

Méτρο de Rennes Une intervention dans la durée

Le groupement DODIN CAMPENON BERNARD / SPIE BATIGNOLLES TPCI / GTM OUEST / LEGENDRE OUEST / BOTTE FONDATIONS / SPIE FONDATIONS est chargé de la construction de la ligne B du métro automatique de Rennes Métropole, dans le cadre du lot 1 qui comprend : les 8.1 km de tunnel foré au tunnelier, 9 stations dont 2 en interconnexion avec la ligne A existante, le puits de départ du tunnelier ainsi que 4 puits de ventilation et secours.

Aujourd'hui (fin novembre 2015), le tunnelier a atteint la 2nde station après avoir traversé la 1^{re} station en mai dernier et un puits de ventilation et secours en juillet. Il a atteint un linéaire de forage de 1,9 km. Le projet s'inscrit dans un contexte géologique caractérisé par un substratum très hétérogène et variable, constitué essentiellement des nombreux faciès du schiste du Briovérien, recouvert par des épaisseurs plus ou moins importantes d'altération du substratum (altérites), d'alluvions et de colluvions.

Sollicitée par le groupement d'entreprises, TERRASOL est intervenue en assistance au Groupement dans le cadre de l'appel d'offres, et a assuré la mission G3 en phase EXE. Une mission d'expertise, qui comporte notamment la participation au Comité Technique du projet, est effectuée en parallèle par A. Guilloux.



Crédit photo : © Francis Vigouroux

En phase Etudes, TERRASOL a ainsi réalisé les études d'ingénierie géotechnique de type G3 : définition de la campagne de reconnaissances EXE et rédaction des synthèses et notes d'hypothèses géotechniques pour le dimensionnement des soutènements et des fondations des ouvrages.

Par la suite, TERRASOL s'est vu confier une mission complémentaire d'estimation des tassements sous les bâtis à proximité des travaux d'excavation des stations via des calculs aux éléments finis 2D (logiciel Plaxis) dont l'objectif était :

- La révision des seuils de tassements associés aux études de vulnérabilité des bâtiments ;
- L'aide à la décision dans le cadre des solutions de conception à retenir pour les soutènements des stations (recalage du modèle numérique sur la base des résultats d'auscultation des stations, itération sur les choix de dispositif de soutènement avec le BE entreprise).

D'autre part, TERRASOL intervient depuis 2 ans au sein de la cellule Travaux rattachée à la direction technique du groupement : un ingénieur confirmé détaché à plein temps sur site mène le suivi géotechnique et géologique du creusement des stations et du forage du tunnel au tunnelier. En lien direct avec les chargés d'auscultation, le chargé de soutènement, la responsable de la matrice des risques géotechniques et la direction technique, il assure essentiellement le rôle de référent géotechnique sur l'ensemble du projet. Au regard des multiples problématiques rencontrées tant sur le tunnel que sur les stations, un 2^{ème} ingénieur TERRASOL est arrivé fin juin 2015 en renfort sur les aspects opérationnels de suivi géotechnique et géologique des travaux d'excavation des stations, ainsi que sur la définition et le suivi des campagnes de reconnaissance supplémentaires.

Par ailleurs, il est mené depuis un an des calculs supplémentaires aux éléments finis Plaxis 2D pour recalculer les modèles géotechniques sur les résultats d'auscultation des bâtis et les mouvements des parois des stations d'une part, et vis-à-vis des adaptations et modifications de la conception du soutènement lors des travaux (calculs itératifs) d'autre part. Ces compléments d'études ont imposé par exemple la définition de modèles hydrogéologiques pour estimer les incidences

Edito

Le niveau d'activité de Terrasol en 2015 a été à nouveau très soutenu, avec des projets toujours très variés. Nous sommes bien sûr plus que jamais présents dans le domaine des transports urbains, en particulier dans le cadre du projet du Grand Paris, pour lequel nous intervenons à différents titres (Assistance à Maîtrise d'Ouvrage, Maîtrise d'Oeuvre, assistance aux entreprises) sur de nombreux tronçons/lignes, mais aussi par exemple à Rennes.

Et nous poursuivons en parallèle notre développement : dans le domaine de l'énergie par exemple (projet hydro-électrique de Boufferda au Maroc, assistance géotechnique à Alstom sur de nombreux projets de centrales, intervention sur le projet d'EPR UK, structures géo-énergétiques – voir le numéro spécial de notre Lettre publié à l'été 2015) ou encore à l'international de manière générale, avec une volonté forte d'être plus présents auprès des acteurs locaux.

Nous sommes d'ailleurs particulièrement heureux de vous annoncer une étape importante dans le développement de notre activité au Maroc, avec l'embauche d'un géotechnicien expérimenté sur place : Tarik El Malki est dorénavant à votre disposition pour vous assister sur les aspects géotechniques de vos projets au Maroc. Il dispose bien sûr des moyens de calcul de Terrasol, et de notre appui en expertise technique.

Enfin, de nouvelles versions de nos logiciels sont en cours de diffusion, et intègrent de nombreuses fonctionnalités innovantes, en particulier : analyse de risques dans Talren v5, et de nombreuses options étendues de calcul dans K-Réa v4.

Avec nos meilleurs vœux pour une année 2016 sereine,

V. Bernhardt

du rabattement de la nappe en lien avec des circulations hydrauliques « complexes ».

Enfin, au regard des enjeux et des déplacements de parois observés sur une des stations en interconnexion avec la ligne A existante, TERRASOL a été sollicitée au printemps 2015 pour réaliser une modélisation 3D de la station en cours de construction : modélisation 3D des stations nouvelle et existante, des tunnels et des rameaux de liaisons.

P. Legrand, C. Jeu et A. Bachelier

Confortement du littoral à Cap Lopez

Gabon



Crédit photo : Total Gabon

Le Cap Lopez constitue la pointe la plus avancée dans l'océan Atlantique de l'île Mandji, au Gabon. Il se compose de dépôts deltaïques de nature majoritairement sableuses, reposant sur une couche très dense, située à plus d'une vingtaine de mètres de profondeur.

Les courants maritimes principaux tournent autour du Cap, d'Ouest en Est, faisant transiter les sédiments arrachés à la côte Ouest vers la côte Est. En arrivant dans la baie des Princes, protégés par le Cap, les courants maritimes s'affaiblissent et les sables très fins, de granulométrie très uniforme, se déposent alors le long de la côte Est, qui s'engraisse. La côte Est est le siège régulier de glissements de talus sous-marins, de plus ou moins grande ampleur (pouvant atteindre plusieurs millions de mètres cubes). Les glissements se produisent le long de pentes très faibles (inférieures à 5°). Les glissements récurrents semblent trouver leur explication dans le fait que les sables présentent localement des densités relatives en place inférieures aux densités critiques.

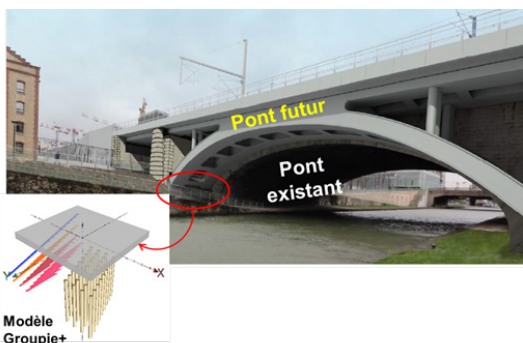
Ils sont de ce fait très sensibles aux générations de surpressions interstitielles, et on peut alors parler de « lateral spreading ». En effet, sous l'action de l'engraissement, ou de toute autre sollicitation provoquant des surpressions interstitielles, les sables perdent leur résistance au cisaillement et s'écoulent. Dans ce contexte, TERRASOL est intervenue pour le compte de TOTAL SA et de TOTAL GABON, afin de conforter le littoral Est, dont l'érosion par glissements successifs menace le terminal pétrolier installé à la pointe du Cap Lopez.

TERRASOL a notamment réalisé les études pour la phase de « Basic Engineering » : il s'agit du choix, de l'établissement et des justifications des solutions techniques à mettre en œuvre. Deux zones sont particulièrement concernées par la mise en œuvre du système de protection : celle de la plage au Nord des installations, constituant les deux tiers du littoral à protéger et éloignée des ouvrages sensibles, et celle de l'ancien quai, qui s'étend sur 200 m de littoral et qui est située à proximité immédiate des installations du terminal pétrolier. Les études réalisées par TERRASOL serviront de base pour la consultation des entreprises, qui seront en charge d'un contrat de conception-construction global.

C. Babin, K.V. Nguyen et M. Blanchet

Elargissement d'un pont-rail existant

Canal Saint-Denis, France



TERRASOL a été sollicitée par SNCF RÉSEAU pour la conception du système de fondation d'un pont arc biais à structure mixte sur le canal de Saint-Denis. La structure du pont est amenée à supporter à terme deux voies ferroviaires supplémentaires en élargissement d'un pont rail existant (pont arc en maçonnerie). L'ensemble de l'opération s'inscrit dans le cadre du projet EOLE (prolongement du RER E à l'Ouest de Paris).

Le principe de fondation qui a été retenu est celui d'un groupe de micropieux injectés permettant la reprise d'une résultante de charge inclinée à 45° par rapport à l'horizontale. Le caractère extrêmement exigeant des critères de tassement imposés à l'ouvrage (liés notamment à une voie nouvelle placée à cheval sur les ponts existant et futur) nous a amenés à préconiser une conception tenant compte des effets d'interaction sol-micropieux-structure afin de garantir une cohérence stricte entre la raideur des appuis et les charges transmises par la superstructure.

Le recours aux nouvelles capacités offertes par le module Groupie+ du logiciel Foxta développé par TERRASOL a permis d'aborder aisément le comportement tri-dimensionnel de l'ensemble des micropieux en interaction avec la superstructure qu'ils supportent.

F. Cuira

Pointe des Grives

Martinique, France



Crédit photo : Balineau

En anticipation de l'ouverture opérationnelle de l'élargissement du canal de Panama, prévue au premier trimestre 2016, le Grand Port Maritime de La Martinique (GPMLM) a lancé les travaux d'extension du terminal à conteneurs de la Pointe des Grives, à Fort de France. Le projet prévoit l'amarrage au Sud-Est des installations existantes d'une plateforme remblayée de près de trois hectares, protégée par un cordon de 660 mètres de digues en enrochements.

C'est dans un contexte géologique dominé par des alluvions marines de très faibles caractéristiques mécaniques, dans une région par ailleurs soumise à un fort aléa sismique, que TERRASOL est sollicitée par BALINEAU pour dimensionner un système d'amélioration de sols sous digues.

Le dispositif de renforcement privilégié consiste en la mise en œuvre d'un réseau optimisé d'inclusions rigides préfabriquées en béton armé, vibrofoncées par un porteur lourd depuis le terre-plein en cours de réalisation. Il est également prévu un plot d'essai afin d'étudier un renforcement associant le compactage subaquatique d'un matelas granulaire à l'intercalation de profilés métalliques battus.

F. Cuira et M. Hocdé

Colmatage d'une fuite d'eau sur le tunnel Lire Sud

Paris, France

Le tunnel L.I.R.E. Sud (Liaison Inter-Réservoirs d'Eau), reliant les Portes de Sèvres et d'Auteuil à Paris, abrite une conduite d'alimentation en eau potable (Eau de Paris) de diamètre $\varnothing = 1200$ mm. Le tunnel, de diamètre intérieur 3,1 m, a été réalisé en 2001/2002 à l'aide d'un tunnelier à pression de terre. L'ouvrage s'inscrit entièrement dans la craie.

Dans le tronçon franchissant la Seine en longeant le Boulevard Périphérique, l'ouvrage a été endommagé en décembre 2014 par des travaux de battage de pieux réalisés en rive gauche de la Seine. Un pieu a perforé le revêtement, généré une venue d'eau continue importante (débit de l'ordre de 140 l/s) et endommagé la conduite d'eau potable.

TERRASOL, qui avait assisté EAU DE PARIS lors de la construction du tunnel, a été missionnée pour définir les solutions de colmatage de la fuite d'eau et suivre les travaux de réparation.

La solution retenue a consisté, après ennoyage partiel du tunnel entre deux masques permettant de stopper les écoulements, à réaliser des injections depuis la surface pour créer un bouchon étanche sur toute la hauteur des terrains de couverture, et jusqu'au radier du tunnel ; il s'agissait à la fois de réduire la perméabilité de fracture dans la masse de la Craie, et de supprimer le cheminement préférentiel induit au contact du pieu ayant endommagé le tunnel et de la craie.

Les injections ont parfaitement rempli leur rôle en stoppant les venues d'eau, permettant ainsi une réparation « à sec » des voussoirs du tunnel.

H. Le Bissonnais et J. Marlinge



Place Vendôme

Paris, France

Trois bâtiments historiques datant du 17^{ème} siècle et situés Place Vendôme, à Paris, font l'objet d'une restructuration. Les travaux comprennent d'importantes modifications de la superstructure et la création d'un niveau de sous-sol supplémentaire. Dans le cadre de ce projet dont le MOA est UFIPAR, TERRASOL intervient en phases « projet » et « exécution » (missions G2 et G4) auprès de BARTHÉLÉMY-GRIÑO ARCHITECTES et du BET structure T/E/S/S.

Fondés superficiellement dans les alluvions anciennes, ces bâtiments ont subi au cours de leur longue histoire d'importantes modifications, notamment au niveau de leurs fondations. Dans le cadre de sa mission G2, TERRASOL a établi le cahier de charges des investigations géotechniques comportant de nombreuses fouilles de reconnaissance des fondations, et a assuré le suivi de cette campagne. Suite à l'établissement d'un schéma de principe des fondations existantes, TERRASOL a ensuite réalisé les études de conception de reprise en sous-œuvre en tenant compte de l'interaction entre fondations, ainsi que le dimensionnement des micropieux pour la reprise des sous-pressions.

Les travaux de reprise en sous-œuvre par puits blindés alternés, réalisés dans un espace parfois très réduit et sous des façades épaisses en pierre de taille et moellons, sont actuellement en cours, et TERRASOL en assure le suivi.

B. Aksoy



Centrale thermique de Plomin

Croatie

Le projet Plomin C consiste en la construction d'une centrale thermique au charbon sur un site déjà en exploitation, à Plomin dans la région de l'Istrie en Croatie. Les unités 1 et 2 ont été construites respectivement dans les années 1969 et 2000, et le projet Plomin C permettra de doubler la capacité du site, et ce après démantèlement de l'unité 1.

Plomin C comprend, entre autres, la construction d'une nouvelle unité de production (sur l'actuelle zone de stockage), d'une nouvelle zone de stockage de charbon, d'un port, d'une bande transporteuse, d'une station de pompage et d'un tunnel pour le circuit de refroidissement. Le projet se trouve dans un environnement géologique majoritairement au rocher (calcaire).

Dans le cadre de ce projet, TERRASOL intervient pour le compte d'ALSTOM sur la rédaction d'une analyse géotechnique et d'un dimensionnement préliminaire, sur la préparation du cahier des charges pour la réalisation de campagnes complémentaires, ainsi que sur l'analyse de ces données pour le dimensionnement des ouvrages. Les reconnaissances ont été réalisées par le bureau croate IGH sous la supervision d'un ingénieur de TERRASOL.

J. Drivet et C. De la Salle



Pôle logiciels

Talren v5.1.4

Foxta v3.2.4

Stratcad v1.4

K-Réa v4.01

2D Plaxis 2D 2015.2

3D Plaxis 3D AE.01

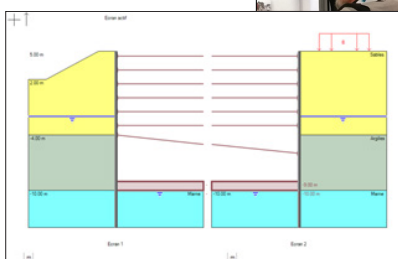
K-Réa v4

La nouvelle version 4 du logiciel K-Réa est désormais disponible en téléchargement depuis le site internet de Terrasol. Cette mise à jour est gratuite pour les utilisateurs de K-Réa v3. Elle intègre notamment un nouveau moteur de calcul développé par Terrasol et permettant d'étendre considérablement les possibilités offertes par le logiciel. Par exemple :

- Calcul direct sans itérations des projets double-écran et sans aucune limite sur le nombre de liaisons ;
- Traitement des approches 1, 2 et 3 de l'Eurocode 7, avec des vérifications ELU étendues au cas d'un double-écran (notamment Kranz) ;
- Traitement automatique des effets de talus et risberme conformément aux préconisations de l'Eurocode 7 ;
- Possibilité d'imposer les diagrammes de poussée/butée/eau point par point ;
- Traitement automatisé des combinaisons de charges ;
- Prise en compte du séisme.

Par ailleurs, une nouvelle interface a été développée pour accueillir le nouveau moteur de calcul.

K-Réa v4 - Projet double-écran
Nombre illimité de liaisons



Congrès ECSMGE Édimbourg,
Sept. 2015

Foxta v3

Le manuel complet de Foxta a été finalisé en juillet 2015. Une nouvelle mise à jour a été diffusée à cette occasion avec des améliorations notables concernant les modules Tasplaq (possibilité de définir un pendage de couches) et Groupie+ (mode de calcul automatique).

De plus, depuis quelques semaines, les modules Tasplaq et Tasseldo permettent d'afficher les résultats du calcul sous forme d'isovaleurs à la place des nuages de points.

Talren v5

Dans le but d'étendre l'utilisation du logiciel Talren, notamment à l'étranger, une version « Light » de Talren v5 est d'ores et déjà disponible. Elle inclut toutes les fonctionnalités de Talren, sauf le calcul à la rupture et les renforcements.

Conférences

- TERRASOL a participé au Congrès Régional Européen de Mécanique des Sols et de Géotechnique qui s'est déroulé du 13 au 17 septembre 2015 à Edimbourg (Ecosse).
- Nous participerons aux Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur (JNGG) qui se tiendront du 6 au 8 juillet 2016 à Nancy.

Prochaines sessions de formation inter-entreprises

Talren v5	11 février 2016
K-Réa v4	24 mars 2016
Foxta v3	15 et 16 juin 2016
Workshop PLAXIS – Fondations	juin 2016
Workshop PLAXIS – Dynamique	À confirmer

Publications et interventions récentes

- Stabilité de pentes en sols indurés et roches tendres (**A. Guilloux**) – Revue Scientifique et Technique de la Construction N°130, 2^{ème} semestre 2015
- Fondations du nouveau Tribunal de Grande Instance de Paris (A. Zonco, **A. Beaussier**, E. Lapie et D. Michel) – Revue Travaux N°916, juillet-août 2015
- Prise en compte des géogrilles dans un modèle biphasique simplifié d'un sol renforcé par inclusions rigides (**B. Simon**) – XVI^e Congrès Européen de Mécanique des Sols et de Géotechnique (XVI ECSMGE), Edimbourg, septembre 2015
- Simple 3D modelling of soil-pile-structure interaction for a group of energetic piles (**C. Borely**) – Conférence des jeunes géotechniciens EYGEC, Durham, septembre 2015
- Numerical back-analysis of the southern Toulon tunnel measurements: a comparison of 3D and 2D approaches (**JP. Janin**, D. Dias, F. Emeriault, R. Kastner, **H. Le Bissonnais** et **A. Guilloux**) – Engineering Geology 195, septembre 2015
- Chantier de remplacement partiel des conduites forcées de Malgovert (**F. Binet** et **T. Rossi**) – Séance technique CFMS «Travaux en montagne », novembre 2015
- Dynamic finite elements analysis of a breakwater under seismic and wave actions – A case study (**KV. NGuyen**, T. Jeanmaire, JM. Anfray, **A. Guilloux** et **J. De Cacqueray**) – 9^e Colloque National AFPS, novembre-décembre 2015
- Apports de l'ingénierie géotechnique dans la conception parasismique des ouvrages : quelques exemples (**F. Cuira**) – 9^e Colloque National AFPS, novembre-décembre 2015



Scannez ce QR Code avec votre Smartphone

Siège social

Immeuble Central Seine
42-52 quai de la Râpée
75583 Paris Cedex 12
France

Tel : +33 (0)1 82 51 52 00
Fax : +33 (0)1 82 51 52 99
Email : info@terrasol.com

Agence Rhône-Alpes

Immeuble le Crystallin
191/193 cours Lafayette
69458 Lyon Cedex 06
France

Tel : +33 (0)4 27 85 49 35
Fax : +33 (0)4 27 85 49 36
Email : lyon@terrasol.com

Représentation au Maroc

c/o Semartec - Bureaux Regus
71, Angle Bd Mohamed V
et Rue Azilal - 3^{ème} étage
Casablanca-Maroc

Tel : +212 (661) 25 53 89
Fax : +212 (529) 03 64 00
Email : t.elmalki@terrasol.com

Terrasol Tunisie

2, rue Mustapha Abdessalem
El Menzech
2037 Tunis
Tunisie

Tel : +276 71 23 63 14
Fax : +256 71 75 32 88
Email : info@terrasol.com.tn

Conception, mise en page :
Pierre Vincent