

25 Ans



*C'est avec un grand plaisir que nous avons fêté,
le 28 septembre 2004
à La Grande Arche de La Défense,
le 25^{ème} anniversaire de TERRASOL,
lors d'une manifestation
regroupant près de 200 personnes.*

En effet, Terrasol a été créée, par François Schlosser assisté de moi-même, en septembre 1979, avec pour ambition de développer un bureau d'ingénieurs conseils en géotechnique offrant à ses clients des prestations de haute qualité :

- Une première phase de développement a vu Terrasol progresser de 3 à 20 employés entre 1980 et 1998, avec une forte activité d'expertise, une clientèle constituée pour une large majorité d'entreprises, et un chiffre d'affaires d'environ 2.2 M€.
- En 1999, Terrasol a rejoint le groupe SETEC et a fusionné avec SETEC Géotechnique, qui avait été créée en 1971 par Erio PRANDI. Ce rapprochement a été l'occasion d'un enrichissement par la complémentarité entre les cultures de chacune des sociétés.

Depuis cette date, la croissance de TERRASOL s'est poursuivie sur un rythme soutenu, pour atteindre en 2004 un effectif de 34 personnes, dont 25 ingénieurs. L'activité s'est également diversifiée, avec une forte augmentation des missions de maîtrise d'œuvre, dans un rôle de spécialiste géotechnique pour les grands projets où SETEC intervient. Le chiffre d'affaires atteint près de 4 M€ en 2004.

Notre activité se décompose ainsi actuellement en trois parties :

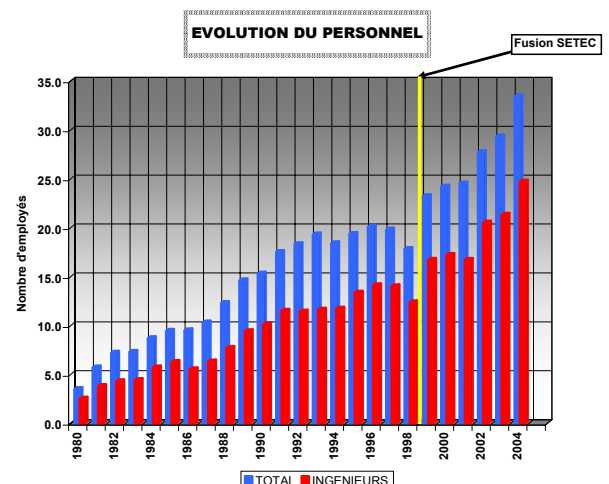
- Près de 40 % en partenariat avec les autres sociétés du groupe SETEC, dans le cadre de maîtrises d'œuvre complètes sur des grands projets d'infrastructures ferroviaires, autoroutières ou de grands bâtiments.
- Près de 50 % pour des clients extérieurs, avec toujours une forte proportion d'entreprises, sur des missions de conseil et expertise, mais également des projets d'exécution ou de maîtrise d'œuvre de travaux géotechniques.
- 12 à 15 % sur les logiciels géotechniques, dont le développement s'est largement accentué ces dernières années.

Par ailleurs, notre activité à l'international représente environ 20 % de notre chiffre d'affaires, en assistance aux entreprises pour de grands chantiers à l'étranger, ou par le biais des implantations du groupe SETEC, notamment au Maroc. Nous développons également notre activité en Algérie, et avons lancé depuis le début 2004 une antenne Terrasol Tunisie, qui connaît un démarrage prometteur.

Enfin, c'est grâce à une forte implication dans le milieu scientifique et universitaire que TERRASOL reste en pointe dans sa discipline. Les Projets Nationaux de Recherche permettent souvent de mettre en œuvre la synergie entre nos activités de projets, de recherche appliquée, et de logiciels.

La réussite de Terrasol s'appuie ainsi sur une "culture géotechnique" spécifique, qui s'est progressivement développée au cours de ces 25 années, et qui est illustrée par quelques projets présentés lors de la manifestation du 28 septembre 2004 et repris dans cette lettre.

Alain GUILLOUX
Président Directeur Général



Ouvrages souterrains : de la conception à la réalisation

Les travaux souterrains ont toujours été un secteur d'activité particulièrement important à Terrasol, avec plus de 80 projets suivis depuis 20 ans :

- En conception / maîtrise d'œuvre avec pour les études les plus récentes ou en cours : deuxième tube de Toulon (Maîtrise d'œuvre études et travaux), rocade Nord de Grenoble (APS), tunnel de Meknes (Maroc), ou tunnel de Saverne (LGV Est),
- En études d'exécution : descenderie de Saint Martin la Porte (LTF), tunnel des gorges de Saorge, et tunnels du TGV Méditerranée (Tartaiguille, Pennes Mirabeau, Lambesc),
- En expertise : Socatop, le puits de Bure (Andra), métro de Toulouse, tunnels de la Vierge et du Lioran, Météor, Eole...

Le tunnel de Meknes au Maroc est un bon exemple de projet suivi depuis la conception jusqu'à la réalisation. Ce tunnel ferroviaire de 400 ml creusé dans des marnes plastiques (30 m de couverture) a subi un effondrement en 1999 dès le début de l'excavation en pleine section. L'ONCF a confié à Terrasol une mission d'expertise puis, à Maroc Setec et Setec TPI en 2001, la maîtrise d'œuvre complète (conception, études d'exécution et suivi des travaux). Les études se sont déroulées en 2001/2002 avec deux solutions : excavation en pleine section (plus séduisante mais plus difficile à maîtriser) ou excavation en sections divisées.

Les travaux ont débuté aux têtes durant l'été 2003 (entreprise adjudicatrice chinoise), puis le creusement a démarré en octobre 2003 avec la solution en sections divisées. Le percement a eu lieu en mai 2004 ; les tassements en surface ont atteint 7 cm sous faible couverture et 4 à 5 cm sous 30 m de couverture (mesures cohérentes avec les calculs éléments finis).

Le tunnel de Toulon est également un projet où Terrasol est fortement impliquée : première mission d'expertise en 1996 suite à l'effondrement sur le tube nord, avec en particulier la conception de la méthode d'excavation pour la traversée de la zone du fontis (renforcement par jet grouting), puis mission d'expert permanent auprès du groupement d'entreprises pour la reprise du creusement (1997-1999).

En août 2003, la maîtrise d'œuvre complète pour le tube sud (EPOA, POA, DCE et suivi des travaux) a été attribuée au groupement Setec TPI/Terrasol. L'EPOA a été finalisée en décembre 2003 et approuvée en mars 2004. Le POA (finalisé fin septembre 2004) est en cours d'approbation, pour un lancement du DCE début 2005. Le début des travaux est prévu pour l'été 2005.

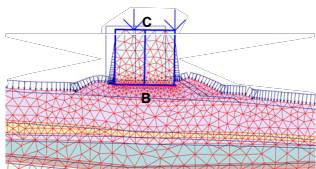


Descenderie de Saint Martin la Porte (PM942 le 24-09-04)

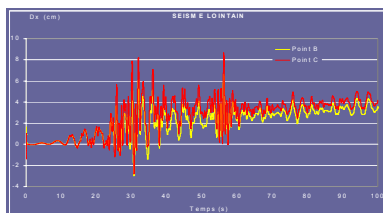
Port de TANGER

Etude sismique de la digue en caisson

À la demande de Saipem, Terrasol a mené une étude de modélisation dynamique pour évaluer les déformations de l'assise des caissons sous sollicitations sismiques. Ces calculs temporels sont réalisés avec le logiciel Plaxis (module dynamique). Les caissons en béton, de 25 m de haut, sont posés sur un remblai en fond de mer, reposant sur des sables silteux à graveleux ; le substratum est présent à une trentaine de mètres de profondeur. Les lois de comportements et les caractéristiques mécaniques prises en compte pour ces sols sont adaptées au domaine de déformations sous sollicitations sismiques. Les hypothèses géotechniques, dynamiques et numériques ont suscité de nombreux calculs de calage afin de conserver au mieux la qualité du signal lors de sa propagation à travers le modèle. Les signaux temporels, accélération en fonction du temps placée au niveau du substratum, sont construits à partir d'une étude sismotectonique définissant les séismes les plus dommageables pour la structure et d'un traitement analytique par déconvolution de signaux réels comparables.



Déformée du modèle à la fin du séisme lointain.



Déplacement horizontal à la base et en haut du caisson pour le séisme lointain.

Les séismes lointains produisent une accélération au droit du site plus faible que les séismes proches. Cependant, leur contenu basses fréquences, centré autour de la fréquence de résonance du système global (~ 1 Hz), est le plus défavorable pour la stabilité des caissons. Les déplacements maximaux atteignent 4 cm irréversibles à la fin du séisme lointain et une amplitude de 12 cm à l'arrivée des ondes de cisaillement. Les déplacements au cours du séisme proche sont par contre de faible amplitude et le modèle montre un comportement élastique. Les différents résultats valident les principes de comportement adoptés, et l'absence de risque de liquéfaction des terrains d'assise.

Grandes infrastructures linéaires : gestion de l'aléa "cavités souterraines"

Les grandes infrastructures linéaires sont particulièrement sensibles à l'aléa "cavités souterraines", qu'elles soient naturelles ou anthropiques, du fait de leur caractère aléatoire, qui en rend la reconnaissance très délicate, mais aussi par les conséquences en termes de risques pour les ouvrages et leurs usagers, et de définition et contrôle des travaux de prévention : les traitements de terrain sont souvent difficiles à programmer et à contrôler, et les évolutions à long terme difficiles à prévoir.

Il s'agit donc bien d'une problématique de gestion de risques, qui doit intégrer à toutes les phases du projet la notion de risque acceptable, et la maintenance des ouvrages.

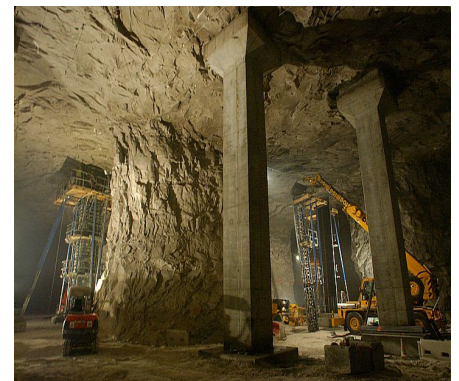
Terrasol a été amenée à traiter ces aspects sur plusieurs projets récents autoroutiers ou ferroviaires : évaluation de l'aléa, nature des ouvrages à protéger (déblais/remblais, ouvrages d'art). La recherche de la solution la mieux adaptée va du traitement des cavités identifiées au traitement des conséquences d'un effondrement potentiel de cavités non reconnues.

Ainsi, la carrière de Saint Astier pour l'autoroute A89, carrière de pierre à chaux exploitée par chambre et piliers, sous 10 m de couverture dont 5 m rocheux, devait supporter la plate-forme en remblai dans cette zone.

Après de nombreuses phases de reconnaissances, d'auscultations (galerie expérimentale), et de modélisations numériques calées sur les mesures, nous avons étudié diverses solutions :

- en carrière : remplissage, foudroyage, boulonnage ;
- au niveau de l'autoroute : viaduc, dalle sous remblai, remblai allégé, renforcement par géogrille.

Pour finalement retenir une confortation par piliers bétonnés en carrière, c'est-à-dire la même chose que ce qui avait été fait un demi-siècle auparavant !



TERRASOL a été récemment missionnée par diverses entreprises pour des réservoirs de Gaz Naturel Liquéfié en béton précontraint, de 65 à 85 m de diamètre et 35 à 40 m de haut. Souvent construits en zone littorale, sur sols lâches et compressibles, ces projets illustrent bien notre démarche globale de conception des fondations, intégrant les aspects géotechniques, les contraintes spécifiques locales (aléa sismique), et les contraintes économiques et de chantiers (délais, technologies disponibles ...).

- *Un premier exemple au Nigeria*, sur sols compressibles jusqu'à 50 m de profondeur (tassements prévisibles > 1 m), a été traité par fondation superficielle après préchargement. L'évaluation des tassements en phase d'hydrotest et en phase de service a été conduite à l'aide de modèles EF, calés sur les mesures du préchargement avec des modules variables selon la sollicitation. Les tassements sous hydrotest, atteignant avec les hypothèses de base 27 cm au centre (10 cm sous les parois), ont ainsi été réévalués à 15 cm au centre (8 cm sous les parois), ce qui a été confirmé par l'essai.
- *Un second cas en Egypte* présentait une problématique d'argiles molles près de la surface, et d'argiles raides mais compressibles de 60 à 100 m de profondeur. Après avoir écarté les fondations superficielles (tassements de 95 cm avec un différentiel de près de 10 ‰), deux solutions ont été étudiées : colonnes ballastées de 30 m (50 cm de tassement), ou pieux de 50 m ancrés dans une couche sableuse (encore 15 cm de tassement dans les argiles profondes). Cette seconde solution a finalement été mise en œuvre.
- *Pour le troisième projet en Inde*, avec 15 m de sables et limons lâches, les tassements étaient modérés (25 cm), mais la sécurité au poinçonnement était limitée et surtout les sables étaient liquéfiables. Des solutions de préchargement, de compactage dynamique ou des fondations profondes ont été écartées, pour retenir des colonnes ballastées. Les tassements ont été évalués par des approches probabilistes en élasticité et des modélisations élasto-plastiques en EF (élasticité non linéaire). Après un suivi permanent par Terrasol du plot d'essai et du chantier de production des 3000 colonnes ballastées, l'hydrotest a confirmé les tassements calculés, environ 10 cm au centre.



Ces expériences ont confirmé que de tels grands ouvrages nécessitent à la fois des investigations adaptées (besoin en connaissance jusqu'à de très grandes profondeurs), et des modélisations élaborées intégrant les spécificités du comportement des sols.

L'avant-projet sommaire initial des plates-formes prévoyait des structures souples nécessitant l'emploi de quantités très importantes de granulats d'apport. Les variantes proposées par SETEC et TERRASOL ont consisté à systématiser le traitement des sols en place, après une couche de forme constituée du terrain traité à la chaux et aux liants. Pour les sous-couches de chaussée, l'utilisation de matériaux traités (graves ciment et graves laitier) en remplacement des couches granulaires a également été retenue, car plus économique et moins consommatrice de granulats.



L'expérience du site voisin de Gramont pour la construction de l'A320 a conduit à définir des performances très élevées pour la couche de forme avec, pour critère principal de résistance à 28 jours, un module à la plaque conventionnel de 800 MPa.

Ce seuil étant supérieur à celui de la norme, une méthodologie particulière a été mise au point avec l'entreprise afin de rendre l'essai compatible avec les critères exigés.

Une dizaine de planches d'essais ont permis de mettre au point la procédure de traitement. Les performances prévues au marché ont été vérifiées par plus de 600 essais à la plaque (contrôle interne de l'entreprise).

Par ailleurs, pour confirmer la qualité de la couche de forme et valider les hypothèses de raideur utilisées pour la justification des chaussées aéronautiques, le laboratoire itinérant du Service Technique des Bases Aériennes a été sollicité pour intervenir comme contrôle extérieur. Leur dispositif permet l'application d'une charge de 40 tonnes sur une plaque de diamètre 0,65 m ; 33 essais ont été réalisés, qui ont globalement confirmé les niveaux de performance attendus.

Ouvrages portuaires

Les ouvrages portuaires sont devenus l'un des domaines d'intervention privilégiés de TERRASOL, notamment parce qu'ils combinent fréquemment des problématiques de sols compressibles, avec des conditions hydrauliques souvent difficiles, et de très fortes interactions sols-structures.

C'est ainsi que Terrasol a travaillé au cours des dernières années sur la plupart des ports français, mais aussi à l'étranger. On peut citer notamment le projet de *Port Saïd en Egypte* où Terrasol a assuré le suivi et la synthèse de la campagne géotechnique, ou celui de *la digue d'enclôture de Port 2000 au Havre*, où un modèle numérique en écoulement transitoire (Plaxflow), calé sur un suivi piézométrique d'un cycle de marée, a permis de caler les paramètres hydrauliques nécessaires au dimensionnement final de la stabilité des digues.

Mais c'est peut-être le cas du *quai "Chef de baie 1" du port de la Rochelle* qui illustre le mieux cette capacité de Terrasol à utiliser l'ensemble des outils d'investigations et de modélisation disponibles : cet ouvrage complexe est constitué d'un rideau mixte pieux-palplanches à l'avant, de tirants placés dans les remblais et ancrés dans un contre-rideau arrière, avec une voie de grue fondée sur pieux et entretoises en béton armé.

Ce quai a subi, le 19 février 2001 soit près de 20 ans après sa construction, des désordres importants, avec une avancée du rideau avant et un tassement du terre plein de l'ordre de 5 à 10 cm. Les premières observations, après blocage en urgence du quai, ont révélé des ruptures de certains tirants. Notre mission a alors consisté à analyser le comportement de l'ouvrage, à l'aide de modélisations EF (Plaxis) et de calculs de poutres sur appuis élastiques (Foxta), qui ont permis de reconstituer les mouvements observés, et de confirmer que les désordres étaient bien dus à la rupture de tirants.

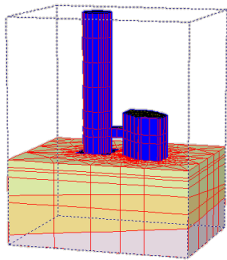
Un bilan structurel mené en collaboration avec le CETE du Sud-Ouest, et s'appuyant sur le modèle EF précédemment établi pour simuler la rupture, a permis de convaincre l'ensemble des intervenants qu'une solution de redressement du quai, par une précontrainte provisoire des tirants, était faisable moyennant la reconstruction de certaines entretoises en béton armé endommagées.

Le quai a pu effectivement être redressé et rétabli en 2003, avec des travaux relativement limités par rapport à la réfection complète qui aurait été inévitable en l'absence d'analyses poussées.



Le Pôle Logiciels a poursuivi en 2004 d'**importants développements**, qui ont débouché sur la commercialisation de 3 nouveaux produits (1 nouveau logiciel et 2 mises à jour de logiciels existants).

- **TALREN 4** : nouvelle version de TALREN, avec interface graphique interactive (dessin à la souris), gestion du phasage des projets, passerelles avec Plaxis v8, et de nombreuses autres options destinées à faciliter le travail des utilisateurs de TALREN, qui sont déjà nombreux à avoir adopté cette dernière version.
- **K-REA** : nouveau logiciel de dimensionnement des écrans de soutènement par la méthode de calcul aux coefficients de réaction. K-REA, dont le module de calcul est complet et validé par de nombreuses années d'expérience, est lui aussi très convivial : affichages graphiques, phasage, nombreux assistants pour la détermination des paramètres, etc.
- **FOXTA v2** : il s'agit d'une mise à jour de Foxta v1.x (amélioration de la convivialité de l'interface). Foxta se décline dorénavant en 3 versions : *complète* (8 modules), *Lt* (5 modules) pour des applications simples et *Pieux* (5 modules) pour dimensionner des projets complexes de fondations sur pieux.



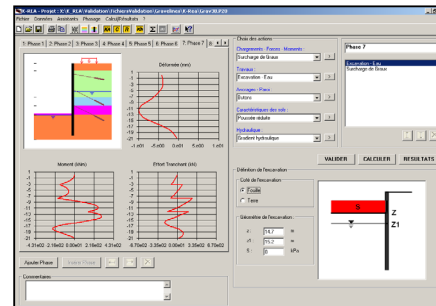
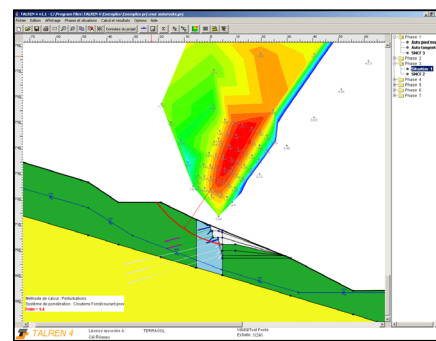
Par ailleurs, la liste des produits Plaxis compte elle aussi un nouveau venu : **PLAXIS 3D Foundation**, dédié aux calculs éléments finis en 3D de projets de fondations.

- L'année 2004 a également été marquée pour le Pôle Logiciels par **l'organisation de plusieurs manifestations**, en France comme à l'étranger : journée "Logiciels TERRASOL" au CNAM, journée TALREN en Angleterre, demi-journée de présentation de nos logiciels à Alger, **la participation sous forme de stands d'exposition** au Colloque International de Beyrouth et à ASEP-GI (Paris), ainsi qu'à plusieurs congrès nationaux via nos représentants locaux (Turquie, Mexique, etc).

Nous comptons bien sûr poursuivre en 2005 nos actions de développement et de commercialisation, et vous tiendrons informés notamment via notre site Internet.

D'autre part, l'équipe du Pôle Logiciels reste bien sûr à votre disposition pour des prestations de support technique et de formation.

N'hésitez pas à nous contacter pour obtenir des informations complémentaires.



L'action de TERRASOL dans la Communauté Scientifique

Projet National Inclusions Rigides : à la suite de l'Etat de l'Art qui avait été présenté par l'IREX en décembre 2002 sur le « Renforcement des sols par inclusions rigides », le comité d'Orientation du RGC&U a approuvé le projet de programme de recherches qui avait été proposé. Celui-ci va être mené sous la forme d'un nouveau Projet National, qui sera conduit, dans le cadre de l'IREX, avec le soutien de la DRAST. La charte de ce Projet a été soumise à tous les partenaires potentiels. La réunion de lancement réunissant tous les adhérents du Projet est prévue courant janvier 2005. Bruno SIMON assumera la Direction Technique du projet en collaboration avec Richard KASTNER (INSA Lyon). François SCHLOSSER et Olivier COMBARIEU ont été pressentis pour assurer la présidence et la vice-présidence du Projet.

Conférences : Terrasol a présenté en 2004 diverses communications à des conférences nationales et internationales, notamment :

- Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'ingénieur JNGG - 2004 à Lille.
- Symposium International ASEP - GI 2004 à Paris en Septembre 2004.
- Exposium INTERROUTE 2004 à Montpellier en septembre 2004.
- Congrès International de Beyrouth au Liban en 2004.

Depuis le début de l'année 2003, Hervé LE BISSONNAIS participe à la rédaction de la **recommandation AFTES** (Groupe de travail N° 30) concernant la **conception et le dimensionnement du boulonnage en tunnel**.

Publications

- A. GUILLOUX, R. KASTNER - "**Quelques résultats de recherches acquis dans le cadre du projet national Microtunnels.**" - *Revue Française de Génie Civil* - Volume 8/ n°1/2004.
- A. BERGERE, F. SCHLOSSER, O. GIVET, Y. DELLA LONGA - "**Les fondations du viaduc de Millau : méthode observationnelle et contrôle du risque.**" - *International Conference on Geotechnical Engineering - Beirut 2004.*
- A. GUILLOUX, A. ROBERT - "**Le fontis du 15 mars 1996.**" - *Revue TRAVAUX - N° Spécial Tunnel de Toulon n° 806 mars 2004.*
- A. GUILLOUX - "**Modélisation du confinement par une auréole de boulons divergents.**" - *Revue TRAVAUX - N° Spécial Tunnel de Toulon n° 806 mars 2004.*
- B. SIMON, L. BRIANCON, R. KASTNER, D. DIAS - "**Le renforcement des sols par inclusions rigides.**" - *Symposium International ASEP-GI Paris 2004.*
- A. GUILLOUX, S. BRETTELLE, Y. DELLA LONGA, K. ZAGHOUBANI - "**Amélioration de sols par colonnes ballastées sous deux grands réservoirs GNL.**" - *Symposium International ASEP-GI Paris 2004.*
- A. GUILLOUX, O. OZANAM, JD. BARNICHON, H. RAVEL - "**Recherche de solution de coupure des zones endommagées pour la fermeture des stockages de déchets radioactifs profonds.**" - *JNGG Lille 2004.*