

## Edito

Cette année 2007 s'achève sur une nouvelle période de croissance, avec une augmentation d'environ 20 % de nos activités.

Cette activité a été portée par différents domaines, illustrés dans cette nouvelle édition de "La Lettre TERRASOL":

- le secteur bâtiment, avec une recrudescence de projets de grandes tours, en particulier à La Défense, où TERRASOL a naturellement trouvé sa place aux côtés de SETEC;
- les grandes infrastructures, avec notamment la LGV Rhin-Rhône, l'autoroute A41, la traversée souterraine de Toulon...pour ne citer que les plus importantes en cours de travaux;
- les grands projets à l'export, souvent en accompagnement de nos entreprises françaises (le projet Gautrain en Afrique du Sud), mais parfois dans un contexte encore plus multinational, avec notre mission d'assistance à des entreprises chinoises pour l'autoroute Est-Ouest en Algérie;
- et bien sûr toujours les logiciels, avec cette année une forte diversification dans le domaine de l'hydraulique avec nos collègues d'HYDRATEC.

Evidemment, tout cela ne peut se faire sans un personnel compétent et motivé : nos effectifs ont maintenant dépassé 40 personnes. A noter également une implication toujours plus forte de nos ingénieurs sur les chantiers, puisqu'actuellement nous avons cinq géotechniciens détachés en permanence sur des suivis géotechniques de grands projets (LGV Rhin-Rhône, A41, tunnel de Toulon, Algérie).

Une occasion de capitaliser un remarquable retour d'expérience de nos études antérieures, et ainsi d'accroître le savoir faire de l'ensemble de l'équipe, avec l'ambition de répondre encore mieux aux attentes de nos clients.

**Alain GUILLOUX**  
Président Directeur Général

## LES TOURS DE LA DÉFENSE

L'année 2007 a été marquée par un regain important d'études concernant des projets de tours de grande hauteur. Pour ce qui concerne la région parisienne, l'essentiel de ces projets est situé sur le site de la Défense, mais Paris et d'autres villes de la banlieue pourraient également être concernées.

C'est ainsi que sur le seul site de la Défense, TERRASOL, dans le cadre des études d'APS menées pour la plus grande partie par SETEC, a effectué au cours de cette année des missions géotechniques sur les projets connus suivants :

- **Tour « Majunga »** : hauteur 200 m.
- **Tour « Phare » - Projet Morphosis** : hauteur 300 m.
- **Tour « Generali »** : hauteur 300 m.
- **Tour PB 22** : deux tours de hauteurs respectives 270 et 160 m (concours tour « Signal »).

Ces projets se caractérisent en particulier par des hauteurs nettement supérieures à celles atteintes par les bâtiments les plus hauts existants qui ne dépassent pas 190 m. Les poids atteints par ces nouvelles tours sont de l'ordre de 2000 MN, à comparer aux 1000 à 1200 MN des anciennes constructions. Ces charges ramenées à la surface au sol correspondent à des contraintes moyennes de l'ordre de 1 MPa.

En plus de l'augmentation des charges apportées, les nouveaux projets se distinguent également par :

- Un environnement général plus délicat car ils s'inscrivent dans un bâti dense sur lequel il ne doit y avoir aucune répercussion.
- Un contexte géotechnique parfois défavorable. Par exemple, certains des sites retenus à la Défense montrent une disparition des couches résistantes du Lutétien (Marnes et Caillasses et surtout Calcaire Grossier) érodées par la Seine. La déformabilité de l'assise, constituée par les horizons sableux et argileux du Sparnacien, se traduit par des tassements absolus et relatifs incompatibles avec les bâtiments. En outre, les sols argileux ayant des coefficients de consolidation faibles, les déformations évoluent avec le temps, ce qui introduit une complication supplémentaire dans la possibilité et le choix d'éventuels moyens confortatifs préventifs.

Parallèlement à ces nouveaux projets neufs, il existe également des réhabilitations plus ou moins lourdes d'anciennes constructions.

Ces projets peuvent modifier les efforts appliqués à la fondation que l'on souhaite conserver. Il est donc indispensable d'en examiner les conséquences en essayant de tenir compte de l'histoire des chargements.

Ainsi, pour le site de la Défense, les problèmes posés sont essentiellement des problèmes de déformation, à court terme et à moyen terme, tant pour le projet lui-même que pour l'environnement. L'étude de ces tassements nécessite la mise en œuvre de modèles aux éléments finis tridimensionnels du sol permettant :

- d'estimer l'incidence de l'ouvrage sur son environnement (« cuvette de tassement »),
- de définir les valeurs des modules de réaction pour le dimensionnement de la structure (interaction sol-structure) tant sous les charges statiques que dynamiques (vent).

Dans le cas où les déformations dépassent les seuils admissibles, il faut alors s'orienter vers des fondations profondes ou des fondations mixtes, ce qui représente un surcoût important.



Tour « Phare » - Projet Morphosis

La Compagnie Nationale du Rhône, qui gère depuis plus de 60 ans de nombreux ouvrages hydrauliques sur le Rhône, est engagée dans un programme de construction de petites chutes hydrauliques permettant d'améliorer le rendement énergétique de ses ouvrages. Terrasol lui a apporté son expertise pour la conception des fouilles et coupures à réaliser à proximité d'ouvrages existants ainsi que l'évaluation de certains risques spécifiques (liquéfaction).

La réhabilitation du barrage de Chancy Pougny, motivée par la réévaluation des risques sismiques qu'entraîne la mise en application des Eurocodes, a également justifié l'étude des conditions d'appui de la passerelle du barrage, fondée sur une culée en sommet du versant rive droite. Cette étude vise à établir les paramètres d'interaction dynamique entre la culée et sa fondation, nécessaires au modèle complet de la structure élaboré par la CNR.

Enfin, dans le cadre de la gestion des ouvrages et de leur suivi, un diagnostic a été demandé sur une digue objet d'un suivi détaillé car traversant une zone compressible contenant de la tourbe. L'exploitation des mesures de tassement recueillies depuis 25 ans a servi à caler les paramètres d'un modèle aux éléments finis, apte à décrire le comportement observé sur la période. Ce diagnostic initial, éclairé par les apports de la modélisation, a permis d'élaborer le programme des investigations les mieux adaptées pour valider le modèle mis au point et fiabiliser ses conclusions. L'étude qui se poursuivra après ces investigations permettra d'actualiser et adapter les procédures de surveillance, maintenance et exploitation de l'ouvrage.



Chancy Pougny versant rive droite

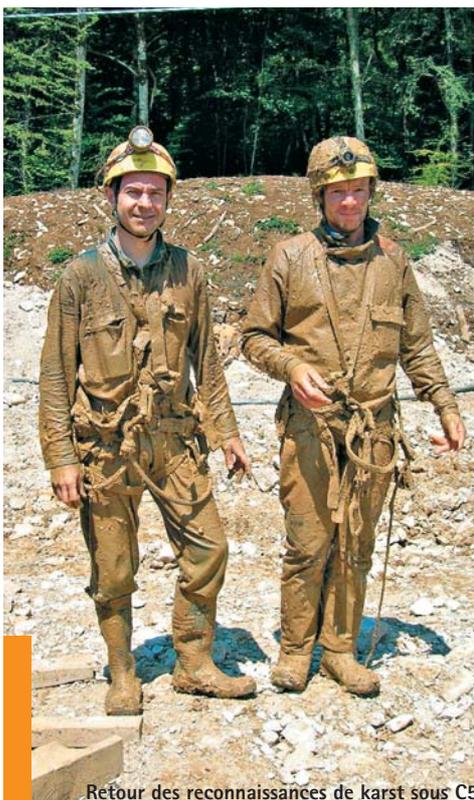
Les fondations des grands viaducs de la LGV Rhin-Rhône ont été les premières à sortir de terre sous la surveillance des équipes de maîtrise d'œuvre de SETEC, renforcées par celles de TERRASOL pour la géotechnique.

Une attention particulière a été portée au viaduc du Pertuis, implanté dans une zone fortement karstique, et sous lequel a été confirmée la présence d'une importante anomalie karstique composée de plusieurs cavités connectées, partiellement remplies d'argile, d'une zone d'entonnoir d'effondrement et de zones d'argilisation en masse.

Le suivi quotidien des opérations de reconnaissance en cours de travaux et d'injection a permis une très bonne réactivité dans les prises de décisions techniques. Ainsi, le choix de réaliser un terrassement supplémentaire de 37 000 m<sup>3</sup> sous la culée C5 et des micropieux de renforcement sous la pile P1 n'a qu'une incidence limitée sur le planning de construction de l'ouvrage.

Non loin de là, nos équipes sont également mobilisées pour le suivi du creusement de 1800 m du tunnel de Chavanne qui a rencontré sa première faille après 295 m côté Est, à seulement 14 m de sa position prévisionnelle selon la maquette produite en phase études de Projet.

TERRASOL suit également, depuis son implantation parisienne, l'ensemble des VISA géotechniques des ouvrages d'art : 7 viaducs, un tunnel de 1,8 km et plus de 100 ouvrages d'art courants.



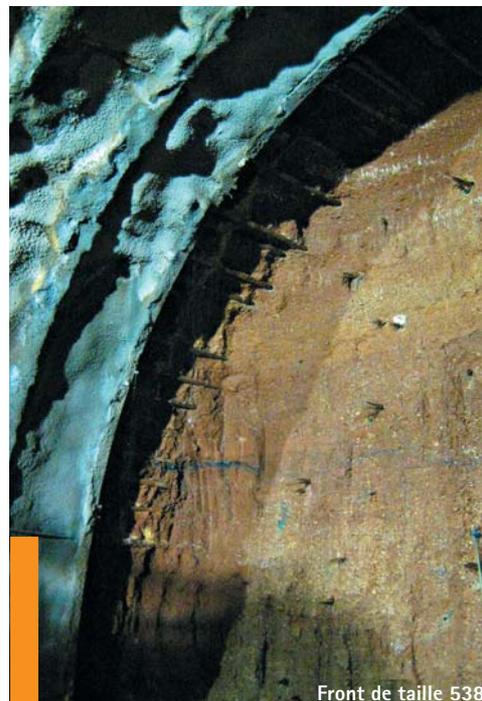
Retour des reconnaissances de karst sous C5

Après trois années d'études et un premier appel d'offres infructueux, le chantier de réalisation du deuxième tube de Toulon (1800 ml de tunnel + 400 ml de tranchée couverte) est maintenant bien lancé depuis le début de l'année 2007. Le groupement SETEC TPI - TERRASOL en assure la maîtrise d'œuvre.

Sur site, il s'agit en pratique de suivre plusieurs chantiers d'envergure : la tranchée couverte Ouest sur 180 ml avec paroi moulée et bouchon injecté dans des alluvions, l'attaque Ouest depuis l'unité de ventilation avec une excavation actuellement dans les colluvions après injection depuis la surface le puits Marchand (puits circulaire de 16 m de diamètre et 45 m de profondeur réalisé en paroi moulée avec fond conforté en jet grouting) pour l'attaque intermédiaire sous des bâtiments sensibles, la zone Clémenceau dans des calcaires bréchiques avec des injections depuis la surface, et la tranchée couverte Est (200 ml), également terrassée à l'abri de paroi moulée, mais dans des terrains plus raides.

La complexité de la géologie du sous-sol toulonnais (zone de charriages avec une stratigraphie inversée) conduit à la présence de nombreux accidents et singularités, avec des changements de faciès très rapides, nécessitant une adaptation permanente du soutènement en tunnel aux conditions d'excavation.

Toutes ces activités et ces différentes techniques sont suivies de près avec la mise en place d'une base de données consultable à distance regroupant l'ensemble des auscultations en surface et en tunnel et qui permet de faciliter les prises de décision de pilotage de chantier en fonction des tassements.



Front de taille 538

## ALGÉRIE

### Autoroute Est-Ouest

Poursuivant une activité d'expertise régulière en Algérie, TERRASOL a été appelé pour assister divers partenaires sur des projets difficiles. 2007 a ainsi permis de mettre en œuvre les études menées avec le CTPP pour réparer un grand glissement de l'autoroute Est/Ouest dans le secteur de Bouira.

Mais l'intérêt de TERRASOL pour les projets de ce pays a trouvé un autre développement important sur cette autoroute. L'Algérie veut terminer au plus vite l'épine dorsale de son réseau routier : l'autoroute Est/Ouest d'un linéaire total de 1200 km.

Le groupement d'entreprises chinoises CITIC-CRCC a obtenu l'adjudication des travaux des lots « Centre et Ouest ». TERRASOL a fédéré une équipe du groupe SETEC et assure une mission de contrôle externe et d'assistance technique auprès de CRCC, entreprise nationale des chemins de fer chinois particulièrement motivée pour relever ce défi.

Bien que ce lot soit de longueur « réduite » de 169 km, les enjeux et difficultés de l'entreprise sont extrêmement importants.

Les difficultés majeures du projet se résument en quelques chiffres :

- trois franchissements de l'Atlas avec cinq secteurs dont le dénivelé dépasse 400 m sur 10 km,
- 12 km d'ouvrages d'art dont 39 viaducs,
- 2,5 km de tunnels.

Mais ce sont peut être les terrassements qui constituent l'enjeu majeur de ce projet, par le volume, mais surtout parce que les terrains algériens offrent des caractéristiques très difficiles :

- terrains marneux, évolutifs,
- très grands déblais et remblais sur pentes.



Glissement du Pk 190 : remblais de la bêche

## AFRIQUE DU SUD

### Projet Gautrain

C'est en Afrique du Sud, où se construisent 80 km de ligne nouvelle ferroviaire à 160 km/h, que TERRASOL a été missionné depuis plus d'une année par Bouygues pour traiter les aspects géotechniques sur une partie du projet Gautrain.

Dans cette zone longue de 6 km, des dolomies très fortement karstifiées sont surmontées de terrains d'altération extrêmement variables sur une épaisseur allant de 0 à 80 m ! Des fontis d'une dizaine de mètres de diamètre s'y produisent régulièrement et représentent par conséquence le cas de charge dimensionnant des fondations de viaducs, mais également des ouvrages en terre. Tout l'enjeu est de concevoir ces ouvrages pour le « design sinkhole event », évalué selon une étude de risque à 15 m de diamètre ; un cas de charge qui n'est pas pour autant accidentel étant donné la fréquence élevée des événements ; et ce avec bien sûr de fortes exigences d'exploitation et de sécurité.

La conception des ouvrages se termine avec diverses solutions techniques de construction à l'échelle de l'hétérogénéité des terrains : pour les viaducs, depuis des semelles superficielles jusqu'à des puits de 7 m de diamètre et 50 m de profondeur ; pour la section courante, des poutres en béton précontraint de 180 m de long portant la voie. Ces ouvrages sont en outre associés à toute une variété de techniques d'amélioration des sols, de gestion des eaux et d'auscultation.

Le chantier qui démarre confirme dès les premiers coups de pelle la géologie extrêmement aléatoire de ces dolomies et de leur recouvrement d'altération.



Puits de viaduc dans les pinacles de dolomie

## TUNISIE

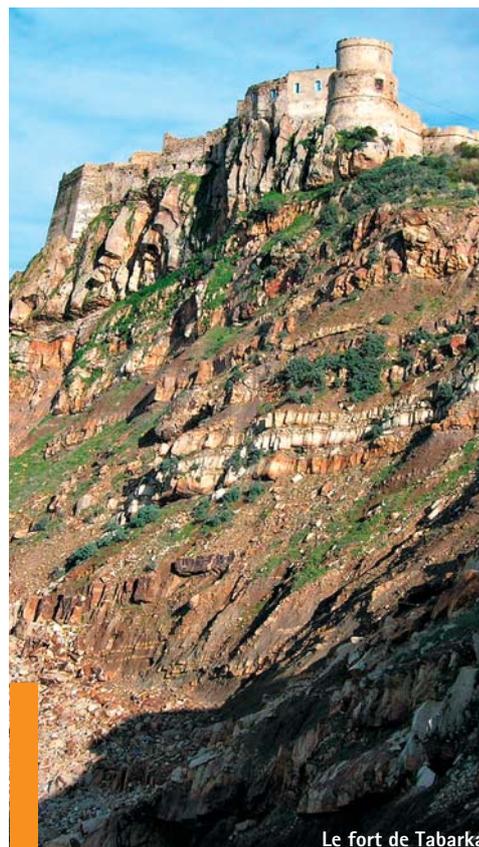
### Le Fort de Tabarka

TERRASOL est intervenu en 2007 pour réaliser le diagnostic et les études d'exécution du confortement du fort Génois de Tabarka, construit au XVI<sup>e</sup> siècle.

L'analyse structurale du massif rocheux mais également des conditions de stabilité interne de l'ouvrage ancien en maçonnerie a permis un diagnostic fin des origines multiples du sinistre affectant l'ouvrage : un mécanisme de glissement banc sur banc du substratum rocheux, composé d'une alternance de niveaux gréseux et marneux, induit une instabilité de pied des fondations responsable de l'apparition de fissures à la base des murs, en outre un sous dimensionnement interne de l'ouvrage de soutènement est responsable de l'apparition de fissures en partie supérieure du fort.

En intégrant les origines multiples du sinistre mais également les conditions complexes d'accès au site, il a été préconisé et dimensionné une solution de confortement associant : tirants passifs et clous de renforcement des maçonneries, micropieux de reprise des fondations et clouage du massif rocheux stratifié à l'aval du fort.

On notera qu'au cours de cette expertise sur la partie Sud du fort, nous avons également mis en évidence, en partie Nord, une seconde zone où le fort de Tabarka présente un niveau de risque géotechnique élevé, mais actuellement sans sinistre déclaré.



Le fort de Tabarka

## PÔLE LOGICIELS

Nous diffusons actuellement 3 lignes de produits :

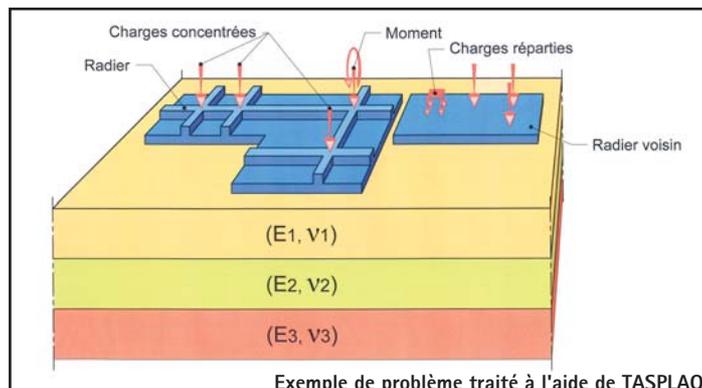
- Les logiciels analytiques géotechniques développés par TERRASOL : **TALREN**, **FOXTA**, **K-REA** et **TUNREN**. L'année 2007 s'achève sur la diffusion de la version anglaise de **K-REA**, et la poursuite des nouveaux développements **FOXTA**, notamment sur les modules **TASPIE+** (calcul des projets d'inclusions rigides) et **TASPLAQ** (extension de **TASPOUTRE** en 2D, c'est-à-dire au cas des plaques et dallages de forme quelconque).
- Les logiciels éléments finis dédiés à la géotechnique **PLAXIS**. L'année 2007 a été marquée par la diffusion de **PLAXIS 3D Foundation v2**.
- Les logiciels pour l'ingénierie de l'eau développés par **HYDRATEC** : dans le domaine de l'assainissement, **METE'EAU** et **HYDRANET** étaient déjà disponibles depuis 2006. Dans le domaine de l'hydrologie fluviale, **HYDRARIV** a été lancé en 2007.

En 2007, le Pôle Logiciels a connu une très forte augmentation des demandes de formations de la part de nos utilisateurs. Cette année, nous avons ainsi organisé en France 2 sessions inter-entreprises (consacrées à **TALREN** et **FOXTA**) qui ont rassemblé chacune plus de 20 participants, et plus de 30 formations intra-entreprises (logiciels **TERRASOL** ou **PLAXIS**). Nous avons également organisé notre première session de formation inter-entreprises **TALREN** en Turquie.

D'autre part, nous avons eu l'occasion de rencontrer nos utilisateurs lors de différents événements, en France comme à l'étranger :

- Journée de lancement des logiciels Hydratec au CNAM;
- Participation sous forme de stands d'exposition (tenus par **TERRASOL** ou par nos distributeurs étrangers) aux congrès suivants : **SOMAPRO** (Tunisie), **NUMOG X** (Grèce), **NOVATECH** (Lyon), Congrès Régionaux de Mécanique des Sols et de Géotechnique (Madrid pour l'Europe, Yaoundé pour l'Afrique et Calcutta pour l'Asie).

La forte activité du Pôle Logiciels ces derniers mois nous a conduit à augmenter nos effectifs, et c'est donc une équipe renforcée (7 personnes au total) qui est désormais à votre disposition.



Exemple de problème traité à l'aide de TASPLAQ



Stand TERRASOL au congrès de Madrid (Sept. 2007)

## VISITE DU SITE DE L'A41 NORD Saint Julien en Genevois / Villy le Pelloux - Saint Martin Bellevue)



"Adélaïde": la sortie du pilote

Le vendredi 30 juin 2007, l'équipe **TERRASOL** a eu la chance d'assister à la sortie du tunnelier "Adélaïde" après le creusement du premier tube (Ouest) du tunnel du Mont Sion où nous intervenons pour les études et le suivi de chantier.



Une partie de l'équipe face à "Adélaïde"

## PUBLICATIONS RECENTES

- **Présentation des travaux du projet ASIRI sur les inclusions rigides** (B. Simon) - Entretiens RGCU (Batimat) - Paris, Novembre 2007 et Journées BGA / CFMS Londres, Décembre 2007
- **Managing the sinkhole risk with mechanized tunneling in urban areas** (A. Guilloux) - XIV European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering - Madrid, Septembre 2007
- **Rapport général sur le thème "Tunnels en site urbain"** (A. Guilloux, R. Kastner et J. Robert) - XIV Congrès Européen de Mécanique des Sols et de Géotechnique Madrid, Septembre 2007
- **Deux viaducs jumeaux sur la rivière Ante : fondations superficielles sur massif rocheux renforcé** (S. Curtil, L. Parneix et S. Grange) - Revue Travaux n° 844, Septembre 2007
- **Suivi et maintenance des ouvrages géotechniques de l'A43** (A. Bergère, M. Moulin et PL. Veyron) - Congrès Mondial de la Route - Paris, Septembre 2007



Immeuble Hélios  
72, avenue Pasteur  
93108 Montreuil Cedex - France

Tél. : + 33 (0)1 49 88 24 42  
Fax : + 33 (0)1 49 88 06 66  
Email : [info@terrasol.com](mailto:info@terrasol.com)



Immeuble L'Orient  
10, place Charles Béraudier  
69428 Lyon Cedex 03 - France

Tél. : + 33 (0)4 27 85 49 35  
Fax : + 33 (0)4 27 85 49 36  
Email : [lyon@terrasol.com](mailto:lyon@terrasol.com)



2, rue Mustapha Abdesslem  
El Menzeh  
2037 Tunis - Tunisie

Tél. : + 276 71 23 63 14  
Fax : + 276 71 75 32 88  
Email : [info@terrasol.com.tn](mailto:info@terrasol.com.tn)