La Lettre
n°32 Juin 2018

terrasol
setec

Un pont sur le fleuve Gambie

© Crédit photo: Setec TPI

La Gambie est un pays qui borde le fleuve éponyme et qui partage presque le Sénégal d'Ouest en Est, compliquant de ce fait les déplacements terrestres entre la Casamance et la capitale. Jusqu'à présent, le franchissement du fleuve Gambie était assuré par un bac ne permettant qu'un débit réduit et une fiabilité aléatoire. C'est pourquoi, depuis les années 70, diverses études d'un ouvrage de franchissement ont été entreprises avec une première campagne géotechnique (BCEOM, 1972) et en parallèle des études économiques et de tracé.

Ces études ont été reprises par l'Organisation de Mise en Valeur du fleuve Gambie en 2010 avec un financement de la Banque Africaine de Développement, pour déboucher sur une consultation d'entreprises pour la réalisation de cet ouvrage. SETEC TPI, avec le concours de TERRASOL, est adjudicataire de la Maîtrise d'Œuvre Travaux de cet ouvrage, en groupement avec STUDI INTERNATIONAL.

Le dossier de consultation définit l'ouvrage de franchissement comme un pont à voussoirs précontraints d'une longueur entre culées de 942 m avec des accès en remblai d'environ 600 et 900 m de part et d'autre.

Le contexte géologique est formé d'alluvions fines dans le lit du fleuve, et de zones compressibles de mangrove pour ce qui concerne les accès. Les études géotechniques ont relevé plus particulièrement les problématiques suivantes : faible compacité des alluvions fines du lit dans les premiers mètres, et compressibilité des sols d'assises des accès (argiles organiques).

Il a donc été prévu :

- Des pieux longs sous les appuis, réalisés à l'aide de tubages métalliques battus laissés en place,
- Une consolidation du sol support dans les zones d'accès avec de faibles hauteurs de remblai,
- Un remblai allégé (polystyrène) dans les zones d'accès avec des hauteurs importantes.

La technique prévue pour la réalisation des pieux a été appliquée effectivement en phase construction, car elle semblait la plus adaptée au contexte géotechnique et aux moyens d'exécution envisagés.

En ce qui concerne les remblais d'accès, le marché avait prévu de valider les solutions envisagées par la réalisation d'un remblai d'essai instrumenté. Mais en raison des aléas organisationnels du site, ledit remblai d'essai n'a pu être réalisé que très tardivement, et l'interprétation des mesures obtenues (sous le contrôle de TERRASOL) a conclu à des temps de consolidation importants qui remettaient en cause la date de mise en service prévue pour l'ouvrage. Le Maître d'Ouvrage souhaitant éviter de différer la mise en service du pont (ce dernier étant à péage, un retard conduisait à un manque à gagner sur l'exploitation), il a été envisagé avec l'entreprise de recourir à des voies d'accès sur estacades fondées sur pieux battus.

Tout au long de la démarche d'ingénierie d'exécution, TERRASOL a assuré différentes missions au sein de la Maîtrise d'Œuvre :

- Vérification et validation des hypothèses et calculs de l'entreprise,
- Contribution aux adaptations et évolutions techniques du projet,
- Expertise dans l'interaction sol/structure vis-à-vis de comportements de sol complexes (ensemble de pieux sous sollicitations verticales, horizontales et de torsion ; consolidation de sols avec comportement de fluage), avec utilisation du logiciel Foxta.

Les ingénieurs de TERRASOL sont fiers d'avoir, à leur mesure, été acteurs de ce projet majeur pour la mobilité trans-étatique de l'Afrique de l'Ouest.

J. Drivet

Édito

Terrasol a connu une activité très soutenue durant le 1er semestre 2018, et la fin de l'année devrait se poursuivre au même rythme. Nous avons donc renforcé nos équipes en conséquence ces derniers mois, avec de nombreux recrutements depuis le début de l'année, à Paris et à Lyon. Notre effectif actuel est ainsi de plus de 70 personnes, avec une progression toujours régulière depuis de nombreuses années.

Nos équipes sur chantier se renforcent elles aussi progressivement, au fur et à mesure du démarrage des travaux des différents lots du Grand Paris Express, avec bientôt 8 ingénieurs en maîtrise d'œuvre travaux en région parisienne. De plus, deux de nos ingénieurs sont actuellement mobilisés au sein de l'équipe Setec à Birmingham en Angleterre, sur le projet de ligne ferroviaire à grande vitesse « High Speed 2 ».

Par ailleurs, les JNGG 2018, au mois de juin à Marne-La-Vallée, ont constitué un bon révélateur du dynamisme et de la technicité de nos équipes, puisque plus de 10 communications y ont été publiées et présentées par Terrasol : elles étaient consacrées à des ouvrages auxquels Terrasol a contribué, ou encore à nos développements scientifiques récents.

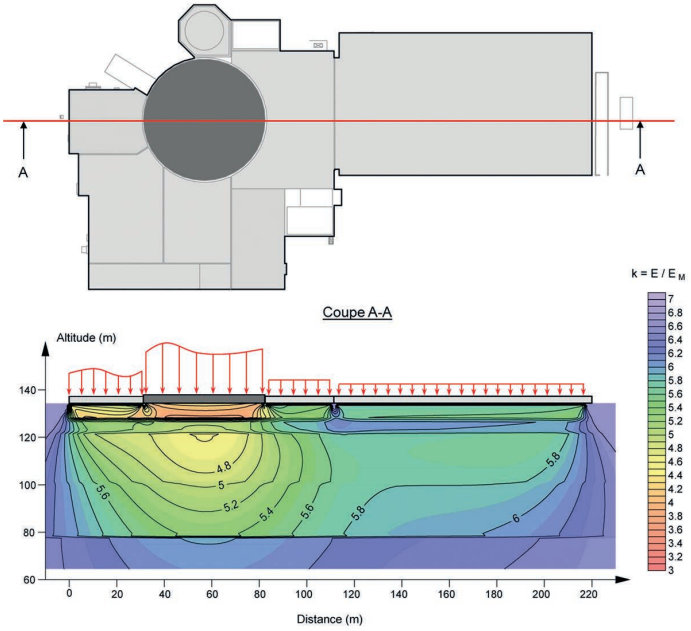
Ce numéro de la Lettre Terrasol prend à présent le relais, en illustrant lui aussi les différentes facettes de notre activité au service de nos clients et partenaires.

Souhaitant à tous nos lecteurs un bel été,

V. Bernhardt

Une meilleure prise en compte de l'interaction sol/structure

Développements scientifiques



Prise en compte de la variation du module avec la déformation dans un modèle Tasplaq. Exemple d'un îlot nucléaire. Cartographie du rapport E/EM en tout point du massif support

La conception et le dimensionnement des fondations et des constructions (bâtiments, tours, ponts, etc.) reposent actuellement sur l'utilisation des Eurocodes, avec la combinaison de différents facteurs partiels permettant d'atteindre un coefficient de sécurité global acceptable tant pour les états limites de service et que pour les états limites ultimes. Tout projet de construction s'appuie donc sur ces textes pour garantir des niveaux de fiabilité et de robustesse satisfaisants.

Néanmoins, du fait du découpage actuel de ces textes normatifs (Eurocode 1 pour les actions, Eurocode 2 et 3 pour les structures en béton armé ou précontraint et les structures en acier, Eurocode 7 pour le dimensionnement géotechnique, et Eurocode 8 pour le dimensionnement sismique), et aussi de l'ingénierie, qui distingue l'ingénierie des structures et l'ingénierie géotechnique, les justifications des fondations d'une part, et de la superstructure d'autre part, sont souvent menées séparément. Chaque ingénierie cherche ainsi à atteindre les niveaux de sécurité requis, sans nécessairement prendre en compte l'interaction qui existe entre la structure et ses fondations.

Depuis plusieurs années, TERRASOL engage sur chacun de ses projets un dialogue avec l'ingénierie des structures pour mener de front la conception et le dimensionnement des fondations et des structures. Cet échange permet de mettre en application les bases de l'interaction sol-structure et ainsi d'optimiser globalement le dimensionnement des ouvrages, c'est-à-dire d'aboutir à des projets moins coûteux tout en garantissant toujours de meilleurs niveaux de fiabilité.

L'interaction sol-structure suppose le calcul des déplacements de la structure en adéquation avec celui des fondations. Pour mettre en pratique ce principe, TERRASOL développe tout une gamme de logiciels permettant de calculer les déplacements verticaux et horizontaux des fondations. Ces logiciels sont basés sur des méthodes de calculs hybrides au sens où ils couplent le comportement de la structure et du terrain. Ils sont développés pour des applications spécifiques, ce qui permet de diminuer grandement les temps de calcul et de procéder rapidement aux études paramétriques à mener pour tout projet de construction. Il ne s'agit donc pas ici d'utiliser des codes de calcul généralistes complexes souvent lourds à manipuler.

Longtemps, le calcul du tassement des fondations a été un problème car il met en œuvre des méthodes complexes basées sur la théorie de l'élasticité. Mal maîtrisée, cette théorie fournit souvent des résultats pessimistes quant à l'évaluation des tassements. Afin de dépasser ce stade, TERRASOL a engagé à l'occasion du Projet National ARSCOP (nouvelles Approches de Reconnaissance des Sols et de Conception des Ouvrages géotechniques) un travail de développement sur les modules de la suite logicielle FOXTA afin d'y intégrer les spécificités du comportement des sols dans la gamme des faibles déformations. La prise en compte de ce type de comportement permet d'améliorer les prévisions de tassements et ainsi d'optimiser significativement la conception des fondations au-delà des coefficients de sécurité. Dans le cas particulier du module TASPLAQ, il s'agit de lier le module de déformation du sol, souvent mesuré avec le pressiomètre, au niveau de déformation ou de contrainte.

F. Cuira et S. Burlon

Prolongement du RER E vers l'Ouest de Paris (EOLE)

Paris, France

TERRASOL réalise actuellement les missions géotechniques VISA et DET de la Maîtrise d'Œuvre Travaux du prolongement du RER E vers l'Ouest de Paris (projet EOLE), au sein des équipes de SETEC TPI, pour les ouvrages du secteur de La Défense : tunnels en méthode traditionnelle, nouvelle gare en sous-œuvre du CNIT, ouvrages annexes et de correspondance.

Sur site, TERRASOL assure le suivi géologique et technique des excavations et des travaux spéciaux, ainsi que le suivi des déformations induites. Le chantier entre dans sa deuxième année de pleine activité.

Les opérations de reprise en sous-œuvre se développent : au droit du tunnel Est, les puits de fondation du parking Régnault sont en cours d'excavation ; au droit de la future gare, 90% des 1560 micropieux de reprise en sous-œuvre provisoire des structures internes du CNIT sont achevés, et 10% des poteaux sont repris en charge. La réalisation des structures définitives de reprise en sous-œuvre (dalle et puits) débutera à l'été.

A l'Est, un puits d'attaque et 50 mètres linéaires du tunnel principal ont été creusés, à l'abri d'un important rabattement de nappe. Pour permettre le passage du tunnel sous la tour EXALTIS (ouvrage sensible), des injections de compensation sont prévues : les phases de conditionnement et de pré-soulèvement ont été achevées en avril 2018. A l'Ouest, les parois moulées des tranchées couverte et ouverte sont achevées, après injections localisées d'étanchement des terrains suite à des pertes de boues significatives.

La mise en service des ouvrages est prévue pour 2022.

F. Asselborn et J. Marlinge

Des radiers très sensibles aux tassements différentiels

Les Mureaux, France

Dans le cadre de la construction des installations d'assemblage du futur lanceur Ariane 6, TERRASOL est intervenue en co-conception avec VINCI CONSTRUCTION FRANCE, pour le compte d'ARIANEGROUP, afin de relever un incroyable défi.

Le bâtiment N80, localisé en bordure de Seine (rive gauche) aux Mureaux, a pour vocation la fabrication des réservoirs d'oxygène et d'hydrogène liquide du futur lanceur. Les équipements lourds, permettant le fraisage et le soudage des éléments constitutifs des réservoirs, nécessitent des fondations respectant des tassements différentiels de l'ordre de quelques dizaines de microns ! Cette exigence exceptionnelle permettra l'automatisation des procédés, afin de diminuer drastiquement les coûts et d'augmenter les fréquences actuelles de lancement.

TERRASOL a réalisé plusieurs modèles 3D aux éléments finis (avec PLAXIS), d'une très grande précision, pour étudier les solutions de fondation de ce bâtiment N80. Finalement, ce sont deux radiers fondés sur pieux qui ont permis de respecter les exigences opérationnelles : le premier radier de 53 m x 12 m x 4 m repose sur 315 pieux, et le second de 11 m x 4 m x 2 m s'appuie sur 14 pieux. Les contrôles de réception sont en cours et les premières mesures sont conformes aux résultats attendus.

Ce grand défi technique a pu être relevé grâce à un travail collectif de l'ensemble des disciplines impliquées, avec la coordination d'ARIANEGROUP.

C. Babin, Y. Abboud et P. Kuhn

Une nouvelle ligne ferroviaire entre Londres et Birmingham

Angleterre

Le projet HS2 ("High Speed 2") porte sur la construction d'une ligne ferroviaire à grande vitesse visant à relier Londres à Birmingham (phase 1), puis à Manchester et Leeds (phase2) au Nord de l'Angleterre.

La phase 1 du projet, actuellement en cours, porte sur un tronçon de 200 km entre Londres et Birmingham. Celui-ci a été découpé en 7 lots qui ont été attribués à plusieurs groupements d'entreprises.

Deux de ces lots ont été attribués à Eiffage-Kier, qui a fait appel à SETEC, ARCADIS et COWI, associés en DJV (Design Joint-Venture) afin de réaliser le design des lots centraux C2 et C3 sur un linéaire de 80 km, comprenant notamment 17 viaducs, 3 tranchées couvertes, et des ouvrages en terre de grande hauteur (remblais jusqu'à 14 m de haut et déblais jusqu'à près de 30 m de profondeur).

TERRASOL est présente au sein de l'équipe SETEC installée sur le plateau du projet à Birmingham ; cette équipe multidisciplinaire intervient dans les études de terrassement des 2 lots C2 et C3 : études géotechniques, drainage, environnement, paysage, BIM...

B. Madinier

Projet Cigéo pour l'Andra

Bure, France

Dans le cadre du projet Cigéo, TERRASOL a été missionnée par l'ANDRA pour développer une approche d'ingénierie pour le dimensionnement de voussoirs avec matériau compressible prévus comme structure interne des galeries et alvéoles qui seront creusées dans le Callovo-Oxfordien, une formation géologique à comportement différé, pour le futur stockage géologique de déchets radioactifs à grande profondeur à Bure.

L'étude s'est concentrée dans un premier temps sur l'analyse approfondie des mesures provenant du Laboratoire de recherche Souterrain de Meuse/Haute-Marne (LSMHM) et plus particulièrement de la galerie GRD4 creusée au tunnelier à attaque ponctuelle au cours de l'année 2013. L'exploitation de 4 ans de mesures provenant des capteurs installés au sein de l'argilite et des voussoirs ont permis d'ajuster le modèle de calcul développé avec le code de calcul numérique FLAC pour modéliser la construction de la galerie et les premières années de comportement de l'ensemble. Une extrapolation à 100 ans a ensuite été réalisée via la prise en compte de différents jeux de paramètres de calcul afin d'évaluer la sensibilité des résultats et la robustesse des dimensionnements proposés pour plusieurs diamètres d'excavation, orientations d'ouvrage et méthodes de creusement (tunnelier ou méthode traditionnelle).

TERRASOL poursuit actuellement ces études de dimensionnement des voussoirs avec matériau compressible dans le cadre d'une nouvelle mission appliquée aux galeries d'accès aux alvéoles de déchets haute activité (HA), pour lesquelles le chargement thermique apporté par les colis sera pris en compte.

En parallèle, TERRASOL réalise pour le compte d'EIFFAGE le suivi géotechnique du creusement de galeries au LSMHM : GVA2 en 2017 (percement en illustration) et GAN7 en 2018.

H. Le Bissonnais et J.F. Bruchon

Rubrique logiciels

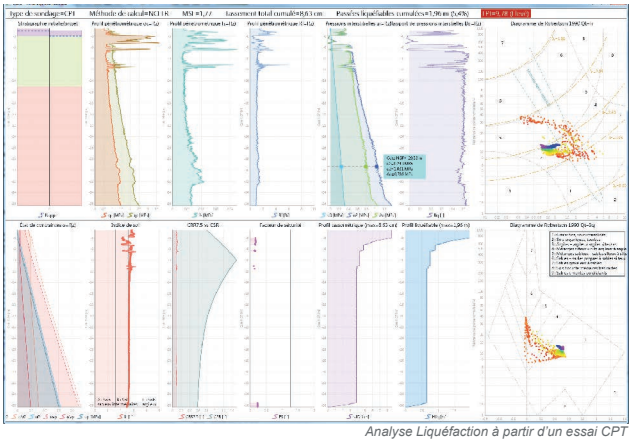
Nouvel outil “Liquéfaction”

TERRASOL finalise actuellement le développement d’un logiciel dédié à l’analyse quantitative de l’aléa de liquéfaction des sols sous sollicitations sismiques. Dans sa version initiale, cet outil est basé sur une implémentation stricte de la méthode semi-empirique directe dite « NCEER » (Youd et Idriss, 2001), qui fait actuellement référence en la matière au niveau international. Celle-ci repose sur l’introduction de facteurs de sécurité basés sur la comparaison entre la contrainte de cisaillement induite par le séisme de projet (Cyclic Stress Ratio, CSR) et la résistance au cisaillement cyclique offerte par les matériaux du site (Cyclic Resistance Ratio, CRR) qui découle de l’exploitation d’essais in-situ de type CPT(u) ou SPT. Une attention particulière est apportée au cadrage des hypothèses de calcul (hypothèses sismiques, conditions hydrogéologiques en site vierge et en projet) et à l’importation des données brutes d’essais CPT(u) et/ou SPT.

Cet outil permet également de conduire des analyses de sensibilité sur l’ensemble des paramètres critiques (niveaux de nappes, couples accélération/magnitude, etc.) à partir de la gestion de « scénarios » associés à l’exploitation d’un sondage ou groupe de sondages, et ceci de manière très conviviale.

En complément, une évaluation des tassements sismo-induits est présentée selon la méthode semi-empirique de Zhang et Brachman (2002). Cet indicateur, qui sera bientôt accompagné d’options complémentaires dans le cadre de développements ultérieurs, permet un éclairage spatial et ouvre la porte à des analyses multicritères évitant de restreindre les études de liquéfaction aux simples facteurs de sécurité.

M. Hocdé et M. Huerta



Analyse Liquéfaction à partir d’un essai CPT

Formations

Les formations inter-entreprises d’ores et déjà programmées jusqu’à la fin d’année sont les suivantes :

- Foxta v3 à Rabat (Maroc) les 3 et 4 juillet 2018
- Fondations des ouvrages à Dakar (Sénégal) du 23 au 26 juillet 2018
- Talren v5 à Lyon le 12 octobre 2018
- K-Réa v4 à Lyon le 13 octobre 2018
- Foxta v3 à Lyon le 14 et 15 octobre 2018
- Plaxis 2D à Paris les 12, 13 et 14 novembre 2018

D’autre part, nous sommes toujours à votre écoute pour répondre à vos demandes de formation intra-entreprises portant sur la modélisation des ouvrages géotechniques.

M. Huerta

Publications et interventions récentes

- Solution de remblai renforcé par géotextile – Projet de mise à niveau du tronçon Lakhdaria – Bouira (33kms) (**M. Yahia-Aissa, P. Brossier,** A. Hadjaze et M. Khelifi) – Congrès Algérien des Géosynthétiques, Alger, février 2018
- Radar interferometry as an innovative solution to monitor the construction of the Grand Paris Express – First results (F. Koudogbo, A. Urdiroz, J. Garcia Robles, **G. Chapron**, G. Lebon, V. Fluteaux et G. Priol) – WTC 2018, Dubaï, avril 2018
- Des réservoirs de GNL sur fondations spéciales au Koweït (**C. Bernuy** et **N. Frattini**) – Solscope Mag n°9, avril 2018
- Instrumentation avancée de la gare Fort-d’Issy–Vanves–Clamart : fibre optique et cellules de pression pour ausculter la paroi moulée (**K. Nejjar**, **H. Le Bissonnais** et **F. Cuira**) – Solscope Mag n°10, juin 2018
- Méribel – Fondations d’une résidence Pierre & Vacances sur inclusions rigides (**A. Beaussier**, T. Boizard et P. Roze) – Revue Travaux n°942, juin 2018
- Parlons géotechnique ! (**V. Bernhardt**, L. Chalard, F. Depardon et J. Robert) – Revue Travaux n°942, juin 2018

Conférence Européenne de Génie Parasismique, Thessalonique, juin 2018

- Macroelement based seismic analysis of a raft foundation (**Y. Abboud**, **S. Burlon** et JF. Semblat)
- Significant seismic ground motion parameters for the macroelement based design of shallow foundation (**Y. Abboud**, **S. Burlon** et J.F. Semblat)

Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, Champs-sur-Marne, juin 2018

- Apports de l'interaction sol structure dans le dimensionnement des groupes de pieux sous séisme (**J. Pérez**, **F. Cuira**, P. Kotronis et S. Escoffier)
- ONERA : Soufflerie de Modane - Avrieux (France) – Renforcement de sol en milieu gypseux (B. Mazaré, P. Wagner, C. Brouillat-Fargier et **J. Voiron**)
- Prise en compte de l’ISS dans la justification de la portance sismique d’un radier général (**Y. Abboud**, **F. Cuira**, **S. Burlon** et J.F. Semblat)
- Calcul probabiliste tenant compte de la variabilité spatiale des sols pour la justification d’un remblai (**H. Pillard**, **A. Bergère**, **F. Cuira** et JJ. Fry)
- Estimation de la surface comprimée des fondations gravitaires annulaires en statique (**JF. Bruchon**, **C. Borély**, **F. Cuira** et E. Palix)
- Instrumentation avancée de la paroi moulée de la gare Fort d’Issy Vanves Clamart (**K. Nejjar**, D. Dias, **G. Chapron**, **F. Cuira**, **H. Le Bissonnais** et V. Fluteaux)
- Dimensionnement de 8 réservoirs GNL fondés sur inclusions rigides selon les recommandations ASIRI (**N. Frattini**, **C. Bernuy** et **F. Cuira**)
- Estimation du rapport E/EM : application aux radiers de grandes dimensions (**MT. Hoang**, **F. Cuira**, D. Dias et P. Miraillet)
- Les Argiles Plastiques de l’Yprésien et leur comportement capricieux (**A. Bergère** et **F. Ropers**)
- Quelques considérations pratiques autour de l’utilisation de la méthode « NCEER » pour l’étude du risque de liquéfaction des sols (**M. Hocdé**, **F. Cuira** et **F. Ropers**)
- Etude du comportement en déplacement de micropieux en traction (L. Toubassy, **F. Cuira**, V. Darras, J. Habert)

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

Setec Maroc
3, rue Abou Hanifa
Agdal
Rabat-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 Menzeh
2037 Tunis
Tunisie

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

Conception, mise en page : Shaimes Mirenda