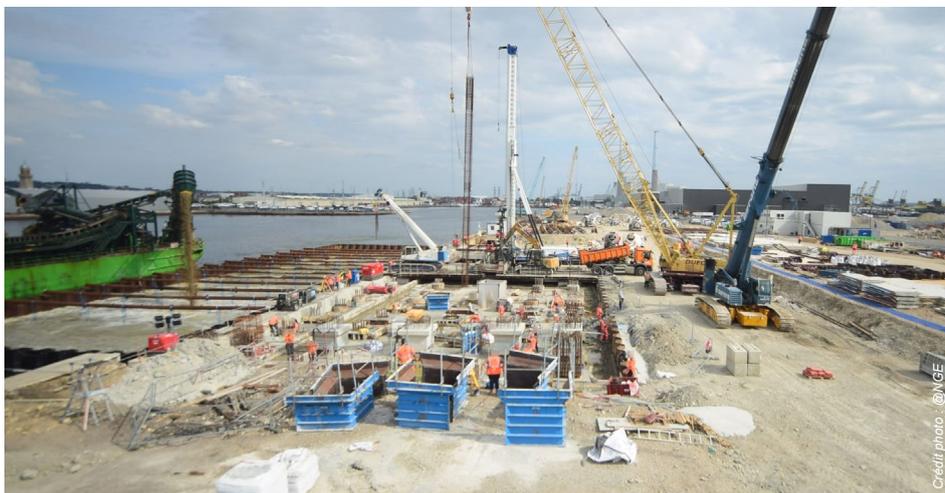


## Une activité intense au Havre



Depuis plusieurs années, la ville du Havre change d'image et se transforme avec un nombre important d'aménagements. HAROPA PORT | Le Havre n'échappe pas à la règle avec des sujets techniques d'envergure. Les équipes de Terrasol sont fières d'être impliquées dans deux d'entre eux !

Le premier concerne la 3<sup>ème</sup> phase du prolongement de Port 2000. Il comprend la construction des postes 11 et 12 avec l'aménagement de 47 ha, la construction de 700 ml de quai supplémentaire en paroi moulée tirantée d'épaisseur 1,5 m pour navires porte-conteneurs d'un tirant d'eau pouvant atteindre 17 m, une paroi de retour de 111 ml et des travaux de dragages associés (mandataire Soletanche Bachy).

Le second porte sur un projet d'accueil d'activités en lien avec l'installation de parcs éoliens offshore sur le site des quais Joannes Couvert et Hermann du Pasquier, incluant les réalisations suivantes en cours :

- deux quais de 200 ml chacun, l'un dit « Jack up », dédié à l'accueil de navires autoélévateurs et l'autre dit « Lo-Lo » dédié à l'import et à l'export de différents composants d'éoliennes (mandataire Eiffage GC). Il s'agit de structures béton armé disposées sur appuis multiples (pieux battus ouverts d'1,63 m de diamètre équipés de diaphragmes, deux voiles réalisés en pieux forés tubés de 0,9 m de diamètre et 10 m de profondeur ancrés dans un mur poids construit entre 1905 et 1920 de 25,5 m de haut et 14 m de large et de pieux forés tarière creuse d'1,2 m de diamètre et 27 m de profondeur) ;
- le réaménagement d'un terre-plein de 12 ha pour le stockage et le transport de certains composants (mandataire Eiffage) ;
- une infrastructure dédiée au chargement/déchargement par mode Roro d'éléments

de 75 m de long (mandataire NGE), dont un batardeau tiranté de 75 m de long et 22,4 m de large constitué de palplanches AZ38-700N et AZ40-700N et des structures béton armé disposées sur des pieux forés tarière creuse de 1 à 1,2 m de diamètre ;

- un ouvrage de fermeture en gabion-feston d'une centaine de mètres de longueur et de 30 m de haut de l'ancien bassin aux pétroles (mandataire Bouygues TPRF). Cet ouvrage permettra de créer un nouveau terre-plein portuaire à partir de matériaux de dragage.

Pour ce qui est de l'ouvrage de fermeture de type gabionnade de l'ancien bassin aux pétroles, Terrasol a accompagné l'entreprise Bouygues TPRF depuis la phase d'appel d'offres et de négociation, jusqu'à la phase d'exécution. Pour les autres ouvrages, Terrasol, avec l'appui du groupe Setec, assiste techniquement HAROPA PORT | Le Havre en tant qu'Assistant Maître d'Ouvrage. Nous sommes en charge des phases APD, PRO, DCE et VISA pour les quais « Jack-up », « Lo-Lo » et Hermann du Pasquier, tandis que notre mission sur Port 2000 a démarré en phase VISA pour des contre-calculs ponctuels et des expertises sur des sujets spécifiques.

Le dimensionnement de tous ces ouvrages exceptionnels par leurs dimensions et les charges qui sont à reprendre a demandé une grande attention en phase études, d'où l'ampleur des reconnaissances menées par voie terrestre et par voie maritime, et les justifications conduites dans le cadre des recommandations ROSA 2000 (prise en compte d'un dénivelé d'eau adapté aux conditions d'études de chacun des projets - bassins de marée ou à flots...) avec des moyens de calcul poussés. On pourra citer entre autres plusieurs modèles en interaction sol-structure pour les quais, des modélisations sous Plaxis 3D pour la

## Édito

L'année 2021 a été à nouveau perturbée par la situation sanitaire et nous remercions ici vivement nos équipes d'avoir su se montrer agiles en termes d'organisation du (télé)travail tout en restant engagées pour assurer des prestations de qualité au service de nos clients.

Grâce à la mobilisation de tous, nous avons connu en 2021 une forte progression de notre activité (plus de 10 %), associée à un nombre inédit de recrutements (16 sur l'année), tous de très grande qualité. C'est à présent une équipe de près de 90 personnes qui se tient à votre disposition. Et les perspectives 2022 sont tout aussi prometteuses.

Par ailleurs, au-delà de notre activité opérationnelle, que ce soit en ingénierie, logiciels ou formations géotechniques, nous allons nous investir fortement dans les mois et les années qui viennent sur 3 axes stratégiques aujourd'hui essentiels : le développement international, la transition numérique (avec des projets dès 2022 dans le domaine des applications web et des plateformes de données), et le changement climatique (avec la définition de notre propre stratégie bas carbone). Ces 3 axes sont pilotés respectivement par Antoine Abboud, Gilles Chapron et Charles Bernuy.

Nous témoignons ici notre reconnaissance à l'ensemble de nos clients et partenaires pour leur confiance renouvelée, et vous présentons nos meilleurs vœux pour cette année 2022. Nous espérons que vous pourrez en profiter pleinement !

Valérie Bernhardt

prévision du comportement des sols renforcés par inclusions rigides sous charge lourde de grue, des modélisations Plaxis 2D ou 3D de la paroi moulée de Port 2000 et des ouvrages de raccordement pour l'ouvrage de fermeture en gabion-feston.

Un suivi par instrumentation du comportement de ces ouvrages est réalisé systématiquement. Il a été complété par 2 essais statiques atteignant une charge maximale de 1500 t pour vérifier la portance des pieux battus, des essais préalables par injection et jet grouting pour anticiper d'éventuels défauts de portance de ces pieux sur le linéaire du quai où une couche de silts apparaît, et une planche d'essai inscrite au programme ASIRI+ dans la future zone de circulation des grues lourdes.

M. Brun et A. Abboud

# Galerie hydroélectrique de la Sarenne

Alpe d'Huez, France



Crédit photo : @CNR - Béatrice Ailloud

La CNR (Compagnie nationale du Rhône), titulaire depuis 2015 de la concession du torrent de La Sarenne situé entre l'Alpe d'Huez et Bourg d'Oisans (38), a lancé au printemps 2021, sous la Maîtrise d'Œuvre BG Ingénieurs Conseils, la construction d'un nouvel aménagement hydroélectrique dit « de haute chute » (735 m). Ce dernier, d'une puissance installée de 11 MW, permettra d'atteindre une production annuelle de 36 GWh et d'alimenter 16 000 habitants en énergie renouvelable.

L'aménagement est composé d'une prise d'eau installée à 1456 m d'altitude dans le lit mineur de la Sarenne et déviant les eaux vers une galerie dite « amont » de 2300 m de longueur, inclinée à 20% et creusée au tunnelier. Celle-ci émerge au niveau d'une plateforme intermédiaire située à 1000 m d'altitude. Après un court parcours en tranchée, la conduite forcée chute à nouveau dans un puits à 45°, réalisé en « raise boring » depuis une galerie « aval » existante, puis rejoint l'usine hydroélectrique à 721 m d'altitude.

Le groupement Spie Batignolles GC / Cogeis a remporté le lot 1 de l'aménagement correspondant respectivement à la réalisation de la galerie amont au tunnelier, la mise en dépôt définitive des déblais (~40 000 m<sup>3</sup>) en versant, et la pose de la conduite forcée en tunnel. Le groupement a choisi Terrasol pour mener la mission d'études géotechniques d'exécution (G3) comprenant notamment l'élaboration des documents suivants :

- Note de calcul du dépôt définitif en versant ;
- Notes de calcul des soutènements en tête de la galerie amont ;
- Notes d'hypothèses géotechniques et notes de calcul des profils de soutènement en partie excavée en méthode traditionnelle (galerie de lancement du TBM) et en partie excavée mécaniquement.

Le creusement se fait en attaque montante au diamètre 4,13 m. Après une faible épaisseur de calcaires et dolomies triasiques, le creusement se fait dans des roches métamorphiques massives (amphibolites et chloritoschistes). L'excavation de la galerie de lancement a démarré en mars. Le tunnelier a pu être acheminé et assemblé en août, pour un démarrage début septembre. Notre mission se poursuivra par la justification des massifs d'ancrage de la conduite forcée.

T. Rossi

# Grand Paris Express - Gare de Clichy-Montfermeil

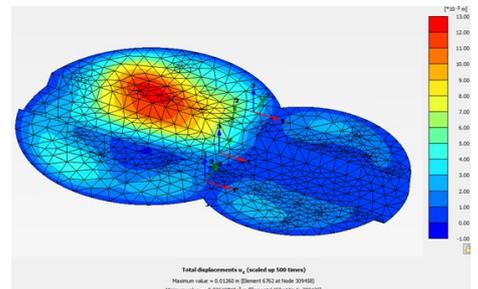
Une nouvelle approche pour la prise en compte des effets du gonflement sur les ouvrages enterrés

Le gonflement des terrains argileux sur les ouvrages souterrains peut aboutir à la génération de pressions additionnelles sur la structure accompagnées de soulèvements différés du radier. La prise en compte des effets du gonflement pose ainsi la question de la vérification structurale et de la compatibilité fonctionnelle des ouvrages à construire.

Sur le Grand Paris Express, un nombre important d'infrastructures traversent ou sont ancrées dans des horizons d'argiles surconsolidés réputés gonflants (Argile Plastique, Argile Verte, Marnes d'Argenteuil). Diverses méthodes de simulation des effets du gonflement sur les ouvrages enterrés sont pratiquées et aboutissent à des dimensionnements sensiblement différents. Les contraintes d'exploitation de ce nouveau réseau de métro imposent des objectifs dans la maîtrise des soulèvements qui peuvent ne pas s'avérer compatibles avec les méthodes de calcul classiques souvent enveloppes.

Dans le cadre de la mission d'AMO géotechnique pour la Société du Grand Paris sur la ligne 16, un algorithme de simulation du gonflement a été mis au point afin d'estimer le soulèvement du radier de la gare de Clichy-Montfermeil qui est positionné dans les Marnes d'Argenteuil. L'algorithme dialogue avec le logiciel Plaxis 3D pour imposer une déformation de gonflement fonction de l'état de contrainte dans le terrain. Le mécanisme peut être contrôlé en contrainte verticale ou en contrainte moyenne, tandis que la déformation peut être imposée de manière isotrope ou anisotrope.

Son application sur la gare de Clichy-Montfermeil a permis d'affiner l'estimation des déplacements et a constitué une aide à la définition des dispositions constructives.



M. Cahn, S. Burlon, N.H. Nguyen et O. Payant

# Pont de Lekiny

Îles Loyauté, Nouvelle-Calédonie



Crédit photo : @Gemoce (EyeFly Pacifique) - Province des Îles Loyauté

Pour le compte de la société Gemoce, concepteur de l'ouvrage, Terrasol intervient dans le visa des notes d'exécution des fondations du Pont de Lekiny à Ouvéa, aux Îles Loyauté. Ce nouvel ouvrage d'art comprenant 3 travées (50 m, 80 m et 50 m) franchira la passe Mata One comme l'actuel Pont Mouli construit en 1982, et permettra de répondre mieux « aux enjeux environnementaux et sécuritaires de son temps » comme le souligne la Province des Îles Loyauté.

Dans le cadre de sa mission de visa, Terrasol a réalisé des contre-calculs permettant d'apprécier la robustesse et la fiabilité de la solution proposée par le groupement d'entreprises conduit par ARBE. Situé en milieu maritime dans un environnement géotechnique spécifique avec des épaisseurs de calcaire corallien poreux et fragile, et soumis à des sollicitations sismiques, le pont sera fondé sur des pieux et des micropieux pour les culées et les piles dont la technique de réalisation a été adaptée spécialement.

Les contre-calculs ont permis de tirer profit des derniers développements du logiciel Foxta v4 permettant la modélisation d'un grand nombre de pieux sous un chevêtre en prenant en compte le cas échéant leur inclinaison.

Y. Chen et S. Burlon

# Confortement des carrières sous la ZAC du triangle de l'Echât

Créteil, France

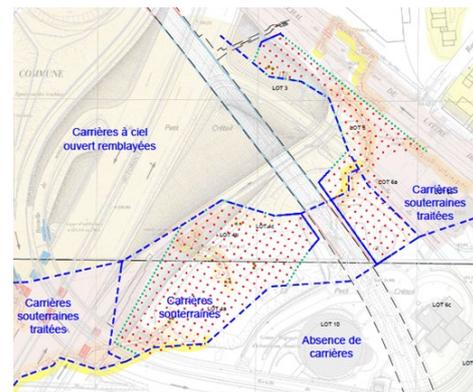
La zone d'aménagement du triangle de l'Echât, entre Maisons-Alfort et Créteil, est un projet de valorisation de friches industrielles. L'opération foncière d'allotissement est menée par Grand Paris Aménagement, Maître d'Ouvrage, et vise à créer un nouveau quartier paysagé, destiné au logement et à l'activité tertiaire. Le site présente un contexte géotechnique défavorable qui explique en partie qu'il ait été délaissé jusqu'à ce jour malgré sa situation.

La zone est sous-minée par les carrières du Calcaire Grossier. Au Nord-Ouest, la couche est proche de la surface et a été exploitée à ciel ouvert, puis comblée avec des remblais hétéroclites. En partie méridienne, les calcaires ont été exploités en souterrain, partiellement cartographiés par l'IGC, faisant apparaître des zones traitées à l'extension ambiguë. Au Sud-Est, la couche s'approfondit encore et passe sous le niveau de la nappe, ce qui a mis un terme à l'exploitation. Enfin, la tranchée couverte de la ligne 8 du métro, infrastructure souterraine sensible, traverse l'ensemble de la zone.

Terrasol a été choisie par Grand Paris Aménagement pour assurer la Maîtrise d'Œuvre complète de l'opération de confortement des carrières :

- Diagnostic sur la base des données existantes (sondages géotechniques, carte IGC) ;
- Dossier AVP : justification des techniques confortatives (injections de comblement unitaire), définition de l'extension des zones de confortement, préconisation et suivi des sondages de reconnaissances avec la densité requise par l'IGC ;
- Dossier PRO : quantification / estimation des travaux et définition d'un phasage compatible avec le planning d'aménagement, en concertation avec l'IGC pour anticiper l'adéquation des confortements avec la situation variable des carrières ;
- Phase ACT : production des documents techniques de la consultation des entreprises ;
- Missions VISA et DET.

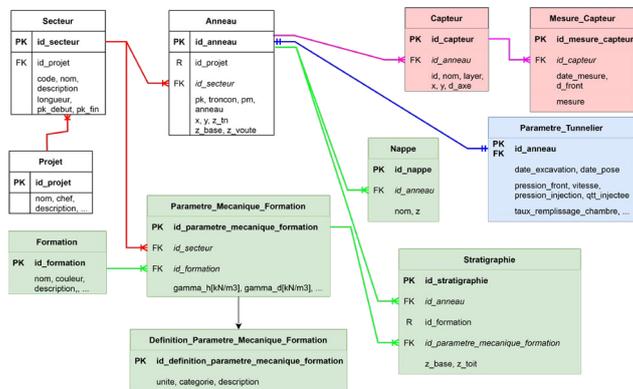
Durant 8 mois en 2021, les travaux d'injection ont été menés par l'entreprise attributaire Soleffi, se succédant entre différentes zones d'allotissement, avec de nombreux tirs de forages inclinés pour éviter les réseaux fonctionnels, les voiries en circulation, le relief préexistant et pour minimiser les impacts pour les tiers riverains. Au total, ce sont plus de 700 forages qui ont été réalisés, avec 8 000 m<sup>3</sup> de coulis injectés, pour la sécurisation de l'aménagement d'une zone de 11 000 m<sup>2</sup>.



F. Binet

# De la data science sur les données de creusement de tunnel

Thèse CIFRE Terrasol - Ecole des Ponts ParisTech



Terrasol et Setec TPI se sont associés au Laboratoire Navier de l'Ecole des Ponts ParisTech (Jean-Michel Pereira et Lina Guayacan) pour une thèse CIFRE portant sur la réduction des incertitudes sur le comportement des sols excavés au tunnelier par l'analyse en continu des données collectées, avec application à 2 tronçons du Grand Paris Express. Les 18 premiers mois ont été consacrés à l'extraction et au nettoyage des données d'auscultation, des paramètres de pilotage du tunnelier, et du sol. Ces données alimentent maintenant une base de données relationnelle PostgreSQL qui comprend environ 10 000 capteurs et plus de 50 millions de mesures associées, sur un linéaire de tunnel d'une quinzaine de km.

En parallèle de ce travail incontournable de longue haleine, la thèse a avancé sur la partie bibliographique et synthèse des travaux mettant en relation Intelligence Artificielle et tunnels (et plus particulièrement les prévisions de tassement). La base de données étant maintenant constituée, la seconde partie de la thèse sera consacrée à l'expérimentation des méthodes dites de « Soft Computing » et à l'analyse de leurs performances. L'objectif est de pouvoir constituer un processus d'évaluation rapide des tassements à partir des données, sans recalage complexe, pour améliorer les suivis à venir.

T. Richa et G. Chapron

# Echangeur de Cocody

Abidjan, Côte d'Ivoire

La Côte d'Ivoire est un pays en plein essor et, tout naturellement, sa capitale se dote d'infrastructures modernes et performantes. La particularité d'Abidjan est d'être construite autour de plusieurs lagunes dont le franchissement nécessite des ouvrages d'art longs et imposants.

Après avoir accompagné le groupe Setec dans la Maîtrise d'Œuvre d'ouvrages emblématiques (4<sup>ème</sup> pont, Pont Houphouët Boigny), Terrasol réalise actuellement les études d'exécution des renforcements de sol pour un autre projet exceptionnel : l'aménagement de l'échangeur de Cocody. Il s'agit d'un ensemble d'ouvrages comprenant un pont principal à haubans de 200 m de portée à pylône décentré unique, des ouvrages d'art annexes pour les échangeurs, et des bretelles en remblai. L'entreprise qui réalise les travaux est China Road and Bridge Corporation (CRBC) sous Maîtrise d'Œuvre Pierre Fakhoury/ Arcadis et un contrôle externe Egis.



Crédit photo : @Pierre Fakhoury architecte

Le contexte géotechnique des lagunes d'Abidjan, composé de sables lâches sur des épaisseurs importantes, impose le recours à des renforcements de sol (inclusions rigides) pour maîtriser les tassements des remblais de grande hauteur. CRBC a choisi Terrasol pour les calculs d'exécution des inclusions en raison de notre connaissance de la géologie locale et de notre expertise dans le dimensionnement de ce type d'ouvrage (grâce notamment à notre logiciel Foxta).

J. Drivet

## Rubrique logiciels

### Talren v6.1

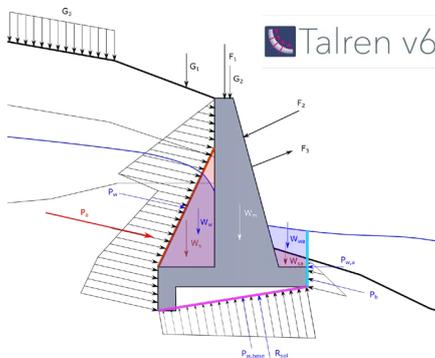
Nouveautés à venir

La prochaine mise à jour de Talren à venir courant 2022 proposera deux nouveaux modules très attendus par nos utilisateurs :

- Module « Poussée/Butée » pour le calcul automatique des pressions limites de poussée/butée d'un terrain de stratigraphie quelconque ;
- Module « Mur » pour le calcul de stabilité, interne et externe, d'un ou plusieurs murs de soutènement.

Le module « Poussée/Butée » exploite les capacités de la méthode cinématique du calcul à la rupture pour caler automatiquement les diagrammes des pressions limites de poussée ou de butée, le long d'une ligne verticale ou inclinée placée n'importe où dans le modèle Talren. Les diagrammes de poussée/butée ainsi calculés tiennent compte des effets des surcharges, des effets sismiques et de la contribution résistante des éléments de renforcement éventuels. Ces diagrammes pourront être utilisés comme données d'entrée pour le calcul d'un écran de soutènement (à l'aide de K-Réa v4) ou pour le calcul d'un mur poids (à l'aide du nouveau module « Mur » de Talren v6).

Le nouveau module « Mur » couvre les problèmes de stabilité générale, externe locale et interne des murs poids, murs en « L » ou en « T » avec ou sans bêche, murs cellulaires en béton armé ou en gabions (encore murs en maçonnerie. La justification du mur est menée conformément à la norme NF P 94-281. Le module est muni d'un générateur de combinaisons ELU/ELS conformément à l'Eurocode 0 ou selon un système de pondération défini par l'utilisateur.

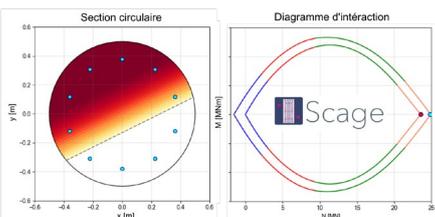


Y. Abboud et M. Huerta

### Scage v2

Nouveautés à venir

La prochaine mise à jour de Scage (2<sup>ème</sup> trimestre 2022) intégrera le traitement des pieux en béton armé (section circulaire) et des barrettes (section rectangulaire) en flexion simple, composée et déviée. La vérification de l'équilibre interne est menée sur la base des diagrammes d'interaction à l'ELU et à l'ELS au droit de chaque zone de renforcement.



M. Huerta

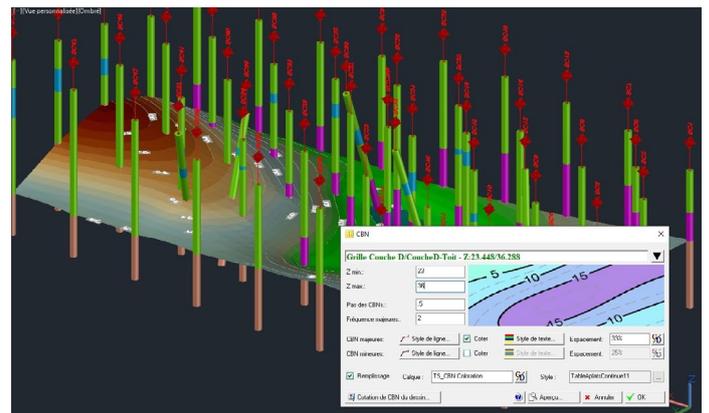
### Straticad v3

Nouvelle version majeure

Straticad, notre outil de dessin des données géotechniques avec représentation 2D/3D, continue à évoluer pour satisfaire les besoins identifiés lors de son usage au quotidien.

A partir de la même base de données utilisée pour créer les logs des sondages, Straticad v3 permettra de filtrer ces données, de leur appliquer un calcul de krigeage et de restituer des courbes de niveau cotées du toit, de la base ou encore de l'épaisseur d'une couche de sol, avec la possibilité de créer des objets 3D surfaciques dans l'optique de générer des volumes. Straticad v3 proposera également le dessin automatique d'un profil d'élévation des couches de sols. Ce nouveau logiciel Terrasol sera disponible début 2022.

M. Anic-Antic



## Formations

Vous avez été plus de 250 à suivre nos sessions de formation en 2021. Voici le planning prévisionnel des sessions de formation inter-entreprises prévues début 2022 :

14 et 15 mars	Formation Talren v6 - analyse de la stabilité des ouvrages géotechniques
16 mars	Formation K-Réa v4 - dimensionnement des écrans de soutènement
17 et 18 mars	Formation Foxta v4 - dimensionnement des fondations superficielles et profondes
21 mars	Formation Slake - analyse quantitative du risque de liquéfaction
22 mars	Formation Scage - dimensionnement structural des écrans de soutènement
23 mars	Prise en compte de l'eau dans les calculs des ouvrages de soutènement

## Publications



Retrouvez sur notre site Internet l'ensemble de nos publications 2021, et notamment nos publications au Congrès AFTES 2021.

## Formations



Notre catalogue de formations 2022 est disponible sur notre site Internet. Par ailleurs, n'hésitez pas à nous contacter pour organiser des formations intra-entreprises en fonction de vos besoins.

[formations.terrasol@setec.com](mailto:formations.terrasol@setec.com)

### 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) 16 20 78  
Fax : +212 (537) 77 48 41  
Email : [ahmed.skalisenhaji@setec.com](mailto:ahmed.skalisenhaji@setec.com)

### Terrasol Tunisie

2, rue Mustapha Abdesslem  
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