



**A**u cours de l'année 2002, TERRASOL a poursuivi le développement de ses diverses activités : missions d'expertises, qui représentent près de la moitié de son activité, missions de maîtrise d'œuvre, notamment en intégration avec les équipes de SETEC, pour un tiers de son activité, et commercialisation de logiciels.

Nous présentons dans cette lettre plusieurs grands chantiers français sur lesquels nous avons eu l'occasion d'intervenir, tels que le viaduc de MILLAU, la ZAC Aéroconstellation pour la construction du futur AIRBUS A 380 à TOULOUSE, ou l'autoroute A89. Une mission importante nous a également été confiée par l'ANDRA pour la conception des scellements de galeries des futurs stockages souterrains de déchets radioactifs.

Paul BROSSIER, qui a rejoint l'équipe de TERRASOL au début de l'année 2002, est chargé plus particulièrement du développement de notre activité internationale, représentant 25 % de notre chiffre d'affaires en 2002.

Au cours de cette année, nous avons étudié de nombreux projets à l'étranger, parmi lesquels des études de fondations de très grands réservoirs LNG en Inde et en Égypte, un important projet de tunnel en Algérie et une station d'épuration à Bruxelles.

Nous démarrons également l'implantation d'une antenne TERRASOL Tunisie en collaboration avec Kamel ZAGHOUBI.

D'autre part, notre pôle logiciels a le plaisir de vous annoncer dans ces pages le lancement début 2003 de deux nouveaux logiciels, pour les écrans de soutènement et les tunnels. Une nouvelle version de TALREN sera également commercialisée en 2003, avec notamment une interface graphique encore plus conviviale et l'introduction d'une nouvelle méthode de calcul à la rupture.

Enfin, vous trouverez dans cet envoi une présentation de nos activités dans une nouvelle brochure, avec un logo renouvelé, symbole de notre volonté de rester un leader reconnu dans le domaine de la géotechnique, en France comme à l'étranger, en œuvrant pour un "bon usage de la géotechnique" dans les grands projets de construction.

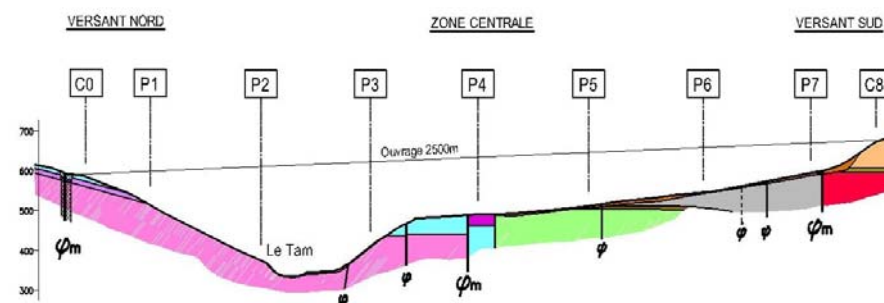
Alain GUILLOUX  
Président Directeur Général

## Chantier du viaduc de Millau

Le viaduc de Millau pour le franchissement de la vallée du Tarn est un ouvrage à haubans et à tablier métallique, d'une longueur de 2460 mètres. Il est exceptionnel par la hauteur de ses piles (plus de 240 m pour la plus haute, elle-même surmontée d'un pylône métallique de 87 mètres environ).

Du point de vue géologique, les fondations reposent sur deux types de terrains :

- Des calcaires pour les deux culées et les piles P1, P2, P3 et P4 ;
- Des marnes pour les autres appuis, à savoir les piles P5, P6 et P7.



Les piles reposent chacune sur un système de fondations semi - profondes constitué d'une semelle rectangulaire de 3,5 m à 5 m d'épaisseur, liaisonnée à quatre puits de 5 m de diamètre et d'une profondeur moyenne de 12 m environ.

Les culées, quant à elles, reposent sur des semelles superficielles ou sur un radier. Il est à noter toutefois que la culée nord (C0) repose en partie sur un puits du fait de conditions géotechniques découvertes au cours des terrassements, et afin d'assurer la sécurité lors de la phase de lancement du tablier.

TERRASOL, après avoir participé avec EIFFAGE au concours de concession, a assuré pour le compte de SETEC TPI une mission de maîtrise d'œuvre comportant le suivi géotechnique sur chantier des travaux de terrassements et de fondations, et le contrôle des notes de calcul sur la stabilité des ouvrages géotechniques.



## A89 et Viaduc du Douime

Les travaux de l'autoroute A89 entre Mussidan et Thenon (sections 2, 3 et 4) sont maintenant bien avancés. TERRASOL effectue pour le compte de SETEC TPI la maîtrise d'œuvre géotechnique des ouvrages d'art (reconnaitances et suivi des travaux).

Les sections 3 (Périgueux est - Périgueux ouest) et 4.1 (Périgueux Est - la Bachellerie) se développent dans le Périgord Blanc et se caractérisent par des zones karstiques qui ont nécessité un confortement de l'assise des chaussées (pilonnage) et des fondations des ouvrages d'art (traitement par injections pour certaines).



Au milieu de la section 4.1, un ouvrage d'art important se distingue : c'est le viaduc du Douime, sur la commune d'Azérat : 290 m de longueur en 6 travées et 35 m de hauteur maximale. Ses fondations ont pu être réalisées sur semelles superficielles, mais avec injection dans les terrains calcaires du fait du risque de karsts (culée et piles intermédiaires), et à l'abri de batardeaux pour les piles centrales, fondées sur terrain gréseux.

Les piles (réalisées par ETPO) sont maintenant toutes terminées et le tablier métallique (EIFFEL) est en fin de poussage.

## Réservoir LNG à Hazira en INDE

Terrasol a été missionné par BOUYGUES OFFSHORE pour étudier les fondations de deux réservoirs LNG en cours de construction dans le cadre d'un nouveau site de stockage de gaz liquéfié en Inde, pour le compte de SHELL. Les réservoirs ont une capacité de 185 000 m<sup>3</sup> chacun (85 m de diamètre et 35 m de hauteur).

Le site est situé en bord de mer, au nord de Bombay. La géologie est constituée d'une alternance de sédiments sableux et argileux sur une épaisseur supérieure à 50 mètres. Deux problèmes géotechniques ont été soulevés au cours de cette étude :

- les tassements et les rotations de la fondation étaient trop importants vis à vis de la structure en béton précontraint ;
- le site est en zone sismique et l'ouvrage est considéré comme très sensible.

Après une étude basée sur l'analyse des essais CPT et SPT, des horizons liquéfiables sur des épaisseurs de plusieurs mètres ont été identifiés jusqu'à 15 mètres de profondeur.

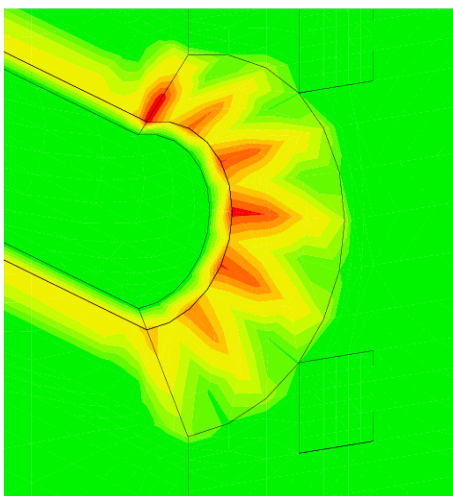
Afin de résoudre à la fois le problème de tassements et le risque de liquéfaction, une solution de colonnes ballastées a été mise en œuvre. Outre les études, TERRASOL a assuré le suivi du chantier pour la réalisation de près de 3000 colonnes ballastées sous les deux réservoirs totalisant un linéaire de plus de 50 km.



## ANDRA

L'ANDRA a confié à TERRASOL l'étude des problèmes liés à la réalisation des serrements de galeries formant des ramifications du complexe de stockage de déchets radioactifs du site de Meuse Haute-Marne.

La problématique est la suivante : lors du creusement des galeries, il se crée autour de ces dernières une couronne de sol endommagé par l'excavation (EDZ "excavated damage zone"), zone pouvant être le siège de circulations hydrauliques préférentielles, par suite de son augmentation de perméabilité. Avant la fermeture définitive des stockages, il est prévu de mettre en œuvre dans les galeries des "serrements" étanches, constitués de matériaux argileux, et qui devront chercher à recouper au mieux cette EDZ, a priori par réalésage, pour éviter les contournements hydrauliques.



Nos études avaient pour objet de concevoir des méthodes de réalisation de ces coupures de l'EDZ évitant la propagation d'une nouvelle EDZ.

Après une première phase d'analyses purement théoriques, basées sur de multiples modélisations par éléments finis, nous avons mené une réflexion intégrant la faisabilité des solutions proposées, qui ont conduit à imaginer trois familles de techniques :

- la mise en œuvre du revêtement d'origine des galeries à l'aide d'un bouclier permettant de limiter le déconfinement et ainsi d'éviter le développement de l'EDZ ;
- des coupures coniques, à intervalles rapprochés, réalisées avec une technique de saignées immédiatement remplies de béton projeté et avec une forme étudiée, de façon à permettre le réalésage tout en limitant l'extension des zones plastifiées ;
- des coupures purement hydrauliques de l'EDZ, sous forme de saignées radiales remplies de briques de bentonite compactée.

## Tunnel de Bouira en ALGERIE

Le tunnel de BOUIRA fait partie d'un tronçon prioritaire de construction de l'autoroute Est - Ouest algérienne, lancé en travaux par l'Agence Nationale des Autoroutes. La Maîtrise d'œuvre est assurée par DAR CONSULTANTS. Le contexte topographique et géologique est très difficile : il s'inscrit dans des versants raides de marnes altérables parcourues par des ravinements actifs et sujets à des mouvements de terrain presque généralisés.



Le tunnel, long de 1200 m, est un bi-tube de grande ouverture (17m) avec trois voies de circulation dans chaque tube. Il est inscrit dans des marnes schisteuses avec de fortes couvertures d'éboulis et d'altérations. TERRASOL intervient auprès du groupement d'entreprises COSIDER - STFA pour étudier divers aspects du projet :

- stabilité des talus cloués extérieurs et renforcements ;
- calculs aux éléments finis des soutènements en tenant compte de l'interaction entre les tubes (avec le logiciel PLAXIS) ;
- simulation aux éléments finis (également avec PLAXIS) des déformations constatées lors du creusement dans une zone d'accident géologique et propositions techniques de franchissement ;
- conception et calcul d'un soutènement en tunnel dans une zone de tête avec une situation géométrique très dissymétrique et sous très faible couverture.

Les travaux d'excavation du tunnel ont commencé début 2001 et devraient se poursuivre pendant deux années.

Ce tunnel est le premier d'une importante série de tunnels qui comportera l'autoroute dans sa configuration finale qui reliera les frontières tunisiennes et marocaines.

La complexité et la diversité de la géologie des montagnes algériennes laissent augurer des enjeux techniques passionnants.

## L'Airbus A380 et la Zac Aéroconstellation

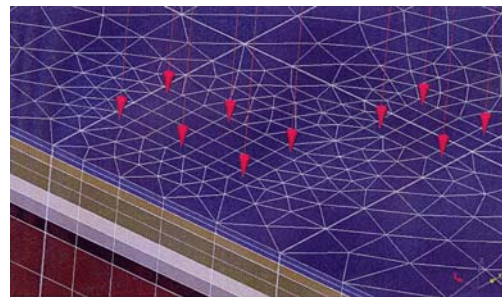
En vue de la construction de l'AIRBUS A380 et en limite de l'aéroport de TOULOUSE BLAGNAC s'édifie actuellement sur 170 hectares la ZAC AEROCONSTELLATION. La Communauté d'Agglomération du Grand TOULOUSE et la SETOMIP, Maîtres d'Ouvrages, ont confié la Maîtrise d'œuvre de conception et de réalisation à un groupement de bureaux d'études pilotés par SETEC TPI.

TERRASOL, intégré à la Maîtrise d'œuvre, a réalisé les études géotechniques et le dimensionnement des chaussées et aires aéronautiques, et assure le suivi technique des travaux de traitement des sols, et ultérieurement de la réalisation des chaussées.

Une des difficultés du projet résulte des délais imposés qui impliquent en même temps la conception du prototype et les travaux de bâtiments et d'infrastructure. La conception des ouvrages doit s'accommoder de nombreuses évolutions. L'aéronef en charge pèse 6,4 MN. Il est porté par 5 atterrisseurs totalisant 22 roues, avec une charge par roue de 0,281 MN. Deux types de chaussées aéronautiques sont prévues : rigide (béton de ciment) et semi-rigide (béton-bitumineux).

La méthode du STBA a été appliquée pour le calcul des chaussées et aires aéronautiques, afin de tester la sensibilité des ouvrages à certains paramètres (portance et géométrie des couches de PST).

TERRASOL a en outre conduit des calculs aux éléments finis 3D (code CESAR du LCPC), en parallèle des calculs STBA.



Pour garantir la solidité des ouvrages, les calculs sont validés à l'avancement des travaux au moyen d'essais de chargement en vraie grandeur. Ces essais sont pratiqués par le STBA, au moyen de son laboratoire itinérant, capable de mobiliser une charge ponctuelle de plus de 0,50 MN.

## Station d'épuration de Bruxelles Nord

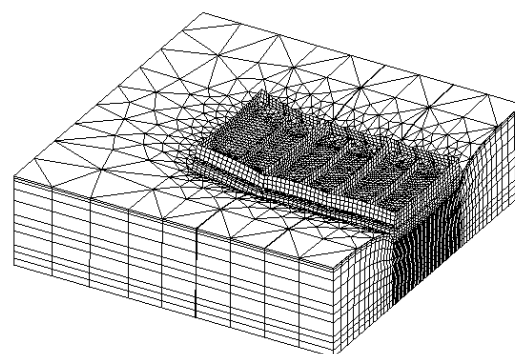
La future station d'épuration de Bruxelles Nord comprend 6 bassins adjacents fondés sur pieux, constitués chacun de deux demi-bassins. Chaque demi-bassin peut-être rempli ou non, indépendamment des autres, et ceci sur deux étages (traitement biologique et clarificateurs). Les dimensions totales de l'ouvrage sont de 300 m x 83 m.

Le bureau d'études VERDEYEN MOENAERT a dans un premier temps missionné TERRASOL au stade de l'avant-projet pour une évaluation, à l'aide de notre logiciel FOXTA, des tassements et rotations des différents bassins, pour plusieurs cas de charge et deux configurations différentes : bassins solidaires les uns des autres (radier continu), ou séparés par des joints.

Dans un deuxième temps, TERRASOL a été missionnée pour l'étude d'exécution du projet. L'objectif de cette 2<sup>ème</sup> mission était d'obtenir les tassements et rotations des différents bassins, compte-tenu de la conception définitive des bassins, ainsi que les efforts et moments dans les différents éléments de structure constituant les bassins (coques et poutres), pour permettre les calculs de ferrailage.

Les principales difficultés à résoudre dans le cadre de cette étude étaient la prise en compte de la géométrie complexe des structures et de l'hétérogénéité des sols ainsi que les chargements complexes et non symétriques (poids propre, vidanges ou remplissages partiels ...).

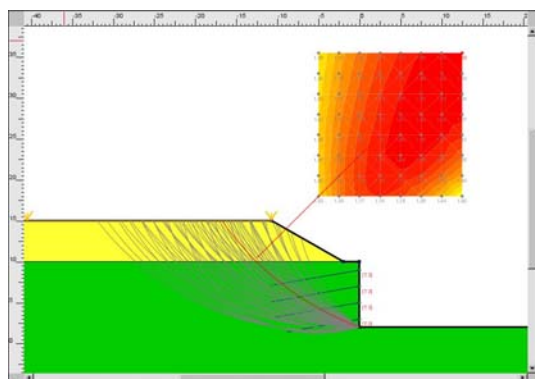
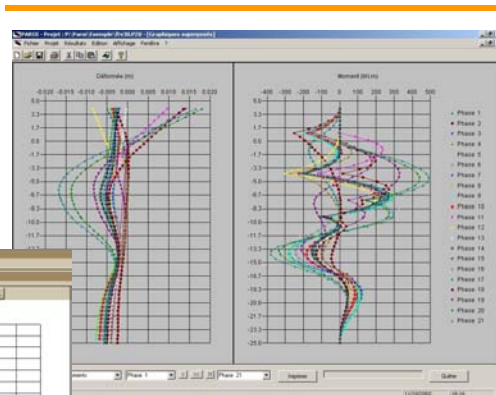
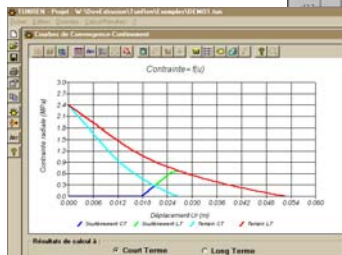
Cette étude a été menée avec le logiciel aux éléments finis CESAR-LCPC en 3D. Une première étude paramétrique sur un bassin isolé a permis de simplifier légèrement sa structure. Puis, une étude sur 3 bassins, pour 7 cas de charge différents, a permis d'obtenir les résultats demandés.



## Pôle Logiciels

Le Pôle Logiciels de Terrasol poursuit son développement et proposera en 2003 un catalogue de logiciels de calcul géotechnique enrichi de plusieurs nouveautés, dont :

- Un logiciel de dimensionnement des écrans de soutènement par la méthode aux coefficients de réaction ;
- Un logiciel d'aide au dimensionnement des soutènements et revêtements de tunnels, TUNREN, qui permet un calcul en section transversale basé sur la méthode convergence/confinement, et un calcul au front de taille basé sur la méthode Extrusion développée par Henry Wong (licence CNRS-ENTPE) ;
- Une nouvelle version du logiciel TALREN, avec une interface graphique interactive, l'intégration du phasage, et une nouvelle méthode de calcul à la rupture (spirales logarithmiques).



Le catalogue des produits Plaxis s'est lui aussi développé : Plaxis v8, Plaxis 3D Tunnel, Plaxflow.

Outre le développement et la commercialisation, le Pôle Logiciels continue d'assurer :

- Les prestations de support technique pour l'ensemble des produits commercialisés ;
- Des formations, inter ou intra-entreprises, ainsi que dans les établissements universitaires. Terrasol a ainsi assuré par exemple une dizaine de formations intra-entreprises en 2002 ;
- L'organisation de manifestations (notamment une "journée utilisateurs Plaxis" en 2002) ;
- La participation à des congrès nationaux ou internationaux ;
- Des études de modélisation géotechniques poussées.

## L'action de TERRASOL dans la Communauté Scientifique

**CFMS** : Alain GUILLOUX a été élu Vice-Président du Comité Français de Mécanique des Sols et de Géotechnique en juillet 2002.

**Congrès** : Alain GUILLOUX a organisé, en collaboration avec Robert MAIR de Cambridge University et Richard KASTNER de l'INSA de Lyon, le **troisième Symposium International sur les "Aspects géotechniques des tunnels et ouvrages souterrains en terrains meubles"** à TOULOUSE en octobre 2002. Cette manifestation, placée sous l'égide du comité technique TC 28 de l'Association Internationale de Mécanique des Sols et de Géotechnique, a rassemblé plus de 150 participants provenant de près de 25 pays du monde entier.

Alain GUILLOUX a été également membre du comité organisateur du **congrès DFI** sur les fondations profondes, qui s'est tenu à Nice en juin 2002.

Divers membres de l'équipe de TERRASOL ont participé aux colloques **NUMGE** et **PARAM 2002** à Paris, ainsi qu'aux journées nationales de géotechnique et de géologie de l'ingénieur à Nancy.

## PUBLICATIONS

H. LE BISSONNAIS, S. BRETTELL - «**Analyse des soulèvements induits par l'agrandissement d'une grande excavation**», 3ème Symposium International sur les aspects géotechniques des tunnels et ouvrages souterrains en terrain meuble - TOULOUSE 2002.

M. YAHIA-AISSA, Y.J. CUI, P. DELAGE, J. BLATZ - «**Volumetric behaviour of heavily compacted swelling clay under suction loading**» - Canadian Geotechnical Journal 2001

A. GUILLOUX, R. KASTNER - «**Rapport général de la session 4 : Travaux souterrains - Theme lecture session 4 : Tunneling and underground space development** » - XVème Congrès International de Mécanique des Sols et de Géotechnique - ISTANBUL, 27/31 Août 2001.

A. GUILLOUX, H. BAROUDI, R. SALMON - «**Diagnostic environnemental et analyse de risque pour un terril de phosphogypse en zone karstique** » - Conférence prononcée au Congrès TP Tech - PARIS, 14/16 Mars 2001.

B. SIMON, J.B. KAZMIERCZAK, V. BERNHARDT - «**Benefits from a foundation engineering software being modular**» - 5th European Conference Numerical Methods in Geotechnical Engineering - NUMGE 2002.

A. GUILLOUX, K. ZAGHOUANI - «**Pathologie des dallages et des sols support**» - Séminaire La Pathologie des sols et fondations - HAMMAMET (TUNISIE), 7/8 Février 2002.

TERRASOL - 72, avenue Pasteur - Immeuble Hélios - 93108 MONTREUIL Cedex  
Tél : + 33.1.49.88.24.42 - Fax : +33.1.49.88.06.66 - Site Internet : [www.terrasol.com](http://www.terrasol.com) - Email : [info@terrasol.com](mailto:info@terrasol.com)