

## L'ATMO de la ligne 1 du métro d'Abidjan

Avec une capacité de 540 000 passagers par jour, la Ligne 1 du Métro d'Abidjan (L1MA) vise à améliorer la mobilité, la fluidité du trafic urbain et la qualité de vie dans cette agglomération de 5 millions d'habitants en forte croissance. D'une longueur totale de 37 km, cette infrastructure traversera le cœur de l'agglomération d'Abidjan du nord au sud.

Pour réduire l'impact de cette infrastructure, globalement rasante ou en remblai, il est prévu de réaliser 21 rétablissements par pont rail et pont route, 34 passerelles piétonnes, ainsi que, dans les zones en remblai, des murs en sols renforcés (VSoL) permettant de réduire les emprises au sol dans un contexte urbain très dense. Le franchissement de la lagune Ebrié entre le Plateau et Treichville nécessite quant à lui la construction d'un viaduc de 500 m de portée, doublant le pont routier et ferroviaire Félix Houphouët Boigny.

Le groupement **STAR** (Groupement **SICMA / Colas Rail / Alstom / Keolis**) est chargé de la conception, la réalisation, l'exploitation et la maintenance de la L1MA. **Setec**, en groupement avec **EGIS** et le **BNEDT**, assure le rôle d'Assistance à la Maîtrise d'Ouvrage (ATMO) pour le compte de l'Etat Ivoirien. Engagé dans les équipes d'ATMO depuis la phase APD du projet, **terrasol** a réalisé la revue géotechnique de conception des ouvrages d'art courants et non-courants, des stations, des ateliers de maintenance ainsi que des VSoL. Depuis le début des travaux en automne 2023, **terrasol** poursuit la mission de revue documentaire sur les documents d'exécution et assure un appui aux équipes d'ATMO locales par le biais de missions mensuelles sur site, visant, outre l'apport de son expertise technique, à faciliter les échanges techniques avec le groupement constructeur et avec le Maître d'Ouvrage.

Le franchissement de la lagune Ebrié est apparu comme un défi technique majeur. Distant de 2 m du pont Félix Houphouët Boigny, le viaduc du métro s'inscrit dans un contexte géotechnique complexe formé d'une épaisseur de vases de près de 40 m reposant sur des sables plus ou moins denses, potentiellement hétérogènes, au sein desquels viennent s'ancrer les pieux de 2 m de diamètre, injectés en pointe, du nouvel ouvrage.



Credit photo : © terrasol

Dès les phases d'Avant-Projet, une attention particulière a été apportée à ces fondations : tant en termes d'impact de ces fondations sur l'ouvrage existant (modélisation numérique des interactions lors de la réalisation et du chargement), qu'en termes de fiabilité du dimensionnement. Pour ce dernier point, en complément des reconnaissances géotechniques spécifiques, un essai de pieu à la cellule d'Österberg a été réalisé à terre à proximité de la culée sud de l'ouvrage.

Pour valider les hypothèses de conception et les méthodes d'exécution, le groupement **STAR** a notamment réalisé – en zone sud, dans un contexte de sables peu compacts – un remblai d'essai VSoL instrumenté pour confirmer les vitesses et amplitudes des tassements attendus sous les remblais des ouvrages et qualifier l'apport de renforcement par inclusions rigides.

Au cours de l'année écoulée, les travaux de fondations des ouvrages de la L1MA ont déjà bien avancé dans plusieurs zones du projet :

- Les fondations profondes de différents ouvrages d'art courants ont démarré ;
- Les inclusions rigides prévues sous le remblai de la culée Suwwd du viaduc côté Treichville sont en cours de réalisation ;
- Pour le viaduc, les fondations des appuis à terre côté Treichville ont été réalisées au premier semestre et les pieux des appuis en lagune d'Ebrié sont en cours depuis le mois de juin.



Credit photo : © terrasol

## Édito



L'année 2024 a marqué une étape importante pour **terrasol** avec un passage de relais à la tête de l'entreprise et le franchissement du cap symbolique des 100 collaborateurs. La nouvelle équipe de direction demeure pleinement engagée à préserver cet écrin de compétences géotechniques où beaucoup y mettent le meilleur d'eux-mêmes, tout en restant fidèles aux valeurs fondatrices de la société que sont l'excellence technique, la culture du juste besoin et l'esprit de la transmission.

Nous poursuivons notre développement sur des marchés stratégiques requérant une expertise géotechnique à forte valeur ajoutée. Le secteur des infrastructures de transport occupe toujours une place de premier plan, porté par les projets des Lignes 15 et 18 du Grand Paris Express, la liaison ferroviaire Lyon-Turin, la Traversée Souterraine de Marseille, ainsi que plusieurs projets d'envergure à l'international comme la Ligne LGV HS2 (Angleterre) ou les métros du Caire (Égypte), de Sao Paulo (Brésil) ou d'Abidjan (Côte d'Ivoire). L'année 2024 a par ailleurs été marquée par une montée en puissance de notre activité dans le secteur de l'énergie avec un engagement qui se poursuit en 2025 sur plusieurs projets d'EPR pour le compte d'EDF : Sizewell C en Angleterre, les EPR2 de Penly, de Gravelines et du Bugey.

La mobilisation sur ces projets va de pair avec notre stratégie de développement et d'innovation. Les améliorations majeures récentes et à venir apportées à nos logiciels **Talren**, **Foxta**, **K-Réa** et à notre plateforme web **Orbow** en sont un des moteurs. Cette stratégie se reflète également dans nos interventions lors des grands rendez-vous de la communauté géotechnique avec, en 2024, une forte représentation aux JNGC (Poitiers), à l'ISC7 (Barcelone) et à l'ECSMGE (Lisbonne) où **terrasol** a présenté pas moins de 26 articles et communications.

Grâce à l'effort collectif de toutes nos équipes et la confiance renouvelée de nos clients, l'activité 2024 s'est ainsi conclue par un excellent bilan opérationnel et financier. Notre carnet de commandes actuel nous permet d'aborder 2025 avec une certaine sérénité et de poursuivre nos investissements dans la transition numérique, le développement à l'international et la sobriété des ouvrages géotechniques. Notre ambition vise également à développer notre expertise dans le domaine des digues et barrages, des éoliennes offshore, et de la réhabilitation des ouvrages.

Je tiens à remercier tous les **terrasoliens** pour leur dévouement et tous nos clients et partenaires pour leur fidélité et leur confiance.

B. Madinier & A. Beaussier

Fahd Cuira

## TELT, suivi de chantier et visas

Modane, France

Démarré en octobre 2021, le chantier opérationnel CO6/7 entre Saint Martin La Porte et Modane (73) est le plus gros lot du tunnel transalpin de la future ligne ferroviaire Lyon-Turin. D'une longueur totale de 23,1 km, réalisé en bi-tube, ce tronçon est réalisé par le groupement **Vinci / Webuilt**.

Il comprend :

- La réalisation d'environ 15 km de tunnel en méthode traditionnelle avec notamment la traversée des terrains poussant (squeezing) du Houiller productif, des calcaires karstiques du Dogger ou encore des anhydrites du Trias au fort potentiel de gonflement ;
- Environ 25 km de creusement mécanisé avec à terme 3 tunneliers à voussoirs opérant simultanément.

Sur ce projet d'envergure, **terrasol** est sous-traitant du groupement de maîtrise d'œuvre **S2IP / SetecTPI / Systra / Italferr et Pini**. Après avoir collaboré à la phase PRO / ACT avec notamment la conception de la traversée du front houiller, **terrasol** est en charge du suivi géotechnique (levés de front, auscultations, gestion des risques, etc.) et du pilotage de la mission VISA.

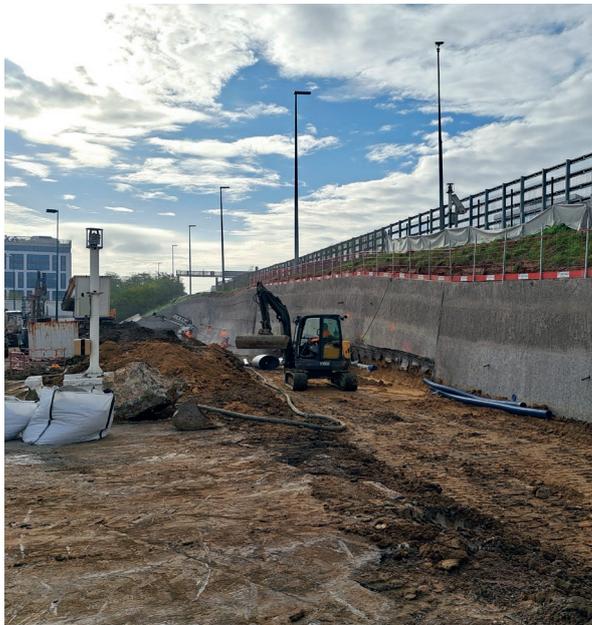
**P. Antoniazzi, A. Bachelier, F. Bonfill & Q. Didier**



Crédit photo : © terrasol

## COREA Ligne 15 Est-Sud du GPE

Ile de France, France



Crédit photo : © terrasol

Depuis janvier 2020, **terrasol**, en collaboration avec les équipes de **setec tpi**, accompagne le groupement mené par **Eiffage** dans les procédures de conception-réalisation des lignes 15-Est et 15-Ouest du métro automatique du Grand Paris Express.

Après avoir réalisé des études géotechniques de niveau AVP pour l'ensemble des tronçons au stade des consultations, **terrasol** est en charge d'études géotechniques détaillées rattachées aux 18 km de la branche sud de la ligne 15-Est. Ce lot, attribué au groupement en décembre 2023, se caractérise par des enjeux forts liés à l'aléa de dissolution du gypse, une nappe peu profonde, la proximité de réseaux d'infrastructures sensibles (métro M5, A86, RER-A, avoisinants, etc.), des raccordements souterrains à des ouvrages du tronçon 15-Sud déjà réalisés et qui seront en exploitation au moment des travaux.

Les prestations sont réalisées dans le cadre d'une MOE intégrée au groupement COREA. Elles comprennent les missions géotechniques de conception (G2-AVP et G2-PRO) et de suivi d'exécution (DET et VISA) : la définition de la maquette géotechnique pour l'ensemble des ouvrages du projet, le dimensionnement géotechnique du tunnel au tunnelier, la conception et le dimensionnement géotechnique de 5 gares, 2 ouvrages d'entonnement et 1 ouvrage de raccordement et également le dimensionnement mécanique de la plateforme support de voie en tunnel.

Des travaux préparatoires ont été engagés dès l'été 2024 au droit de 3 ouvrages prioritaires à Bobigny, Val-de-Fontenay et Champigny-sur-Marne, pour lesquels les premiers panneaux de paroi moulée seront coulés début 2025. Ces ouvrages doivent permettre de lancer à terme les différents tunneliers du projet.

**J. Marlinge**

## Centre aquatique « La grenouillère »

Antony, France

Avec **setec bâtiment** et pour le compte du cabinet d'architectures **Dietmar Feichtinger Architectes (DFA)**, **terrasol** participe au projet de réaménagement du centre aquatique de la Grenouillère à Antony, à l'extrémité Sud-Ouest du Parc de Sceaux.

Le nouveau centre aquatique sera composé de trois bassins intérieurs. A l'extérieur il aura deux bassins de loisirs et une rivière sauvage. Un niveau de parking souterrain est aussi prévu.

La contrainte majeure du projet était celle typique d'un bâtiment léger fortement enterré, où la descente de charge fait apparaître des cas de tractions qui obligent à mettre en œuvre des fondations profondes pour ancrer le bâtiment vis-à-vis des sous-pressions interstitielles.

Les études ont débuté en 2019, avec la réalisation d'une mission G1-APS. Les missions G2-AVP et G2-PRO se sont succédées en 2020 et 2021.

Aujourd'hui, nous sommes en phase G4. La fondation en pieux est déjà réalisée et les parois de soutènement du parking sont en cours de finalisation.

**S. Delattre Levis Leyser & M. Brun**



Crédit photo : © terrasol

## Tranchée des Baconnets

Antony, France

**terrasol** accompagne **SNCF Réseau** sur le projet d'aménagement de la ligne Massy-Valenton qui vise à fluidifier les circulations des TGV et des RER C, au sud de Paris, pour améliorer leur fréquence et leur ponctualité. L'objectif du projet sur le secteur ouest, depuis la gare de Massy-Verrières jusqu'au niveau de la gare des Baconnets, est la suppression des conflits de circulation TGV-TGV et TGV-RER en créant une deuxième voie dédiée aux TGV. **terrasol** a réalisé les études G2-PRO de ce secteur courant 2023.

Actuellement, les travaux préparatoires (T3A) sont en cours de réalisation par **Terélian** et **Botte Fondations** et prévoient une paroi clouée de 12 m de hauteur sur deux niveaux et une berlinoise, toutes deux provisoires. Les travaux principaux, attribués à **Bouygues TP** et **Solétanche-Bachy**, commenceront début 2025 et profiteront des ouvrages provisoires pour réaliser les parois en pieux jointifs des tranchées couvertes et ouvertes de la future voie, insérée entre les voies du RER B et du RER C. **terrasol** a en charge la mission G4 de l'ensemble des travaux.

C. Girard, H. Pillard & J-F. Bruchon



Crédit photo : © terrasol

## Maison ATP au Jardin d'Acclimatation

Paris, France

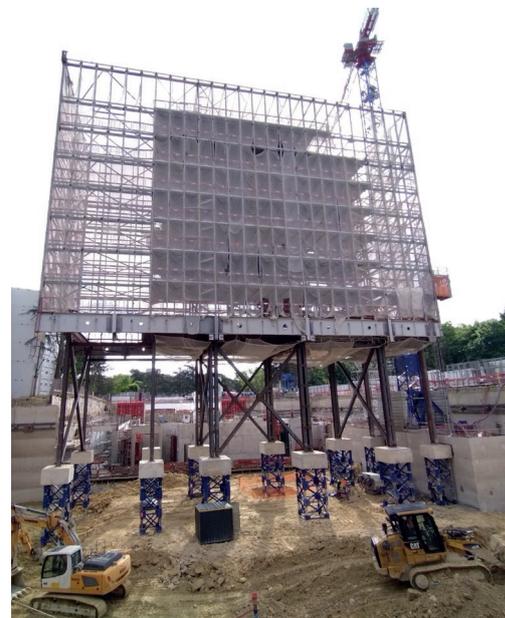
**terrasol** accompagne **setec bâtiment**, maître d'œuvre, sur le projet de transformation de l'ancien Musée National des Arts et Traditions Populaires, à côté du jardin d'acclimatation à Paris, en Maison LVMH – Arts, Talents, Patrimoine (ATP). De l'ancien musée, fermé en 2005 et construit lui-même en 1969 à la place de l'ancien Palmarium, il n'est conservé que la charpente métallique de la tour centrale. Le nouveau bâtiment conservera les formes et proportions de l'ancien mais en s'élargissant et en s'approfondissant, faisant passer le point bas du projet sous le niveau de la nappe.

Des modifications en apparence restreintes mais qui demandent d'importants travaux : démolition quasi intégrale de l'ancienne structure, reprise en sous-œuvre des charges de la structure de la tour conservée par des massifs de micropieux, parois de soutènements variées (pieux sécants tirantés, berlinoises clouées, lutéciennes, parois clouées, etc.), radier général résistant à la sous-pression, dispositif provisoire de pompage et ré-infiltration.

Présente depuis la phase de faisabilité en 2016, **terrasol** a réalisé les études de conception de type G2-AVP et G2-PRO avec l'exploration de différents scénarios d'aménagement. **terrasol** a suivi toute la phase de consultation des entreprises jusqu'à la passation des marchés et assure actuellement la mission G4 de suivi d'exécution depuis 2022 avec des travaux géotechniques principalement réalisés par le groupement **Franki / Keller**, sous-traitant de l'entreprise générale **PETIT (Vinci Construction)**.

Nos ingénieurs ont réalisé un suivi hebdomadaire des différentes activités géotechniques sur site ainsi que les relevés et l'analyse de l'instrumentation mise en place. Aujourd'hui, les travaux géotechniques sont quasiment terminés et la structure du bâtiment est très avancée.

A. Abboud & F. Pillard



Crédit photo : © terrasol

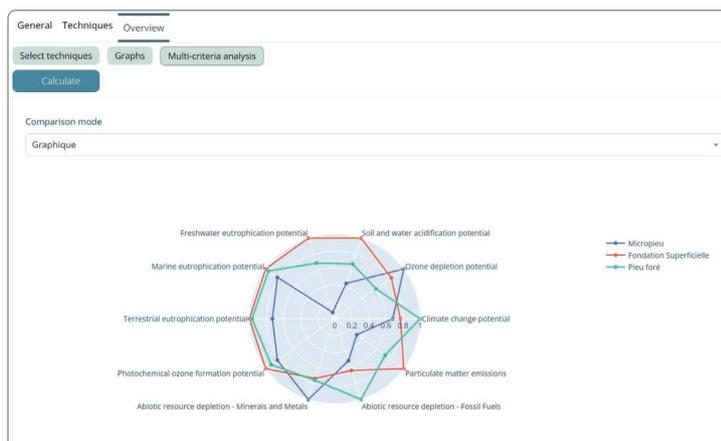


Une mise à jour majeure du module **Ecw**, disponible sur la plateforme collaborative **Orbow** développée par **terrasol**, est sortie pour tous à la fin de l'année. L'analyse des impacts environnementaux des ouvrages géotechniques y est beaucoup plus complète puisque le module permet désormais de réaliser des analyses-multicritères, en affichant 10 impacts environnementaux (dont l'indicateur réchauffement climatique qui était déjà calculé). La base de données a également été mise à jour pour être conforme au formalisme de l'amendement A2 de la norme NF EN 15804.

Autre modification notable, pour les terrassements et mouvements de terre, le module propose de calculer l'empreinte environnementale en s'appuyant sur les résultats du projet de recherche TERCO2 (mise en commun de données de suivi des émissions sur plusieurs projets de terrassement récents).

Ces évolutions reflètent notre engagement à rester en phase avec les dernières évolutions normatives, tout en intégrant les derniers résultats de la communauté scientifique.

C. Bernuy



## Rubrique logiciels

### Talren v6

#### Murs cellulaires

La dernière mise à jour de **Talren v6** intègre une refonte du traitement de l'analyse de l'équilibre interne des murs cellulaires en béton conformément à la norme NF P 94-281 (Eurocode 7). Cette analyse complète les vérifications de l'équilibre externe local et de l'équilibre externe global déjà intégrées.

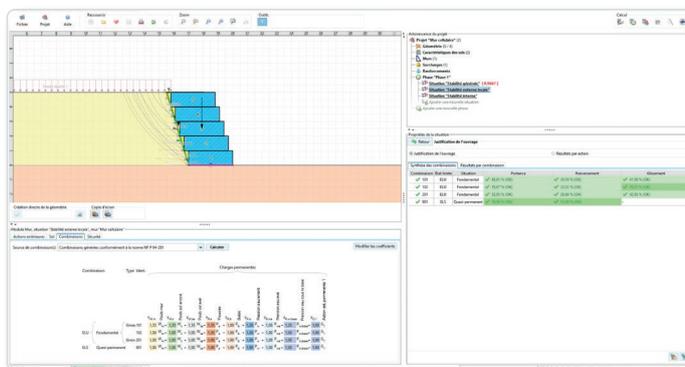
- Le grand point fort du module **Mur** de **Talren** est l'évaluation des pressions de poussée et de butée limites à l'aide de la méthode cinématique du calcul à la rupture, ce qui permet de couvrir des configurations qui ne peuvent pas être traitées avec les formulations analytiques classiques (terrain variable, chargement multiple, séisme, inter-couches variables, prise en compte des renforcements, etc.).

- L'analyse de l'équilibre externe local permet de vérifier les mécanismes de portance, de renversement et de glissement au niveau du sol de fondation à l'aide des méthodes pressiométrique, pénétrométrique et à partir des paramètres de cisaillement drainés et non drainés.

- Un générateur des combinaisons conformément à l'Eurocode 0 est intégré, laissant la possibilité de manipuler les valeurs des coefficients ainsi que les niveaux de sécurité.

L'analyse de l'équilibre interne des murs cellulaires permet de vérifier le renversement, le glissement (cisaillement) et la compression entre blocs. Les résultats intermédiaires sont accessibles pour faciliter la compréhension. Enfin, Talren permet d'accéder au taux de mobilisation de chaque résistance pour chaque combinaison de calcul, ce qui permet d'identifier la vérification dimensionnante.

C. Girard & M. Huerta



### Foxta

### K-Réa

#### Deux nouvelles versions majeures à venir

Nous travaillons actuellement sur une nouvelle génération des logiciels **Foxta** et **K-Réa**, visant à étendre considérablement leur champ d'utilisation :

- **Foxta** : la prochaine version intégrera les principales normes internationales, un traitement automatisé des combinaisons de chargement, ainsi qu'une évolution majeure des modules **Groupie+** et **Tasplaq** dans lesquels il sera désormais possible de calculer un radier flexible sur pieux interagissant via le massif de sol. Deux nouveaux modules feront par ailleurs leur apparition : **Fonds** (calcul sismique) et **Tasiris** (inclusions rigides et souples).

- **K-Réa 3D** : la prochaine version intégrera le calcul d'une structure de soutènement tridimensionnelle. Cela permet de répondre aux besoins de nos utilisateurs pour traiter des excavations complexes tout en préservant une démarche de modélisation adaptée aux applications pratiques de l'ingénieur. Cette nouvelle version sera par ailleurs dotée d'un module « hydraulique » pour estimer les forces d'écoulement à prendre en compte dans le dimensionnement.

Nous vous tiendrons informés de la mise à disposition de ces nouvelles versions.

J. Pérez & F. Cuira

## Formations

Le calendrier de l'année 2025 prévoit plusieurs sessions de formation inter-entreprise. Voici la liste de celles programmées sur le premier semestre.

17 & 18 mars	<b>Foxta v4</b> - Dimensionnement des fondations superficielles et profondes	
19 mars	<b>K-Réa v5</b> - Dimensionnement des écrans de soutènement	
20 & 21 mars	<b>Talren v6</b> - Analyse de la stabilité des ouvrages géotechniques	
24 mars	<b>Orbow</b> - Initiation et découverte de la plateforme	
23 juin	Atelier Dimensionnement des inclusions rigides avec <b>Foxta</b>	
24 juin	Atelier Interprétation des essais pressiométriques - Protocole & interprétation	
25 juin	Atelier Conception des murs de soutènement avec <b>Talren v6</b>	
26 & 27 juin	Dimensionnement des ouvrages géotechniques selon les Eurocodes 7 et 8	



Contactez-nous pour organiser des formations intra-entreprises adaptées à vos besoins :  
[formations.terrasol@setec.com](mailto:formations.terrasol@setec.com)

M. Blanchet, A. Preout  
& M. Huerta

#### Siège social

Immeuble Central Seine  
42-52 quai de la Râpée  
CS 71230  
75583 PARIS CEDEX 12  
FRANCE

Tel : +33 (0)1 82 51 52 00  
[terrasol@setec.com](mailto:terrasol@setec.com)

#### Agence Lyon

Immeuble Le Dièze Corner  
97-101 boulevard Vivier Merle  
CS 53324  
69329 LYON CEDEX 03  
FRANCE

Tel : +33 (0)4 27 85 49 35  
[terrasol.lyon@setec.com](mailto:terrasol.lyon@setec.com)

#### Agence Bordeaux

42-44 rue du Général de Larminat  
33000 BORDEAUX  
FRANCE  
[terrasol.bordeaux@setec.com](mailto:terrasol.bordeaux@setec.com)

#### Agence Aix-en-Provence

655 rue René Descartes  
13290 AIX EN PROVENCE  
FRANCE  
[terrasol.aix@setec.com](mailto:terrasol.aix@setec.com)

#### Représentation au Maroc

3 rue Abou Hanifa,  
Agdal  
10080 RABAT  
MAROC

Tel : +212 (661) 16 20 78  
[ahmed.skalisenhaji@setec.com](mailto:ahmed.skalisenhaji@setec.com)

#### Représentation en Tunisie

2, rue Mustapha Abdesslem  
El Menzeh  
2037 TUNIS  
TUNISIE

Tel : +276 71 23 63 14  
[info@terrasol.com.tn](mailto:info@terrasol.com.tn)