé des cibles topographiques sur l'ensemble du linéaire côté talus. En parallèle, des mesures inclinométriques régulières permettaient de suivre l'évolution du glissement.

Les résultats observés ont montré quelques incréments de déplacements, un léger affaissement de la plateforme de travail mais sans gravité au final.

MISE EN PLACE DES TIRANTS

Une fois les pieux réalisés, la berlinoise B1 est terrassée sur environ 2 m de profondeur pour permettre la réalisation des tirants situés à 1,50 m sous la chaussée.

Un gabarit est alors posé sur les consoles métalliques boulonnées aux profilés, afin de guider le forage et d'assurer la bonne implantation du tirant. Ces derniers sont inclinés de 30° par rapport à l'horizontale et sont forés, soit depuis la plate-forme terrassée, ▷

soit depuis le terrain naturel, lorsque la zone est trop étroite pour taluter comme on peut le voir sur la figure 12. Les tirants de l'ouvrage sont capables de développer une traction de service égale à 660 kN lorsqu'ils sont mis en charge.

Les travaux ont été exécutés au moyen du procédé de forage Hi'Drill développé par le groupe Soletanche Bachy. Les forages ont été réalisés en deux mois et demi pendant l'été de l'année 2012. Comme pour les pieux, la difficulté résidait dans la méthode de forage et dans la traversée de couches géologiques sensiblement différentes. La méthodologie retenue est la suivante :

→ Installation d'un tubage provisoire de diamètre 215 mm sur la hauteur des remblais, afin de maîtriser les éboulements et limiter les pertes de coulis ;

→ Reprise du forage à l'intérieur, en diamètre 170 mm au moyen du procédé Hi'Drill directement avec le tube N80 à l'outil perdu jusqu'à 31 m de profondeur.

Les tubes sont mis en place sur la foreuse DCH 147, par élément de 4,50 m, au moyen d'une mini-pelle équipée d'une pince hydraulique, comme on peut le voir sur la figure 13. Des mamelons permettent de visser entre eux les éléments de tube.

La longueur libre du tirant (sur une longueur de 5 m) est assurée par l'application manuelle de deux couches d'enduit bitumineux, produit qui n'adhère pas au coulis de scellement. Les tubes sont équipés de centreurs métalliques, pour garantir l'enrobage.

Deux campagnes préalables d'essais ont été exécutées au mois de septembre 2011 et au mois de mars 2012. Le programme de chargement conforme à la norme NF P 94-153 a permis de valider les caractéristiques géomécaniques des différents horizons géologiques traversés, le dimensionnement des tirants (longueur et diamètre de forage), ainsi que la méthode de forage.

Ces essais ont été réalisés sur des tirants non réutilisés dans le cadre de la construction de l'ouvrage.

La couleur des eaux de forage remontées en tête de forage permettait de dresser le profil géologique de chaque tirant et de s'assurer du critère d'ancrage de deux mètres minimum dans les marnes compactes.

MISE EN PLACE DES LIERNES

La continuité entre les profilés métalliques et les tirants est assurée par la



9



10

9- Mise en place et calage du profilé dans le forage au moyen d'un guide.

10- Bétonnage du pieu.

11- Vue d'ensemble.

9- Positioning and setting the section in the drill hole using a guide.

10- Pile concreting.

11- General view.



11

mise en place d'une lierne sur laquelle la platine du tirant prend appui.

La lierne est constituée de deux profilés HEB 140 galvanisés à chaud.

Une fois le tirant scellé, la lierne est mise en place sur les consoles métalliques boulonnées sur les profilés.

La jonction entre le tirant et la lierne est assurée par une plaque et une chaise d'appui inclinée à 30°. L'ensemble est ensuite bloqué, une fois l'écrou de 120 mm vissé, comme on peut le voir sur la figure 14.

Aucune soudure n'était autorisée pour assembler ces éléments métalliques situés hors sol, car l'in risque d'endommager la galvanisation des liernes

PRINCIPALES QUANTITÉS

OUVRAGES :

- Berlinoise B1 : 120 m
- Berlinoise B2 : 2 x 12 m

PIEUX :

- 120 pieux ϕ 670 mm - longueur de 25,50 m, équipés de profilés HD 320x245
- 22 pieux ϕ 670 mm - longueur de 30 m, équipés de profilés HD 320x300

ANCRAGES PASSIFS :

- 60 tirants - longueur de 31 m, équipés de tube N80 ϕ 127 mm épaisseur 12,5 mm

LIERNES :

- 60 liernes en HEB 140



12



13



14

12- Réalisation d'un tirant depuis le terrain naturel.

13- Mise en place des tubes N80 à la mini-pelle.

14- Lierne métallique et tête de tirant mises en place.

12- Execution of a tie anchor from the natural ground.

13- Placing N80 tubes by mini-shovel.

14- Metallic lierne rib and tie-anchor head placed in position.

de niveau des liernes sur les consoles métalliques ;

→ Le dégagement du profilé avec soin lors du terrassement afin de ne pas endommager la métallisation ;

→ L'implantation du tirant.

CONCLUSION

Ce chantier de forage de grande ampleur nous a permis de développer des procédés innovants et peu communs, tant pour la réalisation des tirants que pour les pieux. La complexité du chantier a surtout résidé dans la définition de méthodes de forage adaptées à la géologie très hétérogène du site. L'attention portée à la sécurité dans un environnement particulièrement sensible, sur un chantier en bord d'autoroute, a également été un point déterminant dans la réussite des travaux. Le site a maintenant été remblayé et la chaussée est désormais définitivement délaissée. Les dernières mesures effectuées, ont montré une stabilisation des déplacements. La zone aujourd'hui confortée va permettre le déplacement de l'autoroute et le percement à l'amont du 35^e tunnel traversé par l'A8 dans les Alpes Maritimes. □

et la métallisation des profilés. Il a donc fallu prévoir les perçages en atelier pour fixer l'ensemble par boulonnage.

Pour ce faire, un soin important a dû être apporté pour l'exécution des points suivants :

→ L'alignement et le calage altimétrique des profilés permettant la pose

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE : ESCOTA Département Ouvrages et Programmation

MAÎTRISE D'ŒUVRE : ESCOTA Direction Régionale d'Exploitation Var Côte d'Azur

CONTRÔLE EXTÉRIEUR : CETE Méditerranée

COORDONATEUR ENVIRONNEMENT : SEGED

COORDONATEUR SPS : SARL-CM-PREVENTION

ENTREPRISE GÉNÉRALE : groupement SOLETANCHE BACHY FRANCE (mandataire) - SOLETANCHE BACHY PIEUX

ABSTRACT

A8 MOTORWAY - "BORNE ROMAINE" SECTOR, PROTECTION FROM AN IN-DEPTH LANDSLIDE

MEHDI BENHABBARI, SOLETANCHE BACHY

For more than twenty years, the site of engineering structure 54, located at the level of the locality known as "La Borne Romaine", has been the seat of a gradual, relentless landslide affecting the northern carriageway of the A8 motorway. Pending the drilling of an 800-metre-long tunnel which will ultimately entail displacement of the motorway, the zone has been stabilised by a double Berlin type screen wall (B1, B2 - see Figure 1) anchored under the slip line, the first line of which (B1) is held at the head by a row of non-prestressed anchors. In this zone, one also notes the presence of the gas network supplying the whole eastern part of the Alpes Maritimes "département" and the Principality of Monaco; the network is currently being shifted. □

AUTOPISTA A8 - SECTOR DE LA BORNE ROMAINE, SECURIZACIÓN DE UN CORRIMIENTO DE TIERRAS PROFUNDO

MEHDI BENHABBARI, SOLETANCHE BACHY

Desde hace más de veinte años, el emplazamiento de la estructura n° 54, situado perpendicularmente al lugar denominado "La Borne Romaine", es sede de un lento e inexorable corrimiento de tierras que afecta la calzada norte de la autopista A8. A la espera de que se perfore un túnel de 800 m de longitud que, a su término, conducirá al desplazamiento de la autopista, se ha estabilizado la zona con una doble pantalla berlinesa (B1, B2 -ver la figura 1) anclada bajo la línea de corrimiento cuya primera línea (A B1) se mantiene en cabeza por una fila de anclaje pasivo. En esta zona, también cabe destacar la presencia de la red de gas que alimenta todo el este del departamento de Alpes Marítimos y el principado de Mónaco. Actualmente, se está desplazando la red. □

ESTACADE DE LA FOLIE, MAÎTRISE DE L'ALÉA CAVITÉ SUR UN OUVRAGE DE LA LGV SEA

AUTEURS : JEAN-BAPTISTE GARIDEL, INGÉNIEUR D'ÉTUDES, EGIS GÉOTECHNIQUE - FABIEN BORSELLINO, CHEF DE PROJET, EGIS GÉOTECHNIQUE - BRUNO MAZARÉ, DIRECTEUR TECHNIQUE, RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT SOL-STRUCTURE, EGIS GÉOTECHNIQUE - SOPHIE MONTENOT, INGÉNIEUR GÉOTECHNICIEN, VINCI CONSTRUCTION TERRASSEMENT

AU NORD DE POITIERS, LA LIGNE À GRANDE VITESSE SUD EUROPE ATLANTIQUE (LGV SEA) TOURS-BORDEAUX SE RACCORDE AU RÉSEAU EXISTANT PAR UNE ESTACADE D'UNE LONGUEUR TOTALE DE 1,6 KM AU LIEU-DIT DE « LA FOLIE ». CET OUVRAGE EST SITUÉ DANS UNE ZONE D'ALÉA CAVITÉ QUALIFIÉ COMME FORT. UNE CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE SPÉCIFIQUE ET UNE ANALYSE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE ONT ÉTÉ MENÉES AFIN DE DÉTERMINER L'IMPACT SUR LES FONDATIONS DE L'OUVRAGE ET LES DISPOSITIONS SPÉCIFIQUES NÉCESSAIRES EN PHASE TRAVAUX VIS-A-VIS DE CET ALÉA.



© EGIS

PRÉSENTATION DU PROJET

Dans le cadre des travaux de la Ligne à Grande Vitesse Sud Europe Atlantique (LGV SEA) Tours-Bordeaux, COSEA a confié à Egis Géotechnique la mission des études géotechniques d'exécution de l'ouvrage de l'Estacade de La Folie (mission G3 au sens de la norme NF P 94-500) avec une mission complémentaire d'analyse de l'aléa cavité. Cette estacade permet le franchissement de la RD910, de la RN147 et leurs bretelles, et assure le raccordement de la LGV sur les lignes classiques Paris-Hendaye (voie 2) et

Paris-Bordeaux (voie 1), permettant l'accès à la ville de Poitiers (zone du raccordement de Migné Auzances).

Cet ouvrage est composé de 9 travées communes aux deux voies, complétées par 31 travées dédiées à la première voie de raccordement et 30 travées pour la seconde.

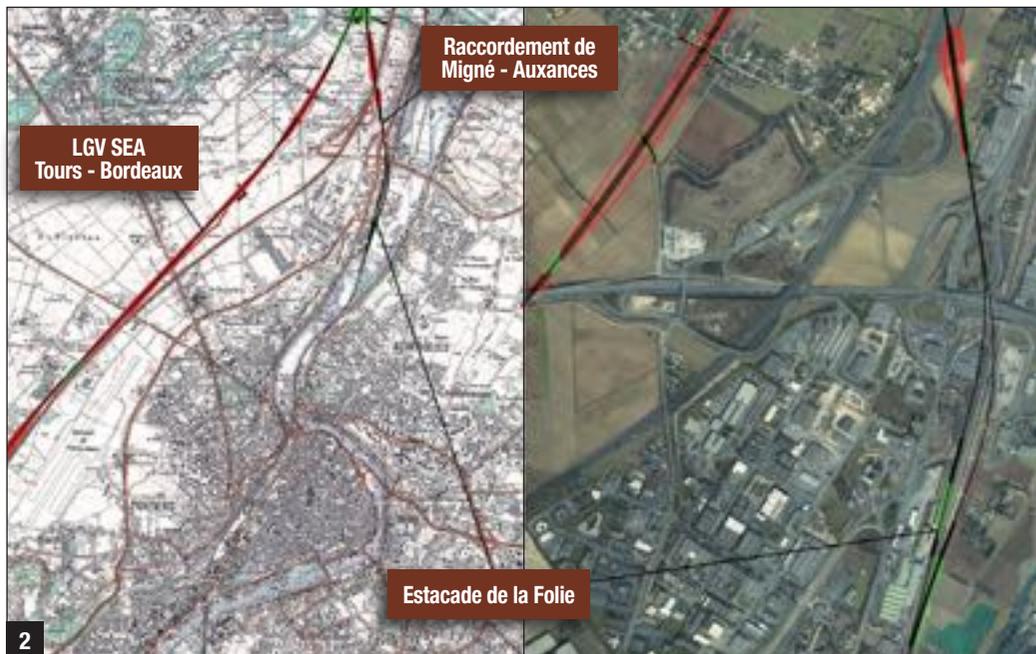
Il est découpé en ensembles de 3 travées (pile-culée tous les 4 appuis) avec un tablier en éléments de type PRAD (ouvrages à poutres sous chaussées précontraintes par adhérence, solidarisées par un hourdis en béton coulé en place).

Les hauteurs de piles varient de 4 m à 19 m. L'implantation des appuis s'inscrit donc dans un contexte urbain dense avec la présence de routes et de voies ferrées, de la gare de triage et de bâtiments (figure 2).

Cet ouvrage a été traité conjointement par le Bureau d'étude d'exécution (Egis Géotechnique), le contrôle externe (Grégoire Priol, Dodin Campenon Bernard - Vinci Construction), la « cellule cavité » de COSEA SGI (pilotée par Sophie Montenot) et la Direction de Projet de l'ouvrage (Romain Thomassier et Younès Benatia).

CADRE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE GÉNÉRAL

D'un point de vue géologique (voir carte géologique et profil en long géotechnique ci-dessous), les calcaires du Jurassique (essentiellement le Bathonien J2) constituent le substratum du site. Ces calcaires, parfois altérés en tête, sont partiellement surmontés d'argiles à cailloutis et d'une couche plurimétrique d'alluvions anciennes de la vallée du Clain. On note également la présence de remblais anthropiques liés aux nombreuses infrastructures présentes dans cette zone (figure 3).

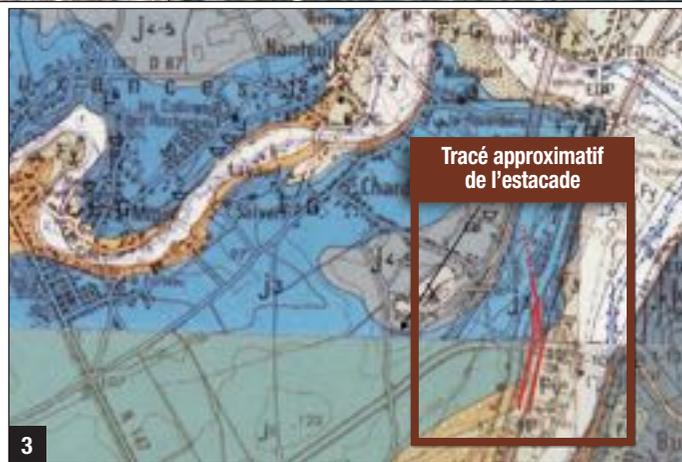


2

© EGIS

2- Localisation de l'estacade de la Folie.
3- Extrait des cartes géologiques du BRGM.

2- Location of La Folie viaduct.
3- Excerpt from the geological maps of the BRGM.



3

© EGIS

Le calcaire du Bathonien, principal siège des anomalies karstiques au droit de l'estacade, se présente sous la forme d'un calcaire beige, bioclastique, d'aspect localement graveleux. Il est facilement identifiable par sa compacité, la présence de niveaux de silex sombre, et surtout par la présence de terriers fossiles et de débris de Crinoïdes et de Bivalves, caractérisant une mer très peu profonde. Le contact avec le Callovien sus-jacent se fait par une couche à nombreux terriers (« hard-ground ») indiquant une émergence temporaire suivie d'une large transgression marine. La continuité des niveaux fossilifères et à silex n'apparaît pas évidente d'un sondage à l'autre, ce qui traduit le caractère lenticulaire des dépôts du Bathonien. Cependant, les diagraphies gamma-ray (caractérisant la radio-activité naturelle des roches) réalisées dans les forages ont permis de faire des corrélations correctes entre les sondages, mais aussi

de constater que la radio-activité naturelle de ces calcaires ne semble pas liée à leur teneur en argile mais en minéraux uranifères : les pics les plus élevés seraient associés à des limites de séquences sédimentaires, ou à une surface d'inondation. Ceci explique pourquoi certaines mesures élevées de radio-activité ne correspondraient pas à des anomalies, mais à des cycles de sédimentation, avec une teneur croissante en radio-activité naturelle vers le haut ; certains niveaux particuliers dans les calcaires bathoniens ont ainsi pu être corrélés. L'épaisseur totale du Bathonien est d'environ 20 à 25 m, conforme à la géologie locale. Du point de vue géotechnique, la problématique des fondations a été traitée en prenant en compte la forte variation altimétrique du niveau du terrain naturel, la nature et la compacité des sols en place et les contraintes de réalisation (présence de la ligne classique, de voies circulées et de bâtiments existants) et le contexte

sismique (aléa modéré). La mission G3 a permis de confirmer des fondations superficielles en début et fin d'ouvrage (faible profondeur du substratum) et des fondations profondes sur pieux dans la partie centrale (partie la plus proche de la vallée du Clain) (figure 4).

OBJECTIF DES ÉTUDES

L'analyse réalisée durant la phase APD a conduit la « cellule cavité » à classer cet ouvrage en zone d'aléa fort. L'objectif pour la phase des études d'exécution est de déterminer l'impact de cet aléa sur le dimensionnement et sur les risques éventuels concernant les fondations (y compris lors des phases travaux).

Les études d'exécution se sont déroulées en trois étapes :

1- Synthèse des données disponibles et analyse du contexte géologique afin de déterminer l'origine des anomalies au sein du calcaire et leurs principales localisations ;

- 2-** Définition et réalisation d'une campagne de reconnaissance complémentaire pour caractériser les anomalies ;
- 3-** Analyse de l'impact des anomalies sur les fondations et définitions des principes à retenir en cas d'anomalie avérée.

SYNTHÈSE DES DONNÉES DISPONIBLES

Suite à la réalisation de la mission G3, EGIS Géotechnique s'est appuyé sur les données des phases précédentes (sondages carottés, sondages destructifs avec essais pressiométriques, panneaux électriques, microgravimétrie) et sur une expertise géologique du site et de ses environs par Jean HECTOR (géologue expert d'Egis Géotechnique) pour établir un premier modèle structural de la zone de l'estacade et affiner ainsi les zones d'aléa.

L'expertise géologique a notamment permis de montrer que le substratum rocheux est découpé en horsts et grabens (« touches de piano ») de faible rejet.

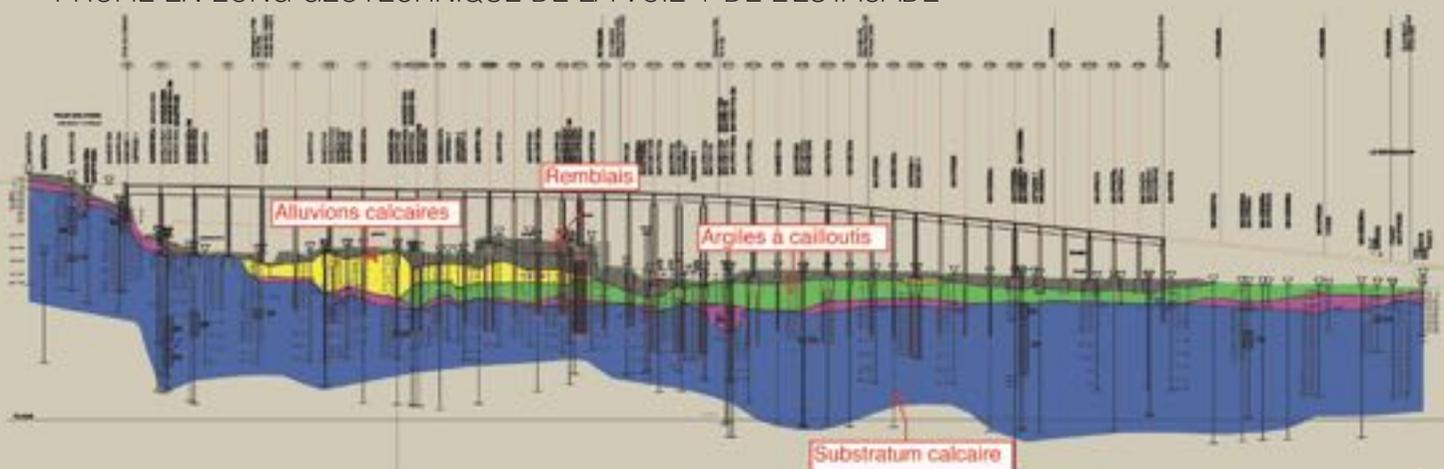
Plusieurs sondages ont rencontré des anomalies liées à la présence de phénomènes karstiques : vitesses de foration très rapides, argiles brunes (probablement de « décalcification » sur des hauteurs pouvant atteindre jusqu'à 10 m de hauteur, ainsi que quelques vides. Le report de ces anomalies en plan et sur le profil de l'ouvrage a montré une remarquable régularité dans l'espacement de ces accidents (environ 40 à 60 m, et selon la même direction tectonique « Sud Armoricaire » (N120E à 140E). Cette analyse a conduit à considérer l'origine des anomalies observées comme étant des failles et fractures vestiges d'une ancienne période de tectonique.

Ainsi, les anomalies sont apparues comme essentiellement constituées de failles subverticales karstifiées, à plans ondulés, et ne correspondent à aucun niveau stratigraphique particulier (On n'observe aucune concordance entre leur développement et les variations de pendages de la stratification).

L'analyse des données disponibles a en outre permis d'établir une cartographie des anomalies. Un zonage des appuis ciblés en priorité en raison de la présence d'anomalies avérées ou suspectées a été réalisé.

Une analyse du contexte hydrogéologique a été menée en parallèle, et a mis en évidence un niveau de nappe compris entre +63 m et +66 m NGF, globalement homogène.

PROFIL EN LONG GÉOTECHNIQUE DE LA VOIE 1 DE L'ESTACADE



4

© EGIS

CAMPAGNE DE RECONNAISSANCE COMPLÉMENTAIRE

Les sondages des phases APS et APD (17 sondages APS, et 52 sondages APD dont 8 essais Cross-Hole) étaient essentiellement destinés à déterminer les caractéristiques géotechniques des sols rencontrés. Des investigations géophysiques (4 panneaux électriques et microgravimétries) avaient également été réalisés durant ces phases d'étude afin de délimiter et de localiser les zones d'anomalies. En premier lieu, une reconnaissance « mécanique » a été conduite au moyen de 27 sondages essentiellement pressiométriques ou carottés pour finaliser la caractérisation des formations géologiques en présence. Dès lors, les sondages complémentaires pour la reconnaissance des cavités devaient donc proposer une approche permettant de caractériser les anomalies rencontrées en position et en taille.

En conséquence, les investigations suivantes ont été retenues en phase EXE pour l'étude de l'aléa cavité :

- Sondages destructifs avec enregistrement des paramètres de foration, équipement en PVC crépiné de $\varnothing 52/60$ et mesure gamma ray systématique ;
- Mesures en forage par « Cylindre électrique »[®] (mesure de la résistivité des sols en place dans un rayon de 4 à 5 m autour du forage) associées localement à des mesures radar ;
- Inspection de la cavité avec une caméra optique (OPTV) dans le cas de cavité franche (forage à refaire à proximité en $\varnothing 116$ mm équipé en PVC de 110 mm) ;
- Tomographie en forage sous semelle en cas de grosse anomalie repérée ou en cas de doute (réalisé

dans tube PVC crépiné de $\varnothing 52/60$ avec inclinomètre en forage).

L'organigramme de décisions ci-dessous montre le principe des investigations pour la recherche de cavités dans les zones concernées par les anomalies dans le substratum calcaire (exemple des investigations programmées au niveau des piles culées) (figure 5).

Les appuis caractérisés par un risque avéré ou fortement suspecté ont donc systématiquement fait l'objet de reconnaissances supplémentaires. Les autres appuis ont fait l'objet de reconnaissances plus espacées pour compléter

4- Profil en long géotechnique de la voie 1 de l'Estacade.

5- Principe d'investigations pour la recherche de cavité.

4- Geotechnical longitudinal profile of lane 1 of the viaduct.

5- Investigation technique to search for the cavity.

les zones n'ayant fait l'objet d'aucune reconnaissance.

33 sondages destructifs (réalisés par GEOCENTRE) au droit des appuis cibles ont donc été réalisés pour la détection des vides et des passages altérés dans le calcaire. Ces sondages ont été associés à une mesure systématique de la radioactivité naturelle en forage (mesures « Gamma-ray »).

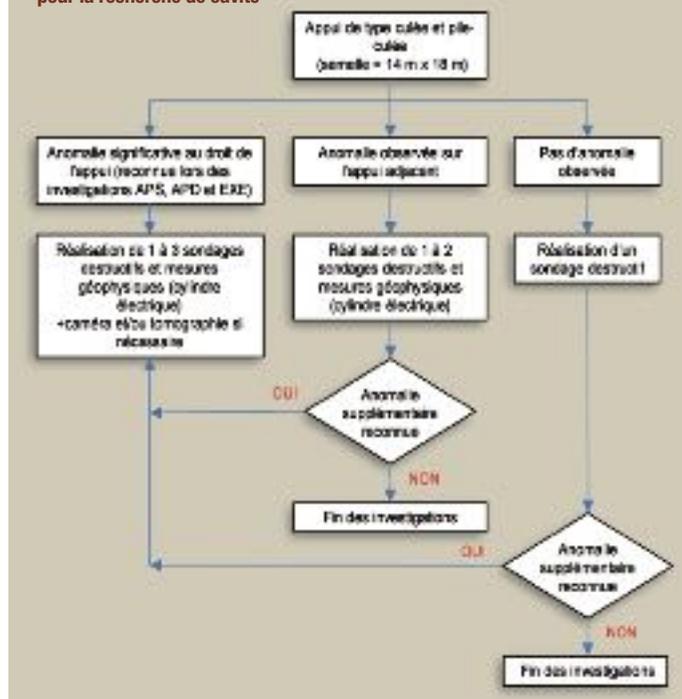
Ces mesures, étalonnées par les coupes lithologiques des sondages carottés, ont permis d'identifier les « signatures radio-actives » de plusieurs niveaux-repères corrélables dans les calcaires ; la comparaison de leurs altitudes a permis de déterminer le pendage des couches et la présence de failles. Il a également été possible d'affiner les modèles établis et de confirmer des hypothèses sur la nature des terrains ou sur la présence d'argile de remplissage dans les cavités rencontrées.

Les mesures par « Cylindre électrique »[®] (réalisées par SOLDATA Geophysical) ont permis de reconnaître, en complément des autres investigations réalisées, l'épaisseur et la nature du remplissage (mesure de la résistivité) d'une anomalie dans le calcaire. Les anomalies détectées ont également pu être orientées par cette technique géophysique.

ANALYSE DES RECONNAISSANCES COMPLÉMENTAIRES ET IMPACT SUR LES FONDATIONS

L'ensemble des investigations réalisées a été traité aussi bien de manière globale (sur l'ensemble de la zone afin de valider les familles de failles identifiées) qu'au niveau local (analyse de la présence et de l'impact des anomalies au

PRINCIPE D'INVESTIGATIONS pour la recherche de cavité



© EGIS

5

droit de chaque appui de l'estacade). Les anomalies observées au travers de l'étude réalisée semblent bien correspondre à des failles subverticales de faible ouverture. Celles-ci peuvent avoir été altérées dans les zones de battement de la nappe et peuvent comporter un remplissage argileux.

Les conséquences de ces anomalies sur les fondations sont les suivantes :

→ Impact sur la portance des fondations superficielles : aucune anomalie susceptible de remettre en question la portance des fondations n'a été observée au travers des investigations réalisées ;

→ Impacts sur les fondations profondes : la grande majorité des fondations profondes n'est pas impactée par les anomalies.

Un traitement préalable par injection peut s'avérer nécessaire vis-à-vis du risque de perte de coulis/béton des pieux au niveau des zones altérée/fracturée.

Des sondages destructifs de contrôle (avec enregistrement de paramètres de foration) sont programmés en phase travaux pour étudier la nécessité ou non d'approfondissement des pieux ou d'inspections préalables. (Des inspections de fond de terrassement sont également prévues).

L'étude réalisée a permis d'affiner la classification de l'aléa et d'établir un tableau présentant la synthèse du risque lié à l'aléa cavité sur les appuis de l'estacade. La synthèse est la suivante :

→ Les appuis définis en classe de risque « négligeable » (65 appuis sur 71) correspondent aux appuis au droit desquels les reconnaissances effectuées n'ont pas rencontré d'anomalie remettant en cause le modèle géotechnique établi. Des dispositions constructives spécifiques pourront cependant être nécessaires concernant notamment les surconsommations de

béton lors de la réalisation des pieux.

→ Les appuis définis en classe de risque « faible » (6 appuis sur 71) correspondent aux appuis au droit desquels les reconnaissances ont indiqué la présence d'anomalies susceptibles de remettre en cause le modèle géotechnique établi.

Suite à l'analyse cavité et à la réalisation des sondages complémentaires, la mission G3 a été reprise pour deux appuis afin de prendre en compte des anomalies avérées. Ainsi, un approfondissement du niveau du substratum et une réduction des paramètres pour la réaction frontale ont été pris en compte pour le dimensionnement des fondations.

MISE EN APPLICATION EN PHASE TRAVAUX

Au vu de l'étude réalisée, 6 appuis ont fait l'objet de sondages destructifs de contrôle (avec enregistrement de paramètre de foration). Du fait des contraintes de chantier (emprises de terrassements), les sondages ont été effectués en deux groupes distincts avant la réalisation des pieux. Dans un souci de cohérence, ces 24 sondages destructifs, un par pieu, ont été confiés à l'entreprise Géocentre ; ils ont permis de caractériser de façon complémentaire aux reconnaissances précédentes la compétence des formations d'ancrage ainsi que, pour deux appuis, la présence de fractures sous la pointe de quelques pieux. Afin de garantir le fonctionnement de ces pieux, il a été procédé à l'allongement des cages d'armature et l'approfondissement de la pointe afin de franchir ces zones d'anomalies mises en évidence.

Dans ces zones ciblées par l'analyse préalable, les sondages destructifs ont permis en phase travaux de finaliser la levée de l'aléa cavités et de réduire les sujétions d'exécution.

En complément, des inspections de fond de fouille ont été menées systématiquement pour les appuis sur semelle superficielle, aucun signe de karstification du toit du substratum calcaire n'ayant au demeurant été mis en évidence.

Le suivi des travaux ainsi que les dispositifs de contrôle (sondages destructifs) ont été intégrés au management de l'aléa cavités, et ont permis de ce fait

la qualification du risque résiduel et la validité des hypothèses géotechniques (figure 6).

CONCLUSION

L'enchaînement des études de niveau APD et EXE associés à un examen détaillé des conditions géologiques du site par un expert géologue travaillant en étroite collaboration avec l'équipe des géophysiciens et des géotechniciens a permis de circonscrire le risque cavité au droit de cette estacade de 71 appuis.

En définitive, seuls 2 appuis ont du faire l'objet d'adaptation du niveau d'ancrage des fondations en raison d'anomalies plus profondes et cela, sans remettre en cause les hypothèses de dimensionnement. □

6- Réception d'un fond de fouille.

6- Acceptance inspection of a bottom of cut.

© GRÉGOIRE PRIOL



PRINCIPALES QUANTITÉS

- Longueur cumulée : de 1,6 km
- 70 travées
- Hauteur des piles de 4 à 19 m
- 46 000 m³ de béton
- 5 000 t d'acier
- 465 poutres de tablier
- 203 pieux
- 74 semelles

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : RFF

MAÎTRE D'ŒUVRE ET ASSISTANT DU MAÎTRE D'OUVRAGE : COSEA

DIRECTION DE PROJET : VINCI Construction

ÉTUDES D'EXÉCUTION : EGIS Géotechnique

RECONNAISSANCE GÉOTECHNIQUE : GEOCENTRE

PROSPECTION GÉOPHYSIQUE : SOLDATA Geophysic

ABSTRACT

LA FOLIE VIADUCT, CONTROL OF THE CAVITY HAZARD ON AN ENGINEERING STRUCTURE OF THE "LGV SEA" HIGH-SPEED RAIL LINE

J.-B. GARIDEL, EGIS - F. BORSSELLINO, EGIS - B. MAZARÉ, EGIS - S. MONTENOT, VINCI

North of Poitiers, the Southern Europe Atlantic high-speed rail line (LGV SEA) Tours-Bordeaux is connected to the existing network by a viaduct of total length 1.6 km in the "La Folie" locality. This structure is located in an area where the cavity hazard is defined as severe. A specific reconnaissance campaign and geological and geotechnical analysis were carried out to determine the impact on the structure's foundations and the specific structural detailing required in the works phase with regard to this hazard. □

ESTACADA DE LA FOLIE, CONTROL DEL RIESGO DE CAVIDADES EN UNA ESTRUCTURA DE LA LGV SEA

J.-B. GARIDEL, EGIS - F. BORSSELLINO, EGIS - B. MAZARÉ, EGIS - S. MONTENOT, VINCI

En el norte de Poitiers, la Línea de Alta Velocidad Sur Europa-Atlántico (LGV SEA) Tours-Burdeos se conecta a la red existente por medio de una estacada de 1,6 km de longitud total al lugar llamado "La Folie". Esta estructura está situada en una zona de riesgo de cavidades calificado como elevado. Se han realizado una campaña de reconocimiento específico y un análisis geológico y geotécnico para determinar el impacto sobre los cimientos de la estructura y las disposiciones específicas necesarias en la fase de obras respecto a este riesgo. □

RENFORCEMENT DE PLATE-FORME DE TRANSFERT DE CHARGE SUR INCLUSIONS RIGIDES PAR GÉOSYNTHÉTIQUE

AUTEURS : PATRICK GARCIN, EGIS GÉOTECHNIQUE, GRENOBLE - LUC BOUTONNIER, EGIS GÉOTECHNIQUE, GRENOBLE - AUDREY HUCKERT, EGIS GÉOTECHNIQUE, GRENOBLE & LABORATOIRE SOL SOLIDE STRUCTURE / 3SR, UNIVERSITÉ JOSEPH FOURRIER, GRENOBLE - PASCAL VILLARD, LABORATOIRE SOL SOLIDE STRUCTURE / 3SR, UNIVERSITÉ JOSEPH FOURRIER, GRENOBLE

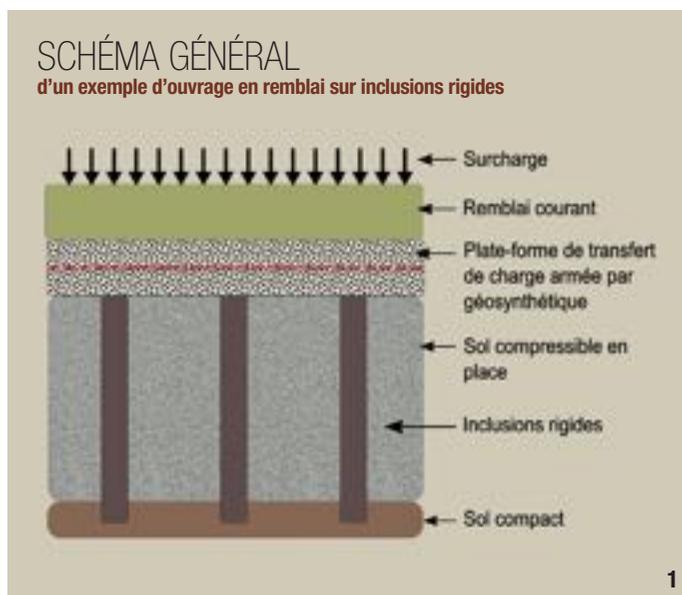
EN 2012, LE PROJET NATIONAL FRANÇAIS ASIRI A ABOUTI À DES RECOMMANDATIONS POUR LE DIMENSIONNEMENT, L'EXÉCUTION ET LE CONTRÔLE DE L'AMÉLIORATION DES SOLS DE FONDATION PAR INCLUSIONS RIGIDES. LE PRÉSENT ARTICLE DÉCRIT LES RECHERCHES MENÉES PAR EGIS GÉOTECHNIQUE ET LE LABORATOIRE 3SR, SUR LE COMPORTEMENT DE LA PLATE-FORME DE TRANSFERT DE CHARGE ARMÉE PAR GÉOSYNTHÉTIQUE TRÈS HAUTE RÉSISTANCE ET PRÉSENTE LES PREMIERS RÉSULTATS D'UNE MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT.

INTRODUCTION

Le renforcement de sol, notamment par inclusions rigides, connaît actuellement un important développement en Europe. Des règles de calcul et de construction sont nécessaires et deviennent progressivement disponibles. Le projet national français ASIRI, mené de 2005 à 2011 a étudié le comportement des ouvrages d'Amélioration des Sols par Inclusions Rigides, notamment au moyen d'un volet bench-marks de calculs numériques, et un volet expérimentations en vraie grandeur. En juillet 2012, il a abouti à des Recommandations pour le dimensionnement, l'exécution et le contrôle de l'amélioration des sols de fondation par inclusions rigides, ASIRI, juillet 2012).

Le fonctionnement général d'un ouvrage de remblai sur inclusions rigides, repose sur une partie inclusion et une partie matelas (figure 1).

Le renforcement de la plate-forme de transfert de charge par géosynthétique a été abordé dans le cadre du projet ASIRI, avec des contributions des volets calculs numériques et expérimentaux. Les recommandations donnent les tendances de l'apport des géosynthétiques, sans pouvoir cepen-



dant préciser de méthode de calcul. Les recherches menées par Egis Géotechnique et le laboratoire 3SR, entre autres dans le cadre du projet de recherche FUI Geo Inov (Projet de recherche FUI - Fond Unique Interministériel 2011-2014, « Conception de géotextiles hautes performances sous contraintes environnementales : fibres, résistance et modules », piloté par la société Texinov, avec Egis Géotechnique, le laboratoire 3SR, l'Institut Français du Textile et de l'Habillement

1- Schéma général d'un exemple d'ouvrage en remblai sur inclusions rigides.

1- General diagram showing an example of a backfill structure on rigid inclusions.

- IFTH, le Conservatoire National des Arts et Métiers - CNAM et la société Afitex), portent sur le dimensionnement de la plate-forme de transfert de charge armée par géosynthétique. Ces recherches comprennent un volet calcul analytique, un volet calcul numérique (code de calcul aux éléments discrets YADE), un volet expérimental à échelle réduite, et enfin un volet expérimental en vraie grandeur.

Des applications immédiates sont les Lignes ferroviaires à Grande Vitesse - LGV, où les tassements résiduels admissibles au droit des blocs techniques des ouvrages d'art sont très faibles, et les projets routiers construits sur des sols très compressibles ou des terrains présentant des épaisseurs compressibles très importantes (Combarieu (1994). Remblai sur sol améliorés par inclusions rigides. Premiers chantiers. Bull Liaison P et Ch. N°191. Juin 199).

MÉTHODOLOGIE ACTUELLE DE CALCUL

RÉFÉRENCES NORMATIVES ET RÉFÉRENCIELS DE DIMENSIONNEMENT

Les principales références normatives et les référentiels de dimensionnement disponibles et utilisés sont les suivants :
1- NF EN 1997-1 (EUROCODE 7) et son annexe nationale NF EN 1997-1 NA ;

- 2- NF P 94-262 juillet 2012. Fondations profondes (Norme nationale d'application) ;
- 3- Recommandations pour le dimensionnement, l'exécution et le contrôle de l'amélioration des sols de fondation par inclusions rigides (Recommandations pour le dimensionnement, l'exécution et le contrôle de l'amélioration des sols de fondation par inclusions rigides, ASIRI, juillet 2012) ;
- 4- NF P 94-270 juillet 2009. Calcul géotechnique - Ouvrage de soutènement - Remblais renforcés et massifs en sol cloué.

REPORT DE CHARGE SUR INCLUSION

Dans la palette des solutions de renforcement de sol, les inclusions souples (en particulier les colonnes ballastées) fonctionnent sur un report des charges verticales de l'ordre de 50 % sur les inclusions, 50 % sur le sol en place.

2- Report de charge pour les inclusions rigides.

3- Répartitions de charges au sein de la plate-forme de transfert de charge selon l'effet voûte 3D de Hewlett et Randolph. 2010® British Standard.

2- Load transfer for rigid inclusions.

3- Load distributions in the load transfer platform according to the 3D vault effect of Hewlett and Randolph. 2010® British Standard.

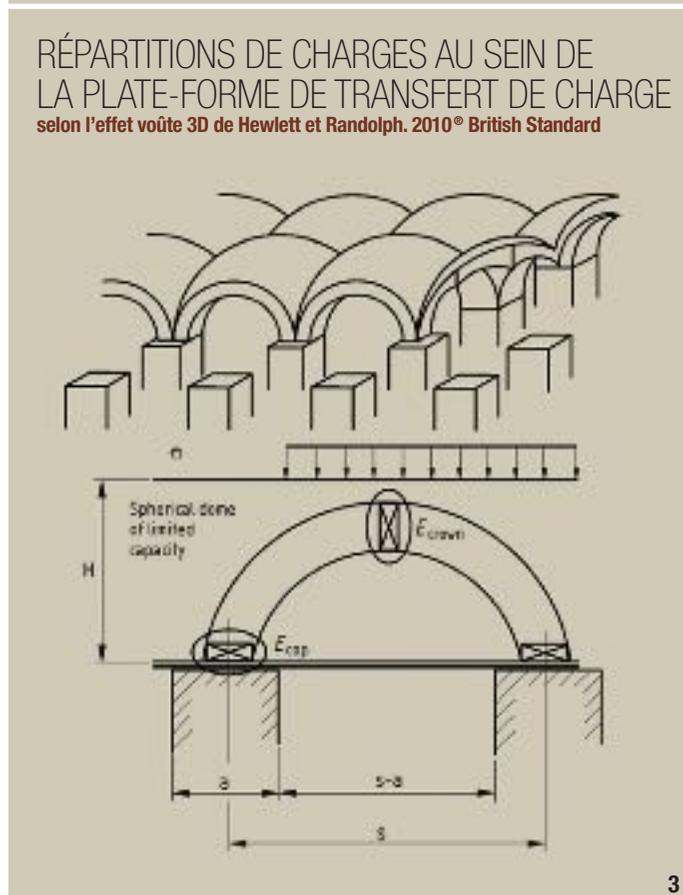
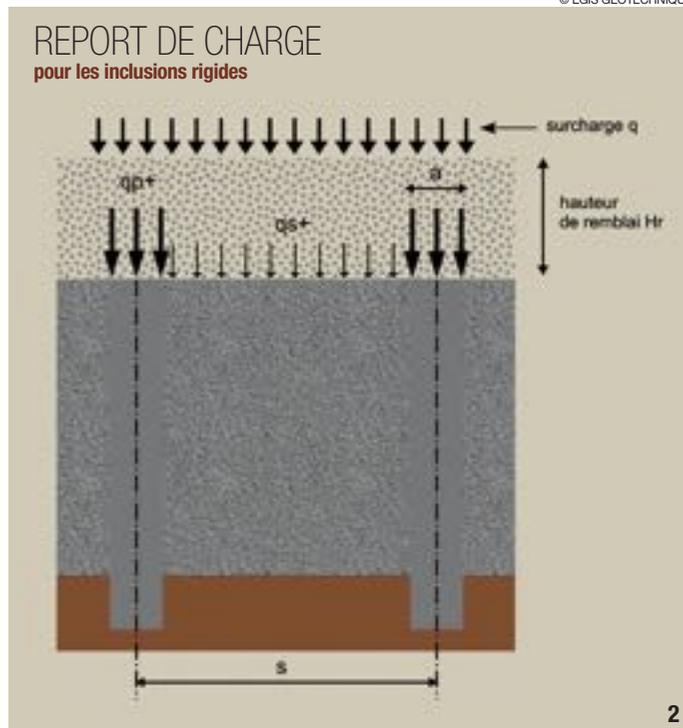


TABLEAU 1 : REPORT DE CHARGE POUR LES INCLUSIONS SOUPLES ET INCLUSIONS RIGIDES

	Inclusions souples	Inclusions rigides
Report des charges verticales sur les inclusions	50%	75%
Disposition constructive pour atteindre cet objectif		Dalettes sur inclusion, tête d'inclusion élargie, renfort par armature métallique ou géosynthétique de la plate-forme de transfert de charge

Le principe des inclusions rigides est de reporter davantage les charges, plus de 75 %, sur les inclusions (tableau 1, figure 2). Il convient donc de quantifier ce report de charge sur les inclusions, puis de vérifier l'absence de poinçonnement de la plate-forme de transfert de charge, compte tenu de la différence importante de contraintes verticales entre inclusion et sol en place.

PRINCIPALES ÉTAPES DU DIMENSIONNEMENT

L'ouvrage « Recommandations pour le dimensionnement, l'exécution et le contrôle de l'amélioration des sols de fondation par inclusions rigides » donne les principaux résultats obtenus pendant le Projet National ASIRI, et détaillent les principes du dimensionnement. Le dimensionnement s'inscrit dans les règles Eurocode 7 NF EN 1997 : Il convient dans un premier temps d'établir le modèle géotechnique et les lois d'interaction entre le sol et les structures, puis de procéder aux vérifications des états limites GEO (portance et tassement de la fondation), et aux vérifications des états limites STR (solidité des différents éléments). Une revue des points à vérifier est rappelée ici :

1- Capacité portante des inclusions rigides.

Pour ce calcul, une valeur enveloppe peut être déterminée en appliquant la totalité des efforts sur les inclusions rigides. La plate-forme de transfert de charge est considérée comme rigide. Le sol ou le béton des inclusions est dimensionnant.

→ La contrainte verticale dans la plate-forme de transfert de charge ne doit pas dépasser la valeur admissible dans les inclusions rigides q_{p+} .

→ Les frottements mobilisés sur le fut et la contrainte en pointe doivent rester inférieurs aux valeurs limites de la norme NF P 94-262 « fondations profondes ».

2- Vérification du poinçonnement des têtes d'inclusions dans la plate-forme de transfert de charge.

Pour les calculs de vérification du poinçonnement et de vérification du tassement, une colonne fictive prolongeant l'inclusion dans la plate-forme de transfert de charge de répartition est considérée. Des frottements s'appliquent sur cette colonne fictive. Ceux-ci permettent de répartir les efforts passant dans la plate-forme de transfert de charge, en partie vers les inclusions rigides : il s'agit d'un report de charge. ▷

Ce concept est initialement basé sur les travaux de Combarieu (Amélioration des sols par inclusions rigides verticales - Application à l'édification de remblais sur sols médiocre, Revue Française de Géotechnique, n°44, pp. 57-79, 1988), et a ensuite été précisé dans le cadre du projet national ASIRI, (expérimentations et modélisations numériques), afin de justifier une augmentation des reports de charges sur les inclusions rigides, selon Prandtl et selon le cône de cisaillement.

Une rigidification de la plate-forme de transfert de charge permet d'augmenter les reports de charges vers les inclusions rigides. Les géosynthétiques peuvent augmenter la raideur de la plate-forme de transfert de charge.

3- Vérification du critère de tassement.

On vérifie que le tassement résiduel au centre de la maille des inclusions reste inférieur au critère de tassement admissible. La rigidification de la plate-forme de transfert de charge par géosynthétique contribue à réduire le tassement.

4- Vérification des conditions de stabilité au droit des talus du remblai

(flexion dans les inclusions, en statique et au séisme, contribution éventuelle de la nappe de renforcement géosynthétique).

Des géosynthétiques peuvent être utilisés pour contribuer aux points 2 (report de charge), 3 (réduction des tassements) et 4 (reprise des efforts horizontaux sous talus). Néanmoins, aucune méthodologie n'est fournie par les recommandations ASIRI pour le dimensionnement des renforcements par géosynthétiques.

AVANCÉES DANS LE DIMENSIONNEMENT DU GÉOSYNTHÉTIQUE DE RENFORCEMENT DE LA PLATE-FORME DE TRANSFERT DE CHARGE DES MÉTHODES DE DIMENSIONNEMENT DIVERSES ET EN CONSTANTE ÉVOLUTION

On a rappelé l'importance du rôle du report de charge sur les inclusions rigides. L'ajout d'un géosynthétique de renforcement dans la plate-forme de transfert de charge permet d'augmenter le report de charge sur les inclusions.

Une synthèse des différentes approches d'estimation de reports de charge sur inclusion en prenant en compte les géosynthétiques a été présentée dans la thèse de Jenck, (Renforcement par géosynthétiques des remblais sur inclu-

sions rigides, étude expérimentale en vraie grandeur et analyse numérique, INSA Lyon, 2005) et Le Hello (Renforcement par géosynthétiques des remblais sur inclusions rigides, étude expérimentale en vraie grandeur et analyse numérique. Université Joseph Fourier, laboratoire 3SR, 2007).

On se référera à ces documents pour des informations détaillées sur les expérimentations en laboratoire ou en vraie grandeur.

On peut rappeler les principales recommandations existant en Europe :

→ Grande Bretagne, avec le BS 8006 : 1995 revue en 2010 (BS 8006_2010. Code of practice for strengthened and reinforced soils and other fills). Les cal-

culs, simples, de la version 1995, sont basés sur les formulations de Marston pour la plate-forme de transfert de charge et un calcul de poussée pour la stabilité des talus de remblai. La totalité des charges verticales est reprise par les géosynthétiques. Des jeux de coefficients de sécurité partiels, concernant notamment la résistance à long terme du géosynthétique, sont définis. Dans la version 2010, des répartitions de charges au sein de la plate-forme de transfert de charge selon l'effet voûte 3D de Hewlett et Randolph (figure 3) sont utilisées.

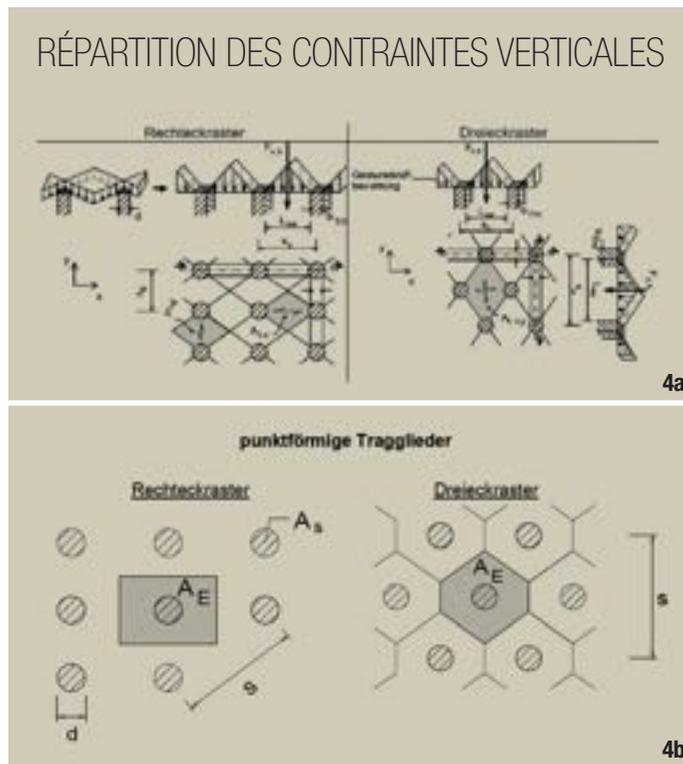
→ EBGE0 2008 (Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik

e.V. (DGGT)). Ces recommandations allemandes élargissent les méthodes de calcul aux travaux expérimentaux et proposent des répartitions de charges au sein de la plate-forme de transfert de charge différente de celles de la BS8006.

Néanmoins, les expérimentations montrent que les règles de dimensionnement de géosynthétiques disponibles, d'une part surévaluent les résistances, et d'autre part ne prennent pas en compte le comportement du sol en place.

Récemment, la version revue des recommandations EBGE0 2011 (Recommendation for design and analysis of earth structures using geosynthetic reinforcements. Ernst & Sohn) propose une nouvelle répartition de charges au sein de la plate-forme de transfert de charge (figure 4), avec surtout la prise en compte de la raideur du sol en place. Le principe est que les nappes de géosynthétiques ne travaillent qu'au droit des files d'inclusions rigides. Les nappes sont donc croisées afin de transmettre le report de charge sur les inclusions.

Des travaux très récents, Van Eekelen (Basal reinforced piled embankments in the Netherlands, field studies and laboratory tests, 2012) ont proposé d'une part une distribution en 3D des efforts sur les géosynthétiques (figure 5), et



4- Répartition des contraintes verticales. EBGE0®.

5- Répartition des efforts et des contraintes sur les géosynthétiques selon EBGE0® (à gauche), et selon Van Ekelen (à droite). Elsevier®.

4- Vertical stress distribution. EBGE0®.

5- Force and stress distribution on the geosynthetics as per EBGE0® (on the left), and as per Van Ekelen (on the right). Elsevier®.

d'autre part une répartition opposée des contraintes verticales sur le géosynthétique (figure 6).

En résumé, les méthodes de dimensionnement des plates-formes de transfert de charge renforcées par géotextiles ont beaucoup évolué ces dernières années. L'objectif du projet de recherche FUI Geo Inov est d'améliorer encore ces méthodes en réalisant de nouvelles expérimentations associées à des modélisations non standards.

LE PROGRAMME DU PROJET DE RECHERCHE GEO INOV

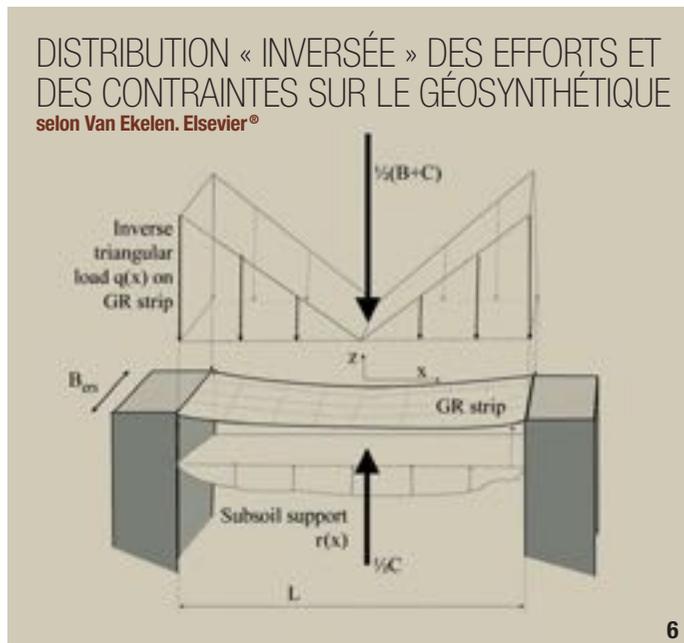
Une thèse CIFRE a été lancée en 2011, dans le cadre du projet de recherche Geo Inov, encadrée par le laboratoire 3SR de Grenoble et Egis Géotechnique, sur la modélisation numérique par éléments discrets de la plate-forme de transfert de charge armée par géosynthétiques sur inclusions rigides.

Un code de calcul nommé YADE appliqué à la modélisation de la plate-forme de transfert de charge armée par géosynthétique, est développé notamment au sein du laboratoire 3SR.

Ces calculs doivent être comparés à des modélisations physiques à échelle réduite et des chantiers en vraie grandeur.

MODÈLE RÉDUIT DE LABORATOIRE

Dans le cadre du projet de recherche Geo Inov, un modèle réduit à l'échelle 1/10^e a été construit au laboratoire 3SR de Grenoble (Houda, Da Silva Pinto, Jenck et Briançon (2013). Modèle réduit tridimensionnel du renforcement des sols par inclusions rigides et géosynthétiques, Rencontres Géosynthétiques 2013, Dijon). Ce modèle consiste en une cuve de section carrée de dimension interne 1 m, dans laquelle



6- Distribution « inversée » des efforts et des contraintes sur le géosynthétique selon Van Ekelen. Elsevier®.

7- Modèle réduit - Photographie de l'intérieur de la cuve et coupe schématique.

6- "Inverted" distribution of forces and stresses on the geosynthetic liner as per Van Ekelen. Elsevier®.

7- Scale model - Photograph of the tank and schematic cross section.

16 inclusions rigides en aluminium de section circulaire de 3,5 cm de diamètre sont disposées selon une maille carrée de 20 cm de côté (figure 7). Le sol compressible entre les inclusions est modélisé par un mélange de sable et de billes de polystyrène de 40 cm d'épaisseur préalablement calibré par des essais œdométriques. Une fois le sol compressible précautionneusement mis en place, il est possible de représenter une plate-forme de transfert de charge de 5 cm d'épaisseur au moyen d'une grave concassée 2/4 mm renforcée ou non par un géosynthétique. Les renforcements géosynthétiques testés doivent avoir une raideur plus faible que dans le cas réel afin de s'adapter à l'échelle réduite du modèle tout en respectant au mieux les lois de similitude : à 5% d'élongation, les raideurs des géosynthétiques sont de

170 à 220 kN/m. Enfin, le chargement s'effectue par une couche de 35 cm de sable surmontée par une membrane sous pression hydraulique, qui permet également l'application d'une surcharge cyclique.

L'instrumentation mise en place permet d'évaluer les reports de charge sur les inclusions rigides (capteurs de pression totale dans la plateforme de transfert de charge, capteurs de force en tête d'inclusion et en pied) ainsi que les tassements à l'interface entre le sol compressible et la plate-forme de transfert de charges (capteurs de déplacement potentiométriques).

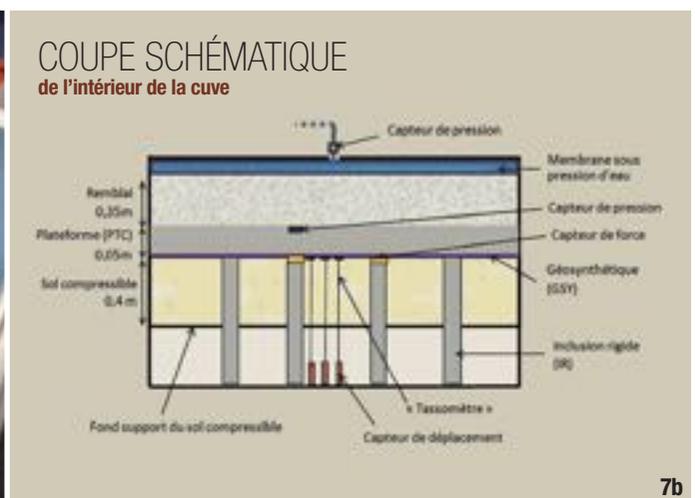
Les premiers résultats obtenus font état d'un comportement cohérent de ce modèle physique en termes de reports de charge et tassements. Les conclusions soulignent le rôle du géosynthétique sous chargement monotone à fortes contraintes, et sa contribution à la stabilisation du système sous chargement cyclique.

CALCUL ANALYTIQUE

On a vu que les recommandations disponibles de dimensionnement des géosynthétiques ne prenaient pas ou peu en compte le comportement du sol en place. En effet, la méthode la plus récente proposée par l'EBGEO 2011 considère la réaction du sol sous le géosynthétique sans prendre en compte l'effet des inclusions rigides. Les méthodes de calcul analytiques ont été améliorées pour traiter ce point et elles seront testées sur les chantiers instrumentés dans le cadre du projet de recherche.

CALCUL NUMÉRIQUE

Le code de calcul YADE est en cours de calibration : le modèle actuel comprend quatre inclusions de section carrée de



© LABORATOIRE 3SR

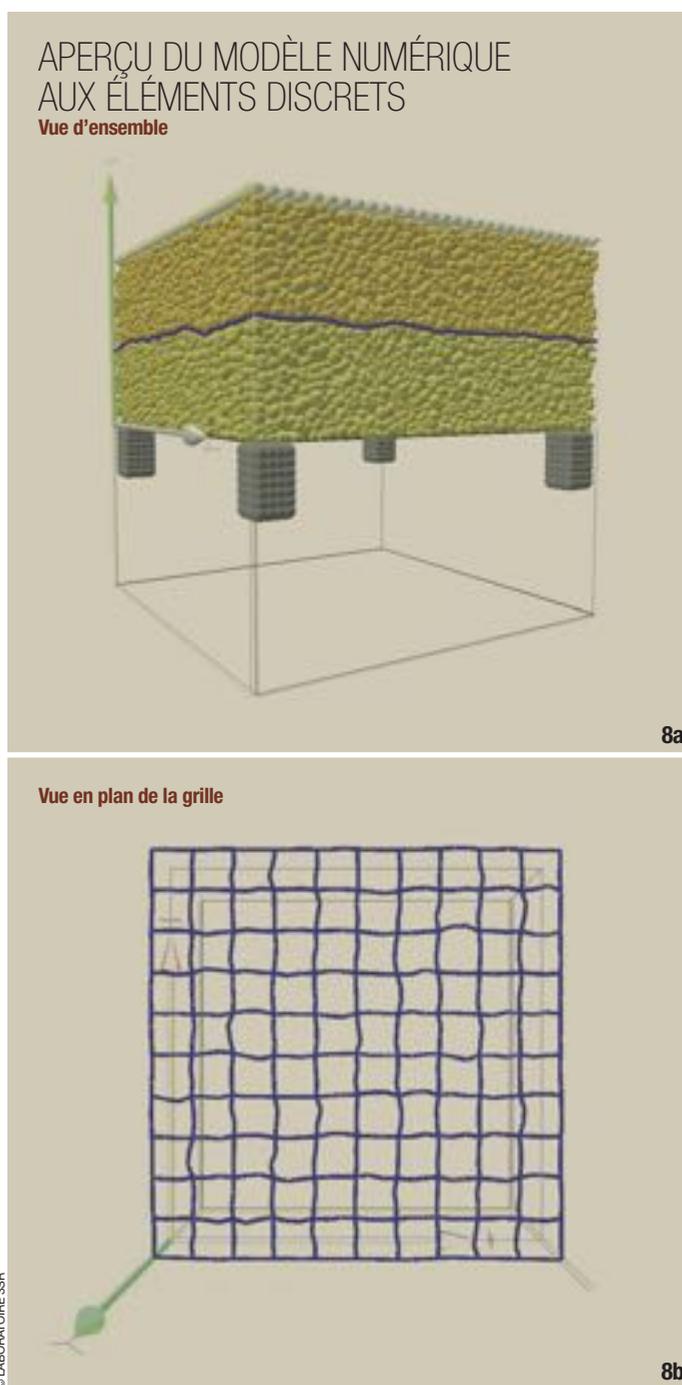
0,4 m de côté, disposées selon un maillage carré de 2 m de largeur au sein d'un sol compressible de caractéristiques mécaniques homogènes (figure 8). La plate-forme de transfert de charges sus-jacent est composée d'un ensemble de sphères liées deux à deux sous la forme de clumps, progressivement mis en place sur une épaisseur de 1 m, et au sein duquel une grille ouverte est insérée. Le chargement est appliqué directement au toit de la plate-forme de transfert de charge par le biais d'une nappe de sphères liaisonnées ou non, ce qui permet de simuler respectivement un chargement de type dallage (cas d'une dalle rigide) ou un chargement de type remblai. Une fois le modèle numérique validé, un calage sera effectué au moyen des expérimentations à échelle réduite, puis des mesures faites sur les chantiers instrumentés.

PREMIERS CHANTIERS

Des premiers chantiers (ferroviaires et routiers) ayant recours aux géosynthétiques de renforcement de plate-forme de transfert de charge sur inclusions

8- Aperçu du modèle numérique aux éléments discrets - Vue d'ensemble et vue en plan de la grille.

8- Overview of the discrete element numerical model - General view and plan view of the grid.



rigides ont récemment été dimensionnées. Une instrumentation a été proposée : elle consiste en des mesures de contraintes totales à proximité des inclusions rigides, et des mesures de tassement par transducteurs de pression développés par Egis Géotechnique. Une évaluation des allongements des géosynthétiques est envisagée par fibre optique. Ils permettront de valider en grand les dimensionnements et le calage des modèles numériques.

DES PERSPECTIVES D'ÉCONOMIES POUR LES CHANTIERS FUTURS

Pour des projets où les tassements admissibles sont limités et/ou avec des sols très mous, la solution géosynthétique améliore le transfert de charge vers les inclusions. Elle permet d'obtenir l'optimum technico-économique en faisant travailler au maximum de sa capacité portante chaque inclusion mise en œuvre.

La solution de renforcement par géosynthétique présente de nombreux avantages par rapport à d'autres solutions pour améliorer le transfert de charge :

- 1- Les géosynthétiques permettent, de manière similaire aux dalettes, d'espacer le maillage des inclusions rigides.
- 2- La pose des géosynthétiques est rapide par rapport aux solutions dalette ou tête d'inclusion élargie : en effet, on déroule des nappes après réalisation des inclusions rigides, sans reprise ou intervention ponctuelle sur chaque inclusion.
- 3- Le renforcement de la plate-forme de transfert de charge est continu sous l'emprise du remblai : au droit de la plate-forme, mais également sous les talus de remblai. □

ABSTRACT

REINFORCEMENT OF THE LOAD TRANSFER PLATFORM ON RIGID INCLUSIONS BY A GEOSYNTHETIC CLAY LINER

P. GARCIN, EGIS - L. BOUTONNIER, EGIS - A. HUCKERT, EGIS - P. VILLARD

In July 2012, the French national project ASIRI (soil improvement by rigid inclusions) led to recommendations for design, execution and checking of foundation soil improvement with rigid inclusions. This article describes the research carried out by Egis Géotechnique and the 3SR laboratory on the behaviour of the load transfer platform reinforced by a geosynthetic clay liner. This research includes a computation part and an experimental part. The initial results for a design method are presented. The prospects are the development of numerical modelling aligned on the results of instrumented real projects, in the future. □

REFUERZO DE LA PLATAFORMA DE TRANSFERENCIA DE CARGA SOBRE INCLUSIONES RÍGIDAS POR GEOSINTÉTICA

P. GARCIN, EGIS - L. BOUTONNIER, EGIS - A. HUCKERT, EGIS - P. VILLARD

En julio de 2012, el proyecto nacional francés ASIRI (Mejora de los Suelos por Inclusiones Rígidas) culminó con recomendaciones para el dimensionamiento, la ejecución y el control de la mejora de los terrenos de cimentación por inclusiones rígidas. Este artículo describe las investigaciones realizadas por Egis Géotechnique y el laboratorio 3SR, sobre el comportamiento de la plataforma de transferencia de carga armada por geosintética. Estas investigaciones incluyen una partida cálculo y otra experimental. Se presentan los primeros resultados de un método de dimensionamiento. Las perspectivas son los futuros desarrollos de modelización digital basada en los resultados de obras reales instrumentadas. □

musée
des arts et métiers
le cnam

LES DESSOUS DES GRANDS TRAVAUX

25.06.2013 // 24.06.2018

MUSÉE DES ARTS ET MÉTIERS

60, rue Réaumur - Paris 3^e

www.arts-et-metiers.net



Exposition réalisée avec le soutien de :




1

© BOTTE FONDATIONS

CENTRE BUS DE LAGNY - LE GARANCE : UN BUTONNAGE AUX DIMENSIONS EXCEPTIONNELLES

AUTEURS : FRÉDÉRIC RENAUD, DIRECTEUR COMMERCIAL, BOTTE FONDATIONS - MATTHIEU CAULLET, INGÉNIEUR BUREAU D'ÉTUDE, BOTTE FONDATIONS - CARLOS GUIMARAES, INGÉNIEUR TRAVAUX, BOTTE FONDATIONS

DANS LE 20^e ARRONDISSEMENT DE PARIS, RUE DES PYRÉNÉES, POUR LE COMPTE DE L'ENTREPRISE GÉNÉRALE EIFFAGE CONSTRUCTION VAL DE SEINE, LES ÉQUIPES DE BOTTE FONDATIONS SONT ACTUELLEMENT À PIED D'ŒUVRE SUR LA COMPLEXE OPÉRATION CENTRE BUS - LAGNY – LE GARANCE. IL S'AGIT DE RÉALISER DANS PARIS UNE FOUILLE OUVERTE DE GRANDE DIMENSION : 166 M DE LONGUEUR, 65 M DE LARGEUR ET 22 M DE PROFONDEUR DONT LA STABILITÉ EN PHASE PROVISOIRE EST ASSURÉE PAR DEUX LITS DE BUTONS EXCEPTIONNELS ET INÉDITS PORTANT SUR LA LARGEUR DE LA FOUILLE SOIT 65 MÈTRES.

À l'origine de l'opération, un montage immobilier astucieux entre la RATP, ICADE et la Ville de Paris a consisté à exploiter l'emprise foncière d'un centre de remisage et de maintenance de bus RATP existant pour le reconstruire en souterrain sur trois niveaux de parking bus, un niveau de parking véhicules léger. En superstructure le projet comprend dix bâtiments de bureaux, en R+5 et

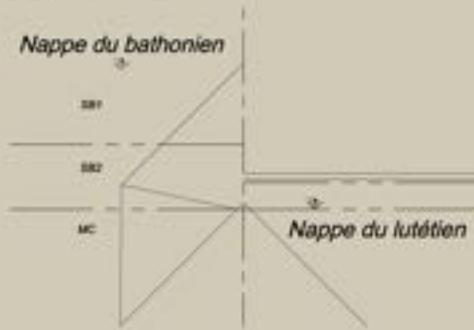
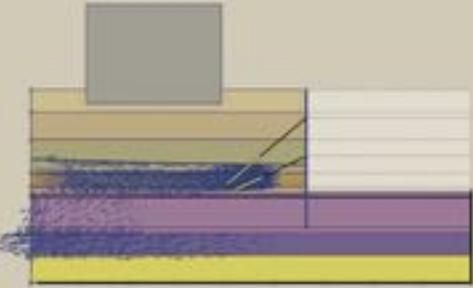
R+6, une extension de collège et une crèche. Au total, l'emprise de cet imposant chantier représente 30 000 m² de Surface Hors Œuvre Nette (S.H.O.N). Depuis janvier 2012, BOTTE Fondations réalise la totalité des travaux de fondations spéciales qui lui ont été confiés par l'entreprise générale du projet : Eiffage Construction Val de Seine. Si le projet initial du maître d'œuvre prévoyait une solution de paroi

1 - Vue globale de la fouille.

1 - Overall view of excavation.

moulée tirantée, c'est une solution de butonnage métallique provisoire exceptionnelle au regard de la dimension de la fouille qui a dû être réalisée. En effet, l'opposition de certains rive-rains à l'occupation de leur tréfonds par des tirants est venue contrarier le projet initial. Comme nous allons le voir l'intégralité de la conception des fondations du projet s'en est trouvée modifiée.

MODÉLISATION PLAXIS ET SCHÉMA DES NAPPES



2

© BOTTE FONDATIONS



3

© BOTTE FONDATIONS



4

CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

Le contexte géotechnique est le suivant :

- Remblais sur 4 mètres.
- Marnes et calcaires de Saint-Ouen sur 5 mètres.
- Sables et grès de Beauchamp sur 10 mètres.
- Marnes et Caillasses sur 10 mètres.
- Calcaire Grossier au-delà.

Même si ce contexte géologique est relativement connu, la faiblesse de certains résultats des essais de laboratoires ont amené la maîtrise d'œuvre à envisager deux scénarii de caractéristiques de sol : un scénario probable et un scénario abattu. Les études de dimensionnement ont ainsi intégré la possibilité de passer au scénario abattu en prenant en compte des cohésions dégradées sur les Marnes et Calcaire de Saint-Ouen (-2 kPa) et sur

2- Modélisation Plaxis et Schéma des nappes.

3- Forage à 30 m pour injection des vides de dissolution.

4- Cutter.

2- Plaxis modelling and diagram of aquifers.

3- Drilling to 30 m for injection of dissolution voids.

4- Cutter.

les Marnes et Caillasses supérieures (-5 kPa). Si l'observation des déformées réelles de la paroi lors des premières phases de terrassement avait confirmé le scénario abattu il aurait fallu procéder à la mise en place d'un lit supplémentaire de butons ou tirants suivant les zones. Ce n'a pas été le cas.

Concernant le modèle hydrogéologique, une campagne de piézométrie sélective a permis d'identifier deux nappes dissociées sur le site : la nappe perchée du bathonien qui repose sur une couche argileuse des sables de Beauchamp et la nappe inférieure du lutétien dans les marnes et caillasses (figure 2).

LES TRAVAUX PRÉALABLES D'INJECTION DE COMPLEMENT

Les investigations réalisées dans le sous-sol du centre bus Lagny ont montré la présence de vides dû à la

dissolution du gypse contenu dans les sables de Beauchamp et surtout dans les marnes et caillasses du Lutétien. Afin de réaliser la paroi moulée dans de bonnes conditions et notamment d'éviter les pertes de boues, une campagne de remplissage préalable a été mise en œuvre. Cette campagne s'est déroulée entre avril et mai 2012. La réalisation systématique à 30 mètres de profondeur d'un forage tous les 4 m au droit de la future paroi et de chaque pieu à réaliser depuis la plateforme haute a permis d'identifier et de traiter par complètement au mortier d'injection les zones présentant des anomalies (figure 3). Le maillage a été doublé dans les zones de forte absorption. Près de 500 m³ de mortier ont ainsi été mis en œuvre.

LA PAROI MOULÉE

Compte tenu de la dureté des terrains et de l'interdiction d'utiliser le trepan dans cet environnement urbain dense et sensible, le cutter s'est imposé comme l'outil indispensable à la réalisation de la paroi moulée du projet (figure 4).

Si dans un projet classique c'est le butonnage qui s'adapte au panneau-tage de la paroi moulée, ici, le panneau-tage a été conçu par rapport à la problématique du butonnage à savoir un buton principal tous les 15 mètres avec un tripode reprenant trois cages d'armatures indépendantes. D'où la dimension exceptionnelle des panneaux de paroi : 10 m de large et jusqu'à 28 m de profondeur, un buton prenant appui sur un panneau et demi. Dans la même logique, la taille des cages d'armatures a été fixée à des modules de 4,20 m de large pour être adaptée au butonnage. Ces cages ont évidemment été assemblées sur place.

Au total, la paroi a été exécutée en 75 jours en poste prolongés de 7h à 20h, au rythme de trois à quatre panneaux par semaine.

Les contraintes horaires, conjuguées avec les charges de travail des centrales à béton en région parisienne ont concentré le temps de bétonnage à 3h à raison de 70 m³/h.

L'activité antérieure du site avait entraîné une pollution du sol jusqu'à 20 m de profondeur en fonction des zones. Pour éviter tout risque de dilution de la pollution lors de l'évacuation des boues de forage, des bacs de triages ont été adaptés sous les dessableurs du Cutter.

Une fois triés, l'évacuation de ces déblais pollués a ensuite été prise en charge par le client.



5

© BOTTE FONDATIONS

Au total, 10 000 m³ théoriques de déblais ont été évacués, 10 000 m³ de béton et 800 tonnes d'acier ont été mis en place lors de l'exécution de la paroi moulée.

Enfin, afin d'optimiser le traitement des boues avant bétonnage, la méthode de substitution totale de la boue de forage par une boue « neuve » ou de bétonnage a été retenue. Cette technique implique notamment de disposer d'un important stock de boue dans la centrale : 500 m³ pour la boue de forage et 350 m³ pour la boue de bétonnage (figure 6).

PIEUX DE FONDATIONS

Les pieux de fondations ont été réalisés en deux interventions. 8 pieux situés dans des angles ou au droit des futurs butons ont été réalisés depuis le TN (dont deux pieux de grue). De même pour les 8 chandelles constituées de tubes métalliques destinées au butonnage. La grande majorité des pieux, soit 104 pieux (dont 6 pieux de grue) ont été forés depuis le fond de fouille à l'avancement du terrassement et entre butons ! (figure 5).

Afin de limiter l'impact par rapport au butonnage, les pieux de gros diamètre ont été privilégiés : de 720 mm à 1 620 mm.

Ces pieux ancrés dans le calcaire ont été réalisés en foré classique à la tarière et au carotier avec une machine puissante et assez compacte pour évoluer en fond de fouille et passer sous les butons : une Soilmecc R625 de 25 tm de couple.

TIRANTS D'ANCRAGE

Lorsque c'était possible, c'est-à-dire en partie centrale et aux extrémités du projet, la mise en place de tirants a été maintenue. 69 tirants provisoires de type P1 de 20 m de longueur moyenne ont été mis en œuvre. L'inclinaison a

été définie afin de privilégier les scellements dans les sables de Beauchamp de meilleurs caractéristiques et moins sujets aux phénomènes de dissolution de gypse (figure 7).

CONCEPTION DU BUTONNAGE

La conception du butonnage exceptionnel de cette fouille résulte d'une analyse globale (figure 8).

À la base de la réflexion, trois domaines d'exigences :

→ La performance des matériaux (acier, béton, sol, coulis) ;

5- Atelier de pieu au fond de fouille.

6- Centrale à boue de paroi moulée au cutter.

5- Pile equipment at the bottom of the excavation.

6- Slurry mixing plant for diaphragm wall by cutter.

→ Les contraintes de fabrication (opération sur site, en usine) ;

→ L'architecture (respect de la géométrie, prise en compte des sollicitations).

Il faut ensuite tenir compte des interactions :

→ Prise en compte des tolérances d'exécution, des imperfections ;

→ Définition des méthodes : utiliser à bon escient les techniques ;

→ D'une analyse élastique vers la prise en compte d'instabilité de structures élancées.

Plus concrètement, la conception intègre les contraintes suivantes :

Les butons évitent évidemment les planchers et les poteaux du bâtiment. L'espacement des butons principaux tient compte de la trame longitudinale de 15 m entre poteaux et donc entre pieux.

Les contraintes de fabrication des matériaux varient entre les éléments façonnés et préparés en usine et ceux mis en place sur chantier. Au vu des conditions de travail sur le chantier, il est plus fiable de boulonner sur chantier alors qu'on dispose de poste de soudure plus efficace en usine.

Les soudures sur site ont été réduites au maximum.

La fabrication prend en compte la phase de déconstruction. L'ouvrage métallique n'est que provisoire et doit être démonté à l'avancement du projet. Le sens de pose et de dépose d'éléments grutables tient compte du phasage nord/sud de la construction du bâtiment.

Des dispositifs d'anti-flambement sont nécessaires pour limiter les élancements des éléments. Les systèmes de chandelles, d'entretoises et de haubans évitent les planchers, les rampes et les poteaux. Ils permettent de définir les degrés de liberté de la charpente (figure 9).



© BOTTE FONDATIONS

6

Les entretoises sont dimensionnées avec 2% de l'effort du tube principal en traction compression. L'ensemble des efforts de contreventement de la file d'entretoise est scellée dans le sol, à travers la paroi moulée, par des tirants.

À l'interface entre ces contraintes, la conception doit imaginer des solutions pour faciliter la pose des butons et appréhender les assemblages. Ces solutions s'appuient sur des tolérances, des méthodes et la compréhension des approches réglementaires.

La prise de tolérance permet de tenir compte des difficultés inhérentes au chantier. Un matage en béton permet de corriger des imperfections géométriques (déviations de 0,5% d'outils de forage, centrage du tube de la chandelle dans les pieux de plus grand diamètre). Le choix d'un mortier sans retrait à prise rapide permet de tenir le délai d'avancement du projet.

Le respect des contraintes de dépla-



© BOTTE FONDATIONS

cement de 15 mm en tête et 25 mm en ventre, tout en tenant compte de la dilatation thermique, est assuré par la mise en place d'un vérinage central compensatoire.

Enfin l'évolution réglementaire nous pousse sans cesse à analyser la structure avec un regard neuf. En particulier,

la précision du calcul est plus détaillée selon la classe de section et l'éclatement de la barre. Une étude comparée CM66, Eurocode 3 a été menée pour définir la stabilité de l'ensemble de l'ouvrage. Il a par exemple été pris en compte le voilement concomitant au flambement.

RÉALISATION DU TERRASSEMENT ET BUTONNAGE À L'AVANCEMENT

D'octobre 2012 à avril 2013, en parallèle des travaux de terrassement, les équipes de BOTTE Fondations ont réalisé la pose des butons, la mise en place des tirants ainsi que le forage des pieux en fond de fouille.

Les butons principaux sont composés de dix éléments, chaque buton pesant 32 t maximum. Les différentes phases pour la pose d'un buton s'étalent sur une semaine. Pour assembler chaque buton, six éléments principaux sont boulonnés entre eux et reposent sur un support soudé sur la chandelle centrale. Les quatre bracons des pattes d'oie sont ensuite ajustés au centre de chaque cage et soudés au tube principal. Un dé en béton armé est ensuite bétonné au niveau de la chandelle pour liaisonner l'entretoise et le tube du buton principal. Un logement métallique est conservé au niveau du dé afin de réaliser le vérinage du buton principal pouvant aller jusqu'à 800 t (figure 10). L'extrémité de chaque entretoise est ancrée à la paroi moulée et deux tirants sont réalisés afin de bloquer l'effort de 230 t pris en compte pour l'anti flambement des huit butons principaux. BOTTE Fondations a ainsi posé deux lits de butons soit 800 t de butons au total avec des tubes pouvant aller jusqu'à 1,40 m de diamètre. Chaque élément de buton pèse au maximum 8 t de façon à être évacué facilement à la grue à tour (figure 11).

Le phasage de réalisation de butons a été d'autant plus compliqué que l'ensemble du terrassement a été réalisé simultanément à la pose des butons, via deux accès d'un seul côté et sans emprise extérieure ou très limitée. Ainsi, la circulation des semi-remorques a dû être maintenue dans la fouille jusqu'à 15 m de profondeur.

Le terrassement a été mené pour permettre de descendre en fond de fouille très rapidement au nord, alors qu'une zone d'évolution des camions a été conservée au niveau du terrain naturel au sud. Ce phasage a permis de démarrer les premiers pieux en fin d'année, l'installation de la grue en janvier et le gros œuvre dès février 2013, soit plus de 4 mois avant la fin du terrassement.

SUIVI OBSERVATIONNEL

L'instrumentation mise en place par BOTTE Fondation pour suivre le comportement de la fouille et des immeubles mitoyens était composée d'inclinomètres dans les parois moulées, ▷

7- Atelier de tirants.

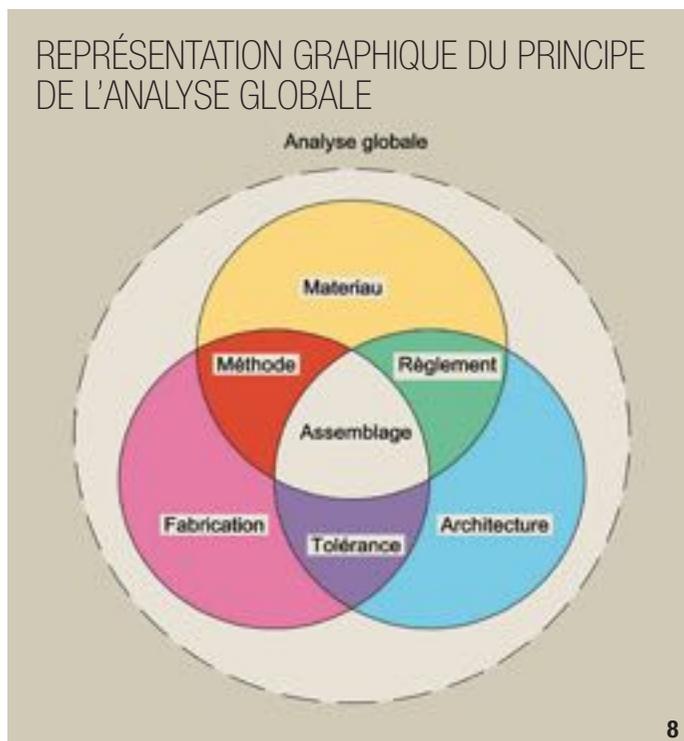
8- Représentation graphique du principe de l'analyse globale.

9- Schéma des degrés de liberté en horizontal et en vertical par lit.

7- Tie anchor equipment.

8- Graphic representation of the overall analysis principle.

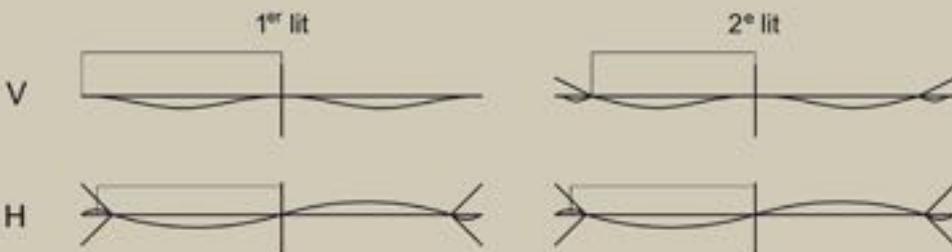
9- Diagram of horizontal and vertical degrees of freedom for each layer.



8

SCHÉMA DES DEGRÉS DE LIBERTÉ

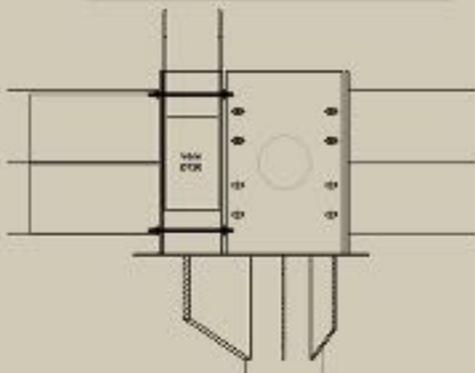
en horizontal et en vertical par lit



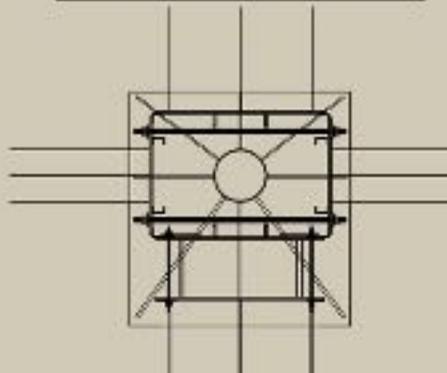
9

DÉTAIL D'UNE LIAISON BUTON - CHANDELLE AVEC BOÎTE À VÉRIN

- Détail des butons sur la chandelle du 1er lit -



- Détail des butons sur la chandelle du 1er lit -



10

© BOTTE FONDATIONS



11

© BOTTE FONDATIONS

10- Détail d'une liaison buton - chandelle avec boîte à vérin.
11- Vue d'un buton.

10- Detail of a stay/jack-stand link with jack casing.
11- View of a stay.

de différentes cibles topographiques sur les mitoyens et la tête de la paroi moulée et de piezomètres dans la nappe profonde du Lutécien.

L'ensemble de ces mesures a permis de confirmer le respect des critères prédéfinis dans le Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) et l'absence de désordre sur les mitoyens et les voiries.

Il confirme notamment la pertinence de nos choix techniques et de nos hypothèses concernant la géotechnique et surtout concernant le comportement du butonnage.

CONCLUSION

Les projets de fondations spéciales sont toujours des prototypes. Celui-ci est inédit par la complexité de la conception et du phasage liés au butonnage d'une telle fouille.

Il faut tout particulièrement souligner la bonne coopération entre les équipes d'Eiffage et de Botte Fondations.

Sans un véritable esprit de partenariat entre les bureaux d'études respectifs et les équipes de conduite de travaux, une telle solution technique n'aurait pu aboutir. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : ICADE PROMOTION
PÉTITIONNAIRE DU PERMIS DE CONSTRUIRE : RATP
ARCHITECTE : METRA et ASSOCIES
BUREAU D'ÉTUDES TECHNIQUES ET MAÎTRISE D'ŒUVRE D'EXÉCUTION : ARCOBA
ENTREPRISE GÉNÉRALE : EIFFAGE CONSTRUCTION VAL DE SEINE
SOUS-TRAITANT FONDATIONS SPÉCIALES : BOTTE FONDATIONS

PRINCIPALES QUANTITÉS

INJECTIONS : 5 000 m de forage et 500 m³ de comblement
PAROI MOULÉE : 13 000 m² de forage et 10 000 m³ de béton
TIRANTS P1 : 69 unités totalisant 1 400 m
PIEUX : 120 pieux et 2 500 m³
BUTONS : 800 t

ABSTRACT

LAGNY - LE GARANCE BUS CENTRE: A SHORING SYSTEM OF EXCEPTIONAL SIZE

FRÉDÉRIC RENAUD - MATTHIEU CAULLET - CARLOS GUIMARAES

As part of a real estate project including an underground bus parking lot, Botte Fondations executed by the diaphragm wall technique a large excavation stabilised by tie anchors and by an unprecedented temporary steel shoring system of exceptional size. □

CENTRAL DE AUTOBUSES DE LAGNY - EL GARANCE: UNOS CODALES DE DIMENSIONES EXCEPCIONALES

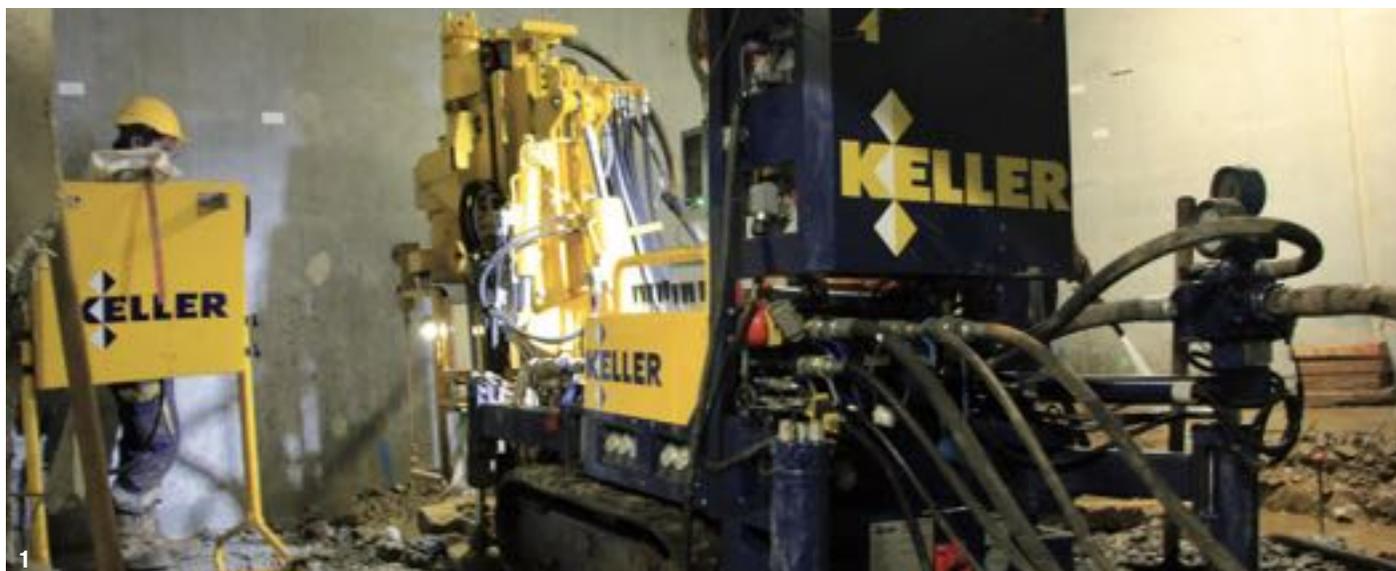
FRÉDÉRIC RENAUD - MATTHIEU CAULLET - CARLOS GUIMARAES

En el marco de una operación inmobiliaria que incluía un parking subterráneo para autobuses, Botte Fondations realizó en muro pantalla una excavación de grandes dimensiones estabilizada por tirantes y por unos codales metálicos provisionales, una solución inédita de dimensiones excepcionales. □

RENFORCEMENT DE SOL PAR JET GROUTING POUR LA SURÉLÉVATION D'UN BÂTIMENT À ESCH-SUR-ALZETTE AU LUXEMBOURG

AUTEURS : CYRIL COPPALLE, DIRECTEUR COMMERCIAL FRANCE MÉTROPOLITAINE, KELLER FONDATIONS SPÉCIALES - NICOLAS MALO, DIRECTEUR D'AGENCE STRASBOURG ET METZ, KELLER FONDATIONS SPÉCIALES - VINCENT SPITZ, INGÉNIEUR TECHNICO-COMMERCIAL AGENCE DE METZ, KELLER FONDATIONS SPÉCIALES

LA SOCIÉTÉ ENOVOS LUXEMBOURG S.A. AGRANDIT LE BÂTIMENT « SCHLASSGOART » À ESCH-SUR-ALZETTE, AU LUXEMBOURG, PAR SURÉLÉVATION. DANS LE CADRE DE CE PROJET, L'ENTREPRISE KELLER FONDATIONS SPÉCIALES, FILIALE FRANÇAISE DE KELLER GROUP PLC, RÉALISE LE RENFORCEMENT DE SOL NÉCESSAIRE À LA CONSTRUCTION DES NOUVELLES SEMELLES. CES TRAVAUX DE RENFORCEMENT DE SOL SONT EXÉCUTÉS DEPUIS L'INTÉRIEUR DU BÂTIMENT PAR LA TECHNIQUE DU JET GROUTING DOUBLE « SOILCRETE® », MÉTHODE KELLER.



1
© PHOTOTHÈQUE KELLER FONDATIONS SPÉCIALES

LES INTERVENANTS DU PROJET

L'agrandissement du bâtiment « Schlassgoart » à Esch-sur-Alzette au Luxembourg nécessite sa surélévation sur plusieurs niveaux. Ce projet est engagé par le maître d'ouvrage, la société ENOVOS Luxembourg S.A. à Strassen.

La maîtrise d'œuvre est assurée par INCA Ingénieurs Conseils Associés à Niederanven, qui a conçu une structure poteaux-poutre béton armé additionnelle à la structure existante du bâtiment. Il est donc nécessaire de créer des nouvelles semelles isolées de fon-

date au niveau du rez-de-chaussée du bâtiment existant. Les travaux de gros-œuvre sont confiés à l'entreprise CDCL à Luxembourg, qui s'adresse à l'agence de Metz de l'entreprise Keller Fondations Spéciales pour le renforcement des sols d'assise de ces nouvelles semelles isolées et filantes. De plus, le maître d'ouvrage ENOVOS Luxembourg S.A. a sollicité Socotec Luxembourg pour une mission de contrôle technique et a mandaté le bureau d'études géotechniques ENECO Ingénieurs Conseils à Contern pour la reconnaissance des terrains d'assise.

1- Atelier Keller de jet grouting en action.

1- Keller jet grouting equipment in action.

LES CONDITIONS DE SOL DU PROJET

Le programme de reconnaissance géotechnique convenu entre INCA Ingénieurs Conseils et ENECO Ingénieurs Conseil est constitué par l'exécution sur

site de deux sondages carottés réalisés depuis l'intérieur du bâtiment jusqu'à une profondeur de 8 m par rapport au niveau du terrain apparent, et de trois sondages carottés réalisés depuis l'extérieur du bâtiment à une profondeur de 10 m par rapport au terrain apparent, de deux essais au pénétromètre dynamique léger à faible profondeur et de cinq reconnaissances de sols de surface à la tarière, profondeur inférieure à 3 m. À la consultation de la carte géologique de la zone concernée, les couches de sol suivantes sont attendues : alluvions récentes et anciennes ▷

de l'Alzette et le substratum appelé « Oberer Lias » qui peut être constitué localement d'argiles et de marnes denses d'une puissance d'environ 40 m. Le résultat des reconnaissances effectuées a permis de mettre en évidence la présence d'un remblai de surface compact en tête sur une épaisseur de 1,6 m à 2 m, puis les alluvions modernes constituées d'argiles à très faibles caractéristiques mécaniques avec une épaisseur reconnue de 1,6 à 4,5 m. On trouve ensuite les alluvions anciennes de l'Alzette faites de sables de bonne compacité sur une profondeur de 3,6 à 7,7 m. On trouve enfin le substratum argilo-marneux dont le toit se situe à la cote 278 NN environ. D'après sa connaissance des terrains en place et à partir des essais réalisés, le bureau d'étude géotechnique a retenu dans une première approche les valeurs de module de déformation E_s suivantes par couche : E_s compris entre 70 et 180 MPa pour les remblais, E_s compris entre 1 et 3 MPa pour les alluvions modernes, E_s compris entre 45 et 90 MPa pour les alluvions anciennes sableuses, E_s compris entre 15 et 45 MPa pour la couche d'altération du substratum et enfin E_s compris entre 65 et 190 MPa pour le massif marneux du substratum. Cette première approche a été affinée lors de

la mise au point du projet par tous les intervenants. La synthèse suivante a été retenue comme donnée d'entrée de la conception : E_s égal à 130 MPa, cohésion nulle et angle de frottement égal à $37,5^\circ$ pour les remblais de surface, E_s égal à 2 MPa, cohésion de 5 kPa et angle de frottement de 15° pour les alluvions modernes compressibles, E_s égal à 60 MPa, cohésion nulle et angle de frottement de 37° pour les alluvions anciennes sableuses, E_s égal à 30 MPa, cohésion de 50 kPa et angle de frottement de 25° pour les argiles d'altération du substratum et E_s égal à 100 MPa, cohésion de 150 kPa et angle de frottement de $27,5^\circ$ pour la marne compacte du substratum. Cette synthèse est détaillée en figure 2 avec les cotes moyennes retenues.

LE PRINCIPE DU JET GROUTING

Le jet grouting est la réalisation d'un béton de sol par malaxage hydraulique du sol en place. Un jet de coulis sous haute pression (270 à 400 bars), passant à travers une buse rotative spécialement étudiée (figure 3), déstructure le terrain et permet un malaxage hydraulique du sol en place et du coulis. Une remontée continue du fluide d'injection le long du vide annulaire constitué autour de la tige de forage et d'injection est indispensable pendant toute la

2- Synthèse géotechnique retenue.

3- Détail de la buse Keller jet double.

4- Coupe de principe de renforcement de sol.

2- Geotechnical synthesis adopted.

3- Detail of the Keller double jet nozzle.

4- Schematic cross section of soil reinforcement.

phase de jetting pour garantir la bonne qualité du malaxage ainsi que l'absence de dispersion non maîtrisée du fluide ou toute mise en pression du terrain. Ces résidus - appelés spoils - sont stockés et reçoivent un traitement spécifique adapté. Ils peuvent servir, moyennant un dessablage, de fluide de forage, et ils peuvent également servir de remblai liquide. Pour le cas spécifique du chantier d'Esch-sur-Alzette, la solution performante proposée par Keller Fondations Spéciales a été l'utilisation du jet grouting double haute énergie. Le jet grouting double haute énergie se distingue du jet grouting simple d'une part par une injection du coulis à haut débit (de l'ordre de 200 à 400 l/mn) et d'autre part par l'ajout d'air comprimé autour du faisceau d'injection. Ceci a pour but d'augmenter le pouvoir

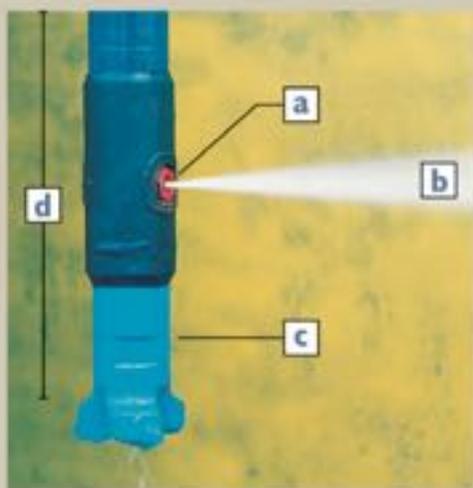
SYNTHÈSE GÉOTECHNIQUE RETENUE

Cote du toit de la couche	Facès	E_s (MPa)	P_i (MPa)	γ / γ' (kN/m ³)	c' (kPa)	ψ' (°)
285 NN	Remblai	130	2	21 / 11	0	37,5
283,1 NN	Argile	2	0,1*	19 / 10	5	15
280,5 NN	Sables	60	1,5	20 / 10	0	35,2
278,4 NN	Argiles	30	0,8	21 / 11	50	25
277,5 NN	Marnes	100	1,5	21 / 11	150	27,5

* : hypothèse

2

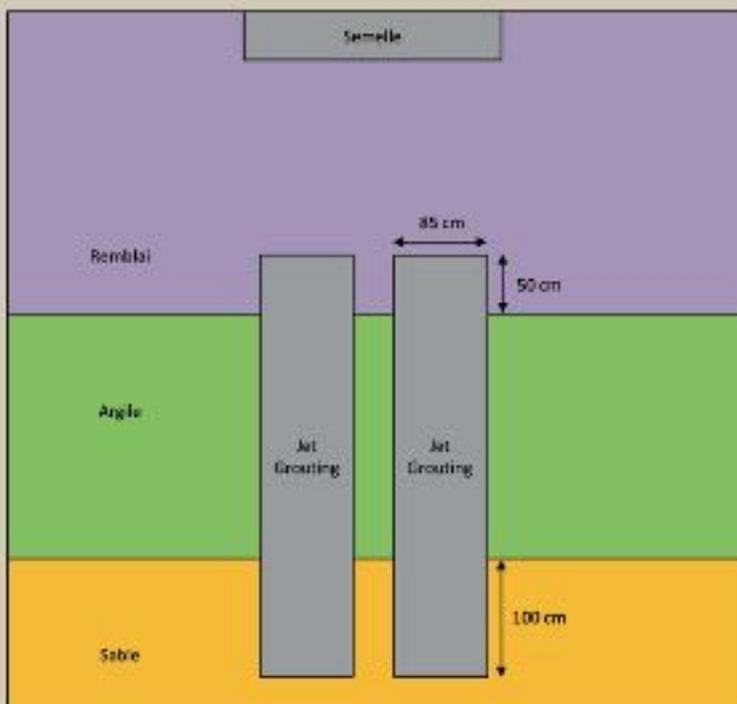
DÉTAIL DE LA BUSE KELLER JET DOUBLE



- a – Buse
- b – Jet haute pression
- c – Taillant
- d – Moniteur

3

COUPE DE PRINCIPE DE RENFORCEMENT DE SOL



4

© PHOTO THÉQUE KELLER FONDATIONS SPÉCIALES

de découpage du jet et d'améliorer la remontée des rejets par un phénomène dit de « air-lift ». Ceci permet d'obtenir des diamètres de colonnes plus élevés et de garantir un mélange plus homogène du béton de sol constitué, et également de sécuriser une remontée continue des rejets d'injection, paramètre essentiel dans la qualité de réalisation des travaux de jet grouting.

LE PRINCIPE DE LA SOLUTION RENFORCEMENT DE SOL

La solution renforcement de sol offre l'avantage de pouvoir réaliser des semelles de fondations superficielles classiques ancrées dans les remblais de surface compacts comme dans du sol de bonne compacité. Cette simplification est particulièrement intéressante pour faciliter les travaux de gros-cœuvre en milieu confiné à l'intérieur d'un bâtiment. Keller Fondations Spéciales a conçu ce projet en considérant des inclusions rigides constituées par des colonnes de jet grouting de diamètre 0,85 m. Le remblai de surface compact sur une épaisseur suffisante (ce qui a

5- Vue Plaxis 3D de la répartition des déplacements pour une semelle isolée à 3 colonnes.

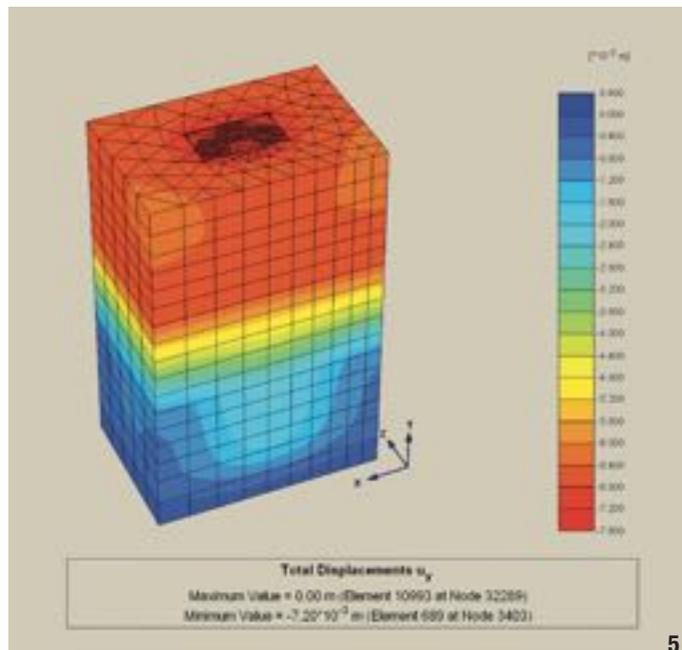
6- Vue Plaxis 3D de la répartition des contraintes pour une semelle isolée à 3 colonnes.

7- Vue Plaxis 3D de la répartition des déplacements pour une semelle isolée à 4 colonnes.

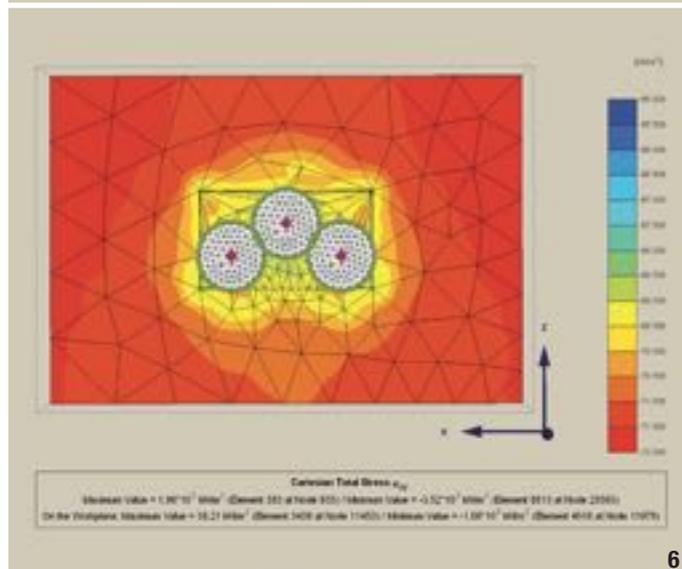
5- Plaxis 3D view of the displacement distribution for an insulated foundation footing with 3 columns.

6- Plaxis 3D view of the stress distribution for an insulated foundation footing with 3 columns.

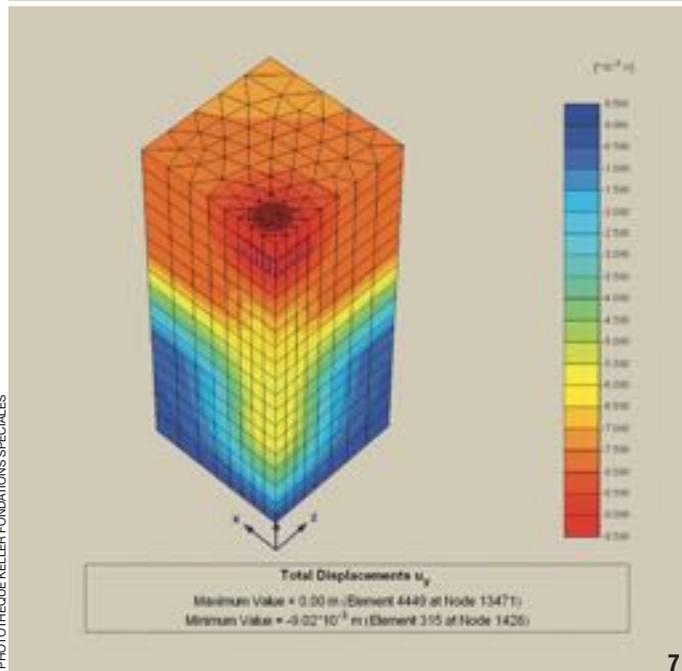
7- Plaxis 3D view of the displacement distribution for an insulated foundation footing with 4 columns.



5



6



7

été contrôlé en de nombreux points), donne la possibilité de considérer ce matériau de bonne qualité comme matelas de répartition. Le renforcement de sol ne concerne donc que la couche compressible d'alluvions modernes. Les colonnes de jet grouting seront donc ancrées en tête dans les remblais compacts, et en pied dans les sables de bonne capacité mécanique, comme indiqué en figure 4. Le principe du renforcement de sols par inclusions rigides consiste en une répartition des charges entre le terrain à renforcer et le réseau d'inclusions rigides. Ce mécanisme de répartition fait intervenir le matelas de répartition constitué ici par les remblais de surface et le frottement négatif dans l'épaisseur supérieure des sols compressibles. Cette hauteur de frottement négatif correspond à la profondeur de terrain pour laquelle le tassement sous charge après répartition est plus important que le tassement de l'inclusion. Pour tout projet de renforcement de sols par inclusions rigides, trois plans d'égal tassement sont mis en évidence : le premier au sein du matelas de répartition, le deuxième - appelé axe neutre - au sein des couches de sol à renforcer, et le troisième en profondeur dans les couches support du renforcement de sol. À l'issue d'itérations de calcul de ce système contrainte-déformation, une contrainte admissible maximum est déterminée en corrélation avec le tassement admissible pour l'ouvrage à construire. Dans le cas du projet d'Esch-sur-Alzette, cette dernière valeur devait être inférieure à 1,5 cm.

LA CONCEPTION DE LA SOLUTION DE RENFORCEMENT DE SOL

Bien que le projet se situât en dehors de l'hexagone, cette conception a été menée selon les recommandations du Projet National ASIRI (Amélioration de Sol par Inclusions Rigides) auquel Keller Fondations Spéciales a participé. Les charges à reprendre s'échelonnent de 47 à 231 tonnes aux ELS (États Limites de Service) pour les massifs isolés et de 10 à 60 tonnes par mètre linéaire aux ELS pour les semelles filantes. Les contraintes appliquées sous les semelles se répartissent entre 0,75 MPa ELS pour les plus petites semelles isolées et 0,46 MPa ELS pour les semelles de plus grande taille. Pour les semelles isolées, cette contrainte appliquée est comprise entre 0,17 et 0,43 MPa ELS. Dans un premier temps, un calcul de vérification globale de la portance du système de renforcement est réalisé.



8



9



10



11



12

Ensuite les vérifications intrinsèques pour chaque élément du système (contrainte dans le sol, matériau de l'inclusion, portance de l'inclusion) sont menées par comparaison des valeurs issues du calcul en contrainte-déformation à des valeurs limites définies par la réglementation. Le calcul en contrainte-déformation pour ce projet a été mené à l'aide d'un logiciel de calcul aux éléments finis. Le logiciel qui a été utilisé ici est Plaxis 3D. Les figures 5, 6 et 7 permettent de visualiser la répartition des contraintes et des déplacements sols-inclusions pour différents cas de fondation. L'ensemble de cette démarche a permis d'obtenir les contraintes de service dans les colonnes de jet grouting pour les différents cas de charges et les tassements attendus pour les différentes fondations, tous inférieurs à 13 millimètres.

LA PRÉPARATION DU CHANTIER

Étant donné sa complexité, liée à l'intervention dans un bâtiment existant et au respect indispensable du planning en raison de la fermeture du chantier lors de la période de congés collectifs au Luxembourg, cette opération a donné lieu à une préparation particulièrement soignée. Un Plan d'Assurance Qualité (PAQ) a été mis au point avec les différents acteurs de l'opération. Ce document a permis de préciser les rôles de chaque participant et de formaliser les procédures de travaux. Le matériel dédié à ce chantier est constitué de la manière suivante : deux silos à ciment, un bac tampon à coulis, une cuve à eau de 8 m³, une centrale d'injection Keller type AKM 1200 D, une pompe haute pression, et pour ce chantier spécifique en milieu confiné, l'utilisation de

8- Vue d'ensemble de la foreuse de jet grouting Keller KB1.

9- Vue d'ensemble de l'installation à l'extérieur du bâtiment.

10- Atelier de jet grouting KB1 en phase de jetting.

11- Atelier de jet grouting KB1 avec mât télescopique relevé.

12- Atelier de jet grouting KB1 en phase de mise en station.

8- Overall view of the Keller KB1 jet grouting driller.

9- Overall view of the installation outside the building.

10- KB1 jet grouting equipment in the jetting phase.

11- KB1 jet grouting equipment with telescopic mast raised.

12- KB1 jet grouting equipment in stationing phase.

la nouvelle foreuse KB1 (figure 8). Cette foreuse, conçue et fabriquée par le département matériel du groupe Keller, est spécifiquement étudiée pour les chantiers de jet grouting réalisés dans un environnement restreint. La foreuse KB1 fonctionne à l'énergie électrique, ses dimensions sont particulièrement adaptées : la largeur en configuration de travail peut varier entre 0,76 et 1,14 m, sa hauteur hors-tout pendant les travaux peut varier entre 1,9 et 3,4 m grâce à son mât télescopique - ce qui permet l'utilisation de tiges de longueur unitaire 2 m. Ce mât est équipé d'une tête articulée qui permet des rotations du point de forage et facilite ainsi la mise en place. Le poids de cet atelier est limité à 3,6 tonnes. L'utilisation et la mise au point de ce type de matériel spécifique sont l'un des points forts de l'ingénierie du groupe Keller.

LA RÉALISATION DES TRAVAUX

Le traitement des rejets - appelés spoils - liés à l'exécution des travaux de jet grouting est réalisé par l'entreprise titulaire du lot gros-œuvre, CDCL Luxembourg. Pour ce faire, deux bacs terrassés en pleine fouille de 80 m³ chacun ont été réalisés. Les rejets sont pompés pendant les travaux de jet grouting jusque dans ces bacs, à l'intérieur desquels leur décantation peut avoir lieu. Le chargement peut

alors se faire avec des moyens de terrassement simples pour l'évacuation en phase solide. Le délai demandé pour la réalisation des travaux est particulièrement court : cinq semaines. Pour cette raison, les travaux préparatoires nécessaires pour l'installation à l'extérieur des travaux (figure 9) sont réalisés au plus tôt. Ces travaux consistent en la réalisation de dalles de répartition et de dispositifs de confinement des égouttements pour limiter les salissures liées au nettoyage de l'installation d'injection. L'équipe travaux est constituée d'un chef de chantier, superviseur et responsable du chantier tant au niveau de son avancement que de sa qualité et de la sécurité, d'un foreur spécialisé, d'un ouvrier pied-de-machine, d'un centraliste spécialisé et d'un ouvrier aide-centraliste. Chez Keller ce type d'équipe, spécialement constituée, est dédié à la réalisation de chantiers de jet grouting ou d'injections spécifiques tout au long de l'année pour répondre à l'activité de Keller dans ce type de produit. Les travaux en milieu confiné ont été menés à l'aide de la foreuse spécifique type KB1 qui a montré son agilité dans ce type d'environnement (figures 10, 11, 12). Les temps de mise en station ont été particulièrement réduits grâce à la remarquable mobilité de l'atelier.

LE SUIVI QUALITÉ

L'ensemble des colonnes de jet grouting a donné lieu à un enregistrement de paramètres (figure 13). La totalité de ces informations ont été transmises et approuvées par les acteurs du projet : l'entreprise CDCL et le bureau d'ingénieurs conseils INCA. Les contrôles de qualité du matériau type « béton de sol » constitué par le jet grouting ont été réalisés sur les rejets à raison de trois unités par jour de production, et ils ont



13- Exemple de fiche d'enregistrement de paramètres système Keller M5.

13- Example of Keller M5 system settings registration form.

tous montré des valeurs supérieures au seuil attendu. Les travaux ont été réalisés dans les délais prévus, ce qui a permis de libérer la zone d'intervention pour la réalisation de la suite des travaux de l'entreprise CDCL. □

PRINCIPALES QUANTITÉS

- 125 colonnes de jet grouting diamètre 0,85 m et profondeur 5,10 m (jusqu'à 6 m localement)
- 500 t de ciment
- 830 m³ de rejets
- Travaux réalisés en double poste (équipes de jour + nuit) dans l'enceinte du bâtiment en cours de démolition et réhabilitation (en co-activité avec les entreprises de gros-œuvre, terrassement et démolition)

PRINCIPAUX INTERVENANTS

- TITULAIRE DU GROS-ŒUVRE :** CDCL S.A., Leudelange (Lux)
- MAÎTRE D'OUVRAGE :** ENOVOS, Strassen (Lux)
- MAÎTRE D'ŒUVRE :** INCA, Niederanven (Lux)
- BUREAU DE CONTRÔLE :** Socotec, Livange (Lux)
- BUREAU D'ÉTUDES DE SOL :** ENECO S.A., Contern (Lux)
- SOUS-TRAITANT RENFORCEMENT DE SOLS :** Keller Fondations Spéciales

ABSTRACT

SOIL REINFORCEMENT BY JET GROUTING FOR VERTICAL ADDITION TO A BUILDING

CYRIL COPPALLE, KELLER - NICOLAS MALO, KELLER - VINCENT SPITZ, KELLER

As part of the enlargement of the "Schlassgoart" building in Esch-sur-Alzette, Luxembourg, by vertical addition, Keller Fondations Spéciales, the French subsidiary of Keller Group plc, is in charge of soil reinforcement works. These works involve the execution of rigid inclusions under the new insulated foundation footings. These rigid inclusions consist of jet grouting columns of diameter 0.85 m. These columns are executed by double jet grouting of the Soilcrete® type, using the Keller system. This work is performed in a confined environment at the base of the building. The new KB1 drill, manufactured by Keller, which is specifically dedicated to jet grouting in these working conditions, is perfectly appropriate. □

CONSOLIDACIÓN DE SUELO POR JET GROUTING PARA SOBREELEVAR UN EDIFICIO

CYRIL COPPALLE, KELLER - NICOLAS MALO, KELLER - VINCENT SPITZ, KELLER

En el marco de la ampliación por sobreelevación del edificio "Schlassgoart" en Esch-sur-Alzette, en Luxemburgo, la empresa Keller Fondations Spéciales, filial francesa de Keller Group plc, se encarga de las obras de consolidación de suelos. Estas obras consisten en la realización de inclusiones rígidas bajo las nuevas zapatas aisladas de los cimientos. Estas inclusiones rígidas están constituidas por columnas de jet grouting de 0,85 m de diámetro. Estas columnas se realizan en jet grouting doble tipo Soilcrete®, sistema Keller. Esta intervención se efectúa en medio confinado a nivel de base del edificio. La nueva perforadora KB1, de fabricación Keller, dedicada específicamente al jet grouting en estas condiciones de trabajo, se adapta perfectamente. □

1- Vue d'ensemble du site en cours de travaux.

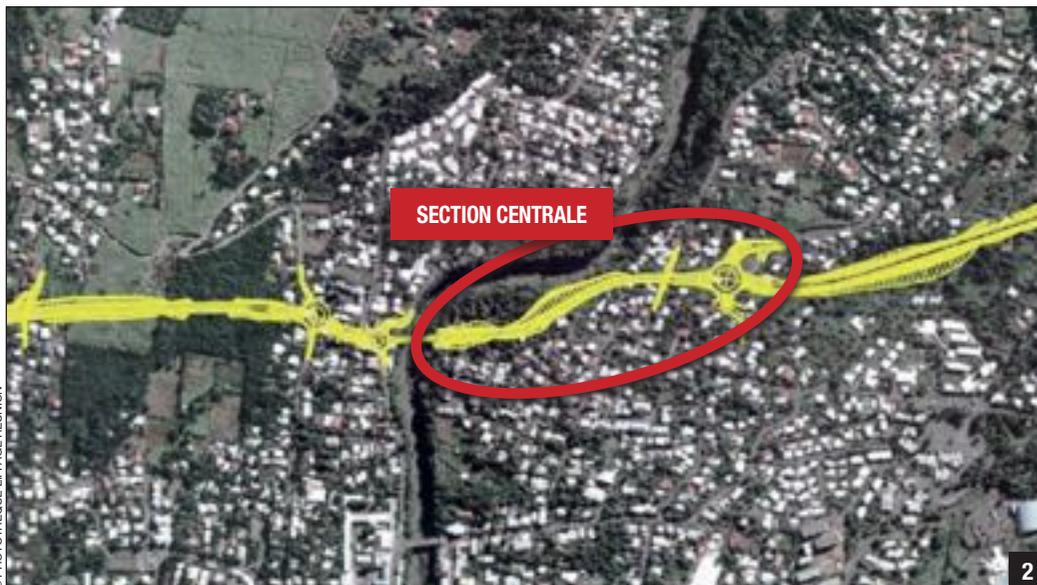
1- General view of the site during the works.

© PHOTOTHÈQUE
EIFFAGE RÉUNION

SECTION CENTRALE DE LA DÉVIATION DE SAINT-JOSEPH - ÎLE DE LA RÉUNION

AUTEURS : OLIVIER PAL, DIRECTEUR, BE GÉOTECHNIQUE EIFFAGE - LIONEL VOUTE, CHEF DE PROJET, BE GÉOTECHNIQUE EIFFAGE

LA VOIE NOUVELLE CRÉÉE POUR DÉVIER LA CIRCULATION DU CENTRE DE LA COMMUNE DE SAINT-JOSEPH SUR L'ÎLE DE LA RÉUNION A CONDUIT À RÉALISER D'IMPORTANTS TRAVAUX DE TERRASSEMENTS EN DÉBLAIS, AU MILIEU DE L'AGGLOMÉRATION. CEUX-CI ONT NÉCESSITÉ DES TRAVAUX DE SOUTÈNEMENTS DE GRANDE AMPLEUR, À L'AIDE DE PAROIS CLOUÉES, DEVANT À LA FOIS COMPORTER UN HABILLAGE ARCHITECTURAL EN BÉTON PRÉFABRIQUÉ ET UN ÉCRAN ACOUSTIQUE EN TÊTE.



© PHOTO THÈQUE EIFFAGE RÉUNION

Face aux problèmes d'encombrements routiers allant en s'amplifiant à l'approche de la commune de Saint-Joseph, la région Réunion a décidé de créer une voie nouvelle, permettant de dévier au nord de l'agglomération, la circulation de l'actuelle RN2 passant par le centre-ville. Le tracé complet de cette déviation représente 5,4 kilomètres de route en 2x2 voies à créer. Ce tracé a été divisé en trois sections : section Ouest, section Centrale et section Est. Le marché attribué à l'entreprise Eiffage TP Réunion correspond à la section Centrale du projet. Il représente un peu moins d'un kilomètre du linéaire du tracé total. Cette section Centrale se situe entre le nouveau pont sur la rivière des remparts (hors marché) et la RD33.

2- Localisation du projet.

2- Project location.

Dans ce secteur, le tracé en plan de la voie longe la rive gauche de la rivière des Remparts. En même temps, le profil en long de la route projetée, se trouve à une dizaine de mètres sous le TN, permettant de passer sous une voie existante (rue Guy de La Ferrière) et de se raccorder à l'extrémité ouest de la section transversale, avec le nouveau pont sur la rivière des Remparts. Compte tenu du profil en long et de l'occupation urbaine du site, il a été nécessaire de réaliser des soutè-

nements de grande hauteur (jusqu'à 11 m). L'ouvrage était toutefois classé comme un ouvrage « courant » au sens des recommandations Clouterre 91, selon le CCTP du marché.

L'objet du marché attribué à l'entreprise Eiffage TP Réunion a été essentiellement de réaliser :

- Les travaux de terrassements généraux ;
- Les travaux de génie civil de l'OA7, ouvrage de franchissement de la déviation (rétablissement de la rue Guy de La Ferrière) ;
- Les travaux de soutènement par paroi clouées y compris habillages architecturaux ;
- Les travaux de réalisation des murs de soubassement supports d'écrans acoustiques ;
- Les travaux d'assainissement ;

- Les travaux de VRD ;
- La réalisation du giratoire de raccordement avec la RD33.

La tâche confiée au B.E. géotechnique d'Eiffage par l'Entreprise a été de réaliser l'ensemble des études d'exécutions relatives aux parois clouées et leur habillage architectural, ainsi qu'aux murs de soubassement supports d'écrans antibruit.

L'objet principal de l'étude concerne les soutènements de type paroi clouée qui représentent un linéaire de 460 ml et une surface à couvrir de 3 370 m².

Ces parois clouées se distinguent par les points singuliers suivants :

- Mise en œuvre d'un traitement architectural couvrant l'ensemble de la surface soutenue ;
- Ces parois doivent servir de support à des écrans acoustiques, placés en tête de celles-ci ;
- Deux de ces parois clouées sont réalisées immédiatement en deçà des culées de l'OA7 (rétablissement de la rue Guy de La Ferrière) ;
- Présence immédiate d'avoisinants en amont de ces parois ;
- Présence d'une géologie délicate.

LE CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

D'après la carte géologique de la Réunion, les formations géologiques identifiées à Saint Joseph, le long du tracé projeté, appartiennent au système volcanique du Piton de la Fournaise. Cette unité est représentée par des coulées de basalte.

En général, ces formations basaltiques sont recouvertes de couches d'altération (terre végétale, limons, limons à blocs, voire colluvions), et sont parfois entrecoupées de niveaux de scories. ▷

Dans la zone qui nous intéresse, en rive Est de la rivière des Remparts, les terrassements recoupent des dépôts alluvionnaires anciens. Ces formations renferment des éléments de toutes dimensions qui vont des cailloutis aux blocs de taille décimétrique à pluri-décimétrique, voire métrique. Ces blocs sont enchâssés dans une matrice sablo-limoneuse plus ou moins cohérente (figure 3).

Ce contexte a rendu très délicat le terrassement par passes des parois clouées. En effet la présence de blocs décimétriques à pluri-décimétriques a conduit à la formation de hors profils importants qui ont dû être comblés par des bétons de remplissage. Ces difficultés se sont accrues encore, lors de la réalisation de la risberme intermédiaire de la paroi et de la partie inférieure de la paroi, ce qui a conduit à la mise en œuvre de blocs maçonnés, issus du site, pour rétablir le profil théorique, tout en limitant le volume de béton de remplissage mis en œuvre. Cette disposition, mise au point par l'Entreprise, a permis d'une part de pouvoir forer les ancrages inférieurs de la paroi sans aggraver les hors profils et d'autre part d'annuler les sous cavages sous la longrine BA intermédiaire, tout en limitant les déplacements du soutènement.

LES PAROIS CLOUÉES

Les caractéristiques des parois clouées sont les suivantes :

- Hauteur maximale de l'ordre de 11 m ;
- Séparation de la paroi en 2 parties par l'intermédiaire d'une risberme de 1 m de largeur ;
- Parement en béton projeté C30/37, épaisseur 20 cm ;
- Clous en barre HA 40 Fe E 500, longueur courante 8 m, forés en diamètre 105 mm ;
- Espacement vertical entre lits de clous de 1,20 m à 1,40 m selon l'adaptation au profil en long ;
- Espacement horizontal des clous : 2,50 m ;
- Inclinaison de la paroi : 5V/1H.

On trouvera en figure 4, une représentation de la coupe type de la paroi. Ces parois sont réparties en trois ensembles :

- La paroi M1 sur le flanc sud du projet représentant un linéaire de 240 ml pour une surface de 2 000 m² environ (y compris sous culée de l'OA7) ;
- La paroi sur le flanc Nord, à l'ouest de l'OA7, représentant un linéaire d'environ 80 ml pour une surface de 560 m² ;



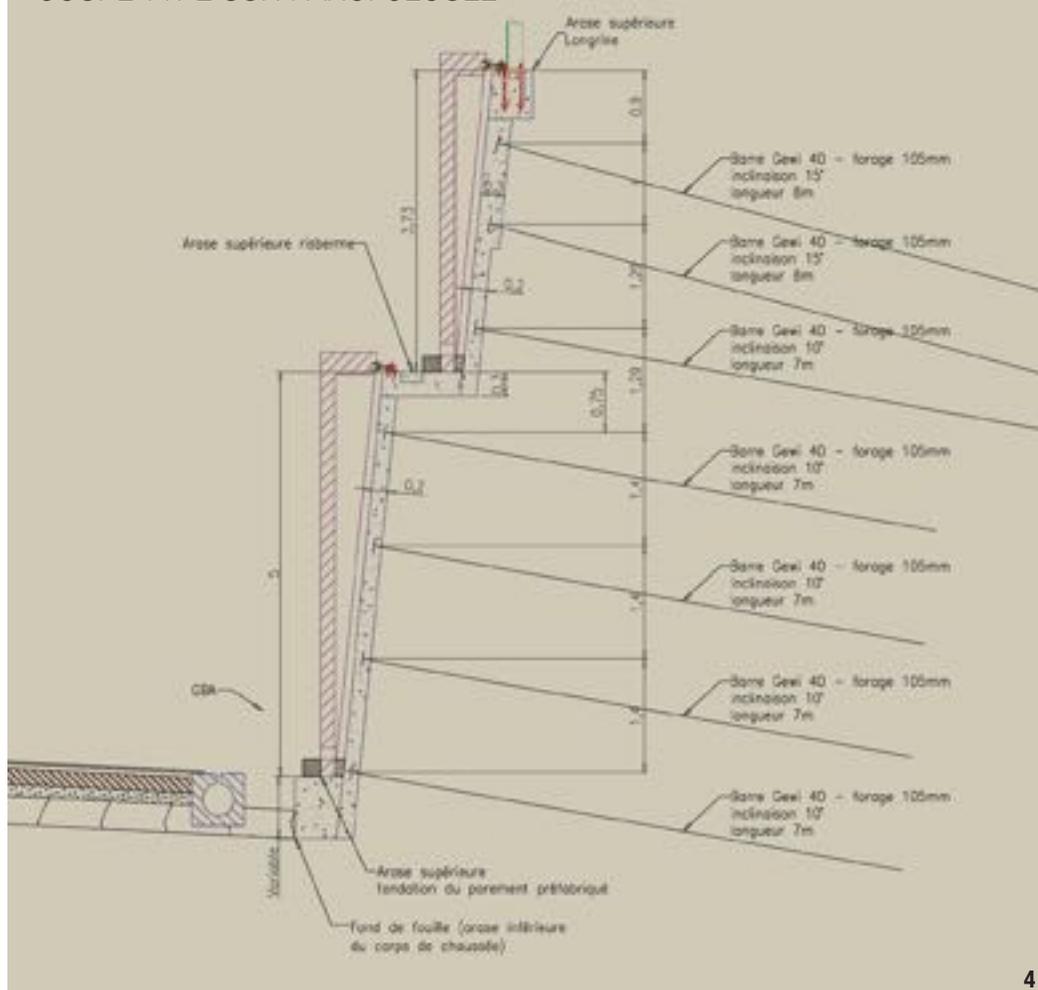
3- Travaux de terrassement en cours.

4- Coupe type sur paroi clouée.

3- Earthworks in progress.

4- Typical section on soil-nailed wall.

COUPE TYPE SUR PAROI CLOUÉE



→ La paroi M3 (séparée en deux parties), représentant un linéaire de 140 m, pour une surface de 810 m² (y compris sous culée de l'OA7).

On trouvera en figure 5, une représentation en plan de l'ensemble du projet. Les moyens utilisés pour le dimensionnement de ces parois clouées sont les suivants :

- Le logiciel Talren V4®, pour la justification réglementaire au sens des recommandations clouterre 91 et leur additif de 2002 ;

→ Le logiciel Plaxis V9®, pour l'analyse en déformation et l'évaluation de la stabilité globale.

La présence d'avoisinants à proximité et le fait que deux parois soient situées sous les culées de l'ouvrage OA7, a conduit effectivement à évaluer de manière non forfaitaire, les déformations des profils de soutènement (figure 8 et 9). Cela nous a mené à réaliser un modèle de calculs bidimensionnel aux éléments finis. Toutefois, la mission

du BE Géotechnique Eiffage ne s'est pas résumée à une mission d'études d'exécution au sens strict du terme. En collaboration directe avec la direction de chantier, une part conséquente de sa prestation a, en fait, été une mission de conception. Cette conception a concerné les deux particularités essentielles de ces parois, à savoir :

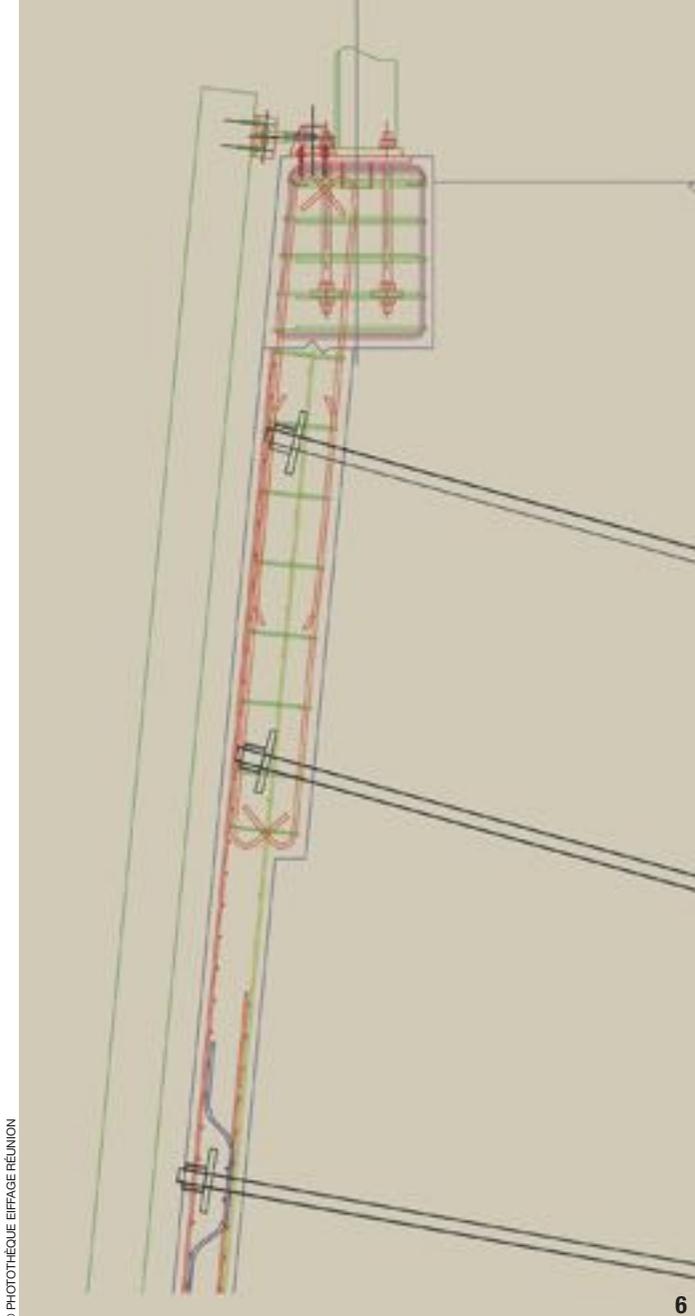
- La fonction de support d'écrans acoustiques donnée à ces parois ;
- Le traitement architectural en béton recouvrant l'ensemble de ces parois.

VUE EN PLAN DU PROJET

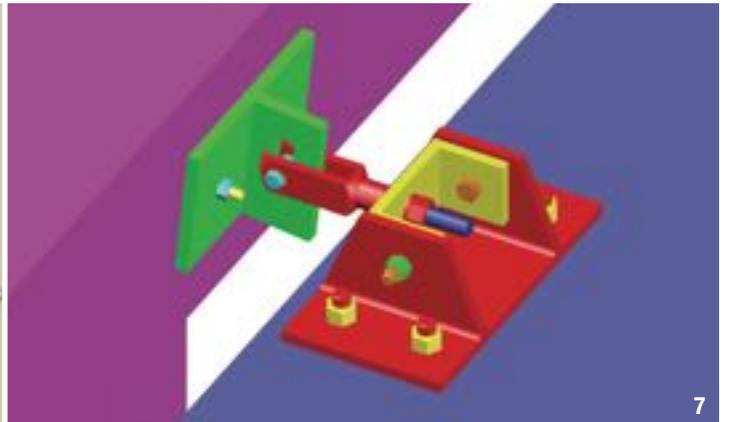


5

COUPE - DÉTAIL SUR POUTRE SUPPORT D'ÉCRANS



6



7

5- Vue en plan du projet.

6- Coupe – détail sur poutre support d'écrans.

7- Détail sur pièces d'attache des panneaux préfabriqués.

5- Plan view of the project.

6- Cross section - detail of screen supporting girder.

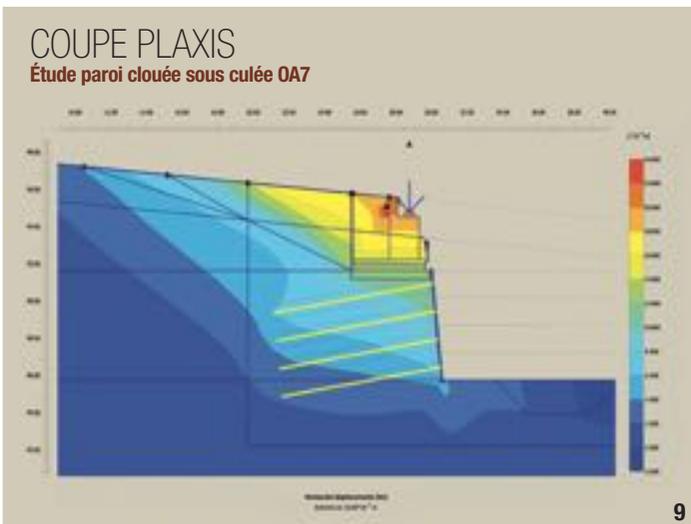
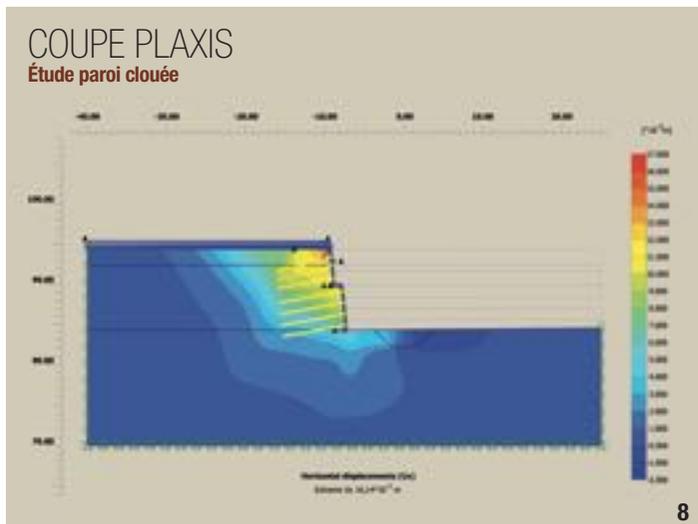
7- Detail of prefabricated panel fastener parts.

FONCTION SUPPORT D'ÉCRANS ACOUSTIQUES

Le projet prévoit en effet la mise en œuvre d'écrans acoustiques en tête des parois clouées. Ces écrans se présentent sous la forme de panneaux en polyméthacrylate de méthyle (PMMA) de 2,50 m de largeur et d'une hauteur variable, allant de 1,20 m à 2,50 m. Ils sont maintenus latéralement par des

poteaux métalliques ancrés dans la longrine de tête de paroi clouée (figure 6). La mise en œuvre de ces écrans anti-bruit ne faisait pas partie du marché d'Eiffage TP, mais l'Entreprise devait livrer une structure capable d'équilibrer le torseur des efforts induit par ces écrans au droit de chaque poteau support. Sous l'action du vent, on se retrouve ainsi avec un effort horizontal et un moment de flexion à reprendre en tête de paroi. À cela s'ajoute l'effort vertical dû au poids propre de la longrine béton, des poteaux supports d'écrans et des écrans eux-mêmes.

L'effort vertical est transmis directement au sol par l'intermédiaire de la paroi et d'une continuité structurelle entre la longrine de tête, le parement et la longrine de pied. Quant à l'effort horizontal et au moment de flexion s'exerçant en pied de poteau, ils sont repris par les deux premiers lits de clous, fonctionnant en traction - compression. Pour cela, une « poutre » verticale, intégrée au parement avec une surépaisseur côté terrain, a été réalisée (figure 6). Cette poutre intégrée a une largeur de 50 cm pour une épaisseur de 30 cm, soit une surépaisseur de parement de 10 cm par rapport à l'épaisseur courante du parement.



Cette surépaisseur est ponctuelle au droit des files de clous et des poteaux supports d'écrans (soit tous les 2,50 m). Cette « poutre » se prolonge jusqu'au pied du support d'écran. L'ensemble des efforts apporté par ces écrans acoustiques a été intégré dans la justification globale de la paroi clouée. Par ailleurs, la question s'est posée du chargement cyclique de ces deux premiers lits d'ancrage, censés reprendre les efforts dû au vent s'exerçant sur les écrans antibruit. À l'heure actuelle, il n'existe aucun texte directif sur le problème des chargements cycliques des pieux ou micropieux. L'ouvrage FOREVER (Résultats et recommandations du

Projet national sur les micropieux) propose une synthèse des études effectuées sur ce sujet, à ce jour, sans pour autant définir une démarche explicite. Ainsi, en l'état actuel des choses, et pour ne pas négliger ce phénomène de chargement cyclique, nous avons proposé de retenir, dans le cadre de cette étude, un coefficient de sécurité supplémentaire de 1,2 sur la longueur de scellement des micropieux. On trouvera en figure 6, une vue de détail de cette poutre intégrée à la paroi.

HABILLAGE ARCHITECTURAL

L'autre particularité de ces parois est liée au fait qu'elles sont entièrement

recouvertes d'un habillage architectural en béton. Le choix de l'Entreprise pour créer cet habillage a été de réaliser des éléments préfabriqués en béton, seul moyen de garantir une homogénéité d'aspect et de matricage. Ces éléments préfabriqués sont verticaux, de 2,50 m de largeur, pour rendre cohérent la position des joints de panneaux préfabriqués avec la trame des poteaux supports d'écrans acoustiques. Chacun de ces panneaux couvre la paroi depuis son pied jusqu'à la risberme intermédiaire et depuis cette risberme jusqu'à la tête de la paroi (figure 4). Cela représente donc des

panneaux de 5 m de hauteur environ, pour 2,50 m de largeur, avec une épaisseur de 18 cm. Le parti pris architectural a été d'alterner des panneaux suivant l'inclinaison de la paroi clouée, avec des panneaux à parement vertical et présentant donc des retours s'ajustant à la paroi. Chacun de ces panneaux représente ainsi une masse de 5 à 6 tonnes. La problématique de cette situation est d'assurer la liaison entre une structure rigide (l'élément préfabriqué) et le soutènement relativement « souple » que constitue une paroi clouée. En effet, il n'est pas assuré que la totalité des déformations de la paroi clouée soit acquise au moment de la mise en



8- Coupe Plaxis étude paroi clouée.
 9- Coupe Plaxis étude paroi clouée sous culée OA7.
 10- Pose panneaux préfabriqués en cours.
 11- Panneaux préfabriqués.
 12- Vue aérienne paroi M1.

8- Plaxis cross section of soil-nailed wall study.
 9- Plaxis cross section of soil-nailed wall study under OA7 abutment.
 10- Placing of prefabricated panels in progress.
 11- Prefabricated panels.
 12- Aerial view of M1 wall.

œuvre des panneaux préfabriqués. Pour éviter de générer tout effort parasite pouvant engendrer une fissuration non envisageable, une pièce métallique spécifique d'attache en tête a été conçue permettant de bloquer uniquement les translations horizontales, que ce soit vers l'amont ou vers l'aval du soutènement (figure 7). Tous les autres degrés de liberté restent ainsi libérés, notamment les déplacements verticaux et les rotations autour d'un axe horizontal, parallèle au plan de la paroi. Cela permet par exemple, au panneau préfabriqué de suivre librement un tassement éventuel du pied de paroi clouée. Cette pièce métallique est fixée sur la longrine de tête des parois clouées, à l'aide de chevilles mécaniques. En pied de panneau préfabriqué, la liaison est assurée par le coulage en place d'une bande de clavetage avec la longrine de pied de paroi. La pièce maîtresse de l'attache mécanique est constituée de la chape munie d'une tige filetée. Cette pièce autorise le réglage du positionnement du panneau préfabriqué. En effet l'autre « challenge » du projet était de pouvoir bien aligner des éléments préfabriqués à partir d'une paroi clouée qui « épouse » le profil de terrassement. Cette attache métallique a donc une double fonction, réglage des panneaux et autoriser tous les degrés de liberté à l'exception de la translation horizontale. Un espace libre de 10 cm minimal est ainsi généré entre le parement des parois clouées et la face arrière des éléments préfabriqués.

Le drainage de cet espace libre est assuré par deux larges ouvertures en pied de panneaux, communiquant avec un exutoire. Le drainage de la paroi elle-même, est assuré par la mise en œuvre des dispositions suivantes :

- Bande drainante de 50 cm de largeur tous les 2,50 m ;
- Drains subhorizontaux longueur 8 à 9 m, espacement horizontal 5 ml ;
- Barbacanes $\phi=80$ mm, maille 2 x 2,50 m.



13

© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE RÉUNION

13- Vue aérienne paroi M1.
14- Vue aérienne paroi M3.

13- Aerial view of M1 wall.
14- Aerial view of M3 wall.



14

© PHOTOTHÈQUE EIFFAGE RÉUNION

CONCLUSION

Le marché de la section courante de la déviation de Saint Joseph, sur l'île de la Réunion, a nécessité un travail important de mise au point des méthodes d'exécution sur le chantier, en parallèle des études d'exécution et de conception partielle de l'ouvrage.

Le chantier a en effet été confronté, à un contexte géologique particulier induisant une problématique de hors profils importants pour réaliser une paroi clouée de grande hauteur devant à la fois recevoir un parement architectural et des écrans acoustiques en tête. □

INTERVENANTS PRINCIPAUX

MAÎTRE D'OUVRAGE : Région Réunion
MAÎTRE D'ŒUVRE : Direction des Grands Travaux - ETN Sud de la région Réunion
ENTREPRISE : Groupement SAS/EIFFAGE TP REUNION
SOUS-TRAITANT POUR LES PAROIS CLOUÉES : ALPHAROC

PRINCIPALES QUANTITÉS

TERRASSEMENT EN DÉBLAIS : 118 000 m³
SURFACE DE PAROI CLOUÉE : 3 400 m²
LINÉAIRE D'ANCRAGES : 7 700 m
SURFACE DE CHAUSSÉE NOUVELLE : 14 000 m²

ABSTRACT

CENTRAL SECTION OF THE SAINT-JOSEPH DEVIATION – REUNION ISLAND

OLIVIER PAL, BE GÉOTECHNIQUE EIFFAGE - LIONEL VOUTE, BE GÉOTECHNIQUE EIFFAGE

The new road created to divert traffic from the centre of Saint-Joseph commune on Reunion Island entailed the execution of major excavation earthworks in the centre of the town. This required major retaining structure works, using soil-nailed walls, having to include both a precast concrete architectural cladding and a noise barrier at the top. □

SECCIÓN CENTRAL DEL DESVÍO DE SAINT-JOSEPH – ISLA DE LA REUNIÓN

OLIVIER PAL, BE GÉOTECHNIQUE EIFFAGE - LIONEL VOUTE, BE GÉOTECHNIQUE EIFFAGE

La nueva vía creada para desviar la circulación del centro del municipio de Saint-Joseph en la isla de la Reunión ha conducido a realizar importantes obras de movimiento de tierras en desmonte, en medio de la aglomeración urbana. Estas obras han requerido trabajos de contención, de gran amplitud, por medio de paredes clavadas que, a su vez, debían incluir un revestimiento arquitectónico de hormigón prefabricado y una pantalla acústica en cabeza. □



1

© K.FABY

LGV EST-EUROPÉENNE, PHASE 2 : RENFORCEMENT DES SOLS KARSTIQUES ET COMPRESSIBLES

AUTEURS : GILLES GOUTTE, CHEF DU DÉPARTEMENT AMÉLIORATION DE SOL, GTS - ALBAN NICOLINI, CHEF DU DÉPARTEMENT INJECTION/CONFORTEMENT ET SOUTÈNEMENT, GTS - BRUNO FOYOT, DIRECTEUR SFI - SOCIÉTÉS DU GROUPE NGE

LES SOLS COMPRESSIBLES OU KARSTIQUES DÉTECTÉS SOUS DES REMBLAIS OU SOUS DES ASSISES D'OUVRAGES D'ART ONT NÉCESSITÉ DES TRAVAUX DE RENFORCEMENT PRÉALABLES. GTS A PROPOSÉ ET MIS EN ŒUVRE DIFFÉRENTES TECHNIQUES, SEULES OU ASSOCIÉES, ADAPTÉES AUX CONFIGURATIONS RENCONTRÉES : DRAINS, INJECTIONS DE COMPLEMENT, INCLUSIONS RIGIDES, PIEUX. LE FORAGE DES PIEUX DANS LES FORMATIONS DOLOMITIQUES TRÈS DURES A ÉTÉ EFFECTUÉ AU MOYEN D'UN MARTEAU-FOND-DE-TROU DE DIAMÈTRE 1 M. LES QUANTITÉS RÉALISÉES SONT CONSIDÉRABLES.

Le parcours de la Ligne a été découpé en 10 lots répartis selon deux secteurs de travaux, en Moselle et dans le Bas-Rhin. Le groupe NGE et ses filiales, dont GTS, étant titulaires des lots 41 et 42 et sous-traitants du lot 43A ont été fortement mobilisés sur la réalisation de la deuxième phase de la LGV Est-européenne. Les contraintes sont multiples, il importe que les différentes équipes tiennent les délais tout en gardant le souci du respect de l'environnement sur chacun des lots.

LES SOLUTIONS ADAPTÉES AUX CONTRAINTES GÉOTECHNIQUES

Le lot 41 représente plus de 25 km à traiter avec des zones de grands remblais aux extrémités, des zones de remblais compressibles, une zone boisée du Parc Régional de Lorraine... Situé entre Bougaltroff et Sarraltroff, le lot compte 24 ouvrages d'art courants (11 Ponts Rail et 13 Ponts Route). Pour le renforcement des culées du viaduc de la Sarre de 441 m (franchissement de la vallée de la Sarre), GTS

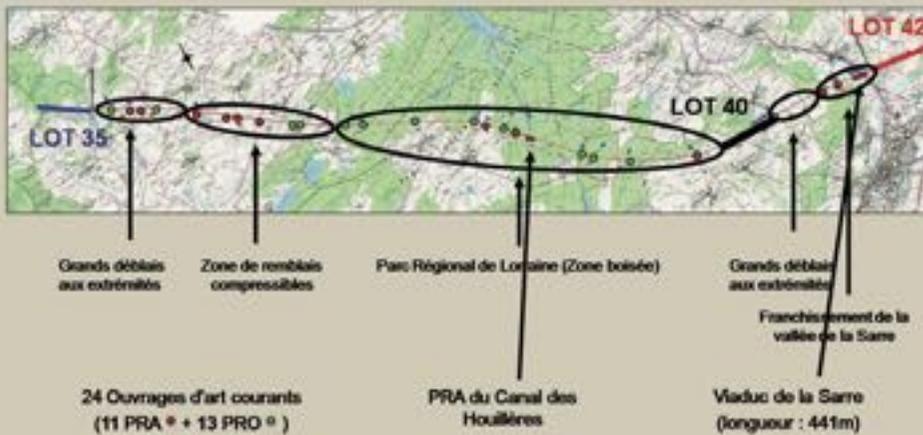
1- Amélioration des sols par 1 900 inclusions rigides de diamètre 600 mm.

1- Soil improvement by 1900 rigid inclusions of diameter 600 mm.

a mis en œuvre des inclusions rigides sous la culée Est du viaduc à travers une succession d'alluvions surmontant des couches blanches et grises sur un substratum de marne bariolée. L'entreprise a aussi procédé à la pose de drains verticaux sur 4 km au total de remblai situé sur différentes zones compressibles (figure 2). Le lot 42, d'environ 20 km, présente 4 km de remblais compressibles situés en zone inondable, une succession de remblais de grande hauteur... et compte 30 ouvrages d'art courants

PLAN DU LOT 41

Présentation du Lot 41 : 25,372 Km (hors Lot 40)



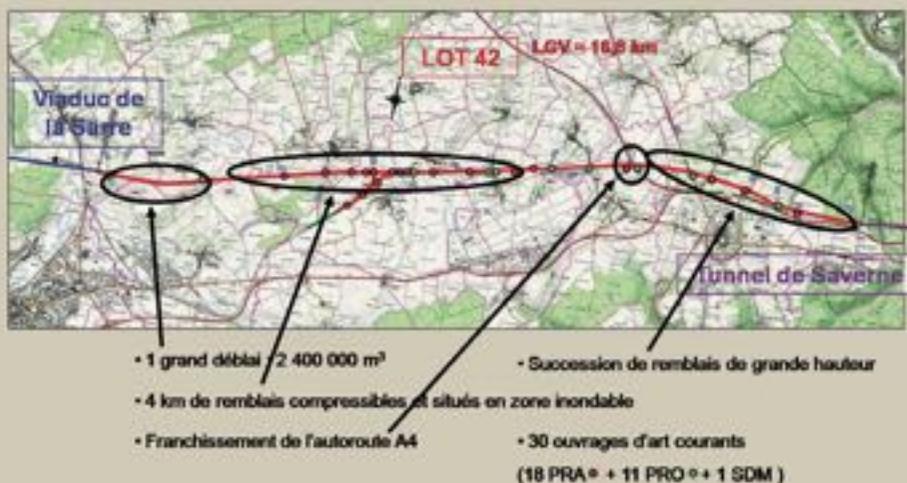
2

- 2- Plan du lot 41.
- 3- Plan du lot 42.
- 4- Plan du lot 43A.

- 2- Drawing of work section 41.
- 3- Drawing of work section 42.
- 4- Drawing of work section 43A.

PLAN DU LOT 42

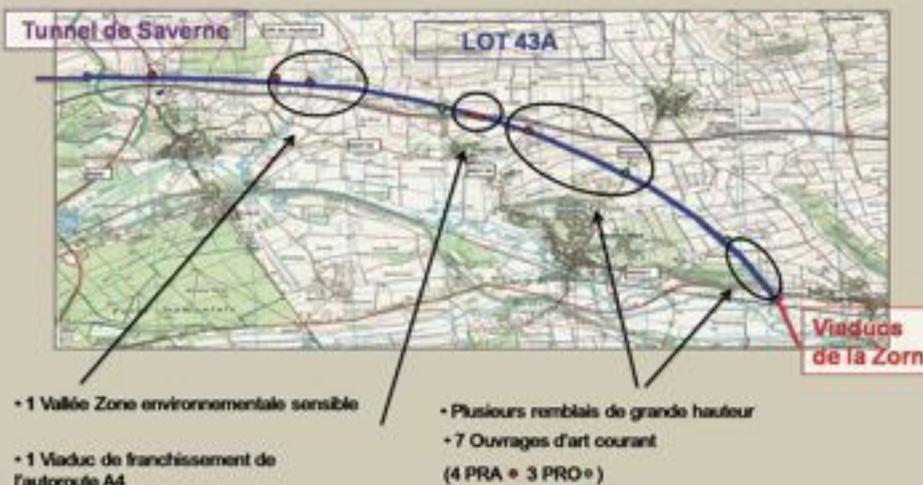
Présentation du lot 42 : 16,80 km + 2,5 km (RAC)



3

PLAN DU LOT 43A

Présentation du lot 43 8.31 km



4

(18 Ponts Rail + 11 Ponts Route + 1 Saut De Mouton). La spécificité des remblais de grande hauteur apporte une difficulté technique. Les 4 km de vallée compressibles composée d'argile, de marne et d'alluvions a nécessité un drainage vertical sous les sections courantes ainsi que des inclusions rigides sous les ouvrages et blocs techniques. Particularité à laquelle s'est ajoutée la découverte de cavités à combler par injection. Cette dernière intervention s'ajoutait au planning travaux déjà bien chargé (figure 3). Le lot 43A d'une longueur de plus de 8 km est composé de zone environnementale sensible, plusieurs remblais de grande hauteur. Il comprend 7 ouvrages d'art courant (4 Ponts Rail + 3 Ponts Route). Situé en Alsace, le chantier a la particularité de croiser l'autoroute A4 matérialisé par le viaduc de Dettwiller. Un ouvrage de 180 m de long nécessitant un phasage très précis pour ne pas gêner la circulation sur l'autoroute. L'entreprise a mis en œuvre des drains verticaux pour les remblais et blocs techniques en zones compressibles (figure 4).

RENFORCEMENT DES SOLS POUR LES SECTIONS COURANTES

CONTEXTE : DES REMBLAIS SUR SOL COMPRESSIBLE

L'intervention de GTS, spécialisée dans les travaux géotechniques et de sécurisation, a été essentiellement le renforcement de sol. S'agissant des sections courantes, sur le lot 41, l'entreprise est intervenue sur six remblais sur sol compressible en suivant la solution de base qui prévoyait des drains verticaux et des inclusions rigides (figures 1 & 4).

SOLUTION MULTITECHNIQUE

Le chantier pour la culée Est du Viaduc était tenu par une importante contrainte de délais de réalisation. L'entreprise a traité la zone en deux mois comme prévu, afin de permettre le lançage du Viaduc de la Sarre qui devait s'effectuer à une date précise.

Près de 1 900 inclusions rigides (soit 17 000 m de forage en diamètre 600 mm) ont été mises en œuvre avec quatre machines au pied de la culée pour un volume de 5 700 m³ de béton. À noter, un tiers des inclusions a été ferrailé pour un problème de sismicité (175 t d'acier).

En zone de remblais, le fonçage de 500 km de drains visait la consolidation accélérée des sols compressibles. L'association d'un réseau de drains verticaux à une surcharge a permis de réduire la durée nécessaire au tassement et ainsi le délai global des travaux (figures 6 & 7).

Comme lors de chaque opération d'envergure, les équipes de chantier ont géré la co-activité sur site. Dans le cadre du respect de l'environnement, zone Natura 2000, l'entreprise, certifiée QSE, a suivi les consignes relatives à la protection de l'environnement en mettant en place des bassins de décantation, des filtres...

RENFORCEMENT DES SOLS SOUS LES FUTURS OUVRAGES D'ART

CONTEXTE : PRÉSENCE DE CAVITÉS CONFIRMÉE

Sur la base des maquettes géotechniques du Marché (lot 42), a été dressé le synoptique du risque de présence de cavités de faible à moyen dans les couches calcaires et de dissolution d'évaporites. Après reconnaissance complémentaire par GTS de décembre 2011 à février 2012 (tous les 10 m en quinconce, soit 6 000 m de forage de



5
© ADIASOL

reconnaissance), des cavités apparaissent sur deux zones précises. Celles-ci devront être traitées sur 12 m de profondeur par injections réparties selon 10 zones distinctes (remblais RBT 506 et 509).

Le planning des travaux intégrait une série d'essais de reconnaissance du sol, (carottés, pressiomètres, piézomètres, ...) afin d'affiner les données géotechniques disponibles. Plusieurs campagnes de sondages ont donc confirmé la présence de cavités sous l'assise des remblais.

Information confortée lors de la mise en œuvre de drains verticaux par GTS, dans le remblai 506, confrontée à plusieurs effondrements du terrain. Une donnée qui montre la présence de bancs de gypse à faible profondeur. En conclusion, après réalisation de toutes ces reconnaissances, il s'est avéré que le sol support des remblais

5- Viaduc de la Sarre.

6- Amélioration des sols en zone de remblais par fonçage de 500 km de drains.

5- La Sarre viaduct.

6- Soil improvement in a backfill area by driving 500 km of drains.

RBT 506 et 509 contenait de nombreuses cavités. D'où l'absolue nécessité de traiter le sol afin d'assurer la pérennité de l'ouvrage (figure 9).

TRAITEMENT SYSTÉMATIQUE DES ZONES IMPACTÉES PAR LES CAVITÉS

Dans un premier temps, une solution de traitement ponctuel (comblement des fontis découverts) avait été lancée pour minimiser les coûts. Cette solution intermédiaire s'est avérée insuffisante après quelques semaines de travaux au vu de la forte augmentation des quantités injectées. C'est dans un deuxième temps que la véritable intervention du Département Injection de GTS pour résoudre cet aléa cavité a démarré, au risque de bousculer plus sérieusement le planning général du chantier. Solutions de traitement mises en place :

- Traitement systématiques des zones fortement impactées par les cavités par injections de coulis ;
- Mise en œuvre d'un géotextile de renforcement dans les zones moins impactées par les cavités ;
- Mise en œuvre d'inclusions rigides sous les ouvrages d'art et les blocs techniques associés, ainsi que sous les ouvrages hydrauliques.

En parallèle, une instrumentation renforcée a été installée afin de suivre l'évolution des déformations du sol sous le remblai.

Le Département Amélioration de sol de GTS avait pour mission de réaliser des drains verticaux sur les 4 km de remblais couplés avec des inclusions rigides sous les ouvrages d'art. Ce qui a représenté 1 000 inclusions rigides à 10 m de longueur moyenne sous 5 ouvrages d'art, puis 450 inclusions rigides armées de 20 m de longueur



6
© K. FABY



7- Traitement des zones compressibles par la mise en œuvre de drains et d'inclusions rigides.

8- Après 6 000 m de forage de reconnaissance, comblement des cavités par traitement au coulis.

9- Manifestation montrant la présence de cavités.

10- Traitement des remblais de grande hauteur.

7- Treatment of compressible areas by implementing drains and rigid inclusions.

8- After 6000 metres of reconnaissance drilling, filling of cavities by grouting treatment.

9- Illustration showing the presence of cavities.

10- Treatment of very high backfills.

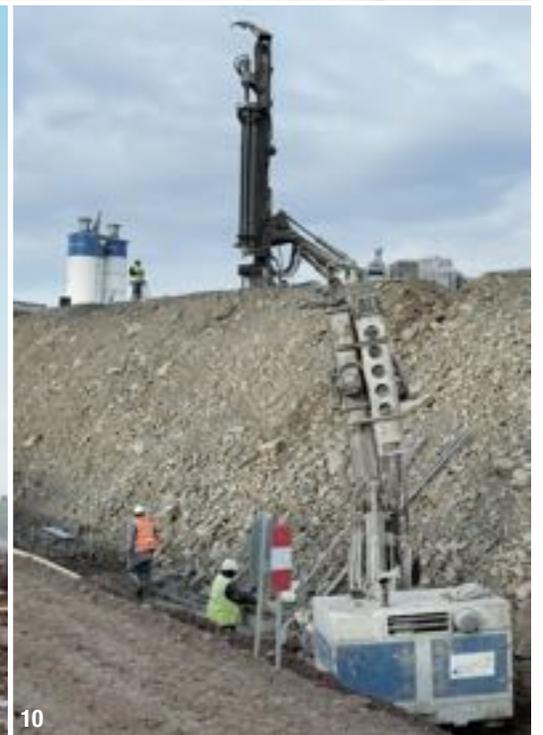


FIGURE 9 © PHOTOTHÈQUE GTS - FIGURE 10 © L. MARÉCHAUX

moyenne en diamètre 600 mm sous un seul autre ouvrage d'art. Les équipes du chantier ont été confrontées à la même problématique de forage dans des bancs de gypse très durs en présence parfois de cavités. Le tout dans le cadre d'un planning travaux très serré (figures 8 & 10).

MOBILISATION DE MOYENS

Les travaux d'injection se sont donc déroulés en deux phases. C'est au cours de la deuxième phase que l'entreprise devait réaliser des quantités importantes d'injections dans un délai très court. À ces contraintes s'est ajoutée la complexité du planning travaux sans cesse modifié couplé avec la multiplicité des zones de traitement (nombreux phasages, évolution permanente des quantités), sans compter les intempéries en périodes hivernales qui ont aussi ralenti l'avancement du chantier. Étant donnés les volumes à injecter et les linéaires à forer, l'entreprise a proposé une mesure d'accélération par la mise en place de travail en postes. Douze foreuses et quatre centrales fixes de production ont été mobilisées, avec une autre entreprise partenaire, en moyenne sur un an et demi, ce qui en fait l'un des chantiers d'injection les

plus importants jamais réalisés sous une plateforme ferroviaire en cours de construction. La mise en œuvre des injections devait aussi respecter une autre particularité car les cavités devaient être traitées après avoir monté le remblai (dans un souci de respect du délai global). GTS a procédé à un pré-forage du remblai (12 m) avant de traiter le sol support (15 m), ce qui représente une longueur totale de 25 à 30 mètres. Pour réaliser les inclusions rigides sous les ouvrages d'art du lot 42, GTS a mobilisé six ateliers de forage (diamètre 600, longueur 9 à 20 m). Les équipes de GTS intervenaient sur des zones protégées, les deux remblais RBT 506 et 509 traversant le lit du cours d'eau le « Bruch ». Des moyens importants ont été déployés pendant la durée des travaux afin de respecter les règles environnementales, notamment :

- Éviter les pertes de coulis dans les cours d'eau ;
- Surveillance accrue d'éventuelle pollution ;
- Mise en œuvre de système de traitement des eaux polluées.

SOLUTION DE FORAGE DANS LA ROCHE DOLOMITIQUE : MARTEAU FOND DE TROU DE DIAMÈTRE 1016 MM FACE À LA PROBLÉMATIQUE DU FORAGE DANS LA DOLOMIE

C'est sur le lot 42 que la filiale du groupe NGE a apporté son expertise en forage. Un ouvrage de type PRA « Pont-Rail » devait s'appuyer sur des pieux de 16 à 19 m de profondeur selon les directives du bureau d'études de RFF. La mise en œuvre traditionnelle de pieux a été mise à rude épreuve puisque les cadences de forages étaient en-dessous des cadences attendues. ▷

En cause la présence de roche très résistante (supérieure à 550 MPa) responsable de casse de matériel. Une nouvelle problématique s'ajoutait à d'autres pour laquelle GTS et sa filiale SFI, spécialisée dans les fondations de grandes hauteurs, ont apporté une solution pour ancrer les 95 pieux dans la roche dolomitique présente à plus de 12 m de profondeur, pour un ouvrage d'art destiné à recevoir un portique au-dessus de la RD38 (entre HERANGE et ZILLING (Moselle) à 90 km de Nancy et 65 km de Strasbourg). Un matériel a été conçu et adapté en tenant compte de ce contexte (figure 13).

CONCEPTION DE MATÉRIEL DE FORAGE SUR-MESURE

GTS et sa filiale SFI se sont mobilisées pour concevoir un marteau fond de trou fabriqué sur mesure avec un taillant de

diamètre 1 016 mm. Ceci pour résoudre un problème de forage dans un environnement géotechnique composé de roche dolomitique de résistance supérieure à 550 MPa dans laquelle le forage conventionnel avec une tarière classique offre peu de rendement.

Avec cet équipement SFI a été en capacité de réaliser 4 forages par jour au lieu de seulement 1 à 2 par semaine avec un matériel classique permettant ainsi de réduire considérablement les délais d'exécution des travaux.

Selon un cahier des charges précis, SFI a fait fabriquer le taillant et le marteau par des sociétés spécialisées.

Une machine de forage a été configurée pour recevoir le marteau.

Cet assemblage d'un marteau intégrant un taillant d'un diamètre important sur une machine de forage de 60 t met en évidence la volonté d'innovation des

11- Un marteau fond de trou conçu et développé sur mesure.

12- La cadence est passée de 2 pieux par semaine à 4 pieux par jour !

11- A down-the-hole hammer designed and developed on a customised basis.

12- The work pace increased from two piles per week to four piles per day!

équipes de SFI et GTS. Désormais dotés d'un outil sur-mesure et unique en Europe, les spécialistes en géotechnique pourront trouver une solution à des problèmes de forage dans la roche très résistante (figure 11). Si la technique a déjà été employée en Europe, cette configuration avec panier de récupération des déblais de forage intégré est une réelle innovation dont les résultats sont probants. GTS a participé aux travaux de la LGV Est Européenne de septembre 2010 à octobre 2012. L'entreprise a apporté son savoir-faire dans le domaine du renforcement des sols karstiques et des sols compressibles. Face aux différentes contraintes (environnement, zones inondables, remblais de grande hauteur...) elle a déployé, aux côtés des autres entreprises intervenantes, les moyens nécessaires à la réussite du chantier. □



11

© K.FABY



12

© K.FABY

L'ASSOCIATION D'UN MARTEAU FOND-DE-TROU ET D'UN PORTEUR DE FOREUSE CLASSIQUE

La solution pour ancrer des pieux dans la roche dolomitique de résistance supérieure à 550 MPa a été apportée par l'assemblage d'un marteau fond-de-trou de grand diamètre à une machine de 60 t. Il s'agissait de réaliser 95 pieux de 16 à 19 m de profondeur (dont 6 m d'ancrage exécutés au marteau fond-de-trou) dans des délais très serrés. Les pieux ont d'abord été préforés à la tarière et tubés jusqu'à 12 m de profondeur. Ensuite, le marteau était mis en œuvre pour traverser la dolomie.

La machine de forage a donc été configurée pour recevoir le marteau, celui-ci nécessitant un débit d'air de 120 m³/mn, à 13 bar de pression, fourni par cinq compresseurs. Un réseau de conduites et de vannes a été fabriqué pour alimenter l'outil. SFI a profité de l'air échappé après la frappe pour extraire les sédiments à l'aide d'un panier de récupération placé en tête de marteau. Au bout de 1,50 m de forage, le panier rempli de sédiments était vidé puis repositionné.

C'est une méthode efficace qui a permis à NGE GC de respecter les contraintes imposées dans la livraison de son ouvrage contrairement à une méthode traditionnelle (figure 12).



13- Un taillant de grand diamètre pour ancrer 95 pieux dans la dolomie.

13- A large-diameter drill bit to anchor 95 piles in the dolomie.

© K.FABY

LES CHIFFRES-CLÉS

DURÉE DES TRAVAUX : 25 mois
LONGUEUR DES 3 LOTS : 53 km
DRAINS VERTICAUX : 500 km
INCLUSIONS RIGIDES : 34 km - Ø 600 mm
FORAGES : 118 000 m
INJECTION DE COMBLEMENT : 53 500 m³
MARTEAU FOND DE TROU ADAPTÉ À UNE FOREUSE DE 60 T
TAILLANT : Ø 1 016 mm
FORAGE : 1 600 m en Ø 1 016 mm
PIEUX DE FONDATION : 95 u en Ø 1 000 m
BÉTON : 2 200 m³
ARMATURES DE PIEUX : 300 t

LES INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : Réseau ferré de France
MAÎTRES D'ŒUVRES : Groupement INEXIA-ARCADIS (Lots 41-42) - SETEC (lot 43A)
RÉALISATION DES TRAVAUX – SOCIÉTÉS DU GROUPE NGE :
GUINTOLI (mandataire) - NGE Génie Civil (cotraitant) -
EHTP (sous-traitants Hydraulique) - GTS (sous-traitant Travaux spéciaux) -
SIORAT (sous-traitant Chaussées) - SERFOTEX (sous-traitant Minage) -
AGILIS (sous-traitant Equipements routiers)

ABSTRACT

EAST EUROPEAN HIGH-SPEED TRAIN LINE, PHASE 2: KARSTIC AND COMPRESSIBLE SOIL REINFORCEMENT

GILLES GOUTTE, GTS - ALBAN NICOLINI, GTS - CORINNE CHARVIN, GTS

Along the route of the East European High-Speed Train Line, compressible and karstic soils were detected under backfills or under engineering structure foundations. They required preliminary reinforcement works. GTS proposed and implemented various techniques, separately or combined, adapted to the configurations encountered. On standard sections, under the backfills, drains and filling injections were executed. Under the structures, rigid inclusions or piles were used. Pile drilling in very hard dolomitic formations was performed using a down-the-hole hammer of diameter 1016 mm. The quantities executed were substantial. □

LGVEE (LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD DEL ESTE EUROPEO), FASE 2: REFUERZO DE LOS SUELOS KÁRSTICOS Y COMPRESIBLES

GILLES GOUTTE, GTS - ALBAN NICOLINI, GTS - CORINNE CHARVIN, GTS

A lo largo del trazado de la Línea de alta velocidad del este europeo se han detectado suelos compresibles o kársticos bajo terraplenes o bajo contenciones de estructuras. Previamente, ha sido preciso realizar obras de consolidación. GTS propuso y aplicó diferentes técnicas, individualmente o asociadas, adaptadas a las configuraciones encontradas. En sección corriente, bajo los terraplenes, se han realizados drenajes e inyecciones de relleno. Bajo las estructuras se ha recurrido a las inclusiones rígidas o a los pilares. La perforación de los pilares en las formaciones dolomíticas muy duras se realizó con un martillo perforador de fondo de 1.016 mm de diámetro. Las cantidades realizadas son considerables. □

RÉPERTOIRE DES FOURNISSEURS

MATERIEL DE TERRASSEMENT



Ammann France - ZI Les Petites Haies
51/33, rue de Valenciennes - 54046 Créteil Cedex
Tél. 01 45 17 08 88 - Fax 01 45 17 08 90
Email : info@frilliamann-group.com
www.ammann-group.com



BOBCAT/BPV - B.P.3 - 27320 NONANCOURT
Numéro Indigo
0 825 08 43 81



FRANCE
PLUS DE 550 Machines et
700 Équipements en TP, PL,
Levage et Manutention
T : 00 33 1015 23 04 00 68
F : 00 33 1015 23 68 55 80
Mail : sodineg@wanadoo.fr
DEPOTS 02 ET 74

■ CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES

BOBCAT EUROPE
J. Huysmanslaan 59 B
1651 Lot - Belgique
Tél. 00 32 2 371 68 11
Fax 00 32 2 371 69 00

VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ MINI-PELLE
VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ NIVELEUSE AUTOMOTRICE
VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ PELLE HYDRAULIQUE SUR CHENILLES
VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ ÉQUIPEMENTS POUR ENGIN DE TERRASSEMENT
ONE - TP.COM
1 Place du 8 Mai 1945
60119 Neuville Bosc
Tél. 01 30 37 06 26
Fax 01 34 40 01 44

MATERIEL POUR LA PRODUCTION D'AIR COMPRIME ET TRAVAUX D'ABATTAGE

■ MARTEAU BRISE-ROCHE HYDRAULIQUE
ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA
ZI du Vert Galant - 2, av. de l'Éguillette
BP 7181 - Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

■ PELLE HYDRAULIQUE SUR PNEUMATIQUES
VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ TOMBREAU AUTOMOTEUR ARTICULÉ
VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

■ CHARGEUSE PELLEUSE (BACKHOE LOADER)
VOLVO CONSTRUCTION EQUIPMENT - EUROPE SAS
37, avenue Georges Politzer - BP 117
78192 Trappes Cedex
Tél. 01 30 69 28 28
Fax 01 30 69 83 39
www.volvoce.com

MATERIEL DE LEVAGE ET DE MANUTENTION



Coffrages et Etaisements
PERI S.A.S.
Z.I. Nord - 34/36, rue des Frères Lumière
77109 Meaux cedex
Tél. : 01 64 35 24 40 - Fax : 01 64 35 24 50
peri.sas@peri.fr
www.peri.fr

MATERIEL POUR LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DES ROUTES



Ammann France - ZI Les Petites Haies
51/33, rue de Valenciennes - 54046 Créteil Cedex
Tél. 01 45 17 08 88 - Fax 01 45 17 08 90
Email : info@frilliamann-group.com
www.ammann-group.com



2, avenue du Général de Gaulle
91170 VIRY CHATILLON
Tél. : 01 69 57 86 00 - Fax : 01 69 96 26 60
www.bomag.com



WIRTGEN FRANCE
WIRTGEN
Fraiseuses sur roues et sur chenilles
Recycleurs à froid / Stabilisatrices de sol
Machines à coffrage glissant / Mineurs de surface
Outils au carbure. Betek/Sitek
VÖGELE
Finisseurs sur pneus et sur chenilles / Alimentateurs
HAMM
Rouleaux tandem vibrants
Compacteurs à pneus
Compacteurs monocylindre vibrants
KLEEMANN
Installations de concassage mobiles et fixes / cribles
Distributeur exclusif pour la France des épandeurs de liants pulvérulents
STREUMASTER série SW
WIRTGEN FRANCE
BP 31633 - 7, rue Marc Seguin
95696 Goussainville Cedex
Tél. : 01 30 18 95 95 - Fax : 01 30 18 15 49
E-mail : contact@wirtgen.fr
www.wirtgen.fr

METALLIANCE
ZI de la Saule - BP 111
71304 Montceau Cedex
Tél. 03 85 57 01 34
Fax 03 85 57 88 73

■ MACHINE POUR LA STABILISATION ET LE RECYCLAGE DE CHAUSSÉES

RABAUD
Bellevue - 85110 Sainte-Cécile
Tél. : 02 51 48 51 58
Fax 02 51 40 22 97
www.rabaud.com
info@rabaud.com

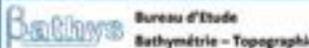
MATERIEL TOPOGRAPHIQUE - LASER - GUIDAGE D'ENGIN

■ TRAVAUX SOUTERRAINS



AUSCULTATIONS Automatiques
Tél. 01 41 42 06 30
Fax 01 41 42 06 31
www.miretopo.com

■ LEVÉE BATHYMÉTRIQUE



Bureau d'Etude
Bathymétrie - Topographie
Suivi de travaux & Suivi d'Ouvrages
Tél : 06 67 79 05 16 - 06 99 48 45 27
www.bathys.fr - contact@bathys.fr

CE GUIDE RENSEIGNE SUR LES PRODUCTIONS DES FOURNISSEURS DE MATÉRIEL, ÉQUIPEMENT OU SERVICES. SI VOUS DÉSIREZ ÊTRE RÉPERTORIÉS DANS CES RUBRIQUES, ADRESSEZ-VOUS À : EMMANUELLE HAMMAOUI - 9, RUE DE BERRI - 75008 PARIS - TÉL. : +33 (0)1 44 13 31 41 - EMAIL : ehammaoui@fnfp.fr - TARIF : 100 € HT PAR LIGNE ET PAR RUBRIQUE OU 230 € HT LE CM COLONNE POUR UNE ANNÉE DE PARUTION.

MATERIEL DE CONCASSAGE - BROYAGE - CRIBLAGE



metso
Concassage, broyage, criblage, manutention
Matériels et installations fixes et mobiles
Installations de recyclage
Transporteurs et accessoires
Pièces d'usure et de rechange
Produits anti-usure, blindages, capotages
Pompes
(Nordberg-Svedala-Thales-Lindemann)
Metso Minerals (France)
41, rue de la République - 71009 Mâcon Cedex
Tél. : 03 85 39 62 00 - Fax : 03 85 39 63 49
www.metso.com

■ POSTE D'ÉGOUTTAGE DES SABLES AVEC TRAITEMENT DES EAUX DE LAVAGE

SOTRES

Parc Européen des entreprises
BP 80072 - Rue Richard Wagner
63200 RIOM
Tél. 04 73 15 36 00
Fax 04 73 15 36 20

■ INSTALLATIONS MOBILES DE CONCASSAGE-CRIBLAGE

GRAVEL

1 Chemin de Villers à Combault
94420 Le Plessis Trevisse
Tél. 01 45 94 59 53
Fax 01 45 94 59 83

MATERIEL FLOTTANT ET MATERIEL DE PLONGEE POUR TRAVAUX FLUVIAUX ET MARITIMES

■ PONTON MÉTALLIQUE DÉMONTABLE

LEDUC T.P

1, rue de Folenrue
27202 VERNON cedex
Tél. 02 32 51 74 97
Fax 02 32 51 57 18

MATERIEL DE SONDRAGE, FORAGE, FONDATIONS SPECIALES ET INJECTION



G-OCTOPUS
www.g-octopus.com
Tél. : +33 01 47 32 48 30

■ DÉSABLEUR DE BOUES

SOTRES

Parc Européen des entreprises
BP 80072 - Rue Richard Wagner
63200 RIOM
Tél. 04 73 15 36 00
Fax 04 73 15 36 20

■ SONDEUSE DE RECONNAISSANCE ET FOREUSE EN ROTATION

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant
2, av. de l'Eguillette - BP 7181
Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

■ POMPES À BOUES

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant
2, av. de l'Eguillette - BP 7181
Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

■ PRESSE D'INJECTION

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant
2, av. de l'Eguillette - BP 7181
Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

MATERIEL SPECIAL POUR LA POSE DE CANALISATIONS



MARAIIS SERVICES
Marais Contracting Services
1, rue Pierre et Marie Curie
49430 DURTAL
Tél : 02 41 96 16 99 - Fax : 02 41 96 16 99
Email : info@marais.com - Web : www.marais.com

■ TRANCHEUSE

MARAIIS CONTRACTING SERVICES

1, rue Pierre et Marie Curie
ZA "Les portes d'Anjou" - BP 20
49430 DURTAL
Tél. 02 41 96 16 90
Fax 02 41 96 16 99

MATERIEL POUR TRAVAUX SOUTERRAINS



ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION S.A.S.
Z.I. du Vert Galant - 2, avenue de l'Eguillette
B.P. 7181 - Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise cedex
Atlas Copco
Tél. : 33 (0) 1 39 09 32 22
Fax : 33 (0) 1 39 09 32 49
www.atlascopco.fr



Ducrocq Ingénierie Process
ZA Evaires 40379 MONTREUIL-LEZ-LILLE
Tél : 03 20 90 02 60 - Fax : 03 20 90 48 00
E-mail : ducrocq.industries@wanadoo.fr
Site Internet : www.ducrocq.ingenierie-process.com

METALLIANCE

ZI de la Saule
BP 111
71304 Montceau Cedex
Tél. 03 85 57 01 34
Fax 03 85 57 88 73

■ BERLINE

PATRY SA

24, rue du 8 mai 1945
95340 Persan
Tél. 01 39 37 45 45
Fax 01 39 37 45 44
www.patry.fr

TECHNICRIBLE

Zone industrielle
81150 LAGRAVE
Tél. 05 63 81 41 57
Fax 05 63 81 41 56

■ LOCOTRACTEUR DE MANŒUVRE

PATRY SA

24, rue du 8 mai 1945
95340 Persan
Tél. 01 39 37 45 45
Fax 01 39 37 45 44
www.patry.fr

■ MACHINE D'ATTAQUE PONCTUELLE À FRAISE (RADIALE-TANGENTIELLE)

METALLIANCE

ZI de la Saule
BP 111
71304 Montceau Cedex
Tél. 03 85 57 01 34
Fax 03 85 57 88 73

■ ENGIN DE BOULONNAGE

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant
2, av. de l'Eguillette
BP 7181 Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

■ ENGIN DE FORATION

ATLAS COPCO FORAGE ET DÉMOLITION SA

ZI du Vert Galant
2, av. de l'Eguillette
BP 7181 Saint-Ouen-l'Aumône
95056 Cergy-Pontoise Cedex
Tél. 01 39 09 32 22
Fax 01 39 09 32 49

MATERIEL POUR TRAITEMENT DE LA TERRE



Lhoist France
Une société du Groupe Lhoist
105, Rue de Rivoli - 75004 Paris Cedex 04
Tel. : +33 (0)1 52 45 20 00 - Fax. : +33 (0)1 52 45 80 14
www.lhoist.com

BUREAU ETUDES



25 Agences en France | rincent BTP | 8 Agences à l'International
www.rincentbtp.fr
Tél. +33 (1) 60 87 21 25
direction.technique@rincentbtp.fr



CATHIE ASSOCIATES
www.cathie-associates.com
Tél. : +33 1 47 32 48 30

MATERIEL DE PRODUCTION, DE TRANSFORMATION ET DE DISTRIBUTION DE L'ENERGIE

SDMO INDUSTRIE

12 Bis, rue de la Villeneuve BP 241
29272 Brest cedex
Tél. 02 98 41 41 41
Fax 02 98 41 13 10

MATÉRIEL POUR LES TRAVAUX PUBLICS

CHOISISSEZ VOS RUBRIQUES ET SOYEZ PRÉSENT PENDANT 1 AN DANS TOUTS LES NUMÉROS DE TRAVAUX. POUR TOUT CONTACT, APPELEZ :
EMMANUELLE HAMMAOUI - 9, RUE DE BERRI - 75008 PARIS - TÉL. : +33 (0)1 44 13 31 41 - EMAIL : ehammaoui@fnfp.fr

MATÉRIEL D'ALIMENTATION EN EAU ET D'ÉPUISEMENT

- POMPE À DIAPHRAGME
- POMPE BASSE PRESSION POUR EAUX CHARGÉES
- POMPE HAUTE PRESSION, LAVAGE, LANÇAGE
- ALIMENTATION GRANDE HAUTEUR
- POMPE POUR RABATTEMENT DE NAPPE
- POMPE SUBMERSIBLE

MATÉRIEL DE BATTAGE ET D'ARRACHAGE

- MARTEAU
- MOUTON
- VIBRATEUR DE FONÇAGE ET D'ARRACHAGE

MATÉRIEL POUR LA PRODUCTION D'AIR COMPRIMÉ ET TRAVAUX D'ABATTAGE

- CHARIOT DE FORAGE (WAGON DRILL)
- COMPRESSEUR À VIS SUR ROUES - INSONORISÉ
- ELECTRO-COMPRESSEUR, SEMI-FIXE - INSONORISÉ
- MARTEAU BRISE-ROCHE HYDRAULIQUE
- PINCE ET CISAILLE DE DÉMOLITION

MATÉRIEL DE TERRASSEMENT

- CHARGEUSE SUR CHENILLES
- CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES
- CHARGEUSE PELLEUSE (BACKHOE LEADER)
- DÉCAPEUSE AUTOMOTRICE AVEC OU SANS AUTOCHARGEUR (MOTORSCRAPER)
- MINI-PELLE
- MOTO-BASCULEUR
- NIVELEUSE AUTOMOTRICE
- PELLE À CÂBLES SUR CHENILLES
- PELLE HYDRAULIQUE SUR PNEUMATIQUES
- PELLE SPÉCIALE AVANCEMENT AU PAS
- TOMBREAU AUTOMOTEUR À CHÂSSIS RIGIDE
- TOMBREAU AUTOMOTEUR ARTICULÉ
- TRACTEUR INDUSTRIEL ET FORESTIER 4 X 4
- TRACTEUR SUR CHENILLES (BOUTEUR, BULLDOZER)
- TRACTEUR SUR PNEUMATIQUES

MATÉRIEL DE TRANSPORT ROUTIER

- CAMIONNETTE TOUTS CHEMINS 4 X 4 < 3,5 T
- CAMION TOUTS CHEMINS 4 X 4 > 3,5 T
- CAMION TOUTS CHEMINS 6 X 4 - 6 X 6 - 8 X 6
- REMORQUE POUR TRANSPORT D'ENGINS
- SEMI-REMORQUE À BENNE
- SEMI-REMORQUE POUR TRANSPORT D'ENGINS
- VÉHICULE TRACTEUR DE SEMI-REMORQUE 4 X 4
- VÉHICULE TRACTEUR DE SEMI-REMORQUE 6 X 4 - 6 X 6

MATÉRIEL DE LEVAGE ET DE MANUTENTION

- ASCENSEUR MIXTE (MATÉRIAUX ET PERSONNEL)
- CHARIOT ÉLÉVATEUR DE CHANTIER À PORTÉE FIXE
- CHARIOT ÉLÉVATEUR DE CHANTIER À PORTÉE VARIABLE

- ÉLÉVATEUR HYDRAULIQUE À NACELLE
- GRUE AUTOMOTRICE SUR PNEUMATIQUES
- GRUE AUXILIAIRE DE VÉHICULE
- GRUE ROUTIÈRE
- GRUE SUR CHENILLES
- GRUE À TOUR (MONTAGE PAR ÉLÉMENTS)
- GRUE À TOUR (DÉPLIAGE AUTOMONTABLE)
- PLATE-FORME ÉLÉVATRICE

MATÉRIEL POUR LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DES ROUTES

- ALIMENTATEUR DE FINISSEUR
- BALAYEUSE PORTÉE OU SEMI-PORTÉE
- BALAYEUSE RAMASSEUSE AUTOMOTRICE
- BALAYEUSE TRACTÉE
- CITERNE MOBILE DE STOCKAGE ET DE CHAUFFAGE DES LIANTS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR À PIEDS DAMEURS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR À PNEUS
- COMPACTEUR AUTOMOTEUR MIXTE
- COMPACTEUR STATIQUE AUTOMOTEUR TANDEM
- COMPACTEUR VIBRANT AUTOMOBILE, MONOCYLINDRE VIBRANT - LISSE ET PIEDS DAMEURS - LIGNE MOTRICE À 2 PNEUS
- COMPACTEUR VIBRANT AUTOMOTEUR TANDEM - 1 ET 2 CYLINDRES VIBRANTS
- COMPACTEUR VIBRANT, GUIDAGE À MAIN ET DUPLEX
- COMPACTEUR VIBRANT TRACTÉ, MONOCYLINDRE, LISSE OU PIEDS DAMEURS
- DÉPOUSSIÉREUR À TISSU FILTRANT
- DÉPOUSSIÉREUR À VOIE HUMIDE
- DOSEUR À PULVÉRULENTS
- ÉPANDEUR LATÉRAL (ÉLARGISSEUR DE ROUTE)
- FINISSEUR
- FRAISEUSE AUTOMOTRICE ET RETRAITEMENT DE CHAUSSÉES
- GRAVILLONNEUR AUTOMOTEUR
- GRAVILLONNEUR PORTÉ
- MACHINE À COULIS BITUMINEUX À FROID
- MACHINE POUR FABRICATION DE BORDURES ET CANIVEAUX
- MALAXEUR CONTINU À FROID
- MALAXEUR DISCONTINU D'ENROBAGE
- MATÉRIEL DE RÉPANDAGE ET GRAVILLONNAGE INTÉGRÉ
- PILONNEUSE
- PLAQUE VIBRANTE
- PULVÉRISATEUR MÉLANGEUR (RETRAIEMENT DE CHAUSSÉE)
- RÉPANDEUR DOSEUR DE PULVÉRULENTS
- RÉPANDEUSE DE LIANTS (ÉQUIPEMENT)
- SABLEUSE-SALEUSE
- SÉCHEUR
- TAMBOUR SÉCHEUR AVEC TAMBOUR ENROBEUR SÉPARÉ
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À CONTRE COURANT
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À FLUX PARALLÈLES
- TAMBOUR SÉCHEUR ENROBEUR À ENROBAGE SÉPARÉ DOUBLE TAMBOUR CONCENTRIQUE
- TRÉMIE DE STOCKAGE D'ENROBÉS
- TRÉMIE DE STOCKAGE DE PRODUITS STABILISÉS
- TRÉMIE PRÉDOSEUSE À GRANULATS
- VIBREUSE SURFACEUSE DE BÉTON À COFFRAGE GLISSANT (SLIP FORM PAVER)

MATÉRIEL DE CONCASSAGE - BROYAGE - CRIBLAGE

- ALIMENTATEUR À MOUVEMENT ALTERNATIF
- ALIMENTATEUR À TABLIER MÉTALLIQUE
- ALIMENTATEUR VIBRANT
- BROYEUR À BARRES
- BROYEUR À PERCUSSION À AXE VERTICAL
- BROYEUR À PERCUSSION À MARTEAUX
- CONCASSEUR À MÂCHOIRES
- CONCASSEUR À PERCUSSION À BATTOIRS
- CONCASSEUR À TAMBOUR DE FRAPPE
- CONCASSEUR GIRATOIRE (PRIMAIRE, SECONDAIRE)
- CONCASSEUR GIRATOIRE (SECONDAIRE, TERTIAIRE)
- CONCASSEUR MOBILE SUR CHENILLES
- CRIBLE VIBRANT
- DÉCANTEUR ÉGOUTTEUR À AUBES
- DÉTECTEUR DE MÉTAUX
- LAVEUR DÉBOURBEUR
- MALAXEUR À TAMBOUR
- POSTE D'ÉGOUTTAGE DES SABLES AVEC TRAITEMENT DES EAUX DE LAVAGE
- SÉPARATEUR EXTRACTEUR MAGNÉTIQUE
- TRANSPORTEUR, CRIBLEUR MOBILE À COURROIE (SAUTERELLE-CRIBLEUSE)
- TRANSPORTEUR MOBILE À COURROIE (SAUTERELLE)

MATÉRIEL POUR LA FABRICATION, LE TRANSPORT ET LA MISE EN PLACE DES BÉTONS, MORTIERS ET ENDUITS

- AUTOBÉTONNIÈRE
- BÉTONNIÈRE
- BÉTONNIÈRE PORTÉE (TRUCK MIXER)
- CENTRALE MOBILE ET SEMI-MOBILE
- COFFRAGE (BANCHE)
- DESSACHEUSE AUTOMATIQUE
- DRAGLINE
- ECHAFAUDAGE AUTO-ÉLÉVATEUR
- MACHINE À PROJETER LE BÉTON
- MALAXEUR À AXES HORIZONTAUX
- MALAXEUR À AXE VERTICAL
- POMPE À BÉTON DE CHANTIER
- POMPE À BÉTON SUR PORTEUR
- SIDE-BOOM : VOIR TRACTEUR SUR CHENILLES, POSEUR DE CANALISATIONS
- TAPIS DISTRIBUTEUR DE BÉTON
- TRANSPORTEUR À AIR COMPRIMÉ
- TRÉMIE AGITATRICE À BÉTON SIMPLE
- TRÉMIE AGITATRICE À BÉTON RELEVABLE

MATÉRIEL DE PRODUCTION, DE TRANSFORMATION ET DE DISTRIBUTION DE L'ÉNERGIE

- GROUPE ÉLECTROGÈNE À MOTEUR DIESEL
- POSTE MOBILE DE LIVRAISON TYPE EXTÉRIEUR
- POSTE MOBILE DE TRANSFORMATION TYPE EXTÉRIEUR
- TRANSFORMATEUR TRIPHASÉ POUR CABINE

BARAQUEMENTS

- BARAQUEMENT MÉTALLIQUE DÉMONTABLE
- BARAQUEMENT MOBILE DE CHANTIER

MATÉRIEL FLOTTANT ET MATÉRIEL DE PLONGÉE POUR TRAVAUX FLUVIAUX ET MARITIMES

- CHALAND MÉTALLIQUE AUTOMOTEUR
- DRAGUE À CUILLÈRE (DIPPER-DREDGE)
- DRAGUE À GODETS, STATIONNAIRE
- DRAGUE SUCEUSE PORTEUSE
- DRAGUE SUCEUSE REFOULEUSE STATIONNAIRE AVEC DÉSAGRÉGATEUR
- MOTO-PROPULSEUR AMOVIBLE
- PONTON MÉTALLIQUE DÉMONTABLE
- PONTON DE SERVITUDE
- REMORQUEUR

MATÉRIEL DE SONDAGE, FORAGE, FONDATIONS SPÉCIALES ET INJECTION

- BENNE POUR PAROIS MOULÉES
- DÉSABLEUR POUR BOUES
- FOREUSE TARIÈRE SUR PORTEUR
- FOREUSE TARIÈRE (MONTAGE SUR GRUE)
- FOREUSE TARIÈRE POUR POSE DE POTEAUX
- POMPE À BOUES
- POMPE POUR JET-GROUTING
- PRESSE D'INJECTION
- SONDEUSE DE RECONNAISSANCE ET FOREUSE EN ROTATION

MATÉRIEL SPÉCIAL POUR LA POSE DE CANALISATION

- CINTREUSE HYDRAULIQUE
- CLAMP INTÉRIEUR AVEC AVANCE AUTOMATIQUE
- FONCEUR À PERCUSSION, FUSÉE
- FONDOIR À BRAI
- FORAGE DIRIGÉ (INSTALLATION)
- FOREUSE HORIZONTALE À TARIÈRE
- GROUPE AUTONOME DE SOUDAGE
- MANDRIN DE CINTRAGE
- REMORQUE PORTE-TOURET
- TRACTEUR SUR CHENILLES POSEUR DE CANALISATIONS (PIPETAYER - SIDE-BOOM)
- TRANCHEUSE
- TREUIL À CABESTAN

MATÉRIEL POUR TRAVAUX SOUTERRAINS

- BERLINE
- CHARGEUSE À ACTION CONTINUE, À BRAS DE RAMASSAGE OU GODET
- CHARGEUSE SUR PNEUMATIQUES CHARGE ET ROULE, ARTICULÉE MOTEUR DIESEL
- ENGIN DE BOULONNAGE
- ENGIN DE FORATION
- ERECTEUR DE CINTRE
- FOREUSE ALÉSEUSE
- LOCOTRACTEUR DIESEL
- LOCOTRACTEUR ÉLECTRIQUE
- MACHINE D'ATTAQUE PONCTUELLE À FRAISE (RADIALE-TANGENTIELLE)
- MICROTUNNELIER
- ROBOT DE BÉTONNAGE
- TOMBREAU AUTOMOTEUR POUR TRAVAUX SOUTERRAINS
- TRANSPORTEUR MALAXEUR
- TRÉMIE DE STOCKAGE DE DÉBLAIS
- TUNNELIER
- WAGON AUTOREMPLISSEUR ENCASTRABLE

Votre partenaire dans le sol

Soutènements
pour l'opération
Debrousse Parc,
Lyon

/ Spie fondations

spie batignolles

Parc Saint-Christophe, Pôle Magellan 2
10 avenue de l'Entreprise, 95862 Cergy-Pontoise Cedex, France
Tél. : +33 (0)1 34 24 49 50 - Fax : +33 (0)1 34 24 37 56
www.spiefondations.com



BUILD ON US

www.soletanche-bachy.com

→ Intervenant partout dans le monde pour le compte de clients publics ou privés, Soletanche Bachy s'attache à proposer les meilleures solutions techniques et contractuelles : elle apporte aussi bien des compétences polyvalentes d'ensemblier dans le cadre de grands projets d'infrastructures, que celles de spécialiste maîtrisant l'ensemble des procédés de géotechnique, de fondations spéciales, de travaux souterrains, d'amélioration et de dépollution des sols.



Projet CEVA à Genève | SUISSE |
Gare souterraine des Eaux-Vives.



SOLETANCHE BACHY



SIF GROUTBOR