

Numéro spécial / Août 2016

Edito

Les ouvrages d'art ont toujours constitué un axe principal dans le développement de Terrasol. En effet, les problématiques géotechniques sont variées (fondations, renforcement de sol, stabilité de pentes, mécanique des roches ou des sols, stabilité hydraulique ou mécanique des fonds de fouille, soutènements...) et constituent souvent pour le projet un enjeu majeur vis-à-vis de la maîtrise des coûts et des délais. Cette édition spéciale de la Lettre Terrasol présente quelques références « historiques » (viaduc du Poncin, viaduc de Millau, pont Vasco de Gama ...), ainsi que des ouvrages plus récents, défis majeurs par leurs aspects géotechniques, comme le viaduc du Bouregreg avec ses fondations superficielles de la taille d'un terrain de tennis, ou le viaduc de la Grande Ravine avec ses puits de 10 m encastrés en bordure des flancs de la ravine. Terrasol est également intervenue largement sur les nombreux ouvrages d'art, courants ou non courants, construits ces dernières années en France dans le cadre de projets routiers et ferroviaires.

Et si les grands projets d'ouvrages d'art se font aujourd'hui plus rares en France, les projets internationaux permettent d'élargir notre champ d'action : le 3^{ème} pont sur le Bosphore en Turquie ou le pont sur le Wouri au Cameroun par exemple en sont l'illustration.

L'objectif de Terrasol est ainsi de rester une référence lorsqu'il s'agit de trouver une solution innovante pour fonder des ouvrages exceptionnels ou plus classiques.

H. Le Bissonnais

... à aujourd'hui

Fondations du viaduc du Bouregreg (Maroc)

Depuis plusieurs années, ADM (Autoroutes du Maroc) souhaitait réaliser un pont à haubans pour le Royaume du Maroc.

Après un premier projet envisagé sur l'Oued Sebou près de Fès et mené en 2005 jusqu'au stade APD par une équipe composée de SETEC TPI, MAROC SETEC, l'architecte Hervé Vadon (STRATES) et TERRASOL pour la partie géotechnique, une deuxième opportunité s'est présentée sur l'autoroute de contournement de Rabat-Salé en variante d'un viaduc classique en voûtes béton.

La même équipe a présenté un projet ambitieux avec des dimensions exceptionnelles : une longueur totale de 952 m avec une travée centrale de 375 m, un tablier à 100 m de hauteur, et deux piles principales de 200 m de hauteur avec une architecture inspirée des arts de l'Islam.

Le contexte géologique et géotechnique est marqué par la présence de terrains métamorphiques (schistes du Houiller) recouverts en discordance par des formations sédimentaires (grès, calcarénites, argillites). La qualité des terrains d'assise des piles principales a conduit à privilégier une solution d'appui par fondations superficielles avec toutefois des dimensions imposantes (25x30 m, soit de l'ordre d'un terrain de tennis).

TERRASOL a réalisé entre 2008 et 2014 les études géotechniques APS et APD, la définition et le suivi des reconnaissances géotechniques, une assistance géotechnique pour l'exécution des travaux (terrassements, fondations) et le contrôle extérieur des études d'exécution géotechniques.

Les travaux ont été menés à partir de 2011 par un groupement d'entreprises chinoises (COVEC MBEC).

L'ouvrage baptisé « Pont Mohammed VI », devenu le plus grand pont haubané du continent africain, a été inauguré le 7 juillet 2016 par le Roi du Maroc.

Géotechnique des ouvrages d'art d'hier...

Viaduc de la Truyère sur l'A75 (France)



@Droits réservés

travée centrale a nécessité la mise en place de palées provisoires devant reprendre 11 000 t., et s'est achevée en 1993.

TERRASOL est intervenue en 1990, pour le compte du groupement d'entreprises DUMEZ-GTM, au stade des études d'exécution, pour une assistance au suivi du chantier de fondations et de terrassements.

La vallée de la Truyère entaille profondément, sur 80 m, un massif de gneiss et micaschistes recoupé de nombreux filons de microgranites, fortement diaclasé et avec une altération hydrothermale. Le dimensionnement des talus de terrassements des pistes et plateformes et des fondations a été largement guidé par une analyse structurale du rocher, ainsi qu'une évaluation de la raideur du massif rocheux. Les appuis définitifs, bâtiots, et culées, sont fondées superficiellement au rocher, tandis que les palées provisoires sont fondées à mi-pente sur puits marocains de 4,2 m de diamètre et 10 m de profondeur, pour permettre la reprise des efforts horizontaux.

A. Guilloux



Credit photo : Olivier Panier des Touches

H. Le Bissonnais et J. Marlinge

Viaduc de Millau

France



@Droits réservés

Le viaduc de Millau, qui franchit la vallée très encaissée du Tarn, constitue un ouvrage exceptionnel par ses dimensions : 2,5 km de longueur, hauteur sous tablier de 245 m. Le terrain de fondation est constitué principalement de calcaires au nord et de marnes au sud.

Chacune des 7 piles en béton armé de l'ouvrage est fondée sur une épaisse semelle reposant sur quatre puits d'environ 5 m de diamètre et de 10 à 15 m de profondeur. Les culées C0 et C8 reposent sur un radier de 1 m d'épaisseur pour chaque culée avant, relié à deux semelles latérales pour chaque culée arrière. Il est à noter toutefois que la culée nord (C0) repose en partie sur un puits du fait de conditions géotechniques découvertes au cours des terrassements, adaptation nécessaire à la stabilité lors de la phase de lancement du tablier.

TERRASOL, après avoir participé avec EIFFAGE au concours de concession, a assuré pour le compte de SETEC TPI une mission de maîtrise d'œuvre comportant le suivi géotechnique sur chantier des travaux de terrassements et de fondations, et le contrôle des notes de calcul sur la stabilité des ouvrages géotechniques.

La grande sensibilité de l'ouvrage aux tassements des fondations a conduit la société concessionnaire à mettre en œuvre la méthode observationnelle pour suivre les mouvements et intervenir sur les fondations si nécessaire. Les mesures ont montré que les mouvements sont restés faibles et admissibles, en particulier les rotations. A noter que les tassements n'ont pas été proportionnels à la charge et se sont produits par à-coups.

A. Bergère

Pont Vasco de Gama

Lisbonne, Portugal



@Droits réservés

Le pont de Vasco de Gama sur le Tage à Lisbonne a été mis en service en 1998, après 44 mois de chantier, délai remarquable pour un tel ouvrage : longueur de 12,3 km, décomposé en huit ouvrages, avec un viaduc haubané de 829 m.

TERRASOL est intervenue, en appui du groupement d'entreprises piloté par CAMPENON BERNARD SGE, pour la conception et le suivi des fondations, enjeu technique majeur du projet : dans cette zone d'estuaire avec marnages et courants forts, il était prévu 856 pieux de 1,7 à 2,2 m de diamètre et jusqu'à 85 m de profondeur, sous des charges de 3000 t, et avec des cadences de production de deux pieux battus et un pieu foré par jour.

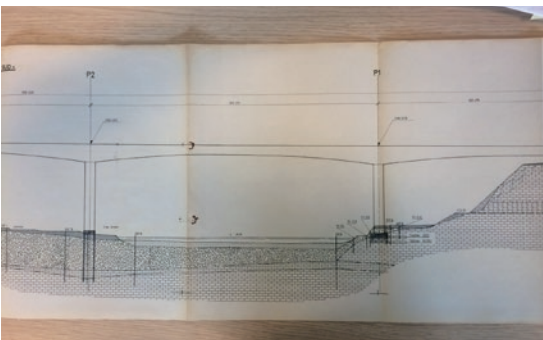
Dans un ensemble alluvial atteignant jusqu'à 75 m d'épaisseur, constitué de sables vaseux lâches en surface à graveleux compacts en profondeur, la mise en œuvre des sondages de reconnaissances et le choix des techniques de pieux ont été délicats.

Neuf essais de chargement en vraie grandeur, 7 en vertical et 2 en horizontal, ont permis de valider les paramètres de dimensionnement et de montrer l'effet positif de l'injection en pointe des pieux forés, mais aussi la réduction de frottement latéral et l'absence de formation de bouchon des pieux battus, conduisant à modifier leurs méthodes de mise en œuvre et de contrôle.

A. Guilloux

Viaduc de Poncin sur l'A42

France



Le Viaduc de Poncin sur l'autoroute A42 est le premier viaduc étudié par TERRASOL en 1979, pour le compte du Maître d'œuvre SCETAUROUTE, lors des études de conception. Il s'agit d'un pont courbe en poutre-caisson construit en encorbellement. Il comporte 6 travées, et sa longueur est de 567 m, avec une travée de 155 m pour la traversée de l'Ain. Cet ouvrage exceptionnel pour l'époque a été le premier viaduc en monocoisson de cette largeur.

La vallée de l'Ain s'inscrit dans un substratum calcaire du Jurassique, avec un recouvrement alluvial d'environ 20 m d'épaisseur. Les fondations sont superficielles pour les appuis au rocher, et profondes, après injection des alluvions graveleuses très crues, pour les deux piles dans les zones à fort recouvrement alluvial : caisson circulaire en parois moulées de 12,5 m de diamètre pour P2, et barrettes en H sur P3, du fait de la pente du substratum rocheux.

L'ouvrage a été achevé en 1987, et constitue une première belle référence de TERRASOL en matière de grands ouvrages d'art.

A. Guilloux

Ripage d'un ouvrage sous haute surveillance à Givors

France



@Droits réservés

Dans le cadre de l'aménagement du quartier de la gare de Givors, l'entreprise BEC FRÈRES SA a été déclarée adjudicatrice d'un projet de passage inférieur sous la voie SNCF. Les délais de coupure imposés par la SNCF étant de 72 heures pour faire la fouille, mettre en place le cadre préfabriqué et remblayer, l'entreprise a proposé une solution de ripage de l'ouvrage.

L'exécution de ce ripage a été sous-traitée à l'entreprise FREYSSINET qui a préconisé un ripage sur coussin d'air et "skidways". Ce procédé consiste à disposer à l'extérieur du cadre, sous des « oreilles » en béton, des vérins hydrauliques permettant de lever l'ouvrage. A la base de ces vérins, une plaque de répartition leur permet de glisser sur des "skidways" métalliques par l'intermédiaire d'un coussin d'air (azote sous pression). Le poids total de l'ouvrage est de 1080 tonnes et la charge par vérins de 108 tonnes.

La mission confiée par BEC à TERRASOL couvrait plusieurs aspects :

- analyse des résultats des investigations complémentaires et confirmation de la faisabilité de la solution sur coussins d'air,
- calcul des déformations et des contraintes dans les skidways et, le cas échéant, préconisation de mesures complémentaires.

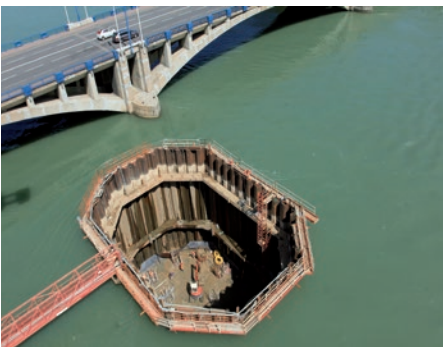
L'analyse des résultats des investigations complémentaires a mis en évidence deux zones de faiblesses pouvant remettre en cause la faisabilité du ripage sur coussins d'air : la première, sur la zone de préfabrication de l'ouvrage, laissait craindre de fortes déflexions dans les skidways dès le début du ripage. TERRASOL a préconisé (une substitution n'étant pas faisable à cet endroit) de précharger l'assise des skidways à l'aide des vérins de levage. Une deuxième zone a été individualisée comme douteuse et une substitution a été préconisée.

Ces vérifications ont été menées avec Plaxis 2D en conditions court terme et long terme en appliquant un séquençage dans l'application des surcharges modélisant l'avancée de l'ouvrage. Les opérations de ripage se sont déroulées le 29 Août 2009 sans encombre.

J. Drivet

Pont Raymond Barre

Lyon, France



Crédit photo : Balloide/SYTRAL

Marquant l'entrée sud de la ville de Lyon, le pont Raymond Barre de franchissement du Rhône présente une architecture moderne avec ses deux arcs inclinés vers l'extérieur. Au côté de la Maîtrise d'Oeuvre, TERRASOL a été missionnée pour l'étude des fondations de cet ouvrage, inscrit dans le cadre du projet de prolongement de la ligne de tramway T1, puis pour le suivi des travaux.

Le pont à 3 travées comporte un appui en rivière (P1) et un appui en bordure de rive (P2), tous deux fondés sur pieux. Le terrain est composé d'alluvions fluviales devenant compactes en profondeur pour rencontrer le substratum mécanique constitué d'un sable granitique associé au faciès du Jardin des Plantes.

Les problématiques du projet sont essentiellement liées :

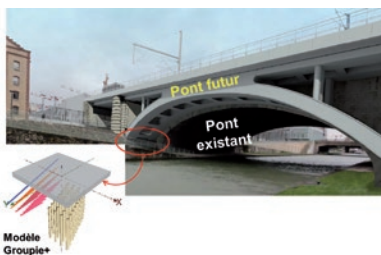
- à la descente de charges complexe de la structure (dissymétrie du tablier induisant d'importants efforts transversaux pour les fondations) ;
- au respect des circulations fluviales qui nécessite une emprise des fondations limitée ;
- aux difficultés d'exécution en rivière avec une hauteur d'eau d'environ 12 m au droit de la pile P1.

Les calculs des fondations profondes des appuis ont été effectués à l'aide du logiciel FOXTA, qui permet la prise en compte du comportement d'un groupe de pieux sous sollicitations transversales et axiales simultanément. La construction a été confiée au groupement BOUYGUES TP/MATIERE/ZWALHEN & MAYR. La première pierre a été posée le 24 novembre 2011. Les travaux ont débuté en avril 2012 avec la réalisation du batardeau de la pile P2 et des pieux de la culée C3. Le grand batardeau de la pile P1 a nécessité la réalisation des 16 pieux Ø1600 pour la reprise de cet appui sur lequel est venue s'encaster la charpente métallique. Les travaux se sont achevés en septembre 2013.

T. Rossi

Élargissement 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

Renouvellement de voies ferrées « Nantes / Saint-Gilles »

France

Dans le cadre du plan de modernisation du réseau Ferroviaire, le groupe SETEC a été mandaté par RFF comme Maître d'Œuvre pour les études et les travaux du renouvellement intégral des voies ferrées entre Sainte-Pazanne et Pornic d'une part, et entre Sainte-Pazanne et Saint-Gilles-Croix-de-Vie d'autre part, soit sur un linéaire total de 84 km. Ces travaux, qui permettent notamment le relèvement de la vitesse d'exploitation, ont nécessité le remplacement des tabliers d'un viaduc et de 6 ouvrages d'arts courants, construits dans les années 1910.

Dès la phase d'avant-projet, TERRASOL est intervenue pour la définition et le dimensionnement des renforcements à mettre en œuvre pour assurer la stabilité externe des culées vis-à-vis des règlements actuels sous la future descente de charge, qui intègre la mise en œuvre du nouveau tablier, le relèvement de la vitesse d'exploitation, et l'évolution des charges de convois. Compte-tenu des incertitudes sur les géométries des culées, les solutions retenues ont été :

- Un renforcement des culées par clouage, permettant un contrôle des hypothèses géométriques ainsi qu'une facile adaptation des renforts en phase travaux.
- Des micropieux verticaux reprenant l'incrément de charges verticales, en complément du clouage pour les ouvrages présentant un défaut de portance.
- Un ancrage de l'appui fixe de l'ouvrage par micropieux inclinés, permettant la reprise des efforts horizontaux apportés par le tablier.



A. Beaussier et A. Bachelier

Viaduc de la Grande Ravine

Île de la Réunion, France

Le viaduc de la Grande Ravine est l'un des quatre ouvrages exceptionnels de la route des Tamarins, reliant les villes de Saint Paul et l'Etang Salé.

Le groupement SETEC TPI / SPIELMANN ayant remporté en 2002 le concours de maîtrise d'œuvre complète pour la conception et la réalisation de cet ouvrage spectaculaire (brèche de 320 m de large et 170 m de profondeur), TERRASOL a assuré la conception des fondations et le suivi des travaux, dans un contexte géotechnique délicat (flancs de la ravine constitués d'alternance de bancs métriques de basalte et de scories de qualité moyenne).

Les fondations des appuis comportent un puits de 10 m de diamètre encastré sur 20 m de hauteur dans le massif, relié à une culée contrepoids. Les terrassements des culées et puits se sont déroulés entre août 2006 et juin 2007, pour un clavage de l'ouvrage fin 2008. Ce principe de fondation, validé par des calculs aux éléments finis tridimensionnels, a permis d'obtenir des déplacements des culées inférieurs au centimètre pendant les phases de lancement du tablier.



Crédit photo : Olivier Panier des Touches

H. Le Bissonnais

Section Balbigny/Viollay sur l'A89

Loire, France

Les travaux de l'A89, dans sa section entre Balbigny et le tunnel du Viollay, ont débuté en 2009.

Dans le cadre de la réalisation de ces 14,5 km d'autoroute, comportant 3 viaducs et 15 ouvrages d'art courants, TERRASOL, après avoir réalisé la partie géotechnique des études APD, PRO et DCE, a assuré l'assistance géotechnique en phase chantier auprès de Setec TPI, Maître d'œuvre des terrassements et ouvrages d'art courants, et Assistant Maître d'ouvrage pour les viaducs attribués en conception/réalisation.

Le contexte géologique, essentiellement composé de roches volcaniques très tectonisées, a imposé quelques adaptations mineures en phase chantier pour tenir compte de l'état d'altération et de fracturation du substratum pouvant varier significativement sur des distances très courtes. Il a, par exemple, été nécessaire de reconstituer le talus sous une culée perchée d'ouvrage d'art courant qui présentait une altération erratique compromettant la stabilité de l'ouvrage.



@Droits réservés

Ces adaptations ont été faites très rapidement, en concertation avec le groupement d'entreprises et le Maître d'œuvre, afin de ne pas pénaliser le planning, et la réactivité de TERRASOL y a contribué.

J. Drivet

Ligne à Grande Vitesse Bretagne - Pays de Loire

France



Crédit photo : Setec

La Ligne à Grande Vitesse Bretagne – Pays de la Loire (LGV BPL) s'inscrit dans le prolongement de la LGV Atlantique Paris – Le Mans mise en service en 1989. Elle permettra un gain de temps de 37 minutes entre Paris et Rennes. Dans le cadre d'un contrat PPP, le groupe EIFFAGE est en charge de la réalisation complète du projet, puis de la maintenance et du renouvellement de la ligne sur une durée de 25 ans : 182 km de ligne nouvelle à grande vitesse, 32 km de raccordements, environ 200 ouvrages d'art dont une dizaine de viaducs.

Au sein du groupement de la Maîtrise d'Œuvre particulière constituée de SETEC FERROVIAIRE (Mandataire), SETEC INTERNATIONAL, et SETEC TPI, TERRASOL a assuré le pilotage des reconnaissances géotechniques en phase d'APD ainsi que les études géotechniques des ouvrages d'art (OA) sur 120 km environ, soit 11 viaducs et 149 ouvrages courants.

La campagne de reconnaissance a démarré en avril 2011 et s'est terminée en janvier 2012. Une campagne complémentaire de 2 mois a ensuite été lancée en mars 2012. Les études géotechniques ont démarré au mois d'octobre 2011, avant réception de l'ensemble des

sondages de phase APD, avec la recherche constante des meilleures solutions techniques tout en optimisant le projet en termes de maîtrise des quantités, des coûts et du planning. Pour respecter les délais d'études, TERRASOL a dû mobiliser une équipe de plus de dix ingénieurs : début 2012, nous avons pratiquement terminé les études géotechniques de tous les ouvrages, avec un rythme grimpant jusqu'à 20 ouvrages d'art / semaine. La phase de reprise des rapports a ensuite permis la prise en compte des nouvelles données (résultats de laboratoire, campagne complémentaire), et des diverses remarques du contrôle externe et du contrôle extérieur. Notre mobilisation sur ce projet a donc été maintenue jusqu'en mai 2012, date de remise de l'APD définitif.

TERRASOL a ensuite réalisé également les études PRO, ainsi que le suivi des travaux avec un ingénieur détaché sur site.

A. Bergère

Ligne à Grande Vitesse Sud-Europe-Atlantique

Tours - Bordeaux, France



La LGV Sud Europe-Atlantique (SEA) Tours-Bordeaux est le premier projet de ligne à grande vitesse sur le modèle économique de Partenariat Public Privé (PPP) en France. Elle compte 340 km de ligne nouvelle, dont 302 km de ligne à grande vitesse et une quarantaine de km de raccordement à la ligne existante. Dans l'objectif d'une mise en service en 2017 pour une durée de concession de 50 ans, divers travaux et études préparatoires nécessaires aux premières opérations de chantier ont été engagés dès 2010.

TERRASOL a participé à ce projet de 2011 à 2015 sur plusieurs missions géotechniques d'exécution (G3) au service de différentes équipes du sous-groupement conception – construction COSEA :

- Les ouvrages d'art courants (52) et spécifiques (4) de la section B (lots 3 & 4) ;
- Les viaducs à voussoirs préfabriqués (4) traversant l'Auxance, l'Indre et le Claix (avec la prise en compte du contexte karstique) ;
- Le bassin hydraulique de rétention à Ambarès-et-Lagrave ;
- Le renforcement des sols sous les remblais de la vallée de la Dordogne.

La mise en service de la ligne est prévue mi-2017.

K.V. N'Guyen

Contournement ferroviaire de Nîmes et Montpellier

France



Crédit photo : Oc'Via - Yannick Brossard

TERRASOL intervient sur le projet de Contournement ferroviaire de Nîmes - Montpellier depuis 2010, à l'occasion tout d'abord de la réponse à l'offre du groupement OC'VIA CONSTRUCTION (BOUYGUES), puis des études d'APD - PRO : TERRASOL a défini aux côtés de SYSTRA les campagnes de reconnaissances géotechniques, puis réalisé les études géotechniques de conception des Ouvrages d'Art Courants du lot Gard et participé enfin à celles du Viaduc du Lez et de la tranchée de Manduel. Au total, près d'une centaine d'ouvrages d'art ont été étudiés.

Dans le cadre de la mission G3 EXE, le groupement OC'VIA CONSTRUCTION a ensuite confié à TERRASOL une mise à jour avec optimisation des études géotechniques de conception des Ouvrages d'Art des lots Hérault et Gard (soit plus de 160 ouvrages). On peut mentionner en particulier le saut de mouton permettant le passage de la future voie V2 du raccordement de Lattes au-dessus de la ligne existante Tarascon-Sète. Cet ouvrage est implanté dans un contexte géologique délicat : le

massif calcaire, subaffleurant dans la zone Sud de l'ouvrage, plonge ensuite de manière abrupte et à grande profondeur dans la zone Nord. En sus, des phénomènes de karstification affectent ce substratum calcaire. Les principes de fondations qui ont donc été retenus pour cet ouvrage associent des injections de traitement des karsts, des fondations superficielles, des pieux ancrés au rocher et des pieux flottants dans les formations tertiaires.

TERRASOL est également intervenue sur chantier : d'abord au printemps 2014 au sein de la cellule géotechnique de la direction technique, puis avec un ingénieur détaché pendant 18 mois auprès de la Maîtrise d'Œuvre Travaux. Les principales problématiques géotechniques rencontrées ont été :

- Les problèmes liés aux karsts et à leur comblement.
- Le suivi et la vérification des fondations des ouvrages d'art, et en particulier des pieux, véritable défi, car plus de 1200 pieux ont été réalisés.
- Le suivi des opérations délicates de jet-grouting sous les voies SNCF existantes pour la tranchée de Manduel.

G. Chapron, B. Madinier et F. Asselborn

Viaduc Riviera Marcory

Abidjan, Côte d'Ivoire



La construction du troisième pont d'Abidjan est sans doute, pour la Côte d'Ivoire, l'un des projets les plus emblématiques du XXI^{ème} siècle.

Ce viaduc de 1500 m de longueur et comptant 30 appuis permet depuis décembre 2014 de franchir la grande lagune Ebrié et s'intègre ainsi dans le projet global de liaison entre les quartiers de Marcory et de la Riviera. Le projet a été réalisé par BOUYGUES TRAVAUX PUBLICS et est exploité par la société concessionnaire SOCOPRIM, dans le cadre d'un marché de construction / concession.

A la demande de BOUYGUES, TERRASOL est intervenue, dès l'amont du projet, avec la définition de la campagne géotechnique et une mission de suivi de sondages sur site en novembre 2011, qui ont débouché sur la définition et l'analyse d'essais de chargement statiques de pieux, et les études de projet et d'exécution.

La campagne de reconnaissances a été difficile, d'une part à cause de la profondeur des investigations, dépassant 80 m, et d'autre part du fait de l'environnement lagunaire. Il a ainsi fallu modifier le programme initial, prévoyant la réalisation d'au moins un sondage au piézocône par appui, en les remplaçant par des sondages destructifs et pressiométriques. Le viaduc est fondé sur des pieux de 2 m de diamètre, forés à la tarière creuse, et qui dépassent 80 m de profondeur dans la partie centrale de la lagune afin de s'ancrer dans un horizon de sables compacts situé sous une importante épaisseur de dépôts argilo-vasards. Cet horizon compact inclut en outre une couche d'argile profonde moins porteuse, qui a nécessité une définition précise de la stratigraphie, définition rendue délicate du fait des conditions de sédimentation erratiques et des difficultés rencontrées lors de la réalisation des investigations.

Des essais de pieux, avec cellules Osterberg ont été réalisés afin de confirmer les hypothèses adoptées, notamment en ce qui concerne la portance en pointe, étroitement liée à une méthodologie d'exécution incluant des injections en pointe de pieux afin de recomprimer les terrains.

B. Simon

Pont haubanés d'Oyala

Guinée Équatoriale



Crédit photo : BBGE

TERRASOL a été missionnée pour les études de fondations dans le cadre de la conception-réalisation de deux ponts haubanés de 3 travées sur la rivière Wele à l'entrée d'Oyala, au centre de la Guinée Equatoriale. Le pont n°1 est situé en amont, à environ 1 km du pont n°2. Les deux ponts sont identiques, au calage vertical près. Le contexte géologique local est le suivant :

- alluvions de la rivière Wele en surface, de caractéristiques mécaniques médiocres,
- terrain d'altération in situ du substratum cristallin (profil latéritique),
- substratum granitique ou gneissique avec une partie supérieure d'altération atteignant l'état de sable.

Les conditions d'accès au site et la faible disponibilité de laboratoires et de machines de sondages dans le pays ont rendu la campagne de sondages difficile. L'évaluation des caractéristiques mécaniques s'est avérée délicate du fait de la disparité des valeurs mesurées et exige une approche des calculs de dimensionnement en fourchette.

La conception des fondations des 2 ouvrages dans ce contexte géologique latéritique a abouti au dimensionnement de 44 micropieux de 10 à 15 m de long pour chaque fondation de pylône et de culée, ancrés de 4 m au minimum dans le substratum gneissique. Ces micropieux travaillent essentiellement en frottement dans le rocher car la contribution des terrains de surface reste faible. Une dizaine de micropieux sont inclinés de 15° pour reprendre les efforts horizontaux. Par la suite, nous avons été sollicités à nouveau en 2013 pour travailler sur le pont d'Oyala n°7 cette fois.

A. Bergère

Expertise sur le pont de Jacquville

Côte d'Ivoire



Le pont de Jacquville relie la terre ferme à Jacquville en traversant la lagune Ebrié à l'ouest d'Abidjan (Côte d'Ivoire). Cet ouvrage d'art comporte 16 appuis (2 culées, 14 piles) dont 13 sont réalisés sur la lagune. Le chantier a débuté en 2012 par la foration de pieux de gros diamètre (1,20 m) à une profondeur importante (certains à plus de 50 m). Les auscultations réalisées sur les pieux après construction ont démontré des défauts de portance sur un nombre important d'appuis. Après avoir essayé de renforcer les fondations profondes à l'aide d'injections sur 3 appuis sans obtenir le résultat escompté, le Maître d'Ouvrage (AGEROUTE) a fait appel à TERRASOL pour les missions suivantes :

- Analyse fine du contexte géotechnique des appuis incriminés (P4, P14 et C16),
- Validation/proposition d'une méthode de modification du système de fondation par adjonction de pieux supplémentaires,
- Calcul du nouveau système de fondation.

L'ajout de pieux sous les chevêtres posait le problème de la proximité des pieux abandonnés qui perturbaient le frottement et le comportement de la pointe des pieux, mais également de la capacité des nouveaux pieux sous sollicitations horizontales dans cet environnement complexe. Plusieurs calculs en fourchette ont été menés à l'aide des modules Fondprof, Taspie, Tasneg, Piecoef et Groupie du logiciel FOXTA afin de déterminer le comportement de la fondation et de valider le principe de reprise. Ces calculs ont permis de poursuivre le chantier en conservant globalement la géométrie des chevêtres prévus.

J. Drivet et U.S. Okyay

Corniche Brazzaville

Congo Brazzaville



Crédit photo : CRBC

Le fleuve Congo sépare le Congo Brazzaville de la République Démocratique du Congo et coule entre leurs deux capitales (Brazzaville et Kinshasa sont les capitales les plus proches du monde). Le Congo Brazzaville a décidé de se doter d'une route côtière moderne qui doit permettre à terme de désengorger le centre-ville de Brazzaville. Le premier tronçon de ce projet, de 2,5 km de long environ, a été confié à l'entreprise chinoise CRBC. Plus de la moitié du tronçon est composée d'ouvrages d'art (un viaduc d'accès et un pont haubané de grande ampleur, emblématique pour Brazzaville), et le reste du linéaire est construit en remblai sur sols compressibles.

L'expertise géotechnique de TERRASOL a été mise à contribution par le groupement SETEC TPI / SGI, qui a été chargé de la mission de contrôle de ce projet (VISA + contrôle de chantier).

Ce projet présente une grande complexité géotechnique et a nécessité :

- Le renforcement du sol support des remblais par des inclusions rigides en béton renforcées par profilés métalliques,
- Le renforcement de la plateforme par des colonnes ballastées,
- La fondation des ouvrages d'arts sur fondations profondes de gros diamètre ancrées à des profondeurs importantes,
- La mise en œuvre de protections de talus contre l'érosion,
- Un ouvrage hydraulique de plus de 200 m de long sous un remblai de grande hauteur.

La phase chantier a confirmé que les techniques de renforcement des sols les plus récentes ont pu être mises en œuvre sur ce projet avec une qualité optimale et une maîtrise des coûts. Les travaux se sont terminés fin 2015.

J. Drivet

Pont de Radès-La Goulette

Tunis, Tunisie



@Droits réservés

TERRASOL, avec TERRASOL Tunisie, a été le conseil géotechnique de l'entreprise Japonaise TAISEI CORPORATION pour les études géotechniques du Pont de Radès - La Goulette. Cet ouvrage comprend un pont à haubans, qui enjambe notamment le chenal du lac de Tunis, ainsi que des viaducs d'accès et leurs remblais d'approche. Son caractère exceptionnel réside notamment dans le contexte géotechnique, avec des vases compressibles épaisses d'une centaine de mètres :

- Les 2 piles principales du viaduc sont fondées sur 9 pieux de diamètre 2000 mm, qui étaient prévus à l'origine de 100 m de profondeur ; suite aux difficultés de foration de tels pieux, et après deux essais de chargement en vraie grandeur, la profondeur de ces pieux a pu être réduite à 80 m ;
- Les multiples piles des viaducs d'accès sont fondées sur pieux préfabriqués en béton armé de 25 m, battus jusqu'à une mince couche de sable ;
- Les remblais d'accès, dont les hauteurs atteignent 8 m avec le préchargement, ont pu être édifiés sans aucune instabilité ; les drains verticaux mis en place dans la 1^{ère} couche la plus compressible ont permis d'obtenir une consolidation en 3 à 4 mois, avec des tassements ont atteint 1,50 m !

Des reconnaissances adéquates, complétées par des études de dimensionnement adaptées au comportement particulier des terrains, ont permis de prévoir de façon tout-à-fait acceptable ce comportement inhabituel, et ces prévisions ont pu être vérifiées par l'auscultation mise en œuvre. L'ouvrage a été inauguré en mars 2009.

A. Guilloux et K. Zaghouani

Aux confins d'un delta : le second pont sur le Wouri

Cameroun



Dans le cadre du projet de construction du second pont sur le Wouri au Cameroun, TERRASOL a réalisé une mission d'expertise pour l'entreprise SOGEA-SATOM afin d'étudier la construction des remblais et l'interaction entre ces derniers et les appuis du pont. L'ouvrage à construire comporte cinq voies routières ainsi qu'une voie ferrée. Il est de 800 m de longueur avec de grandes travées de 135 m. Le site se situe dans la zone du delta du fleuve Wouri (climat équatorial). Les terrains en surface sont constitués d'argiles et sables estuariens très compressibles, contenant localement des matières organiques.

Dans ce contexte, un tassement conduisant à une dénivellation entre la culée et le remblai d'accès peut se produire après quelques années d'exploitation et il convient de bien anticiper ce tassement, tout particulièrement au niveau des zones de transition et de liaison.

En l'occurrence, il était important d'assurer la compatibilité des tassements entre l'ouvrage rigide (pont) et l'ouvrage souple (remblai) : c'est la solution de renforcement des sols par inclusions rigides qui a été retenue. Cette solution a permis de limiter les tassements différentiels sans passer par la solution de préchargement qui aurait compliqué le phasage de la construction. Par contre, cette solution de préchargement a été mise en œuvre pour la partie courante du remblai. Un plot d'essai a permis de bien évaluer la magnitude et l'évolution des tassements dans un contexte géologique extrêmement défavorable.

Démarrée en 2013, la construction du deuxième pont sur le Wouri devrait s'achever en septembre 2016.

U.S. Okyay

3^{ème} pont sur le Bosphore

Istanbul, Turquie

Le troisième pont sur le Bosphore est un pont suspendu et haubané, de 1400 m de longueur en une seule travée, qui relie les rives européenne et asiatique d'Istanbul (Turquie). Construit par le consortium turco-italien İÇTAS-ASTALDI, sa conception a été attribuée à T-INGÉNIERIE en collaboration avec Michel Virlogeux. Après de SETEC TPI, TERRASOL a assuré la mission de contrôle du dimensionnement des fondations. La première phase de la mission étant axée sur l'analyse de la conception, TERRASOL a apporté ses conseils d'optimisation avec en particulier la justification de la stabilité des fondations au rocher appuyée par des calculs aux éléments finis en 3D.

Inscrit dans un cadre sismique particulièrement contraignant, le pont s'appuie, sur les deux rives, sur une formation rocheuse composée d'andésite et de conglomérats. Les extrémités du pont comportent chacune :

- un massif d'ancrage de 15 m de profondeur ;
- un bloc d'approche à terre avec des clés de cisaillement permettant l'ancrage des haubans ;
- 4 pilettes ;
- 2 puits de 20 m de diamètre et de 20 m de profondeur pour ancrer les pylônes de 320 m de haut.

Ces pylônes exercent des efforts considérables en phase d'exécution sous l'effet du vent, et lors de la mise en place du tablier, ainsi qu'en phase définitive, sous l'effet de basculement du tablier et sous sollicitations sismiques. Les travaux ont débuté en mai 2013. La pose du dernier élément de tablier a eu lieu en mars 2016 et l'inauguration de l'ouvrage a eu lieu le 26 août 2016.



Crédit photo : © ICA IC İçtas-Astaldi

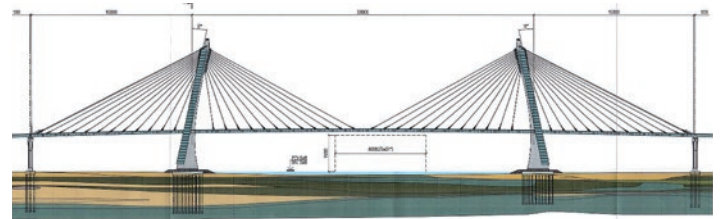
A. Guilloux

Contournement de Saint-Petersbourg

Russie

Dans le cadre de la vérification des études de 2 ponts d'envergure envisagés le long du Contournement de Saint-Petersbourg, SETEC TPI a confié à TERRASOL la vérification des fondations profondes de ces 2 ponts :

- l'un haubané permettant de franchir la Grande Neva (Korabelny, 620 m de longueur, travée principale de 320 m de long, tablier section mixte) dont les pylônes principaux présentent une inclinaison importante ;
- l'autre à double tablier permettant le franchissement du canal de Morskoy (734 m de longueur, 7 travées de longueur maximale 168 m).



Les terrains en place sont constitués d'une succession de dépôts alluvionnaires de 25 à 30 m d'épaisseur reposant sur de l'argile protérozoïque. La nappe est attendue à quelques mètres de la surface.

Les piles de ces ponts reposeront sur des groupes de pieux forés dont les pointes ancrées dans l'argile protérozoïque seront élargies par l'utilisation d'outils d'alésage. La vérification du dimensionnement de ces fondations a été menée par le biais des modules Taspie, Piecoef, Tasseldo et Groupe du logiciel FOXTA. TERRASOL a également fourni les raideurs horizontales et verticales nécessaires au calcul structurel.

M. Brun

Pont Hong-Kong - Zhuhai - Macao

Asie

La liaison Hong-Kong – Zhuhai – Macao permettra de renforcer les échanges entre les provinces autonomes de Macao et de Hong-Kong, et la province du Guandong dans la zone du delta de la rivière des perles. Cet ouvrage routier à 2x3 voies, d'une longueur totale de 42 km, composé de sections aériennes en viaduc, et d'une section en tunnel entre 2 îles artificielles, permettra notamment de relier les anciens comptoirs portugais et britanniques en 45 min, contre 4 heures actuellement par la voie maritime.



@Droits réservés

Dans le cadre de son marché de construction des 9,4 km de viaduc dans les eaux territoriales de la province de Hong-Kong, le groupement BOUYGUES / CHINA HARBOUR a sollicité TERRASOL pour une assistance au dimensionnement des fondations de trois des viaducs élémentaires de l'ouvrage localisés dans le chenal maritime de l'aéroport.

Dans un contexte géotechnique « nearshore » potentiellement faillé, composé de dépôts marins sous-consolidés surmontant des alluvions fines peu compactes, des alluvions grossières, et un substratum granitique doté d'une frange d'altération très poussée, la mission de TERRASOL a consisté en la définition des modèles géotechniques des viaducs, ainsi que celle des paramètres d'interaction sol/structure statiques et dynamiques des fondations des appuis, l'ouvrage étant construit dans un environnement sismique. Cette mission a été réalisée en conformité avec les codes géotechniques en vigueur à Hong-Kong.

A. Beaussier et M. Brun



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