

TRAVAUX

REVUE TECHNIQUE DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

SOLS ET FONDATIONS. ROTTERDAM : AMELIORATION DE SOLS DANS LE CADRE DU PROJET GATE. TRAMWAY T3 : LE MUR DE SOUTÈNEMENT DU PÉRIPHÉRIQUE PARISIEN. COMPACTAGE DYNAMIQUE HAUTE ÉNERGIE SUR LE SITE DE GIVORS. LIGNE 4 DU MÉTRO PARISIEN : INJECTIONS DE TRAITEMENT EN TUNNEL. MEDIPOLE : FONDATIONS SPÉCIALES. TRAITEMENTS DE GRANDS REMBLAIS ET DÉBLAIS SUR L'AUTOROUTE EST-OUEST EN ALGÉRIE.

N° 872 JUIN 2010



CONFORTEMENT
DE LA FALAISE DE
LA POINTE DU HOC
© STUDIO
GAUDIN RAMET



Directeur de la publication
Patrick Bernasconi**Directrice déléguée**
Rédactrice en chef
Mona Mottot3, rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 44 13 31 03
Email : mottotm@fnfp.fr**Comité de pilotage**Laurent Boutillon (Vinci Construction
Grands Projets), Jean-Bernard Datry
(Setec TPI), Philippe Jacquet (Bouygues),
Stéphane Monleau (Solétanche Bachy),
Bruno Radiguet (Bouygues), Claude
Servant (Eiffage TP), Philippe Vion
(Systra), Jean-Marc Tanis (Egis), Michel
Duviard (Egis), Florent Imbert (Razel),
Mona Mottot (FNTP)**Ont collaboré à ce numéro****Rédaction**
Marc Montagnon,
Monique Trancart
Secrétariat de rédaction
Julia Deck**Service Abonnement et Vente**
Com et Com**Service Abonnement TRAVAUX**
Bât. Copernic - 20 av. Édouard Herriot
92350 Le Plessis-Robinson
Tél. : +33 (0)1 40 94 22 22
Fax : +33 (0)1 40 94 22 32
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****Régie Publicité Industrielle**
Xavier Bertrand - Nourredine Bennai
9, bd Mendès France
77600 Bussy-Saint-Georges
Tél. : +33 (0)1 60 94 22 27
Email : bertrand@rpi.fr - bennai@rpi.fr**Site internet : www.revue-travaux.com****Réalisation et impression****Com'1 évidence**
8, rue Jean Goujon - 75008 Paris
Tél. : +33 (0)1 40 74 64 34
Email : contact@com1evidence.com**Maquette****Idé Edition**La revue Travaux s'attache, pour l'information
de ses lecteurs, à permettre l'expression de
toutes les opinions scientifiques et techniques.
Mais les articles sont publiés sous la
responsabilité de leurs auteurs. L'éditeur se
réserve le droit de refuser toute insertion, jugée
contraire aux intérêts de la publication.Tous droits de reproduction, adaptation, totale
ou partielle, France et étranger, sous quelque
forme que ce soit, sont expressément réservés
(copyright by Travaux). Ouvrage protégé ;
photocopie interdite, même partielle
(loi du 11 mars 1957, qui constituerait
contrefaçon (code pénal, article 425).Editions Science et Industrie SAS
9, rue de Berri - 75008 Paris
Commission paritaire n°0111 T 80259
ISSN 0041-1906

LES NOUVEAUX DÉFIS EN GÉOTECHNIQUE



© DR

Dimensionner des fondations de tours de plusieurs centaines de mètres de hauteur implantées au milieu de tours existantes, réaliser une excavation de 70 m de profondeur, concevoir des fondations d'ouvrage devant respecter des critères de déformations infra-millimétriques, construire des tunnels en sols meubles et en milieux urbains sensibles... tels sont quelques uns des défis techniques auxquels les géotechniciens sont de plus en plus confrontés.

Et il faut compléter cet inventaire par les préoccupations de développement durable, qui introduisent un nouveau critère de choix entre les différentes solutions techniquement envisageables, par le souhait économique mais aussi sociétal au sens large de maîtrise des aléas (pour ne pas évoquer le « risque zéro » !), par le poids croissant de la réglementation (les Eurocodes notamment)...

Il m'apparaît donc inévitable que, pour répondre à ces demandes, la profession doit évoluer afin d'adapter ses réponses à ces nouvelles exigences. Fini le temps où le bon sens, le savoir-faire, l'expérience et la confiance réciproque suffisaient à rassurer les multiples acteurs d'un projet, du maître d'ouvrage au maître d'œuvre, des entreprises aux assureurs et financeurs, et à leur permettre d'accepter les solutions préconisées par les géotechniciens. Ces évolutions s'illustrent notamment dans quelques domaines où les développements récents sont les plus marquants :

- Le renforcement des sols, une façon d'utiliser au mieux les ressources naturelles, en y ajoutant les renforts juste nécessaires pour leur procurer les performances attendues pour le projet. Les besoins en termes de développements technologiques, de connaissances approfondies du comportement de ces procédés et des justifications sont à l'origine de programmes de recherches, tels ASIRI sur les inclusions rigides, qui savent mobiliser toute une profession et font avancer à la fois la science et ses applications ;
- Les calculs en déformations, et notamment les modélisations numériques. Les progrès sont incontestables en ce domaine, qu'il s'agisse de la puissance de modélisation, permettant d'aborder maintenant des calculs 3D dans toute leur complexité, mais aussi et surtout de prendre en compte des modèles de comportement des terrains qui reproduisent plus fidèlement la réalité que les lois élastiques linéaires usuelles ;
- Enfin la gestion des risques, qui fait partie par « nature » du métier de géotechnicien du fait de la complexité géologique des sites et de la difficulté à modéliser correctement le comportement des sols. Cette préoccupation est de plus en plus prise en compte et formalisée dans les projets. La méthode observationnelle, plus logiquement appelée également « conception interactive », illustre parfaitement ce double objectif de maîtrise des aléas et d'optimisation des projets.

La géotechnique française a depuis toujours largement contribué à l'exercice de cet art difficile, et je ne doute pas qu'elle continuera à le faire. Le 18^e Congrès International de Mécanique des Sols et de Géotechnique qui aura lieu en 2013 à Paris sera l'occasion de démontrer à toute la communauté géotechnique internationale ce savoir-faire.

ALAIN GUILLOUXPDG DE TERRASOL ET PRÉSIDENT DU CFMS
(COMITÉ FRANÇAIS DE MÉCANIQUE DES SOLS ET DE GÉOTECHNIQUE)

LISTE DES ANNONCEURS : SPIE FONDATIONS, 2^e DE COUVERTURE - FAYAT PÔLE FONDATIONS, P.9 - URETEK FRANCE, P.10 - ALPHAROC, P.14 - BOTTE FONDATIONS, P.15 - CNETP, P.16 - RINCENT BTP, P.17 - MCCF, P.18 - IHC ÉQUIPEMENTS ET SERVICES, P.19 - GEOEXPERTS, P.20 - MENARD, P.25 - BALINEAU, P.28 - KELLER FONDATIONS / PUBLI-RÉDACTIONNEL, P.29 - ARCADIS, P.35 - TERRE ARMÉE, P.38 - PRO BTP, P.39 - ROBIT ROCKTOOLS, P.42 - SOTRES, P.43 - WIRTGEN FRANCE, P.55 - CONEXPO, P.61 - KELLER FONDATIONS, P.65 - GROUPE NGE, P.73 - SMA BTP, P.80 - INTERROUTE ET VILLE 2010, P.81 - ARCELOR MITTAL, 3^e DE COUVERTURE - SOLETANCHE BACHY, 4^e DE COUVERTURE

LES CETE METTENT EN PLACE LEURS PLANS D'ÉVOLUTION



LES CENTRES D'ÉTUDES TECHNIQUES DE L'ÉQUIPEMENT (CETE) SONT CONCERNÉS PAR LA RÉVISION GÉNÉRALE DES POLITIQUES PUBLIQUES (RGPP). ILS METTENT EN PLACE LEURS PLANS D'ÉVOLUTION AVEC LA DIRECTION DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION DONT ILS DÉPENDENT. POUR CE FAIRE, ILS REDÉPLOIENT LEURS CAPACITÉS RESPECTIVES AFIN DE MIEUX RÉPONDRE AUX DEMANDES GÉNÉRÉES PAR LA MISE EN ŒUVRE DES ENGAGEMENTS DU GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT.

LE POINT AVEC RÉGINE BRÉHIER, DIRECTRICE DE LA RECHERCHE ET DE L'INNOVATION AU MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE LA MER (MEEDDM).

« **LES CETE CONSTITUENT, PAR LEUR ANCRAGE EN RÉGION ET PAR LEUR SITUATION À L'INTERSECTION ENTRE EXPÉRIMENTATION ET RECHERCHE, UNE PIÈCE MAÎTRESSE DU RÉSEAU SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE ÉLARGI** »

En tant que directrice de la recherche et de l'innovation, vous avez notamment la charge de l'animation du réseau scientifique et technique (RST), au sein duquel les CETE occupent une place particulière. Pouvez-vous nous préciser leur positionnement au sein du RST, et, plus généralement, au sein du MEEDDM ?

Le positionnement de ma direction, au sein du Commissariat général au développement durable, marque bien le

caractère transversal de ses missions, au rang desquelles figure la tutelle sur certains établissements publics, comme Météo-France ou l'Institut géographique national, mais aussi, en effet, l'animation du Réseau scientifique et technique du ministère, qui comprend quelque 35 établissements publics, services techniques et services déconcentrés.

Ce dernier groupe est composé des huit Centres d'études techniques de l'équipement (CETE). Avec 3 000 agents, les CETE constituent, par leur ancrage en région et par leur situation à l'intersection entre expérimentation et recherche, une pièce maîtresse du réseau scientifique et technique élargi, né de la nouvelle configuration du Ministère en charge du développement durable. Dans le cadre de la Révision générale des politiques publiques (RGPP) arrêtée par le Gouvernement, la Direction de la recherche et de l'innovation (DRI) a initié et piloté un Plan d'Évolution des CETE, pour leur permettre de mieux répondre aux demandes générées par la mise en œuvre des engagements du Grenelle de l'environnement.

Une telle mutation était aussi nécessaire pour répondre aux enjeux du développement durable, mais aussi aux nouvelles priorités du MEEDDM et pour participer pleinement à la mise en œuvre du Plan de relance de l'économie.

Par leur vocation, qui couvre les champs de la recherche, de l'innovation, de l'expertise, des études et de la diffusion

des connaissances techniques et scientifiques, et par l'appui qu'ils offrent aux directions générales du ministère et aux autres services de l'État en région, les CETE contribuent en effet largement à la conception et à la mise en œuvre des politiques publiques.

En quoi les CETE étaient-ils concrètement concernés par la RGPP et quelle a été la démarche pour répondre à tous ces enjeux ?

Les principales mesures préconisées par la RGPP à l'endroit des CETE visaient une réduction de leurs activités routières, au profit d'un redéploiement des capacités d'expertise dans des domaines nouveaux ou en développement. De même, elles préconisaient une réorientation des prestations externes d'ingénierie vers des activités plus fortement spécialisées. Un état des lieux exhaustif, associé à une vaste réflexion sur les orientations stratégiques et les organisations adéquates, a été entrepris à la fois en interne dans chaque CETE et collectivement, dans le cadre de chantiers thématiques et de chantiers transversaux, ouverts en interface entre ma direction et les directions générales compétentes. Avec des chantiers transversaux portant notamment sur les ressources humaines, l'organisation, la communication et la valorisation.

On peut également citer, comme un signe parmi d'autres d'un changement

majeur dans les pratiques, la conception d'un outil de mesure de la contribution des CETE au développement durable, qui est en cours de finalisation.

L'ensemble des travaux a permis d'élaborer sept contrats de programmes triennaux relatifs aux CETE liant la DRI et chaque direction générale, qui sont déclinés dans des programmes d'évolution propres à chaque CETE.

Leur mise en œuvre sera suivie par la DRI, conformément à sa mission de pilotage des CETE, en y associant les directions générales au sein du Comité des administrations centrales (CODAC).

Pouvez-vous décrire ce que vous appelez l'ancrage territorial des CETE, et cet ancrage les a-t-il conduits à développer des spécificités ?

Services déconcentrés du ministère, les CETE sont, à ce titre, des relais privilégiés sur l'ensemble de leur territoire pour apporter une expertise scientifique et un appui technique aux autres services déconcentrés et aux collectivités locales. Ils contribuent au transfert de la recherche finalisée vers l'ingénierie innovante, en assurant le lien entre les organismes scientifiques du RST et les territoires. Ils ont également développé des compétences spécifiques : montagne pour les CETE alpins, littoral pour les CETE en façade maritime... mais globalement, l'ensemble du spectre d'intervention au niveau territorial est présent dans chaque CETE. Cependant, la réflexion menée sur l'évolution des CETE a conduit à identifier une soixantaine de pôles de compétence et d'innovation (PCI), spécialisés sur différents thèmes : ce véritable socle de l'animation scientifique et technique inter-CETE viendra en appui des équipes territorialisées, qui continueront à conforter, par la mobilisation de 75 à 80 % de la capacité de production, l'engagement des CETE sur le terrain.

Les CETE sont ainsi aujourd'hui dotés de nouveaux outils, qui leur permettent, tout en conservant leur enracinement en région, d'assumer pleinement leur vocation à exercer leurs compétences sur l'ensemble du territoire, en réponse à des orientations définies au niveau national.



Quelles synergies les CETE ont-ils établi avec les services déconcentrés de l'État ?

Les services déconcentrés sont les principaux commanditaires des CETE. Ils représentent aujourd'hui environ 34 % de leurs commandes. Cette activité d'appui aux services déconcentrés est à 90 % une activité d'ingénierie.

Ainsi, une part importante de l'activité d'ingénierie pour compte propre réalisée par les CETE (60 %) a pour commanditaire un service déconcentré.

L'évolution de l'organisation des services territoriaux de l'État consacre l'échelon régional et renforce l'autorité des préfets sur les services déconcentrés. Les CETE sont ainsi un outil technique performant au service des politiques du ministère, que les préfets doivent être en mesure de mobiliser pour la mise en œuvre de ces politiques.

La mise en œuvre du Grenelle de l'environnement dans les territoires va se traduire par des besoins accrus des services déconcentrés en matière d'appui technique à la mise en œuvre des politiques publiques (expertise de haut niveau, suivi et évaluation d'expérimentations, appui technique à l'innovation), alors que les besoins en matière d'ingénierie diminuent. Cette tendance a été renforcée par les mesures RGPP que j'ai évoquées, et qui visaient à réduire l'activité routière, ainsi que l'activité d'ingénierie pour compte de tiers.

Il fallait accompagner ces évolutions, au travers notamment du repositionnement de la capacité de production des CETE sur les priorités du Grenelle de l'Environnement et de la création des pôles de compétence et d'innovation que je viens de mentionner. Les besoins d'ingénierie pour compte propre des services déconcentrés resteront toutefois importants, et les CETE devront être en mesure d'y faire face.

Quelle part de l'activité des CETE occupent les relations avec les collectivités territoriales et les autres tiers ?

Les tiers représentent aujourd'hui 20 % de l'activité, dont environ 10 % pour les collectivités. Cette activité est pour l'essentiel de l'ingénierie, dont une bonne partie d'ingénierie aval (44 % de contrôles de chantier + essais en laboratoires). L'activité d'ingénierie courante représente encore une part

importante de l'activité pour compte de tiers. Mais cette activité est appelée à diminuer, en particulier pour ce qui est du contrôle de chantier, qui peut être plus largement opéré par les entreprises privées.

On note, par ailleurs, une forte demande des collectivités territoriales pour que des prestations mutualisées (recherche, suivi et évaluation d'expérimentations, appui technique à l'innovation, élaboration et diffusion de doctrine technique) des CETE prennent en compte leurs propres besoins, et pas seulement ceux de l'État, en particulier pour faciliter la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement dans les territoires.

Quel rôle jouent les CoTITA et quelles sont les autres perspectives envisagées par les pouvoirs publics pour l'évolution des CETE ?

Si au rang des principaux objectifs arrêtés pour la mutation des CETE, figurait la « Grenellisation » de leurs activités traditionnelles -infrastructures, transports et bâtiment- et le développement d'activités nouvelles, en phase avec les attentes des directions générales du ministère comme des services de l'État en région, il avait également été préconisé que les CETE s'ouvrent davantage sur l'extérieur, et notamment sur les collectivités territoriales.

De leur côté, les collectivités Territoriales étaient soucieuses de participer davantage aux orientations des travaux du réseau scientifique et technique, en trouvant un lieu d'expression, de regroupement et de hiérarchisation et de remontée vers les instances nationales de leurs besoins. Pour répondre à ces attentes et aux objectifs fixés aux CETE dans ce domaine, huit conférences interdépartementales des transports et de l'aménagement (CoTITA) ont été mises en place, à l'échelle de chaque CETE, sur la base d'une Charte signée entre l'État et l'Assemblée des Départements de France (ADF) en septembre 2007. Coprésidée par le représentant local de l'association des directeurs des services techniques départementaux (ASTD) et par le directeur du CETE concerné, cette conférence constitue désormais un lieu privilégié pour développer et réorienter les liens déjà établis, au niveau des CETE, entre techniciens de l'État et techniciens des services des

départements, et plus largement, entre les CETE et les collectivités territoriales. Elle peut aussi organiser des Rencontres techniques avec des professionnels du secteur privé. La mise en œuvre du plan d'évolution va évidemment se traduire par une transformation de la nature, de la consistance et du positionnement des CETE envers tous ses partenaires, les services déconcentrés et les collectivités, certes, mais aussi les autres organismes scientifiques et techniques. Cette mutation requiert de porter une attention toute particulière à l'adaptation des compétences dont ils disposent. Cela suppose, par exemple, la mise en place, par ma direction, en

liaison avec les directions générales du ministère, de programmes de formation et de tout un ensemble d'actions d'animation du réseau des CETE.

J'ajoute que les CoTITA concourent également au pilotage et à l'évaluation du fonctionnement des Clubs métiers et qu'elles associent déjà, au-delà des seuls départements, l'ensemble des collectivités territoriales à leurs réunions.

De la même manière, si elles se sont, dans un premier temps, limitées au domaine routier, elles ont vocation à couvrir progressivement l'ensemble des domaines d'intervention, actuels et futurs, des CETE.

LE CETE DE L'EST SE RÉORIENTE VERS LES CHAMPS PRIORITAIRES DU GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT. QUESTIONS À FRANÇOIS HURSON, DIRECTEUR DU CETE DE L'EST.



François Hurson, directeur du Centre d'études techniques de l'équipement de l'Est.

l'aménagement) qui regroupe les techniciens de l'État et des services départementaux. Nous organisons régulièrement des journées techniques sur ces sujets nouveaux avec les organismes techniques centraux de l'État, telle celle sur la récupération et l'utilisation des eaux de pluie prévue le 21 octobre à Nancy (Meurthe-et-Moselle).

Votre CETE comprend deux laboratoires régionaux des ponts et chaussées. Quelle sont leurs spécialités ?

Les laboratoires complètent l'action des départements d'études par des activités de terrain, qui s'appuient sur d'importants moyens d'essais et d'auscultation. Ces activités à l'origine à forte dominante routière se sont progressivement diversifiées et spécialisées vers la construction métallique, la viabilité hivernale, l'eau et les risques pour le laboratoire de Nancy, vers la construction, le bruit et les méthodes physiques (analyse d'images, matériels de contrôle des infrastructures, métrologie scientifique, etc.) pour le laboratoire de Strasbourg.

Votre CETE est engagé dans un plan d'évolution dont l'élaboration est terminée. De quoi s'agit-il ?

Le CETE de l'Est organise fin juin une journée technique sur la biodiversité et les aménagements. Cela témoigne du redéploiement de vos capacités d'expertise dans des domaines en développement.

Ce thème n'est pas complètement nouveau pour nous mais cela traduit bien notre engagement sur les thèmes du Grenelle de l'environnement. Cette journée est organisée conjointement avec le conseil général du Bas-Rhin dans le cadre de la CoTITA (conférence interdépartementale des transports et de



Ce plan se traduit par des contrats de programme passés via la Direction de la Recherche et de l'Innovation avec les Directions Générales du ministère correspondant aux orientations de la circulaire du 15 juillet 2008 relative au plan d'évolution des CETE. Il s'inscrit dans la continuité de notre plan stratégique 2006-2009 au cours duquel nous avons réorganisé nos départements d'études autour de 2 grands pôles, infrastructures d'une part, et aménagement, habitat, transports et environnement d'autre part. Nous avons conforté notre implantation sur 3 sites de façon à maintenir un ancrage fort avec les territoires et jouer le rôle de relai du Réseau Scientifique et Technique du MEEDDM et d'appui aux services déconcentrés de l'État et aux collectivités locales.

Votre contrat de programme avec la Direction Générale des Infrastructures, des Transports et de la Mer entraîne une baisse des commandes routières.

Notre plan d'évolution prévoit une baisse des activités routières, qui va toucher principalement la conception des projets et les activités de contrôle et d'essais. Dans l'esprit du Grenelle de l'environnement les activités concernant l'exploitation et la sécurité des infrastructures seront renforcées. De même, le thème des transports occupera une place plus importante, avec notamment les questions liées à l'intermodalité, aux transports collectifs et en lien avec le développement de l'urbanisation.

La mise en place de Pôles de Compétence et d'Innovation (PCI) constitue un axe important du plan d'évolution des CETE. Que pouvez-vous en dire ?

Les CETE ont été « polarisés » pour créer ou renforcer les équipes d'experts autour des activités de recherche, d'innovation et de méthodologie sur les champs nouveaux du Grenelle et sur les champs traditionnels. Le CETE de l'Est est mobilisé sur 7 PCI, auxquels il convient d'ajouter un pôle associé, ce qui correspond à 20 % de notre potentiel de production (voir tableau).

L'ouverture vers l'extérieur est une orientation forte demandée aux CETE. Comment cela se traduit-il dans les faits ?

Cette ouverture revêt différentes formes, je voudrais en citer 3. J'ai parlé tout à l'heure des CoTITA, qui offrent un lieu d'échanges techniques sur les sujets routiers avec les techniciens des services des conseils généraux. Nous travaillons actuellement à l'élar-

gissement de la CoTITA à d'autres thèmes comme la construction et les transports et aux autres collectivités locales.

Je voudrais citer un 2^e exemple avec le travail, que nous réalisons avec les professionnels de la route. Nous avons participé au même titre que les maîtres d'ouvrages locaux (DREAL, DIR, et services des conseils généraux) à un travail intéressant lancé à l'initiative du SPRIR sur la déclinaison en actions locales de la convention d'engagement volontaire signée avec notre ministre. De même, nous avons créé dans le cadre de la CoTITA un groupe de travail associant les représentants des entreprises pour traiter de problèmes récurrents rencontrés sur les chantiers et régulièrement évoqués lors des journées techniques. Le 3^e exemple porte sur les activités de recherche que nous développons sur les thèmes du Grenelle. Notre intérêt est bien évidemment de tisser des liens avec les acteurs régionaux de la recherche, au premier rang desquels figurent les universités. Les exemples de partenariat sont nombreux, dans les domaines de la thermique du bâtiment, du bruit, de la viabilité hivernale, des méthodes physiques, de l'exploitation de la route. Pour citer un exemple d'action originale, nous sommes en phase d'organisation d'un séminaire sur le thème de l'eau en ville, de façon à mettre en relation les équipes du laboratoire de Nancy avec les laboratoires de recherche concernés des 4 universités lorraines et préfigurer ainsi des consortiums de recherche autour de ces sujets à fort enjeu.

En quelques mots, quels sont les points forts de votre CETE ?

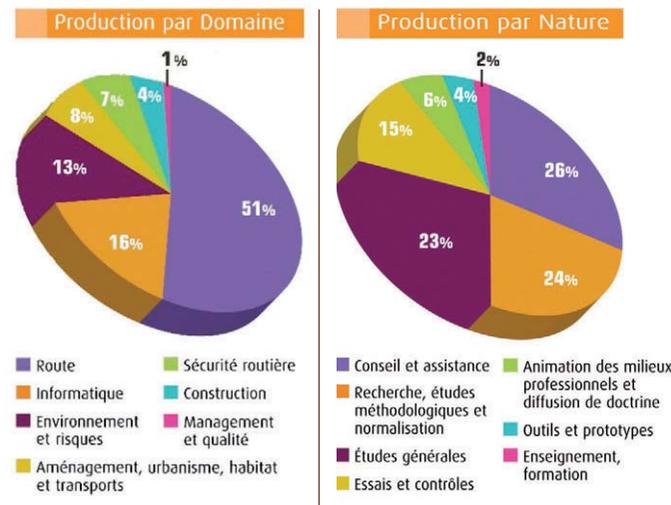
Le CETE de l'Est dispose de plusieurs atouts : nous disposons de compétences pluridisciplinaires indispensables pour traiter les questions complexes qui se posent, nous sommes ancrés dans nos territoires et nous pouvons ainsi apporter une expertise de proximité aux services déconcentrés et aux collectivités. Notre action s'inscrit dans le moyen terme, ce qui nous permet de capitaliser à la fois les activités de recherche et les expérimentations de terrain, et les diffuser auprès des acteurs locaux. Notre plan d'évolution doit nous permettre de faire fructifier ces atouts au bénéfice de la mise en œuvre des politiques du MEEDDM.

Quelles sont les évolutions de l'activité du CETE à moyen terme ?

L'activité du CETE va profondément évoluer entre 2008 et 2011. Le redéploiement de notre potentiel de

CETE DE L'EST : CHIFFRES 2009

PRODUCTION : 24,17 MILLIONS D'EUROS - EFFECTIF PRÉSENT AU 31/12 : 348 AGENTS



production nous permettra de prendre position sur les grands défis des 20 ans à venir dans les domaines où notre expertise est appelée à se développer fortement :
 → Notre production dans le domaine de la préservation de la biodiversité et des ressources va doubler ;
 → Les activités liées aux économies d'énergie et au climat vont doubler elles aussi ;

→ Le domaine des risques et des impacts sur la santé connaîtra un développement d'au moins 50 % ;
 → Nos productions sur la ville durable en matière de transports et d'aménagement progresseront de 30 %.
 Dans le même temps, le potentiel consacré aux activités routières diminuera avec une baisse de production de 30 % qui portera notamment sur les prestations de contrôles et essais. □

LES PÔLES DE COMPÉTENCES ET D'INNOVATION DU CETE DE L'EST

Les Pôles de Compétence et d'Innovation	Objectifs	Unités concernées
Aménagement, Logement, Nature		
Spécificité thermique des bâtiments anciens	Amélioration de la performance énergétique des bâtiments anciens	LR Strasbourg
Gestion du patrimoine immobilier	Appui et assistance aux services et collectivités pour la gestion du patrimoine immobilier	LR Strasbourg
Environnement, Risques		
Urbanisme de prévention des risques naturels et miniers	Définition, impulsion, animation et évaluation des politiques dans le champ de l'urbanisme et de la prévention des risques naturels et miniers	LR Nancy
Bruit	Prise en compte des directives bruit dans les domaines des transports terrestres, de l'éolien, de l'industrie, de la qualité acoustique des bâtiments, des effets sur la faune sauvage et de l'effet du bruit sur la santé	LR Strasbourg
Biodiversité (pôle associé au CETE Nord-Picardie)	Prise en compte de la biodiversité en lien avec les infrastructures, les systèmes de transport et les projets d'aménagement	Département Aménagement, Développement durables
Infrastructures, Transports		
Constructions métalliques et mixtes	Recherche et expertise sur la conception et la maintenance des ouvrages d'art métalliques	LR Nancy Département conception, exploitation des infrastructures
Chaussées	Conception des plates-formes routières au regard des variations climatiques et mécaniques	LR Nancy LR Strasbourg Département conception, exploitation des infrastructures
Gestion des situations de crise et hivernale dans les transports	Définition et évaluation des stratégies d'exploitation des infrastructures en temps de crise. Exploitation et optimisation des traitements de chaussées en période hivernale.	Département conception, exploitation des infrastructures LR Nancy



GÉOTEC

DES MÉTIERS ET DES HOMMES

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

LORSQU'UNE CONSTRUCTION, QUELLE QU'ELLE SOIT, COMMENCE À SORTIR DE TERRE, C'EST L'ABOUTISSEMENT D'UN PROCESSUS ENGAGÉ GÉNÉRALEMENT EN AMONT DEPUIS PLUSIEURS MOIS, QUI A CONSISTÉ À DÉFINIR AVEC LE PLUS DE PRÉCISION POSSIBLE LA NATURE ET LES CARACTÉRISTIQUES DU TERRAIN SUR LEQUEL ELLE EST FONDÉE. GÉOTEC EST L'UNE DES ENTREPRISES QUI PARTICIPE DISCRÈTEMENT, MAIS AVEC UNE EFFICACITÉ REMARQUABLE, À CE QU'IL EST CONVENU DE DÉSIGNER PAR LE TERME GÉNÉRIQUE « D'ÉTUDES DES SOLS », ENCORE QUE SON ACTIVITÉ NE SE LIMITE PAS À LA SEULE GÉOTECHNIQUE.



**OLIVIER BARNOUD,
DIRECTEUR OPÉRATIONNEL
DU GROUPE GÉOTEC.**

© DR

35 ans d'expérience professionnelle, c'est ce que Géotec peut revendiquer dans le monde souterrain de la géotechnique puisqu'elle a été créée en 1973 par François Barnoud et qu'elle est

aujourd'hui codirigée par son fondateur et par son fils Olivier Barnoud, au niveau opérationnel.

« Elle occupe une place particulière dans son domaine, indique Olivier Barnoud, puisqu'elle demeure une entreprise familiale en dépit de ses 300 collaborateurs, de ses 20 agences. Son chiffre d'affaires de plus de 30 M€ la place au troisième rang sur le marché français, réalisé dans l'Hexagone et dans les DOM-TOM autour d'un panel de spécialités toutes liées, de près ou de loin à la géotechnique ». Le groupe Géotec est prestataire ou conseil dans les études de sol préalables aux travaux d'aménagement, ou au cours de leur réalisation, dans le secteur du bâtiment, des travaux publics et de l'environnement. Ses clients sont les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre, à parts égales dans le domaine public et privé.

Le chiffre d'affaires se répartit à 40 % dans le secteur des Travaux Publics et des transports et 45 % dans celui du bâtiment et concerne la réalisation de routes et autoroutes, voies ferrées et ouvrages d'art ainsi que sites nouveaux (ZAC) et d'ensembles immobiliers.

Pour ces interventions, Géotec exécute des sondages et réalise des essais in situ et en laboratoire afin d'identifier la nature des sols et de mesurer leurs propriétés physiques et mécaniques. Ses ingénieurs analysent les données recueillies et produisent un rapport d'étude en tant qu'ingénieurs-conseils.

« 15 % du chiffre d'affaires sont également réalisés dans le secteur de l'environnement, précise Olivier Barnoud, avec des prestations en hydrogéologie et des études dans le cadre de la loi sur l'eau, des études d'impact, des diagnostics de pollution... ».

Un réseau de 20 agences

Le siège du groupe est basé à Quétigny, près de Dijon ainsi que la direction nationale et la direction de la production à partir desquelles rayonne un réseau de 20 agences réparties en 4 régions métropolitaines ainsi qu'en Guyane et en Martinique.

De la direction de la production dépend également la Recherche et le Développement, axés sur l'amélioration des sondeuses : en effet, la société conçoit et construit depuis 30 ans les sondeuses qu'elle met en œuvre sur ses chantiers. Olivier Barnoud explique les origines de cette particularité : « La volonté d'innovation qui a présidé à la création de Géotec s'est traduite, dès le départ, par la mise au point d'une sondeuse robuste, légère, mobile et maniable, capable de réaliser tous les types de reconnaissance sans faire appel à plusieurs ateliers.



2



3



4

1- « La Canopée » à Paris, projet de rénovation du forum des Halles.
2, 3 & 4- Géotec Equipement conçoit et réalise une gamme complète de sondeuses hydrauliques.
5- L'atelier de fabrication et d'entretien des sondeuses hydrauliques.
6- Essais en laboratoire.



5



6

QUATRES FILIALES SPÉCIALISÉES

En complément de Géotec France et de ses 20 agences, la société a créé quatre filiales spécialisées dont les domaines d'intervention sont complémentaires à ceux de la « maison-mère » : Géotec Expert, Géotec Environnement, Géotec Equipement et SAF.

- 1- **Géotec Expert** répond à l'ambition de Géotec de suivre toutes les étapes des missions géotechniques, depuis la phase avant projet jusqu'au suivi des travaux des ouvrages géotechniques. Dans un contexte normatif qui favorise l'enchaînement des missions, ce développement présente l'avantage de maîtriser les aléas géotechniques en intervenant à toutes les phases d'avancement d'un projet. Géotec Expert dispose également de tous logiciels géotechniques pour permettre d'étudier en détail les ouvrages les plus complexes notamment grâce à des calculs aux éléments finis.
- 2- Depuis 1995, **Géotec Environnement** dispose d'une équipe pluridisciplinaire de géologues, hydrogéologues, ingénieurs en environnement répartis régionalement dont l'activité s'exerce à partir d'une direction située au siège et a pour objectif de « contribuer à la sauvegarde de la planète ».
- 3- Depuis 1980, **Géotec Equipement** conçoit et construit une gamme de sondeuses hydrauliques permettant les reconnaissances géotechniques jusqu'à 100 m de profondeur. Cette division est à la disposition des géotechniciens pour leur fournir le matériel de sondage le plus efficace et, grâce à l'expertise du groupe, pour former sur les plans théorique et pratique des sondeurs et des techniciens.
- 4- À ceci s'ajoute, depuis 2009, à la suite du rachat de **SAF**, une activité dans le secteur de la géothermie avec, notamment, la pose de sondes géothermiques verticales sèches pour les constructions qui ne disposent pas d'une superficie de terrain suffisante pour implanter des serpents au sol (géothermie horizontale).

Dans un premier temps, le fondateur de la société, ingénieur de formation Arts et Métiers (outre son doctorat en mécanique des sols obtenu à l'université de Grenoble), a amélioré les machines existantes puis a rapidement créé un premier modèle original qui est sorti des ateliers de Quétingny en 1980 ». Depuis, Géotec Equipement conçoit et réalise une gamme complète de sondeuses hydrauliques couvrant tout le panel des reconnaissances géotechniques jusqu'à 100 m de profondeur.

Le taux de croissance le plus fort de la profession

En 2009, le groupe Géotec a réalisé un chiffre d'affaires de 30 millions d'euros, contre 11 millions en 2002. Soit en 8 ans, une progression de près de 200 % et une multiplication des fonds propres par 7,6, ce qui représente un fort taux de croissance et de ren-

tabilité de la profession en France. Le groupe s'est construit avec des hommes et poursuit sa croissance avec eux. « Si les sondeurs ont été la pierre angulaire historique de Géotec, poursuit Olivier Barnoud, techniciens et ingénieurs mettent à profit leur connaissance du terrain et leurs capacités techniques pour améliorer les procédés et accompagner les clients par l'enchaînement de missions de plus en plus techniques et diversifiées ».

C'est ainsi que toutes les interventions sont conduites dans le respect des normes AFNOR, qu'il s'agisse d'essais en laboratoires et in situ, de sondages, de calculs de mécanique des sols, de missions d'ingénierie.

Des structures complémentaires

Aujourd'hui, le groupe est organisé sur trois plans : le réseau d'agences de ▷

DES RÉALISATIONS RÉCENTES

Il est toujours difficile d'illustrer les interventions d'une entreprise de sondages sur un chantier. En revanche, il est possible et intéressant d'indiquer à la réalisation de quels ouvrages elle a contribué.

- C'est ainsi que, pour Géotec, on peut citer, parmi les plus récentes :
- Siège de Microsoft France et Tour Mozart à Issy-les-Moulineaux,
 - Rénovation du 104 rue d'Aubervilliers à Paris (anciennes pompes funèbres),
 - Tour Oxygène à Lyon,
 - « La Canopée », projet de rénovation du forum des Halles à Paris,
 - LGV Rhin – Rhône et LGV Est (2^e phase jusqu'à Strasbourg),
 - Autoroute A65 Langon-Pau,
 - LGV Bordeaux – Toulouse, Tours-Angoulême...
 - Doublement du tunnel de la Croix-Rousse à Lyon...



8



7



9

Géotec France et ses filiales en Guyane et en Ile de France (GAIDF), les filiales spécialisées Géotec Expert, Géotec Environnement et Géotec Equipement, enfin la holding Groupe Géotec, pour le management, la gestion financière, la Recherche et Développement.

7- Projet de piscine olympique à Dijon.

8- EOS Generali à Issy-les-Moulineaux.

9- Le 104 rue d'Aubervilliers à Paris.

Une organisation rationnelle

Géotec France constitue la pièce majeure de l'édifice. Au sein des agences régionales, ses activités sont organisées par métiers : investigations in situ, laboratoire et ingénierie.

« Chez Géotec, les investigations in situ sont prises en charge par les professionnels de la production, indique Olivier Barnoud : les sondeurs et aides-sondeurs, les conducteurs de travaux, les techniciens. Le métier de sondeur exige une grande mobilité car les chantiers sont souvent éloignés.

Le conducteur de travaux dirige les équipes de sondeurs et gère le matériel. Quant au technicien « terrain », il assure l'organisation, le suivi et la logistique du chantier ». Une cinquantaine d'ateliers de sondages sillonne ainsi toute la France chaque semaine.

Au niveau des études géotechniques, les bureaux d'études et d'ingénierie sont répartis dans les agences avec les équipes traditionnellement affectées à

cette activité : autour d'un responsable d'agence, ingénieurs d'affaires et chefs de projets, tous spécialisés en géotechnique ; au total plus de 60 ingénieurs.

Une société différente

L'implantation multiple de ses agences a permis à Géotec de développer une bonne connaissance des sites régionaux et de leurs particularités géotechniques. Par ailleurs, ce maillage serré contribue à entretenir des relations privilégiées avec ses clients.

« La réactivité est une qualité revendiquée en interne, conclut Olivier Barnoud. Le parc de machines « maison » explique pourquoi sondeurs et techniciens sont rapidement opérationnels.

Mais elle ne concerne pas que le terrain. Elle se situe également dans les rapports humains. Les ingénieurs sont proches des clients ce qui permet de développer un vrai partenariat ». □



FONDATEURS SPÉCIALES ET TRAVAUX NAUTIQUES



Pieux forés à double tête, pont de Mirapart à Lenon (33)

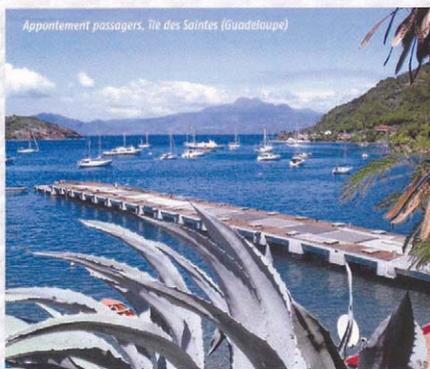
- Pieux battus
- Palplanches
- Pieux forés
- Tarière continue
- Parois moulées
- Améliorations des sols
- Travaux en sites fluvial et maritime



ISO 9001 – OHSAS 18001

Métropole
Siège social et bureaux :
 18, avenue Gustave Eiffel
 33608 PESSAC cedex
 tél. : 05 57 89 16 78
 fax : 05 56 07 34 78
 balineau@balineau.fr

Antilles :
 Rue Nobel – Z.I. de Jarry
 BP 2183
 95195 JARRY cedex
 tél. : 0590 32 59 10
 fax : 0590 26 89 44
 balineau_antilles@balineau.fr



Appontement passagers, Ile des Saintes (Guadeloupe)

LES PLATES-FORMES DE TRAVAIL EN MATÉRIAUX GRANULAIRES POUR ENGINS SUR CHENILLES

1^{re} ÉBAUCHE D'UNE RÈGLE PROFESSIONNELLE

AUTEURS : YANN JUILLIÉ ET THOMAS SIMONNOT, B.E. ACCOTEC - STÉPHANE MONLEAU ET PIERRE SCHMITT, SOFFONS

LES ENTREPRISES DU SOFFONS (SYNDICAT DES ENTREPRENEURS DE SONDAGES, FORAGES ET FONDATIONS SPÉCIALES) UTILISENT, DE MANIÈRE COURANTE, DES ENGINS SUR CHENILLES EXERÇANT AU SOL DES PRESSIONS IMPORTANTES (EN PHASE TRAVAIL OU EN PHASE DÉPLACEMENT). AFIN D'ÉVITER LE RENVERSEMENT DE CES ENGINS, IL A SEMBLÉ NÉCESSAIRE DE RÉDIGER UN DOCUMENT PERMETTANT DE DIMENSIONNER SIMPLEMENT LES PLATES-FORMES DE TRAVAIL. CE DOCUMENT, RÉALISÉ AVEC L'AIDE DU BUREAU D'ÉTUDES ACCOTEC, EST DISPONIBLE DANS SA VERSION INTÉGRALE SUR LE SITE INTERNET DU SOFFONS : WWW.SOFFONS.ORG

GÉNÉRALITÉS

La plate-forme de travail est constituée par une couche de renforcement ou par le terrain naturel, capable de supporter le trafic et le travail des engins lourds de façon pérenne et sécurisée.

Le document doit permettre dans un premier temps d'améliorer la sécurité sur les chantiers et permettre un travail dans de bonnes conditions. Il reste à ce stade un document pratique qui se veut simple d'utilisation.

Les objectifs de ces règles sont d'assurer la sécurité de tous les engins lourds sur chenilles en condition de travail extrême ou de déplacement sur une plate-forme. Sa conception doit donc être assurée par une série d'investigations, de calculs et de contrôles.

Les différentes étapes à franchir pour aboutir à la validation finale de la plate-forme de travail sont exposées plus loin.

Chaque entreprise utilisatrice doit pouvoir intervenir sur la conception de la plate-forme de travail au regard des engins qu'elle utilise. Seuls les cas de charge les plus contraignants devront être retenus.

La version SOFFONS concerne les engins sur chenilles de 200 à 2 000 kN exerçant une pression au sol variant de 100 à 1 000 kPa.

INTERVENANTS ET RÔLE DANS L'ÉLABORATION DE LA PLATE-FORME DE TRAVAIL

À chaque intervenant incombe une responsabilité dans l'élaboration de la plate-forme de travail :

- Le maître d'ouvrage,
- Le bureau d'études géotechniques,
- Le maître d'œuvre de conception,
- L'entreprise constructrice de la plate-forme de travail,
- L'entreprise utilisatrice de la plate-forme de travail.

ÉTAPES POUR LA CONCEPTION, LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DE LA PLATE-FORME DE TRAVAIL

La séquence logique de conception de la plate-forme de travail est présentée sous forme d'un organigramme de tâches (tableau A).

Diagnostic géotechnique

Cette mission, classée G5 dans la norme NF P 94-500 révisée en décembre 2006, permet d'évaluer les aléas et risques associés aux contextes géotechniques et préciser les paramètres de portance caractérisant le sol support (c_u , ϕ , ρ_{LM} , q_c , q_d , etc.).

Si les paramètres sont insuffisants en nombre ou qualité, elle devra être

complétée par une étude spécifique (étude de projet – mission G2). Elle est détaillée plus loin.

Évaluation préliminaire

Cette phase permet de valider la séquence logique de conception avec trois cas :

- 1- Sol support très faible : nécessité d'une étude spécifique, arrêt de la séquence logique de conception,
- 2- Sol support faible à moyen : poursuite de la séquence logique,
- 3- Sol support bon :

pas de nécessité de mettre en place une couche de renforcement. Par contre, une couche de roulement peut être nécessaire pour des plates-formes en matériau argileux, limoneux ou marneux sensibles à l'eau, avec intercalation d'un géosynthétique anti-contaminant.

Si on se trouve dans le cas n°2, on poursuit la séquence des tâches.

Vérification de la portance du sol

Cette mission est effectuée selon DTU 13-12 et établissement de la valeur « quS ».

Cas de charge

Établissement, par l'entreprise utilisatrice, des cas de charges correspondant à l'engin sur chenille le plus lourd ou

ayant la contrainte au sol la plus élevée. Les cas de charge q1 et q2 sont déterminés par l'entreprise par la méthode de la semelle équivalente :

→ q1 : en déplacement ou au travail sans pouvoir intervenir sur la stabilité. Cette charge doit être pondérée par un coefficient de 2, soit : $q1p = 2 \times q1$

→ q2 : en traction sur le treuil de levage avec possibilité de réduire ou relâcher la traction : $q2p = 1,5 \times q2$

Évaluation secondaire

→ Si q1p et q2p sont inférieures à quS, on peut limiter la couche de renforcement à une couche de roulement,

→ Si q1p et/ou q2p sont supérieures à quS, il faut poursuivre la séquence d'étude.

Couche de roulement

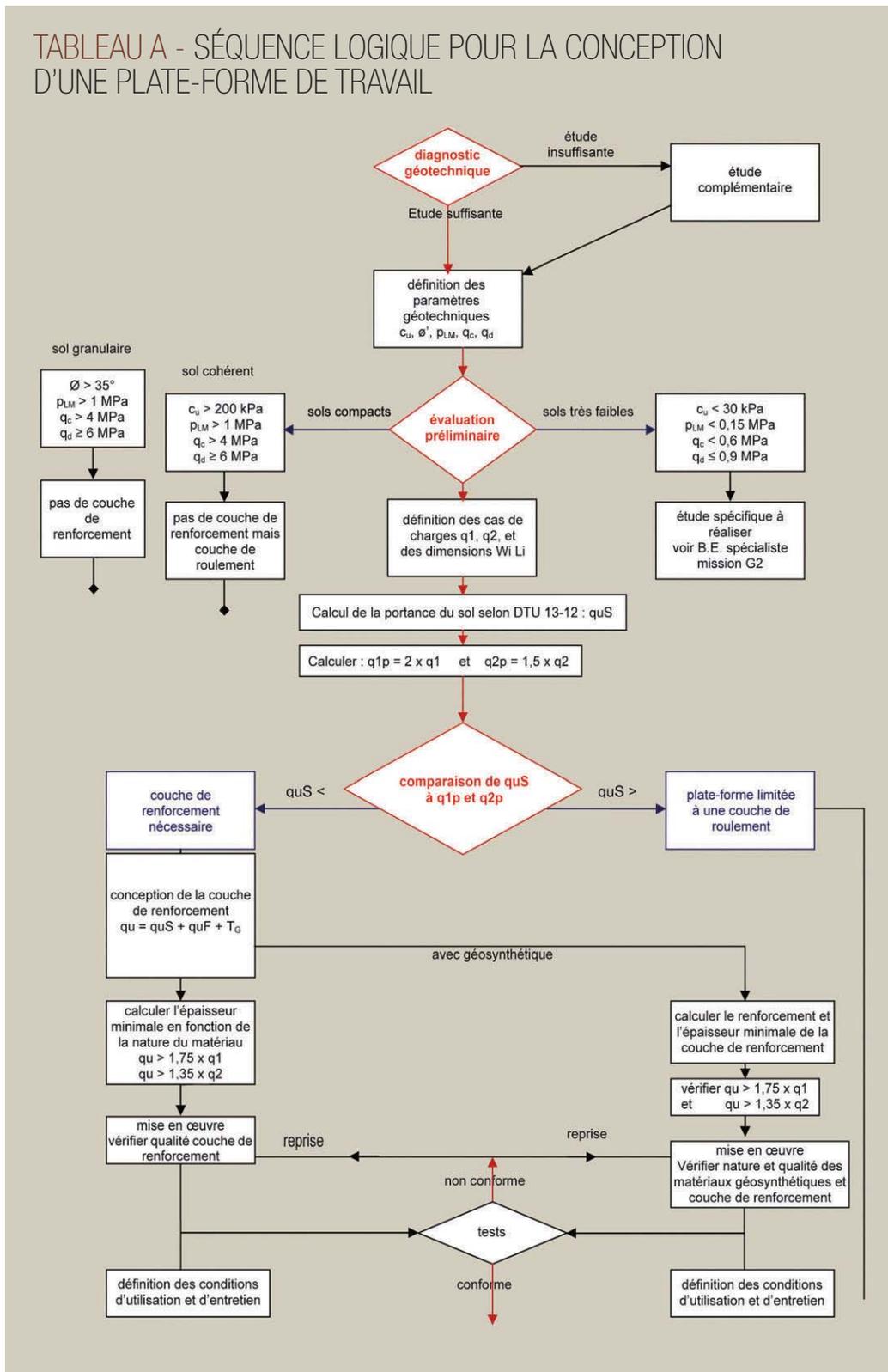
Elle a deux objectifs :

→ Protection durable de la plate-forme de travail pendant le chantier,

→ Permettre la circulation tout temps des véhicules de chantier.

Elle sera composée de matériaux granulaires drainants compactables de type grave 0/30 mm à 0/60 mm, son épaisseur dépendra de l'homogénéité du sol support et ne sera pas inférieure à 0,1 m, cas des sols support sableux,

TABLEAU A - SÉQUENCE LOGIQUE POUR LA CONCEPTION D'UNE PLATE-FORME DE TRAVAIL



et 0,2 m, cas des sols support argilo-marneux. Dans ce dernier cas, on interposera un géosynthétique anti-contaminant.

Conception de la couche de renforcement

La couche de renforcement est conçue en épaisseur et qualité à partir de trois termes :

- La contrainte ultime du sol support « quS » définie plus haut,
 - La résistance au cisaillement dans la couche de renforcement « quF »,
 - La résistance à la traction mobilisable dans un géosynthétique de renforcement placé à la base de la couche de renforcement (T_G).
- Deux cas peuvent se présenter :

- Couche de renforcement sans géosynthétique,
 - Couche de renforcement + géosynthétique de renforcement.
- Une fiche de calcul pour dimensionner ces deux cas est donnée en annexe du document complet. Le paramétrage de cet ouvrage sera donné dans une note de calcul : « Étude

d'exécution » (mission G3). Les critères définissant la couche de renforcement sont les suivants :

- **Nature** : classe granulométrique, pourcentage de fines, argilosité. Les classes de matériaux acceptables sont les suivantes selon la classification G.T.R. : D₁, D₂, B₃, D₃, R₁₁, R₁₂, R₄₁, R₆₁ et F₃₁, F₆₁ et F₇₁
- **Propriétés mécaniques** : angle de frottement interne ϕ' , densité relative et éventuellement la valeur Los Angeles ou Micro-Deval des graves constitutives.
- **Épaisseur** : déterminée par le calcul, pour assurer la stabilité au poinçonnement en fonction de l'angle de frottement interne et de la compacité.

Mise en œuvre de la couche de renforcement

Elle sera mise en œuvre selon les recommandations de l'étude d'exécution et selon les recommandations du G.T.R. Ensuite l'entreprise de terrassement procédera aux contrôles internes et externes et aux reprises jusqu'à obtention des critères (qualité q4 et 95 % de γ_d OPN).

Réception de la plate-forme de travail

Cette réception doit être contradictoire entre l'entreprise utilisatrice et l'entreprise constructeur de la plate-forme de travail et sous le contrôle éventuel du maître d'œuvre ou de l'entreprise générale. Elle se fera au moyen :

- D'essais à la plaque,
- D'essais au pénétromètre statique ou dynamique.

Les critères à obtenir au minimum sont les suivants et caractéristiques d'une PF1 :

- EV₂ > 30 MPa
- EV₂ moyen ≥ 35 MPa
- q_d ≥ 6 MPa à -0,3 m
- qualité q4

DÉFINITION ET CONSISTANCE DES ÉTUDES GÉOTECHNIQUES

Trois étapes sont distinguées dans les études géotechniques :

- L'étude géotechnique générale du terrain et du projet de construction qui permet de déterminer la nature et les propriétés physico-mécaniques des couches superficielles – étude d'avant-projet mission G12,
- L'étude de diagnostic géotechnique - mission G5 : elle doit permettre une évaluation détaillée du sol support à partir de l'étude géotechnique d'avant-projet - mission G12, et de définir la nécessité ou non d'une étude plus détaillée,
- La conception de la couche de renforcement :

- étude géotechnique de projet (mission G2) à la charge du maître d'œuvre) et/ou
- étude géotechnique d'exécution (mission G3), à la charge de l'entreprise constructeur de la plate-forme de travail,

→ Les contrôles d'exécution et de réception des travaux : supervision d'exécution - mission G4.

L'enchaînement logique de ces missions est donné dans l'organigramme du tableau B.

N.B.1 : les études, suivis et supervision des travaux (missions G3 et G4) sont confiées à un B.E. ou un ingénieur ayant une compétence en géotechnique, cela peut être le B.E. ou un ingénieur géotechnicien de l'entreprise.

N.B.2 : l'étude géotechnique d'avant-projet (mission G12) doit être confiée à un B.E. géotechnique extérieur aux entreprises car elle concerne la totalité du projet de construction.

Inventaire des aléas

Le géotechnicien aura à établir lors de la phase de diagnostic et d'étude de projet (missions G5 + G2), la liste des aléas et risques géotechniques devant faire l'objet d'une évaluation, à savoir :

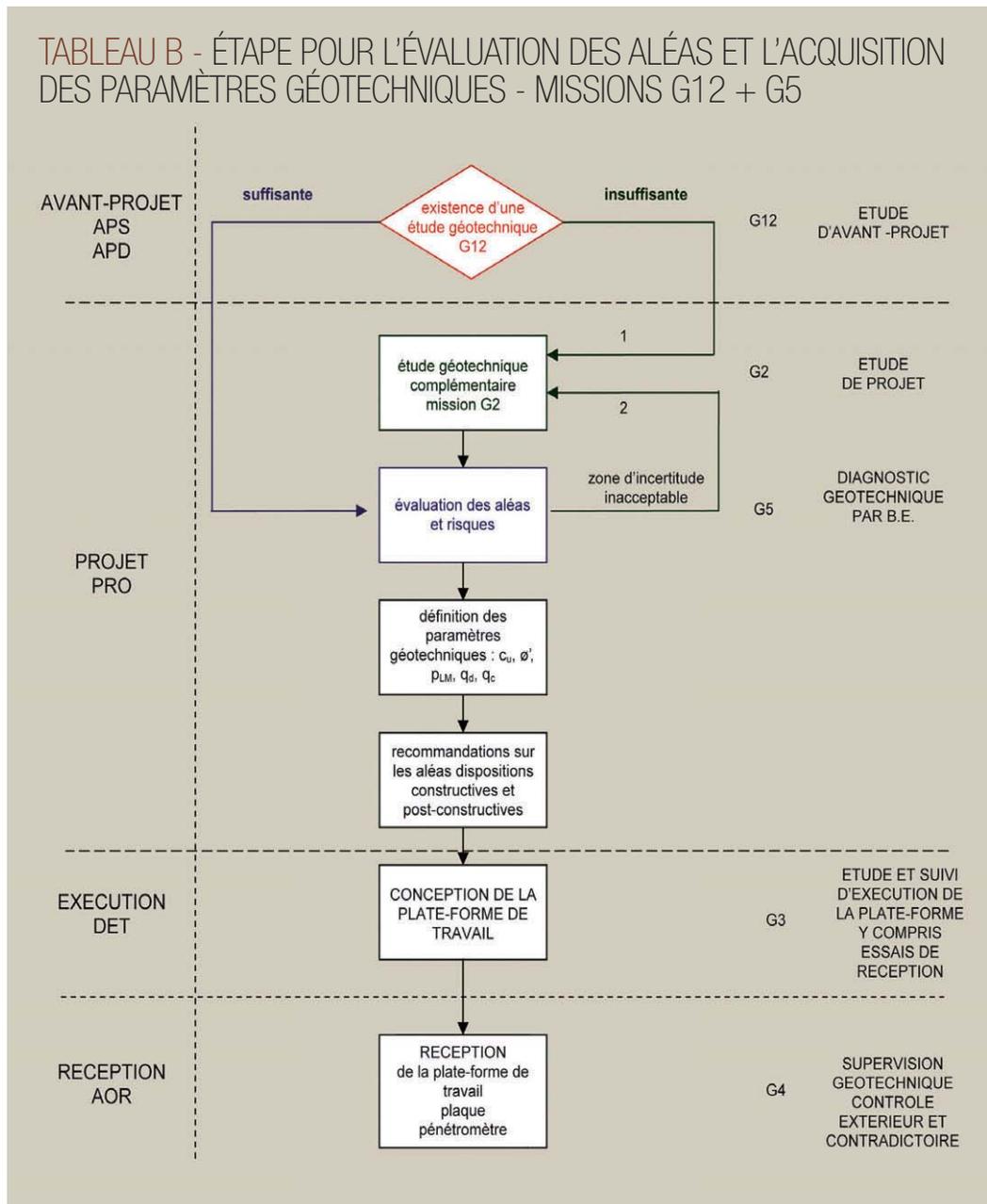
- Nature des sols et propriétés mécaniques,
- Hétérogénéité,
- Compressibilité,
- Profondeur et fluctuations de la nappe,
- Risque de venues d'eau par résurgence, ruissellement et artésianisme,
- Présence de cavités d'origine naturelle ou anthropique,
- Présence d'anciennes tranchées - réseaux, ou archéologiques,
- Présence de remblais, d'affouillement, de points durs,
- Présence de talus pouvant être instables,
- Risque d'inondation,
- Affaiblissement,
- Retrait / gonflement,
- Agressivité chimique des sols au regard des traitements et des géosynthétiques.

L'inventaire des aléas doit aboutir à une série de recommandations adaptées pour la conception de la plate-forme de travail.

Détermination de la profondeur d'investigation

Les couches composant le sol support doivent être connues :

- De façon détaillée dans la zone d'influence des chenilles (profondeur supérieure à quatre fois leur largeur et à au moins 3 m),



→ De façon générale si possible jusqu'au substratum incompressible (éléments disponibles dans l'étude d'avant-projet - mission G12).

On peut donc admettre que la connaissance générale du site assurée par l'étude d'avant-projet, est suffisante. Par contre, il pourra s'avérer nécessaire de procéder à une série de sondages courts complémentaires (pénétromètre, pressiomètre, ...) jusqu'à -3 m de profondeur.

Nature des essais à réaliser et fréquence

L'analyse de la capacité portante des sols pourra être effectuée à partir des paramètres intrinsèques c_u et σ', ou à partir de la résistance à la rupture mesurée ou dérivée des essais in-situ, tels que pénétromètre statique (q_s),

pénétromètre dynamique (q_d) ou pressiomètre (p_{LM}).

La fréquence des points de sondages dépendra de la surface couverte par la future plate-forme de travail (P.F.T.), de l'hétérogénéité des sols d'assise et du poids des machines (tableau C). Ils prennent en compte les sondages de l'étude d'avant-projet et peuvent être effectués à la réception de la P.F.T.

CONCEPTION DE LA COUCHE DE RENFORCEMENT

Généralités

La couche de renforcement est dimensionnée pour obtenir la contrainte ultime qu supérieure ou égale à la contrainte apportée par les chenilles de l'engin avec un coefficient de sécurité suffisant : qu ≥ q₁ x SF1

qu ≥ q₂ x SF2

Où SF1 et SF2 sont les coefficients de sécurité (SF1 = 2 et SF2 = 1,5).

Les trois composantes de qu

La contrainte ultime est la somme des trois composantes :

qu = quS + quF + T_G

- La résistance du sol support : quS
- La résistance au cisaillement de la couche de renforcement : quF
- La résistance à la traction du géosynthétique placé à la base de la couche de renforcement : T_G

Coefficients de sécurité

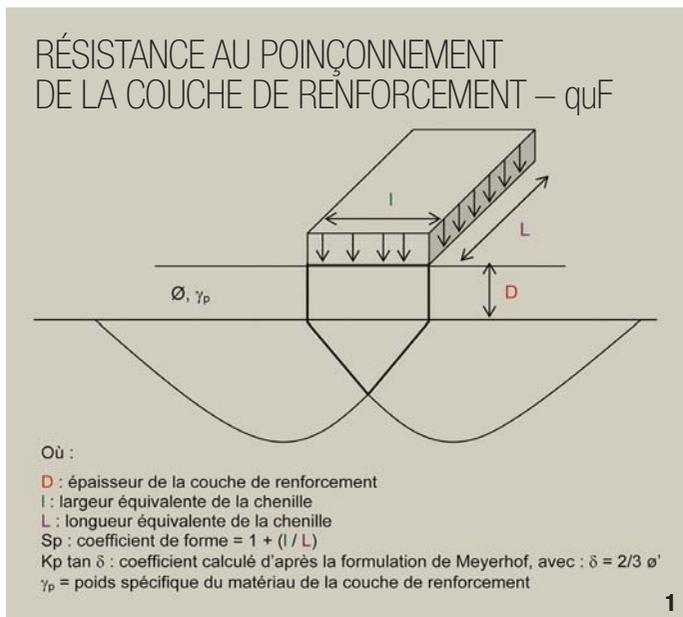
L'interposition d'une couche de renforcement d'angle de frottement interne élevé et connu peut permettre de réduire les coefficients à :

SF1 = 1,75
SF2 = 1,35

TABLEAU C

LA FRÉQUENCE DES POINTS DE SONDAGES DÉPENDRA DE LA SURFACE COUVERTE PAR LA FUTURE PLATE-FORME DE TRAVAIL (P.F.T.).

PFT ≤ 500 m ²	2 sondages dont 1 profond
500 ≤ PFT ≤ 2 500 m ²	1/500 m ² dont 1 profond
2 500 m ² ≤ PFT ≤ 10 000 m ²	courts : 3 points + 1/1 000 m ²
	profonds : 1 point pour 3 000 m ²
PFT ≥ 10 000 m ²	courts : 10 points + 1 pour 2 000 m ² au-delà de 10 000 m ²
	profonds : 1 point pour 4 000 m ²



Résistance ultime du sol - « quS »

Elle est calculée selon le DTU 13-12, à savoir :

→ à partir des paramètres intrinsèques c_u et φ' c' :

$$quS = c_u N_c Sc + 0,5 \gamma l N_y S_y$$

→ de p_{LM}' la pression limite mesurée au pressiomètre :

$$quS = 0,8 p_{LM}'$$

→ de q_c la résistance de pointe au pénétromètre statique :

$$quS = q_c \text{ équivalent} \times kc$$

→ ou de q_d la résistance de pointe au pénétromètre dynamique :

$$quS = q_d \text{ équivalent} / kd$$

avec :

→ N_c, N_y, facteur de portance dépendant de l'angle de frottement interne,

→ kc = 0,22 pour l'argile, = 0,08 pour les sables,

→ kd = 5 pour l'argile,

= 7 pour les sables,

→ S_γ = 1 - 0,3 (l/L)

→ S_c = 1 + 0,2 (l/L)

Résistance au poinçonnement de la couche de renforcement – quF (Figure 1)

Le terme de résistance au poinçonnement de la couche de renforcement est donné par l'application de la méthode de Meyerhof :

$$quF = (\gamma_p D^2 / l) Kp \tan \delta Sp$$

Où :

D : épaisseur de la couche de renforcement

l : largeur équivalente de la chenille

L : longueur équivalente de la chenille

Sp : coefficient de forme = 1 + (l / L)

Kp tan δ : coefficient calculé d'après la formulation de Meyerhof, avec :

$$\delta = 2/3 \phi'$$

γ_p = poids spécifique du matériau de la couche de renforcement.

Résistance du géosynthétique - T_G

Les géosynthétiques sont décomposés en trois catégories :

→ Géotextiles tissés,

→ Géotextiles non tissés,

→ Géogrilles.

La résistance du géosynthétique au poinçonnement : T_G = 2 σ_G / l

Avec : σ_G = σ_{G ult} / 2 par sécurité.

Calcul d'optimisation

Le calcul de vérification s'effectue de façon interactive, avec :

$$q_1 \text{ et } q_2 \leq quS + quF + T_G$$

(voir fiche de calcul en annexe du document complet sur le site du Soffons).

En fonction du coût des matériaux d'apport, on pourra privilégier ou non l'adjonction d'un géosynthétique (T_G).

VÉRIFICATION DE LA PLATE-FORME DE TRAVAIL

Réception

Le sol support étant considéré comme connu et invariable, l'entreprise qui recevra la plate-forme de travail devra procéder aux vérifications selon l'une ou plusieurs des méthodes suivantes :

→ Densité relative : 90 % de l'O.P.M., 95 % de l'O.P.N.,

→ Qualité de compactage selon courbes QUIBEL q4 (pénétrromètre dynamique),

→ Pénétrromètre,

→ Module de plaque :

$$EV_1 \geq 15 \text{ MPa}$$

$$EV_2 \geq 35 \text{ MPa} \quad PF1$$

$$EV_2/EV_1 \leq 2,5$$

→ Essai de déflexion - chantier d < 300/100^{ème} mm.

Elle devra vérifier que les hypothèses du diagnostic sont toutes vérifiées, notamment :

→ Nature des matériaux constitutifs et homogénéité,

→ Épaisseur de la couche de renforcement,

→ Profondeur de la nappe.

Entretien

L'entreprise utilisatrice de la plate-forme de travail devra s'assurer du maintien des caractéristiques de la plate-forme, notamment en cas :

→ De forte pluie ou de remontée de la nappe,

→ D'ornièrage.

Un entretien avec purge, compactage et drainage si nécessaire devra être réalisé.

SYMBOLES, DÉFINITIONS ET UNITÉS

→ P.F.T. : plate-forme de travail.

→ q₁ (MPa) : contrainte exercée par les chenilles pendant le travail normal ou le déplacement.

→ q₂ (MPa) : contrainte maximale exercée par les chenilles sur le sol support pendant l'extraction des outils, tube, bennes, etc.

→ q_{1p} (MPa) : contrainte q₁ pondérée d'un coefficient de sécurité.

→ q_{2p} (MPa) : contrainte q₂ pondérée d'un coefficient de sécurité.

→ quS (MPa) : contrainte ultime du sol (à la rupture).

→ quF (MPa) : contrainte ultime de la couche de renforcement (au poinçonnement).

→ T_G (MPa) : contrainte de cisaillement du géosynthétique

→ σ_G (MPa) : résistance à la traction du géosynthétique.

→ φ' (°) : angle de frottement interne du matériau.

→ c_u (kPa) : cohésion non drainée du sol.

→ p_{LM} (MPa) : pression limite mesurée au pressiomètre Ménard.

→ q_c (MPa) : résistance de pointe mesurée au pénétromètre statique.

→ q_d (MPa) : résistance de pointe mesurée au pénétromètre dynamique.

→ EV₁ (MPa) : module de déformation.

→ EV₂ (MPa) : module de déformation.

→ K_w (MPa/m) : coefficient de Westergaard.

→ D (m) : épaisseur de la couche de renforcement.

→ l (m) : largeur équivalente de la chenille.

→ L (m) : longueur équivalente de la chenille.

→ Sp : coefficient de forme = 1 + (l/L).

→ Kp tan δ : coefficient calculé d'après la formulation de Meyerhof, avec : δ = 2/3 φ'.

→ γ_p (kN/m³) = poids spécifique du matériau de la couche de renforcement. □



La nouvelle Hydrofraise XS est capable de descendre jusqu'à 25 m, ce qui est largement suffisant pour la majorité des projets de fouilles urbaines.

LES PREMIERS PAS DE L'HYDROFRAISE XS

Depuis les années 70, Soletanche Bachy a développé de nombreux modèles d'Hydrofraises permettant de creuser toujours plus profondément ou de réaliser des parois moulées toujours plus épaisses. Le dernier modèle, l'Evolution 3/5, est ainsi capable de forer à des profondeurs de plus de 120 m en 1 800 mm. Il réalise en ce moment les parois d'étanchéité du barrage de Wolf Creek aux États-Unis à 85 m de profondeur. Le nouveau-né de la famille s'appelle Hydrofraise XS. Comme son nom l'indique, c'est un modèle de gabarit réduit destiné aux chantiers urbains. Contrairement aux Hydrofraises traditionnelles qui sont montées, de façon pendulaire, sur des grues à chenilles de plus de 130 t, le modèle XS est, quant à lui, installé sur une foreuse de pieux d'environ 60 t, par l'intermédiaire d'un kelly. Des avantages immédiats : un transport moins coûteux et une installation beaucoup plus rapide. La nouvelle machine est capable de descendre jusqu'à 25 m, ce qui est largement suffisant pour la majorité des projets de fouilles urbaines. Contrairement à ses grandes sœurs qui ne pouvaient pas réaliser de parois moulées d'épaisseur inférieure à 600 mm, le modèle XS est capable de forer en épaisseur 500 mm grâce à une conception entièrement nouvelle des pompes d'aspiration (du mélange boue / terrain) situées dans le

corps de l'Hydrofraise, au-dessus des tambours chargés de broyer le terrain. Une telle épaisseur est particulièrement intéressante pour les fouilles urbaines, où chaque centimètre gagné est un avantage dans la conception du projet et permet de gagner quelques précieuses places de parking.

Le débit de la pompe a aussi été optimisé par rapport à celui des Hydrofraises traditionnelles. Pour les faibles épaisseurs de parois, il est possible de le réduire jusqu'à 300 m³/h. Cela permettra d'utiliser des centrales de traitement des boues de taille bien inférieure à celles utilisées jusqu'à maintenant ; une conception particulièrement astucieuse de ces dernières, utilisant des modules empilés permet d'ailleurs de limiter l'emprise au sol nécessaire à leur installation. Une innovation bien utile en ville !

Un tel outil s'intègre parfaitement dans la démarche développement durable initiée par l'entreprise :

- Moins de transport et des emprises de travail limitées grâce à une réduction du matériel,
- Des temps d'installation réduits et donc une durée globale plus courte (intérêt environnemental),
- Des parois plus étroites : moins de béton, moins de déblais et moins de transports,
- Une puissance de matériel réduite : moins de fuel.

Un premier chantier a été réalisé à Auxerre au mois de mai et a permis de tester la machine dans des conditions réelles de chantier. Malgré sa petite taille, elle bénéficie des mêmes équipements assurant la maîtrise de la verticalité. Elle a tout d'une grande ! □

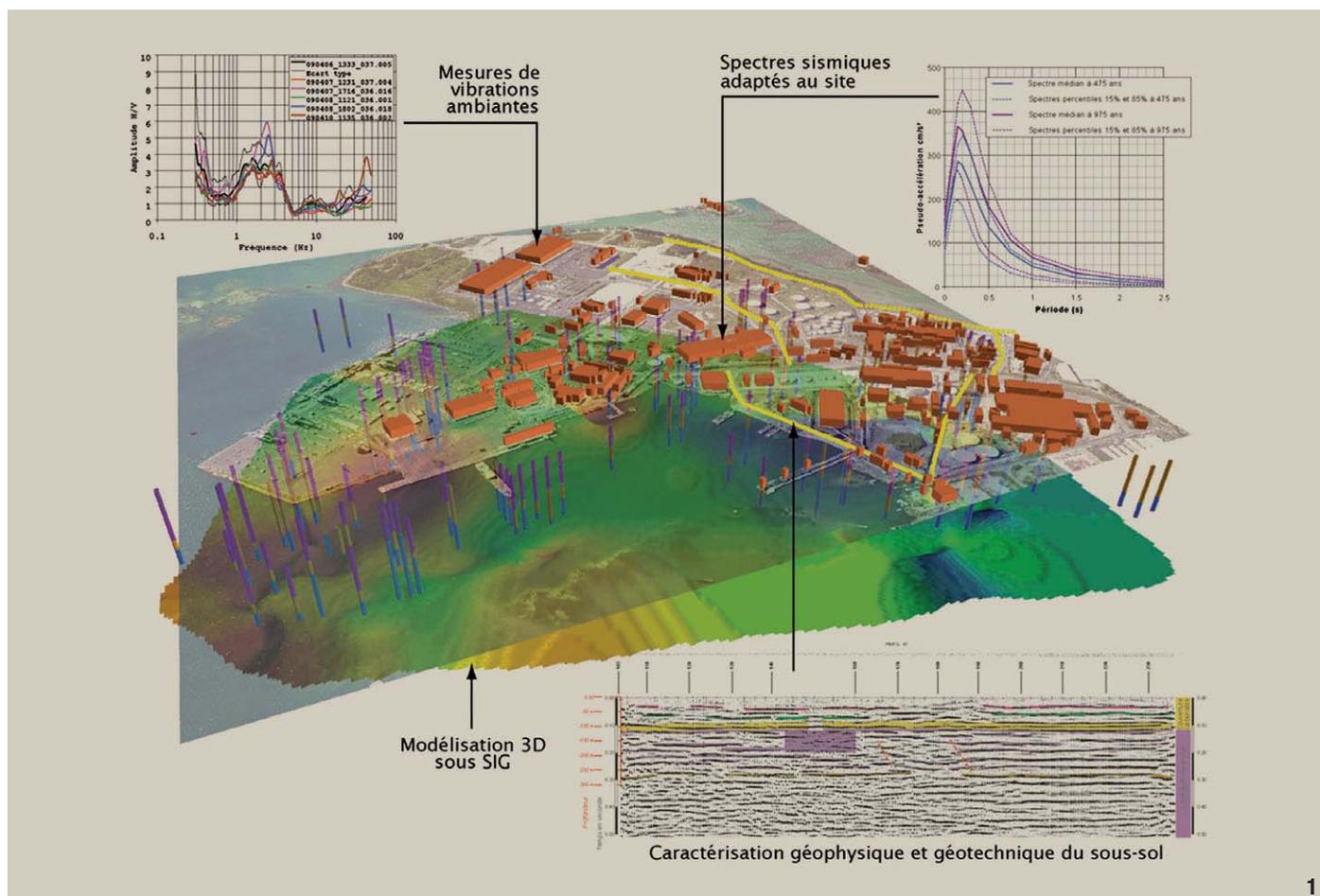


GEOTER

(GÉOLOGIE TECTONIQUE ENVIRONNEMENT ET RISQUES)

AUTEUR : CHRISTOPHE MARTIN, CO-DIRECTEUR DE GEOTER

BUREAU INDÉPENDANT D'EXPERTISES, D'ÉTUDES ET DE CONSEILS SPÉCIALISÉ DANS LES DOMAINES DE LA GÉOLOGIE APPLIQUÉE, DES RISQUES NATURELS ET DE L'INGÉNIERIE SISMIQUE, GEOTER A DÉVELOPPÉ SON SAVOIR-FAIRE DANS LE NUCLÉAIRE, PUIS POUR LES INSTALLATIONS INDUSTRIELS ET À L'EXPORT.



HISTORIQUE

GEOTER a été créée en 1988 par deux étudiants issus de l'Université Montpellier 2 avec l'appui du Centre Européen d'Entreprises et d'Innovation de Cap Alpha.

Ils ont été rapidement rejoints par des géologues de terrain et des ingénieurs venant du Nucléaire, du BRGM, et des organismes de recherche universitaires.

De 1988 à 2000, les activités de l'entreprise se sont développées sur son cœur de métier en devenant en une quinzaine d'années le leader français du secteur privé sur ces thématiques. Depuis 2000, l'entreprise a diversifié ses activités à l'export vers la cartographie géologique sous système d'information géographique (SIG) et la prospection minière.

Cette équipe pluridisciplinaire provenant d'horizons complémentaires a fait le choix initial de se positionner sur des domaines très spécialisés que sont l'étude des failles actives et la prise en compte du risque sismique. Les besoins croissants de protection des populations et l'évolution des réglementations parasismiques applicables aux projets industriels à risque, ont confirmé la

nécessité de disposer à GEOTER, de l'ensemble des compétences pour définir et gérer les risques, depuis les reconnaissances géologiques du sous-sol jusqu'à la prise en compte des risques naturels (aléas, vulnérabilité, scénarios de risques, coûts). L'adhésion précoce à l'AFPS (Association Française de génie ParaSismique), les expertises internationales dans le domaine du

nucléaire pour l'AIEA, la participation des ingénieurs de GEOTER aux groupes de travail ayant vocation de faire évoluer les textes réglementaires, la participation active aux missions post-sismiques, ont forgé la réputation des géologues et sismologues de GEOTER. Dans le même temps et pour progresser dans ces sciences en pleine évolution, GEOTER fait le lien entre la recherche fondamentale et les études appliquées tout en ayant une politique active de recherche et de développement, avec un soutien financier fidèle de l'Anvar puis d'Oseo Innovation et de la Région Languedoc-Roussillon.

Ses objectifs de développement à l'export l'ont conduit à créer GEOTER international basé à Marseille et plus récemment à s'implanter en Afrique, notamment au Mali, pour répondre à la demande de développement dans la prospection minière. Les différentes antennes comme GEOTER Lab dans la Meuse et GEOTER Alpes à Chambéry, assurent aux clients un soutien logistique et une présence de proximité, gage d'une grande réactivité aux demandes.

Concrétisation des efforts d'une organisation et d'une gestion rigoureuse, GEOTER a été certifié ISO 9001 version 2008.

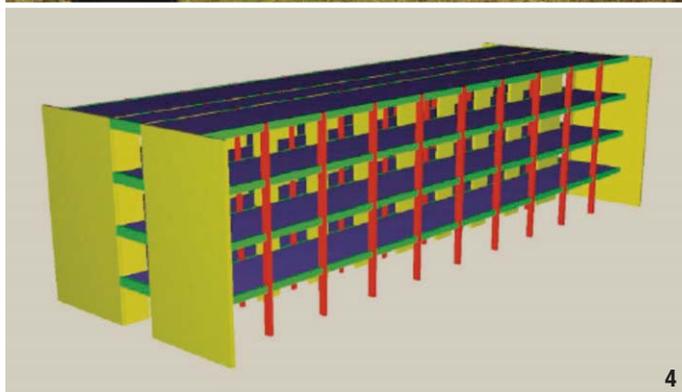
CONFIRMÉS DES ATOUTS

Le retour d'expérience s'appuie sur plus de 400 sites de projets industriels, d'ouvrages ou de constructions et dans plus de 80 pays.

En 2000, GEOTER décroche, dans le cadre d'une concurrence européenne et sous le contrôle d'une expertise internationale, la réalisation du « Nouveau Zonage Sismique de la France » qui constitue la base technique du zonage réglementaire pour l'application des Eurocodes (EC8) aux ouvrages à risques normal. Pour la première fois en France, des méthodes de calcul probabiliste avec prise en compte des incertitudes sont appliquées au calcul des mouvements sismiques pour un zonage à vocation réglementaire. Ces méthodes sont désormais appliquées sur de nombreux projets industriels (nucléaire, barrages, industries chimiques et pétrolières, ouvrages portuaires).

Plus récemment l'équipe a exporté sa méthodologie probabiliste en réalisant le nouveau Zonage sismique du Royaume du Maroc dans le cadre de l'élaboration du Guide parasismique pour les ponts et les ouvrages d'art.

La géologie et la sismologie n'étant pas des sciences exactes, la puissance de



GEOTER EN BREF

CRÉATION : 1988

CA CONSOLIDÉ 2008 : 5.9M€

SALARIÉS :

37 permanents dont :

**12 Géologues,
2 Sismologues - Géophysiciens,
4 Ingénieurs structures,
3 Informaticiens développeurs,
2 Géomaticiens.**

CA À L'EXPORT : 3.2 M€

IMPLANTATION :

Siège Montpellier Technopole

2- Mesure à l'inclinomètre électronique dans une galerie du Laboratoire souterrain de Meuse-Haute Marne de l'Andra pour la mesure haute précision des changements d'inclinaison d'une paroi.

3- Contrôle géologique et structural pour le barrage de l'Hongrin (Suisse).

4- Modélisation du comportement d'ouvrages.

ces nouvelles méthodes réside dans la prise en compte des incertitudes par arbre logique et tirage de Monte Carlo. Ainsi il est possible de tenir compte de différents modèles ou jugements d'experts et de connaître leurs poids dans les résultats obtenus.

Ces développements sont dans la droite ligne des réflexions actuelles sur les évolutions techniques et réglementaires à appliquer aux évaluations des aléas pour les installations à risque spécial : INB, ICPE, barrages, stockage de déchets nucléaires en profondeur.

GEOTER intervient pour de nombreuses études de failles actives et des aléas géologiques et sismiques pour la qualification de sites : failles actives, effets de site, liquéfaction des sols, mouvements de terrain, tsunami.

Dans ce cadre, GEOTER mène des études de reconnaissance alliant la cartographie géologique, les reconnaissances géotechniques de sub-surface et géophysiques à plus grande profondeur pour caractériser la géométrie du substratum et définir des mouvements sismiques adaptés aux conditions de sol (figure 1). À plus grande profondeur et depuis 10 ans, leur équipe de géologues participe aux réflexions sur la géoprospective dans le domaine du stockage de déchets nucléaires à long terme. Ces géologues assurent le suivi géologique des galeries souterraines et des forages scientifiques profonds du site du laboratoire de recherche de Meuse/ Haute-Marne de l'ANDRA.

UNE CLIENTÈLE DIVERSIFIÉE

Les clients principaux de GEOTER sont les compagnies pétrolières (TOTAL, SHELL, ENI), les grands groupes nucléaires (EDF, AREVA, CEA, ANDRA), les gestionnaires de barrages (EDF, EOS, SOGREAH), les grands donneurs d'ordres industriels (BOUYGUES, VINCI, COFOR, TERRASOL, SAFEGE, IOSIS, EGIS, SETEC), l'État (Ministère, DREAL, DDE) et les collectivités territoriales.

L'EXPORT, UNE ACTIVITÉ EN CROISSANCE

Principaux pays d'intervention : Sénégal, Mali, Niger, Maroc, Algérie, Gabon, Congo, Guinée, Azerbaïdjan, Iran, Qatar, Emirats Arabes Unis, Yémen, Mongolie, Indonésie, Myanmar, Timor, Chili, Mexique, Colombie, Bolivie, Haïti, Croatie, Suisse, Chypre, UK, etc...

GEOTER se positionne sur les marchés des évaluations du risque sismique, de la vulnérabilité au séisme du bâti existant, des suivis de forages, de la cartographie sous systèmes d'informations ▷

géographique et de prospection minière et pétrolière.

Concernant le marché du risque sismique, pour lequel des obligations normatives et réglementaires nationales et internationales existent, l'essentiel de la prospection est réalisée au travers de participations actives aux différentes associations professionnelles. À l'export, et pour les grands projets industriels, l'expertise reconnue de GEOTER est directement sollicitée par les maîtres d'ouvrage ou les maîtres d'œuvre. Pour les autres segments de marché, GEOTER déploie différentes stratégies de prospection. La première repose sur les réponses aux appels d'offres financés par les organismes internationaux (Banque mondiale, Fonds Européen de Développement, Banque Européenne d'Investissement, etc.). Une fois obtenus, les projets permettent une proximité et une prospection locales par le biais de filiales ou de succursales. Les missions à l'étranger confiées aux experts de GEOTER par leur clients français leur permettent également de prospecter localement en identifiant les potentiels donneurs d'ordres. Enfin, leur participation active aux salons

professionnels ciblés, le développement d'outils de veille commerciale efficaces et leur réseau de partenaires sont leurs garants de croissance.

**UNE ÉVOLUTION CONSTANTE
À LA POINTE DE L'INNOVATION
GRÂCE AUX PROGRAMMES
DE RECHERCHE**

Précurseur dans les études de failles actives et de paléosismicité en France dans les années 90, GEOTER a toujours su se maintenir à la pointe de l'innovation. Les domaines d'activité très spécialisés qui constituent le cœur technique de la société, dans lesquels les ingénieurs et experts déploient leur compétences, nécessitent en permanence de suivre l'évolution de la recherche et des connaissances.

C'est en co-encadrant des travaux de recherches universitaires (thèses) sur des sujets utiles pour son développement que cette société accroît son savoir-faire. GEOTER a notamment développé des techniques de mesures de vibrations ambiantes pour l'évaluation des conditions de site, la caractérisation de profils de vitesse des ondes de cisaillement dans le sol, l'étude de la

vulnérabilité et du comportement dynamique des ouvrages. Ces techniques innovantes permettent par exemple, en optimisant les coûts de reconnaissances, de réaliser des microzonages sismiques de sites industriels, et de contribuer à la caractérisation de la vulnérabilité du milieu construit. Actuellement, GEOTER co-encadre un

travail de thèse avec le Laboratoire de Mécanique et Génie Civil de l'Université Montpellier II, avec le soutien d'OSEO Innovation et de la Région Languedoc Roussillon. Ces recherches ont pour objectif de développer une plate-forme de calcul du comportement dynamique de différentes typologies de constructions soumises aux effets de séismes. □

SPÉCIALITÉS

GEOTER identifie, analyse et délimite les sites et les zones à risques naturels (séismes, fracturation, déformations de surface, mouvements du sol, glissements de terrains, érosions, circulations de fluides, pollutions du sous-sol...) et apporte les recommandations nécessaires à la prise en compte de ces aléas.

GEOTER intervient également dans :

- **Le développement de Systèmes d'Information Géographiques et de bases de données appliquées à la géologie minière, aux risques naturels et à la gestion des espaces naturels.**
- **La réalisation de cartes géologiques sous SIG.**
- **Le suivi et la supervision géologique, géophysique et géotechnique de chantiers de prospection.**
- **Géologie appliquée**
- **Aléa sismique**
- **Vulnérabilité et Risques**
- **Mesures de vibrations**
- **Systèmes d'information**
- **Formations**



A41 - PS161 - La Ravoiré
Culées porteuses en TerraClass
ADELAC - AOA C. Chéron architecte



Desserte locale pour future liaison A4 / RN4 à
Champigny sur Marne
Culées Mixtes et Murs de rampe TerraTrel
Conseil Général du Val de Marne
ARTEMISE, Atelier de paysage

Leader du marché des sols renforcés, Terre Armée propose depuis plus de 40 ans ses solutions de soutènement aux nombreux acteurs du génie civil.

Les technologies Terre Armée permettent une large gamme d'applications : du domaine des ouvrages d'art, avec les solutions de culées porteuses, jusqu'à l'aménagement urbain avec les parements TerraTrel®.

1 bis, rue du petit Clamart - Bât.D
78140 Vélizy-Villacoublay
Tél : +33 1 46 01 84 40 - Fax : +33 1 46 01 86 87
www.terre-armee.fr



TERRE ARMÉE
SUSTAINABLE TECHNOLOGY

POINTE DU HOC : PÉRENNISER UN SITE HISTORIQUE

REPORTAGE DE MARC MONTAGNON

Afin de ralentir le recul par érosion de la falaise de la Pointe du Hoc et de permettre les visites du public dans ce haut lieu de mémoire, notamment dans le blockhaus, d'importants travaux de confortement sont en cours.

L'American Battle Monuments Commission (maître d'ouvrage et gestionnaire du site) a décidé de mettre en œuvre les techniques les plus adaptées pour atténuer le phénomène naturel tout en conservant le caractère exceptionnel de ce lieu historique.

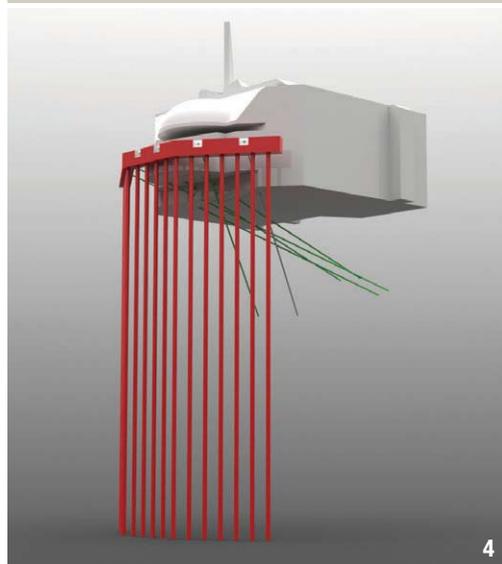
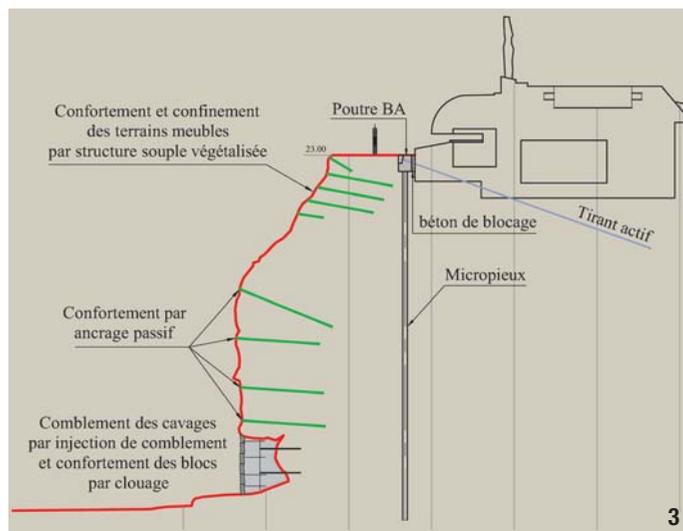
La particularité et les difficultés du chantier résultent de la conjonction de plusieurs facteurs liés tout autant aux problèmes d'accès à la falaise et aux plages, qu'à l'érosion permanente de la falaise, aux amplitudes des marées qu'il faut prendre en compte et à la protection environnementale forte pendant les travaux et au-delà.

C'est à l'issue de l'ensemble des procédures réglementaires liées aux interventions sur un site côtier que le ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer a donné son accord pour la réalisation des travaux de confortement de la Pointe du Hoc.

LE SOUVENIR DES « RANGERS AMÉRICAINS »

Située à Cricqueville-en-Bessin, dans le Calvados, la Pointe du Hoc constitue un site remarquable tant sur le plan paysager et environnemental que sur celui de sa valeur patrimoniale et historique, dont la renommée dépasse largement les frontières de la France. Il est le symbole du courage des « Rangers américains » qui, à l'aube du 6 juin 1944, ont escaladé la falaise haute d'une vingtaine de mètres afin de libérer la France et l'Europe.

La pointe du Hoc n'a pas échappé au problème qui concerne une partie importante des côtes rocheuses normandes entre Caen et Cherbourg : la falaise s'est érodée naturellement et a reculé d'une dizaine de mètres au cours des 60 dernières années, menaçant à terme les vestiges historiques situés à son sommet. En effet, le blockhaus édifié à cet endroit par l'armée allemande



3- Principe général de confortement de la falaise.

4- Principe de confortement des fondations du blockhaus.

constituait un poste d'observatoire stratégique sur la côte du Bessin et vers la presqu'île du Cotentin.

500 000 VISITEURS ANNUELS

Afin de conserver le pouvoir évocateur des lieux et de permettre aux 500 000 visiteurs annuels de se rendre sur le site en toute sécurité, le Conservatoire du Littoral, propriétaire du lieu, et l'ABMC (American Battle Monuments Commission) qui en assure la gestion dans le cadre d'un traité franco-américain signé en 1956, sont tombés d'accord sur la solution retenue. L'ABMC, en tant que maître d'ouvrage du projet a retenu le groupement d'entreprises

GTS (mandataire) — Egis Structures & Environnement — Géolithe pour effectuer les travaux. Le financement de l'opération est assuré par la commission américaine.

Une concertation regroupant l'ABMC et les différentes instances concernées a permis de définir un programme de travaux qui consiste à combler les cavités apparues en pied de falaise et à consolider les fondations du poste d'observation situé sur la crête.

Compte tenu du caractère exceptionnel et sensible du site, le projet a été conçu de manière à prendre en compte et limiter les impacts du chantier sur l'environnement et le paysage.

TECHNIQUES ASSOCIÉES SUR LA FALAISE

La solution préconisée par le groupement d'entreprises permet de conserver l'ensemble du site dans son état pendant les travaux de confortement de la falaise et du blockhaus, une option qui garantit, par ailleurs, sa pérennité.

Trois zones d'intervention sur lesquelles sont mises en œuvre quatre « solutions constructives » ont été définies : le pied de la falaise maritime, la falaise proprement dite et les assises du blockhaus. En partie haute, les terrains meubles sont confortés par une structure souple de type végétalisée.

En partie médiane, la falaise est confortée de façon systématique par des ancrages passifs de 7 à 8 m de profondeur.

Au pied de la falaise, au niveau de la mer, les cavités naturelles sont comblées par des injections de coulis de ciment. Les parois, les piliers des grottes sont préalablement confortés par des ancrages passifs. Par ailleurs, les blocs rocheux sont appareillés et ancrés au droit des comblements afin de préserver l'aspect naturel de la falaise.

Enfin, les couches superficielles de la falaise sont stabilisées afin de limiter les phénomènes d'érosion tandis que les parties instables sont profilées, l'ensemble étant confiné par un filet métallique cloué. Le clouage ne sera pas visible de l'extérieur, le dispositif étant intégré par végétalisation.

Tous ces travaux sont réalisés à l'aide de matériels descendus en pied de falaise ou suspendus le long de la paroi (foreuses légères de 400 kg, foreuses classiques au niveau de la mer, pelles araignées) par une grue de 180 tonnes.

LES INTERVENTIONS AUTOUR DU BLOCKHAUS

La zone du blockhaus proprement dit est particulièrement sensible : c'est celle où l'érosion rendait les travaux les plus urgents.

En effet, le bord de la falaise n'est plus qu'à 3 mètres des fondations de l'ouvrage qui surplombe un à-pic de près de 25 mètres : au rythme où la paroi recule, il basculerait en effet tôt ou tard sur la grève.

Le principe de consolidation réside dans un rideau d'inclusions rigides par micro-pieux verticaux de 150 mm de 20 à 25 m de profondeur unitaire.

Ces micro-pieux verticaux sont solidarisés à une poutre en béton armé elle-même maintenue par une série d'ancrages actifs, par tirants, forés sous les fondations du blockhaus et sur lesquels est exercée une contrainte de plusieurs tonnes afin de confiner l'ensemble des terrains. Parallèlement à ces travaux de fondations spéciales, un réseau de drainage est réalisé pour canaliser les écoulements d'eau en surface et dans le massif rocheux.

5- Les matériels sont descendus à l'aide d'une grue de 180 tonnes.



**PÉRENNITÉ
PAR HAUTE SURVEILLANCE**

Le chantier était prévu à l'origine pour une durée d'environ 6 mois en fonction des aléas climatiques.

Il a débuté en février 2010, période jugée la plus propice pour limiter le dérangement des oiseaux qui nichent dans les falaises. Pour cette opération de sécurisation, GTS met en œuvre son savoir-faire géotechnique en déployant des moyens humains à la hauteur (20 personnes par jour) et du matériel

spécifique (en particulier une grue de 180 tonnes). L'intérêt des travaux est également de mettre en place une instrumentation du site qui permettra une surveillance sur plusieurs années de l'évolution des phénomènes géologiques et hydrauliques qui tendent à faire régresser la falaise.

Ils consistent en la pose de sondes et capteurs piézométriques, inclinométriques, extensiométriques, reliés à une centrale d'acquisition qui permettra en continu l'enregistrement des mou-

vements de terrain et des circulations d'eau. Ainsi, le paramètre de pérennité pourra être vérifié, ce qui garantira la sécurité durable du public.

Les travaux ont été retardés par les intempéries particulièrement rudes de l'hiver dernier. En effet, elles ont accéléré l'érosion de la falaise et nécessité des opérations supplémentaires, notamment des purges et des micro-minages, non prévus à l'origine, pendant plus de 30 jours. De ce fait, le chantier devrait s'achever fin septembre 2010. □

**POINTE DU HOC :
LES ACTEURS**

MAÎTRE D'OUVRAGE :
American Battle Monuments
Commission (ABMC)

**REPRÉSENTANT DE LA
MAÎTRISE D'OUVRAGE :**
Antea Ingénierie

**GROUPEMENT
D'ENTREPRISES :**
GTS (mandataire), Egis,
Géolithe

MONTANT DU MARCHÉ :
4,8 millions d'€

CHIFFRES-CLÉS

BÉTON INJECTÉ : 500 m³
ANCRAGES : 5 000 m
TIRANTS ACTIFS : 140 m
INCLUSIONS RIGIDES : 430 m

**Robit[®]
ROCKTOOLS**

Reliable drilling tools from Finland

MADE IN FINLAND
Robit
ROCKTOOLS
Green Steel
PATENTED

WORLD QUALITY
ROX PRESS

ROBIT ROCKTOOLS LTD
PATENTED
1982-2010

tel. +358 3 3140 3400 • robit@robit.fi • www.robit.fi

ROTTERDAM : AMÉLIORATION DE SOLS DANS LE CADRE DU PROJET GATE

AUTEUR : MARIUS HAGHGOU, ARCADIS FRANCE

COMPTE TENU DE LA SENSIBILITÉ DES OUVRAGES À CONSTRUIRE DANS LE CADRE DU PROJET GATE, À ROTTERDAM, IL ÉTAIT INDISPENSABLE DE RÉALISER DES TRAVAUX D'AMÉLIORATION DE SOLS. CEUX-CI ONT COMPORTÉ LE PRÉCHARGEMENT DES TERRAINS, LA VIBROFLOTTATION DES REMBLAIS HYDRAULIQUES SOUS LA NAPPE ET LE COMPACTAGE D'HOMOGENÉISATION DES REMBLAIS HORS D'EAU À L'AIDE DE LA TECHNIQUE RIGID IMPACT COMPACTION (RIC). LES MESURES DE TASSEMENTS EFFECTUÉES AU COURS DES DIFFÉRENTES PHASES DE CONSTRUCTION SONT EN ACCORD AVEC LES RÉSULTATS DES CALCULS PRÉVISIONNELS.

LE PROJET GATE

Le projet de terminal de regazéification Gate (Gas access to Europe), à Rotterdam, comprend la construction d'une usine, d'une jetée de déchargement de méthanières et de trois réservoirs GNL (gaz naturel liquéfié, photo 2). Vinci construction grands projets (VCGP) et Entrepote contracting réalisent ce projet avec leurs partenaires Techint et Sener en conception construction. Arcadis France (agence de Paris) est intervenu comme conseil en ingénierie géotechnique de VCGP pour le choix du mode de fondation des réservoirs GNL, permettant une optimisation du coût et des délais de réalisation. Le manque d'espace dans le port de Rotterdam a conduit le maître d'ouvrage à construire le terminal méthanière sur une parcelle de terrain gagnée sur la mer, par la mise en place de remblais hydrauliques sur des épaisseurs importantes (de 18 à plus de 27 m), pour atteindre la cote de + 5 NAP prévue pour la plate-forme du terminal.

Un précédent article par Gaëtan Vignerat (VCGP), paru dans le numéro de septembre 2009 de la revue Travaux, décrivait le projet Gate ainsi que le mode de construction des réservoirs GNL. Le présent article est consacré à

la description des travaux d'amélioration des sols qui ont permis le choix de fondations superficielles pour les réservoirs, et cela malgré leur taille importante (90 m de diamètre), leur sensibilité aux tassements différentiels, et la présence sur des épaisseurs importantes de terrains compressibles et hétérogènes (remblais hydrauliques et couches d'argile).

Différentes variantes de fondations ont été examinées et comparées en phase d'appels d'offres : fondations sur pieux, réalisation des colonnes ballastées et amélioration de sols par préchargement et vibrocompactage des remblais hydrauliques. La dernière solution a été retenue et réalisée. Pour les réservoirs GNL, qui sont des ouvrages sensibles avec des critères sévères sur les tassements différentiels admissibles et des délais de réalisation généralement serrés, l'optimisation des travaux de fondations, en termes de coût et de délais de réalisation, est généralement un facteur important de la réussite de l'entreprise contractante.

Dans le cas présent, les améliorations de sols ont eu pour objectifs : l'écroûissage des terrains (en particulier la consolidation des horizons argileux) sous l'action d'un préchargement, la densification

des remblais hydrauliques sableux sous l'eau par la vibroflottation, et enfin l'homogénéisation de la compacité des remblais hydrauliques hors d'eau, essentiellement à l'aide de la technique rapid impact compaction (RIC).

LES RÉSERVOIRS DE GNL

Les réservoirs de Gate ont une contenance 180 000 m³ chacun. Ils comportent une enveloppe externe constituée d'un radier de 90 m de diamètre, d'une voile périphérique en béton précontraint de 40 m de hauteur et d'un dôme en béton armé. Le réservoir intérieur est constitué d'une cuve interne, en acier dosé à 9 % de nickel, de 84 m de diamètre d'environ, séparée de l'enceinte extérieure par des isolants. Le GNL est maintenu à une température de - 170 °C au sein de la cuve interne. La jupe (voile externe en béton précontraint) transmet une charge verticale importante au radier (descente de charge du voile périphérique de 40 m de haut et du toit). Le radier du réservoir a une inertie variable, avec une épaisseur de 1,2 m au droit de l'anneau externe (sous la jupe) et de 0,40 m en partie centrale. La charge de la jupe conduit à une pression importante sous la fondation de celle-ci.

La charge hydraulique de service en partie centrale est de 170 kPa.

Un essai de remplissage à l'eau (hydrotest), préalable à la mise en service, est réalisé avec une charge hydraulique de 220 kPa.

Les critères usuels de dimensionnement (BS 7777 et NF EN 14 620) des structures et du radier conduisent à limiter les tassements différentiels acceptables pour l'ensemble des cas de charges : un tassement différentiel de 1/300^e est à respecter en tout point du radier, ainsi qu'un dévers inférieur à 1/500^e en partie périphérique du réservoir, pour tous les cas de chargement. En fin de construction (réservoir vide), il est procédé à la réalisation de l'hydrotest puis à la vidange du réservoir, avant le chargement du réservoir avec du GNL.

CONTEXTE STRATIGRAPHIQUE

Les terrains rencontrés sur l'emprise des réservoirs avant la mise en place des remblais hydrauliques étaient constitués d'une couche de sables fins récents, d'épaisseur variable, s'amenuisant du nord au sud (vers le canal d'accès), surmontant une couche argileuse d'épaisseur variable (2 à 4,5 m) et de déformabilité élevée (argile de



1 - Vue aérienne de l'extrémité du port de Rotterdam comprenant le site du terminal avec les réservoirs GNL en phase de construction.

1 - Aerial view of the end of Rotterdam Port containing the site of the terminal, with the LNG tanks in the construction phase.



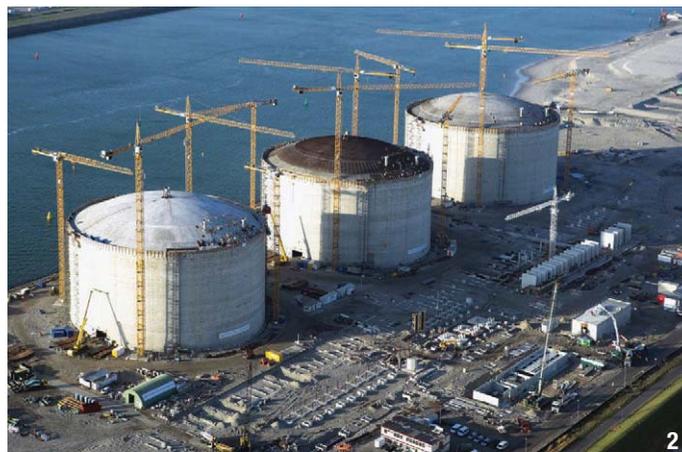
Velzen), dont le toit est rencontré vers les cotes - 19 à - 23 NAP (cette couche a été partiellement à totalement draguée au droit du quart sud-ouest du réservoir T3 lors de travaux de dragage antérieurs).

Sous cette couche et jusqu'à des profondeurs de plus de 200 m, on trouve des dépôts pléistocènes constitués essentiellement de sables compacts à très compacts, mais également de couches argileuses surconsolidées, de forme visiblement lenticulaire à l'échelle du site.

Les investigations d'avant-projet comportaient essentiellement des pénétrètres statiques (CPT) en nombre limité. Elles ont été complétées en phase projet par la campagne de sol réalisée depuis la cote + 15 NAP environ, après la mise en place de remblai de préchargement en raison du planning très serré des études. Cette campagne complémentaire a été définie par Arcadis France et réalisée par Fugro Hollande. Elle a comporté essentiellement la réalisation de sondages carottés (avec prélèvement d'échantillons intacts et des essais SPT) de 55 à 90 m de profondeur et de pénétrètres statiques CPT et CPTU (piézocône) de 45 à 70 m de profondeur.

2- Vue aérienne des trois réservoirs GNL en phase terminale des travaux de génie civil.

2- Aerial view of the three LNG tanks in the civil engineering work completion phase.



Le pénétrètre statique a constitué l'investigation in situ la plus utilisée pour la caractérisation des terrains et la reconnaissance de la variation stratigraphique au droit du site, ainsi que pour la vérification des traitements de terrains. Les critères d'arrêt fixés pour les CPT étaient essentiellement : une résistance de pointe dépassant 80 MPa et une déviation de la tige du CPT par rapport à la verticale dépassant 15°. Des essais de dissipation de pression interstitielle ont été réalisés à différentes profondeurs, dans les piézocônes et en particulier au niveau des horizons

argileux. Des essais d'identification et des essais mécaniques ont été réalisés sur les échantillons prélevés dans les sondages carottés (en particulier des essais œdométriques dans les horizons argileux).

Les CPT et CPTU réalisés ont montré la présence relativement fréquente de lentilles argileuses et silto-vaseuses, d'épaisseur variable, au sein du remblai hydraulique. La présence de ces lentilles, confirmée par les nombreux CPT réalisés avant et après le traitement par vibroflottation, ainsi que par les observations faites lors de l'enlèvement du remblai de préchargement, nous a conduits à prendre des mesures correctives. Lors de l'enlèvement du remblai de préchargement, on a également pu constater que le remblai hydraulique pouvait contenir localement des amas de coquillages plus ou moins sableux sur des épaisseurs variant de 0,5 à 1,5 m environ. Lors des essais CPT, ces lentilles ont montré une résistance de pointe plutôt faible et un rapport de frottement (R_p) proche de celui des silts. La majorité des CPT ont également montré la présence de remblais très compacts au-dessus de la cote + 0,5 NAP, et en particulier jusqu'aux cotes + 5 à + 6 m (figure 3).

Plutôt inattendu, ce dernier aspect des remblais hydrauliques a été relié à l'action des passages successifs des bulldozers à chenille pour étaler le remblai hydraulique au-dessus du niveau d'eau (photo 4).

RÉALISATION DE LA PLATE-FORME GÉNÉRALE ET DU PRÉCHARGEMENT

Le maître d'ouvrage a pris en charge la constitution de la plate-forme générale ainsi que la mise en place et le suivi des remblais de préchargement. Un volume d'environ 3,6 millions de m³ de remblai hydraulique a été installé, entre octobre 2006 et juin 2007, pour former la plate-forme générale jusqu'à la cote + 5 NAP. Les remblais de préchargement des réservoirs ont été mis en place jusqu'à la cote de + 15,5 m, soit 11 m de remblai (en comptant le tassement moyen d'environ 0,5 m intervenu lors de la mise en place des remblais). Les zones environnantes des réservoirs (recevant des ouvrages plus légers) ont également été préchargées

jusqu'à la cote + 10 m NAP. La figure 5 montre le schéma de la réalisation des remblais de préchargement, et la photo 6 présente une vue aérienne de ceux-ci. Le préchargement des trois réservoirs a nécessité 0,28 millions de m³ de remblais hydrauliques, mis en place entre juillet et septembre 2007. Durant le préchargement ainsi que pendant la phase de mise en œuvre du remblai hydraulique au-dessus du niveau de la nappe, les tassements ont été suivis au moyen de piges de mesure, placées hors d'eau (+ 1 m), distribuées sur la périphérie (8) et au centre (1) de l'emprise de la fondation de chaque réservoir. Les mesures effectuées ont montré, d'une part, que l'essentiel des tassements (plus de 85 %) s'est produit au cours de la mise en place des remblais et, d'autre part, la variabilité des tassements mesurés en zone périphérique (0,4 à 0,6 m pour T1 et 0,4 à 0,7 m pour T3). L'analyse et l'interprétation de ces données a été effectuée en premier lieu à l'aide de modélisations

3- Exemple de comparaison des CPT réalisés avant et après vibroflottation.

4- Traces de chenilles de bulldozers pour étaler le remblai hydraulique au-dessus du niveau d'eau.

3- Example of comparison of CPTs performed before and after vibroflotation.

4- Traces of the tracks of bulldozers spreading out the hydraulic backfill above the water level.

aux éléments finis (logiciel Plaxis). L'amplitude des tassements différés a été examinée au moyen de différents modèles analytiques, comme la méthode d'Asaoka et s-log(t), permettant d'estimer la fin de la consolidation de l'argile de Velzen et les tassements résiduels. La comparaison entre, d'une part, les différentes approches numériques et analytiques et, d'autre part, les mesures in situ a permis d'ajuster un critère de fin de consolidation qui a conduit à l'arrêt du préchargement après environ trois mois de charge constante.

LA VIBROFLOTTATION

Le remblai de préchargement a ensuite été terrassé jusqu'à la cote + 9 m NAP afin de réaliser la phase 2 d'amélioration des sols : la vibroflottation (ou vibrocompactage) des sables. 4 m de remblai ont été maintenus par rapport à la cote projet afin de conserver les terrains de surface sous une contrainte verticale suffisante pour aider à obtenir de meilleurs résultats par le vibrocom-

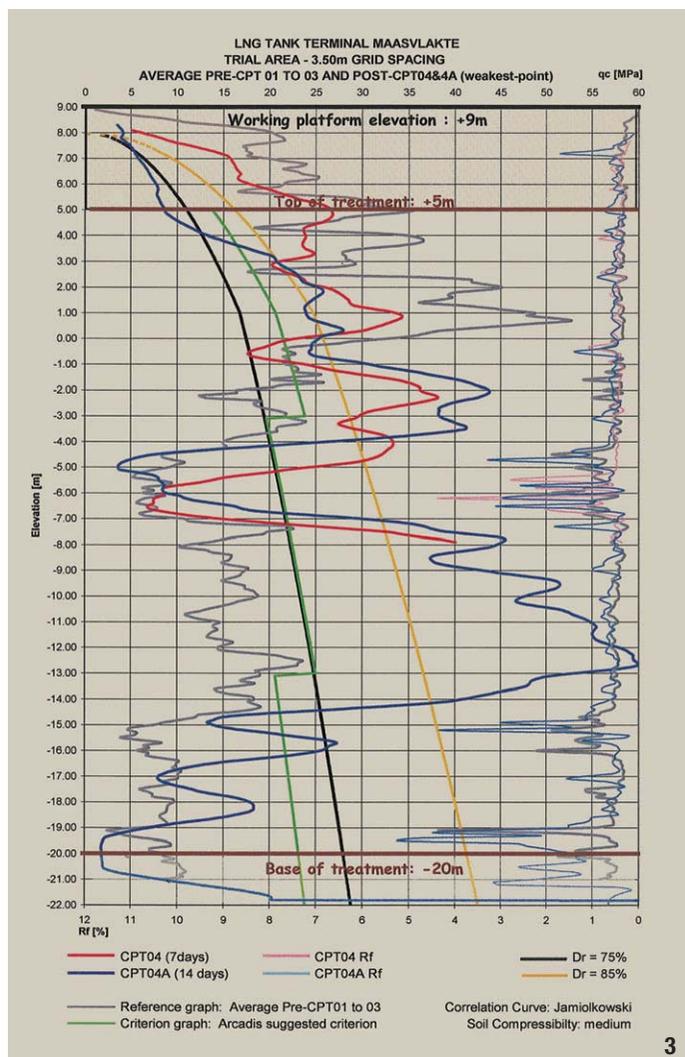
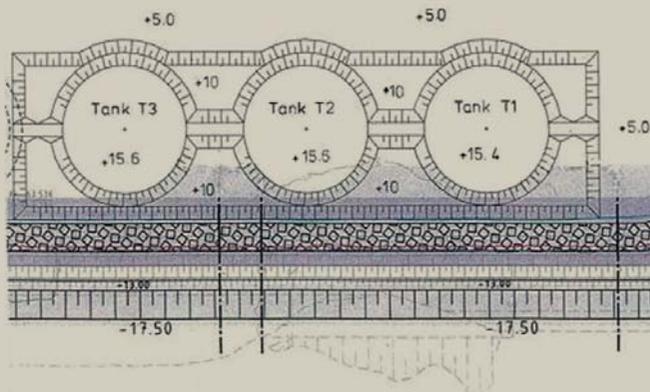


SCHÉMA DE LA RÉALISATION DES REMBLAIS DE PRÉCHARGEMENT



compactage, avec en plus la poursuite d'une part du préchargement. La vibroflottation a été réalisée par l'entreprise Solétanche Bachy avec le vibreur V23. Le suivi in situ de ces travaux a été effectué par VCGP. Un plot d'essai a été réalisé au début du chantier, avec différents maillages et différents temps de compactage par passe (passes espacées de 0,5 m). Suite aux résultats du plot d'essai, un maillage triangulaire de 3,8 m de côté a été proposé par Solétanche Bachy et accepté. D'après les mesures effectuées par Solétanche Bachy, un tassement moyen d'environ 4 % de la hauteur traitée a été observé dans la zone du plot d'essai après la réalisation de la vibroflottation. Un volume total de 0,62 million de m³ de remblai a été traité pour les trois réservoirs. Les résultats de la vibroflottation sont vérifiés par la réalisation de CPT et la comparaison de leurs valeurs à celles des CPT réalisés avant la vibroflottation. La figure 3 montre un exemple de comparaison des CPT avant et après vibroflottation.

5- Schéma de la réalisation des remblais de préchargement.

6- Vue aérienne des remblais de préchargement.

7- RIC utilisé pendant la phase essais.

5- Diagram of initial backfill execution.

6- Aerial view of initial backfills.

7- RIC used during the test phase.



6



7

La vibroflottation était essentiellement destinée au traitement des sables ayant un pourcentage de fines ne dépassant pas 12 %. Le traitement n'avait pas pour but l'amélioration significative des caractéristiques des lentilles et lits silto-argileux (d'épaisseur variable mais souvent peu épais) détectés au sein du remblai hydraulique. Il est à noter que, par endroits, la présence successive de ces horizons à relativement faible distance a réduit la performance de la vibroflottation.

COMPACTAGE DES TERRAINS DE SURFACE

Les études du projet prévoient un compactage plus efficace et homogène de la partie haute du remblai hydraulique, zone la plus sollicitée et génératrice de plus de tassements différentiels, en particulier pour la phase de la construction du réservoir.

Compte tenu de l'hétérogénéité observée dans le remblai hydraulique (présence de lentilles argilo-silteuses), les exigences pour le compactage de la partie haute du remblai ont dû être accrues, avec la mise en œuvre d'un traitement spécifique sur la partie supérieure du remblai hydraulique.

Pour le réservoir T1, il a été procédé à l'excavation des terrains de surface et à leur remise en place et compactage par couches successives à l'aide de la méthode classique par passes au rouleau vibrant. Pour les réservoirs T2 et T3, avec des conditions de sol globalement plus défavorables que pour le T1, une épaisseur plus importante de remblai bien compacté et homogène a été jugée nécessaire, ce qui était difficile à mettre en œuvre avec la procédure utilisée pour le T1, compte tenu notamment du niveau de la nappe.

Différentes options ont été examinées en termes de coûts et de délais de réalisation. La solution finalement retenue pour les réservoirs T2 et T3 a été la technique rapid impact compaction (RIC), suggérée au départ par l'expert de la maîtrise d'ouvrage.

LE SYSTÈME RIC

Le RIC a été développé en Grande-Bretagne dans les années 1990 pour la réparation rapide des pistes d'aéroports militaires. Il y est employé depuis dans les travaux d'amélioration de sols.

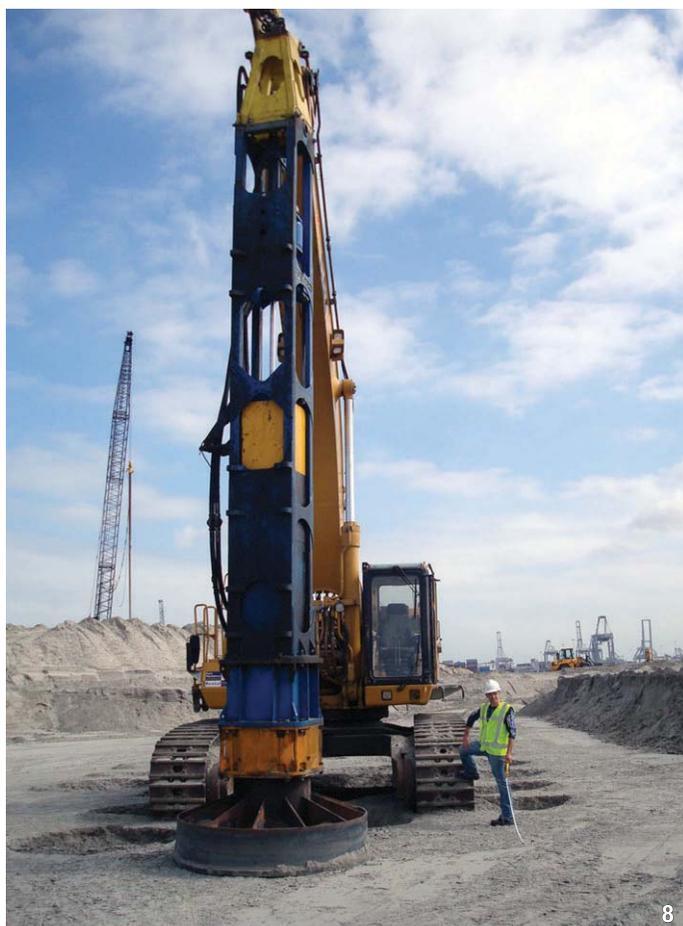
Son utilisation s'est aussi répandue dans d'autres pays. Il s'agit d'une technique similaire à celle du compactage dynamique, mais avec une énergie sensiblement inférieure par coup, et un nombre élevé de coups à chaque

emplacement. Le RIC utilise un marteau hydraulique de battage de pieux, équipé à sa base d'une plaque métallique articulée de diamètre 1 à 2 m. L'ensemble est monté sur une pelle mécanique (photos 7 et 8). Le système permet ainsi les chutes successives d'un poids, variant généralement de 7 à 11 t, avec une hauteur de chute de 1,2 m, à une cadence d'environ 40 coups par minute. L'énergie par coup est relativement faible (comparée à la méthode conventionnelle de compactage dynamique), et l'équipement permet l'application d'un grand nombre d'impacts à chaque emplacement (40 à 60). Différents paramètres sont enregistrés lors de chaque opération, comme le nombre d'impacts, l'énergie totale appliquée, la pénétration par coup et la pénétration totale. Quand le critère d'arrêt prédéfini est atteint (par exemple le nombre total d'impacts ou la pénétration par coup), l'équipement est déplacé au point d'impact suivant. La plaque reste en contact permanent avec le sol. L'énergie appliquée est ainsi plus efficacement utilisée que dans la méthode conventionnelle, où le poids peut tomber sur une surface irrégulière. D'après la littérature scientifique, des épaisseurs de sol variant de 3 à 6 m ont pu être efficacement compactées avec cette technique.

APPLICATION AU PROJET GATE

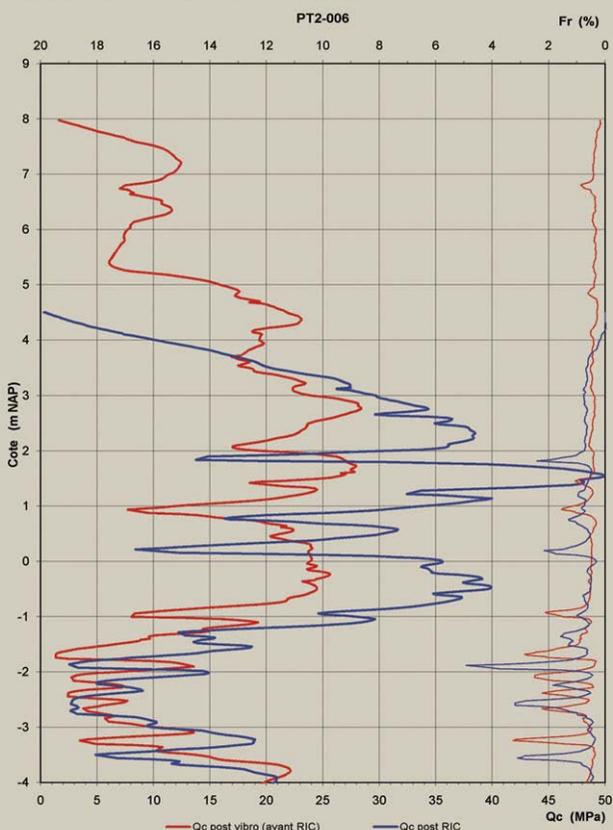
Les travaux ont été réalisés par l'entreprise hollandaise Cofra avec un marteau de 9 t, une hauteur de chute de 1,2 m et une cadence de 43 coups par minute (figures 7 et 8). Dans un premier temps, des plots d'essais (définis par l'expert de la maîtrise d'ouvrage et Arcadis) ont été réalisés au droit du site avec CPT de contrôle : on a utilisé deux diamètres de plaque de compactage, différents maillages avec 40 et 60 coups par point d'impact, et deux passages de RIC (recompactage au milieu de mailles primaires). Ces essais avaient pour objectifs de vérifier l'efficacité du RIC dans les conditions du site en fonction des objectifs recherchés, et de définir les paramètres d'exécution du compactage. Les résultats des plots d'essais ont donné satisfaction, et cette technique a été retenue pour le compactage des terrains de surface des réservoirs T2 et T3.

Pour le traitement avec le RIC, différentes zones circulaires ont été distinguées au droit de chaque réservoir, avec différents maillages triangulaires (maillage plus serré en zone périphérique) et 60 coups par point d'impact.

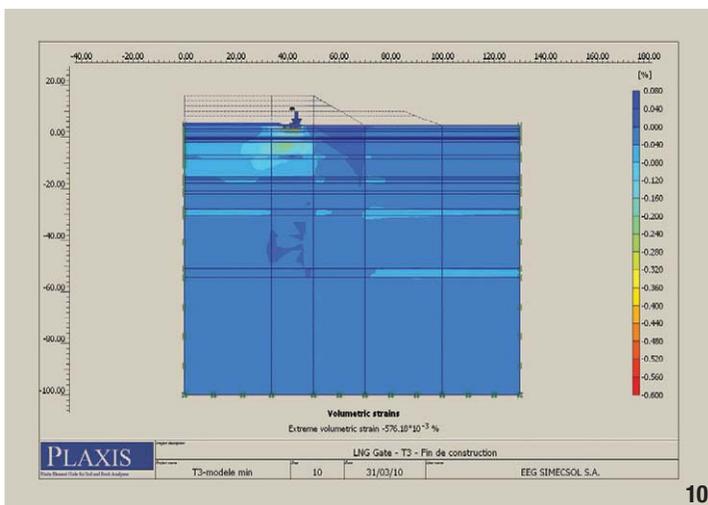


8

EXEMPLE DE COMPARAISON DES CPT RÉALISÉS AVANT ET APRÈS RIC
REMBLAI DE SURFACE COMPACT AVANT RIC



9



10

8- RIC utilisé pendant la phase traitement.

9- Exemple de comparaison des CPT réalisés avant et après RIC : remblai de surface compact avant RIC.

10- Exemple de la distribution de la déformation volumétrique sous le radier, d'après calcul EF, pour le cas de charge fin de construction (réservoir vide).

8- RIC used during the treatment phase.

9- Example of comparison of CPTs performed before and after RIC: compact surface backfill before RIC.

10- Example of the distribution of volumetric strain under the foundation raft, based on FE calculations, for the end of construction load case (empty tank).

Le RIC a été appliqué à une cote plus basse que la base du radier du réservoir (avec des différences de cotes variables suivant la zone), essentiellement pour la détection et l'extraction d'éventuelles lentilles silto-argileuses présentes au sein du remblai hydraulique à faible profondeur sous le radier. Cette procédure a permis d'obtenir une épaisseur plus élevée de remblais bien compactés et homogènes sous le radier. Après la réalisation du RIC, la partie haute du remblai a été compactée par couches au rouleau vibrant.

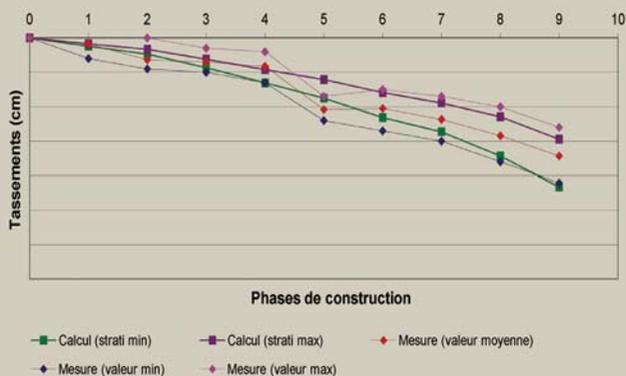
Les objectifs fixés ont été globalement atteints pour les deux réservoirs après le compactage avec la méthode RIC. Les terrains de surface ont pu être bien compactés et homogénéisés jusqu'à une profondeur moyenne de 5 m sous le niveau d'application du RIC.

La figure 9 montre un exemple de résultats de compactage avec cette méthode. La comparaison des CPT réalisés avant et après le RIC montre que, même pour les cas de remblais initialement compacts, le RIC a permis une augmentation significative des valeurs de q_c .

CALCULS PRÉVISIONNELS DE TASSEMENT

Pour chaque réservoir, les tassements prévisionnels pour différents cas de charges ont été estimés par Arcadis au moyen de modèles aux éléments finis (logiciel Plaxis). Les lois de comportement ont été choisies en fonction des différents sols en place : modèle cam-clay pour l'argile et modèle hyperbolique avec écrouissage positif pour les sables. Une analyse en retour a permis de vérifier la pertinence du modèle en comparant les résultats de calculs aux tassements mesurés lors du préchargement. Différentes hypothèses ont été envisagées afin de tenir

RÉSERVOIR T2 - BORD DU RADIER



11

compte de l'hétérogénéité des terrains constatée, ainsi que des effets produits par les améliorations de sols successives (préchargement, vibrocompactage, compactage superficiel). La figure 10 montre un exemple de la distribution de la déformation volumétrique sous le radier pour le cas de charge fin de construction. Les valeurs de tassements calculées au bord du radier pour différentes phases de construction sont portées sur la figure 11 pour le réservoir T2 et comparées aux valeurs mesurées.

COMPARAISON DES MESURES AVEC LES PRÉVISIONS

L'instrumentation mise en place pour le suivi des tassements de chaque réservoir comporte essentiellement 16 repères de tassement placés au-dessus du radier (autour de la jupe) et deux tubes inclinométriques placés au sein du radier du réservoir. Avant le début de la construction des réservoirs, les tasse-

11- Réservoir T2 : comparaison des valeurs estimées et des valeurs mesurées de tassements pour différentes phases de construction.

11- Tank T2: Comparison of the estimated and measured settlement values for various phases of construction.

ments avaient été estimés par Arcadis pour les différentes phases et levées de construction. Ces résultats ont été transmis à VCGP ainsi qu'à la maîtrise d'ouvrage. Une bonne concordance entre les prévisions et les mesures est observée pour les trois réservoirs, malgré des imprécisions de mesures pour certaines levées, ce qui valide à ce stade d'avancement des travaux les hypothèses géotechniques retenues ainsi que l'efficacité des améliorations de sols mises en œuvre. La figure 11 montre la comparaison des valeurs estimées et des valeurs mesurées pour le réservoir T2. Les essais d'hydrotest des réservoirs, prévus à partir du mois d'août 2011, feront également l'objet de suivis détaillés des tassements et de comparaisons avec les valeurs estimées.

ENSEIGNEMENTS

Ce chantier a mis en évidence les avantages du phasage retenu. À chaque étape, les résultats sont vérifiés et

analysés en détail, pour une adaptation éventuelle de l'étape suivante. Les paramètres de sol nécessaires pour les calculs prévisionnels de tassements sont en partie validés par les mesures effectives des tassements acquis lors du préchargement, avant d'estimer les tassements ultérieurs pouvant affecter les réservoirs, d'où un meilleur degré de confiance dans ces prévisions. Par ailleurs, ce chantier a donné l'occasion de recourir à des techniques variées d'amélioration de sols. La méthode RIC, notamment, peu connue en France et relativement facile à mettre en œuvre, a permis d'obtenir de bons résultats pour les couches superficielles de remblai, les plus sollicitées par les fondations des réservoirs. Les techniques de compactage par vibroflotation (ou vibrocompactage) et par RIC sont complémentaires : la première, plus efficace sous la nappe, peut être complétée par le RIC pour les terrains hors nappe. □

PRINCIPAUX INTERVENANTS

MAÎTRISE D'OUVRAGE :

Gate joint venture constitué de Vopak (entreprise internationale possédant des infrastructures pétrochimiques) et de Gasunie (entreprise hollandaise de gaz).

GROUPEMENT ATTRIBUTAIRE DU MARCHÉ :

TSEV formé de Techin-Sener (entreprises respectivement italienne et espagnole responsables de la construction du terminal), Entrepouse contracting (entreprise du groupe Vinci en charge de la partie mécanique des réservoirs ; sous-traitance principale : SMM), VCGP (en charge de la partie génie civil des réservoirs ; principaux sous-traitants : Solétanche Bachy, CFE, Freyssinet, Cofra). Arcadis est intervenu en tant que conseil en ingénierie géotechnique de VCGP.

ABSTRACT

ROTTERDAM: GROUND IMPROVEMENT AS PART OF THE GATE PROJECT

MARIUS HAGHGOU, ARCADIS

This article describes the ground improvement works for building the three 18,000 m³ LNG tanks of the Gate project, in Rotterdam, on shallow foundations. These improvements were essential given the sensitivity of these large structures (90 m in diameter) to differential settlement, and given the presence of 18 to 27 m of hydraulic backfill on top of a layer of highly deformable clay. The ground improvement works involved soil preloading, vibroflotation of the hydraulic backfills under the groundwater and compaction to homogenize the backfills out of the water by means of the rigid impact compaction (RIC) technique. The settlement measurements performed during the various phases of tank construction are in agreement with the results of the predictive calculations. □

ROTTERDAM: MEJORAMIENTO DE SUELOS EN EL MARCO DEL PROYECTO GATE

MARIUS HAGHGOU, ARCADIS

En el presente artículo se describen los mejoramientos de suelos que han permitido construir los tres depósitos GNL de 18.000 m³ del proyecto Gate, en Rotterdam, sobre cimentación superficial. Estas mejoras llegaron a ser indispensables cuenta habida de la sensibilidad de estas obras de grandes dimensiones (90 metros de diámetro) a los hundimientos diferenciales, y a la presencia de 18 a 27 metros de terraplenado hidráulico, que superan una capa de arcilla de elevada deformabilidad. Los mejoramientos de suelo incluyeron el relleno de ensayo de los terrenos, la vibroflotación de los terraplenados hidráulicos bajo la capa y la compactación de homogeneización de los terraplenados fuera del agua mediante la técnica de rigid impact compaction (RIC). Las mediciones de hundimientos efectuadas durante el transcurso de las distintas etapas de construcción de los depósitos guardan relación con los resultados de los cálculos previsionales. □

TRAMWAY T3, STADE LADOUMÈGUE : LE MUR DE SOUTÈNEMENT DU PÉRIPHÉRIQUE PARISIEN

AUTEURS : GUILLAUME DOUHÉRET, RESPONSABLE DE L'ACTIVITÉ ILE-DE-FRANCE CONFORTEMENT -
ALEXANDRE BEAUVILLAIN, DIRECTEUR DE TRAVAUX, SOLÉTANCHE BACHY

LA CONSTRUCTION DU TRAMWAY T3 AUTOUR DE PARIS A NÉCESSITÉ LA CRÉATION D'UN SITE DE MAINTENANCE ET DE REMISAGE, AINSI QUE D'UNE NOUVELLE VOIE DE DESSERTE. LES TRAVAUX, CONFISÉS AU GROUPEMENT SOLÉTANCHE BACHY, ONT IMPOSÉ DE DÉLICATES OPÉRATIONS DE RACCORDEMENT. DES MOYENS HUMAINS ET MATÉRIELS CONSÉQUENTS ONT ÉTÉ MOBILISÉS AFIN DE LIVRER LE PROJET DANS LES DÉLAIS IMPARTIS.



CRÉATION D'UNE VOIE DE DESSERTE

La poursuite du projet de tramway autour de Paris, dénommé T3 pour le nouveau tronçon à construire, nécessite la création d'un site de maintenance et de remisage dit SMR. L'emplacement du stade Jules-Ladoumègue a été retenu. Les aménagements de voirie liés à ce projet imposent de rétablir un accès aux sites industriels situés côté nord-est, entre le stade et le canal de l'Ourcq.

Cette voie sera appelée voie Serrurier. Elle permettra les circulations de véhicules lourds desservant, en particulier, la centrale à béton Lafarge.

Le maître d'ouvrage, la Mairie de Paris, direction de la voirie et des déplacements, service des aménagements et des grands projets (SGAP), a confié

les travaux au groupement Solétanche Bachy-Segex, sous maîtrise d'œuvre Sepia GC.

La nouvelle voie de desserte ainsi que l'emprise nécessaire aux voies du SMR empiètent sur le talus du boulevard périphérique, côté extérieur.

Cette voie de 9 m de large sera située dans une galerie d'environ 250 m de long, dans le talus du boulevard périphérique. Certains équipements du stade seront ensuite construits sur la dalle de couverture du SMR. Un mur de soutènement d'environ 310 m de long a donc dû être construit dans le talus du remblai du périphérique extérieur afin de terrasser le talus et de le maintenir par un mur cloué définitif. Ce mur a été surélevé sur une grande partie de sa longueur pour rattraper la cote altimétrique du futur stade

1- Une des trois foreuses hydrauliques mobilisées.

2 & 3- Avant et après les travaux.

4- L'ouvrage côté nord terminé.

1- One of the three hydraulic drillers deployed.

2 & 3- Before and after the works.

4- The completed structure on the northern side.

(61.00 NGF), et créer un mur rectiligne vertical d'une hauteur avoisinant 7 m. Un remblai complémentaire a été mis en œuvre à l'abri de murs de soutènement, au-dessus de la paroi clouée (photos 2 et 3).

ENJEUX DU CHANTIER

Les deux principaux enjeux du chantier résidaient dans l'intervention sur les remblais de structure d'un axe de circulation vital (le périphérique parisien) sans interrompre ni gêner le trafic, et la libération du site en temps et en heure afin de ne pas retarder l'opération T3. Le délai global des travaux a été limité à quatre mois, préparation d'un mois comprise, avec un délai partiel à trois mois pour l'extrémité nord de l'ouvrage. Les travaux se sont déroulés du 17 juin (début de la préparation) au 15 octobre 2009.

L'ampleur du projet et le délai de réalisation très court ont imposé au groupement la mobilisation de moyens importants (photo 1).

REDIMENSIONNEMENT DE L'OUVRAGE

Dès le début de la période de préparation, nous avons orienté le dimensionnement de l'ouvrage de manière à minimiser les opérations les plus longues et répétitives que sont les passes de clouage successives.

Le bureau d'études Solétanche Bachy a réalisé de nombreux calculs sur cinq profils différents, qui ont conduits à :

- Augmenter l'épaisseur du voile en béton projeté, et donc sa raideur, afin de solliciter plus fortement les ancrages ;
- Augmenter en conséquence le diamètre des barres ;
- Étirer le maillage vers le haut afin de diminuer le nombre de passes de terrassement, en diminuant l'espace horizontal ;
- Fixer les dispositions constructives permettant la superposition d'un mur cloué et d'un mur en L.

Le délai de réalisation ne permettait cependant pas d'attendre l'ensemble des résultats des reconnaissances complémentaires, également lancées en début de période de préparation, pour enclencher les travaux.

Les notes de calcul des ouvrages ont donc été mises à jour au fur et à mesure de l'avancement.

L'ensemble de ces dispositions a conduit à diminuer sensiblement le linéaire de forage. Le bilan financier de ces modifications est neutre, mais il n'aurait pas été possible de respecter les délais sans y recourir. ▷



POSITION DES DIFFÉRENTES CIBLES SUR L'OUVRAGE

Porte de Pantin - Stade Ladoumègue
Construction Atelier Tram T3 PARIS 19^e
Mur de soutènement

Auscultation des ouvrages

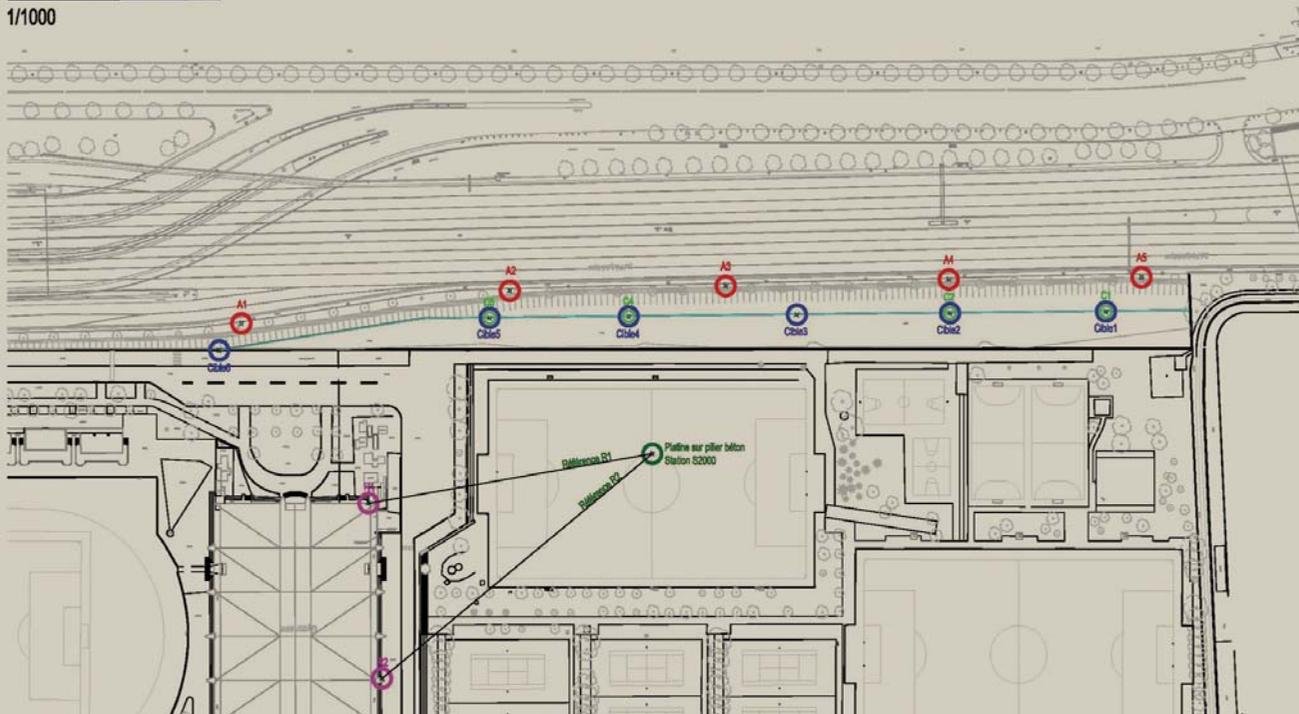
1/1000

Rouge : cible sur poteau métallique pour suivi du talus du périphérique

Vert : cible sur support plastique pour suivi des murs préfabriqués

Bleu : cible sur support plastique pour suivi de la paroi clouée

Violet : cible sur support plastique pour référence mesures topographiques



5

MÉTHODE OBSERVATIONNELLE

En parallèle, le groupement a mis en œuvre la méthode observationnelle afin de maîtriser l'aspect concernant la circulation sur le boulevard périphérique :

→ Suivi topographique : des cibles ont été scellées au sol en crête de talus et relevées avec une fréquence prédéfinie en fonction de l'activité au droit de la zone considérée. Il avait été prévu un relevé hebdomadaire de l'ensemble de l'ouvrage, et un relevé quotidien des zones en cours de travaux, après chaque passe de terrassement. La figure 5 indique la position des différentes cibles sur l'ouvrage ;

→ Les moyens et fournitures nécessaires à l'intervention en urgence de l'entreprise en cas de dépassement des seuils fixés étaient déjà présents sur site. En l'occurrence, il s'agissait essentiellement de moyens de terrassement, pelles hydrauliques et tombereaux pour remblayer la zone.

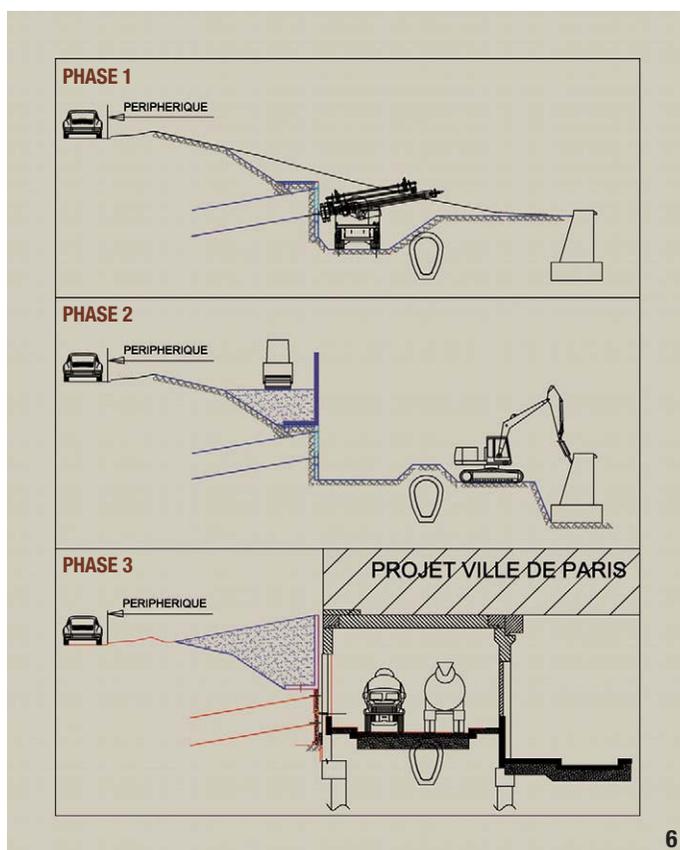
ÉQUIPES ET MATÉRIEL

Dès le début des travaux, le 20 juillet, des moyens importants ont été mobilisés,

aussi bien en termes de personnel que de matériel. Outre les moyens du bureau d'études Solétanche Bachy et l'encadrement du chantier, il a été nécessaire de mobiliser simultanément jusqu'à 30 personnes, avec des pointes à 40 lors du passage à deux postes des ateliers de perforation et de béton projeté.

Au niveau du matériel, il a également fallu mobiliser des moyens conséquents. Le forage a nécessité jusqu'à trois ateliers simultanés : deux foreuses hydrauliques Domine DCH 114 travaillant en rotation pure à l'air pour le clouage, et une Beretta T46 pour la réalisation des micro-pieux, en rotation pure à l'air puis à l'eau. L'air était fourni par des compresseurs 21 000 l/mn 12 bars. Un atelier d'injection, constitué d'une centrale de fabrication TEC AC 03 et de presses hydrauliques Domine PH 15, servait au scellement des ancrages. (Photo 7 : Atelier de clouage Domine DCH 114.)

Le béton projeté a été mis en place au moyen de deux ateliers voie sèche travaillant à deux postes pendant une partie du chantier, approvisionnés au



6



5- Position des différentes cibles sur l'ouvrage.

6- Coupe type de l'ouvrage réalisé.

7- Atelier de clouage Domine DCH 114.

5- Position of the various targets on the structure.

6- Typical section of the completed structure.

7- Domine DCH 114 nailing equipment.

moyen de silos de mortier sec prêt à l'emploi. Deux compresseurs 21 000 l/mn 12 bars complétaient ces ateliers. Divers autres engins ont également été mobilisés : une grue mobile pour la pose des murs en L, trois à cinq pelles hydrauliques, deux dumpers et un compacteur.

RACCORDEMENT À L'EXISTANT

L'une des difficultés de ce type de projet est liée au raccordement du nouveau mur aux ouvrages existants. Il faut donc adapter localement la géométrie du projet, et mettre en œuvre des procédés constructifs spécifiques. Le nouveau mur se raccorde à l'existant par un biais d'une soixantaine de mètres. Au niveau de la réalisation, cette géométrie a imposé la création d'une plate-forme provisoire en remblai pour permettre le terrassement et le blindage du talus, puis la mise en station de la foreuse. Cependant, le remblai du talus est apparu très peu cohésif lors du terrassement.

Conformément aux procédures établies par la direction de chantier, un blindage par béton projeté (gunitage) a été réalisé

afin d'éviter la décompression du sol et le tassement de la bretelle d'entrée du périphérique.

Un rapide calcul de vérification, mené avec les valeurs des paramètres de sol réellement observés, a conduit le groupement à proposer la mise en œuvre d'un blindage provisoire de type micro-berlinoise sur toute la longueur du biais et sur la hauteur qui allait finalement être terrassée. Ces travaux ont été entrepris sans délai, en profitant de la longueur de l'ouvrage pour ne pas trop perturber l'avancement global des travaux.

RÉALISATION D'UNE DALLE PORTÉE SUR MICRO-PIEUX

Le nouveau mur vient rescinder perpendiculairement un mur de soutènement en béton armé qui fait la jonction entre le talus du périphérique et l'ouvrage de franchissement du canal de l'Ourcq. Comme la pente du talus d'origine est assez faible à cette extrémité du chantier, il était prévu de réaliser les passes de clouage à l'avancement et de scier le mur en béton en parallèle. Or, dès le démarrage des travaux, il a été constaté que ce mur présentait des signes

d'instabilité ancienne. Une solution de report des charges liées à la surélévation a donc été demandée, afin de ne pas aggraver la situation sur la partie conservée du mur en béton. Le bureau d'études a proposé la réalisation d'une dalle en béton fondée sur 16 micro-pieux descendus sous le niveau de la semelle du mur instable.

Cette solution a été rapidement acceptée par le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage, puis mise en œuvre par l'entreprise, non sans difficulté.

En effet, dès le premier jour de forage des micro-pieux, le mouvement du mur en béton a repris. Les travaux ont été stoppés immédiatement, et l'atelier de forage mis en retrait pour alléger la charge sur l'ouvrage. Après concertation, les travaux ont pu reprendre la semaine suivante, avec une foreuse de gabarit inférieur et une méthodologie de forage différente.

Ainsi que nous l'avons expliqué, la partie nord de l'ouvrage, sur une cinquantaine de mètres, devait être livrée un mois avant la fin du chantier, soit le 17 septembre, afin de permettre des travaux d'adaptation et de dévoiement ▷



PRINCIPALES QUANTITÉS

**TERRASSEMENT EN DÉBLAIS
DU PÉRIPHÉRIQUE : 10 000 m³**

**DÉMOLITION DE MURS
EXISTANTS (MEULIÈRE, BA...) :
2 350 m³**

ANCRAGES PASSIFS : 4 200 ml

BÉTON PROJETÉ : 475 m³

**MUR DE SURÉLÉVATION
(MURS EN L PRÉFABRIQUÉS) :
700 m²**

**TERRASSEMENT EN REMBLAI
DERRIÈRE LES MURS EN L :
2 800 m³**

de réseaux. Les aléas rencontrés lors de la réalisation de l'ouvrage de raccordement ont donc fortement influé sur la réactivité des intervenants, à tous les niveaux (maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre et entreprise).

LES SURPRISES DE L'EXISTANT

Si les premières phases du chantier ont concerné des parties d'ouvrages simples et connues, les dernières passes

de terrassement ont dévoilé de vraies surprises. En effet, plusieurs murs de soutènement datant de la construction du boulevard périphérique ont dû être détruits. Ces ouvrages avaient été largement dimensionnés à l'époque, et leur destruction a nécessité de lourds moyens de démolition (photo 8).

Au total, ce sont près de 2 500 m³ de béton armé qui auront été démolis et évacués. □

8- Deux BRH ont été nécessaires pour venir à bout d'une ancienne fondation.

8- Two hydraulic rock breakers were needed to demolish an old foundation.

ABSTRACT

T3 TRAMWAY, LADOUMÈGUE STADIUM: RETAINING WALL FOR THE PARIS RING ROAD

GUILLAUME DOUHÉRET - ALEXANDRE BEAUVILLAIN, SOLÉTANCHE BACHY

The construction of the T3 tramway around Paris required the creation of a tram maintenance and storage facility, and a new service track.

The works, awarded to the Solétanche Bachy consortium, required difficult connection operations. Major human and material resources were deployed in order to deliver the project on schedule. □

TRANVÍA T3, ESTADIO LADOUMÈGUE: EL MURO DE CONTENCIÓN DE LA VÍA DE CIRCUNVALACIÓN DE PARÍS

GUILLAUME DOUHÉRET - ALEXANDRE BEAUVILLAIN, SOLÉTANCHE BACHY

La construcción del tranvía T3 alrededor de París ha precisado la creación de instalaciones de mantenimiento y de depósito de material, así como una nueva vía de servicio. Los trabajos, encargados a la agrupación Solétanche Bachy, han obligado a ejecutar delicadas operaciones de conexión. Importantes medios humanos y materiales fueron movilizados con objeto de entregar el proyecto en los plazos impartidos. □

COMPACTAGE DYNAMIQUE HAUTE ÉNERGIE SUR LE SITE DE GIVORS

AUTEURS : STÉPHANE BRÛLÉ, MÉNARD, DIRECTEUR DE L'AGENCE RHÔNE-ALPES-AUVERGNE - DAVID ECHARD, RESPONSABLE TRAVAUX DE L'AGENCE RHÔNE-ALPES-AUVERGNE - EMMANUEL JAVELAUD, GILLIAN ERBEJA ET CAROLINE LABIE, INGÉNIEURS TRAVAUX DE L'AGENCE RHÔNE-ALPES-AUVERGNE

LA REQUALIFICATION DES SITES INDUSTRIELS OU L'EXPANSION DES ZONES URBANISÉES SUR LES TERRAINS REMBLAYÉS IMPOSE LA CARACTÉRISATION DE SOLS HÉTÉROGÈNES ET ÉVOLUTIFS ET LA PRISE EN COMPTE DU PASSIF ENVIRONNEMENTAL DU SITE. LES TECHNIQUES MÉNARD PRÉVUES POUR L'AMÉLIORATION DES SOLS SUPPORTS DE FONDATIONS APPORTENT AUSSI UNE SOLUTION POUR CES PROJETS D'AMÉNAGEMENT. DANS LE CAS DU CHANTIER RÉALISÉ EN COMPACTAGE DYNAMIQUE HAUTE ÉNERGIE SUR L'ANCIENNE VERRERIE DE LA ZAC VMC À GIVORS (RHÔNE), UN SAVOIR-FAIRE UNIQUE DANS LA GESTION DES VIBRATIONS A ÉTÉ MIS EN ŒUVRE PAR LES ÉQUIPES DE MÉNARD.

UN HÉRITAGE FONCIER DIFFICILE À AMÉNAGER

Dans un contexte de lutte contre l'étalement urbain et de promotion des villes durables, la réhabilitation des friches industrielles a été identifiée comme un élément essentiel lors du Grenelle de l'Environnement (loi du 3 août 2009). Les maîtres d'ouvrage et les organismes qui mettent en œuvre des politiques foncières publiques pour l'acquisition de terrains en vue de faciliter la production d'habitat et le développement économique des territoires peuvent être confrontés à un héritage foncier difficile à traduire en termes d'aménagement.

La requalification d'anciens sites industriels ou l'expansion des zones urbanisées sur les terrains jadis voués à un usage moins « noble » (décharges des ordures ménagères, carrières ou gravières remblayées avec des matériaux de démolition issus du BTP, zones humides, etc.) impose parfois une double analyse : caractérisation physique et mécanique des sols destinés à accueillir le projet, et prise en compte du passif environnemental sous forme de risques sanitaires.

UN CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE EN ÉVOLUTION

Les friches industrielles polluées en zone urbaine représenteraient une surface de plusieurs dizaines de milliers d'hectares en France. Or les coûts élevés de dépollution (plus d'un million d'euros par hectare pour les sites les plus dégradés) constituent un frein pour les projets d'aménagement. Certaines parcelles présentent également des sols peu propices à la réalisation de fondations classiques superficielles. Ces sols offrent de faibles caractéristiques mécaniques : faible portance et/ou forte compressibilité sous la charge apportée par les projets.

Pour les sites à passif environnemental, la démarche du donneur d'ordre n'est pas facilitée par un contexte réglementaire en évolution, caractérisé de surcroît par des textes implicitement en interaction. Aucune législation n'encadre le domaine des sols pollués, ni en France, ni en Europe, et la question des terres excavées reste majeure. Leur statut juridique varie d'un pays à l'autre. L'Europe les considère comme des déchets (tout comme la France), mais laisse les États membres apprécier

«
**LA RÉHABILITATION
DES FRICHES
INDUSTRIELLES
A ÉTÉ IDENTIFIÉE
COMME UN
ÉLÉMENT
ESSENTIEL LORS
DU GRENELLE DE
L'ENVIRONNEMENT**
»

la situation. Les terres polluées ne bénéficient d'ailleurs pas de définition officielle. En pratique, les acteurs français se réfèrent à la définition des « terres inertes » de l'arrêté du 15 mars 2006, qui découle lui-même d'une directive européenne.

Spécialisé dans l'amélioration mécanique des sols pour les projets de fondations d'ouvrages, Ménard est souvent confronté à des sites impactés par des pollutions, notamment en zone urbaine. Les techniques qui ont fait la renommée internationale de l'entreprise, comme le compactage dynamique haute énergie (HDC), trouvent une application directe dans ce contexte (photo 1).

Les interventions concernent des projets d'aménagement prévus sur d'anciens sites industriels pour lesquels la pollution des sols ne conduit pas à un risque sanitaire incompatible avec l'occupation du site par les usagers. Il s'agit le plus souvent de projets de logements ou de bureaux. Dans le cadre de projets très encadrés, Ménard recourt à des techniques de confinement de sols pollués ou de stabilisation dans la masse, ce qui permet de rendre « réaliste » le coût de l'aménagement. ▶

LE SITE DE L'ANCIENNE VERRERIE DE LA ZAC VMC À GIVORS

Sur cet ancien site industriel de 8,5 ha autrefois réputé pour sa production de verre, une zone d'activité économique verra bientôt le jour. Elle comprendra trois axes de développement : activité automobile, tertiaire et industrielle (ou équipement public culturel). Il s'agit du futur pôle économique Rhône-Gier.

En tant qu'aménageur de la ZAC, la Ville de Givors, via la SEM Givors développement, a acquis les terrains auprès d'Epura (établissement public foncier de l'ouest Rhône-Alpes) pour assurer la commercialisation des parcelles à bâtir.

TABLEAU 1 : CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES SOLS

Lithologie	Épaisseur	E_m (MPa)	P_r^* (MPa)	q_c (MPa)
Remblais hétérogènes à dominante granulaire	7 à 15 m	7	0.5	5
Alluvions sablo-graveleuses	> 30 m	> 20	> 2	>> 10

E_p : module pressiométrique Ménard
 p_r^* : pression limite nette
 q_c : effort de pointe au pénétromètre statique

L'opération visait à réhabiliter cet ancien site industriel, et à insuffler le dynamisme d'un pôle d'activité moderne au cœur d'une ville au passé industriel plus que centenaire.

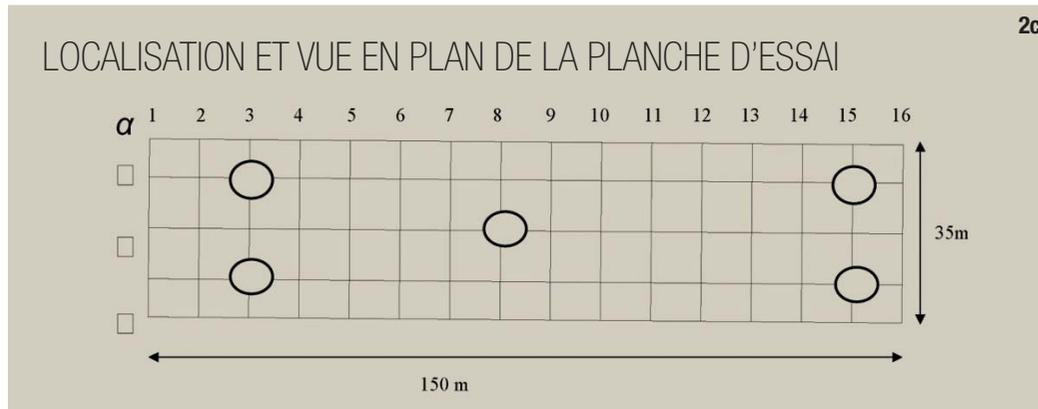
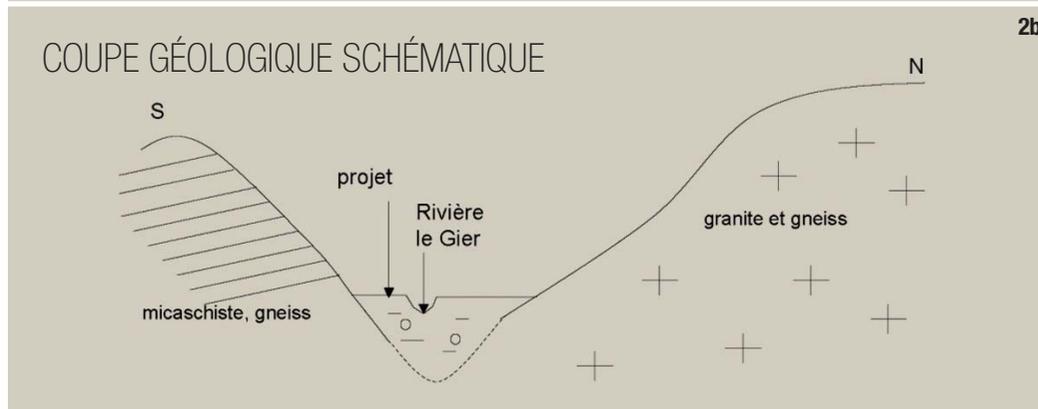
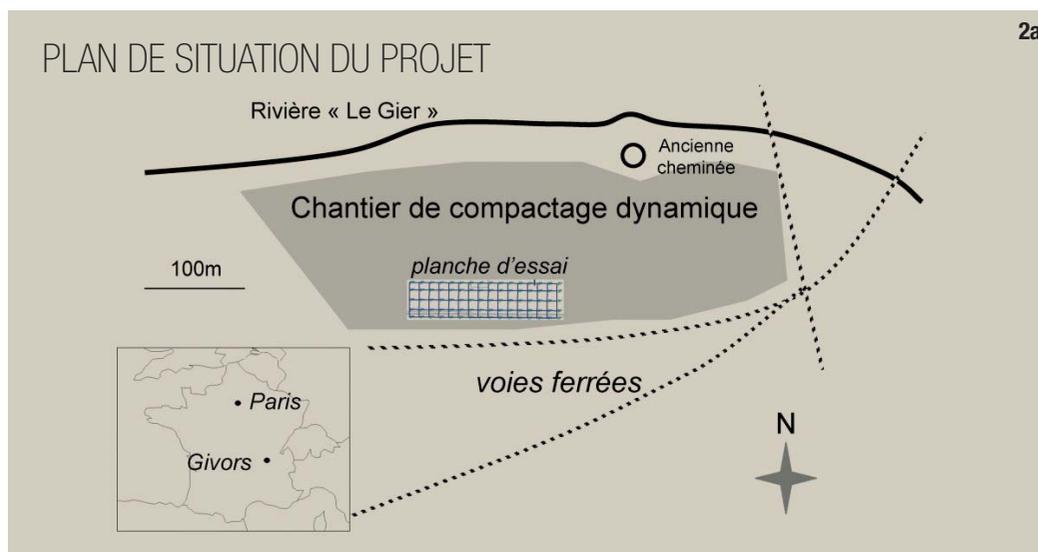
CONTEXTE GÉOTECHNIQUE

Le maître d'ouvrage a retenu la technique du compactage dynamique haute énergie (HDC™) développée par Ménard pour répondre à la double problématique

de sols présentant des caractéristiques mécaniques faibles (tableau 1) et un impact environnemental hérité de l'activité industrielle historique.

Le programme d'amélioration de sol résidait dans le compactage dynamique haute énergie pour améliorer 7 à 15 m de remblais reposant sur les alluvions sablo-graveleuses du Gier.

Le substratum géologique sous-jacent est granitique et/ou métamorphique (figure 2), avec une localisation de son toit à plus de 30 m de profondeur par rapport à la surface. Le niveau de la nappe se situe 5 à 6 m sous la surface d'origine du terrain.



2a- Plan de situation du projet.

2b- Coupe géologique schématique incluant la localisation du projet.

2c- Localisation et vue en plan de la planche d'essai. Les cinq cercles indiquent la position où les essais au pénétromètre statique ont été réalisés avant et après compactage dynamique.

2a- Site plan of the project.

2b- schematic geological cross section including the project location.

2c- location and plan view of the test section. The five circles indicate the location in which the static penetrometer tests were performed before and after dynamic compaction.

Le sol contenait soit de nombreux vestiges de fondations avec empiement des structures en béton, soit des vides (galeries et salles souterraines), soit d'importantes zones de remblais où se trouvait jadis une darse. Dans ces conditions, le recours à un mode généralisable de fondation ne pouvait être envisagé. Par ailleurs, la réhabilitation du site est régie par un arrêté préfectoral instituant des servitudes d'utilité publique : interdiction des fouilles de plus de 2 m de profondeur dans certaines zones (préservation de la nappe du Gier), de transferts non contrôlés des sols, etc. Pour respecter les termes

de cet arrêté et l'objectif de fondations superficielles, les aménageurs ont retenu le compactage dynamique conjugué à une purge sélective en profondeur des vestiges en béton.

AUSCULTATION ET ESSAIS DE RÉCEPTION

Une auscultation particulièrement dense a été menée, portant le nombre de signaux vibratoires analysés pendant le monitoring à plus de 2 500 unités pour la durée du chantier.

Les essais de réception pour les travaux de compactage dynamique ont consisté à réaliser plus de 60 points de test

au pressiomètre et au pénétromètre statique. La classe d'arase terrassement livrée à l'issue du compactage dynamique est de type AR2 selon le GTR92 : $EV_2 > 50$ MPa. L'essentiel de la surface à compacter a été traité en près de deux mois, avec deux ateliers de compactage dynamique en poste simple.

IDENTIFICATION ET GESTION DES VIBRATIONS

De nombreux sites industriels en périphérie urbaine posent aujourd'hui de réelles questions environnementales et techniques en termes de réhabilitation

et d'aménagement, car ils se situent à proximité d'infrastructures et imposent de fortes contraintes liées à leur historique. Au cœur du centre urbain de Givors, la ZAC VMC est entourée d'ouvrages sensibles exigeant une attention particulière : voies ferrées et ouvrages d'art de la SNCF jouxtent le projet sur ses côtés sud et est, tandis qu'une ancienne cheminée d'usine plus que centenaire, devenue patrimoine historique de la ville, se trouve à son abord immédiat côté nord (figure 2 et photo 3). L'enjeu consistait à réaliser les travaux en toute sécurité à une distance de parfois seulement 10 m des ouvrages.

La démarche Ménard de gestion des vibrations (figure 4) permet une parfaite intégration des travaux de compactage dynamique dans leur environnement. Elle débute le plus en amont possible par l'identification des structures avoisinantes, l'estimation réaliste des niveaux de vibration auxquelles ces dernières seront soumises, et la confrontation des niveaux de vibration estimés aux seuils de vibration réglementaires. Pour les projets les plus complexes, l'utilisation de lois d'atténuation spécifiques déterminées dans des contextes similaires et obtenues par la base de données mondiale de Ménard permet une estimation plus fine des niveaux de vibration au stade des pré-études, et un meilleur conseil pour nos clients.

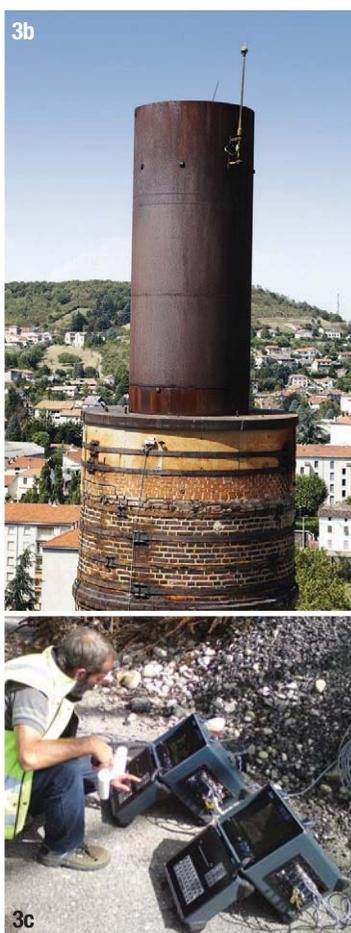
Une fois la faisabilité acquise, la démarche se décompose en plusieurs étapes, combinant jalons techniques et information ouverte auprès des intervenants du projet et des concessionnaires des ouvrages mitoyens.

Tout d'abord, Ménard a déterminé la loi d'atténuation des vitesses particulières propre au site.

Puis des études spécifiques ont été réalisées à proximité des ouvrages pour déterminer les dispositions à prendre. Ce sont, entre autres, une limitation progressive de l'énergie de compactage mise en œuvre et la réalisation de tranchées anti-vibratiles. Un système de mesure et d'acquisition a enregistré les vibrations au niveau de nombreux géophones placés à demeure pendant la durée des travaux, permettant le renseignement permanent du personnel du chantier dans le but de respecter les seuils réglementaires ou spécifiques de la SNCF.

DIVERSIFIER LES TRAVAUX

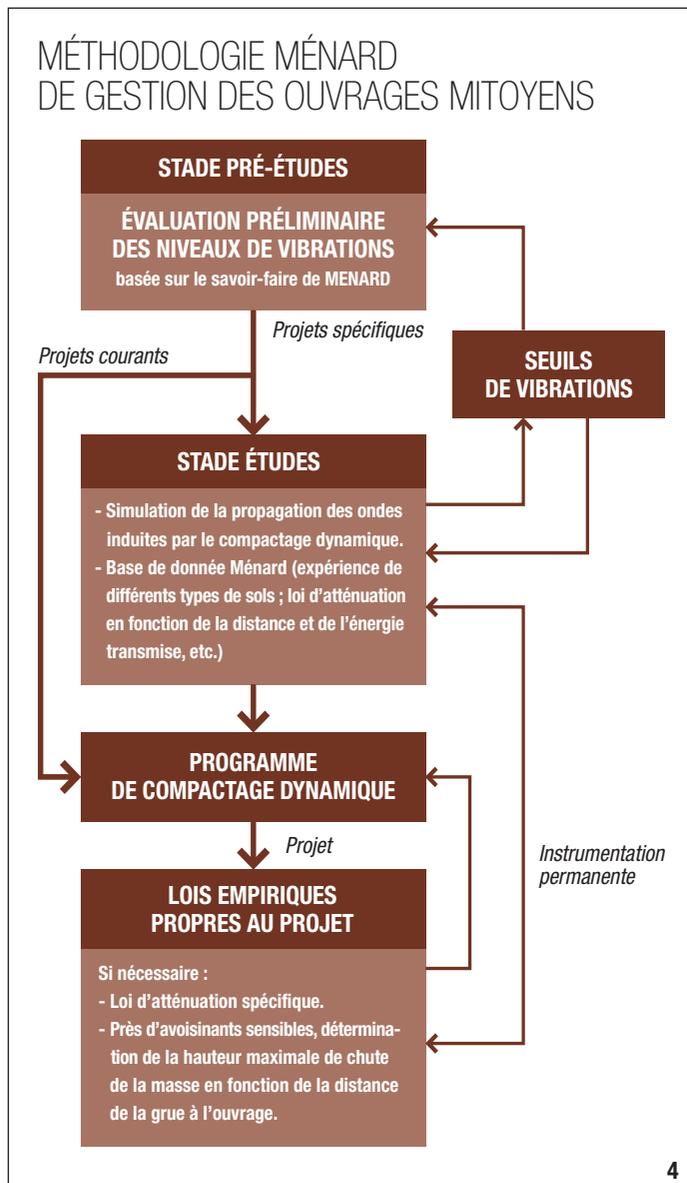
La réhabilitation des friches industrielles et le coût associé amènent les concepteurs à diversifier la gamme de travaux ▷



3a, b & c- Pose de velocimètres avec la nacelle grande hauteur sur la cheminée-réservoir de 50 m de haut.

3a, b & c- Installation of velocimeters with the very high work platform on the vertical tank 50 m high.

MÉTHODOLOGIE MÉNARD DE GESTION DES OUVRAGES MITOYENS



4- Méthodologie Ménard de gestion des ouvrages mitoyens.

4- Ménard methodology for management of adjoining structures.

envisageables pour composer avec les caractéristiques mécaniques des sols et l'éventuel passif environnemental du site. Les techniques d'amélioration mécanique des sols comme le compactage dynamique apportent une sérieuse contribution dans ce domaine. □

Références bibliographiques

Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement.

Brûlé S., Javelaud E. H., Liausu Ph. (2010) « Theoretical dynamic response analysis of a work site improved by means of heavy soil dynamic compaction », 15^e European conference on soil

mechanics and geotechnical engineering, 2011, Athina, Greece. Abstract submitted.

Brûlé S., Javelaud E. H., Meneveau P. (2010) « Réhabilitation de friches industrielles et techniques Ménard d'amélioration de sol », Journées nationales de géotechnique et de géologie de l'ingénieur JNGG2010, 7 au 9 juillet 2010, Grenoble, France.

Brûlé S., Javelaud E. H., Ohmachi T., Nakamura Y. and Inoue S. (2010) « H/V method used to qualify the modification of dynamic soil characteristics due to ground improvement work by means of heavy compaction process. A case study: the former Givors's glass factory area », 7th International conference on urban earthquake engineering and 5th International conference on earthquake engineering, 3-5 mars 2010, Tokyo, Japon.

Brûlé S., Javelaud E., Erbeja G. (2010) « Friches industrielles et amélioration de sol ». Environnement et Technique. N°296 – pp 44-48.

LE CHANTIER EN QUELQUES CHIFFRES

CHIFFRE D'AFFAIRES (COMPACTAGE DYNAMIQUE, PURGE ET DÉMOLITION) : 2,2 millions d'euros

SURFACE TRAITÉE : 60 000 m²

MATÉRIAUX AMÉLIORÉS PAR COMPACTAGE DYNAMIQUE : 600 000 m³

TASSEMENTS MESURÉS APRÈS COMPACTAGE DYNAMIQUE : de 20 à 100 cm

ABAISSEMENT DE LA PLATE-FORME SUITE AU COMPACTAGE DYNAMIQUE : 35 500 m³

ÉNERGIE DE COMPACTAGE MAXIMALE DÉPLOYÉE : 650 t.m.
Les caractéristiques mécaniques (p^* , q_c) des sols atteignent au moins deux fois leur valeur initiale.

DISTANCE MINIMALE DU COMPACTAGE PAR RAPPORT AU VIADUC SNCF EN MAÇONNERIE : 10 m

INTERVENANTS DU PROJET

MAÎTRISE D'OUVRAGE : Givors développement et Epora

ASSISTANTS À MAÎTRISE D'OUVRAGE : Safège et Geosan

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Icab

BUREAU DE CONTRÔLE : Dekra

ENTREPRISES : Ménard (compactage dynamique - mandataire) et Bonnard (démolition et terrassement)

ABSTRACT

HIGH ENERGY DYNAMIC COMPACTION ON THE GIVORS SITE

STÉPHANE BRÛLÉ, MÉNARD - DAVID ECHARD - EMMANUEL JAVELAUD

The renovation of industrial sites and the expansion of urban areas on backfilled land require characterisation of heterogeneous and evolving soils and allowance for the environmental liabilities of the site. The Ménard techniques designed for the improvement of foundation supporting soil also provide a solution for such development projects. In the case of the project carried out by high energy dynamic compaction on the site of the former glass factory in the VMC «ZAC» mixed development zone at Givors (Rhône region of France), unique expertise in vibration management was employed by the Ménard teams. □

COMPACTACIÓN DINÁMICA DE ALTA ENERGÍA EN LAS INSTALACIONES DE GIVORS

STÉPHANE BRÛLÉ, MÉNARD - DAVID ECHARD - EMMANUEL JAVELAUD

La reclasificación de las instalaciones industriales o la ampliación de las zonas urbanizadas en los terrenos rellenados impone la caracterización de suelos heterogéneos y evolutivos así como la integración del pasivo medioambiental del emplazamiento. Las técnicas Ménard previstas para el mejoramiento de los suelos soportes de cimentaciones aportan además una solución para estos proyectos de ordenación. Situándose en el caso de la obra realizada en compactación dinámica de alta energía en la antigua fábrica de vidrio de la ZAC VMC en Givors (Ródano), se ha puesto en obra los conocimientos técnicos específicos para la gestión de las vibraciones por parte de los equipos de Ménard. □

LIGNE 4 DU MÉTRO PARISIEN : INJECTIONS DE TRAITEMENT EN TUNNEL

AUTEUR : NICOLAS LAUNAY, CONDUCTEUR DE TRAVAUX, SEFI INTRAFOR

EN PARTIE SITUÉS SUR L'EMPRISE D'ANCIENNES CARRIÈRES, LES TRAVAUX DU LOT T2 DE LA LIGNE 4 DU MÉTRO PARISIEN ONT NÉCESSITÉ LA MISE EN ŒUVRE D'INJECTIONS DE CONFORTEMENT AFIN D'ÉVITER LES TASSEMENTS LORS DU PERCEMENT DE LA STATION MAIRIE DE MONTROUGE, RÉALISÉE EN TRADITIONNEL. CES PRESTATIONS COMPLÉMENTAIRES, ÉCHELONNÉES EN TROIS GRANDES CAMPAGNES PLANIFIÉES SUR UNE ANNÉE, ONT DÛ S'INSCRIRE DANS LE PLANNING GÉNÉRAL DU PROJET POUR NE PAS IMPACTER LE DÉLAI FIXÉ AU CHANTIER.



UN PROLONGEMENT SOUTERRAIN D'1,47 KM

En 2012, la ligne 4 du métro (Porte d'Orléans-Porte de Clignancourt), mise en service entre 1908 et 1910, quittera Paris intra muros pour relier Montrouge à la capitale. Le prolongement souterrain d'1,47 km nécessite de déplacer 150 000 m³ de matériaux. Le projet, qui

représente un investissement global de 169,119 millions d'euros, est décomposé en deux marchés : les 647 m du lot T1 qui, via la station Porte d'Orléans, permettra de franchir le périphérique, et les 800 m du lot T2, situés sur la commune de Montrouge, qui comprend la réalisation de la future station Mairie de Montrouge (90 m de longueur), ainsi

**1- Forage
en galerie.**

**1- Drilling
in gallery.**

que les ouvrages techniques (tunnels d'arrière-garde, poste de redressement) situés dans son prolongement, en direction de Bagneux.

UN SITE JALONNÉ PAR DE NOMBREUSES CARRIÈRES

Contrairement au lot T1, essentiellement creusé par prédécoupage mécanique,

les travaux du T2 s'effectuent en traditionnel, par l'intermédiaire de petites pelles électriques Brokk. La station est réalisée à partir de deux attaques distinctes : une au nord, à hauteur du parvis de l'église Saint-Jacques-le-Majeur, sur la place Emile-Cresp, la seconde à partir du futur accès situé place du Général-Leclerc. C'est lors du creusement du puits Leclerc (profondeur 25 m) que se sont manifestés les premiers tassements superficiels, et ce en dépit des travaux de confortement qui avaient été préalablement réalisés au niveau des nombreuses carrières désaffectées et inaccessibles (probablement ouvertes il y a deux siècles, lors de l'extension de Paris) qui jalonnent le tracé du projet.

Les études menées suite à ces désordres ont abouti à la conclusion que les opérations de consolidation des piliers existants et de remplissage des cavités, au moyen de béton coulé en place, n'ont pas empêché la décompression des terrains au-dessus de l'horizon calcaire. D'où la décision de traiter par des injections l'ensemble de la zone concernée, à savoir la moitié sud de la station, afin de permettre le percement en toute sécurité du tunnel voûté (13,50 m d'ouverture) constituant la future station. Ces travaux d'injection ont été entièrement sous-traités à Sefi Intrafor, entreprise du Pôle fondation du groupe Fayat. Cela a engendré un an de travaux supplémentaires avec, pour difficulté principale, l'obligation de ne pas impacter les délais du projet. Un planning « tiroir » complexe a dû être élaboré en raison des méthodologies de percement mises en œuvre.

COULIS À FORMULATION VARIABLE

La première campagne d'injection, qui a duré deux mois, s'est déroulée depuis la dalle intermédiaire, située à 10 m de profondeur, plancher haut sur lequel viendront s'accrocher les futures rampes d'escalier desservant la station. L'idée consistait à traiter cette première partie de galerie en plongeant dans le terrain correspondant sans perturber l'activité (marinage et descentes d'engins) du groupement d'entreprises qui, plus bas, au niveau du radier, réalisait les travaux d'attaque du tunnel d'arrière-garde.

Cette intervention, effectuée avec deux foreuses MC600 Comacchio, a nécessité le percement de 400 forages répartis sur 39 auréoles, elles-mêmes décomposées en auréoles primaires et secondaires pour éviter tout risque



de décompression du terrain. Soit, au final, un linéaire de 7 292 m, alors que la longueur des forages oscillait entre 3 et 32 m et que leur inclinaison variait de + 55 à - 42 ° par rapport à l'horizontale. Les contraintes environnementales du chantier, situé en plein centre-ville, ont obligé à travailler en poste de 7 h à 21 h.

2, 3 & 4- Forage en galerie.

2, 3 & 4- Drilling in gallery.

Notons que la composition du coulis de bentonite-ciment a dû être adaptée suivant le type d'anomalies rencontrées au forage et la nature des horizons géologiques (marnes et caillasses, calcaire grossier), pour garantir une imprégnation optimale des micro-fissures du terrain. La technique de forage air comprimé-mousse, qui avait été retenue, a également dû être modifiée en raison du fort taux de poussière, et ce en dépit du système de ventilation par extracteurs qui était généré par deux machines de type thermique, concentrées sur un espace réduit d'environ 10 x 10 m.

AUSCULTATIONS EN TEMPS RÉEL

Le passage à la technique eau, qui avait été initialement délaissée, a dû être validé par la maîtrise d'œuvre. Cette technique présentait en effet le risque d'entraîner les fines présentes dans le terrain, et donc des tassements complémentaires durant les forages. Un système d'auscultation constitué d'un théodolite venant viser des cibles topographiques réparties sur le bâti existant (immeubles, mobilier urbain, voirie) a été positionné en surface, l'ensemble des cibles étant balayé selon un cycle d'une heure. L'appareil, relié à un PC central, était ainsi capable d'éditer des rapports en temps réel. Des missions de contrôle visuel étaient effectuées en parallèle au niveau du collecteur (dévié durant le chantier) situé sous l'avenue de la République, ainsi que dans les caves des immeubles mitoyens.

Le système d'instrumentation, également couplé à la centrale d'injection huit points (Cinaut), était par ailleurs capable de stopper automatiquement la phase d'injections en cas de soulèvement intempestif par effet vérinage, le seuil de coupure étant fixé à 9 mm. Si la valeur atteignait 5 mm, une alarme se déclenchait. Le soulèvement était ensuite analysé et les points d'injection éventuellement déplacés ou adaptés, un premier seuil d'observation sans alarme ayant été établi à 3 mm.

Dans la pratique, de très légers tassements ont été observés durant les forages. Les valeurs atteintes étaient compensées lors des injections, et le soldé de l'intervention s'est traduit par des résultats cumulés quasi nuls.

Fort de ces mesures en vraie grandeur, la technique à l'eau a été étendue par la suite à l'ensemble des travaux.

UN PHASAGE CRITIQUE

Le traitement de la galerie proprement dite s'est déroulé en trois plots de 20 m. ▷



Un recouvrement de 5 m était prévu avec les terrassements, les linéaires totaux de forage (longueur 4 à 21 m) étant respectivement de 1 205 m (10 auréoles de 84 forages à des angles + 32 à - 18 ° par rapport à l'horizontale), 1 293 m (12 auréoles de 95 forages de + 32 à - 23 °) et 1 384 m (12 auréoles de 98 forages de + 32 à - 23 °). Dans certaines zones, l'emploi d'un coulis épais rigidifié a été nécessaire pour éviter des pertes trop importantes, tout comme la mise en œuvre de tubes à manchette.

Cette phase, d'un peu plus de trois mois, s'est donc déroulée sur trois intervalles échelonnés entre le 21 septembre 2009 et le 8 janvier 2010, les travaux étant réalisés, eu égard à l'étroitesse de la galerie (4 x 4 m), à l'aide d'une seule machine.

Une fois la galerie tassée, des forages rayonnants ont été exécutés en remontant vers le puits afin de traiter l'ensemble du volume de la future station (voir encadré : Une station de grande ouverture). Les travaux étaient répartis en 12 auréoles primaires et 11 auréoles

secondaires pour des linéaires respectifs de 2 426 m (265 forages de 4 à 17 m inclinés de - 5 à 190 °) et 2 186 m. Cette troisième phase, la plus importante puisqu'elle concernait toutes les couches de terrain, a nécessité un phasage très particulier dans des contraintes de concentration en matériels assez inédites. Étant donné

les délais, il fallait faire intervenir le plus rapidement possible les équipes d'injection à l'arrière des deux foreuses. Dans la pratique, les valeurs moyennes d'avancement ont été de 75 m par poste et par machine au niveau des foreuses, et de 70 m³/jour pour les injections, les journées record s'établissant à 300 ml de forage. □

5- Forage en galerie, plot 1 - vue d'ensemble.
6- Terrassement avec visualisation des veines de coulis.

5- Drilling in gallery, block 1 - general view.
6- Earthworks with view of grout veins.

INTERVENANTS

MAÎTRE D'OUVRAGE : RATP

MAÎTRE D'ŒUVRE ET OPC : Xelis

CONTRÔLE TECHNIQUE : Norisko

COORDONNATEUR SPS : RATP

ENTREPRISES : Groupement Razel (mandataire), Bilfinger Berger, Sefi Intrafor (travaux d'injection)

DURÉE DES TRAVAUX : 30 mois

UNE STATION DE GRANDE OUVERTURE

Compte tenu de la géologie délicate et du diamètre d'ouverture important (13,50 m) qui caractérise le tunnel en voûte de la station, les travaux de creusement de l'ouvrage ont été réalisés en plusieurs phases. Tout d'abord, la galerie de culée (section 4 x 4 m) a été traitée par injections. Les terrassements étaient effectués par des petites machines électriques Brokk, par avancées de 15 m, une fois la phase correspondante d'injections achevée. Chacune permettait de traiter 20 m de terrain, un recouvrement de 5 m étant prévu entre chaque passe. Des cintres HEB ont été posés à l'avancement, tous les 1,20 à 1,40 m, avec mise en œuvre de béton projeté. Une fois les 45 m de galerie terminés, c'est tout le volume de la future station qui a été traité, par injections latérales, avec deux machines se déplaçant depuis le fond et la mi-galerie en direction du puits Leclerc.

ABSTRACT

LINE 4 OF THE PARIS METRO: GROUT INJECTION TREATMENT IN TUNNEL

NICOLAS LAUNAY, SEFI INTRAFOR

Due to the existence of former quarries on the project alignment, grout injection treatment was needed to prevent surface settlement during earthworks. These operations, which were carried out in three major phases spread over one year, had to fit in with the overall work schedule so as not to impact the final deadline. Drilling was performed with water, after discarding the compressed air foam solution, unsuitable for the extremely dusty environment of the site. A real-time instrumentation system was installed to check that there was no risk of induced surface settlement. This system, coupled to the concrete mixing plant, was capable of cutting off grout injection automatically in the event of a risk of uplift exceeding the initially determined values. The works required a high concentration of machinery in a restricted space, and very precise scheduling so that the drilling and injection works would fit in as well as possible with the civil engineering work. □

LÍNEA 4 DEL METRO DE PARÍS: INYECCIONES DE TRATAMIENTO EN TÚNEL

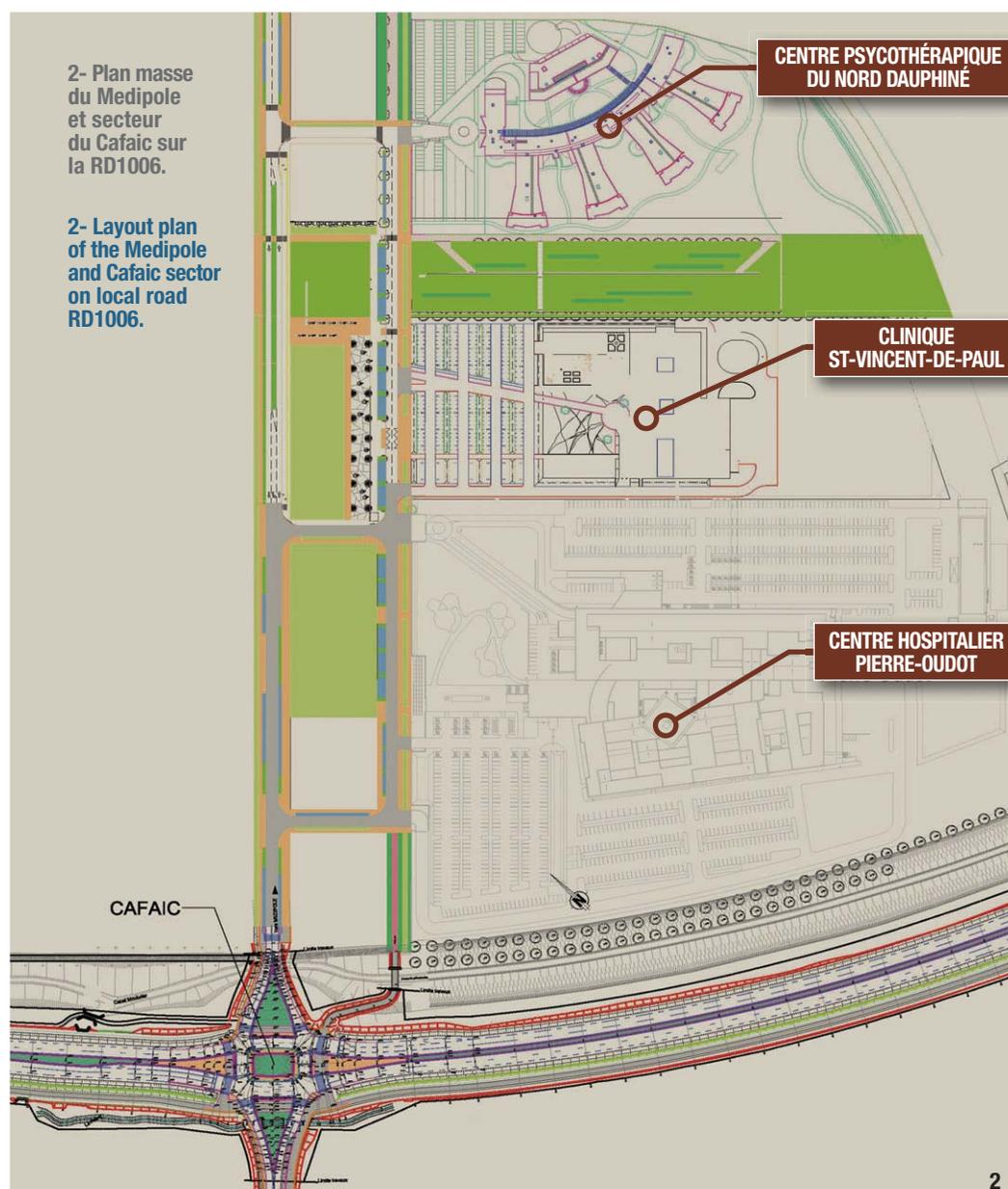
NICOLAS LAUNAY, SEFI INTRAFOR

La presencia de antiguas canteras en el trazado del proyecto ha precisado la puesta en obra de inyecciones de tratamiento para evitar los hundimientos en superficie en el momento de los trabajos de movimiento de tierras. Estas intervenciones, que se han desarrollado en tres grandes etapas repartidas en un año, tuvieron que inscribirse en la planificación general de los trabajos con objeto de no impactar los plazos globales. Las perforaciones fueron ejecutadas mediante agua, después del abandono de la solución aire comprimido-espuma, inadaptada para el entorno particularmente polvoriento de la obra. Se ha instalado un sistema de instrumentación en tiempo real con el objetivo de comprobar la inexistencia de cualquier riesgo de hundimiento provocado en la superficie. Este dispositivo, acoplado con la central, tenía la capacidad de cortar automáticamente las inyecciones en caso de riesgo de levantamiento que supere los valores inicialmente determinados. Los trabajos han requerido una gran concentración de maquinarias, en un espacio restringido, y una planificación sumamente precisa para que las perforaciones y las inyecciones se integren lo mejor posible en los trabajos de ingeniería civil. □

FONDATEMENTS SPÉCIALES SUR LE SITE MEDIPOLE DANS L'ISÈRE

AUTEUR : JÉRÔME GRIPPON, CHARGÉ D'AFFAIRES, FRANKI FONDATION

DE NOMBREUSES TECHNIQUES DE FONDATIONS SPÉCIALES ONT ÉTÉ MISES EN ŒUVRE SUR LE SITE DU MEDIPOLE DANS LA ZAC DE LA MALADIÈRE À BOURGOIN-JALLIEU (38). FRANKI FONDATION A RÉALISÉ LES RENFORCEMENTS DE SOLS POUR LE CENTRE PSYCHOTHÉRAPIQUE NORD-DAUPHINÉ ET LES FONDATIONS PROFONDES DU NOUVEAU CENTRE HOSPITALIER PIERRE-LOUDOT. L'ENTREPRISE RÉALISE ACTUELLEMENT DES RENFORCEMENTS DE SOLS SUR LE NOUVEAU CARREFOUR À FEU D'ACCÈS AU SITE DU MEDIPOLE.



RECONSTRUCTION DE TROIS ÉTABLISSEMENTS SANITAIRES

Dans le cadre du plan hôpital 2007, l'Agence régionale d'hospitalisation Rhône-Alpes a décidé de promouvoir la construction du Medipole sur la commune de Bourgoin-Jallieu (38), suite à une réflexion concertée avec les établissements publics et privés du Nord-Isère. Le Medipole consiste à reconstruire, sur un site d'une vingtaine d'hectares, trois établissements sanitaires existants : le centre hospitalier Pierre-Oudot, la clinique Saint-Vincent-de-Paul et le centre psychothérapeutique du Vion. Les terrains ont été mis à disposition par la ville de Bourgoin-Jallieu et la communauté d'agglomération Porte de l'Isère (Capi).

Des travaux d'aménagement des voies d'accès au Medipole ont été entrepris, et une mise à 2 x 2 voies de la RD1006 sur la section de la Maladière est en cours de réalisation par le conseil général de l'Isère (figure 3).

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Le site de la ZAC de la Maladière est marqué par la présence d'alluvions fluviatiles post-würmiennes à dominante argilo-tourbeuse masquant des alluvions fluvio-glaciaires du Würm à dominante sablo-graveleuse.

Il s'agit d'un ancien marais plus ou moins asséché, où la nappe phréatique se situe à faible profondeur.

Le site se trouve en zone de sismicité la (sismicité très faible mais non négligeable), selon le nouveau zonage sismique de la France établi par la délégation aux risques majeurs du ministère de l'Environnement.

Les sondages réalisés ont mis en évidence la succession lithologique suivante :

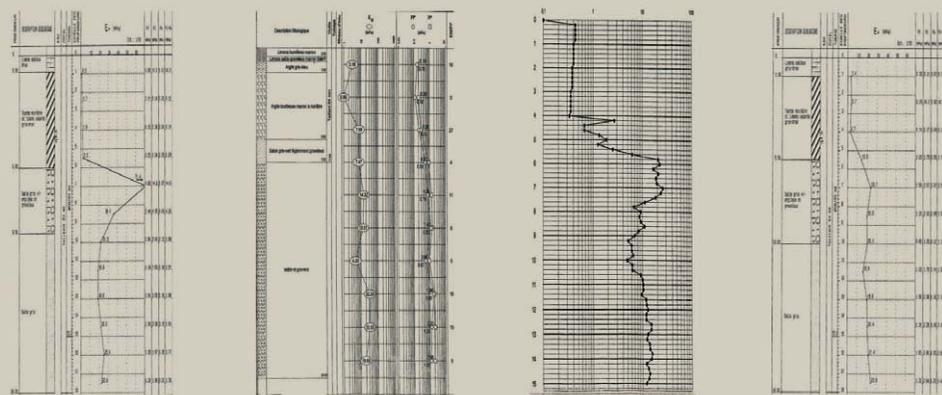
- Une couverture végétale argilo-limoneuse marron à noirâtre ;
- Des alluvions récentes assez hétérogènes constituées de trois ensembles principaux : alluvions à dominante argileuse, plastique, de couleur grise à bariolée, gris ocre et beige, de consistance molle à très molle et humide ; passées de tourbe franche de couleur brune à noire présentant à sa base des végétaux peu décomposés ; alluvions argilo-limoneuses à argilo-sableuses gris blanchâtre à verdâtre, humide et de consistance très molle ;
- Une grave sableuse compacte à très compacte présentant des passées sableuses fines, peu à moyennement compactes. L'horizon d'ancrage se situe à environ 6 m par rapport au terrain naturel (figure 4).

LE NOUVEAU CENTRE HOSPITALIER PIERRE-OUDOT

Le projet consiste à réaliser un bâtiment principal découpé en plusieurs zones (hébergement et technique), associé à un parvis d'accès, et un bâtiment énergie. Pour l'édification du bâtiment, six grues à tour étaient prévues. La cote du terrain naturel variait de 221.21 NGF à 222.13 NGF. La plate-forme de travail pour les engins de fondations spéciales avait été calée au niveau 221.23 NGF.



SONDAGES GÉOTECHNIQUES





8



9



10



11

3- Plan de situation.

4- Sondages géotechniques.

5, 6 & 7- Le chantier du nouveau centre hospitalier Pierre-Oudot.

8, 9, 10 & 11- Chantier du centre psychothérapeutique Nord-Dauphiné.

3- Location drawing.

4- Geotechnical boreholes.

5, 6 & 7- Construction site of the new Pierre-Oudot hospital centre.

8, 9, 10 & 11- Construction site of the Nord-Dauphiné psychotherapeutic centre.

PRINCIPAUX INTERVENANTS

NOUVEAU CENTRE HOSPITALIER PIERRE-LOUDOT

MAÎTRE D'OUVRAGE : Honoris

GROUPEMENT RÉALISATEUR : GFC construction, AGC Architecte

BET STRUCTURE : GES, Plantier

BET GÉOTECHNIQUE : Antea

BUREAU DE CONTRÔLE : Bureau Veritas

CENTRE PSYCHOTHÉRAPIQUE NORD-DAUPHINÉ

MAÎTRE D'OUVRAGE : fondation Georges-Boissel

ASSISTANT MAÎTRE D'OUVRAGE : Samop

MAÎTRISE D'ŒUVRE : Chabanne & partenaires

BET STRUCTURE : GETCI

BET GÉOTECHNIQUE : EG sol

BUREAU DE CONTRÔLE : Alpes contrôles

MISE À 2 X 2 VOIES DE LA RD1006

MAÎTRE D'OUVRAGE : conseil général de l'Isère

MAÎTRISE D'ŒUVRE : conseil général de l'Isère

GROUPEMENT RÉALISATION : Valerian, SOCAFL, PL. Favier

BET GÉOTECHNIQUE : EG sol

Afin de libérer des zones de travail pour l'entreprise de gros œuvre selon un phasage précis, Franki fondation a employé des moyens matériels importants. Une foreuse Llamada P200, une foreuse Soilmec CM70 et une foreuse Llamada P130 ont réalisé les pieux injectés à faible pression à la tarière creuse : 228 pieux de Ø 0,72 m, 138 pieux de Ø 0,82 m, 36 pieux de Ø 0,92 m et 129 pieux de Ø 1,02 m pour des profondeurs allant de 16 à 23 m. Ces foreuses ont été associées à deux grues de manutention permettant de mettre en œuvre les cages d'armature de grande longueur à l'aide de vibrofonceurs hydrauliques PTC.

Une foreuse Llamada P135 a réalisé les pieux Spire avec une tarière à refoulement (101 pieux de Ø 0,42 m, 39 pieux de Ø 0,52 m et 80 pieux de Ø 0,62 m pour des profondeurs allant de 8 à 12 m). À chaque foreuse était associée une pompe à béton et une pelle mécanique sur chenille.

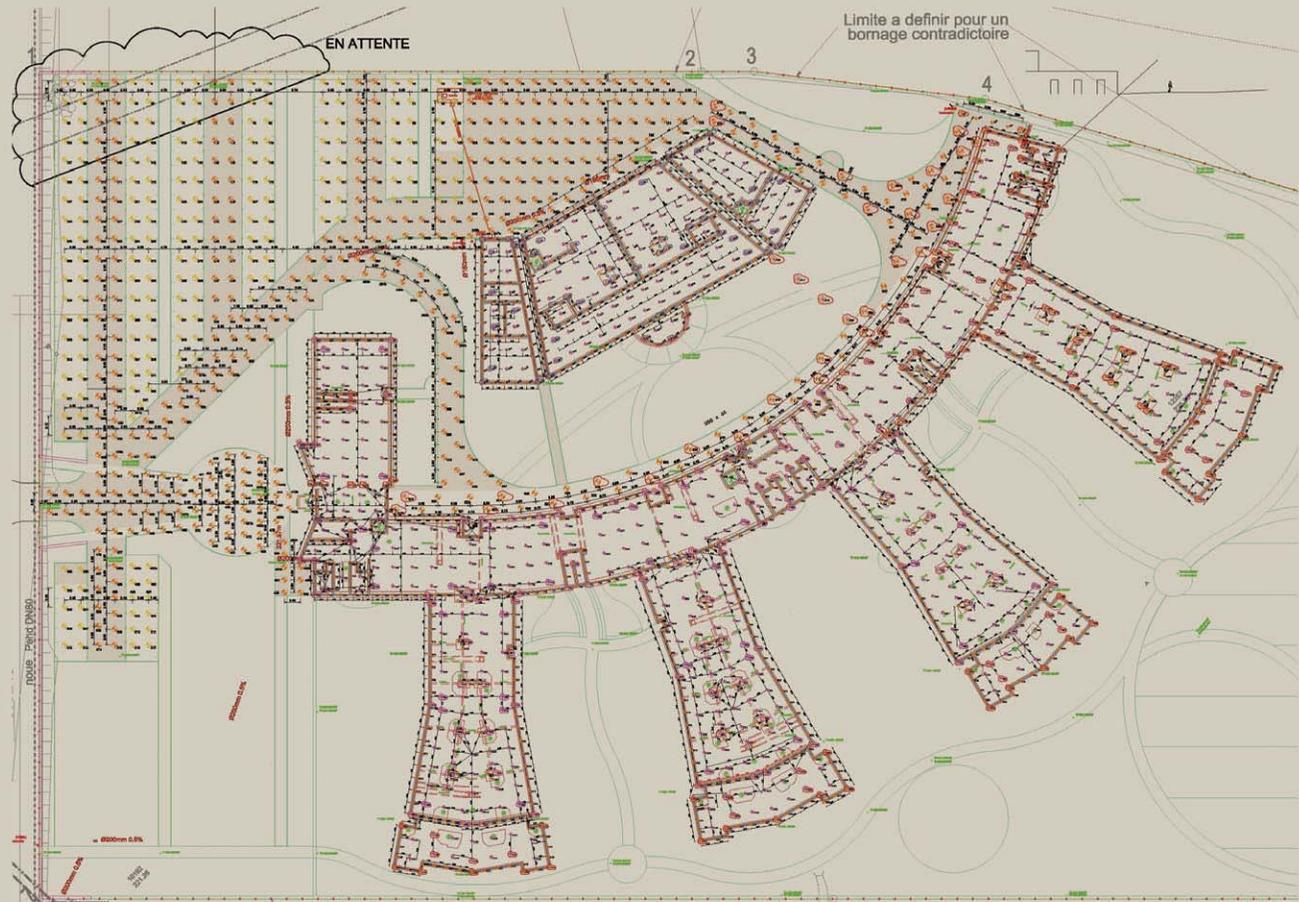
Un atelier d'assemblage des cages d'armature a été installé sur site afin de satisfaire à la spécificité des cages de grande longueur, dimensionnées selon les règles parasismiques PS92.

Pour permettre un approvisionnement optimal, les cages de longueurs inférieures à 16 m ont été livrées en un seul tenant par deux fabricants, et les parties de cages à assembler sur site pour les longueurs supérieures à 16 m ont été livrées par deux autres fabricants. Pour faciliter la mise en œuvre des cages d'armature de grande longueur, Franki fondation a mis au point, à l'aide de plusieurs centrales à béton, une formule spécifique de béton prêt à l'emploi proche d'un C30/37 D22 S5 XF1 CEM I.

Toutes les foreuses étaient équipées d'enregistreurs de paramètres de forage et de bétonnage de type Lutz ou Emparex pour fournir à l'avancement les fiches d'autocontrôle de l'ensemble des pieux. Des essais de contrôle par la méthode d'impédance mécanique, conformément aux prescriptions des normes NF P94-160-2 et NF P94-160-4, ont été réalisés pour un pieu sur dix. Une soixantaine de séries d'éprouvettes 16H32 a été confectionnée pour réaliser par série trois essais de résistance à la compression à sept jours et trois essais de résistance à la compression à 28 jours.

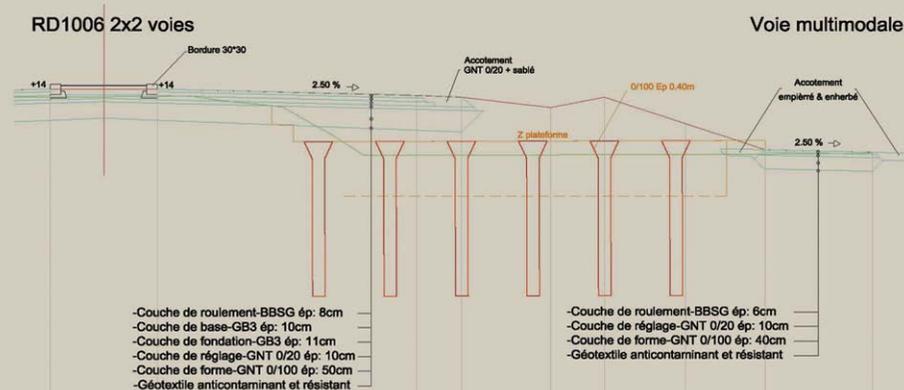
Dans le cadre de la réalisation d'un bâtiment complémentaire, Franki fondation a mis en œuvre une foreuse Soilmec SF70 pour exécuter des pieux injectés à faible pression à la tarière creuse (20 pieux de Ø 0,72 m de 15 m ▷

IMPLANTATION DES COLONNES SUR LE CHANTIER DU CENTRE PSYCHOTHERAPIQUE



12

PROFIL EN TRAVERS P9 DE LA SECTION COURANTE



13

12- Implantation des colonnes sur le chantier du centre psychothérapique.

13- Profil en travers P9 de la section courante.

14 & 15- Coupes de calculs Plaxis, section courante.

16, 17, 18, 19 & 20- Chantier de la mise à 2 x 2 voies de la RD1006.

12- Location of columns on the site of the psychotherapeutic centre.

13- Cross section P9 of the standard section.

14 & 15- Plaxis calculation sections, standard section.

16, 17, 18, 19 & 20- Construction site of the two-lane dual-carriageway on the RD1006 road.

de profondeur), et des pieux Spire à la tarière à refoulement (43 pieux de Ø 0,52 m et 40 pieux de Ø 0,62 m de 9 à 12 m de profondeur). Ces pieux ont également été armés toute hauteur selon les recommandations parasismiques PS92.

Les travaux de la première phase se sont déroulés entre le 11 février 2008 et le 30 avril 2008. Les travaux de la seconde phase se sont déroulés du

15 décembre 2008 au 23 janvier 2009 (photos 1, 5, 6 et 7).

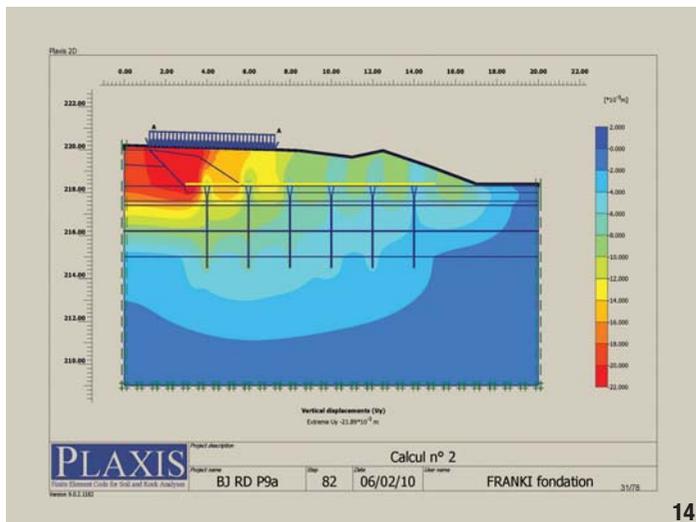
LE CENTRE PSYCHOTHERAPIQUE NORD-DAUPHINÉ

Ce projet consiste à réaliser un équipement à échelle humaine par la forme et la taille des différents volumes.

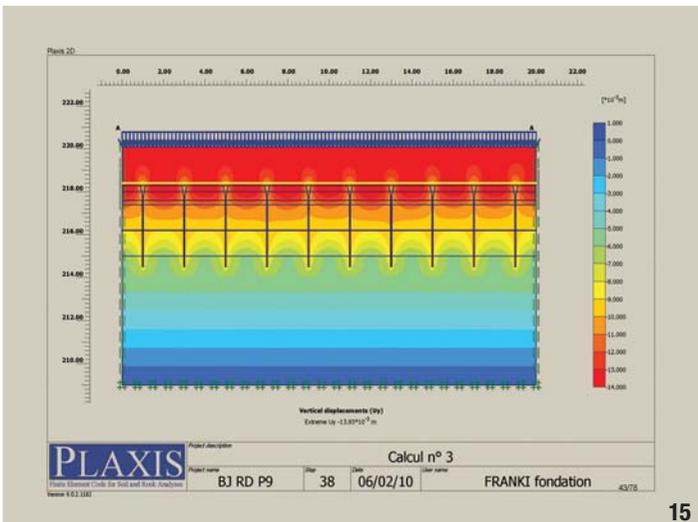
Le programme est réparti sur deux bâtiments. Le premier est constitué de quatre unités de soins tournées vers

un parc et d'un bâtiment administratif, le second d'un bâtiment logistique donnant sur un jardin intérieur.

Les travaux de terrassement ont permis de livrer une plate-forme de travail d'une épaisseur de 0,60 m à la cote 222.40 NGF afin de permettre les travaux de renforcement de sols sous l'emprise des bâtiments et des voiries. Après les travaux de renforcement, une couche de répartition puis une



14



15



16



17



18



19

couche de réglage sur une épaisseur totale de 1,10 m a été mise en œuvre avant la réalisation des travaux de gros œuvre.

Franki fondation a mis en place différents ateliers de forage. Une foreuse Soilmec R312 et une foreuse Llamada P135 ont réalisé les inclusions rigides de type Colonne à Module Contrôlé sous les appuis de structure (semelle filante et massifs isolés) et sous l'emprise

des futurs dallages. Une foreuse CMV TH 10-30, équipée d'une vibrolance 160HR de PTC, a réalisé les colonnes ballastées sous l'emprise des voiries et des parkings.

Toutes les foreuses étaient équipées d'enregistreurs de paramètres Lutz pour fournir à l'avancement les fiches d'autocontrôle des Colonnes à Module Contrôlé et des colonnes ballastées. Des procédures de contrôle ont été

prises en œuvre à chaque stade de la production.

Au démarrage du chantier, les premières colonnes ont été réalisées à proximité des sondages de reconnaissance du bureau de sols, de manière à valider les paramètres de travail et d'atteindre les profondeurs souhaitées (5 à 6 m de terrain compressible), et de confirmer ainsi les hypothèses des notes de calculs. Pour les colonnes ballastées,

des essais à l'aide d'un pénétromètre dynamique ont été effectués par un organisme extérieur pour une colonne sur 50. Deux essais de chargement statique ont également été réalisés. Pour les Colonnes à Module Contrôlé, des essais de résistance à la compression sur des éprouvettes de matériaux CMC ont été réalisés tous les 200 m³. Trois essais de chargement statique ont également été réalisés.

Dans le cadre de sa mission de suivi géotechnique, le bureau de sols a ainsi pu valider les travaux d'amélioration de sols. Les travaux se sont déroulés du 3 septembre 2007 au 16 novembre 2007 (photos 8, 9, 10, 11 et figure 12).

MISE À 2 X 2 VOIES DE LA RD1006

Dans le cadre de la création du site Medipole, le conseil général de l'Isère a décidé la mise à 2 x 2 voies de la RD1006 entre le rond-point de la Grive et le rond-point de la Maladière, en procédant à l'élargissement de la route existante et à la création d'un carrefour à feux avec îlot central (Cafaic) au niveau de l'accès au Medipole.

Des travaux de renforcement de sols par inclusions rigides doivent être entrepris sur une partie de la section courante à partir du rond-point de la Grive, sur une longueur d'environ 400 m, et au niveau du nouveau Cafaic.

Franki foundation a proposé la réalisation d'inclusions rigides vibrofoncées de Ø 0,35 m à tête élargie selon une maille régulière de 2 x 2 m afin de traiter les terrains fortement compressibles. Les inclusions rigides ont été associées à des nappes de géosynthétiques de renforcement de Tencate geosynthetics (Geolon PET 200 et Rock Pec 230) avant la mise en œuvre des remblais de rehausse et la création du corps de chaussée. Franki foundation a effectué une vérification par éléments finis à l'aide du logiciel Plaxis 2D afin de s'assurer de l'ordre de grandeur des tassements et des efforts fournis aux géosynthétiques. Les travaux de fondations spéciales ont débuté le 8 mars 2010 avec une foreuse Bauer RTG16 associée à un vibrofonceur. Ces travaux doivent être réalisés en plusieurs phases en tenant

« SUR LA RD1006 (ISÈRE), DES TRAVAUX DE RENFORCEMENT DE SOLS PAR INCLUSIONS RIGIDES SONT ENTREPRIS SUR UNE SECTION DE 400 M »

compte de la déviation de nombreux réseaux secs et humides et de réseaux aériens, tout en maintenant en service la route départementale existante. L'implantation des inclusions rigides a également dû tenir compte de la présence de certains réseaux ne pouvant être déviés et de la mise en place de dalots au niveau du Cafaic afin de maintenir l'écoulement d'un ruisseau. Des procédures de contrôle sont prévues à chaque stade de la production.

QUELQUES CHIFFRES

NOUVEAU CENTRE HOSPITALIER PIERRE-LOUDOT

SURFACE DU BÂTIMENT : 50 328 m²

COÛT DE RÉALISATION : 116 000 000 €

DÉBUT DES TRAVAUX : octobre 2007

LIVRAISON : octobre 2010

NOMBRE DE PIEUX : 854 unités pour 11 880 ml

VOLUME BÉTON PIEUX : 7 450 m³

TONNAGE ACIER PIEUX : 805 t

CENTRE PSYCHOTHÉRAPIQUE NORD-DAUPHINÉ

SURFACE DU BÂTIMENT : 7 455 m²

COÛT DE RÉALISATION : 13 200 000 €

DÉBUT DES TRAVAUX : septembre 2007

LIVRAISON : septembre 2009

NOMBRE D'INCLUSIONS RIGIDES : 1 485 unités pour 8 150 ml

VOLUME BÉTON CMC : 1 205 m³

TONNAGE GRAVIER CB : 4 135 t

MISE À 2 X 2 VOIES DE LA RD1006

COÛT DE RÉALISATION : 6 000 000 €

DÉBUT DES TRAVAUX : février 2010

LIVRAISON : automne 2010

NOMBRE D'INCLUSIONS RIGIDES PRÉVUES : 2 640 unités pour 13 650 ml

VOLUME BÉTON PRÉVISIONNEL : 1 400 m³

Au démarrage du chantier, les premières colonnes ont été réalisées à proximité de sondages de reconnaissance du bureau de sols de manière à valider les paramètres de travail et d'atteindre les profondeurs souhaitées (4 à 6 m de terrain compressible), et de confirmer ainsi les hypothèses des notes de calculs. La foreuse est équipée d'un enregistreur de paramètres Lutz pour fournir à l'avancement les fiches d'autocontrôle des inclusions rigides. Des essais de résis-

tance à la compression sur des éprouvettes de matériaux seront réalisés tous les 200 m³. Deux essais de chargement statique seront également réalisés. Des essais de dégarnissage de trois inclusions, afin de valider les diamètres sur le premier mètre, seront effectués au début du chantier. Dans le cadre de sa mission de suivi géotechnique, le bureau de sols pourra ainsi valider les travaux d'amélioration de sols (figures 13, 14, 15 et photos 16, 17, 18, 19). □

ABSTRACT

SPECIAL FOUNDATIONS ON THE MEDIPOLE SITE IN THE ISÈRE REGION

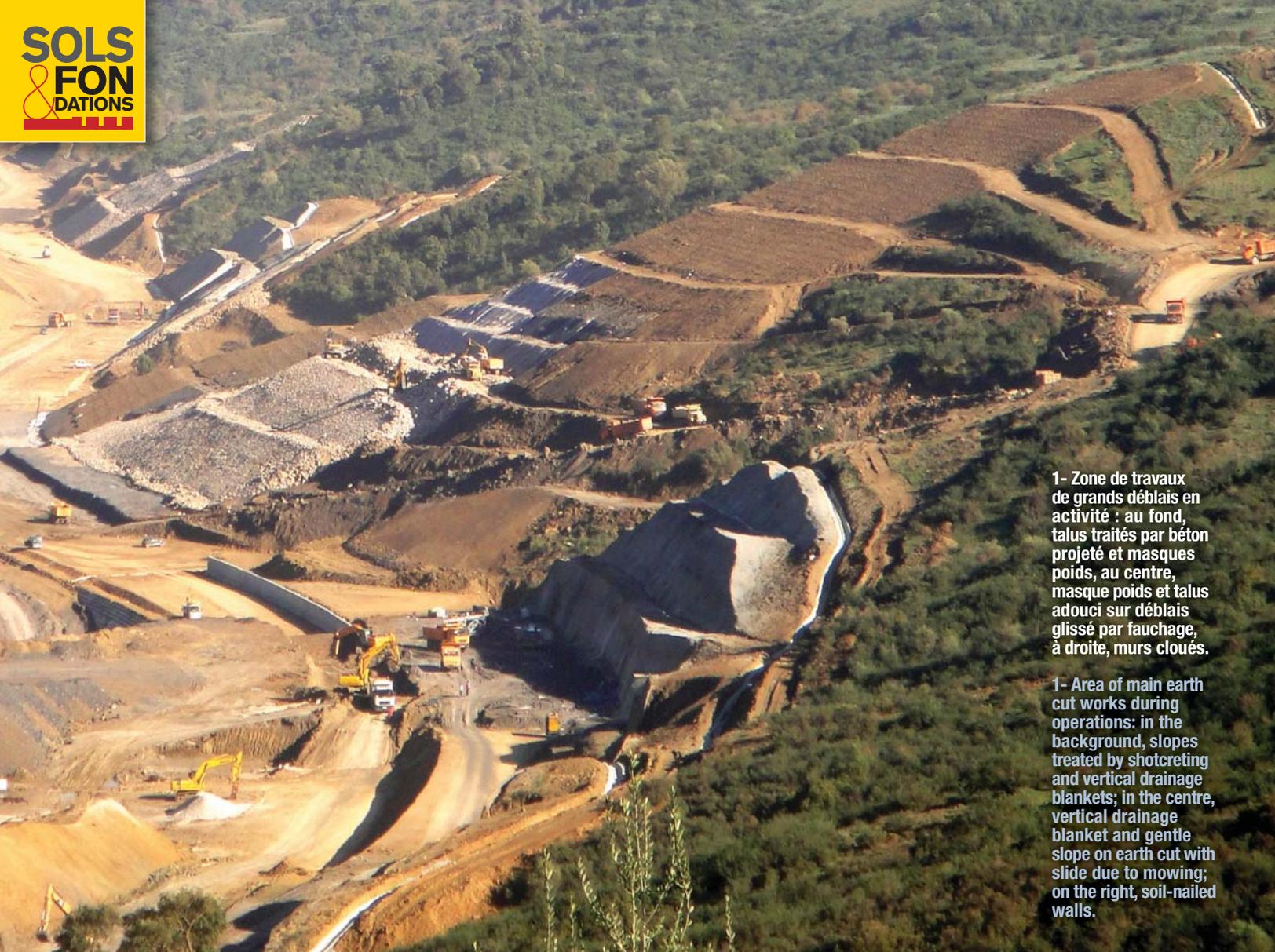
JÉRÔME GRIPPON, FRANKI FONDATION

Numerous special foundation techniques were employed on the site of the Medipole in the «ZAC» mixed development zone of Maladière at Bourgoin-Jallieu. Franki Fondation performed soil reinforcement works for the Nord-Dauphiné psychotherapeutic centre and deep foundation works for the new Pierre-Oudot hospital centre. The contractor is currently performing soil reinforcement works on the new signalised intersection at the Medipole site. □

CIMENTACIONES ESPECIALES EN LOS ESTABLECIMIENTOS DE SALUD MEDIPOLE DEL DEPARTAMENTO DE ISÈRE

JÉRÔME GRIPPON, FRANKI FONDATION

Se han puesto en obra numerosas técnicas de cimentaciones especiales en los establecimientos de salud Medipole en la ZAC de la Maladière en Bourgoin-Jallieu (38). Franki Fondation ha ejecutado los refuerzos de suelos para el centro de sicoterapia Nord-Dauphiné y las cimentaciones profundas del nuevo centro hospitalario Pierre-Oudot. La empresa está ejecutando actualmente diversos refuerzos de suelos para el nuevo cruce con semáforos de acceso a los establecimientos de Medipole. □



1- Zone de travaux de grands déblais en activité : au fond, talus traités par béton projeté et masques poids, au centre, masque poids et talus adouci sur déblais glissé par fauchage, à droite, murs cloués.

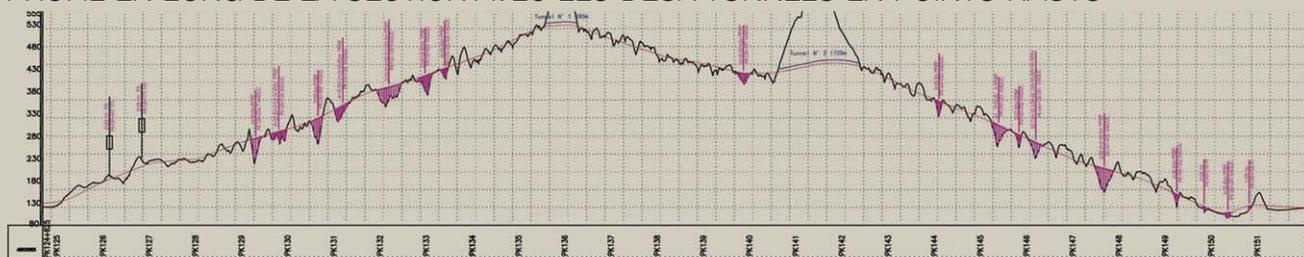
1- Area of main earth cut works during operations: in the background, slopes treated by shotcreting and vertical drainage blankets; in the centre, vertical drainage blanket and gentle slope on earth cut with slide due to mowing; on the right, soil-nailed walls.

TRAITEMENTS DE GRANDS REMBLAIS ET DÉBLAIS SUR LA SECTION LARBATACHE - LAKHDARIA DE L'AUTOROUTE EST-OUEST (ALGÉRIE)

AUTEURS : ZHUO LEI DIRECTEUR GÉNÉRAL, YUAN JUN DIRECTEUR TECHNIQUE, CITIC-CRCC - ZERMANI MESSAOUD PRÉSIDENT DU CONSEIL D'ADMINISTRATION, AFTEX ALGÉRIE - BROSSIER PAUL DIRECTEUR DE PROJET, YAHIA-AISSA MOURAD INGÉNIEUR, LI NINGNING INGÉNIEUR, TERRASOL

L'AUTOROUTE EST-OUEST ALGÉRIENNE COMPORTE UNE SECTION NEUVE DE 26 KM PARTICULIÈREMENT DIFFICILE CAR ENTièrement EN MONTAGNE. CETTE SECTION EST TRÈS PROCHE D'ALGER ET REVÊT UNE GRANDE IMPORTANCE POUR LE DÉSENGORGEMENT DE LA CIRCULATION ROUTIÈRE DEPUIS ALGER VERS L'EST ALGÉRIEN. SUR LA BASE D'UNE SIMPLE ÉTUDE PRÉLIMINAIRE, LA TOTALITÉ DES ÉTUDES ET LES TRAVAUX ONT ÉTÉ ACHEVÉS EN QUATRE ANS. UNE SOURCE DE DIFFICULTÉS A RÉSIDÉ DANS LES TERRASSEMENTS DU FAIT DES INSTABILITÉS DES TERRAINS SOLLICITÉS PAR LES REMBLAIS ET DÉBLAIS. UNE PARTIE DES DIFFICULTÉS SE SONT RÉVÉLÉES EN COURS DE TRAVAUX ET DES TRAITEMENTS PARTICULIERS DES TALUS DE REMBLAIS ET DÉBLAIS ONT DU ÊTRE CONÇUS ET RÉALISÉS POUR Y FAIRE FACE.

PROFIL EN LONG DE LA SECTION AVEC LES DEUX TUNNELS EN POINTS HAUTS



2

UNE SECTION DÉLICATE DE 26 KM

Le projet d'Autoroute Est-Ouest s'étendra sur un linéaire total de 1 216 km entre la frontière marocaine et la frontière tunisienne.

La maîtrise d'ouvrage est assurée par la Direction des Projets Neufs (DPN) de l'Agence Nationale des Autoroutes (ANA), établissement public du Ministère des Travaux Publics.

Le lot centre de cette autoroute (Bordj Bou Arreridj/Alger/Chleff) ainsi que le lot Ouest ont été confiés à un groupement chinois CITIC-CRCC, CRCC étant plus particulièrement en charge du lot centre. La section Larbatache-Lakhdaria du lot centre est sans doute la plus délicate de cette autoroute. Elle se déroule sur 26 kilomètres et contourne par le sud le djebel Bouzegza. Cette section permet le franchissement de l'Atlas tellien entre la plaine de la Mitidja (sur laquelle débordent les extensions de l'agglomération d'Alger) et la vallée de l'oued Isser.

Dans cette région sauvage, inhabitée et mal connue, des difficultés importantes, dépassant souvent les prévisions les plus pessimistes, ont été rencontrées et elles ont nécessité des traitements particuliers des talus de déblais et remblais.

Les études ont été réalisées par CRCC assisté de FHIC (First Highway Institute of China) ; SETEC et TERRASOL sont intervenus comme contrôle externe et en assistant technique, AFITEX Algérie a étudié les murs ATALUS en collaboration avec TERRASOL.

PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU PROJET AUTOROUTIER

Le projet dans son ensemble est conçu à 2 x 3 voies avec une plateforme de 33 m de largeur.

L'itinéraire de la section emprunte des dépressions topographiques qui imposaient ce choix d'itinéraire, et ceci bien que les morphologies en soient dictées par la conjugaison de dislocations dues aux mouvements tectoniques et à la nature argileuse ou marneuse des terrains, peu résistants.

Le tracé s'élève d'abord dans une vallée Nord-Sud puis dans une dépression Est-Ouest avec deux points hauts intermédiaires franchis par des tunnels.

L'altitude de départ de la section dans les environs de Larbatache est à 100 NGA pour atteindre la cote 500 NGA au tunnel N°1 et 450 NGA au tunnel N°2 avant de redescendre à la cote 100 NGA à Lakhdaria (photo 2).

La section a nécessité de nombreux

2- Profil en long de la section avec les deux tunnels en points hauts.

3- Mur Atalus avec vrille de raccordement à mur vertical.

2- Longitudinal profile of the section with the two tunnels at high points.

3- Atalus wall with gimlet for connection to vertical wall.

ouvrages d'art : deux tunnels bitubes respectivement de 1 700 et 700 m de longueur, 15 viaducs d'une longueur cumulée de 3 530 mètres.

Les contraintes dues au calendrier ont été particulièrement fortes : l'ordre de service de démarrage des travaux date de septembre 2006 pour un délai de réalisation de 40 mois se terminant en janvier 2010. Dans ce délai, l'entreprise devait réaliser l'ensemble des études, et tout d'abord les levés topographiques, les études géotechniques et la totalité

de l'avant projet détaillé et projet d'exécution sur la base d'une simple étude préliminaire.

Cette étude préliminaire déterminait le couloir de passage, mais, pour le projet étudié et réalisé, les normes autoroutières à appliquer (ICTAAL 85) étaient plus exigeantes que les normes utilisées par l'étude préliminaire ; la largeur de plateforme a été maintenue à 33 m sur cette section montagneuse car l'on se trouve à moins de 20 kilomètres de l'agglomération d'Alger.

Les difficultés naturelles ont été aggravées par ces choix et par la prise en compte d'une vitesse de référence de 100 km/h alors que, avec les paramètres géométriques de l'étude préliminaire, la vitesse de référence était de 80 km/h sans respecter complètement les instructions de l'ICTAAL 85.

C'est au total un projet complet qui était à étudier, valider et réaliser.

Des problèmes particuliers ont fait que les premiers terrassements de déblais sur la section n'ont été entamés que tardivement (accès des sondeuses début 2007 et pistes d'accès et de chantier entamées courant octobre 2007).

La forte pluviométrie enregistrée pendant les deux hivers 2007/2008 et 2008/2009, et caractérisée à la fois par une répartition sur une longue période et avec des épisodes particulièrement abondants, n'a fait qu'accroître les dégradations des talus (fissuration, glissement, fauchage, etc.).

Les difficultés rencontrées lors de l'exécution de cette section ont conduit le Maître d'Ouvrage à rallonger le délai d'achèvement des travaux de quelques mois.

TOPOGRAPHIE ET GÉOLOGIE

En dehors des extrémités de la section qui sont sur des coteaux à forte occupation agricole, on se trouve sur des pentes fortes occupées par des oliviers anciens, souvent abandonnés, des chênes lièges et du maquis. ▷



3



4

Les études géomorphologiques montraient divers glissements de terrains de petits volumes mais aucun phénomène de grande ampleur.

Les premiers terrassements ont montré que les formations de flyschs Crétacé mais aussi les formations tertiaires sont affectées de très nombreux plissements et fractures, qui rendent difficilement lisibles les structures majeures.

Dès l'abord, les flyschs Crétacés avaient été constatés très argileux, formés de schistes en feuillets se désagrégant à l'eau.

Les formations Eocènes, d'aspect plus rocheux sur les versants avec une morphologie différente : moins de ravinement, ressauts marqués par des affleurements gréseux, se sont avérées contenir des bancs de schistes argileux,

4- Détail de parement Atalus.

5- Mur Atalus de grande longueur, sur profils mixtes avec déblais dans massif raide à l'amont.

4- Detail of Atalus facing.

5- Very long Atalus wall, on composite profiles with earth cuts in steep rock mass upstream.

abondants à la base de la formation masqués dans la morphologie et de caractéristiques médiocres.

Les éboulis sont partout à matrice argileuse et incluent des lentilles d'argiles plastiques ; ainsi certains déblais ont révélé des lentilles argileuses bleuâtres, très plastiques, positionnées directement sur le substratum, parallèlement à la pente et supportant des nappes de versants, réduites en été mais très actives en saisons pluvieuses.

D'une manière générale, les écoulements et mise en charge des nappes de versant restent particulièrement aléatoires en dehors de quelques sources pérennes, et ne se produisent qu'au cours des épisodes pluvieux intenses des hivers et printemps algériens.

ravins, qui interdisaient la conception de remblais et déblais à parement non soutenus.

Les remblais non soutenus auraient, dans de nombreux cas, dépassé une hauteur de 30 mètres avec des doutes sur la stabilité et la nécessité de recourir à des quantités importantes de matériaux d'apports.

Ceci a conduit à concevoir le grand nombre de viaducs, mais aussi à déterminer que le projet est souvent en profil mixte et avec des traitements particuliers des remblais.

Les caractéristiques géotechniques souvent médiocres des niveaux de surface et leurs fortes épaisseurs (éboulis argileux colluvions, substratum argileux très altéré) ont été mises en évidence par les différents sondages de reconnaissance, mais surtout lors de la préparation des assises ; ils ont nécessité des travaux spécifiques pour renforcer les sols de fondations et garantir ainsi la stabilité générale des remblais.

Ces adaptations portent essentiellement sur des travaux de purge des niveaux altérés mais aussi par la mise en œuvre systématique de bèches d'ancrage en pied de remblai coté aval permettant d'intercepter les cercles de glissement potentiels.

CONCEPTION DES REMBLAIS SUR VERSANTS

ADAPTATION DES REMBLAIS AU CONTEXTE GÉNÉRAL DU SECTEUR

Avant même toute considération de la complexité du contexte géotechnique évoquée ci-avant, c'est la topographie fortement accidentée avec de fortes pentes transverses (très généralement, avec des valeurs supérieures à 15°), et la présence d'importants ressauts et



5

Les géométries des bèches ont été ajustées au cas par cas pour tenir compte des irrégularités du terrain. Par ailleurs, un drainage général des assises a été prévu, avec la mise en œuvre d'une base drainante et de drains transversaux, permettant de collecter et de canaliser les eaux vers l'aval, pour éviter toute remontée de niveau de nappes et l'altération du sol support.

REMBLAIS RENFORCÉS PAR GÉOTEXTILES

La géométrie des versants a aussi imposé le recours à des solutions de type remblais raidis par intercalation de lits de renforcement par géotextiles ; cette conception est apparue judicieuse et a reçu l'approbation de la Maîtrise d'Ouvrage.

La souplesse de ces ouvrages (capacité d'absorber les déformations du sol support), leur facilité de mise en œuvre et leur adaptation aux variations topographiques locales et leur bonne intégration dans l'environnement, ont rendu cette variante parfaitement adaptée au contexte.

En outre, les retours d'expériences sur l'utilisation de ces techniques issus de

nombreux chantiers en Algérie, ont permis à la maîtrise d'ouvrage d'accepter ces solutions (photo 3).

Le géotextile de renforcement utilisé dans notre cas est un produit de renforcement monodirectionnel nommé Rock PEC180, présentant une résistance maximale à la traction de 180 kN/ml et associant un géotextile de haute résistance non tissé, des filaments continus en polypropylène, et un réseau de câbles de renfort en polyester.

Les remblais renforcés par géotextiles sont des remblais en parement à face enveloppée ; la finition et la protection des géotextiles de renforcement en parement contre les rayons ultraviolets a été assurée au moyen d'un géotextile alvéolaire (« ALVEOTER ») permettant de fixer durablement la végétation en parement dans les conditions difficiles de durabilité de la végétation.

MURS DE SOUTÈNEMENTS TYPE ATALUS

En remplacement d'un parement à face enveloppée, certains remblais renforcés par géotextiles ont fait l'objet de parements modulaires du type Atalus.

Initialement conçu pour assurer une fonction paysagère (décoration en massifs

6- Remblai raidi par géotextile en cours de montage, les redans en arrière du remblai seront couverts par le remblai ; en partie supérieure déblais de l'autoroute en profil mixte avec chaussées décalées.

6- Backfill stiffened by geotextile undergoing assembly, the steps to the rear of the backfill will be covered by the fill; in the upper part, motorway earth cuts in mixed profile with staggered roadways.

de fleurs) pour des soutènements de faible hauteur (< 4 m), notamment pour les parkings et les agrandissements de voiries, ces parements ont été étendus à des massifs de soutènement de grande hauteur ; le parement est constitué dans ce cas d'éléments préfabriqués en béton de type Atalus 120 (120 kg par élément) permettant à la fois l'ancrage des nappes de renforcement en tête de parement par pincement entre éléments superposés, mais aussi la végétalisation rapide et permanente du parement.

Ce procédé permet d'aménager des parements à fruit variable allant de 66° à 85° selon le décalage transversal entre deux éléments modulaires superposés.

C'est la souplesse d'utilisation qui a été particulièrement intéressante pour le projet : outre la conception de parements de pente variable, permettant de traiter des raccordements latéraux avec les culées, les murs de soutènement en béton armé et les déblais renforcés par clouage ; le procédé permet aussi d'adapter rapidement la conception aux variations topographiques locales (microreliefs topographiques) et aux anomalies géologiques souvent très



brutales dans les versants de la section. Les lits de renforcement intégrés au massif améliorent les caractéristiques mécaniques des matériaux de remblai ; le dimensionnement adopté permet de justifier la stabilité interne de ces massifs. La stabilité générale est examinée en intégrant la nature et l'état du sol de fondation.

Des traitements complémentaires des assises ont été ponctuellement nécessaires pour améliorer la stabilité générale de ces massifs.

Ces renforcements ont été essentiellement des clous (ancrages passifs), des bèches d'ancrages mais aussi, dans des cas particuliers, des pieux ont été utilisés pour traverser des couloirs d'éboulis argileux (photos 4, 5 et 6).

TRAITEMENTS DES GRANDS DÉBLAIS PHÉNOMÈNES OBSERVÉS

L'exécution des déblais a mis en évidence des signes d'instabilité de talus avec localement des glissements plus ou moins importants ; les mécanismes à l'origine de ces instabilités correspondent souvent à des morphologies et des cinétiques de glissements classiques (marnes altérées et couverture d'éboulis).

Il s'agit de déblais de grandes hauteurs : 30 à 45 m de hauteur maximale par rapport à l'axe du projet, présentant des talus réglés avec des pentes de 3H/2V à 1H/1V associés à des bermes intermédiaires de 3 m de large calées tous les 8 m de haut ; soit une pente moyenne du déblai de 2H/1V à 3H/2V environ.

En fait ces déblais sont souvent de pente proche de celle du versant et l'adoucissement des pentes ne pouvait pas être une solution car conduisant à des hauteurs et des emprises déraisonnables et cela aussi bien en conception initiale qu'après ouverture du chantier. Certains glissements étaient moins classiques :

→ Les massifs peu altérés de flyschs Crétacés on montré la grande faiblesse de leurs caractéristiques en produisant des ruptures, totalement imprévues, par fauchages de couches sur des pentes moyennes de 2H/1V. Bien que ce type de mécanisme soit assez bien connu dans les grands talus rocheux, il n'en demeure pas moins qu'il est surprenant de le voir survenir dans un déblai à pente modérée. La décompression due au déblai à ouvert par gonflement les espaces inter foliaires et a joué un rôle déterminant dans les phénomènes (photos 7 et 8).



7- Détail de fauchage dans les flyschs Crétacés.

8- Vue de face du même déblai avec fauchage (la hauteur du déblai dépasse 40 m : (5 talus de 8 m entre bermes) on observe les fissures de fauchage remontant de gauche à droite.

7- Detail of mowing in the cretaceous flyschs.

8- Front view of the same earth cut with mowing (the height of the earth cut exceeds 40 m: five 8m slopes between berms); one observes the mowing cracks going upward from left to right.

→ Sur de très nombreux parements de déblais, l'altération des formations du substratum a pris un développement important et en tout cas inquiétant, et cela dès les premières pluies, déclenchant des glissements parfois importants, mais souvent d'un développement décimétrique avec une épaisseur métrique.

Il n'a pas semblé possible d'espérer, avec le climat algérien brulant la végétation l'été, de voir les phénomènes se stabiliser naturellement par mise en place d'un profil d'altération sous la végétation, sans laisser redouter de grands glissements après achèvement de l'autoroute ; là aussi le comportement des schistes argileux se révèle très défavorable.

→ Des zones de surépaisseurs d'éboulis, accompagnées de la présence d'une couche argileuse particulièrement plastique à l'interface substratum schisteux/éboulis servant de support aux nappes de versant (nappes perchées) sont à l'origine de comportements inattendus (photo 9).

SOLUTIONS DE CONFORTEMENTS

Dans les cas de talus de déblais qu'il s'est avéré nécessaire de renforcer

compte tenu des observations sur le comportement des formations, de nombreuses solutions de confortement ont été examinées ; de grandes surfaces de talus étaient concernées par ce type de géologie. Les analyses menées ont conduit, en dehors de solutions classiques (adoucissement de pentes, drainage, murs en béton armé fondés sur pieux) à sélectionner des solutions tenant compte du délai des travaux et des contraintes du marché de travaux. Ainsi, les techniques de renforcement mises en œuvre sont :

- Raidissement et renforcement par clouage,
- Renforcement par masques poids et drainage,
- Renforcement par clouage de confinement,
- Renforcement par pieux et chevalet de pieux.

Raidissement et renforcement par clouage

Avant même tout constat de glissements, des murs cloués ont été prévus pour traiter les zones de déblais qui coupaient des ressauts interdisant des talus non soutenus sauf à accepter des hauteurs totales de déblais excédant 50 mètres. Bien que, au premier abord, plus onéreuses que des déblais non soutenus, les solutions de traitement avec raidissement par clouage se sont vérifiées très bien adaptées au chantier malgré les doutes sur le comportement des clous dans ces schistes argileux. Deux remarques particulières au chantier peuvent être faites :

→ Le premier avantage du clouage est ici de limiter l'enlèvement de la végétation qui est un élément important de la stabilité des terrains superficiels,

→ C'est le faible prix des emprises qui maintenait économique les solutions de déblais non soutenus malgré la non réutilisation des terrains argileux-schisteux déblayés (photo 10).

Renforcements par masques poids et drainage

Les zones de talus où les glissements par fauchage s'étaient déjà produits ont nécessité le déblai des masses glissées et la mise en place de masque poids drainant ; la partie supérieure des talus a été retaillée en pente faible (2,5H/1V) avec mise en œuvre de bermes de 4 m tous les 8 m de haut associées à des éperons drainants.

Ces masques poids ont aussi été prévus et utilisés sur divers déblais courants ; la présence des bancs calcaires et gréseux dans la partie haute du djebel Bouzegza permettant de maintenir compétitive ces conceptions.



9- Gouttière d'éboulis argileux sur un substratum de schistes argileux de faible résistance (déblais ultérieurement renforcé).

10- Mur cloué de grande hauteur.

9- Gutter of clayey scree on a substratum of clayey schists of low resistance (earth cuts subsequently strengthened).

10- Very high soil-nailed wall.



Renforcement par clouage de confinement

D'autres talus dans les mêmes formations schisteuses qui n'avaient pas subis de désordres importants mais paraissaient pouvoir subir les mêmes avaries, ont été équipés de protections en béton projeté maintenues par clouages dans l'optique de limiter les infiltrations d'eau et de maintenir un confinement permanent des schistes.

Renforcements par pieux et chevalets de pieux

Dans certains cas de glissements intervenus en cours de construction, le recours à des pieux de stabilisation s'est avéré pertinent après balayage des alternatives de confortements susceptibles d'être mises en place. Le contexte contractuel et les délais de construction ont imposé le choix de pieux de diamètre 1,2 m ; compte tenu

de l'intensité des efforts à reprendre ces pieux ont été associés en doublets de pieux (chevalet de pieux) fournissant une forte rigidité à la flexion.

Un avantage non négligeable de ce type de renforcement est d'autoriser un suivi des déformations au-delà de l'achèvement des travaux et de permettre un renforcement ponctuel si les efforts mobilisés sur les pieux s'avéraient plus importants que prévu.

CONCLUSIONS

Le contexte géologique et topographique de la section particulièrement difficile et très mal connu à l'origine du contrat d'études et de travaux, a nécessité une reprise complète de la conception initiale ; la réactivité de la maîtrise d'ouvrage a été sans faille pour valider cette conception.

La stratégie retenue pour le raidissement des talus de remblais par l'adjonction de lit de renforcement par géotextile a trouvé ici un excellent terrain d'application.

En particulier, par sa souplesse d'utilisation, le procédé ATALUS a permis le traitement des zones les plus raides en limitant les hauteurs de parement et en fournissant un aspect général très satisfaisant.

La grande altérabilité des terrains d'assises, et des structures géologiques et hydrogéologiques défavorables a contraint à une protection de nombreux talus, mais aussi à des reprises et renforcements de grands talus de déblais en cours de travaux.

Malgré ces difficultés, le projet est en voie d'achèvement et permettra d'ouvrir le plus important verrou offert à la circulation autoroutière entre la frontière marocaine, Alger et l'Est algérien. □

ABSTRACT

TREATMENT OF MAJOR BACKFILLS AND EARTH CUTS ON THE LARBATACHE-LAKHDARIA SECTION OF THE EAST-WEST MOTORWAY (ALGERIA)

ZHUO LEI, YUAN JUN, CITIC-CRCC - ZERMANI MESSAOUD, AFTEX - BROSSIER PAUL, YAHIA-AISSA MOURAD, LI NINGNING, TERRASOL

The Algerian East-West motorway includes a new 26 km section which is extremely difficult because it is entirely in the mountains.

This section is very close to Algiers and is of great importance to relieve traffic congestion on the road from Algiers to eastern Algeria. Based on simple preliminary design engineering, all the engineering and works were completed in four years. One cause of difficulty was due to earthworks, because of instability of the ground subjected to the stresses of backfills and earth cuts. Part of the problems became apparent during the works, and special treatments for the fill-and-cut slopes had to be designed and executed to cope with them. □

TRATAMIENTOS DE GRANDES TERRAPLENES Y DESMONTES EN EL TRAMO LARBATACHE - LAKHDARIA DE LA AUTOPISTA ESTE-OESTE (ARGELIA)

ZHUO LEI, YUAN JUN, CITIC-CRCC - ZERMANI MESSAOUD, AFTEX - BROSSIER PAUL, YAHIA-AISSA MOURAD, LI NINGNING, TERRASOL

La autopista Este-Oeste de Argelia incluye un nuevo tramo de 26 kilómetros particularmente difícil debido a su ubicación en zona de montaña. Este tramo se encuentra en las cercanías inmediatas de Alger y tiene una gran importancia contra la congestión del tráfico viario desde Alger hacia el Este del país. Según la base de un simple estudio preliminar, la totalidad de los estudios y los trabajos fueron finalizados en cuatro años.

Las principales dificultades residieron en los movimientos de tierras debido a las inestabilidades de los terrenos solicitados para los terraplenes y desmontes. Una parte de las dificultades aparecieron durante el transcurso de los trabajos y se ha debido crear y realizar diversos tratamientos específicos de los taludes de terraplenes y desmontes para remediar. □