

## Ligne à grande vitesse Londres / Birmingham



Ce projet porte sur la construction d'une ligne ferroviaire à grande vitesse visant à relier Londres à Birmingham (phase 1), puis à Manchester et Leeds (phases 2a et 2b) 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 de Génie Civil qui ont été attribués en Conception-Réalisation à différents groupements constructeurs. Deux de ces lots, les lots C2 (North Portal Chiltern Tunnels to Brackley) et C3 (Brackley to South Portal of Long Itchington Wood Green Tunnel) ont été attribués au groupement Eiffage-Kier-Ferrovial-BAM (EKFB). Le design des ouvrages de ces lots centraux C2 et C3 est assuré par la Design Joint-Venture composée du groupement d'ingénierie Arcadis-Setec-Cowi (ASC).

Les lots C2 et C3 traversent les zones rurales des Midlands et couvrent un linéaire de 80 km. Ils comprennent notamment 15 viaducs, 3 tranchées couvertes sur un linéaire total de plus de 6 km, des ouvrages en terre de grande hauteur (remblais jusqu'à 14 m de hauteur et déblais jusqu'à près de 30 m de profondeur), ainsi que de nombreux ouvrages d'art et rétablissements de communication.

La stratigraphie attendue au droit des lots C2 et C3 comprend principalement les formations crétacées du bassin sédimentaire de Londres, puis les formations du Jurassique du plateau des East Midlands, souvent avec une couverture de dépôts superficiels. Du fait du pendage général SSE de ces formations et en raison des processus d'érosion, les formations les plus jeunes se trouvent à l'extrémité sud du projet et deviennent progressivement plus âgées au nord-ouest, en direction de Birmingham.

Les problématiques géotechniques identifiées le long de C2 et C3 sont variées et comprennent notamment les risques de dissolution dans les formations crayeuses, les phénomènes de tassement sous les remblais, et de façon associée ceux de gonflement dans les déblais dans les formations argileuses ainsi que la présence de surfaces de glissement

pouvant être réactivées suite aux travaux de terrassement des ouvrages du projet.

En complément des campagnes de reconnaissances géotechniques actuellement en cours de réalisation (sondages, essais in situ, géophysique, essais laboratoire), il est également prévu la réalisation de différents plots d'essais :

- Essais de chargement statique préalables de fondations profondes en vraie grandeur pour valider les méthodologies de réalisation dans les différentes formations rencontrées sur le linéaire du projet, ainsi que les capacités portantes attendues ;
- Remblais d'essai pour le dimensionnement des mesures constructives visant à limiter le tassement des ouvrages à la fois en section courante et au niveau des zones de transition avec les viaducs ;
- Déblai d'essai pour ce qui concerne les problématiques de gonflement des terrains argileux dans les excavations de grande profondeur ;
- Plots d'essai pour la réutilisation, le traitement et le compactage des matériaux excavés ainsi que le comportement obtenu vis-à-vis de la diffusion des ondes de Rayleigh.

Les études de Scheme Design (équivalent à un avant-projet) de C2 et C3 se sont déroulées de l'automne 2017 à la fin de l'année 2019. Début 2020, les études de Detailed Design ont démarré sur plusieurs ouvrages identifiés comme critiques, tels que certains viaducs, tranchées couvertes ou encore la zone géographique dite « Calvert area » qui est en forte interaction avec le réseau ferroviaire existant de Network Rail.

Pour cette phase de Detailed Design, différentes filiales du groupe setec (setec international, setec tpi, setec als, Terrasol, setec organisation) sont amenées à collaborer avec nos partenaires Arcadis et Cowi pour mener à bien les études de terrassement, tracé, génie civil, géotechnique des ouvrages en terre et des ouvrages d'art, rétablissements, drainage, paysage et BIM sur une section géographique couvrant un linéaire de 25 km environ sur les

## Édito

L'année 2020 a été très particulière pour tous. La « crise Covid » nous a amenés à faire preuve d'agilité individuellement et collectivement, et à nous organiser différemment pour continuer à fournir des prestations de qualité au service de nos clients, tout en respectant les contraintes et consignes sanitaires. Nos équipes ont su s'engager et faire face, et je les en remercie chaleureusement.

Nos méthodes de travail ont considérablement évolué en très peu de temps : généralisation du télétravail pendant les périodes de confinement (en maintenant toutefois nos activités sur chantier quand cela a été possible), utilisation des outils numériques collaboratifs, organisation des réunions et formations à distance par visio : nous avons beaucoup appris et saurons en retenir le meilleur lors du retour à une vie « normale », que nous espérons d'ici quelques mois.

Concrètement, nous avons pu maintenir globalement notre niveau d'activité en 2020 : les projets évoqués dans ce numéro illustrent quelques-unes de nos interventions récentes. Et notre activité s'annonce très soutenue pour l'année 2021 (Grand Paris Express, LGV Londres Birmingham, projet ferroviaire Lyon-Turin, EPR de Sizewell, etc).

Nos développements scientifiques se poursuivent également, avec la commercialisation de Scage, de Foxta v4, et bientôt de Talren v6, mais aussi par exemple la participation au projet de recherche Asiri+, ou encore 2 thèses en cours. Nous nous investissons par ailleurs de plus en plus dans les réflexions et les actions de lutte contre le changement climatique.

Vous souhaitant une année 2021 aussi sereine que possible,

Valérie Bernhardt

lots C2 et C3. Au sein de cette équipe multidisciplinaire, Terrasol assure la coordination des problématiques géotechniques, et se mobilise plus particulièrement sur les études géotechniques des fondations de 4 viaducs et de 21 passages supérieurs. Nous participons également à la cellule « Optimisation ». Enfin, nous contribuons en parallèle, toujours avec nos partenaires Arcadis et Cowi, à la mission de contrôle des études (dite « Category 3 checking ») sur des ouvrages du lot C1.

B. Madinier et J. Habert

## Fondation d'un simulateur de véhicules autonomes

Guyancourt, France



Terrasol est intervenue récemment pour le compte du Groupe Renault dans le cadre du projet de construction d'un simulateur de conduite pour le développement des futurs systèmes d'aide à la conduite et des véhicules autonomes au Technocentre de Guyancourt (78). La mission de Terrasol : qualifier et valider la réponse dynamique et vibratoire de la fondation du simulateur vis-à-vis des critères de performance imposés par le fabricant.

Le respect de ces critères a orienté la conception vers une solution de fondation par radier de 32 m x 25 m x 1,50 m reposant sur un groupe de 55 pieux de 1,0 m de diamètre. La phase de qualification initiale s'est appuyée sur une modélisation "hybride" à l'aide du logiciel SASSI, tenant compte des effets d'interaction dynamique dalle-pieux-sol. Le comportement dynamique du sol a été caractérisé à l'aide d'une campagne d'essais Cross-Hole réalisés au préalable.

Une fois les pieux exécutés et la dalle coulée, Terrasol a supervisé la planche d'essais vibratoires réalisée à l'aide d'une machine à balourd et d'un système d'acquisition à très haute précision. Les résultats des tests valident la performance dynamique de la dalle avec des amplitudes de déplacement et de vitesse voisines de celles estimées par les modèles "théoriques". Les mesures in-situ confirment en particulier la présence d'un effet groupe significatif se traduisant par une réduction de l'ordre de 3 à 4 de la raideur d'ensemble par rapport à une approche ignorant toute interaction des pieux via le sol encaissant.

F. Cui et J. Pérez-Herreros

## Mission de Maîtrise d'œuvre sur le projet CDG Express - zone C

Ile-de-France, France

Le projet CDG Express consiste à créer une nouvelle ligne directe de 32 km reliant la Gare de l'Est à l'aéroport Paris Charles de Gaulle. Cette liaison est scindée en 7 zones de Paris (A/B) à Roissy (H). Terrasol intervient activement pour le compte de la SNCF et des entreprises sur plusieurs zones A/B, C, D et F sur différentes missions de type G2, G3 et G4.

Dans le cadre du marché de la zone C entre le réseau Est et Nord, Terrasol participe avec Setec à la mission de Maîtrise Œuvre globale en apportant son expertise géotechnique sur les différentes phases de la conception à l'exécution.

En phase PRO, Terrasol a réalisé l'ensemble des études géotechniques du projet : analyse des données géotechniques, dimensionnement des parois provisoires et définitives en pieux jointifs de la tranchée ouverte et couverte sous CAP 18, dimensionnement des fondations profondes (pieux et barrettes) du futur pont rail unique de Porte de la Chapelle, dimensionnement de la voie sans ballast ainsi que les préconisations pour le traitement du risque de dissolution de gypse.

Après une participation à la rédaction des documents de marché et à la phase ACT, Terrasol assure au sein de la DET la mission de VISA et de suivi d'exécution avec une équipe de 3 ingénieurs dont 1 ingénieur travaux attaché au chantier depuis mars 2020. Nous suivons en particulier les opérations de réalisation des injections IRS et de comblement/clavage, de parois berlinoises, de pieux jointifs et de pieux de fondations. Le chantier, actuellement très ralenti, est en attente de l'aboutissement de différentes démarches administratives pour programmer une reprise des travaux.

A. Abboud, H. Pillard et M.T. Hoang



Crédit photo : Cabinet d'architecture Alain SPIELMANN

## Projet HL-LHC Point 1 du CERN

Meyrin, Suisse



Crédit photo : Setec

Le projet du Grand collisionneur de hadrons à haute luminosité (LHC à haute luminosité) comprend la réalisation d'infrastructures souterraines complexes. Setec, en tant que mandataire du groupement d'Ingénierie « ORIGIN », a piloté les études et les travaux d'exécution du projet HL-LHC Point 1. Ces derniers ont consisté en la réalisation d'un nouveau puits, relié à une caverne, elle-même connectée à de nouvelles galeries souterraines. Lors des études de conception et d'exécution, Terrasol a réalisé le dimensionnement de la caverne US/UW17, via une approche tridimensionnelle aux éléments finis afin de prendre en compte l'interaction entre les ouvrages souterrains et la forte anisotropie de la Molasse Rouge du Chattien Inférieur.

Sur la base des relevés géologiques et des mesures d'auscultation effectuées en phase travaux, le soutènement de la caverne envisagé en phase conception a pu être optimisé lors de sa réalisation. A partir de ces nouveaux paramètres d'exécution, Terrasol a par la suite réalisé des études numériques de rétro-analyse afin de recalibrer les paramètres géotechniques du massif sur les mesures enregistrées in situ (en particulier convergences et contraintes dans le béton projeté).

Ces études ont confirmé que la qualité du massif est meilleure qu'attendu : elles ont permis d'augmenter les raideurs prises en compte pour le massif et de diminuer les contraintes de poussée sur le revêtement. Ce dernier a ainsi pu être optimisé en termes de géométrie, d'épaisseur et de ferrailage par le biais d'un calcul 3D aux réactions hyperstatiques réalisé par setec ALS.

J.P. Janin (avec la participation de J. Voiron)

# Confortement et restauration de la Grande Cascade de Saint-Cloud

Saint-Cloud, France

Le Centre des Monuments Nationaux a missionné Terrasol pour participer aux études de confortement et de restauration de la partie haute de la Grande Cascade de Saint-Cloud. Parmi les fontaines agrémentant les 460 hectares du domaine National de Saint-Cloud, classé à l'inventaire des monuments historiques, la Grande Cascade se développe sur environ 200 mètres de long, pour 20 mètres de dénivelé, suivant la pente naturelle du terrain vers la Seine.

Créé en 1664 et 1665, l'ouvrage actuel de la Grande Cascade de Saint-Cloud a connu des problèmes de stabilité dès la fin de sa construction avec des travaux de reprise ou de restauration s'échelonnant de 1692 à 1892. Dans le contexte géotechnique de la colline de Saint-Cloud, connu pour être difficile, une instrumentation par inclinométrie a été installée pour mesurer les mouvements éventuels de terrain, et a été complétée par des relevés piézométriques réguliers.

Des calculs par rétro-analyse pourront ainsi être menés pour adapter les solutions de confortement à prévoir. Les calculs seront réalisés à l'aide du logiciel Talren v5, selon la méthode traditionnelle des tranches et la méthode avancée du calcul à la rupture (spirales logarithmiques).

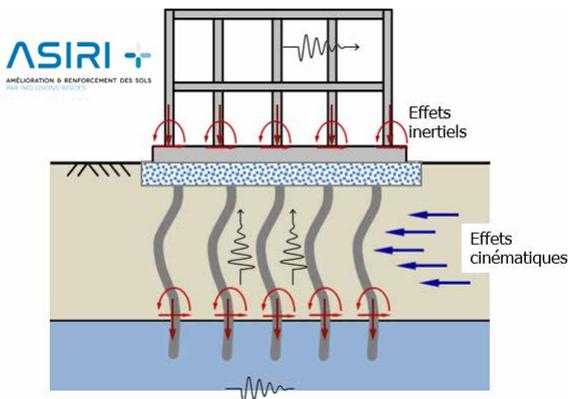
La mission de Terrasol a commencé avec l'élaboration de la campagne de reconnaissance de sols, suivie des études de conception (avant-projet et projet) ; elle se poursuivra avec l'assistance technique à l'analyse des offres des entreprises, et un suivi des études d'exécution et des travaux.

O. Payant



## Projet national ASIRI+

Amélioration et renforcement des sols par inclusions rigides soumis à des chargements complexes



Terrasol participe activement au Projet National ASIRI+ lancé en 2019 et visant à étendre la technique de renforcement par inclusions rigides à des ouvrages soumis à des sollicitations complexes. Ce nouveau projet national, présidé par Bruno Simon (expert scientifique à Terrasol), s'inscrit dans la continuité des enseignements tirés du projet national ASIRI (2005 – 2011) qui avaient ciblé principalement les remblais, les dallages et les semelles soumis à des sollicitations verticales statiques, et le plus souvent uniformes.

Le projet ASIRI+ prévoit plusieurs axes de recherche avec notamment la réalisation d'essais en vraie grandeur sur des fondations sur inclusions rigides soumises à un chargement excentré ou incliné, ce qui sera l'occasion pour Terrasol d'évaluer expérimentalement les modèles MV3/MH3 implémentés dans notre suite logicielle Foxta. ASIRI+ est également l'occasion de clarifier le comportement des massifs renforcés par inclusions lorsqu'ils sont soumis à des sollicitations cycliques (fondations d'éoliennes), dynamiques (contexte ferroviaire) et sismiques. C'est sur le volet sismique que Terrasol se positionne particulièrement avec le financement d'une thèse co-encadrée par l'Institut Polytechnique de Paris (J.F. Semblat) et visant à contribuer à la compréhension des

mécanismes d'interaction d'origine inertielle et cinématique qui régissent la réponse sismique d'un massif renforcé par inclusions rigides. La finalité de ce travail de thèse est de mettre au point un outil de dimensionnement alliant simplicité et robustesse (sous la forme d'un macro-élément dynamique) et apportant une réponse adaptée aux besoins pratiques de l'ingénieur.

F. Cuiira et B. Simon

## Site pilote de la Bassée

Vallée de la Bassée, France

Le site pilote de la Bassée est le premier de 9 sites de stockage des crues de la Seine permettant à terme de stocker 55 Mm<sup>3</sup> d'eau et de limiter les impacts de la crue de type 1910 en région parisienne. Ce projet se situe en amont de la confluence de la Seine et de l'Yonne. Le site pilote permettra de stocker 10 Mm<sup>3</sup>. Il est composé de 7,9 km de digues, de 2 à 3 m de hauteur, d'une station de pompage de 40 m<sup>3</sup>/s et d'ouvrages de vidange permettant de vider le site gravitairement après le passage de la crue. Le projet, sous maîtrise d'ouvrage EPTB Seine Grands Lacs, s'accompagne de nombreuses actions ayant pour objectif d'améliorer et valoriser le contexte écologique de la vallée de la Bassée.

En partenariat avec setec hydratec, la mission de Terrasol consiste, dans le cadre d'une maîtrise d'œuvre complète, à réaliser l'ensemble des études géotechniques : conception des digues, et leurs raccordements à la station de pompage et aux ouvrages annexes.

Nous avons ainsi notamment pu adapter le tracé pour limiter les impacts sur les avoisinants (voie ferrée, pile de pont, ...), et optimiser la campagne de reconnaissances en combinant reconnaissances géophysiques et géotechniques sur l'ensemble du linéaire. Par ailleurs, l'étude de la stabilité des digues (poinçonnement, tassements, stabilité au grand glissement et vérifications hydrauliques) a permis d'ajuster les dispositions constructives à prévoir tout au long du tracé : pentes de talus, puits de décompression, écrans étanches, etc.

Enfin, Terrasol a accompagné le Maître d'Ouvrage dans sa recherche de matériaux : définition des besoins, des sources potentielles d'approvisionnement, des moyens de stockage temporaires et participation aux échanges avec d'autres acteurs publics de la région parisienne.

M. Brun et G. Chapron



Crédit photo : @DR

## Rubrique logiciels



### Foxta v4

Nouvelle version majeure

Nous vous présentons la version 4 de notre suite logicielle **Foxta**, dédiée au calcul des fondations superficielles, profondes, mixtes, inclusions rigides et semi-profondes. Cette nouvelle version, diffusée en juin 2020, offre de nombreuses évolutions significatives :

- **TASPLAQ** rend désormais aisée la modélisation de radiers et dallages de géométries complexes (éléments triangulaires) et donne directement accès à la cartographie des coefficients de réaction utiles dans les analyses ISS ;
- **TASSELDO** est doté d'un outil permettant la génération de stratigraphies 3D à partir d'un réseau de sondages et le calcul des tassements peut être mené selon un modèle élastique linéaire ou non-linéaire, ou oedométrique ;
- **GROUPIE+** propose un mode « avancé » permettant le traitement de groupe barrettes et de faire varier les conditions de terrain par famille de fondations ;
- **FONDSUP** permet désormais de mener des vérifications de fondations superficielles à l'aide des méthodes (PMT, CPT, c-phi) sous charges statique et sismique et donne accès aux matrices de raideurs nécessaires aux analyses ISS ;
- **PIECOE+** est doté d'un mode de saisie assistée permettant de générer des lois de mobilisation « p-y » à partir de données PMT, CPT ou de paramètres d'élasticité (G, v).

Enfin, **Foxta v4** intègre également un nouveau module **SEMPROF** dédié au calcul (non-linéaire) de fondations semi-profondes (puits et monopieux) sous chargement combiné (V, T, M).

Une version de démonstration est accessible sur notre site web et permet d'avoir un aperçu des fonctionnalités du logiciel. Les notices techniques et de prise en main du logiciel sont également à disposition en ligne.

N'hésitez pas à nous contacter pour en savoir plus !

F. Cuiira

### Talren v6

Nouvelle version majeure

La version 6 du logiciel **Talren** est en cours de préparation et sera disponible en bêta-tests en début d'année 2021. Cette nouvelle version propose des évolutions significatives dans le traitement des renforcements, des conditions hydrauliques (avec module d'écoulement intégré) ainsi que des conditions sismiques. Cette nouvelle version intègre également toutes les spécificités liées à la justification interne et mixte des parois clouées conformément à la nouvelle révision de la norme NF P 94 270 datant d'octobre 2020.

Y. Abboud et M. Huerta

### Scage

Nouvel outil pour le calcul structural des écrans de soutènement

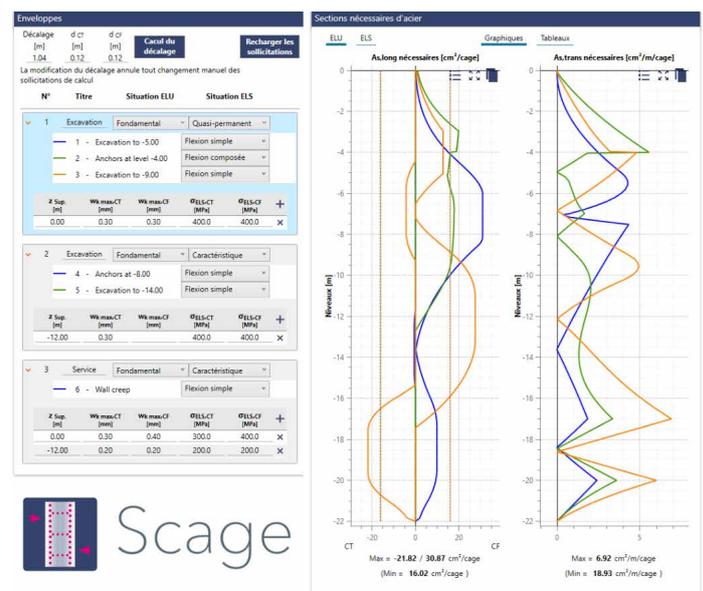
**Scage** est un nouveau logiciel dédié à la vérification et au dimensionnement structural des écrans de soutènement. Cette première édition, développée initialement en partenariat avec l'entreprise Atlas Fondations, couvre le cas des soutènements en béton armé conformément à l'Eurocode 2 et à la norme NF P 94 282. Voici quelques fonctionnalités-clés :

- Génération automatique des **enveloppes des diagrammes d'efforts internes** de calcul (à partir d'un calcul préalable sous **K-Réa** par exemple) avec prise en compte des règles de « décalage » ;
- **Calcul béton armé intégré en flexion simple et flexion composée** : traitement des sections partiellement et entièrement tendues ainsi qu'en traction pure ;
- Calcul des **sections nécessaires d'aciers** longitudinaux et transversaux à partir des résultats du calcul d'équilibre ;
- Maîtrise de la **fissuration** dans les sections rectangulaires ;
- **Calcul de béton armé** indépendante pour vérifier rapidement des sections isolées indépendamment du projet traité.

Ce nouveau logiciel Terrasol sera disponible dès janvier 2021, au sein de notre catalogue.

N'hésitez pas à nous contacter pour en savoir plus !

C. Husson et M. Huerta



## Publications



Retrouvez l'ensemble de nos publications 2020 sur notre site Internet, soit plus de 20 articles publiés cette année : vous y trouverez en particulier nos publications préparées dans le cadre des JNGG 2020 (manifestation malheureusement annulée, dont les publications sont malgré tout disponibles).

## Formations



Notre catalogue de formations 2021 sera publié en début d'année et sera disponible sur notre site web. N'hésitez pas à le consulter pour obtenir la liste complète de sessions de formation à venir.

Par ailleurs, nous sommes à votre disposition pour organiser des formations intra-entreprises en fonction de vos besoins.

### 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 : [terrasol@setec.com](mailto:terrasol@setec.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 : [terrasol@setec.com](mailto:terrasol@setec.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 : [tarik.elmalki@setec.com](mailto:tarik.elmalki@setec.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](mailto:info@terrasol.com.tn)

Conception, mise en page :  
Christine Remonay